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

IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO DE DADOS DE CONCENTRAÇÃO E DE CARGA DE POLUENTES EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: EXEMPLO DA BACIA DO RIO VERDE

Carolina Cristiane Pinto

Belo Horizonte
2016

IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO DE DADOS DE CONCENTRAÇÃO E DE CARGA DE POLUENTES EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: EXEMPLO DA BACIA DO RIO VERDE

Carolina Cristiane Pinto

Carolina Cristiane Pinto

IMPORTÂNCIA DA AVALIAÇÃO DE DADOS DE CONCENTRAÇÃO E DE CARGA DE POLUENTES EM BACIAS HIDROGRÁFICAS: EXEMPLO DA BACIA DO RIO VERDE

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
Co-orientador: Éber José de Andrade Pinto

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2016

Pinto, Carolina Cristiane.
P659i Importância da avaliação de dados de concentração e de carga de poluentes em bacias hidrográficas [manuscrito] : exemplo da Bacia do Rio Verde / Carolina Cristiane Pinto .- 2016.
xi, 189 f., enc. : il.

Orientadora: Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira.
Coorientador: Éber José de Andrade Pinto.

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

Apêndices: f.114-189.

Bibliografia: f.103-113.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Meio ambiente - Teses. 3. Análise multivariada - Teses. I. Oliveira, Sílvia Maria Alves Corrêa. II. Pinto, Éber José de Andrade. 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 - 4° andar - 31270-901 - Belo Horizonte – BRASIL
Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br
http://www.smarh.eng.ufmg.br

FOLHA DE APROVAÇÃO

Importância da avaliação de dados de concentração e de carga de poluentes em bacias hidrográficas: exemplo da Bacia do Rio Verde

CAROLINA CRISTIANE PINTO

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

Profª SÍLVIA MARIA ALVES CORRÊA OLIVEIRA - Orientador

Prof. EBER JOSÉ DE ANDRADE PINTO - Coorientador

Profª TALITA FERNANDA DAS GRAÇAS SILVA

Profª WANDERLENE FERREIRA NACIF

Prof. CRISTIANO CHRISTOFARO MATOSINHOS

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH

Prof. Nilo de Oliveira Nascimento
Coordenador

Versão Final aprovada por

Profª. Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira
Orientadora

Belo Horizonte, 25 de fevereiro de 2016.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos,

A Deus, por ser meu melhor amigo, e se fazer presente em todos os momentos da minha vida. Por não me deixar desistir mesmo quando nada parecia dar certo.

À minha orientadora Sílvia, que ao longo dessa jornada, se tornou uma amiga. Um anjo que me recebeu de braços abertos. Obrigada por tantas vezes que você me tranquilizou, pelo carinho, conselhos, discussões, ensinamentos, conversas, apoio. Obrigada por acreditar em mim, e, principalmente, por me fazer acreditar que eu seria capaz! Minha mais sincera gratidão.

Ao Professor Éber, co-orientador, por todo auxílio e contribuições na parte de hidrologia.

Ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e à Agência Nacional de Águas (ANA) pela disponibilização dos dados, sem os quais não seria possível realizar esta pesquisa.

Aos professores do Programa, que contribuíram para minha formação, e aos funcionários do Departamento pelo auxílio e apoio.

Aos membros da banca examinadora, por terem aceitado avaliar esta dissertação e pelas contribuições realizadas.

Aos integrantes do grupo de pesquisa da Professora Sílvia: Anna Flávia, Fabrícia, Giovanna Higor e Stella, pelo conhecimento trocado e ajudas ao longo da dissertação! Um muito obrigada, mais que especial, à Stella, pelo auxílio que foi essencial para a realização dessa pesquisa.

Aos colegas de trabalho do IGAM, em especial, ao Átalo e Matheus pelo auxílio na confecção dos mapas, e ao Felipe nas análises de tendência.

Aos meus pais, José e Sandra, pelo amor incondicional, por terem sabido compreender o valor da educação e por terem sido meu alicerce e minha força. Aos meus irmãos, Camila, Cristiano e Clarissa, por estarem sempre ao meu lado e torcendo pelo meu sucesso. Em especial à Clara, pelos longos debates na análise e discussão dos resultados. Ao Felipe, por ser outro anjo em minha vida, namorado, companheiro, amigo e cúmplice. Obrigada pelas palavras de motivação, pela paciência e compreensão com minhas dificuldades e minhas loucuras.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa conquista!

RESUMO

Nesta pesquisa foram avaliados dados de carga e de concentração de poluentes da bacia do rio Verde, utilizando-se análises estatísticas. A abordagem principal da avaliação dos dados de monitoramento foi a comparação dos resultados obtidos em termos de carga e concentração, considerando as avaliações espaciais e temporais. Na prática, raramente existem medições de vazão junto às estações de monitoramento da qualidade da água, assim, a aplicação de metodologias específicas se faz necessária para obtenção dos dados de vazão nas estações de monitoramento da qualidade da água.

A avaliação dos dados de carga, como esperado, apresentou resultados diferentes comparados à avaliação dos dados de concentração, considerando as técnicas multivariadas utilizadas (Análise de Agrupamento e Análise Fatorial) associadas a testes não paramétricos e as análises de tendência. As estações de monitoramento BG024 (rio Baependi) e BG038 (rio Lambari) destacaram-se como aquelas com pior e melhor qualidade da água na bacia do rio Verde, respectivamente, considerando apenas as concentrações. Ao passo que, considerando os dados de carga, as estações dos afluentes do rio Verde foram identificadas como de melhor qualidade da água e a estação BG037 (baixo rio Verde) como a de pior qualidade. Análises de tendência espaço-temporal indicaram diferenças entre a distribuição espacial da carga e da concentração para a maioria dos parâmetros avaliados nesta pesquisa. Os resultados demostraram que a análise conjunta de dados de concentração e vazão é essencial para uma avaliação mais abrangente e fidedigna da qualidade da água, pois alterações no fluxo do rio ao longo do tempo podem dificultar a interpretação dos dados de concentrações. Verificou-se ainda que a análise de dados de carga dos poluentes, sem o estudo do comportamento da vazão e da concentração não fornece resultados conclusivos, visto que não permite avaliar a influência desses componentes nas alterações da carga.

Assim, os resultados corroboram a necessidade do monitoramento da qualidade das águas abranger medições de vazão, o que proporcionaria avaliações mais completas e confiáveis sobre a evolução da qualidade da água.

ABSTRACT

In this research load and concentration data of pollutants of the Verde River Watershed were evaluated, using statistical analysis. The main approach was to compare the results obtained in terms of load and concentration, considering the spatial and temporal evaluations. In practice flow measurements at water quality monitoring stations rarely exist, therefore, the application of specific methodology was required to obtain flow data, and subsequent data transfer from a fluviometric station to a water quality station.

The evaluation of the load data, as expected, produced different results compared to the evaluation of the concentration data, considering the multivariate techniques used (Cluster Analysis and Factor Analysis) associated with non-parametric tests and trend analysis. In the analysis of the concentration data, the monitoring stations BG024 (Baependi River) and BG038 (Lambari River) stood out as the stations that water quality are the most and the least degraded in the Verde River Watershed, respectively. When the load data were considered, stations at tributaries of the Verde River were identified as the best water quality and the BG037 station (lower Verde River) as the worst water quality. It was also executed space-time trend analysis that indicated differences between the spatial distribution of load and concentration for most of the parameters evaluated in this study. The results showed that the concentration data analysis with flow data is essential for a more comprehensive and reliable evaluation of water quality, since changes in river flow over time can mislead the interpretation of the concentration data. Analyze only the pollutant load data, without looking how the flow and concentration behaves, does not provide conclusive results, since it does not allow evaluate whether changes in the load values were caused by increasing or decreasing of the flow or concentration.

Thus, the results present the need to monitoring water quality along with flow measurement, providing more complete and reliable assessments of the evolution of water quality.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS ..... **VI**
LISTA DE QUADROS ..... **VIII**
LISTA DE TABELAS ..... **IX**
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS ..... **X**
1 INTRODUÇÃO **1**
2 OBJETIVOS **3**
2.1 OBJETIVO GERAL 3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 3
3 REVISÃO DA LITERATURA **4**
3.1 ASPECTOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS DA ÁGUA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS 4
3.1.1 Qualidade das águas e poluição *4*
3.1.2 Monitoramento da qualidade das águas superficiais *5*
3.1.3 Avaliação de cargas poluidoras *8*
3.1.4 Estimativas de vazão em locais sem monitoramento fluviométrico *10*
3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA NA AVALIAÇÃO DE DADOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS 17
3.2.1 Técnicas estatísticas multivariadas para a análise de dados de qualidade das águas *18*
3.2.2 Conceitos e análises necessários para a preparação do banco de dados antes das análises estatísticas *25*
3.2.3 Tendências de séries temporais para análise de dados de qualidade das águas *27*
4 METODOLOGIA **32**
4.1 ÁREA DE ESTUDO 32
4.1.1 Rede de monitoramento da porção mineira da bacia do rio Grande *34*
4.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERDE - GD4 37
4.2.1 Caracterização geral da bacia do rio Verde *37*
4.2.2 Rede de monitoramento fluviométrico e da qualidade da água *40*
4.3 DEFINIÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DOS BANCOS DE DADOS 42
4.3.1 Definição do banco de dados de monitoramento da qualidade das águas *42*
4.3.2 Estruturação do banco de dados de carga dos parâmetros *44*
4.4 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS DE CONCENTRAÇÃO E DE CARGA 49
4.5 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERDE, EM TERMOS DE CONCENTRAÇÃO E DE CARGA DOS POLUENTES 50
4.5.1 Avaliação espacial da qualidade da água *51*
4.5.2 Análises de tendências temporais *52*
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO **55**
5.1 DEFINIÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DOS BANCOS DE DADOS 55
5.1.1 Definição do banco de dados do monitoramento da qualidade das águas *55*
5.1.2 Estruturação do banco de dados de carga dos parâmetros *60*
5.2 ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS DE CONCENTRAÇÃO E DE CARGA 62

5.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERDE, EM TERMOS DE CONCENTRAÇÃO E DE CARGA DOS POLUENTES 63
5.3.1 Avaliação espacial da qualidade das águas 63
5.3.2 Análises de tendências temporais 82
6 CONCLUSÕES 101
RECOMENDAÇÕES 102
REFERÊNCIAS 103
APÊNDICE I 115
APÊNDICE II 122
APÊNDICE III 136
APÊNDICE IV 157

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Pontos de monitoramento de qualidade da água superficial da rede básica em operação, no ano de 2014. 7

Figura 3.2. Representação gráfica de uma determinada curva-chave. 15

Figura 4.1. Localização geográfica e Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos da porção mineira da bacia do rio Grande. 33

Figura 4.2. Localização das estações fluviométricas com medição de descarga líquida e das estações de monitoramento de qualidade da água na porção mineira da bacia hidrográfica do rio Grande, no ano de 2014. 36

Figura 4.3. Municípios e sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Verde. 38

Figura 4.4. Distribuição das classes de uso na bacia do rio Verde. 39

Figura 4.5. Localização das estações fluviométricas e das estações de qualidade das águas na bacia hidrográfica do rio Verde. 41

Figura 4.6. Fluxograma da metodologia proposta para a seleção das estações de monitoramento da qualidade da água. 43

Figura 4.7. Fluxograma das etapas necessárias à obtenção das séries de vazões consolidadas. 47

Figura 4.8. Fluxograma da metodologia para a análise descritiva dos dados de concentração e de carga dos poluentes. 50

Figura 4.9. Fluxograma da metodologia proposta para a avaliação espacial da qualidade das águas. 52

Figura 4.10. Fluxograma da metodologia proposta para a análise de tendências temporais. 53

Figura 5.1. Localização das estações fluviométricas e das estações de qualidade das águas selecionadas, na bacia hidrográfica do rio Verde. 58

Figura 5.2. Dendrograma da Análise de Agrupamento para o banco de dados de monitoramento da bacia do rio Verde, no período de julho de 2008 a novembro de 2014. Análise referente ao banco de dados de concentração. 64

Figura 5.3. Dendrograma da Análise de Agrupamento para o banco de dados de monitoramento da bacia do rio Verde, no período de julho de 2008 a novembro de 2014. Análise referente ao banco de dados de carga dos parâmetros. 65

Figura 5.4. Localização das estações de monitoramento representadas de acordo com os grupos formados pela Análise de Agrupamento. 69

Figura 5.5. Gráficos das cargas dos dois primeiros fatores extraídos após rotação *varimax* das Componentes Principais dos grupos 4 e 5, referente às análises dos dados de concentração. 72

Figura 5.6. *Box-plot* das concentrações dos parâmetros de qualidade da água da sub-bacia do rio Verde, e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de Kruskal-Wallis ($p<0,05$), considerando os agrupamentos formados pela Análise de Agrupamento. 77

Figura 5.7. *Box-plot* das cargas dos parâmetros de qualidade da água da sub-bacia do rio Verde, e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de Kruskal-Wallis ($p<0,05$), considerando os agrupamentos formados pela Análise de Agrupamento. 79

Figura 5.8. Mapa representando a tendência espaço-temporais da vazão, nas estações selecionadas da bacia do rio Verde..... 84

Figura 5.9. Evolução temporal da concentração e da carga do parâmetro cloreto total, na estação BG032 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014..... 86

Figura 5.10. Evolução temporal da vazão, na estação BG032 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014. 86

Figura 5.11. Evolução temporal da concentração e da carga do parâmetro nitrato, na estação BG035 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014. 87

Figura 5.12. Evolução temporal da vazão, na estação BG035 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014. 88

Figura 5.13. Evolução temporal da concentração e da carga do parâmetro coliformes termotolerantes, na estação BG037 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014. 90

Figura 5.14. Evolução temporal da vazão, na estação BG037 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014. 90

Figura 5.15. Evolução temporal da concentração e da carga do parâmetro fósforo total, na estação BG034 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014..... 91

Figura 5.16. Evolução temporal da concentração e da carga do parâmetro nitrogênio amoniacal total, na estação BG037 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014. 92

Figura 5.17. Mapas representando as tendências espaço-temporais do parâmetro cloreto total, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde..... 95

Figura 5.18. Mapas representando as tendências espaço-temporais do parâmetro coliformes termotolerantes, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde..... 96

Figura 5.19. Mapas representando as tendências espaço-temporais do parâmetro DBO, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde..... 97

Figura 5.20. Mapas representando as tendências espaço-temporais do parâmetro nitrogênio amoniacal total, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde. 98

Figura 5.21. Mapas representando as tendências espaço-temporais do parâmetro oxigênio dissolvido, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde. 99

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1. Estudos de avaliação de dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais, empregando técnicas estatísticas multivariadas. 22

Quadro 3.2. Aspectos característicos dos conjuntos de dados ambientais e conceitos necessários para a preparação do banco de dados antes da aplicação das técnicas estatísticas. 26

Quadro 3.3. Trabalhos de avaliação de séries de dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais, empregando análises de tendência. 29

Quadro 4.1. Parâmetros de qualidade da água monitorados na porção mineira da bacia do rio Grande. 34

Quadro 4.2. Combinações possíveis dos resultados de tendência a partir dos resultados dos testes de Correlação de Spearman e Teste de Mann-Kendall. 54

Quadro 5.1. Características do banco de dados de monitoramento selecionado da bacia do rio Verde. 59

Quadro 5.2. Nome, notação de referência e unidade dos parâmetros selecionados para análise no presente estudo. 60

Quadro 5.3. Resumo das estações de monitoramento que mais se destacaram nas Análises de Agrupamento e sua localização. 75

Quadro 5.4. Resumo dos resultados da análise de KW para as estações que mais se destacaram nas Análises de Agrupamento. 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1. Resultados referentes à etapa de seleção das estações fluviométricas e de monitoramento de qualidade da água. 57

Tabela 5.2. Valores da diferença entre as distâncias de ligação ao longo dos passos de agrupamento, para análise referente ao banco de dados de concentração dos parâmetros. 64

Tabela 5.3. Valores da diferença entre as distâncias de ligação ao longo dos passos de agrupamento, para análise referente ao banco de dados de carga dos parâmetros. 65

Tabela 5.4. Cargas fatoriais dos parâmetros de qualidade da água para cada fator após rotação *varimax* das Componentes Principais, para os grupos 4 e 5 formados pela Análise de Agrupamento, referentes à análise dos dados de concentração dos parâmetros. 71

Tabela 5.5. Cargas fatoriais dos parâmetros de qualidade da água para o fator retido na AF, para o grupo 5 formado pela Análise de Agrupamento, referentes à análise dos dados de carga dos parâmetros. 74

Tabela 5.6. Resultados finais das análises de tendência temporal dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água estudados nas nove estações da bacia do rio Verde..... 82

Tabela 5.7. Resultados finais das análises de tendência temporal dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água estudados nas nove estações da bacia do rio Verde. 83

Tabela 5.8. Resumo das análises de tendência temporal dos dados de concentração e carga do parâmetro cloreto total e vazão, nas nove estações da bacia do rio Verde. 86

Tabela 5.9. Resumo das análises de tendência temporal dos dados de concentração e carga do parâmetro nitrato e vazão, nas nove estações da bacia do rio Verde..... 88

Tabela 5.10. Resumo das análises de tendência temporal dos dados de concentração e carga do parâmetro coliformes termotolerantes e vazão, nas nove estações da bacia do rio Verde. . 89

Tabela 5.11. Resumo das análises de tendência temporal dos dados de concentração e carga do parâmetro fósforo total e vazão, nas nove estações da bacia do rio Verde. 91

Tabela 5.12. Resumo das análises de tendência temporal dos dados de concentração e carga do parâmetro nitrogênio amoniacal total e vazão, nas nove estações da bacia do rio Verde. .. 92

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

α	Nível de significância
μ	Média aritmética
σ	Desvio-padrão
AA	Análise de Agrupamento
ACC	Análise de Correlação Canônica
ACP	Análise de Componentes Principais
AD	Análise Discriminante
ADFLU	Área de drenagem da estação fluviométrica
ADQA	Área de drenagem da estação de monitoramento da qualidade da água
AF	Análise Fatorial
AIQ	Amplitude Interquartis
ANA	Agência Nacional de Águas
ANCOVA	Análise de Covariância
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CERH-MG	Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
CP	Componente Principal
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FAC	Função de Autocorrelação
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais
H_0	Hipótese nula
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
KW	Kruskal-Wallis
LD	Limite de detecção
MK	Mann-Kendall
NMP/100 mL	Número mais provável de colif. termotolerantes em 100 mL da amostra
NMP/dia	Número mais provável de coliformes termotolerantes por dia

LOWESS	Locally Weighted Scatter plot Smoother
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
S	Estatística S do teste de Mann-Kendall
SMK	Sazonal de Mann-Kendall
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SKS	Estimador do coeficiente Sazonal de Kendall
UPGRH	Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

1 INTRODUÇÃO

As variações espaciais e temporais na hidroquímica dos rios exigem programas de monitoramento regulares para que informações confiáveis sobre a qualidade da água sejam disponibilizadas (SHRESTHA e KAZAMA, 2007; SIMEONOV *et al*., 2003; SINGH *et al*., 2004). Dessa forma, o monitoramento é uma ferramenta útil não só para avaliar os impactos das fontes de poluição, mas, também, para garantir uma gestão eficiente dos recursos hídricos e a proteção da vida aquática (VAROL *et al*., 2012).

No Brasil, os parâmetros de qualidade da água são abordados em nível federal pela Resolução CONAMA n.º 357/2005 e em nível estadual pela Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG n.º 01/2008, as quais se baseiam em valores de concentração. Porém, é sabido que somente as análises de dados de concentração não retratam de forma fidedigna a qualidade da água no curso d'água, uma vez que não leva em consideração a variação da vazão (ANDERSON *et al.*, 2010; BARBOSA *et al.*, 2013). Somente os dados de concentração das variáveis de qualidade da água não são capazes de prover informações suficientes para a identificação de fontes de poluição e potenciais estratégias de gestão para restauração.

As medidas de concentração isoladas em um curso d'água não apresentam representatividade temporal e espacial, uma vez que a mesma se altera com a vazão. A utilização somente de dados de concentração pode levar a análises tendenciosas, visto que medições de concentração em dias chuvosos, quando a vazão é maior e a capacidade de diluição também, resultam em melhores estados de qualidade da água (TUCCI, 2005).

A estimativa das cargas poluentes é de interesse crucial para identificar o nível de qualidade da água, entender os processos e identificar as fontes de poluição (QUILBÉ *et al*., 2006). No entanto, na maioria dos programas de monitoramento da qualidade da água, são avaliadas as concentrações dos parâmetros, mas não é realizado o monitoramento de vazão, dificultando a realização de estimativas das cargas transportadas ao longo das bacias hidrográficas (ZUCCO *et al*., 2012). No Brasil, o monitoramento de qualidade da água não é integrado ao monitoramento fluviométrico, e raramente há medições de vazão junto às medidas de concentração dos poluentes no curso d'água, impossibilitando, dessa forma, as análises de dados de concentração e de vazão simultaneamente. Alguns estados já vêm demostrando uma

preocupação quanto a isso, iniciando medições conjuntas em algumas estações de suas redes de monitoramento de qualidade da água.

Apesar das redes de monitoramento não serem integradas, caso exista um local no curso d'água com medidas de vazão, esses dados podem ser transferidos para locais em que exista apenas monitoramento de concentrações (TUCCI, 2009a). Nesse contexto, a proposta desta pesquisa consiste em avaliar a carga e a concentração dos dados de monitoramento de poluentes da bacia do rio Verde, e comparar os resultados obtidos a partir da análise das cargas e das concentrações.

A relevância científica deste trabalho consiste na avaliação da necessidade do monitoramento de qualidade das águas incluir medições de vazão, uma vez que a utilização apenas de dados de concentração para avaliação da qualidade da água pode não ser capaz de explicar completamente as mudanças espaciais e temporais dos parâmetros de qualidade. Além disso, poderá orientar trabalhos similares em outras bacias hidrográficas, mostrando a possibilidade de trabalhar com dados de carga a partir de dados de vazão da vizinhança.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a importância da avaliação de dados de concentração e de carga de poluentes em bacias hidrográficas.

2.2 Objetivos específicos

- Efetuar uma avaliação espacial da qualidade das águas de estações de monitoramento da bacia do rio Verde, em termos de carga e concentração, utilizando métodos multivariados;
- Identificar as estações de monitoramento mais impactadas, considerando os resultados da avaliação espacial da qualidade das águas da bacia do rio Verde, em termos de carga e concentração;
- Determinar os parâmetros mais significativos para a degradação observada na qualidade da bacia do rio Verde, em termos de carga e concentração;
- Calcular as tendências temporais das cargas e concentrações dos parâmetros analisados.

3 REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo apresenta uma revisão de conceitos relacionados à qualidade, quantidade e poluição das águas, monitoramento da qualidade das águas e análise estatística na avaliação de dados de monitoramento da qualidade das águas.

3.1 Aspectos qualitativos e quantitativos da água em bacias hidrográficas

3.1.1 Qualidade das águas e poluição

A qualidade das águas de um rio é de grande preocupação ambiental, uma vez que é um dos principais recursos de água doce disponível para consumo humano. Até algumas décadas atrás, acreditava-se que a água era um bem infinito e que a capacidade de autodepuração dos corpos d'água também o era (MARQUES *et al.*, 2007; BHAT *et al.*, 2014). No entanto, a degradação da qualidade da água doce chegou a um ponto onde a escassez de água potável provavelmente limitará a produção de alimentos, o funcionamento do ecossistema e os sistemas de abastecimento de água urbana (JURY e VAUX, 2007).

Diversas influências, inclusive condições geológicas, geomorfológicas e cobertura vegetal da bacia de drenagem, comportamento dos ecossistemas terrestres e ações antrópicas, bem como as interações entre esses diversos fatores, estão impactando negativamente a qualidade e a quantidade das fontes de água doce em todo o mundo (TUCCI, *et al.*, 2001; BENGRAÏNE e MARTHABA, 2003).

O termo qualidade da água, segundo Branco (1991), se refere a um padrão tão próximo quanto possível do natural, isto é, como a água se encontra nos rios e nascentes antes do contato com o homem. Ademais, dependendo do uso da água (abastecimento, irrigação, industrial, pesca, entre outros) há um grau de pureza desejável.

A qualidade da água pode ser representada através de diversas variáveis, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas. Essas características, se mantidas dentro de certos limites, que constituem os critérios ou padrões da qualidade da água, viabilizam determinado uso (DERISIO, 2000).

Os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de qualidade de água consolidados no monitoramento em ambientes aquáticos abrangem principalmente as variáveis indicadoras de matéria orgânica, nutrientes, micro poluentes, sólidos suspensos e organismos patogênicos (MEYBECK *et al*., 1996). No que tange à legislação brasileira, a utilização de determinadas variáveis para os processos de caracterização e monitoramento dos corpos aquáticos continentais são abordadas em nível federal pela Resolução CONAMA n.º 357/2005 e, em Minas Gerais, pela Deliberação Normativa COPAM/CERH-MG n.º 01/2008.

3.1.2 Monitoramento da qualidade das águas superficiais

Uma vez que os rios constituem os principais recursos hídricos para fins industriais, domésticos e de irrigação, é indispensável para a prevenção e controle da poluição dispor de informações sobre a qualidade das águas (SINGH *et al*., 2004). Na maioria dos países a avaliação da qualidade da água já se tornou uma questão crítica nos últimos anos, especialmente por causa de preocupações a respeito da escassez de água doce no futuro (WANG *et al*., 2012).

Tendo em vista as variações espaciais e temporais na hidroquímica dos rios, programas de monitoramento regulares são necessários para estimativas confiáveis da qualidade da água (SIMEONOV *et al*., 2003; SINGH *et al.*, 2004; SHRESTHA e KAZAMA, 2007). Dessa forma, a existência de um monitoramento constante e sistemático, que forneça uma estimativa representativa da qualidade das águas superficiais, é um grande aliado para a garantia das condições adequadas da água para os diferentes usos em diferentes locais ao longo do tempo (VEGA *et al*., 1998; AMARO, 2009).

Além disso, as informações sobre a qualidade das águas dos ecossistemas aquáticos são essenciais para o diagnóstico correto e a gestão eficiente dos recursos hídricos. Conforme ressaltado por Strobl e Robillard (2008) e Finotti *et al*. (2009), o acompanhamento periódico da condição dos recursos hídricos permite planejar intervenções para melhorias, identificar lançamentos clandestinos, subsidiar a fiscalização, o licenciamento ambiental e a formulação de políticas ambientais. Ademais, permite a caracterização e análise de tendência em bacias hidrográficas, e auxilia em outras atividades, tais como planejamento, outorga, cobrança e enquadramento dos cursos de água (ANA, 2014).

Lamparelli (2004) ainda reforça que a existência de séries históricas de dados e sua interpretação permitem uma melhor compreensão da evolução temporal e espacial da qualidade ambiental e sua correlação com outros fenômenos, climáticos ou econômicos. São úteis, ainda, para o estabelecimento de políticas ambientais, elaboração de ações, e até mesmo, de legislações específicas que levem à proteção e/ou à melhoria da qualidade ambiental. Além disso, são utilizados para manter a população informada, que tem cada vez mais cobrado informações dos órgãos ambientais governamentais.

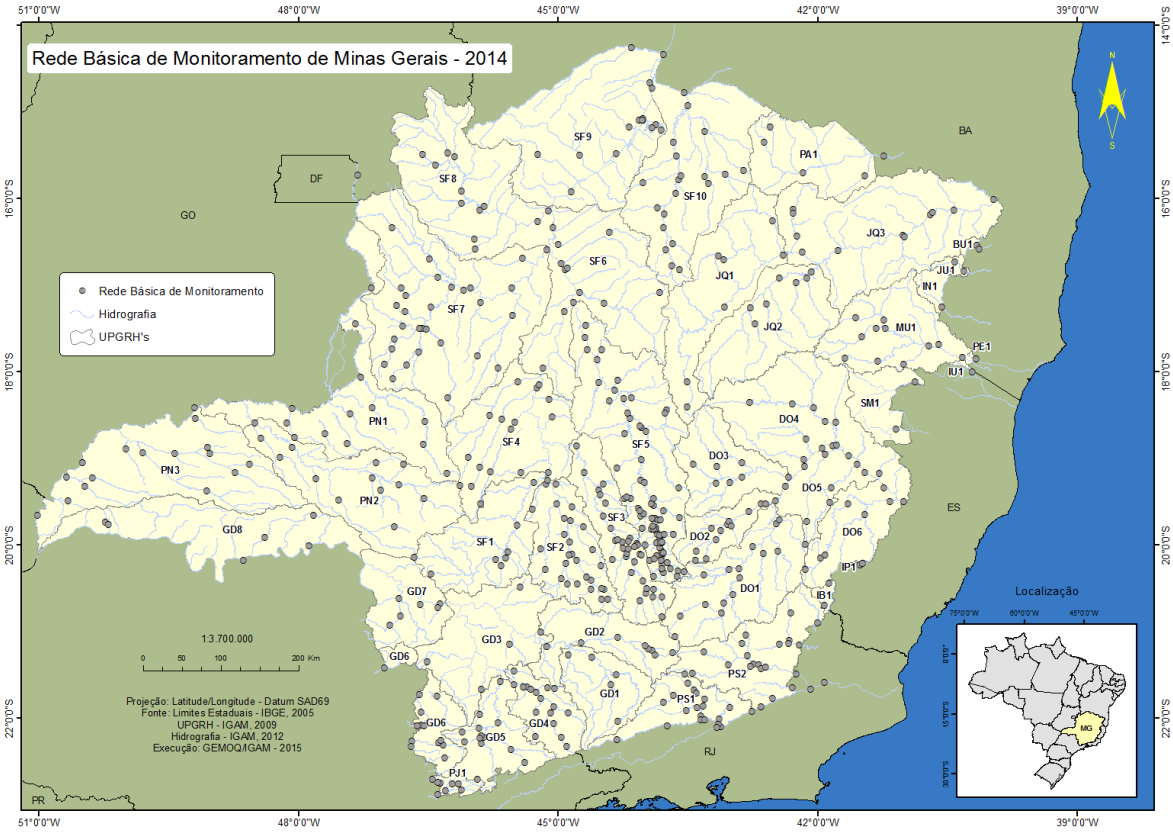
3.1.2.1 O monitoramento das águas superficiais no estado de Minas Gerais

No estado de Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) é o responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, através do programa "Águas de Minas", em execução desde 1997. O programa disponibiliza uma série histórica da qualidade das águas no Estado e gera dados indispensáveis ao gerenciamento dos recursos hídricos.

Em 2014, a rede básica de monitoramento de qualidade das águas superficiais possuía 543 estações de amostragem distribuídas pelas principais bacias dos rios mineiros (IGAM, 2015a). Essa rede em operação foi ajustada ao longo da execução dos trabalhos, utilizando-se como referência a experiência desenvolvida pelos países membros da União Europeia. Assim, foi estabelecida como meta a razão de uma estação de monitoramento por 1.000 km², que é a densidade média adotada nos referidos países (IGAM, 2015b). A distribuição geográfica das estações da rede de monitoramento de água superficial é apresentada na Figura 3.1.

As campanhas de amostragem são trimestrais para a maioria das estações de monitoramento, com um total anual de quatro campanhas por estação de monitoramento. As amostragens e análises laboratoriais são realizadas pelo Instituto SENAI de Tecnologia em Meio Ambiente.

Figura 3.1. Pontos de monitoramento de qualidade da água superficial da rede básica em operação, no ano de 2014.



Fonte: IGAM (2015a)

O IGAM realiza dois tipos de campanhas: as completas, executadas no primeiro e terceiro trimestres do ano, classificados climatologicamente como períodos de chuva e estiagem, nas quais são monitorados 51 parâmetros comuns ao conjunto de pontos de amostragem; e, as campanhas intermediárias, realizadas no segundo e quarto trimestres, caracterizando os demais períodos climáticos do ano, onde são analisados 19 parâmetros genéricos em todos os pontos, além daqueles característicos das fontes poluidoras que contribuem para a área de drenagem da estação de coleta. Em algumas estações de monitoramento são analisados também os parâmetros densidade de cianobactérias, cianotoxinas, ensaios de toxicidade crônica e macro invertebrados bentônicos (IGAM, 2015a).

Destaca-se que a partir da primeira campanha de 2013, o parâmetro *Escherichia coli* passou a ser avaliado em substituição aos coliformes termotolerantes. Segundo a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n° 01/2008, a *Escherichia coli* é a única espécie do grupo dos coliformes termotolerantes cujo *habitat* exclusivo é o intestino humano e de

animais homeotérmicos, onde ocorre em densidades elevadas. Sendo assim, ela é raramente encontrada na água ou no solo que não tenham recebido contaminação fecal (CETESB, 2009).

3.1.3 Avaliação de cargas poluidoras

As informações de qualidade das águas e hidrometeorológicas são indispensáveis para se promover um adequado aproveitamento dos recursos hídricos em bases sustentáveis (TUCCI *et al*., 2001). Entretanto, na prática, isso raramente acontece devido principalmente à razão histórica da separação institucional dos órgãos encarregados dos levantamentos hidrológicos e de controle de poluição (KOIDE e SOUZA, 2001).

É mais do que desejável que os dois aspectos dos ecossistemas aquáticos (qualidade e quantidade) caminhem juntos, uma vez que, as variações sazonais na precipitação, escoamento superficial e no fluxo de águas subterrâneas têm fortes efeitos sobre a vazão do rio e, consequentemente, sobre a concentração de poluentes no mesmo (VEGA *et al*., 1998; KOIDE e SOUZA, 2001).

Nesse contexto, seria recomendado que a quantificação dos poluentes fosse apresentada em termos de carga. A carga é expressa em unidade de massa por unidade de tempo, e pode ser calculada multiplicando-se a concentração do parâmetro analisado pela vazão do corpo receptor, por meio da Equação 3.1.

$$C\text{arg}\,a\ \ (kg.dia^{-1}) = \frac{concentração\ (g.m^{-3}) \times vazão\ (m^3\ dia^{-1})}{1000\ (g.kg^{-1})} \qquad (3.1)$$

Para que a gestão dos recursos hídricos seja efetiva, é preciso promover a integração entre a vazão (variável quantitativa) e a concentração de poluentes (variável qualitativa). Pois, problemas ecológicos e sanitários podem surgir devido a uma combinação temporal inadequada de disponibilidade hídrica e qualidade da água. Um aspecto essencial é entender como que a retirada de água devido ao somatório das demandas se relaciona com a variação das características físicas e químicas de um curso d'água (NILSSON e RENÖFÄLT, 2008).

Silveira e colaboradores (1998a) alegam que para avaliar a qualidade da água de pequenos rios é fundamental o conhecimento do escoamento decorrente de cargas pontuais e difusas, e

que para se fazer uma estimativa das condições ambientais sujeitas a essas cargas poluidoras, é necessário conhecer as vazões de estiagem do rio.

Cruz (1997) *apud* Silveira *et al.* (1998b) aborda que é de fundamental importância a integração entre os aspectos quali-quantitativos da água. Não se pode pensar em qualidade da água - concentração - sem uma associação com a quantidade, sujeitando-se a mascarar as alterações que realmente ocorrem em um corpo d'água.

Coimbra (1991) enfatiza que o monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídricos é um poderoso instrumento, que possibilita a avaliação da oferta hídrica, base das decisões do aproveitamento múltiplo e integrado da água, inclusive para a minimização de impactos ao meio ambiente.

Silveira *et al*. (2003), ensaiaram uma metodologia para equacionamento de cargas poluidoras, destacadamente a DBO, na pequena bacia hidrográfica de uma das nascentes do rio Vacacaí-Mirim, em Santa Maria/RS, utilizando-se como instrumento o monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídricos, de forma indissociável e integrada. Os autores verificaram que mesmo para vazões de pequena magnitude da $Q_{50\%}$ à $Q_{95\%}$, ocorreu significativa variabilidade da classe de enquadramento do corpo hídrico estudado.

Cruz *et al.* (2007) também reconhecem a importância da análise dos dados de carga, indicando a necessidade de seu uso para estabelecer valores de referência de disponibilidade quantitativa para outorga de uso dos recursos hídricos. A disponibilidade quali-quantitativa de uma bacia é informação necessária para balancear tanto as retiradas de água para usos consuntivos como a diluição de poluentes. Esses autores também indicam em sua pesquisa que a concentração de um parâmetro depende da vazão e que esta é extremamente variável ao longo do tempo, mostrando a importância da análise dos dados de carga.

Barbosa *et al*. (2013) ainda reforçam que a análise de cargas fornece informações sobre a poluição em termos absolutos. Se os parâmetros são expressos em termos de concentração não se pode indicar que a diminuição da concentração de um parâmetro está relacionada à sua degradação ou restrição de suas fontes, uma vez que a diminuição pode simplesmente indicar a diluição causada pelo aumento da vazão.

Em resumo, o processo de identificação das cargas é realizado a partir da obtenção de dois tipos de dados: de qualidade e de vazão. Os dados de qualidade são resultados de coleta de amostras de água e análises laboratoriais. Os dados de vazão devem ser obtidos no momento em que foi realizada a coleta de qualidade. Estes dois dados em conjunto, para uma mesma seção fluvial, permitem o cálculo da carga nessa seção (CRUZ *et al*., 2007). Contudo, conforme exposto por Smith *et al*. (1982), Johnson *et al*. (2009) e Barbosa *et al.* (2013) a amostragem da qualidade das águas é realizada muitas vezes sem a medição da vazão no trecho de rio correspondente, impossibilitando o cálculo da carga.

No Brasil, está em desenvolvimento o QUALIÁGUA - Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água, uma iniciativa da Agência Nacional de Águas (ANA). Esse Programa tem como uma de suas metas a integração de redes de monitoramento e de informações (quantidade e qualidade) (ANA, 2015a), mostrando a preocupação em relação ao assunto.

3.1.4 Estimativas de vazão em locais sem monitoramento fluviométrico

Apesar da indissociabilidade dos aspectos quali-quantitativos ser fundamental para a compreensão dos impactos ambientais em um curso d'água (SILVEIRA *et al*., 2003), no Brasil, o monitoramento de qualidade das águas é realizado de forma deficiente devido à falta de medição de vazão junto com as medidas de concentração dos parâmetros (TUCCI, 2009b).

Diante disso, não existindo dados de vazão exatamente no local de interesse é preciso estimar valores a partir de informações de postos fluviométricos próximos. A utilização desses dados já existentes também é importante, pois devido ao alto custo de implantação, operação e manutenção de uma rede hidrométrica, torna-se relevante a otimização das informações disponíveis (TUCCI, 2009a).

O procedimento de transferência de variáveis hidrológicas em locais sem dados ou insuficientes, a partir das informações existentes deve ser realizado de forma cuidadosa e detalhada (COLLISCHONN e TASSI, 2008). A modelagem hidrológica/hidráulica da bacia, na qual a partir das condições observadas de vazões, de precipitações e outras variáveis estima-se as vazões nos pontos de interesse, é um dos métodos que podem ser utilizados.

A forma mais simples de transferência de valores de vazões diárias é o estabelecimento de uma relação linear entre vazão e as áreas de drenagem. (COLLISCHONN e TASSI, 2008). Além da linearidade, a aplicação deste método de transferência está associada às seguintes características:

- Os processos originadores de precipitações são os mesmos atuando sobre as áreas de drenagem das estações.

- A hidrogeologia da área incremental entre as estações fluviométricas não deve apresentar diferenças significativas em relação à área de drenagem a montante. Dessa forma, a restituição dos aquíferos gerará escoamento de base proporcionais nas duas estações fluviométricas.

- O relevo, as características de solo e de uso e ocupação da área incremental entre as estações fluviométricas não podem ser radicalmente diferentes da área de drenagem de montante, de maneira que o escoamento superficial gerado na área incremental não seja discrepante do gerado nas áreas a montante.

- Caso ocorra a derivação de vazão para usos consuntivos ou a "perda" em decorrência das características geológicas, os volumes devem ser conhecidos.

Dadas as características mencionadas acima, a aplicação indiscriminada do método de estabelecimento de uma relação linear entre vazão e as área de drenagem pode levar a transferências enviesadas (HARVEY *et al*, 2012).

Assim, quando o local de interesse encontra-se próximo de estação fluviométrica, Euclydes *et al*. (2007), a partir da experiência acumulada nos vários estudos de regionalização de vazões desenvolvidos no âmbito do programa HIDROTEC, sugere as seguintes limitações empíricas para se adotar o procedimento de transferência da vazão proporcionalmente à respectiva área de drenagem: (i) a diferença (valor absoluto) entre as áreas das bacias de drenagem da estação fluviométrica e a do local de interesse não deve superar 30% da área de drenagem da estação fluviométrica, (ii) as estações precisam estar inseridas na mesma calha fluvial e (iii) numa região com comportamento hidrológico semelhante (regiões hidrologicamente homogêneas).

Outros critérios menos restritivos também podem ser utilizados: no documento intitulado "Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH)" (ELETROBRÁS, 2000) sugere-se que, para o local do aproveitamento, deve ser estabelecida uma série de vazões médias mensais derivadas de uma série histórica de um posto localizado no mesmo curso d'água ou na mesma bacia, por correlação direta entre áreas de drenagem, limitada à diferença entre áreas de 3 a 4 vezes.

Diebel *et al*. (2009) construíram um modelo preditivo para estimar a redução da carga de sedimentos e fósforo que seria possível alcançar após a implementação de áreas de vegetação próximas ao curso d'água. Em relação aos dados de qualidade da água, as estações utilizadas possuíam registros de vazão diária a partir de um medidor no local ou nas proximidades. Um medidor nas proximidades foi definido como um medidor no mesmo curso d'água ou um córrego próximo com uma relação de área de drenagem (área da estação da qualidade da água dividida pela área do ponto em que é realizada a medição de vazão) entre 0,5 e 1,5.

Dessa forma, quando existem estações fluviométricas localizadas próximas a estações de qualidade da água é possível utilizar as informações existentes de forma consistente, apesar do trabalhoso procedimento necessário.

As etapas mais importantes a serem analisadas quando se trabalha com dados fluviométricos estão apresentadas a seguir.

3.1.4.1 Análise de consistência de dados fluviométricos

Os dados fluviométricos coletados em campo estão sujeitos a incorreções diversas ou falhas, decorrentes, principalmente, de problemas nos equipamentos de medição, erros do observador (equívocos nas leituras de cotas, erros de cópia, erro de metro, erro de complemento, leitura errônea de cotas negativas, entre outras) e problemas na alimentação do banco de dados e até mesmo em estudos de consistência já realizados, sendo, então, necessário que tais séries sejam novamente analisadas (CPRM/ANA, 2004 *apud* PACA, 2008; PISCOYA *et al*., 2013).

Considerando essas incorreções diversas ou falhas, a análise de consistência de dados constitui-se na etapa preliminar em estudos hidrológicos e envolve, principalmente, os seguintes passos: análise de cotas, análise de medições de descarga líquida, traçado e análise

de curvas-chave e suas extrapolações e a análise de vazões entre estações (análise de continuidade) (LEMOS *et al*., 2013; REITZ *et al*., 2014).

A análise de consistência tem como objetivo a depuração e correção de erros e preenchimentos de falhas (CPRM/ANA, 2004 *apud* PACA, 2008). Segundo Lopes *et al*. (2013) a consistência de dados fluviométricos visa prover informações de boa qualidade, para atender a diversas pesquisas e projetos nas mais diversas áreas, a saber: aproveitamentos hidrelétricos, gestão dos recursos hídricos, planejamento e manejo integrados de bacias hidrográficas, saneamento básico, abastecimento público e industrial, navegação, irrigação, pecuária, previsão hidrológica, entre outras.

Uma das funções da Agência Nacional de Águas (ANA) é a de orientar os agentes do setor elétrico sobre os procedimentos de coleta, tratamento e armazenamento dos dados hidrométricos, permitindo a difusão dos mesmos em "tempo real", oriundos do monitoramento hidrológico. Diante disso, a ANA apresenta análises e diretrizes recomendadas para a etapa de consistência de dados fluviométricos a serem seguidas pelos agentes do setor elétrico (ANA, 2012). Essas mesmas análises e diretrizes são adotadas por outros órgãos e empresas, para que haja uma padronização na obtenção dos dados, uma vez que diferentes métodos, muitas vezes, podem levar a resultados distintos e, em longo prazo, prejudicar o planejamento e tomadas de ações por parte do governo ou órgão regulador.

Nos tópicos seguintes é apresentada uma breve descrição das etapas de consistência de dados acima mencionadas.

3.1.4.1.1 Análise de cotas

O nível da água ou cota fluviométrica é definido como a altura atingida da água na seção em relação a uma determinada referência, podendo ser a média em um determinado intervalo de tempo (dia, mês, ano) ou um valor instantâneo (PINTO *et al*., 1976).

A análise de consistência de cotas é realizada, normalmente, analisando-se cotagramas de estações fluviométricas localizadas na mesma calha fluvial, pois, geralmente, essas devem apresentar comportamento semelhante. Dessa forma, falhas (erros grosseiros) podem ser identificadas, sendo as mais comuns: falsas leituras do observador, erros de cópia, erro de

metro, erro de complemento e leitura errônea de cotas negativas (LEMOS *et al*., 2013; PISCOYA *et al*., 2013).

É recomendável que a análise de variação das cotas seja realizada em conjunto com as precipitações observadas na bacia, informações sobre a operação de reservatórios, derivação de água para diferentes usos, etc. Pois comportamentos atípicos no cotagrama podem ser explicados a partir dessas informações (DNAEE, 1982).

Associada à análise de cotagramas, outra avaliação comum é a dos boletins de campo, que podem conter informações relevantes (PACA, 2008). Ademais, podem indicar leituras ilegíveis, preenchimento incorreto do cabeçalho (código, nome, mês e ano) ou das leituras de acordo com os dias do mês, além dos próprios comentários do observador (desnivelamento de régua, atos de vandalismo, reinstalação feita pelo próprio observador, régua coberta, caída, "seca", etc.) (LEMOS *et al*., 2013; LOPES *et al*., 2013; PISCOYA *et al*., 2013).

3.1.4.1.2 Análise de medições de descarga líquida

Os dados de descarga líquida (vazão), antes de serem utilizados na geração das curvas-chave, são analisados com objetivo de verificar a existência de inconsistências (PISCOYA *et al*., 2013). Nenhuma medição de descarga líquida deve ser excluída do banco de dados sem apresentar fortes indícios de erro. Assim, a discordância de uma medição em relação a outras medições não é uma indicação forte o suficiente para determinar que o dado seja excluído (BRACA, 2008).

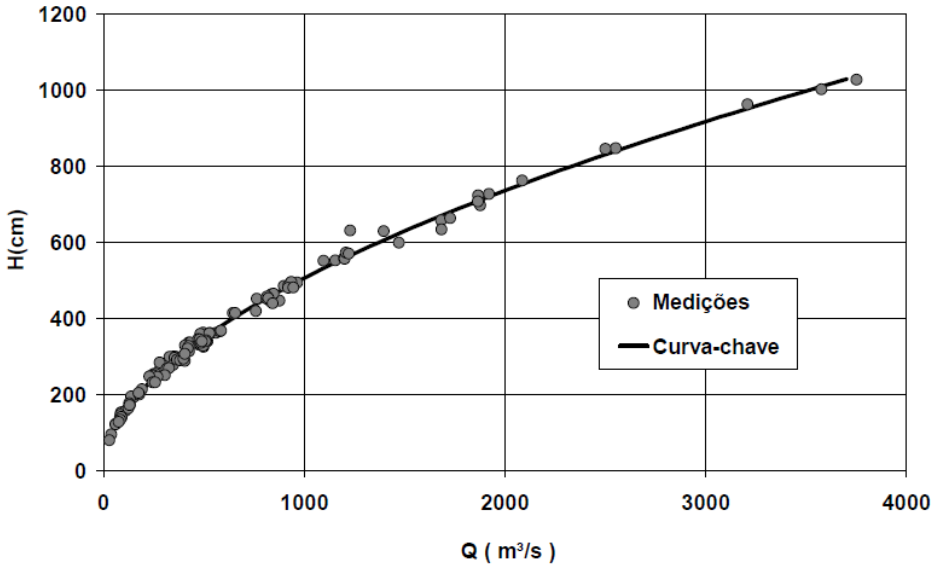
Os valores atípicos (*outliers*) de medição de vazões são, então, analisados individualmente para a verificação da necessidade de sua exclusão ou não. Essa análise consiste em checar os equipamentos utilizados nas medições de descarga, considerar a possibilidade de remanso e comparar: a distribuição de velocidade e as seções transversais plotadas de diferentes medições realizadas na mesma estação, a altura média aferida com as já registradas e com alturas de outras estações. Esta análise é efetuada com o auxílio dos gráficos de cota *versus* descarga líquida, cota *versus* área e cota *versus* velocidade. Se após a análise for confirmado que o *outlier* é uma medição que não apresenta erro, o valor é mantido no banco de dados (BRACA, 2008).

3.1.4.1.3 Traçado e análise de curvas-chave

A relação que existe entre a descarga líquida e a cota sob a qual esta descarga escoa, em uma determinada seção transversal de um curso d'agua, é uma função muito complexa que envolve características geométricas e hidráulicas da seção considerada e do canal em que a mesma está situada (JACCON e CUDO, 1989). O termo utilizado na hidrologia para designar essa relação é curva-chave, também conhecida como curva de calibragem, cota-vazão e cota-descarga (Figura 3.2).

Uma convenção adotada pelos hidrólogos e hidrometristas, e importante a ser destacada, é a diferenciação entre cotas observadas e cotas medidas. As cotas observadas são aquelas registradas diariamente pelo observador da estação fluviométrica, enquanto as cotas medidas são as registradas pelo hidrometrista no momento da medição da vazão no rio, para a determinação da curva-chave (SEFIONE, 2002).

Figura 3.2. Representação gráfica de uma determinada curva-chave.



Fonte: Adaptado de Sefione (2002)

A medição direta de vazão diariamente em cursos d'água é uma atividade muitas vezes inviável, geralmente, realizada com frequência trimestral, pois demanda tempo, investimento financeiro e em época de cheias pode ser impraticável (MOREIRA *et al.*, 1996; BRACA, 2008). Assim, a curva-chave é um instrumento fundamental na obtenção de informações diárias de vazão. Para a obtenção da vazão por esta forma simples e tradicional é necessário o

valor da cota do leito do rio na estação fluviométrica e a curva-chave para essa mesma estação (BRACA, 2008).

A determinação de curvas-chave é realizada quando se ajustam aos pares de valores cota *versus* vazão uma curva ou uma equação. Um dos tipos de equações frequentemente utilizadas para descrever a curva-chave é a potencial, conforme apresentado na Equação 3.2 (JACCON e CUDO, 1989; CHEVALLIER, 2009):

$$Q = a(h - h_0)^n \tag{3.2}$$

Onde,

Q = vazão (m^3/s)

h = nível da água (leitura na régua) (m)

h_0 = nível da água para o qual Q=0 (m)

a e *n* = constantes representativos da seção fluviométrica de interesse

A constante *a* representa a vazão quando a profundidade efetiva de escoamento ($h - h_0$) possui valor igual a 1; e a constante *n* indica a declividade da curva-chave em escala logarítmica (BRACA, 2008).

Muitas vezes, uma única equação não é capaz de representar a curva-chave em toda sua extensão de cotas e todo o período de medições de vazões, dessa forma é necessário ajustar mais de uma equação (SEFIONE, 2002). Frequentemente, uma avaliação gráfica é realizada para verificar a distribuição das medições de vazões em relação à curva-chave, sendo que as distribuições à direita ou à esquerda da curva indicam a necessidade de um ajuste por faixas de cotas. Além disso, após estabelecer a equação que representa a curva-chave, o desvio entre os valores de vazão provenientes das medições de descarga líquida e os valores obtidos pela aplicação da equação devem ser calculados e analisados. Um gráfico de desvio *versus* tempo deve ser elaborado e, quando os desvios apresentam sequências negativas ou positivas os períodos de validade da curva-chave precisam ser redefinidos e novos ajustes serem realizados (MOREIRA *et al*., 1996).

3.1.4.1.4 Análise das séries de vazões

A análise de vazões consiste em avaliar a continuidade entre os fluviogramas de estações localizadas em uma mesma calha fluvial de tal forma que as perturbações observadas na estação de montante também sejam observadas na estação de jusante (LEMOS *et al*., 2013; PISCOYA *et al*., 2013). Assim, se neste balanço ocorrerem vazões incrementais negativas, ou seja, quando a vazão de um determinado posto é inferior a do posto de montante, apesar do incremento na área de drenagem, as vazões devem ser objetos de atenção (PACA, 2008). Geralmente, também, é realizada a análise do comportamento das vazões das estações em relação a eventos extremos de cheias e estiagens, análise das vazões características (máximas, médias e mínimas) por ano hidrológico, análise das vazões específicas, análise da permanência das vazões, além do preenchimento de curtos períodos de falhas (MOREIRA *et al*., 1996).

3.2 Análise estatística na avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas

Apesar da grande importância do monitoramento para a gestão da qualidade das águas, a planilha de dados gerada é extensa e complexa, pois abrange resultados de diversos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, mensurados em várias estações de amostragem durante longos períodos de tempo. Dessa maneira, caso não se efetue uma adequada avaliação e tratamento desse conjunto de dados, informações importantes podem ser omitidas (SANDERS *et al*., 2003).

Segundo diretrizes da CONAMA n° 357/2005, no Brasil, os resultados do monitoramento deverão ser analisados estatisticamente e as incertezas de medições consideradas. Assim, algumas opções geralmente utilizadas para interpretação de dados da qualidade das águas são: estatística descritiva, análise da violação de parâmetros (COSTA, 2014), regressões (KHALIL *et al*., 2010), testes não paramétricos, análises de tendência (CHANG, 2008; CHRISTOFARO e LEÃO, 2009; TABARI *et al*., 2011; SUN *et al*., 2013; TRINDADE, 2013) e estatística multivariada (SINGH *et al*., 2004; ZHOU *et al*., 2007a; ZHANG *et al*., 2011; VAROL *et al*., 2012; BHAT *et al*., 2014). A seguir serão apresentadas duas ferramentas já consolidadas e que possibilitam a avaliação das longas séries de dados: as técnicas estatísticas multivariadas e as análises de tendência.

3.2.1 Técnicas estatísticas multivariadas para a análise de dados de qualidade das águas

A análise multivariada consiste em um conjunto de métodos estatísticos capazes de analisar medidas de diversas variáveis simultaneamente, assim a estrutura de um conjunto de dados de alta complexidade é simplificada sem perder informação útil (HAIR *et al*., 2009).

Em linhas gerais, os métodos de estatística multivariada são utilizados com os seguintes propósitos: construção de índices ou variáveis alternativas que sintetizem a informação original dos dados, visando facilitar a interpretação dos mesmos; construção de grupos de elementos amostrais que apresentem similaridade entre si, possibilitando a segmentação do conjunto de dados original; investigação das relações de dependência entre as variáveis respostas associadas ao fenômeno e outros fatores (variáveis explicativas); e, comparação de populações ou validação de suposições de testes de hipóteses (MINGOTI, 2005).

Os métodos multivariados têm sido amplamente aplicados a matrizes de dados de monitoramento da qualidade da água, para alcançar diferentes objetivos, tais como (VEGA *et al*., 1998; SIMEONOV *et al*., 2003; SINGH *et al*., 2004; MENDIGUCHÍA *et al*., 2004; SHRESTHA e KAZAMA, 2007; ZHANG *et al*., 2011; VAROL *et al*., 2012; BHAT *et al*., 2014):

- Caracterizar e avaliar a qualidade das águas dos rios;
- Evidenciar variações e tendências temporais e espaciais causadas por processos naturais e/ou antropogênicos e reconhecer os parâmetros responsáveis por essas variações;
- Extrair informações sobre as similaridades e as diferenças entre períodos, parâmetros e pontos de monitoramento;
- Identificar as possíveis 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, dentre outros.

Vale ressaltar que mais do que testar hipóteses, a ideia é gerá-las, já que o método é exploratório, sendo necessária uma validação posterior dos resultados encontrados através da

aplicação de outras técnicas estatísticas (REIS, 2001). Alguns aspectos teóricos das técnicas comumente utilizadas serão brevemente apresentados nos próximos tópicos.

3.2.1.1 Análise de Agrupamento (AA)

A análise de agrupamento, também conhecida como análise de conglomerados, classificação ou cluster, é um método que divide um grande grupo de objetos em pequenas classes (cluster), com base em semelhanças dentro de uma classe e diferenças entre as diferentes classes (PANDA *et al*., 2006; KANNEL *et al*., 2007). Portanto, as classes resultantes de objetos devem apresentar alta homogeneidade interna (dentro dos clusters) e alta heterogeneidade externa (entre cluster) (SHRESTHA e KAZAMA, 2007; KAZI *et al*., 2009; FAN *et al*., 2010; ZHANG *et al*., 2009; ZHANG *et al*., 2011).

Quando aplicada a dados de monitoramento de qualidade das águas, a AA permite agrupar as estações de monitoramento por similaridade da qualidade da água (SINGH *et al*., 2005; KOWALKOWSKI *et al*., 2006; BU *et al*., 2010), a frequência de monitoramento, determinando os meses nos quais os dados possuem características semelhantes (ZHOU *et al*., 2007b; BHAT *et al*., 2014), além de permitir o agrupamento dos parâmetros de qualidade da água, onde cada grupo formado é associado a uma fonte de poluição (MENDIGUCHÍA *et al*., 2004).

Ressalta-se que quando a AA é utilizada para agrupar estações de monitoramento, os grupos formados podem receber rotulações (por exemplo, locais com nenhuma poluição, poluição moderada ou elevados níveis de poluição), facilitando a interpretação dos dados (BU *et al*., 2010).

3.2.1.2 Análise de Componentes Principais (ACP)

A ACP tem como objetivo reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados original, preservando a maior quantidade de informação (variância) possível. Essa redução é obtida por meio do estabelecimento de novas variáveis ortogonais entre si, denominadas componentes principais (CPs). Organizadas em ordem decrescente de importância, as CPs são combinações lineares ponderadas das variáveis originais (CHRISTIE, 1995).

Segundo Hair *et al*. (2009), 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. Essa redução de dimensões torna a visualização dos dados mais direta e facilita a sua análise subsequente.

3.2.1.3 Análise de Fatores ou Fatorial (AF)

A Análise Fatorial, que inclui ACP, é também uma técnica comum e eficaz usada para reduzir a dimensionalidade dos grandes conjuntos de dados sem perda de informação (WUNDERLIN *et al*., 2001; SINGH *et al*., 2004). Segundo Wunderling (2001), na prática, a AF segue a ACP, e o principal propósito da AF é reduzir a contribuição das variáveis menos importantes, a fim de simplificar ainda mais a estrutura de dados provenientes da ACP. Em termos estatísticos, a AF complementa a ACP, pois rotaciona os CPs encontrados, geralmente em uma rotação ortogonal, e gera resultados melhores em relação à sua interpretação (GIRÃO *et al*., 2007).

Tendo em vista o exposto sobre a ACP e a AF, percebe-se a grande utilidade dessas técnicas nas análises de qualidade da água. Em termos gerais, elas possibilitam: identificar os parâmetros significativos que mais contribuem para as variações temporais e espaciais na qualidade da água (VEGA *et al*., 1998; HELENA *et al*., 2000; SINGH *et al.*, 2004); identificar as fontes de poluição que afetam a qualidade da água e ajudar na tomada de decisão para controle dessa poluição (HE *et al*., 2001; ZHANG *et al.*, 2011); maior facilidade na interpretação dos dados, uma vez que a análise das relações das variáveis mais significativas agrupadas em um mesmo fator podem levar à especificação desses fatores (por exemplo, fator poluição orgânica, salinidade, agricultura, lixiviação do solo, entre outros) (SIMEONOV *et al.*, 2003; KOWALKOWSKI *et al*., 2006; MENDIGUCHÍA *et al*., 2004).

A ACP/AF é normalmente aplicada em cada um dos agrupamentos de estações de monitoramento encontrados pela AA, com o objetivo de comparar a composição das amostras analisadas e identificar os fatores que influenciam cada grupo (SHRESTHA e KAZAMA, 2007).

O Quadro 3.1 apresenta estudos que aplicaram técnicas de análise multivariadas, corroborando o grande crescimento de sua utilização e consolidação dessas técnicas aplicadas aos dados de qualidade das águas nos últimos anos. Hoje, elas se apresentam como técnicas indispensáveis para as análises dos dados de qualidade da água.

Observa-se que os trabalhos apresentados possuem uma abordagem ampla em função das diferentes regiões do mundo e os diferentes anos em que foram realizados. Nos estudos revisados, a Análise de Agrupamento foi uma das técnicas mais empregadas para avaliar a qualidade das águas, destacando-se pelo fornecimento de informações importantes para o manejo de questões associadas à poluição do meio aquático (MENDIGUCHÍA *et al.*, 2004, SHRESTHA e KAZAMA, 2007). Ao contrário da Análise Discriminante (AD) que foi a menos utilizada, talvez pelo fato de que o modelo matemático da AD apresenta o pressuposto de que as variáveis possuam distribuição normal, e como sabido dados ambientais, em sua grande maioria, apresentam distribuição assimétrica (LACHENBRUCH, 1975; HELSEL e HIRSCH, 2002).

Nota-se também que as mais diversas características são encontradas nos estudos, considerando número de estações de monitoramento analisadas, período de estudo e número de parâmetros de qualidade da água analisados.

Quadro 3.1. Estudos de avaliação de dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais, empregando técnicas estatísticas multivariadas.

Referência	Região de estudo	Dados analisados	Objetivo do estudo	Ferramentas multivariadas utilizadas
Vega *et al*., 1998	Rio Pisuerga, Espanha	3 estações de monitoramento 22 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento trimestral: março de 1990-julho de 1992	▪ 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.	ACP, AA
Santos-Román *et* al., 2003	12 bacias hidrográficas, Porto Rico	17 estações de monitoramento 18 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento trimestral ou bimestral: 1974-1996	▪ Analisar diferenças entre as bacias hidrográficas selecionadas usando técnicas multivariadas; ▪ Desenvolver métodos estatísticos multivariados que podem ser usados para predizer a qualidade da água em bacias não monitoradas, com base em suas características físicas.	AF, AA, AD
Simeonov *et al*., 2003	Diversos cursos d'água, norte da Grécia	25 estações de monitoramento 27 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: fevereiro de 1997-janeiro de 2000	Extrair informações sobre: ▪ As semelhanças ou diferenças entre locais de amostragem; ▪ Os fatores latentes que explicam a estrutura do conjunto de dados; ▪ Influência de eventuais fontes nos parâmetros físico-químicos.	AA, ACP
Mendiguchía *et al*., 2004	Rio Guadalquivir, Espanha	26 estações de monitoramento 16 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento semestral: 2001-2003	▪ Avaliar tanto as influências naturais quanto antropogênicas sobre as águas superficiais, as concentrações de metais traços dissolvidos, nutrientes inorgânicos e outras variáveis.	AA, ACP
St-Hilaire *et al*., 2004	Bacia hidrográfica do rio Richibucto, Canadá	36 estações de monitoramento 9 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 1996–2001 (em períodos sem gelo)	▪ Apresentar uma análise da qualidade da água usando uma combinação de métodos estatísticos que podem fornecer informações sobre as principais fontes de poluição.	AA, ACP
Ouyang, 2005	Rio St. Johns, EUA	22 estações de monitoramento 42 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 1999-2001 (algumas estações são de amostragem diária ou mensal, e um par de estações são amostradas sazonalmente)	▪ Apresentar procedimentos detalhados sobre como interpretar os resultados de PCA e PFA; ▪ Identificar as estações de monitoramento da qualidade das águas superficiais que não são principais; ▪ Extrair os parâmetros que são mais importantes para avaliar variações na qualidade da água do rio.	ACP, AF
Nonato *et al*., 2007	Rio das Velhas, Brasil	37 estações de monitoramento 39 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento mensal: 2003-2004	▪ Otimizar a rede de monitoramento (frequência de amostragem e do número de parâmetros analisados).	AA, ACP

Quadro 3.1. Estudos de avaliação de dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais, empregando técnicas estatísticas multivariadas (continuação).

Referência	Região de estudo	Dados analisados	Objetivo do estudo	Ferramentas multivariadas utilizadas
Shah *et al*., 2007	12 bacias hidrográficas, Austrália	12 estações de monitoramento 37 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento mensal: outubro de 2004-junho de 2006	Demonstrar que: ▪ Os locais com diferentes perfis de uso da terra teria um perfil característico de qualidade da água que reflete o uso da terra e contaminação fecal; ▪ As amostras das várias categorias de uso da terra teriam perfis diferentes de qualidade da água em períodos de seca, quando comparada com amostras colhidas imediatamente após eventos de chuva.	AA, AD
Wang *et al*., 2007	19 cursos d' água na bacia hidrográfica Taihu, China	19 estações de monitoramento 11 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento mensal: 2000–2004	▪ Avaliar os impactos das atividades humanas sobre as variações espaciais na qualidade da água.	AA, AF
Sojka *et al*., 2008	Rio Mala Welna, Polônia	8 estações de monitoramento 19 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento mensal: maio a novembro de 2006	▪ 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 antrópicas de poluição da água.	AA, AF/ACP, AD
Jones *et al*., 2008	Rio Potomac, EUA	12 estações de monitoramento (sendo uma delas implantada em 1987) 18 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 1984-1990	▪ Determinar os componentes importantes de variação espacial e temporal da qualidade da água para facilitar a compreensão dos impactos de gestão e permitir a utilização mais eficaz dos recursos futuros de monitoramento.	ACP
Omo- Irabor *et al*., 2008	Delta do Níger, Nigéria	12 estações de monitoramento 18 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 2003-2007 (durantes as estações chuvosa e seca-68 amostras)	▪ Determinar a natureza e a distribuição espacial dos poluentes químicos em águas superficiais na região do Delta do Níger ocidental; ▪ Destacar as fontes de tais poluentes químicos.	AA, ACP/AF
Bu *et al.*, 2010	Rio Jinshui, China	12 estações de monitoramento 25 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: outubro de 2006-agosto de 2008 (8 amostragens mensais)	▪ Revelar as variabilidades espaciais e temporais da qualidade da água; Identificar os principais fatores e fontes de poluição.	AA, AF
Noori *et al*., 2010	Rio Karoon, Irã	17 estações de monitoramento 12 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 1999-2002	▪ Identificar as estações mais informativas de monitoramento da qualidade da água; ▪ Determinar os parâmetros mais importantes da qualidade da água no rio; ▪ Explorar a relação entre os parâmetros físicos e químicos.	ACP, ACC

Quadro 3.1. Estudos de avaliação de dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais, empregando técnicas estatísticas multivariadas (continuação).

Referência	Região de estudo	Dados analisados	Objetivo do estudo	Ferramentas multivariadas utilizadas
Zhang *et al.*, 2011	Cinco cursos d'água, Japão	16 estações de monitoramento 48 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento mensal: 2000-2007	▪ 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.	AA, ACP/AF, AD
Zhao *et al*., 2011	Bacia Taihu, China	22 estações de monitoramento 8 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento mensal: 2001-2002	▪ Identificar as características espaciais e temporais das variáveis físico-químicas de qualidade da água; ▪ Avaliar a qualidade das águas de superfície usando Avaliação Sintética Fuzzy (FSE); ▪ Determinar os fatores importantes e fontes que influenciam a qualidade da água.	ACP, AC,
Gatica *et al*., 2012	Rio Chocancharava, Argentina	6 estações de monitoramento 23 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento mensal: 2007-2008 (6 campanhas)	▪ Avaliar a dinâmica da qualidade da água, através da análise de parâmetros físicos e químicos; ▪ Avaliar as diferenças sazonais e índice de qualidade da água do curso d'água.	AA, ACP
Bhat *et al*., 2014	Tributário do lago Wular, Índia	5 estações de monitoramento 26 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: fevereiro de 2011 a janeiro de 2012	▪ Identificar os parâmetros responsáveis pela variação espaço-temporal na qualidade da água; ▪ Analisar o impacto de todas as fontes de poluição no córrego Sukhnag	AA, ACP/AF
Mohamed *et al*., 2015	Bacia hidrográfica do rio Klang, Malásia	20 estações de monitoramento 7 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 2005-2007	▪ Identificar os potenciais fatores que contribuem para as variações na qualidade da água do rio Klang; ▪ Analisar os dados utilizando técnicas de estatística multivariada, com o foco na redução das dimensões de dados para a interpretação mais simples.	AF, ACP
Muangthong e Shrestha, 2015	Rio Nampong e Rio Songkhram, Tailândia	18 estações de monitoramento 16 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento mensal: 1996-2012	▪ Extrair informações sobre as semelhanças e diferenças entre locais de amostragem; ▪ Identificar as variáveis de qualidade da água responsáveis pelas variações espaciais e temporais na qualidade da água dos rios, e a influência de possíveis fontes (naturais e antrópicos) sobre os parâmetros de qualidade da água.	AA, AD, ACP/AF
Ogwueleka, 2015	Rio Kaduna, Nigéria	8 estações de monitoramento 17 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento mensal: 2008-2012	▪ Investigar as variações temporais e espaciais de grandes e complexos conjuntos de dados de qualidade da água coletadas do Rio Kaduna e interpretá-los.	AA, ACP/AF

AA - Análise de Agrupamento; ACC – Análise de Correlação Canônica; ACP - Análise de Componentes Principais; AD - Análise Discriminante; AF - Análise Fatorial

Fonte: Adaptado de Trindade, 2013

3.2.2 Conceitos e análises necessários para a preparação do banco de dados antes das análises estatísticas

Antes da aplicação das técnicas estatísticas em geral e, principalmente, os métodos multivariados, o banco de dados precisa ser devidamente preparado. E, alguns aspectos característicos dos conjuntos de dados ambientais, como por exemplo, dados faltantes e dados censurados, devem ser cuidadosamente analisados. Conforme ressaltado por Calazans (2015), a preparação do banco de dados é essencial para a efetividade da aplicação das técnicas estatísticas.

Segundo Carvalho (2003), tais características dos conjuntos de dados ambientais dificultam e, às vezes, impossibilitam a aplicação de técnicas estatísticas usuais, podendo induzir conclusões não verdadeiras ou não representativas da realidade a ser descrita. O Quadro 3.2 apresenta tais características e conceitos necessários para a elaboração do banco de dados.

Quadro 3.2. Aspectos característicos dos conjuntos de dados ambientais e conceitos necessários para a preparação do banco de dados antes da aplicação das técnicas estatísticas.

Análises	Conceito	Objetivo das Análises	Tratamento/Cálculos
Dados faltantes	Valores não computados quando uma coleta é realizada.	Os dados faltantes podem levar a eliminação de outras observações, e uma amostra que era adequada, fica reduzida a uma amostra imprópria para a aplicação dos testes estatísticos (HAIR *et al*., 2009).	Deve-se tentar eliminar variáveis que possuem grande quantidade de dados faltantes.
Dados censurados	Valores acima ou abaixo do Limite de Detecção (LD) do método analítico.	Os dados censurados interferem em quase todos os tipos de análises estatísticas, incluindo: parâmetros estatísticos básicos (por exemplo, média, desvio-padrão, etc.), testes de hipóteses, correlações e análises de tendências (HELSEL, 2005; CHRISTOFARO e LEÃO, 2014).	A prática mais comumente adotada em estudos ambientais é o da substituição destes dados por um valor correspondente a uma fração do limite de detecção (1/2 LD, zero, o próprio valor do limite de detecção ou ainda valores aleatórios). (HELSEL, 2005; CHRISTOFARO e LEÃO, 2014). Gibbons e Coleman (2001) recomendam os métodos de substituição quando o conjunto de dados detectados for igual ou superior a 80%, ou seja, menos de 20% de dados censurados.
Outliers	Observações atípicas que possuem características notavelmente diferentes das demais.	Podem distorcer os testes estatísticos, influenciando significativamente no valor de centroides formados na AC e nas correlações da ACP e AF (BARNETT e LEWIS, 1994; CALAZANS, 2015).	Existem diversos métodos estatísticos para detecção de *outliers*. Um método de detecção comumente utilizado é o de amplitude interquartis (NAGUETTINI e PINTO, 2007), que é dada pela diferença entre os quartis. Esse método indica quais são os valores atípicos superiores e inferiores.
Distribuição dos dados	Existem basicamente dois tipos de distribuição de frequência: simétricas (Normal) e assimétricas (todas as outras).	É imprescindível, antes da escolha do teste estatístico, examinar a distribuição dos dados, pois se eles apresentam uma distribuição assimétrica, é necessário escolher um teste não paramétrico ou transformar os dados em uma distribuição normal (NORMANDO *et al*., 2010).	Testes de normalidade de Shapiro-Wilk, Kolmorogov-Smirnov e Anderson-Darling, etc.
Padronização dos dados	Transformação do conjunto original dos dados de modo que cada variável apresente média zero e variância igual a um.	Evitar que as diferentes unidades de medidas e escalas das variáveis influenciem as análises multivariadas. Após a padronização, os dados tornam-se adimensionais (VICINI, 2005).	Transformação das variáveis em escala Z, em que $Z=(X - \mu)/\sigma$ (MOITA NETO e MOITA, 1998).

3.2.3 Tendências de séries temporais para análise de dados de qualidade das águas

Conforme mencionado anteriormente, os métodos estatísticos multivariados são excelentes ferramentas exploratórias para o conhecimento e interpretação das extensas e complexas planilhas de dados, e são frequentemente utilizados concomitantemente com as análises de tendência.

De forma geral, as análises de tendência temporais determinam se os valores medidos dos parâmetros de qualidade da água estão aumentando ou reduzindo em determinado período de tempo (ANTONOPOULOS *et al*., 2001). A avaliação de séries históricas de parâmetros de qualidade das águas permite observar a variabilidade de suas concentrações e cargas ao longo do tempo, auxiliando a identificação dos principais fatores de impacto e potenciais poluidores das regiões analisadas. Nos últimos anos, vários estudos, em todo o mundo, têm sido realizados com a finalidade de detectar tendências e mudanças na qualidade das águas (PASSELL *et al*., 2004; CHANG, 2008; CHRISTOFARO e LEÃO, 2009, TABARI *et al*., 2011; GOCIC e TRAJKOVIC, 2013; SUN *et al*., 2013; TRINDADE, 2013; BARBOSA, 2015).

Segundo Helsel e Hirsch (2002), definir se o valor de uma variável apresentou tendência significativa de elevação ou redução, significa determinar se a distribuição de probabilidade ou alguma medida de tendência central dessa variável alterou-se ao longo do tempo.

Na avaliação de tendência temporal, o resultado do teste de hipóteses é uma decisão entre rejeitar ou não a hipótese nula (H_0), sendo H_0 a hipótese de que não existe tendência (GILBERT, 1987). Quando se falha em rejeitar H_0 não significa que foi provado que não há tendência. Pelo contrário, isso é uma constatação de que a evidência disponível (ou seja, o conjunto de dados) não é suficiente para concluir que há tendência (HELSEL e HIRSCH, 2002).

Como sabido, as séries temporais de dados de qualidade da água não seguem uma distribuição normal, as amostragens, muitas vezes, são realizadas de forma irregular, os dados apresentam sazonalidade e ainda são dependentes da vazão dos cursos de água (HELSEL e HIRSCH, 2002). Dessa forma, os estudos de tendências desses dados necessitam de metodologia específica (GROPPO, 2005).

Segundo Qian *et al*. (2007), a análise de tendências aplicada a dados de concentrações das variáveis de qualidade da água é útil para avaliar um corpo d'água com respeito a critérios atuais de qualidade da água, no entanto, não é capaz de prover informações suficientes sobre a identificação de fontes de poluição e potenciais estratégias de gestão para restauração. Assim, as cargas, massa de um constituinte químico transportado durante um determinado período de tempo, são particularmente importantes quando se considera a quantidade de constituintes que entram em um corpo d'água (CHRISTENSEN *et al*., 2002).

O Quadro 3.3 apresenta trabalhos que aplicaram diferentes ferramentas estatísticas visando avaliar a existência ou não de tendências temporais na avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas. Semelhante aos trabalhos que empregaram técnicas multivariadas a dados de qualidade da água, nota-se no Quadro 3.3 uma abordagem também ampla para a aplicação das análises de tendência. Os estudos apresentados foram realizados em diferentes regiões do mundo, e os anos de publicação dos mesmos variam de 1993 a 2014. Dentre os estudos analisados, as ferramentas mais utilizadas foram os testes de Mann-Kendall (MK) e Sazonal de Mann-Kendall (SMK), sendo usado pelo menos um deles em todos os estudos apresentados, com exceção dos trabalhos de Antonopoulos *et al*. (2001), em que os autores analisaram a série temporal dos valores medidos mensais das variáveis de qualidade da água utilizando somente Correlação de Spearman, e de Simeonova *et al*. (2003) e Cox *et al*. (2005), os quais utilizaram técnica de regressão.

Quadro 3.3. Trabalhos de avaliação de séries de dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais, empregando análises de tendência.

Referência	Região de estudo	Dados analisados	Objetivos do estudo	Ferramentas utilizadas
Yu *et al*., 1993	Bacia dos rios Arkansas, Verdigris, Neosho, e Walnut, EUA	15 estações de monitoramento 17 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento mensal: dezembro de 1975-novembro 1989	▪ Aplicar métodos não paramétricos para detectar tendências de qualidade de água (ou falta de tendências) e a homogeneidade de tendências.	MK, SMK, teste T de Sen, teste de homogeneidade de Van Belle e Hughes
Antonopoulos *et al*., 2001	Rio Strymon, Grécia	1 estação de monitoramento 9 parâmetros de qualidade da águas Período de monitoramento mensal: 1980-1997	Analisar estatisticamente: ▪ A série temporal dos valores mensais dos parâmetros de qualidade de água e de descarga na estação de Sidirokastro; ▪ Existência de tendências e avaliação do melhor modelo de tendência ajustado; ▪ As relações entre concentração e cargas de solutos e a descarga.	Correlação de Spearman
Ravichandran, 2003	Rio Tamiraparani, Índia	1 estação de monitoramento 5 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento semanal: 1978-1992	▪ Descrever as influências das mudanças no regime hidrológico de uma bacia hidrográfica em determinados parâmetros de qualidade da água.	*ANCOVA on rank transformed data*, SMK
Zipper *et al*., 2002	Rios do estado da Virgínia, EUA	180 estações de monitoramento 9 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 1978-1995	▪ Identificar padrões estaduais e regionais e alterações da qualidade da água	SMK
Simeonova *et al*., 2003	Rio Struma, Bulgária	19 estações de monitoramento 17 parâmetros de qualidade da água Período de amostragem mensal: 1989-1998	▪ Avaliar a qualidade da água do rio Struma, analisando tendências de longo prazo, padrões sazonais e estrutura de conjunto de dados usando análise estatística.	Análise de regressão linear de mínimos quadrados
Cox *et al*., 2005	Rios navegáveis no norte de Queensland, Austrália	133 estações de monitoramento 13 parâmetros de qualidade da água Período de amostragem mensal: 1992-julho de 2001	▪ Apresentar a condição de qualidade da água e as tendências nos cursos de água navegáveis no Great Barrier Reef; ▪ Descrever o uso de um novo método de avaliação de tendência; ▪ Fazer recomendações para programas futuros de monitoramento com base nessas análises.	Técnica de regressão censurada
Chang, 2008	Rio Han, Coréia do Sul	118 estações de monitoramento 8 parâmetros de qualidade da água Período de amostragem mensal: 1993-2002	▪ Identificar tendências espaciais e temporais na qualidade da água; ▪ Determinar fatores antropogênicos e naturais que afetam a variação espacial e temporal da qualidade da água; ▪ Comparar o efeito de escala sobre a qualidade da água ao longo do tempo; ▪ Determinar o grau de dependência espacial dos parâmetros de qualidade de água ao longo do tempo.	SMK, modelos estatísticos combinados com SIG

Quadro 3.3. Trabalhos de avaliação de séries de dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais, empregando análises de tendência (continuação).

Referência	Região de estudo	Dados analisados	Objetivos do estudo	Ferramentas utilizadas
Boyacioglu e Boyacioglu, 2008	Bacia do rio Tahtali, Turquia	5 parâmetros de qualidade da água 7 pontos de monitoramento Período de monitoramento: 6 anos (amostrados semi-mensalmente)	▪ Avaliar a eficácia de programas de gestão de qualidade da água na bacia do rio Tahtali, através da aplicação de métodos estatísticos para conjunto de dados multidimensionais.	MK, *Sen's Slope estimator* (ou estimador do coeficiente Sen)
Bouza-Deaño *et al*., 2008	Rio Ebro, Espanha	13 estações de monitoramento 34 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento mensal: 1981-2004	▪ Detectar e quantificar as tendências de qualidade da água em um rio espanhol; ▪ Obter uma compreensão mais aprofundada da evolução da qualidade da água ao longo dos anos.	SMK, *Sen's Slope estimator* (ou estimador do coeficiente Sen)
Groppo *et al*., 2008	Sete rios do estado de São Paulo, Brasil	14 estações de monitoramento 7 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento bimestral: 1979-2001	▪ Avaliar como o corpo de água responde durante um período de vários anos, em termos qualitativos, ao aumento de intervenções antrópicas.	MK, SMK, SKS
Christofaro e Leão, 2009	Rio das Velhas, Brasil	29 estações de monitoramento 1 parâmetro de qualidade da águas Período de monitoramento trimestral e semestral: 1998-2007	▪ Apresentar uma caracterização temporal do Arsênio nos cursos d'água da bacia do rio das Velhas.	KW, FAC, MK, SMK
Matsubara *et al*., 2009	Rios das Províncias de Niigata e Gifu, Japão	Província de Niigata: 34 estações de monitoramento, no período de 1986-2003 Província de Gifu: 40 estações de monitoramento, no período de 1986-2003 1 parâmetro de qualidade da águas Amostragens mensais	▪ Analisar as tendências do parâmetro pH nas águas do rio das Províncias de Niigata e Gifu em relação à acidificação generalizada das águas do rio na região de Chubu.	SMK
Lee *et al*., 2010	Rio Nakdong, Coreia do Sul	23 pontos de monitoramento 3 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 1992-2002	▪ Analisar tendência espacial e temporal da qualidade da água em um grande sistema fluvial, e apresentar os resultados utilizando gráficos tridimensionais e tabelas.	SMK, *Locally Weighted Scatter plot Smoother* (LOWESS)[1]
Luo *et al*., 2011	92 (noventa e dois) rios, Japão	98 pontos de monitoramento 6 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 1992-2005	▪ Avaliar as tendências espaço-temporal dos principais parâmetros de qualidade da água em rios japoneses.	MK

Quadro 3.3. Trabalhos de avaliação de séries de dados de monitoramento da qualidade das águas superficiais, empregando análises de tendência (continuação).

Referência	Região de estudo	Dados analisados	Objetivos do estudo	Ferramentas utilizadas
Tabari *et al*., 2011	Rio Maroon, Irã	4 pontos de monitoramento 16 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 1989-2008	▪ Testar a existência de tendência em médias anuais e sazonais dos parâmetros de qualidade da água.	MK, *Sen's Slope estimator* (ou estimador do coeficiente Sen), regressão linear
Xu *et al*., 2012	Bacia do Rio Zhangweinan, China	19 estações de monitoramento 11 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: 2001-2009	▪ Avaliar a qualidade da água do rio Zhangweinan e analisar a variação espaço-temporal da qualidade da água na bacia.	SMK, AA, Análise abrangente Fuzzy
Kisi e Ay, 2014	Rio Kizilirmak, Turquia	5 estações de monitoramento 11 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento: períodos diferentes para cada estação de monitoramento	▪ Comparar os resultados de dois testes de tendência: o teste de MK e o método Sen, esse último aplicado pela primeira vez.	MK, método Sen
Niazi *et al*., 2014	Rio Ajichay, Irã	1 estação de monitoramento 6 parâmetros de qualidade da água Período de monitoramento mensal: 1967-2007	▪ Analisar as mudanças e tendências na vazão e nos parâmetros de qualidade da água monitorados no rio Ajichay.	MK, SMK

AA - Análise de Agrupamento; FAC - Função de Autocorrelação; SMK - Teste Sazonal de Mann-Kendall; MK - Teste de Mann-Kendall; KW – Kruskal-Wallis; SIG - Sistema de Informações Geográficas; SKS - Estimador do coeficiente Sazonal de Kendall; ANCOVA – Análise de Covariância

[1]*Locally Weighted Scatter plot Smoother* (LOWESS): método de regressão não paramétrico

4 METODOLOGIA

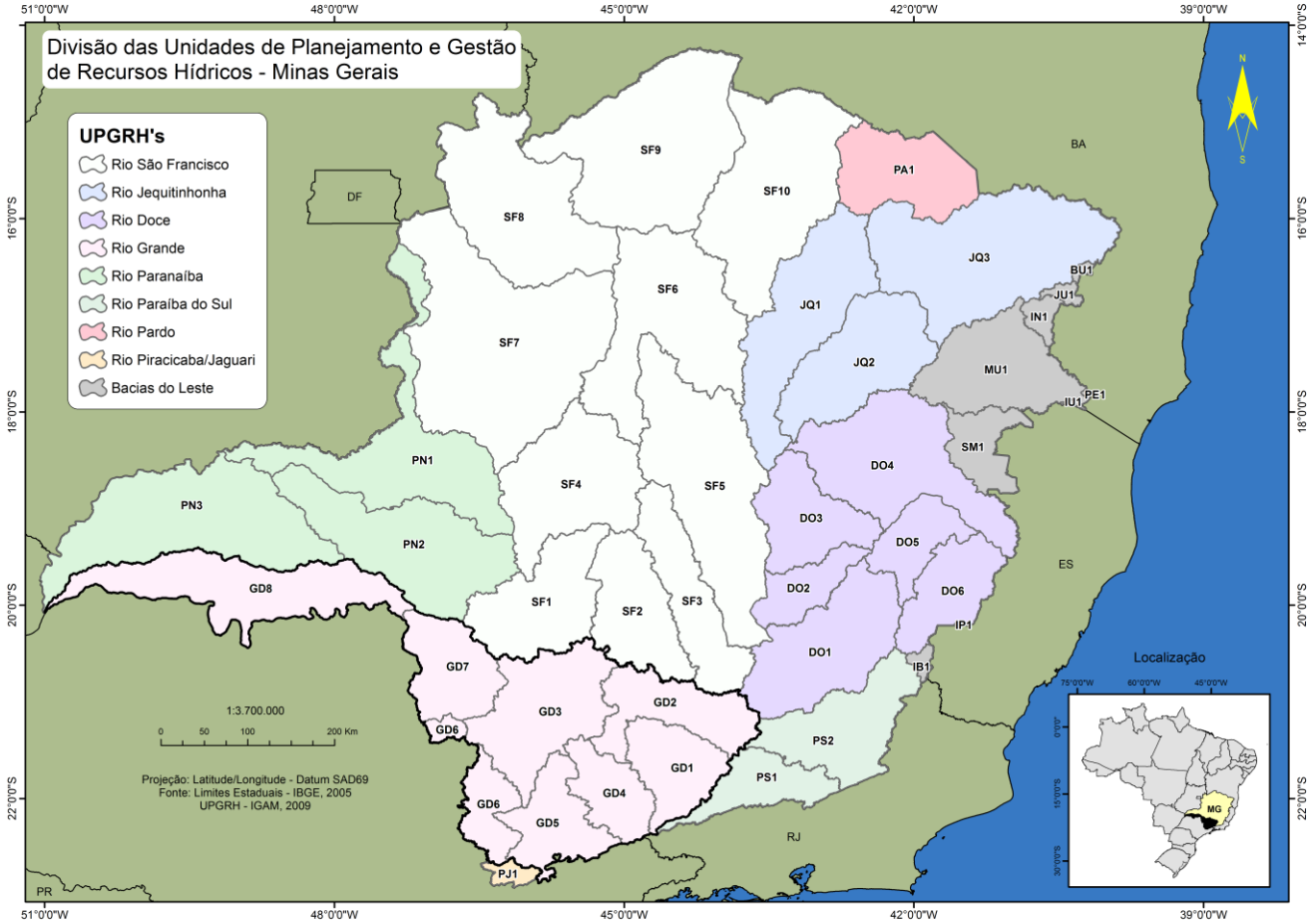
Esta pesquisa foi realizada utilizando dados das redes de monitoramento da qualidade das águas superficiais e das redes fluviométricas da bacia do rio Verde, disponibilizados, respectivamente, pelo IGAM e pela ANA. No item que se segue, serão apresentadas informações sobre a bacia hidrográfica do rio Grande, onde se insere a bacia do rio Verde, visando contextualizar melhor a área de estudo.

4.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Grande localiza-se na região Sudeste do Brasil, na bacia hidrográfica do Paraná, que em conjunto com as bacias do Paraguai e do Uruguai, compõem a bacia do rio da Prata. É uma bacia hidrográfica de expressiva área territorial, com aproximadamente 143 mil km^2 de área de drenagem, e inclui dois importantes estados brasileiros, Minas Gerais, ao norte, com 60,2% da área de drenagem da bacia, e São Paulo, ao sul, com 39,8% da área (CBH Grande, 2015a).

A porção mineira da bacia é formada por oito Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRHs), com 214 municípios e uma população de 3.374.076 habitantes, segundo os dados estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2000) (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, 2015a). O rio principal, o Grande, nasce nas encostas ocidentais da serra da Mantiqueira no município de Bocaina de Minas, Minas Gerais, em altitudes da ordem de 1.250 m. Percorre por volta de 1.300 km antes de se unir ao rio Paranaíba dando origem ao rio Paraná, aproximadamente na cota de 300 m (CBH Grande, 2015a).

Figura 4.1. Localização geográfica e Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos da porção mineira da bacia do rio Grande.



Fonte: Adaptado núcleo Geoprocessamento IGAM/2013

4.1.1 Rede de monitoramento da porção mineira da bacia do rio Grande

4.1.1.1 Rede de monitoramento da qualidade das águas

A porção mineira da bacia hidrográfica do rio Grande vem sendo monitorada em termos de qualidade das águas, desde 1997, no âmbito do programa "Águas de Minas". Em 2014, a rede de monitoramento continha 72 (setenta e duas) estações ativas, distribuídas ao longo da bacia, utilizadas para a amostragem de 54 parâmetros de qualidade da água (Quadro 4.1), com frequências trimestral ou semestral. Ressalta-se que os dados de qualidade da água correspondem às concentrações dos parâmetros.

Quadro 4.1. Parâmetros de qualidade da água monitorados na porção mineira da bacia do rio Grande.

Alcalinidade de bicarbonato	Dureza de cálcio	Selênio total
Alcalinidade total	Dureza de magnésio	Sódio dissolvido
Alumínio dissolvido	Dureza total	Sólidos dissolvidos totais
Arsênio total	Ensaio Ecotoxicológico	Sólidos em suspensão totais
Bário total	Estreptococos fecais	Sólidos totais
Boro total	Fenóis totais	Substâncias tensoativas
Cádmio total	Feofitina *a*	Sulfato total
Cálcio total	Ferro dissolvido	Sulfeto
Chumbo total	Fósforo total	Temperatura da água
Cianeto livre	Magnésio total	Temperatura do ar
Cloreto total	Manganês total	Turbidez
Clorofila *a*	Mercúrio total	Zinco total
Cobre dissolvido	Níquel total	
Coliformes termotolerantes/*E. coli*	Nitrato	
Coliformes totais	Nitrito	
Condutividade elétrica *in loco*	Nitrogênio amoniacal total	
Cor verdadeira	Nitrogênio orgânico	
Cromo total	Óleos e graxas	
Demanda bioquímica de oxigênio	Oxigênio dissolvido	
Demanda química de oxigênio	pH *in loco*	
Densidade de cianobactérias	Potássio dissolvido	

Fonte: Base de dados IGAM (2014)

Desde a implantação da rede até o ano de 2014, incluindo estações ativas e desativadas, foram realizadas 3.591 coletas, com um total de 139.406 dados válidos. Entretanto, o banco de dados não é homogêneo, pois nem todos os parâmetros são amostrados em todas as estações e em todas as campanhas. A denominação, Unidade de Planejamento, descrição e localização de cada estação de monitoramento podem ser visualizadas no Quadro I.1 do Apêndice I.

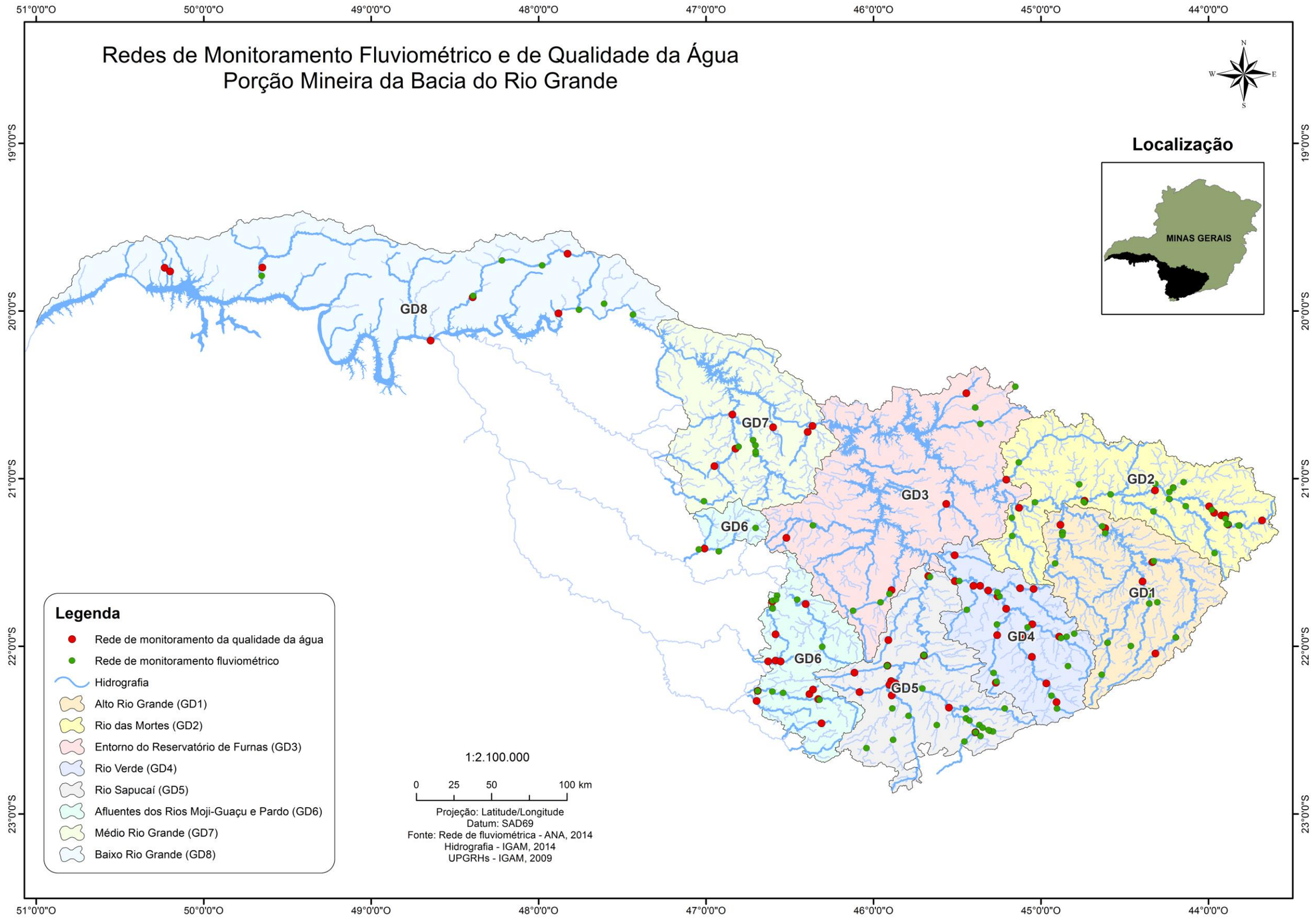
4.1.1.2 Rede de monitoramento fluviométrico

A ANA tem, dentre outras atribuições, a de manter e disponibilizar o cadastro atualizado das estações hidrometeorológicas do País. Em 2014, a porção mineira da bacia do rio Grande contava com 112 estações fluviométricas com medições de descarga líquida, operadas e sob responsabilidade de diferentes entidades. Destaca-se que o ano de início da medição de descarga líquida (vazão) é bastante heterogêneo, sendo encontradas estações com início de medição entre os anos de 1924 a 2014.

A partir das estações fluviométricas com medição de descarga líquida é possível mensurar a vazão dos rios, e as informações oriundas desse monitoramento encontram-se disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas – HidroWeb. O código, curso d'água, município, operadora e localização geográfica de cada estação fluviométrica podem ser visualizadas no Quadro I.2 do Apêndice I.

A distribuição geográfica das estações fluviométricas e das estações de monitoramento de qualidade da água na porção mineira da bacia do rio Grande está apresentada na Figura 4.2.

Figura 4.2. Localização das estações fluviométricas com medição de descarga líquida e das estações de monitoramento de qualidade da água na porção mineira da bacia hidrográfica do rio Grande, no ano de 2014.



Fonte: Mapa elaborado a partir dos dados disponibilizados pela ANA no portal Hidroweb (2014) e pelo IGAM (2014)

Conforme discutido na revisão bibliográfica, o monitoramento da qualidade das águas, no Brasil, não é efetuado conjuntamente com o monitoramento fluviométrico o que impossibilitou o cálculo das cargas de poluentes de forma direta. Assim, foi preciso utilizar técnicas de hidrologia para que o objetivo de se trabalhar com carga pudesse ser alcançado.

Ao se analisar a localização das estações de monitoramento de qualidade de água e das estações fluviométricas (Figura 4.2), observou-se que poucas coincidiam ou sequer estavam localizadas no mesmo curso d'água. Além disso, para algumas estações fluviométricas da bacia do rio Grande os dados de cotas e as medições de descarga líquida apresentavam elevado percentual de dados faltantes. Diante das dificuldades encontradas e do trabalhoso procedimento que seria necessário utilizar para a consistência dos dados fluviométricos e a transferência dos dados de vazão, optou-se por restringir a área de estudo a uma única Unidade de Planejamento visando reduzir o número de estações de monitoramento. Nesta pesquisa, portanto, serão utilizados somente os dados da bacia do rio Verde (Unidade de Planejamento GD4), uma vez que foi esta a UPGRH que apresentou o maior número de estações fluviométricas com séries completas de vazão medida. Apesar de trabalhosa, as técnicas utilizadas são simples na área hidrológica, e a metodologia proposta pode ser facilmente replicada para outras bacias hidrográficas.

4.2 Bacia hidrográfica do rio Verde - GD4

4.2.1 Caracterização geral da bacia do rio Verde

A bacia hidrográfica do rio Verde, afluente do rio Grande, possui uma área de drenagem de 6.891,4 km², o que corresponde a 4,25% da área total da bacia do rio Grande. Quase 450 mil habitantes vivem na bacia, sendo que a população urbana representa aproximadamente 84% da população total. A bacia do Verde abrange 31 municípios, sendo 18 desses com a área total na bacia, incluindo 23 sedes municipais (Figura 4.3) (CBH Grande, 2015b). O rio Verde nasce acerca de 2.600 m de altitude, próximo à divisa de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro, no limite dos municípios de Passa Quatro e Itanhandu, na vertente ocidental da serra da Mantiqueira (ECOPLAN ENGENHARIA *et al.*, 2010a).

Figura 4.3. Municípios e sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Verde.

Fonte: Ecoplan Engenharia *et al.*, 2010a

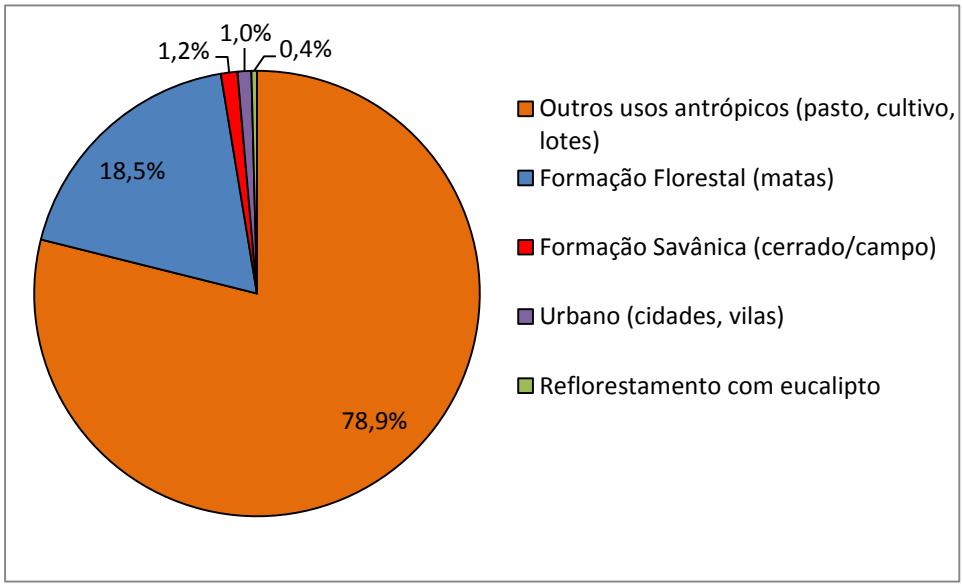
4.2.1.1 Geologia e solo

Em relação à geologia, os principais tipos litológicos encontrados na bacia do rio Verde são rochas pertencentes ao pré-cambriano, destacando-se as rochas que compõem o Complexo Amparo, Andrelândia, Paraisópolis, Varginha e São João Del-Rei. Os quartzitos também ocorrem em diversos complexos. E ocupando áreas pouco expressivas na bacia, ocorrem Formações Quaternárias, compostas por depósitos sedimentares, principalmente aluviais, e coberturas indiferenciadas (ECOPLAN ENGENHARIA *et al.*, 2010a).

4.2.1.2 Uso e ocupação do solo

As características de uso e ocupação do solo na bacia do rio Verde resultam em diferentes fontes de poluição para a qualidade das águas superficiais. A Figura 4.4 apresenta as classes de uso e ocupação do solo mais expressivas na bacia.

Figura 4.4. Distribuição das classes de uso na bacia do rio Verde.



Fonte: Ecoplan Engenharia *et al.*, 2010b

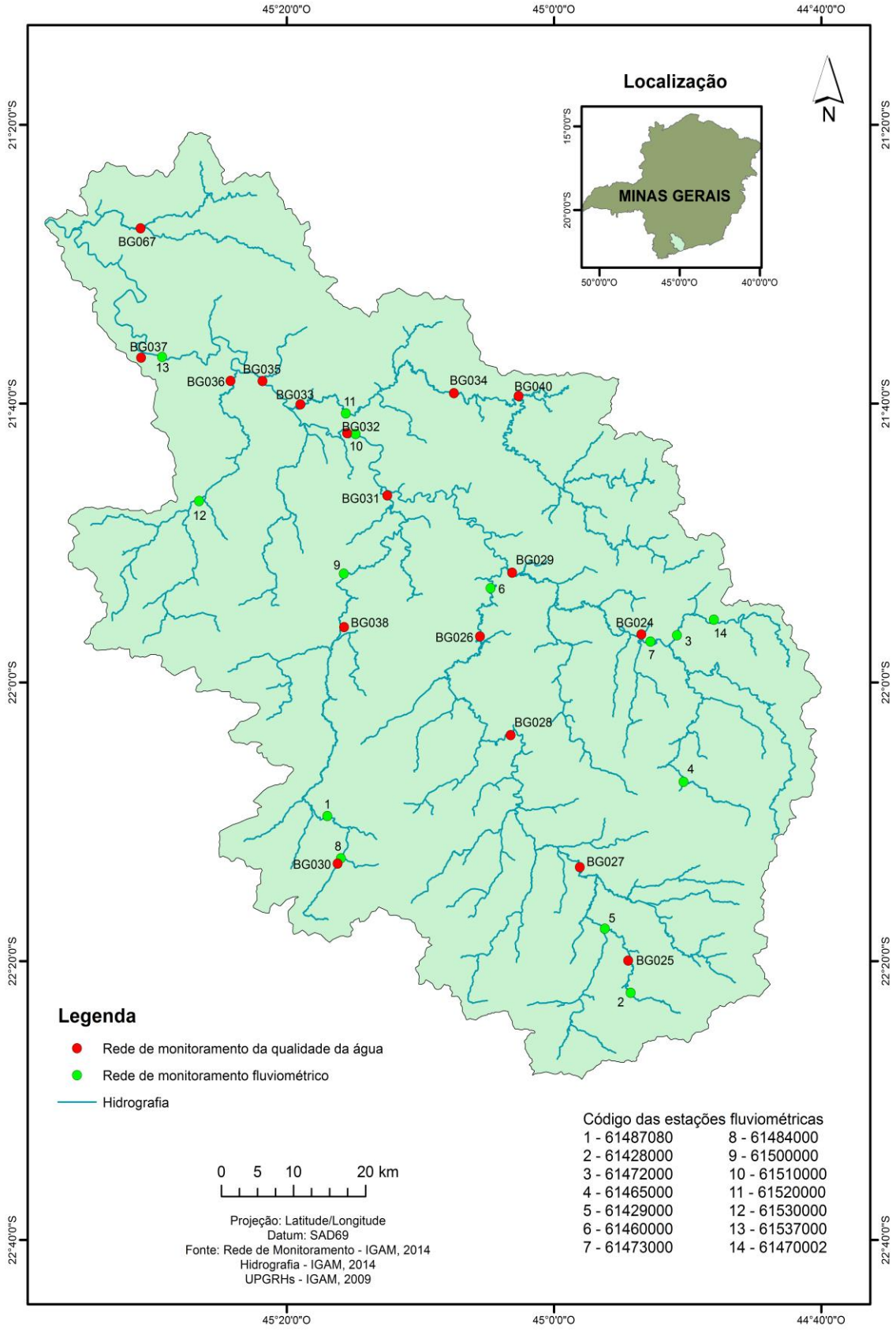
A classe "Outros Usos Antrópicos" foi predominante, representando quase 80% da área total da bacia do rio Verde. Considerando os resultados obtidos pode-se inferir que esta situação pode vir a trazer implicações na disponibilidade dos recursos hídricos, haja vista que o uso do solo é considerado um importante componente da dinâmica hidrológica (ECOPLAN ENGENHARIA *et al.*, 2010b).

Devido à sua localização geográfica, o sul mineiro encontra-se sob influência de três polos: Belo Horizonte, Rio de Janeiro e principalmente São Paulo. Assim, elevadas taxas de atividade e ocupação, níveis elevados de serviços urbanos, comércio e prestação de serviços são características dessa região (ECOPLAN ENGENHARIA *et al.*, 2010b). Na UPGRH GD4 destacam-se as atividades extrativistas, em especial, o cultivo agrícola de café e milho. Outras atividades importantes são aquelas desenvolvidas no parque industrial da sub-bacia do rio Verde, onde se sobressaem as indústrias de curtume, fertilizante e galvanoplastia localizadas nos municípios de maior atividade econômica, como Caxambu, Três Corações e Varginha. A agroindústria proveniente da pecuária bovina e a extração de rocha na Serra São Tomé também são relevantes (IGAM, 2010).

4.2.2 Rede de monitoramento fluviométrico e da qualidade da água

Em 2014, a rede de monitoramento da bacia do rio Verde continha 17 estações de qualidade da água e 14 estações fluviométricas (Figura 4.5). Em relação ao banco de dados de qualidade da água, desde a implantação da rede, em 1997, até o ano de 2014, foram realizadas 961 coletas, com um total de 38.474 observações.

Figura 4.5. Localização das estações fluviométricas e das estações de qualidade das águas na bacia hidrográfica do rio Verde.



Fonte: Mapa elaborado a partir dos dados disponibilizados pela ANA e pelo IGAM (2014)

4.3 Definição e estruturação dos bancos de dados

4.3.1 Definição do banco de dados de monitoramento da qualidade das águas

A definição do banco de dados para aplicação das análises multivariadas e das análises de tendência foi realizada em três etapas: seleção das estações de monitoramento, do período de estudo e dos parâmetros de qualidade da água.

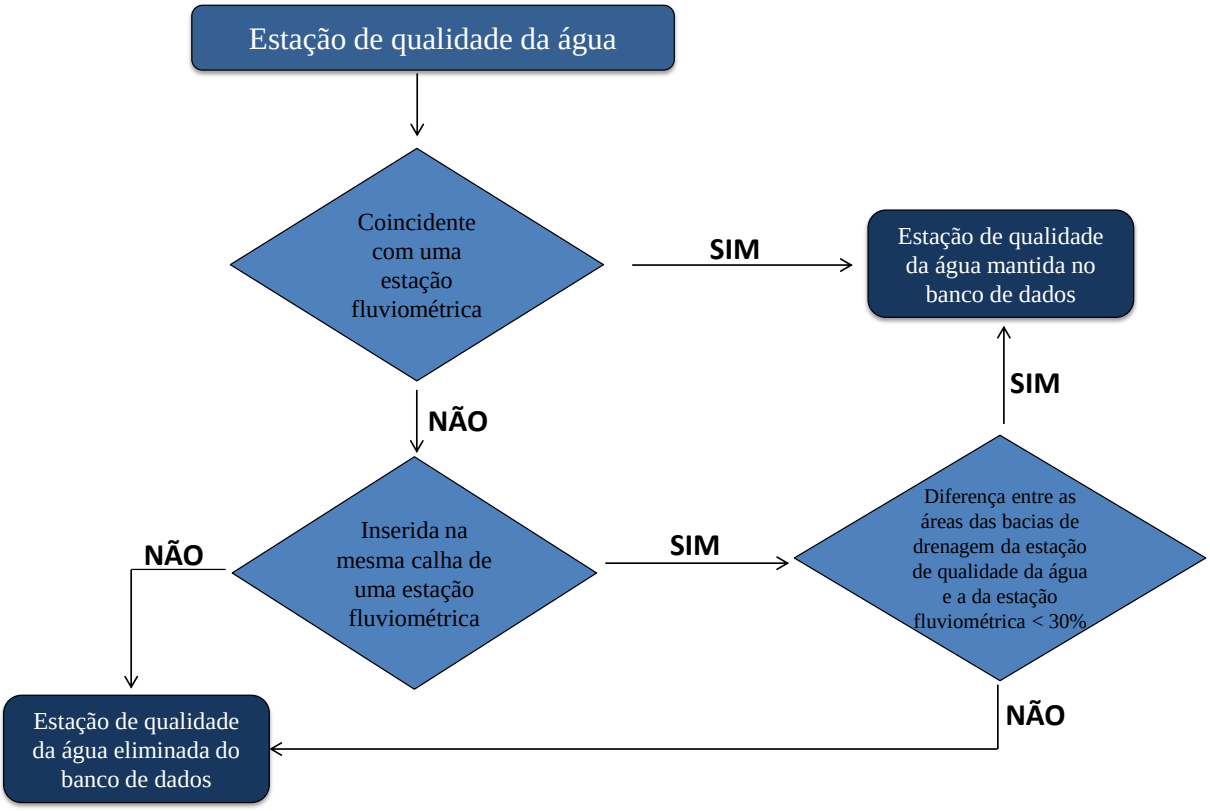
A primeira etapa, seleção das estações de monitoramento, consistiu em uma análise individual de cada uma das estações de qualidade da água. Inicialmente identificaram-se as estações de qualidade das águas coincidentes com as estações fluviométricas. Em seguida foram analisados os casos em que a estação de qualidade das águas encontrava-se inserida na mesma calha fluvial que uma estação fluviométrica. Para esta situação, se a diferença (valor absoluto) entre as áreas das bacias de drenagem do local de interesse (estação de qualidade da água) e a da estação fluviométrica não superasse 30% da área de drenagem da estação fluviométrica, a estação de qualidade de água seria mantida no banco de dados, caso contrário a estação seria excluída. Por fim, foram excluídas do banco de dados as estações de qualidade da água que não estivessem inseridas na mesma calha fluvial que uma estação fluviométrica.

Para o cálculo da carga dos parâmetros foi necessário realizar a transferência da vazão de uma estação fluviométrica para uma estação de qualidade da água proporcionalmente às respectivas áreas de drenagem, isso justifica porque as estações de qualidade da água foram selecionadas segundo os critérios acima mencionados (EUCLYDES *et al*., 2007).

Destaca-se que através do procedimento descrito, a seleção das estações de qualidade da água foi realizada concomitantemente à seleção das estações fluviométricas. A proposta de seleção das estações de monitoramento da qualidade da água pode ser vista no fluxograma da Figura 4.6.

A segunda etapa para a definição do banco de dados consistiu em selecionar o período de estudo. A partir do banco de dados das estações de qualidade da água selecionadas na etapa anterior, observaram-se as datas de ativação e desativação dessas estações de monitoramento, e optou-se por selecionar o período em que nenhuma estação de qualidade da água fosse eliminada.

Figura 4.6. Fluxograma da metodologia proposta para a seleção das estações de monitoramento da qualidade da água.



Para verificação da necessidade de exclusão de parâmetros, terceira etapa, foram calculados os percentuais de dados faltantes e de dados censurados de cada parâmetro de qualidade da água considerando-se os dados das estações e do período selecionado. Analisando-se os resultados simultaneamente, optou-se por eliminar aqueles parâmetros que apresentaram mais de 10% de dados faltantes e mais de 90% de dados censurados, procedimentos já utilizados em outras pesquisas (OLSEN *et al*., 2012; TRINDADE, 2013; ARAÚJO, 2014; CALAZANS, 2015). Esse é um critério importante uma vez que a análise multivariada fica prejudicada pelos dados faltantes, em função da consequente eliminação de outros dados. Para a realização dos testes não paramétricos, os quais trabalham com a ordenação entre os valores, os valores censurados foram considerados iguais aos limites de detecção.

Apesar de existirem alguns parâmetros na bacia com frequência de monitoramento semestral, o critério de eliminar parâmetros que apresentaram mais de 10% de dados faltantes por si só já eliminou os dados com frequência de coleta semestral. Trabalhar com apenas uma frequência de coleta é importante, por permitir comparações mais homogêneas e confiáveis entre a qualidade das águas das diversas estações. Além disso, o período de monitoramento

trimestral é considerado o mínimo para possibilitar a detecção das variações temporais e permitir uma avaliação confiável da qualidade da água.

4.3.2 Estruturação do banco de dados de carga dos parâmetros

A estruturação do banco de dados contendo as informações de carga dos parâmetros, para cada estação de monitoramento e em todas as datas de coletas realizadas, valeu-se dos seguintes passos: consistência dos dados fluviométricos, transferência das vazões e cálculo das cargas.

4.3.2.1 Análise de consistência dos dados fluviométricos

As séries históricas de vazões, de cotas (dupla leitura e médias diárias), de medições de descarga líquida e dos perfis das seções transversais das estações fluviométricas utilizadas no estudo foram obtidas no site da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015b). Visto que os dados da maioria das estações fluviométricas não se encontravam consistidos e apresentavam dados faltantes, foi necessário realizar a análise de consistência, a qual tem como objetivo a depuração e correção de erros e preenchimentos de falhas. A consistência desses dados compreendeu as etapas de organização do banco de dados, análise de cotas, análise de medições de descarga líquida, traçado e análise de curvas-chave e suas extrapolações e a análise de séries de vazões entre estações (análise de continuidade), conforme discutido na revisão bibliográfica. Ressalta-se que toda a metodologia descrita a seguir foi realizada utilizando-se o programa Hidro - Sistema de informações Hidrológicas 1.2 e planilha eletrônica.

4.3.2.1.1 Organização do banco de dados fluviométricos

Nesta etapa foram organizadas as informações do banco de dados, obtido através do Programa HIDROWEB da ANA, contendo toda a série histórica de cotas (dupla leitura e médias diárias), vazões, resumos das medições de descarga líquida, perfis transversais e dados de chuva, de cada uma das estações fluviométricas selecionadas. A partir dessas informações foi possível elaborar um diagrama de barras, visando identificar os períodos de falhas.

4.3.2.1.2 Análise de cotas

Inicialmente os cotagramas diários de cada uma das estações fluviométricas selecionadas foram avaliados em comparação aos cotagramas de estações suporte, ou seja, estações

fluviométricas escolhidas para auxiliar nas análises. Com o objetivo de distinguir entre variações nas cotas ocasionadas pela chuva e variações originadas de erros, os cotagramas também foram plotados junto aos dados de chuva da Bacia. Destaca-se que essa etapa inicial trata-se de uma análise visual, onde foi considerada a forma dos cotagramas das estações, a proporção entre valores e a defasagem no tempo. Nesta análise de cotas também foram utilizadas informações sobre a existência de reservatórios e a derivação de água para diferentes usos, obtidas a partir das outorgas publicadas pelo IGAM.

Dessa forma, foi possível a detecção e correção de erros grosseiros como falsas leituras do observador, erros de cópia ou digitação, erro de metro, erro de complemento e leitura errônea de cotas negativas. Nesta pesquisa, para controle dos erros encontrados, eles foram registrados em planilha eletrônica.

Ademais, realizou-se nessa etapa a análise dos boletins de campo, disponibilizados pela ANA, quando se tinha dúvida da origem do erro detectado. Esse procedimento foi fundamental para confirmação de erros provenientes de digitação.

4.3.2.1.3 Análise de medições de descarga líquida

Foram plotados, para todas as estações, gráficos que relacionassem diferentes parâmetros da estação fluviométrica, quais sejam: gráficos de cota *versus* área, cota *versus* largura, cota *versus* velocidade, cota *versus* profundidade, além de cota *versus* vazão. Para identificar os *outliers* dentro da mesma faixa de cotas, plotou-se também o gráfico de cota *versus* vazão em escala logarítmica. Com base nesses gráficos, os *outliers* identificados foram analisados individualmente para verificar a necessidade ou não de exclusão.

4.3.2.1.4 Traçado e análise de curvas-chave

Para cada estação fluviométrica, determinou-se uma única curva-chave para o período compreendido entre 1990 e 2014. Foi utilizado um período maior para determinação da curva-chave, visando uma melhor compreensão do comportamento da relação cota x vazão ao longo dos anos. Além disso, segundo ISO 1100-2 (2010) *apud* Braca (2008) é recomendável que se tenha no mínimo de 12 a 15 medições de descarga para o desenvolvimento de uma curva-chave.

A determinação das constantes (a, h_0, n) da Equação 3.2, apresentada no item 3.1.4.1.3 da revisão bibliográfica, foi realizada de duas formas: utilizando-se a ferramenta computacional Solver do Microsoft Excel e por regressão linear simples, também com o auxílio do Microsoft Excel. De posse dos valores encontrados para as constantes por esses dois métodos plotaram-se duas curvas-chave (uma utilizando os valores das constantes obtidos pelo solver e a outra utilizando os valores dados pela regressão linear). A dispersão das medições em relação a cada curva-chave foi calculada e analisada, a fim de determinar a curva que melhor descreveu o comportamento da vazão em função da cota.

Assim, para a curva que apresentou o melhor ajuste às medições, calculou-se e plotou-se o desvio percentual entre as vazões medidas e as vazões calculadas (vazões obtidas com a curva-chave). O desvio percentual possibilitou uma análise mais aprofundada da dispersão dos pontos, para averiguar a necessidade ou não de dividir o período de análise em períodos mais curtos. Para as estações que foram necessárias a divisão do período em análise, plotaram-se novas curvas-chave que obtivessem um melhor ajuste às medições para cada novo período. Como mencionado por MOREIRA *et al*., (1996) foi realizada uma avaliação gráfica para verificar a distribuição das medições de vazões em relação à curva-chave e avaliar a necessidade de um ajuste por faixas de cotas.

Destaca-se que para algumas estações foi necessário realizar a extrapolação do ramo inferior da curva-chave, a qual foi efetuada pelo método logarítmico, através do simples prolongamento da curva potencial ou do ajuste de uma relação linear entre os pares de pontos referentes à medição realizada na menor cota e na vazão zero. A cota associada à vazão zero foi estimada a partir do perfil transversal da seção de réguas.

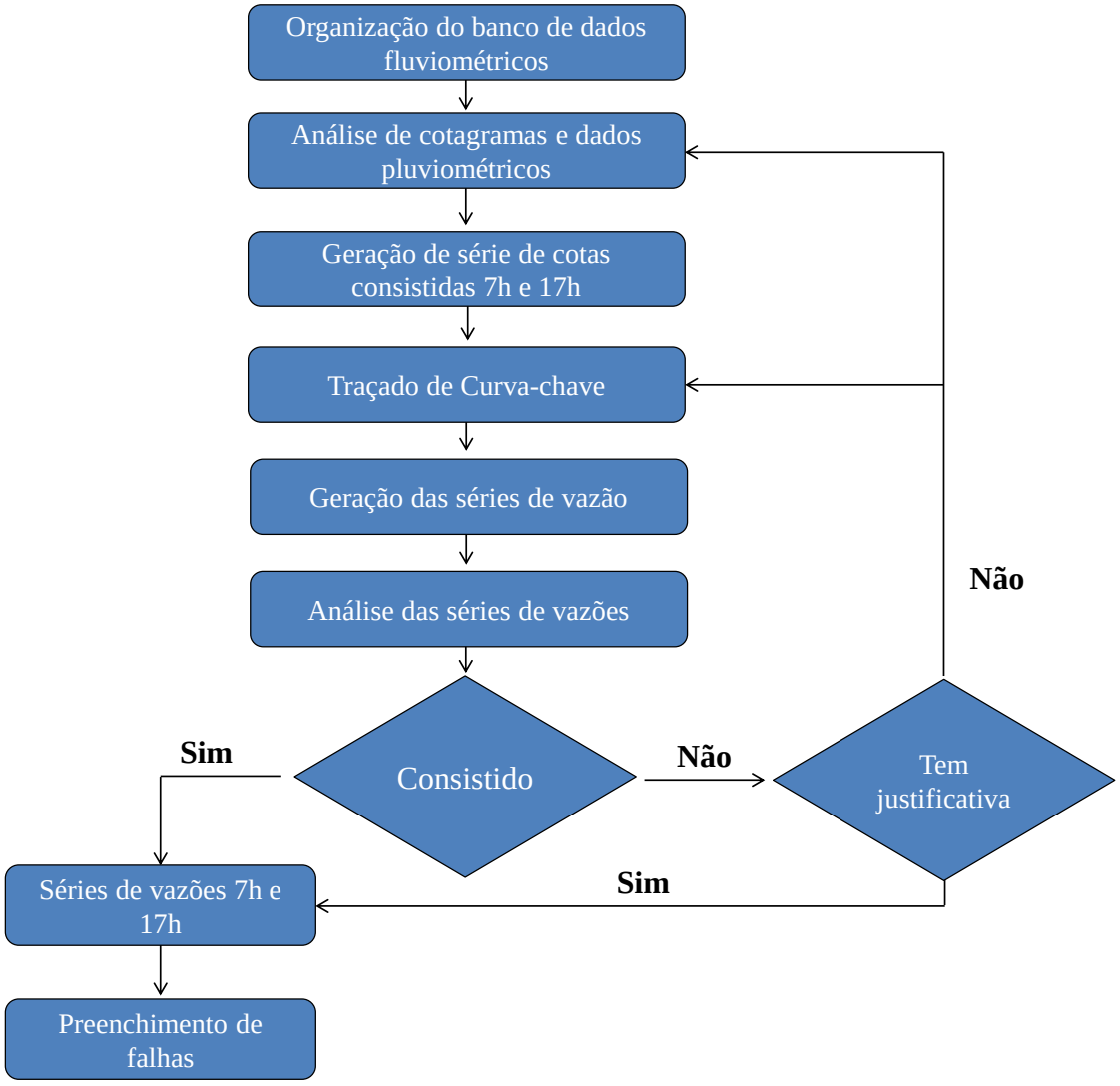
4.3.2.1.5 Análise das séries de vazões

A consistência das informações de vazão foi avaliada após a verificação das curvas-chave. Foram gerados hidrogramas de cada estação fluviométrica e esses foram comparados aos hidrogramas de estações existentes a montante e a jusante. Na análise dos hidrogramas, foi considerada a forma do hidrograma da estação analisada e das estações de apoio, a proporção entre valores e a defasagem no tempo. Também foram analisados com cuidado os casos em que a vazão de uma determinada estação foi inferior a da estação de montante, apesar do incremento na área de drenagem (PACA, 2008; LEMOS *et al*., 2013).

Para as séries de vazões nas quais foi necessário realizar o preenchimento de falhas utilizou-se o método de percentis iguais, como descrito por Harvey *et al*. (2012).

As etapas empregadas para análise de consistência dos dados fluviométricas são apresentadas no fluxograma da Figura 4.7.

Figura 4.7. Fluxograma das etapas necessárias à obtenção das séries de vazões consolidadas.



1.1.1.1 Transferência das vazões

Conforme mencionado na revisão bibliográfica, a forma mais simples de transferência de vazão é o estabelecimento de uma relação linear entre vazão e a razão entre as áreas de drenagem do ponto de coleta de qualidade da água e da estação fluviométrica (COLLISCHONN e TASSI, 2008). Para estimar a vazão em um local sem dados, a equação de correlação é definida por:

$$Q_{QA} = Q_{Flu} \times \frac{A_{QA}}{A_{Flu}}$$

Onde,

Q_{QA}= vazão na estação de monitoramento da qualidade da água

Q_{Flu}= vazão na estação fluviométrica

A_{QA}= área de drenagem da estação de monitoramento da qualidade da água

A_{Flu}= área de drenagem na estação fluviométrica

As limitações empíricas sugeridas por Euclydes *et al*. (2007), para se adotar o procedimento de transferência da vazão proporcionalmente à respectiva área de drenagem, foram adotadas.

A bacia hidrográfica do rio Grande em Minas Gerais é considerada como hidrologicamente homogênea para as vazões médias, máximas e curvas de regularização. No caso das vazões mínimas anuais e sazonais (período seco e chuvoso) foram identificadas duas regiões hidrologicamente homogêneas, sendo que a bacia do rio Verde está inserida na Região I. Ademais, a relação entre a demanda e a disponibilidade de água é indicada como excelente para a bacia do rio Verde, ou seja, as vazões outorgadas na bacia são inferiores a 5% da vazão média de longo termo (EUCLYDES *et al*., 2007).

Assim, a partir do exposto acima, as sub-bacias do rio Verde são consideradas hidrologicamente homogêneas tornando pertinente a aplicação da metodologia de transferência de vazões descrita neste item.

2.1.1.1 Cálculo das cargas dos poluentes

A quantificação da carga de poluentes foi determinada por meio da Equação 3.2, apresentada na revisão bibliográfica, a qual consiste no produto dos valores de concentração de poluentes, determinados para cada estação na sub-bacia estudada, pela vazão do rio neste mesmo ponto. A carga poluente foi determinada para os parâmetros de qualidade selecionados.

Quando as estações de monitoramento de qualidade da água eram coincidentes com as estações fluviométricas o cálculo das cargas foi realizado de maneira direta, ou seja, a concentração dos parâmetros de qualidade da água foi multiplicada pela vazão observada no rio, no dia exato das amostragens de qualidade e horário mais próximo às 7 ou 17 horas.

Por outro lado, se a estação de qualidade da água e a estação fluviométrica estivessem inseridas na mesma calha fluvial e a diferença (valor absoluto) entre as áreas das bacias de drenagem do local de interesse (estação de qualidade da água) e a da estação fluviométrica não superasse 30% da área de drenagem da estação fluviométrica, primeiramente a transferência de vazão foi efetuada e posteriormente a carga dos poluentes foi calculada.

Apesar de simples, esta etapa foi bastante trabalhosa, uma vez que foi necessário efetuar uma análise simultânea dos bancos de dados: em uma determinada estação de qualidade, para uma data de coleta e parâmetro específicos, foi necessário utilizar o dado de concentração deste parâmetro e identificar o dado de vazão da estação fluviométrica correspondente na mesma data e no horário mais próximo (às 7 ou 17 horas). Esse procedimento foi realizado para todo o conjunto de dados.

Após o cálculo da carga dos poluentes, passou-se a ter dois bancos de dados: um contendo as informações de concentração e o outro os dados de carga, ambos contemplando os mesmos parâmetros, estações e período selecionados.

Os próximos itens abordarão a metodologia utilizada para a avaliação das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Verde, e foi aplicada tanto aos dados de concentração quanto aos dados de cargas dos parâmetros, visando à comparação dos resultados.

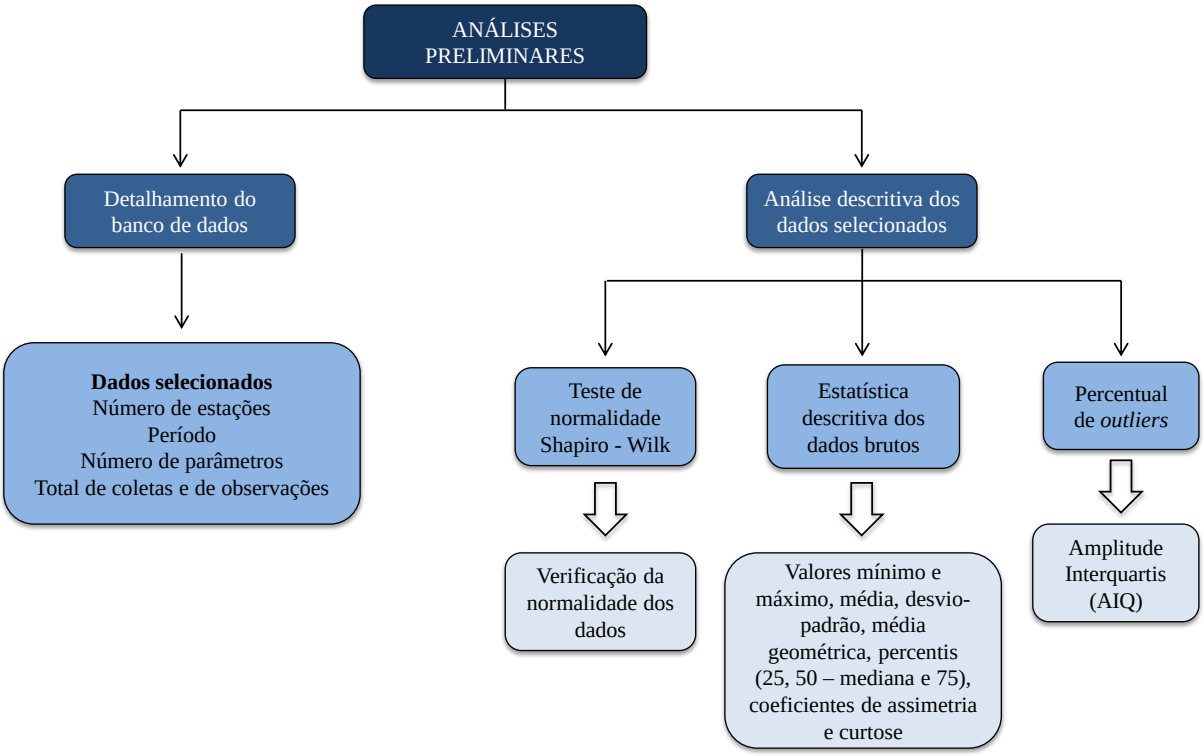
4.4 Análise descritiva dos dados de concentração e de carga

A síntese da metodologia empregada nesta etapa é apresentada no fluxograma da Figura 4.8. Realizou-se um detalhamento do banco de dados selecionado, especificando número de estações, parâmetros, coletas e observações, além do período de estudo. A normalidade dos dados foi verificada, para cada estação e para cada parâmetro, pela aplicação do teste de Shapiro-Wilk ao nível de significância (α) de 5%.

Na análise descritiva dos dados selecionados foram apresentados os valores mínimo e máximo, a média, o desvio-padrão, a média geométrica, os percentis (25, 50 – mediana e 75) e os coeficientes de assimetria e curtose. Ademais, para a detecção de *outliers* utilizou-se 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+1,5*AIQ*) e, analogamente, *outlier* inferior todo valor

menor que (Q_1-1,5*AIQ*) (NAGUETTINI e PINTO, 2007), e os dados foram examinados quanto ao número e ao percentual de *outliers*. As ocorrências de *outliers* foram analisadas individualmente para verificar a necessidade de exclusão desses das análises (HAIR *et al.*, 2009).

Figura 4.8. Fluxograma da metodologia para a análise descritiva dos dados de concentração e de carga dos poluentes.



4.5 *Avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Verde, em termos de concentração e de carga dos poluentes*

A avaliação da qualidade da água da bacia hidrográfica do rio Verde consistiu em uma análise sobre a variabilidade espacial e temporal da qualidade da água, empregando técnicas estatísticas multivariadas e análise de tendência, utilizando os softwares *Statistica* 10.0 e *XLStat* 2014.5. Dessa forma, esse estágio da pesquisa consistiu de duas etapas: (i) avaliação espacial da qualidade das águas, por meio de análises multivariadas e, subsequente, identificação das estações de monitoramento mais impactadas e determinação dos parâmetros mais significativos para a degradação observada na qualidade da bacia do rio Verde, em termos de carga e concentração e (ii) avaliação de tendências temporais das séries históricas.

4.5.1 Avaliação espacial da qualidade da água

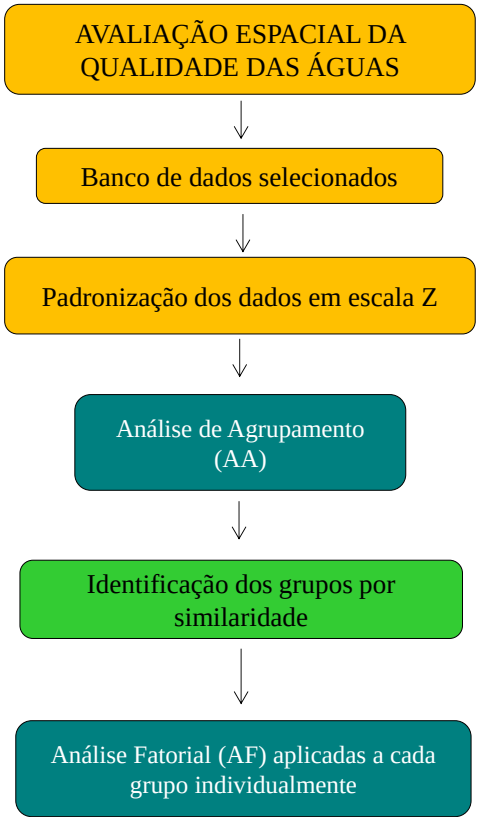
Para efetuar uma comparação espacial entre as estações de monitoramento presentes na bacia do rio Verde, foi empregada a análise exploratória dos dados, por meio da aplicação das técnicas multivariadas. Para isto, as observações do banco de dados selecionado foram padronizadas, com transformação para escala-Z (média 0 e desvio-padrão 1: $Z=(X - \mu)/\sigma$), com o objetivo de se evitar interferências nos resultados devido às diferentes unidades de medida dos parâmetros de qualidade das águas. A Figura 4.9 apresenta um fluxograma resumo da metodologia aplicada nesta etapa.

A Análise de Agrupamento (AA) foi empregada com o objetivo de avaliar a similaridade das estações de monitoramento (variação espacial) em função das concentrações e das cargas dos parâmetros de qualidade das águas mensurados. Dessa forma, foi utilizado o método aglomerativo hierárquico, de ligação completa, utilizando como medida de similaridade a distância euclidiana. Para identificar áreas cuja qualidade das águas é similar na bacia hidrográfica, analisou-se a localização geográfica dos grupos formados. Essa análise foi realizada para verificar as variações espaciais na bacia do rio Verde, em função da qualidade da água das diferentes estações de monitoramento.

Para complementar a AA e justificar os agrupamentos encontrados, foi executada a Análise Fatorial (AF), com o objetivo de identificar os parâmetros mais importantes para a caracterização da qualidade das águas da bacia, ou seja, os parâmetros responsáveis por explicar a maior variabilidade da qualidade da água e as diferentes fontes de poluição atuantes em cada grupo formados pela AA. Destaca-se que na AF foi utilizado o método de extração por Componentes Principais e rotação *varimax*.

Com o objetivo de encontrar diferenças significativas entre as medidas dos parâmetros de qualidade da água dos grupos formados pela AA, foi aplicado o teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis (KW), ao nível de significância de 5%, e, no caso de detecção de diferença significativa entre os grupos ($p<0,05$), o teste de comparações múltiplas de Dunn foi utilizado para detectar quais grupos diferem entre si. Assim, os parâmetros responsáveis por diferenciar os grupos foram identificados.

Figura 4.9. Fluxograma da metodologia proposta para a avaliação espacial da qualidade das águas.

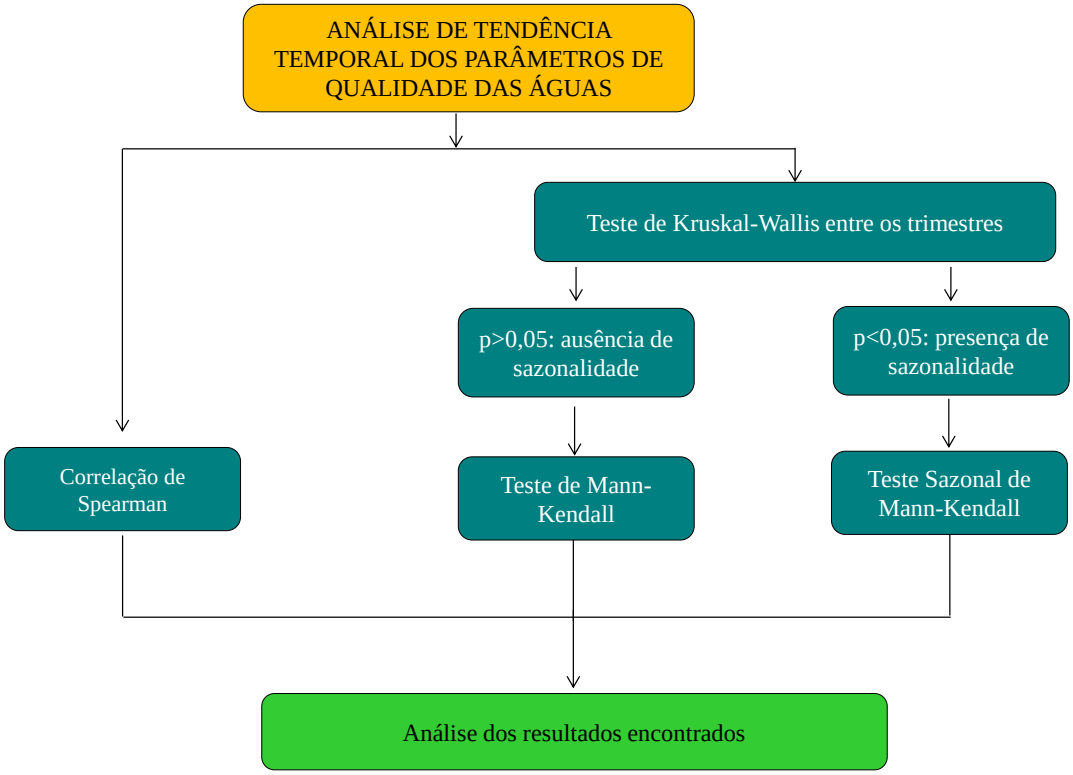


4.5.2 Análises de tendências temporais

Efetuou-se a análise de tendência temporal em cada uma das estações de monitoramento e parâmetros selecionados anteriormente, em termos de concentração e carga. Os dados analisados possuem frequência trimestral de coleta, e o período de análise também foi o mesmo que o selecionado para aplicação das análises multivariadas.

A análise das séries temporais foi realizada adotando-se os seguintes passos: verificação da autocorrelação da série temporal utilizando-se o teste de correlação de Spearman, teste de KW, para verificação de diferenças significativas entre as estações do ano e testes de tendências temporais (Figura 4.10).

Figura 4.10. Fluxograma da metodologia proposta para a análise de tendências temporais.



Desse modo, inicialmente, os dados por trimestres do ano foram comparados entre si pelo teste KW, seguido do teste de comparações múltiplas de Dunn (quando aplicável), com nível de significância de 5%, para verificar diferenças significativas entre os dados medidos nas diferentes estações do ano.

A comparação entre os quatro trimestres do ano por meio do teste de KW foi realizada com o intuito de verificar a presença ou a ausência de sazonalidade. Assim, caso verificada diferença significativa entre os trimestres ($p<0,05$), foi considerada a existência de influência da sazonalidade dos dados e o teste Sazonal de Mann-Kendall (SMK) foi aplicado em seguida. Nos casos em que o p-valor do teste KW para sazonalidade não foi considerado significativo ($p>0,05$), a tendência temporal dos parâmetros foi verificada pela aplicação do teste Mann-Kendall (MK). O valor da estatística S do teste indica se houve tendência positiva ou negativa para o parâmetro. Tanto para o teste de MK quanto para o teste SMK foram utilizados todos os dados da série histórica selecionada, uma vez que a frequência de amostragem é a mesma para todas as estações de monitoramento.

Posteriormente, para ratificar os resultados encontrados nos teste de tendências temporais, foi aplicado o teste de correlação de Spearman com o objetivo de verificar a autocorrelação da série temporal. Assim, os dados de monitoramento foram ordenados do mais antigo para o

mais recente e, então, relacionados com o tempo. Correlações com p-valor menores que 0,05 (nível de confiança de 95%) foram consideradas significativas, ou seja, há uma tendência ao longo do tempo para o parâmetro analisado em determinada estação. Ressalta-se 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).

Por fim, de acordo com as combinações possíveis de resultados indicadas no Quadro 4.2, os resultados dos dois testes foram analisados para determinar a tendência de cada parâmetro, para cada estação.

Quadro 4.2. Combinações possíveis dos resultados de tendência a partir dos resultados dos testes de Correlação de Spearman e Teste de Mann-Kendall.

Teste MK ou SMK / **Teste de Correlação de Sperman**	**p-valor < 0,05**		**p-valor > 0,05**
	S[1] > 0	**S < 0**	
p-valor < 0,05	Tendência significativa de elevação	Tendência significativa de redução	Inconclusivo com possibilidade de elevação ou de redução, conforme o valor de S[1]
p-valor > 0,05	Inconclusivo com possibilidade de elevação	Inconclusivo com possibilidade de redução	Sem tendência

[1] Estatística S do Teste de Mann-Kendall/Sazonal de Mann-Kendall (Fonte: adaptado de Costa (2014))

Através da análise de tendência temporal foi possível avaliar a evolução da qualidade da água nas estações de monitoramento em termos de carga e concentração dos parâmetros. E para um melhor entendimento dos resultados apontados pelos testes estatísticos foram elaborados gráficos com os dados da série histórica (melhor observação das tendências ao longo do período) e mapas para cada parâmetro selecionado (melhor visualização da tendência de cada parâmetro em cada estação de monitoramento).

Todos os teste relativos à análise de tendência temporal foram executados utilizando os softwares *Statistica* 10.0 e *XLStat* 2014.5. Salienta-se que a utilização deste procedimento de análise é reportada por outros autores (GROPPO, 2005; CHRISTOFARO e LEÃO, 2009; TRINDADE, 2013; BARBOSA, 2015).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Definição e estruturação dos bancos de dados

5.1.1 Definição do banco de dados do monitoramento da qualidade das águas

A seleção das estações de monitoramento utilizadas nas análises estatísticas foi realizada seguindo-se o procedimento descrito na metodologia. A última coluna da Tabela 5.1 mostra o resultado da seleção, se foi possível ou não realizar a transferência dos dados de vazão da estação fluviométrica para a estação de qualidade, após aplicação dos critérios pré-definidos.

As estações de monitoramento de qualidade da água selecionadas e a estação fluviométrica correspondente estão apresentadas na Tabela 5.1, e suas localizações geográficas na Figura 5.1.

Na etapa de seleção de estações de monitoramento da qualidade da água, as estações BG030 e BG032 foram as primeiras a serem selecionados por serem coincidentes com estações fluviométricas. Em contrapartida, as estações BG040 e BG067 foram diretamente excluídas, por não existir nenhuma estação fluviométrica inserida no mesmo curso d'água.

Um dos critérios fundamentais para realizar a transferência de vazão é que a diferença (valor absoluto) entre as áreas das bacias de drenagem da estação fluviométrica (ADFLU) e a da estação de qualidade da água (ADQA) não deve superar 30% da área de drenagem da estação fluviométrica. Dessa forma, como o ponto de coleta de amostra de qualidade da água pode estar a jusante ou a montante da estação fluviométrica, a estação de qualidade da água deve ter uma área de drenagem dentro do intervalo de 0,70 a 1,3 da área de drenagem da estação fluviométrica, ou seja, a relação ADQA/ADFLU deve estar nesse intervalo. Em vista disso, observa-se que houve exclusão de seis estações de monitoramento de qualidade da água por não atenderem a esse critério.

Cabe, ainda, ressaltar que duas estações fluviométricas selecionadas, cada uma delas atenderam aos critérios definidos para duas outras estações de qualidade de água: a 61500000, atendeu aos critérios definidos tanto em relação à estação de qualidade da água BG031 quanto em relação à BG038; e a 61510000 atendeu aos critérios em relação às estações BG032 e BG035.

A partir das estações de qualidade da água selecionadas, de acordo com a data de estabelecimento das mesmas (Quadro I.1 do Apêndice I), o período de análise escolhido foi de julho de 2008 a novembro de 2014. Esse período de monitoramento é contínuo e comum entre todas as estações selecionadas, critério indispensável para a aplicação dos métodos de estatística multivariada.

Para definição dos parâmetros a serem utilizados, consideraram-se os critérios também definidos na metodologia. Dos 54 parâmetros de qualidade da água, somente 20 apresentaram menos de 10% de dados faltantes. Os parâmetros chumbo total e cromo total apresentaram mais de 90% de dados censurados e por isso foram eliminados das análises. Ademais, os parâmetros temperatura do ar e coliformes totais também foram retirados do banco de dados por não serem representativos para avaliação da qualidade da água. Ressalta-se que os resultados de *E. coli* foram utilizados em conjunto com os resultados de coliformes termotolerantes para complementar a série histórica desse indicador de contaminação fecal, visto que, conforme abordado no capítulo anterior, o parâmetro *Escherichia coli* passou a ser avaliado em substituição aos coliformes termotolerantes, a partir da primeira campanha de 2013.

Os parâmetros: turbidez, condutividade elétrica *in loco* e temperatura da água possuem unidades de medição em que não é possível o cálculo da carga, e o parâmetro pH *in loco* é adimensional. Então, esses parâmetros também foram excluídos do banco de dados para que não interferissem na comparação dos resultados obtidos em termos de concentração e de carga.

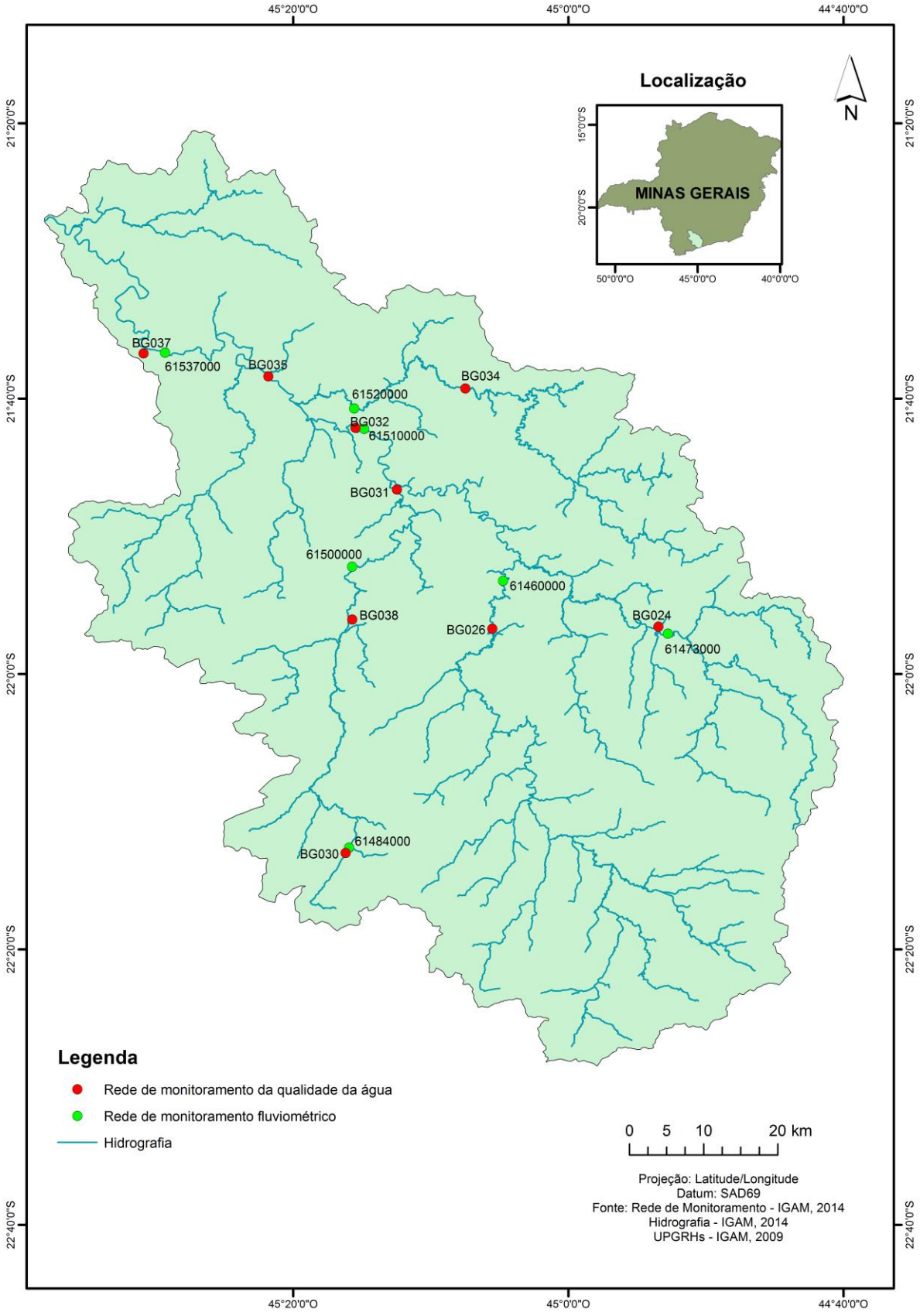
Tabela 5.1. Resultados referentes à etapa de seleção das estações fluviométricas e de monitoramento de qualidade da água.

Estações de qualidade	Localização		Área de drenagem da estação de qualidade (km^2)	Estações fluviométricas	Localização		Área de drenagem da estação fluviométrica (km^2)	ADQA/ADFLU	Resultado
	Latitude	Longitude			Latitude	Longitude			
BG025	-22,33	-44,91	85	61429000	-22,29	-44,94	292	0,3	Não Transferir
BG027	-22,22	-44,97	700					2,4	Não Transferir
BG030	-22,22	-45,27	73	61484000	-22,21	-45,27	73	1,0	Coincidente
BG031	-21,78	-45,21	940	61500000	-21,87	-45,26	744	1,3	Transferir
BG038	-21,93	-45,26	656					0,9	Transferir
BG029	-21,87	-45,05	1138	61473000	-21,95	-44,88	614	1,9	Não Transferir
BG024	-21,94	-44,89	620					1,0	Transferir
BG028	-22,06	-45,05	1104	61460000	-21,89	-45,08	1840	0,6	Não Transferir
BG026	-21,95	-45,09	1795					1,0	Transferir
BG035	-21,64	-45,36	5432	61510000	-21,70	-45,25	4180	1,3	Transferir
BG032	-21,70	-45,26	4180					1,0	Coincidente
BG033	-21,67	-45,32	1196	61520000	-21,68	-45,26	854	1,4	Não Transferir
BG034	-21,65	-45,12	560					0,7	Transferir
BG036	-21,64	-45,40	571	61530000	-21,78	-45,44	360	1,6	Não Transferir
BG037	-21,61	-45,52	6305	61537000	-21,61	-45,49	6300	1,0	Transferir
BG040	-21,66	-45,04	-	Nenhuma estação fluviométrica localizada na mesma calha fluvial que a estação de qualidade da água					
BG067	-21,46	-45,52	-	Nenhuma estação fluviométrica localizada na mesma calha fluvial que a estação de qualidade da água					

ADQA – Área de drenagem da estação de monitoramento de qualidade da água; ADFLU – Área de drenagem da estação fluviométrica

- Não foi realizado o cálculo da área de drenagem

Figura 5.1. Localização das estações fluviométricas e das estações de qualidade das águas selecionadas, na bacia hidrográfica do rio Verde.



Dessa forma, para o estudo proposto, o banco de dados consolidado da bacia do rio Verde contém nove estações de monitoramento de qualidade da água e oito estações fluviométricas, (descritas, respectivamente, no Quadro II.1 e II.2 do Apêndice II), doze parâmetros de qualidade da água amostrados em 234 coletas trimestrais, totalizando 2.776 observações para o período de julho de 2008 a 2014. As características do banco de dados consolidado da bacia do rio Verde estão apresentadas no Quadro 5.1.

Observa-se que das dezessete estações de monitoramento na Bacia, oito foram excluídas devido à impossibilidade de cálculo da carga dos poluentes. Entretanto, isto não comprometeu a pesquisa, já que o objetivo foi mostrar que os estudos produzidos utilizando somente dados de concentração dos parâmetros não fornecem resultados confiáveis sobre a qualidade das águas. Além disso, um elevado percentual de parâmetros foi excluído, consequência da falta de padronização da frequência de amostragem entre as estações de monitoramento.

Com a seleção das estações, já fica evidente a necessidade de medição de vazão no momento da coleta das amostras para a análise de qualidade. Pois mesmo que os dados de vazão possam ser transferidos de uma estação fluviométrica para uma estação de qualidade, por algum fator restritivo nem todas as estações de qualidade de água poderão ser utilizadas. Sejam por não haver estação fluviométrica no mesmo curso d'água, grandes diferenças entre as áreas de drenagem, falta de dados de vazão na estação fluviométrica utilizada, entre outros.

Quadro 5.1. Características do banco de dados de monitoramento selecionado da bacia do rio Verde.

Período	3° trimestre de 2008 ao 4° trimestre de 2014
Estações de monitoramento da qualidade da água	BG024, BG026, BG030, BG031, BG032, BG034, BG035, BG037, BG038
Estações fluviométricas	61484000, 61500000, 61473000, 61460000, 61510000, 61520000, 61537000
Parâmetros	Cloreto total, clorofila *a*, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, feofitina *a*, fósforo total, nitrato, nitrogênio amoniacal total, oxigênio dissolvido, sólidos em suspensão totais, sólidos totais
Total de coletas	234
Dados válidos	2.776

Os parâmetros de qualidade de água selecionados, bem como sua notação de referência e unidade de medida são apresentados no Quadro 5.2.

Quadro 5.2. Nome, notação de referência e unidade dos parâmetros selecionados para análise no presente estudo.

Parâmetro	Notação de referência	Unidade em termos de concentração	Unidade em termos de carga
Cloreto total	Cl^-_T	mg/L	kg/dia
Clorofila *a*	Cl-α	µg/L	kg/dia
Coliformes termotolerantes	Coli. term.	NMP/100 mL	NMP/dia
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO	mg/L O_2	kg/dia O_2
Demanda Química de Oxigênio	DQO	mg/L O_2	kg/dia O_2
Feofitina *a*	Feof-*a*	µg/L	kg/dia
Fósforo total	P_T	mg/L P	kg/dia P
Nitrato	$N\text{-}NO_3^-$	mg/L N	kg/dia N
Nitrogênio amoniacal total	$N\text{-}NH_4^+{}_T$	mg/L N	kg/dia N
Oxigênio dissolvido	OD	mg/L O_2	kg/dia O_2
Sólidos em suspensão totais	SST	mg/L	kg/dia
Sólidos totais	ST	mg/L	kg/dia

5.1.2 Estruturação do banco de dados de carga dos parâmetros

Após a seleção das estações de monitoramento de qualidade da água e, consequentemente, a seleção das estações fluviométricas, foi possível estruturar o banco de dados referente aos dados de carga dos parâmetros.

Conforme detalhado na descrição da metodologia, para a obtenção dos dados de carga foi necessário, inicialmente, realizar a consistência dos dados fluviométricos (composta pelas etapas de análise de cotas, análise de medições de descarga líquida, traçado e análise de curvas-chave e suas extrapolações e a análise das séries de vazões geradas, de acordo com o que foi apresentado no item 3.1.4.1 da revisão bibliográfica).

Em relação a essa fase da pesquisa, algumas dificuldades foram encontradas mesmo após a redução da área de estudo. Abaixo são apresentadas algumas dessas dificuldades:

- Dentre as estações fluviométricas selecionadas somente uma, a 61537000, encontrava-se com os dados fluviométricos consistidos, e nenhuma delas apresentava curvas-chave previamente definidas.

- Somente os dados de cotas observados são diários e por isso é necessário traçar curvas-chave para cada estação fluviométrica para obtenção de dados diários de vazão. Segundo a ANA (2009), a avaliação diária das vazões, por um processo direto, é excessivamente onerosa e complicada, dessa forma, opta-se em geral pelo registro

diário, duas vezes ao dia (nas estações da ANA às 7 horas e às 17 horas – as chamadas cotas observadas) do nível d'água, e pela determinação da relação entre o nível de água e vazão (curva-chave).

- Nas estações fluviométricas selecionadas para essa pesquisa, devido à ocorrência de períodos sem dados de cotas observadas, mesmo de posse das curvas-chave, os dados de vazão de algumas datas específicas tiveram que ser estimados.

- Outra dificuldade importante relaciona-se ao fato das informações apresentadas na ficha descritiva das estações fluviométricas nem sempre condizerem com o que realmente está disponível. Para exemplificar: na ficha descritiva da estação fluviométrica 61428000, consta que ela possui medição de descarga líquida, é uma estação em operação e que a última atualização dos dados dessa estação foi realizada no dia 12 de setembro de 2014. No entanto, ao se tentar obter os dados da série histórica, eles não se encontravam disponíveis. Realizando contato com a empresa responsável por sua operação, informaram que essa estação não foi monitorada na última década.

Por não ser este o foco da pesquisa, os principais resultados obtidos nesta etapa de consistência dos dados fluviométricos são apresentados no Apêndice II - Análise de consistência dos dados fluviométricos.

Conforme comentado acima, devido à ausência de cotas observadas em algumas datas, foi necessário preencher as falhas nas séries de vazão. Nesta pesquisa, o preenchimento foi realizado utilizando-se o método de percentis iguais.

De posse dos dados de vazão, observou-se a data de cada coleta nas estações de qualidade da água e buscou-se o valor de vazão naquela data específica na estação fluviométrica correspondente. Então, utilizando a Equação 4.1 e os dados da área de drenagem apresentados na Tabela 5.1 foi realizada a transferência dos dados de vazão.

Finalmente, os dados de carga dos poluentes foram obtidos utilizando-se a Equação 3.1, na qual os dados de concentração dos parâmetros foram multiplicados pelos dados de vazão obtidos na etapa anterior.

5.2 Análise descritiva dos dados de concentração e de carga

Os dados selecionados foram analisados por meio de estudos estatísticos preliminares, visando o conhecimento e caracterização dos mesmos, tanto em termos de concentração quanto em termos de carga. E, apesar das análises serem preliminares, elas podem fornecer informações importantes para a interpretação dos dados.

No apêndice III é apresentada a estatística descritiva tanto dos dados de concentração (Tabela III.1 a III.9) quanto dos dados de carga dos parâmetros (Tabela III.10 a III.18). Para cada estação de monitoramento foram calculados os valores mínimos, máximos, percentil 25, percentil 50 (mediana), percentil 75, média, desvio-padrão, média geométrica e coeficientes de assimetria e curtose, para cada parâmetro de qualidade da água.

Analisando-se as medianas das concentrações dos parâmetros de qualidade da água por estação de monitoramento, notou-se que a estação BG038 apresentou as maiores medianas para os parâmetros DQO, P_T e $N\text{-}NH_4{}^+{}_T$ e o menor valor mediano de OD em relação às demais estações analisadas, enquanto a estação BG030 apresentou valores medianos de concentração para coliformes termotolerantes superior às demais. Por outro lado, a estação BG024 destaca-se por apresentar os menores valores medianos para a maioria dos parâmetros analisados, indicando qualidade da água menos degradada.

Em termos de carga dos parâmetros de qualidade da água, a estação BG037 se destaca em relação aos maiores valores medianos de carga de poluentes nas amostras de qualidade da água. Enquanto a estação BG030 apresenta os menores valores medianos de carga para a maioria dos parâmetros. Essa análise pode indicá-las como as estações cuja qualidade é mais e menos degradada na bacia do rio Verde, respectivamente. Conforme mencionado anteriormente, essas avaliações são preliminares e devem ser confirmadas pelas análises posteriores.

O p-valor resultante do teste de normalidade de Shapiro-Wilk ao nível de significância de 5% de cada parâmetro de qualidade da água para cada estação de monitoramento é apresentado no Apêndice III nas Tabelas III.19 (avaliação dos dados de concentração) e III.20 (avaliação dos dados de carga).

No que tange à normalidade dos dados de concentração dos parâmetros, de acordo com os resultados do teste de Shapiro-Wilk, grande parte deles apresentaram distribuição assimétrica.

Apenas os dados de concentração do parâmetro OD não apresentaram desvios acentuados da normalidade, exceto na estação BG030. Quanto à normalidade dos dados de carga, todos os parâmetros analisados, em todas as estações, apresentaram resultados que indicavam a assimetria dos dados. Esses resultados eram esperados, uma vez que, em geral, dados ambientais não seguem distribuição normal (HELSEL e HIRSCH, 2002).

O percentual de *outliers* em relação ao total de dados válidos em cada estação de monitoramento da sub-bacia do rio Verde, por parâmetro de qualidade da água encontra-se na Tabela III.21 (dados de concentração dos parâmetros) e Tabela III.22 (dados de carga dos parâmetros) do Apêndice III.

No total, foram encontrados 196 *outliers* nos dados de concentração (7,10% dos dados) e 276 *outliers* nos dados de carga (9,94% dos dados). O maior percentual de *outliers* encontrado nas análises foi de 23,08% para o parâmetro DBO na estação de monitoramento BG038 no banco de dados de concentração; e de 23,08% para o parâmetro fósforo total na estação de monitoramento BG030 nos dados de carga.

Segundo Naghettini e Pinto (2007) em dados ambientais podem existir grandes variações, e, além disso, *outliers* são característicos principalmente de variações hidrológicas. Dessa forma, após exame individual de cada *outlier* dos bancos de dados, decidiu-se manter todos os *outliers* nas análises subsequentes.

5.3 Avaliação da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Verde, em termos de concentração e de carga dos poluentes

5.3.1 Avaliação espacial da qualidade das águas

5.3.1.1 Agrupamento das estações de monitoramento de acordo com a similaridade da qualidade da água

Com o objetivo de agrupar as estações de monitoramento de acordo com a similaridade da qualidade da água foi realizada a AA, considerando os dados de carga e de concentração. Para calcular a altura da linha de corte, que determina a quantidade de grupos no dendrograma gerado, foram utilizadas as Tabela 5.2 e Tabela 5.3, com os valores das distâncias de ligação entre as variáveis, para os dados de concentração e de carga, respectivamente. Dessa forma, o corte foi realizado em relação às maiores distâncias em que os grupos foram formados.

Em relação aos dados de concentração, a distância Euclidiana utilizada para a linha de corte foi de 14,63, que resultou na formação de 6 grupos. Já para os dados de carga dos parâmetros a distância Euclidiana utilizada para a linha de corte foi de 7,57 que agrupou as nove estações em 5 grupos. Os agrupamentos formados são apresentados para os dados de concentração na Figura 5.2 e para os dados de carga na Figura 5.3.

Tabela 5.2. Valores da diferença entre as distâncias de ligação ao longo dos passos de agrupamento, para análise referente ao banco de dados de concentração dos parâmetros.

Distância de ligação	Agrupamentos	Diferença entre as distâncias de ligação (saltos)
11,14	BG031 BG034	-
12,60	BG032 BG035	1,46
13,71	BG026 BG032 BG035	1,10
15,55	BG026 BG032 BG035 BG037	1,84
16,99	BG024 BG031 BG034	1,45
18,04	BG026 BG032 BG035 BG037 BG038	1,05
21,59	BG024 BG031 BG034 BG026 BG032 BG035 BG037 BG038	3,54
32,82	BG024 BG031 BG034 BG026 BG032 BG035 BG037 BG038 BG030	11,23

Figura 5.2. Dendrograma da Análise de Agrupamento para o banco de dados de monitoramento da bacia do rio Verde, no período de julho de 2008 a novembro de 2014. Análise referente ao banco de dados de concentração.

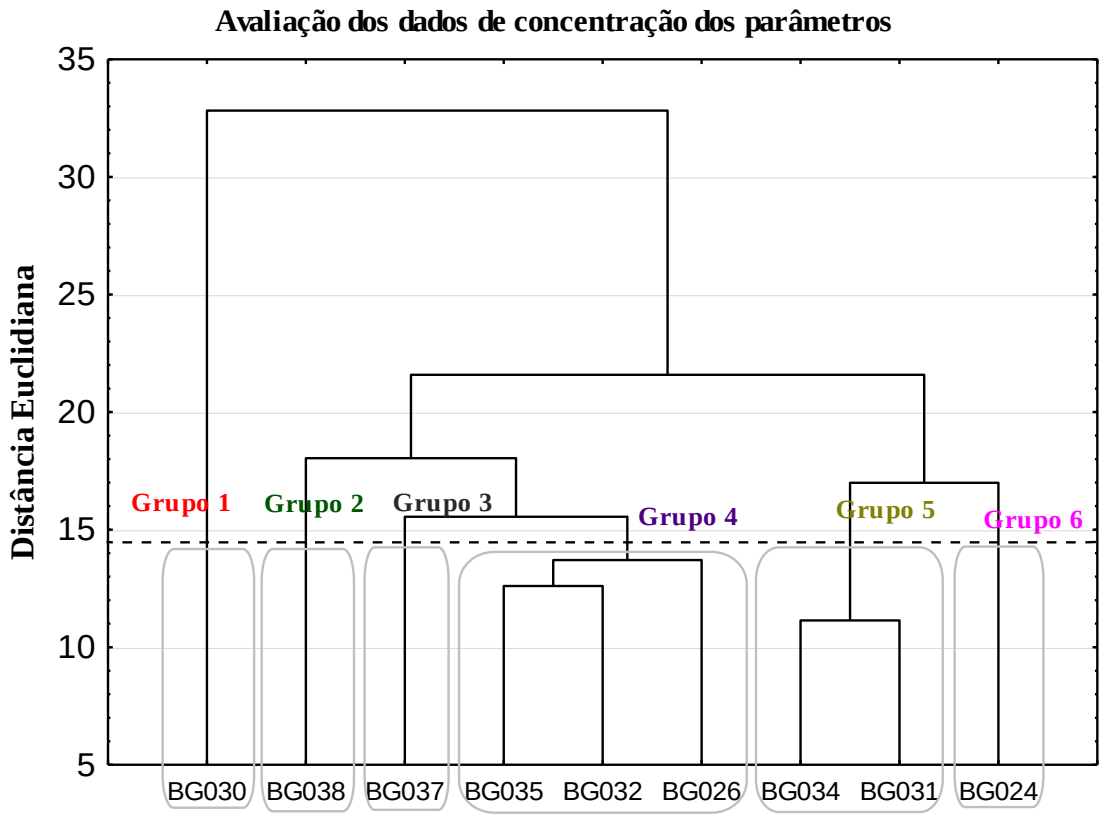
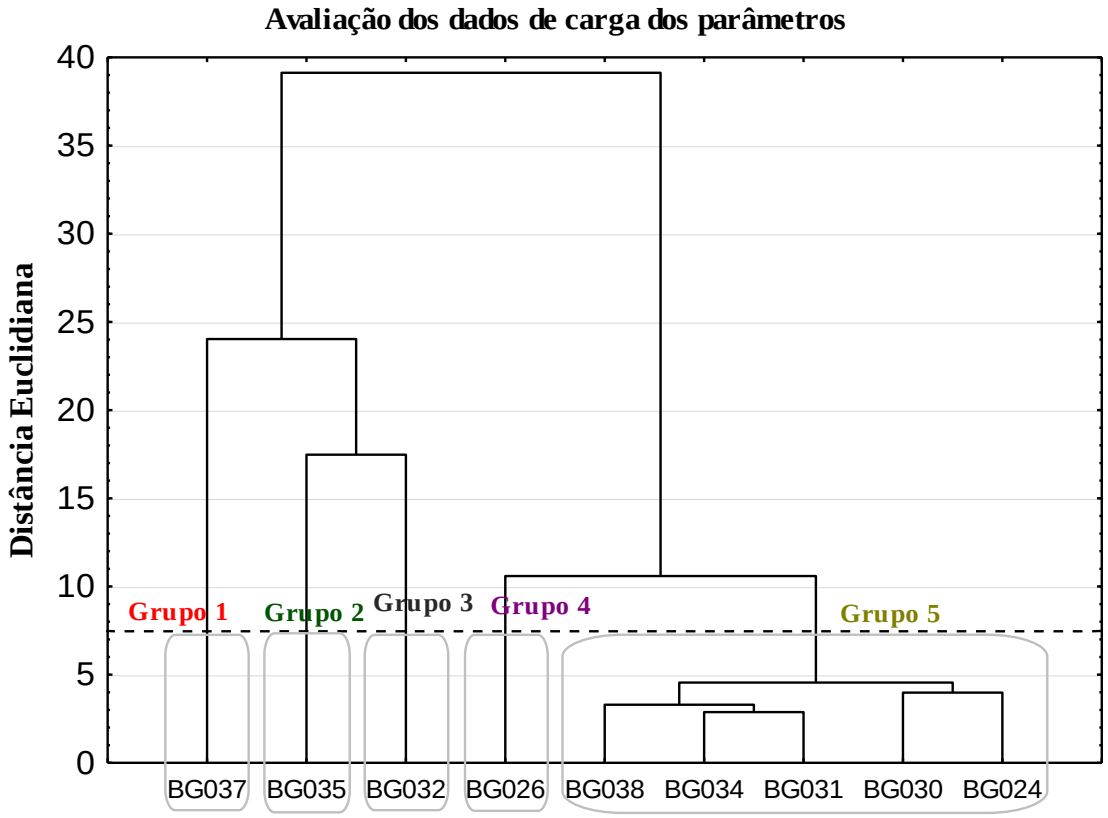


Tabela 5.3. Valores da diferença entre as distâncias de ligação ao longo dos passos de agrupamento, para análise referente ao banco de dados de carga dos parâmetros.

Distância de ligação	Agrupamentos	Diferença entre as distâncias de ligação (saltos)
2,88	BG031 BG034	-
3,30	BG031 BG034 BG038	0,42
3,99	BG024 BG030	0,69
4,55	BG024 BG030 BG031 BG034 BG038	0,57
10,60	BG024 BG030 BG031 BG034 BG038 BG026	6,04
17,47	BG032 BG035	6,88
24,03	BG032 BG035 BG037	6,56
39,13	BG024 BG030 BG031 BG034 BG038 BG026 BG032 BG035 BG037	15,09

Figura 5.3. Dendrograma da Análise de Agrupamento para o banco de dados de monitoramento da bacia do rio Verde, no período de julho de 2008 a novembro de 2014. Análise referente ao banco de dados de carga dos parâmetros.



Pode-se perceber que os resultados obtidos foram diferentes, como esperado, para os dois tipos de dados, concentração e carga.

Para os dados de concentração, analisando-se os passos da formação dos agrupamentos, observa-se que, inicialmente, as estações de monitoramento foram agrupadas em dois grandes

grupos: um grupo contendo somente a estação BG030 e outro grupo maior com todas as demais estações. Esse grupo maior foi, então, subdividido em dois grupos, um contendo as estações da calha do rio Verde (grupos 3 e 4) e uma estação do rio Lambari (grupo 2), e o outro abrangendo as estações dos afluentes do rio Verde (grupo 5 e 6).

É possível perceber que a menor distância Euclidiana, com valor igual a 11,14, ocorreu entre as estações BG034 e BG031, sendo, portanto, as estações com maior similaridade. Dentre as nove estações de monitoramento avaliadas, quatro estações (BG024, BG030, BG037 e BG038) se diferenciaram das demais permanecendo isoladas no dendrograma.

No que se refere ao agrupamento das estações utilizando-se os dados de carga dos parâmetros, o grupo 5 foi o único que apresentou mais de uma estação (Figura 5.3). Os demais grupos são representados por uma única estação cada, refletindo uma grande variabilidade da qualidade da água, possivelmente explicada pelos diferentes poluentes recebidos nesta região.

No que diz respeito ainda sobre os dados de carga, analisando-se a Figura 5.3 pode-se verificar que o grupo 1 (representado pela estação BG037) pode ser visto como o mais distinto. Diferente da análise de concentração, cuja estação mais isolada no dendrograma foi a BG030.

Na análise do início da formação do dendrograma, observam-se inicialmente dois grandes grupos: o primeiro formado pelas três estações de monitoramento localizadas no baixo rio Verde (BG037, BG035 e BG032) e o segundo pelas estações dos afluentes do rio Verde (BG024, BG030, BG031, BG034 e BG038) e a estação do médio rio Verde BG026.

Ainda para os dados de carga, as estações BG030 e BG024 foram agrupadas com um dos menores valores de distância de ligação, indicando similaridade entre essas duas estações. Ao contrário do resultado obtido com os dados de concentração, no qual a referida estação se apresenta como a mais isolada em relação às demais.

A única semelhança observada foi que tanto para os dados de carga quanto para os dados de concentração a menor distância Euclidiana ocorreu entre as estações BG031 e BG034, apesar do valor da distância ter sido igual 2,88 para os dados de carga.

5.3.1.2 Distribuição regional dos agrupamentos das estações de monitoramento

Para uma análise da distribuição regional dos grupos formados pela AA, e uma melhor visualização e comparação dos resultados, eles foram identificados por diferentes cores na Figura 5.4, utilizando-se o software ArcGIS.

Comparando-se os dois mapas torna-se ainda mais clara a diferença entre os resultados obtidos.

Na análise dos dados de concentração, a qualidade das águas superficiais na bacia do rio Verde apresenta uma maior variabilidade ao longo do rio Lambari, cujas estações de monitoramento estão localizadas na cidade de Cristina (BG030), a jusante da cidade de Lambari (BG038) e a montante da confluência com o rio Verde (BG031) e cada uma delas forma um grupo diferente. Já ao longo do rio Verde, três das quatro estações analisadas pertencem ao mesmo grupo (BG026, BG032 e BG035).

Relativamente aos dados de carga, nota-se que as estações localizadas nos afluentes do rio Verde pertencem a um mesmo grupo (grupo 5). Ao contrário das estações localizadas ao longo do rio Verde, onde cada uma compõe um grupo diferente. Conforme mencionado, isso reflete diferentes condições da qualidade da água ao longo do rio Verde.

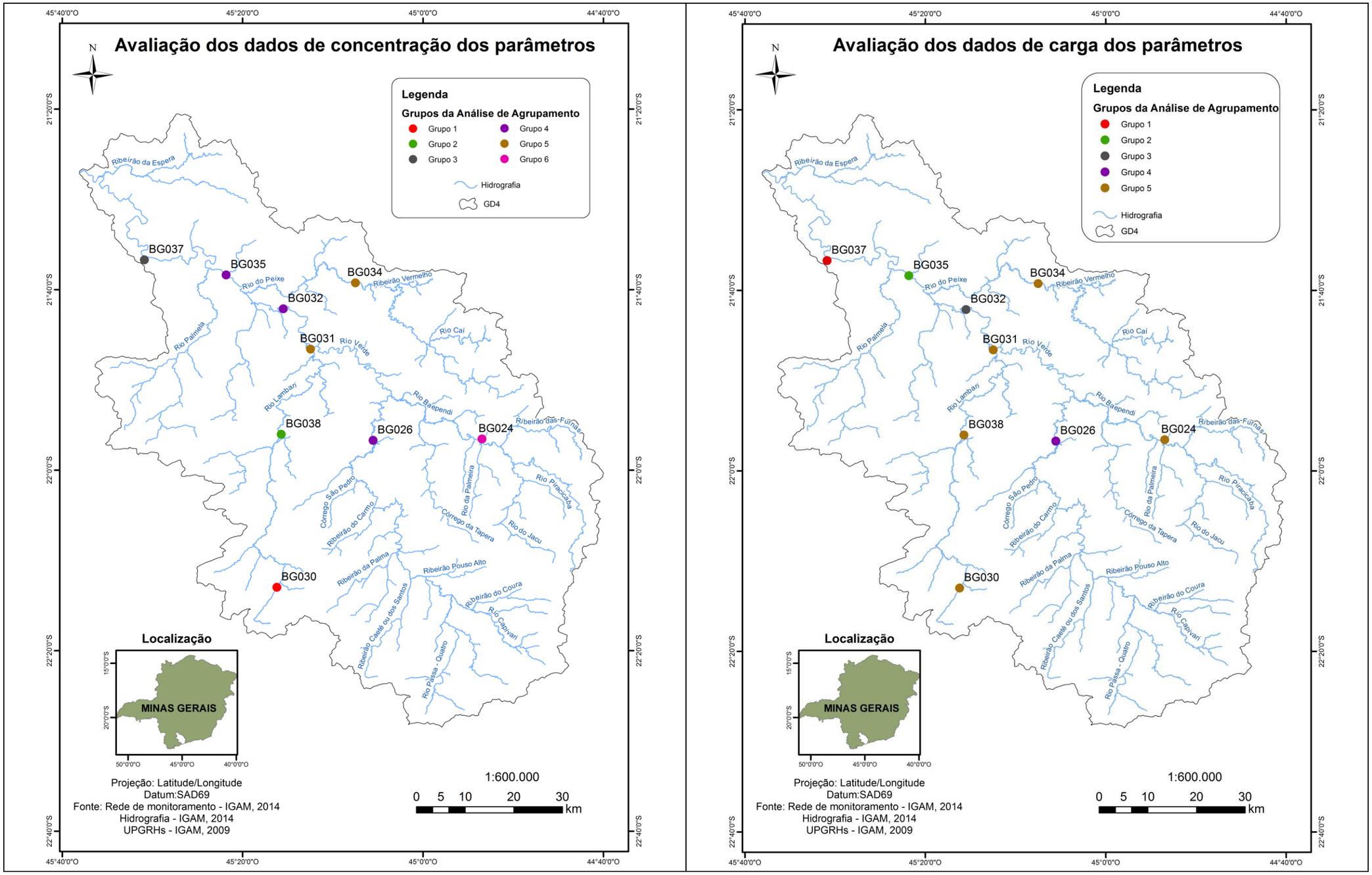
Na avaliação dos dados de concentração e de carga, verifica-se que as estações BG031 e BG034 pertencem a um mesmo grupo e a estação BG037 encontra-se isolada em ambas as análises.

Uma possibilidade aventada para explicar os diferentes resultados encontrados entre a análise dos dados de carga e de concentração seria a amplitude de variação de vazão na bacia onde uma mesma quantidade de poluente pode ser diluída. Dessa forma, os resultados obtidos reforçam que somente a utilização de medidas de concentração de poluentes é insuficiente para que os objetivos do gerenciamento dos recursos hídricos sejam alcançados.

Na comparação dos valores de carga e concentração de alguns parâmetros com a sazonalidade, Barbosa *et al*. (2013) demonstraram a variação temporal da qualidade causada por condições hidrológicas (estações seca e chuvosa). E como nos últimos anos está ocorrendo uma mudança na tradicional divisão dos períodos de chuva e seca, torna-se ainda mais importante considerar os dados de vazão nas análises de qualidade da água, agrupando

as estações em termos de cargas de poluentes e não de concentrações. Ou, pelo menos, analisar os dados de concentração, tendo conhecimento dos dados de vazão, para verificar se as alterações presentes nos dados são consequência de uma maior ou menor diluição.

Figura 5.4. Localização das estações de monitoramento representadas de acordo com os grupos formados pela Análise de Agrupamento.



5.3.1.3 Determinação dos parâmetros mais significativos para cada grupo formado na Análise de Agrupamentos

A AF fornece informações sobre os parâmetros mais significativos, que descrevem todo o conjunto de dados e, assim, permitem a redução de dados com perda mínima de informação original. Como a utilização dessa análise tem o objetivo de justificar os agrupamentos encontrados na AA e identificar os principais parâmetros responsáveis pela poluição/degradação em cada um dos grupos, ela foi aplicada, individualmente, para os agrupamentos com mais de uma estação.

Ressalta-se que na escolha do número de fatores adequados ao estudo foi utilizado o critério desenvolvido por Kaiser (1958), segundo o qual os fatores com autovalores menores que um são excluídos (LIU *et al*., 2003; KOWALKOWSKI *et al*., 2006). Enquanto que para a seleção das cargas significativas foi adotada a definição de Liu *et al*. (2003) que consideram cargas maiores que 0,75 fortes, entre 0,75-0,50 moderadas e entre 0,50-0,30 fracas.

Como as cargas moderadas e fortes são consideradas as mais importantes para a variância encontrada nos dados, somente elas foram utilizadas nessa pesquisa. Parâmetros que apresentam cargas moderadas ou fortes nos primeiros fatores podem indicar o tipo de poluição que mais afeta a qualidade da água monitorada.

A partir das variáveis agrupadas em um mesmo fator e dos seus significados ambiental e sanitário, cada fator pode receber uma rotulação diferente relacionada às diversas fontes de poluição que afetam a qualidade da água (por exemplo, agricultura, esgoto doméstico, efluentes industriais), o que auxilia na identificação das principais fontes de poluição que atuam sobre a qualidade da água monitorada.

Na análise dos dados de concentração dois grupos apresentaram mais de uma estação, o grupo 4 e o 5. Já para os dados de carga somente um grupo, o de número 5, apresentou mais de uma estação. Portanto, a seguir será apresentada somente a análise dos resultados para esses agrupamentos.

5.3.1.3.1 Dados de concentração

Os valores das cargas fatoriais de cada parâmetro e a variabilidade da qualidade da água explicada para cada fator, resultados da análise do banco de dados de concentração dos

parâmetros, estão apresentados na Tabela 5.4. A AF conseguiu explicar aproximadamente 64% e 73% da variabilidade total da qualidade da água das estações de monitoramento dos grupos 4 e 5, respectivamente. Em ambos os resultados foram retidos quatro fatores.

Tabela 5.4. Cargas fatoriais dos parâmetros de qualidade da água para cada fator após rotação *varimax* das Componentes Principais, para os grupos 4 e 5 formados pela Análise de Agrupamento, referentes à análise dos dados de concentração dos parâmetros.

Grupo 4					**Grupo 5**				
Estações: BG026, BG032, BG035					**BG031, BG034**				
Parâmetros	F1	F2	F3	F4	Parâmetros	F1	F2	F3	F4
Cl^-_T (mg/L)	0,000	**0,880**	0,101	-0,008	Cl^-_T (mg/L)	0,219	**-0,514**	**0,641**	-0,168
Cl-*a* (µg/L)	0,175	-0,089	-0,410	0,464	Cl-*a* (µg/L)	-0,006	-0,113	**-0,767**	-0,121
Colif. term. (NMP/100 mL)	-0,103	-0,115	0,223	**0,736**	Colif. term. (NMP/100 mL)	0,254	0,072	0,151	**0,854**
DBO (mg/L O_2)	-0,131	0,127	**0,753**	0,109	DBO (mg/L O_2)	-0,075	**-0,692**	0,097	0,008
DQO (mg/L O_2)	0,285	0,073	**0,767**	0,001	DQO (mg/L O_2)	**0,565**	-0,272	0,447	0,248
Feof-*a* (µg/L)	0,311	-0,296	0,119	-0,475	Feof-*a* (µg/L)	**0,673**	0,267	0,232	0,251
P_T (mg/L)	**0,686**	0,109	0,019	0,235	P_T (mg/L)	**0,729**	0,019	0,157	-0,447
N-NO_3^- (mg/L N)	-0,217	**0,802**	0,136	-0,123	N-NO_3^- (mg/L N)	-0,262	**-0,603**	**0,569**	0,047
N-$NH_4^+{}_T$ (mg/L N)	0,137	**0,571**	0,086	0,438	N-$NH_4^+{}_T$ (mg/L N)	0,008	**-0,829**	-0,088	-0,052
OD (mg/L)	**-0,689**	-0,402	-0,035	0,138	OD (mg/L)	**-0,650**	0,351	0,198	-0,374
SST (mg/L)	**0,845**	-0,350	-0,025	-0,128	SST (mg/L)	**0,940**	0,108	-0,080	0,135
ST (mg/L)	**0,871**	-0,265	0,008	-0,185	ST (mg/L)	**0,953**	0,073	-0,026	0,110
Variabilidade (%)	25,04	18,55	10,67	10,04	Variabilidade (%)	32,59	20,73	10,69	9,01
% acumulada	25,04	43,58	54,25	64,29	% acumulada	32,59	53,33	64,02	73,03

Negrito – Correlações moderadas (valor absoluto entre 0,5 e 0,75)
Negrito e sublinhado – Correlações fortes (valor absoluto maior que 0,75)

O grupo 4 é representado pelas estações BG026, BG032 e BG035, que se localizam no rio Verde a montante do município de Conceição do rio Verde, no município de Três Corações e na localidade de Flora, respectivamente. O primeiro fator desse grupo, que explica a maior variabilidade da qualidade da água, está correlacionado positivamente com os parâmetros sólidos suspensos totais, sólidos totais e fósforo total, e negativamente com o oxigênio dissolvido. A maior presença dos parâmetros SST, ST e fósforo no corpo d'água se justificam, principalmente, pelo carreamento por meio do escoamento superficial, caracterizando principalmente regiões de pastagem e solo exposto, além dos lançamentos de esgoto sanitário no caso das estações BG032 e BG035. O fator dois no agrupamento 4, explica 18,55% da variabilidade da qualidade da água, e é altamente correlacionado com os parâmetros cloreto e nitrato, podendo estar relacionado à poluição difusa por agricultura. O terceiro fator possui correlação forte com parâmetros indicativos de matéria orgânica (DBO e DQO).

As estações de monitoramento do grupo 5 se encontram no rio Lambari (BG031) e no rio do Peixe (BG034). O fator 1 deste grupo explica 20,73% da variabilidade da qualidade da água, o qual é fortemente correlacionado com sólidos. Há também correlações moderadas positivas com DQO, feofitina *a* e fósforo total, e negativa com oxigênio dissolvido. Esses parâmetros indicam que as principais fontes de poluição nessas estações são agricultura e áreas de pastagem. Essa informação é pertinente, pois de acordo com as características de uso e ocupação do solo na bacia no rio Verde, quase 80% da área total da bacia pertencem à classe Outros Usos Antrópicos (pastos, cultivo e lotes) (ECOPLAN ENGENHARIA *et al.*, 2010b).

Os gráficos das cargas dos parâmetros para os dois primeiros fatores, obtidos após a rotação *varimax*, estão apresentados na Figura 5.5. Através desse gráfico é possível notar claramente os parâmetros que estão mais proximamente associados ao fator 1 e ao fator 2. Assim sendo, foi possível agrupar os parâmetros por fatores, de acordo com os resultados da Tabela 5.4. Observa-se que os parâmetros mais próximos ao eixo central carregam muito pouco dos fatores 1 e 2.

Figura 5.5. Gráficos das cargas dos dois primeiros fatores extraídos após rotação *varimax* das Componentes Principais dos grupos 4 e 5, referente às análises dos dados de concentração.

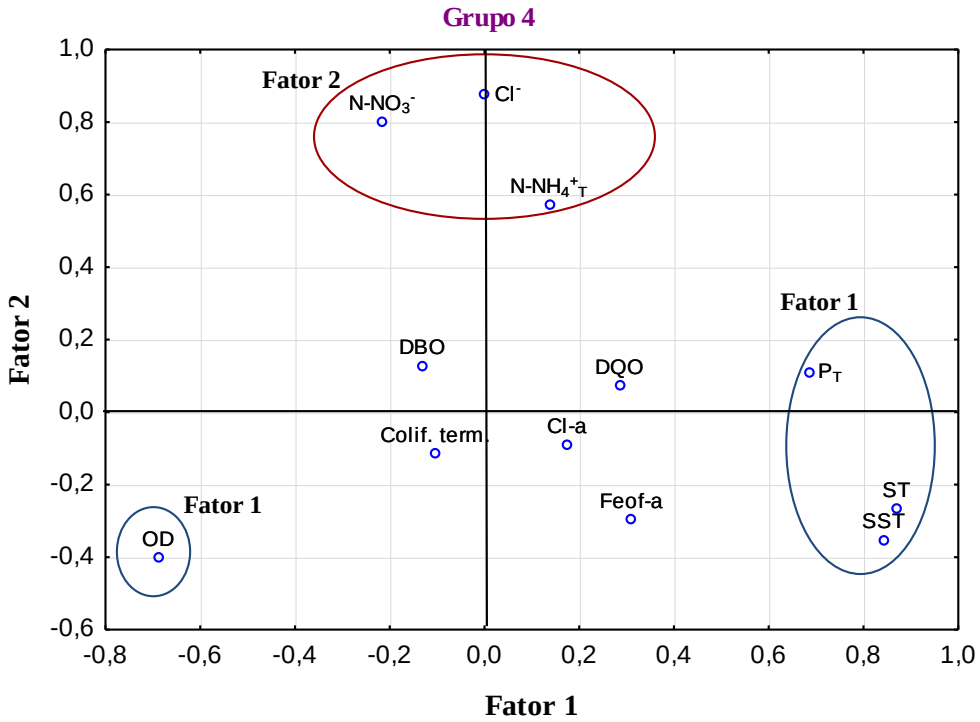
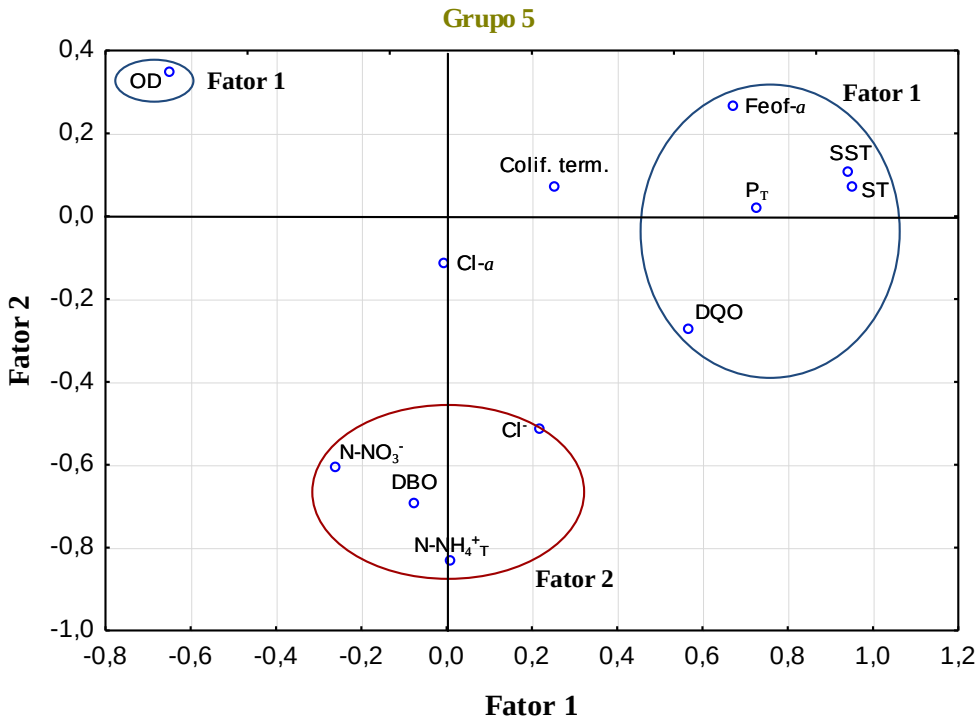


Figura 5.5. Gráficos das cargas dos dois primeiros fatores extraídos após rotação *varimax* das Componentes Principais dos grupos 4 e 5, referente às análises dos dados de concentração (continuação).



5.3.1.3.2 Dados de carga

Acerca da análise dos dados de carga, os resultados da Análise Fatorial explicaram 70,5% da variabilidade da qualidade das águas superficiais do agrupamento 5 formado pela AA, retendo um único fator. Os valores das cargas fatoriais de cada parâmetro para o fator retido e a variabilidade da qualidade da água explicada por ele, estão apresentados na Tabela 5.5. Uma vez que somente um fator foi retido não foi possível realizar a rotação *varimax* e também não há gráfico da projeção dos parâmetros em relação aos fatores.

O grupo 5 é representado pelas estações BG024 (rio Baependi), BG030, BG031 e BG038 (rio Lambari) e BG034 (rio do Peixe), todas localizadas nos afluentes do rio Verde. O único fator retido está altamente correlacionado com matéria orgânica (DBO, DQO, P_T, $N\text{-}NO_3^-$, $N\text{-}NH_4^+{}_T$), sólidos (ST e SST) e OD. O qual indica, sobretudo, fontes de poluição de carreamento de solo pelo escoamento superficial em áreas de solo exposto e atividades de agricultura.

Nota-se que a AF não forneceu uma boa redução da contribuição dos parâmetros menos significativos, uma vez que somente duas variáveis não foram apontadas como importantes

para explicar a formação do agrupamento cinco. Isto pode estar evidenciando que todos os parâmetros analisados são de suma importância para explicar a variabilidade da água.

Tabela 5.5. Cargas fatoriais dos parâmetros de qualidade da água para o fator retido na AF, para o grupo 5 formado pela Análise de Agrupamento, referentes à análise dos dados de carga dos parâmetros.

Grupo 5 **BG024, BG030, BG031, BG034, BG038**	
Parâmetros	F1
Cl^-_T (kg/dia)	**-0,933**
Cl-*a* (kg/dia)	**-0,709**
Colif. term. (NMP/dia)	-0,387
DBO (kg/dia O_2)	**-0,952**
DQO (kg/dia O_2)	**-0,941**
Feof-*a* (kg/dia)	-0,436
P_T (kg/dia)	**-0,894**
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	**-0,797**
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	**-0,933**
OD (kg/dia)	**-0,921**
SST (kg/dia)	**-0,927**
ST (kg/dia)	**-0,970**
Variabilidade (%)	70,50
% acumulada	70,50

Negrito e sublinhado – Correlações fortes (valor absoluto maior que 0,75)
Negrito – Correlações moderadas (valor absoluto entre 0,5 e 0,75)

A diferença entre os resultados obtidos para os dados de concentração e de carga merecem ser destacados mais uma vez e reforçam a preocupação com análises que levam em consideração apenas as concentrações dos parâmetros sem utilizar, também, os dados de vazão nas análises de qualidade da água.

5.3.1.4 Teste de Kruskal-Wallis para comparação entre os agrupamentos obtidos na AA

Visto que com a AF não foi possível distinguir claramente os agrupamentos, tanto na avaliação dos dados de concentração quanto de carga, foi realizado o teste de KW para identificar os parâmetros responsáveis pela diferenciação dos grupos.

Para facilitar o entendimento das análises, foi realizado um resumo dos resultados da AA (Quadro 5.3), mostrando as estações que apresentaram as maiores diferenças nas duas análises, ficando isoladas nos dendrogramas.

Visando facilitar o entendimento dos resultados encontrados, primeiro são apresentados os resultados em relação aos dados de concentração, seguido da avaliação dos dados de carga e posterior comparação dos resultados.

Quadro 5.3. Resumo das estações de monitoramento que mais se destacaram nas Análises de Agrupamento e sua localização.

Análise	Estação	Localização
Concentração	BG024	Rio Baependi a jusante da cidade de Baependi
	BG030	Rio Lambari na cidade de Cristina
	BG037	Rio Verde a jusante da cidade de Varginha
	BG038	Rio Lambari a jusante da cidade de Lambari
Carga	BG026	Rio Verde a montante de Conceição do Rio Verde
	BG032	Rio Verde na cidade de Três Corações
	BG035	Rio Verde na localidade de Flora
	BG037	Rio Verde a jusante da cidade de Varginha

5.3.1.4.1 Dados de concentração

O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis apresentou diferenças significativas ($p<0,05$) para as concentrações de todos os parâmetros de qualidade da água em relação aos agrupamentos formados pela AA, exceto para o parâmetro feofitina *a*. Alguns gráficos *box-plots* gerados e os resultados do teste de comparações múltiplas de Dunn estão apresentados na Figura IV.1 do Apêndice IV, enquanto o restante estão apresentados na Figura 5.6.

O grupo 6, representado pela estação BG024 (rio Baependi a jusante da cidade de Baependi) se destaca por apresentar concentrações significativamente inferiores dos demais grupos para a maioria dos parâmetros analisados, e, ainda, apresentar as mais elevadas concentrações significativas de oxigênio dissolvido. Isto indica que a estação de monitoramento desse grupo possui melhor qualidade da água que as demais. A única exceção é o parâmetro coliformes termotolerantes cuja concentração no grupo 6 é significativamente superior aos grupos 1, 2 e 4, sendo um indicativo da presença de esgotos domésticos e áreas de pastagem na região.

Os resultados do teste de comparações múltiplas também confirmaram que a estação BG030 (grupo 1) apresenta concentrações de DBO significativamente maiores em relação aos demais grupos (Figura 5.6). O qual também apresenta concentrações significativamente maiores de coliformes termotolerantes se comparado aos grupos 2, 4 e 5 (resultado que confirma as avaliações realizadas com base na estatística descritiva dos dados), que possivelmente está relacionado ao lançamento de esgoto do município de Cristina, cidade na qual a estação está

localizada. Importante ressaltar que a estação BG030 foi a estação mais isolada na AA dos dados de concentração.

O grupo 2, formado pela estação BG038, se destaca por apresentar concentrações significativamente maiores em relação aos demais grupos para o parâmetro SST e de ST, fósforo total e nitrogênio amoniacal em relação à maioria. Já a concentração de oxigênio dissolvido foi significativamente inferior aos grupos 3, 5 e 6 (Figura 5.6).

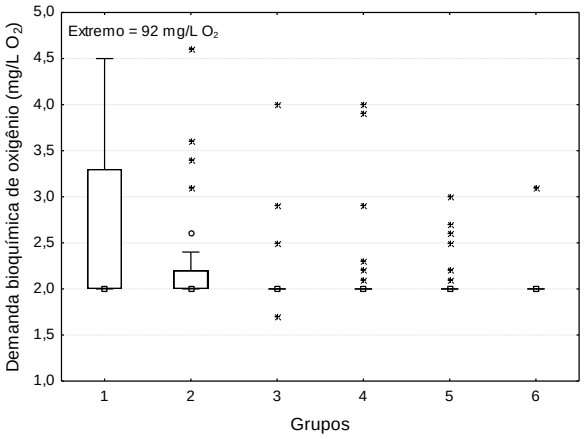
O grupo 3, formado pela última estação da calha do rio Verde (BG037), isolada em relação às outras estações localizadas nesse curso d'água, possui em comparação com os parâmetros nitrato e clorofila *a*, concentrações significativamente superiores aos demais, exceto em relação aos grupos 2 e 4. Verifica-se também que as concentrações de cloreto são significativamente superiores comparadas aos demais, com exceção do grupo 4. E, apesar disso, as concentrações de OD são significativamente maiores no grupo 3 em relação aos grupos 1, 2 e 4.

Portanto, os resultados dos testes de comparações múltiplas indicam que as estações de monitoramento BG037 e, principalmente a BG038 (grupos 3 e 2, respectivamente) são as estações que apresentam qualidade das águas superficiais mais degradadas da bacia do rio Verde. Os resultados obtidos confirmam as avaliações preliminares realizadas através da estatística descritiva dos dados analisados.

Figura 5.6. *Box-plot* das concentrações dos parâmetros de qualidade da água da sub-bacia do rio Verde, e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de Kruskal-Wallis ($p<0,05$), considerando os agrupamentos formados pela Análise de Agrupamento.

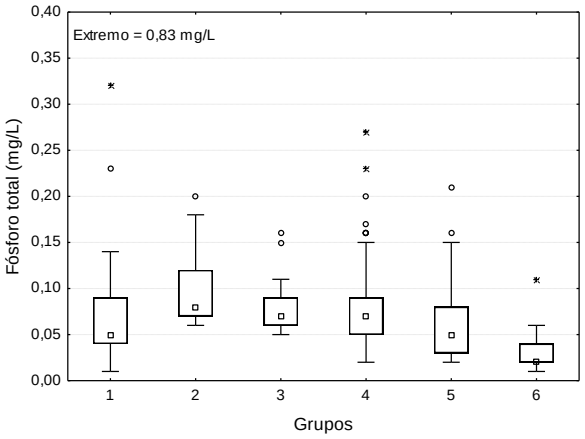
***Box-plot* das concentrações dos parâmetros**	**Resultados do teste de comparações múltiplas**

Demanda bioquímica de oxigênio (mg/L O_2)



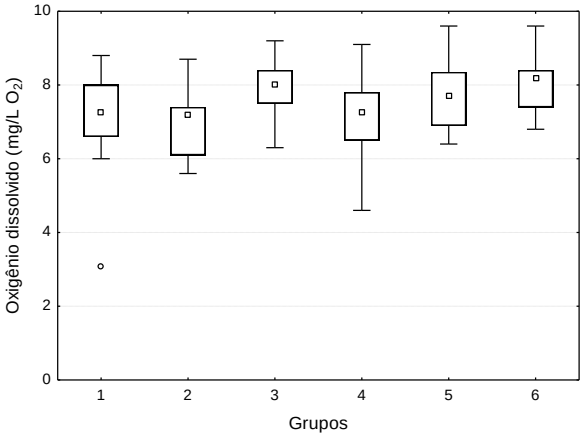
1	2	3	4	5	6	Grupos
	↓	↓	↓	↓	↓	*1*
↑		=	↓	=	↓	*2*
↑	=		=	=	=	*3*
↑	↑	=		=	=	*4*
↑	=	=	=		=	*5*
↑	↑	=	=	=		*6*

Fósforo total (mg/L)



1	2	3	4	5	6	Grupos
	↑	=	=	=	↓	*1*
↓		=	↓	↓	↓	*2*
=	=		=	↓	↓	*3*
=	↑	=		↓	↓	*4*
=	↑	↑	↑		↓	*5*
↑	↑	↑	↑	↑		*6*

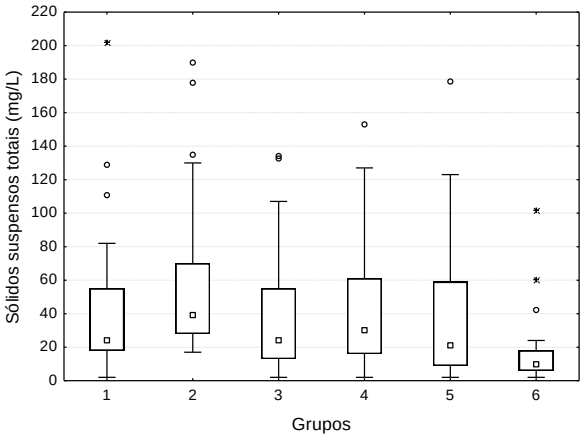
Oxigênio dissolvido (mg/L O_2)



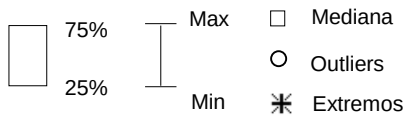
1	2	3	4	5	6	Grupos
	=	↑	=	=	↑	*1*
=		↑	=	↑	↑	*2*
↓	↓		↓	=	=	*3*
=	=	↑		↑	↑	*4*
=	↓	=	↓		=	*5*
↓	↓	=	↓	=		*6*

Figura 5.6. *Box-plot* das concentrações dos parâmetros de qualidade da água da sub-bacia do rio Verde, e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de Kruskal-Wallis (p<0,05), considerando os agrupamentos formados pela Análise de Agrupamento (continuação).

***Box-plot* das concentrações dos parâmetros**	**Resultados do teste de comparações múltiplas**
Sólidos suspensos totais (mg/L)	



1	2	3	4	5	6	Grupos
	↑	=	=	=	↓	*1*
↓		↓	↓	↓	↓	*2*
=	↑		=	=	↓	*3*
=	↑	=		=	↓	*4*
=	↑	=	=		↓	*5*
↑	↑	↑	↑	↑		*6*



= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)
↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)
↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

5.3.1.4.2 Dados de carga

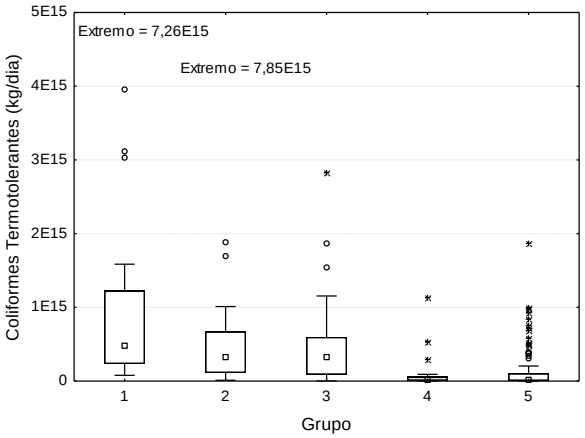
No que concerne à análise dos dados de carga, o teste não paramétrico de KW, ao nível de significância de 5%, identificou diferenças significativas entre os grupos formados pela AA para todos os parâmetros. Assim, o teste de comparações múltiplas de Dunn foi empregado para identificar os grupos que diferenciaram entre si. Os resultados dessas análises, para alguns parâmetros, estão apresentados na Figura IV.2 do Apêndice IV, enquanto os demais foram destacados no corpo do texto.

O grupo 5, formado pelas estações de monitoramento localizadas nos afluentes do rio Verde, apresentou valores de cargas significativamente menores para todos os parâmetros de qualidade da água analisados em relação aos outros grupos, exceto para o parâmetro coliformes termotolerantes em relação ao grupo 4, sugerindo que as estações de monitoramento desse grupo possuem melhor qualidade da água que as demais (Figura 5.7).

Figura 5.7. *Box-plot* das cargas dos parâmetros de qualidade da água da sub-bacia do rio Verde, e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de Kruskal-Wallis ($p<0,05$), considerando os agrupamentos formados pela Análise de Agrupamento.

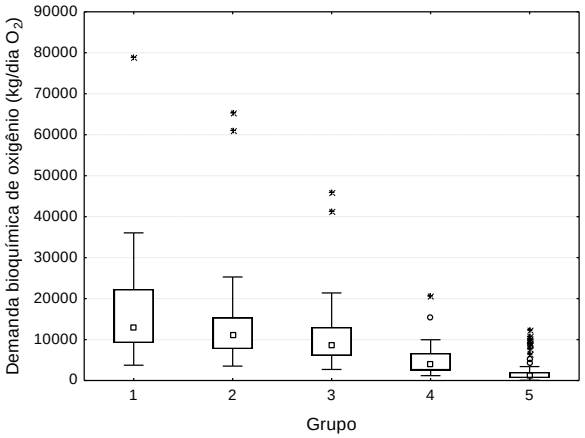
***Box-plot* das cargas dos parâmetros**	**Resultados do teste de comparações múltiplas**

Coliformes termotolerantes (NMP/dia)



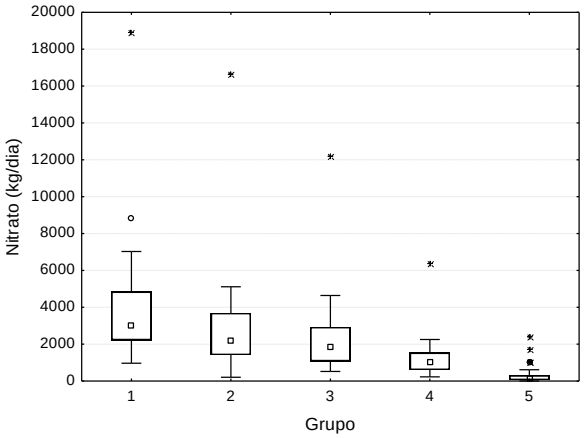
1	2	3	4	5	Grupos
	=	=	↓	↓	*1*
=		=	↓	↓	*2*
=	=		↓	↓	*3*
↑	↑	↑		=	*4*
↑	↑	↑	=		*5*

Demanda bioquímica de oxigênio (kg/dia O_2)



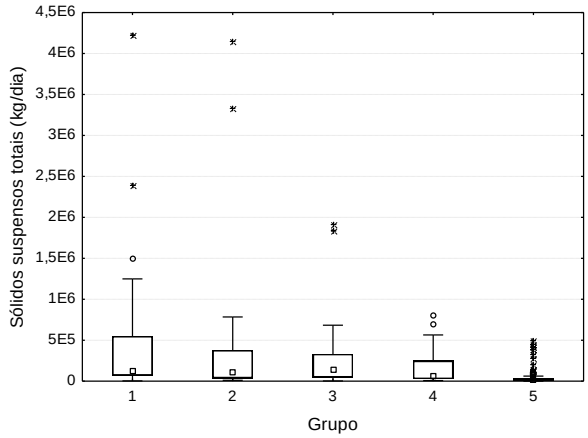
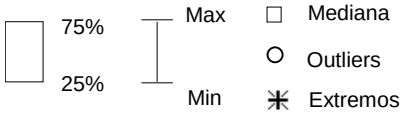
1	2	3	4	5	Grupos
	=	=	↓	↓	*1*
=		=	↓	↓	*2*
=	=		↓	↓	*3*
↑	↑	↑		↓	*4*
↑	↑	↑	↑		*5*

Nitrato (kg/dia)



1	2	3	4	5	Grupos
	=	=	↓	↓	*1*
=		=	=	↓	*2*
=	=		=	↓	*3*
↑	=	=		↓	*4*
↑	↑	↑	↑		*5*

Figura 5.7. *Box-plot* das cargas dos parâmetros de qualidade da água da sub-bacia do rio Verde, e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de Kruskal-Wallis (p<0,05), considerando os agrupamentos formados pela Análise de Agrupamento (continuação).

***Box-plot* das cargas dos parâmetros**	**Resultados do teste de comparações múltiplas**
Sólidos suspensos totais (kg/dia)	
	1 2 3 4 5 Grupos = = = ↓ *1* = = = ↓ *2* = = = ↓ *3* = = = ↓ *4* ↑ ↑ ↑ ↑ *5*
	= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita) ↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita) ↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

O teste de KW não identificou diferença significativa entre as estações BG037 (grupo 1), BG035 (grupo 2) e BG032 (grupo 3), apesar de não pertencerem ao mesmo grupo. Contudo, analisando-se os *box-plots* apresentados para cada parâmetro observa-se que o grupo 1, apresenta valores medianos de carga maiores que os demais grupos. Exatamente porque a estação BG037, que compõe esse grupo, é a última estação da calha do rio Verde, apresentando uma maior vazão e uma maior quantidade de poluentes, o que se torna evidente analisando-se os dados de carga.

É importante destacar, ainda, o padrão observado nos *box-plots* para todos os parâmetros analisados, condizente com a localização das estações de monitoramento: as estações do baixo rio Verde de montante para jusante - grupo 3, 2 e 1 - apresentam os valores medianos mais elevados, em seguida o grupo 4 (médio rio Verde) e posteriormente as estações do grupo 5 (formado por estações dos afluentes do rio Verde) que apresentou cargas significativamente inferiores às demais estações.

Pela observação do Quadro 5.4, que apresenta um resumo dos resultados da análise de KW para as estações que mais se destacaram na AA (por terem ficado isoladas), percebe-se que os resultados foram bastante variados considerando concentração e carga.

Quadro 5.4. Resumo dos resultados da análise de KW para as estações que mais se destacaram nas Análises de Agrupamento.

Análise	Estação	Motivo do isolamento
Concentração	BG024 (grupo 6)	Concentrações de Cl^-_T, P_T, DQO, ST e SST significativamente menores que as dos grupos 1, 2, 3, 4 e 5. Concentrações de Cl-*a* e $N\text{-}NO_3^-$ significativamente menores que as dos grupos 2, 3, 4 e 5, com exceção de Cl-*a* para o grupo 5.
	BG030 (grupo 1)	Concentrações de P_T, Cl-*a*, $N\text{-}NH_4^+{}_T$ e SST significativamente menores que as do grupo 2. Concentrações de DBO significativamente maiores que as dos grupos 1, 2, 3, 4 e 5 e de colif. term. significativamente maiores que as dos grupos 2, 4 e 5.
	BG037 (grupo 3)	Concentrações de SST e ST significativamente menores que as do grupo 2 e de DBO significativamente menor que a do grupo 1. Concentrações de Cl^-_T significativamente maiores que as dos grupos 1, 2, 5 e 6 e de Cl-*a* e $N\text{-}NO_3^-$ significativamente maiores que as dos grupos 1, 5 e 6.
	BG038 (grupo 2)	Concentrações de OD significativamente menores que as do grupo 3, 5 e 6. Concentrações de SST e ST significativamente maiores que as dos grupos 1, 3, 4, 5 e 6, com exceção de ST para o grupo 1. Concentrações de P_T e $N\text{-}NH_4^+{}_T$ significativamente maiores que as dos grupos 1, 4, 5 e 6.
Carga	BG026 (Grupo 4)	Cargas de Colif. term., Cl-*a*, DBO, DQO, $N\text{-}NH_4^+{}_T$ e OD, significativamente menores que as dos grupos 1, 2 e 3. Cargas de todos os parâmetros, exceto Colif. term., significativamente maiores em relação ao grupo 5.
	BG032 (Grupo 3)	Cargas de todos os parâmetros significativamente maiores em relação aos grupos 4 e 5, com exceção de $N\text{-}NO_3^-$, Cl^-_T , Feof.-*a*, P_T, SST e ST para o grupo 4.
	BG035 (Grupo 2)	Cargas de todos os parâmetros significativamente maiores em relação aos grupos 4 e 5, com exceção de $N\text{-}NO_3^-$, Feof.-*a*, P_T, SST e ST para o grupo 4.
	BG037 (Grupo 1)	Cargas de todos os parâmetros significativamente maiores em relação aos grupos 4 e 5, com exceção de SST e ST para o grupo 4.

Nota – grupo 5 formado na análise de concentração: BG031 e BG034; grupo 4 formado na análise de concentração: BG026, BG032 e BG035; grupo 5 formado na análise de carga: BG038, BG034, BG031, BG0030, BG024.

Em termos de concentração, avaliando todos os resultados obtidos, as análises preliminares da estatística descritiva e as análises multivariadas associadas aos testes não paramétricos identificaram as estações de monitoramento BG024 e BG038 como as de melhor e pior qualidade da água, nessa ordem. Já na análise dos dados de carga, a estação BG037 foi destacada como a de pior qualidade da água e as estações dos afluentes do rio Verde seguidas da estação BG026 (médio rio Verde) foram identificadas como as menos impactadas.

Em resumo, baseando-se nos 12 parâmetros avaliados, os resultados da análise dos dados de concentração se diferenciam da análise dos dados de carga, apresentando grandes distinções frente às análises multivariadas. Esses resultados, ainda, reforçam os trabalhos apresentados no item da revisão bibliográfica, nos quais os autores verificaram que a indissociabilidade dos aspectos quali-quantitativos é fundamental para compreensão dos impactos em termos de avaliação ambiental.

Cabe chamar a atenção, também, para o fato de que as análises de qualidade da água realizadas usando somente dados de concentração pode ocultar o que verdadeiramente ocorre

no curso d'água, uma vez que as variações na qualidade de água dependem do regime hidrológico do rio. Assim, as análises devem ser realizadas considerando tanto os dados de concentração quanto de vazão.

5.3.2 Análises de tendências temporais

Neste tópico, são apresentados os resultados das análises de tendências temporais, de elevação ou de redução, da concentração e da carga dos parâmetros monitorados na bacia do rio Verde.

Após aplicação dos testes estatísticos propostos na metodologia, os resultados foram organizados em tabelas por estação de monitoramento (Tabelas IV.1 a IV.18 no Apêndice IV). Para efeitos de simplificação, todos os resultados foram transcritos para uma única tabela (Tabela 5.6 para os dados de concentração e Tabela 5.7 para os dados de carga). Essas tabelas apresentam uma análise final, indicando todas as tendências existentes na bacia do rio Verde para as concentrações e cargas de cada um dos parâmetros selecionados.

Tabela 5.6. Resultados finais das análises de tendência temporal dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água estudados nas nove estações da bacia do rio Verde.

Parâmetro	BG026	BG032	BG035	BG037	BG024	BG030	BG038	BG031	BG034
Cl^-_T (mg/L)	↑	↑	↑	↑	-	↑	↑	↑	↑
Cl-*a* (µg/L)	**?**↓	-	-	-	↓	↓	↓	↓	-
Colif. term. (NMP/100 mL)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DBO (mg/L O_2)	-	↑	-	-	-	↑	-	**?**↑	-
DQO (mg/L O_2)	-	-	**?**↑	-	-	-	-	**?**↑	-
Feof-*a* (µg/L)	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	-
P_T (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	↓
$N\text{-}NO_3^-$ (mg/L N)	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (mg/L N)	-	↑	**?**↑	↑	-	↑	↑	-	-
OD (mg/L)	-	**?**↑	-	-	-	-	-	-	**?**↑
SST (mg/L)	↓	↓	-	-	-	-	↓	-	-
ST (mg/L)	**?**↓	↓	-	-	-	**?**↓	↓	-	-

↑ tendência de elevação; ↓ tendência de redução; ?↑ inconclusiva com possibilidade de elevação; ?↓ inconclusiva com possibilidade de redução; - sem tendência; *não foi possível o cálculo de pelo menos um dos testes.

Nota – as estações de monitoramento foram ordenadas de montante para jusante de acordo com o corpo d'água em que estão localizadas, considerando primeiro as da calha, depois do rio Baependi, Lambari e do Peixe.

Tabela 5.7. Resultados finais das análises de tendência temporal dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água estudados nas nove estações da bacia do rio Verde.

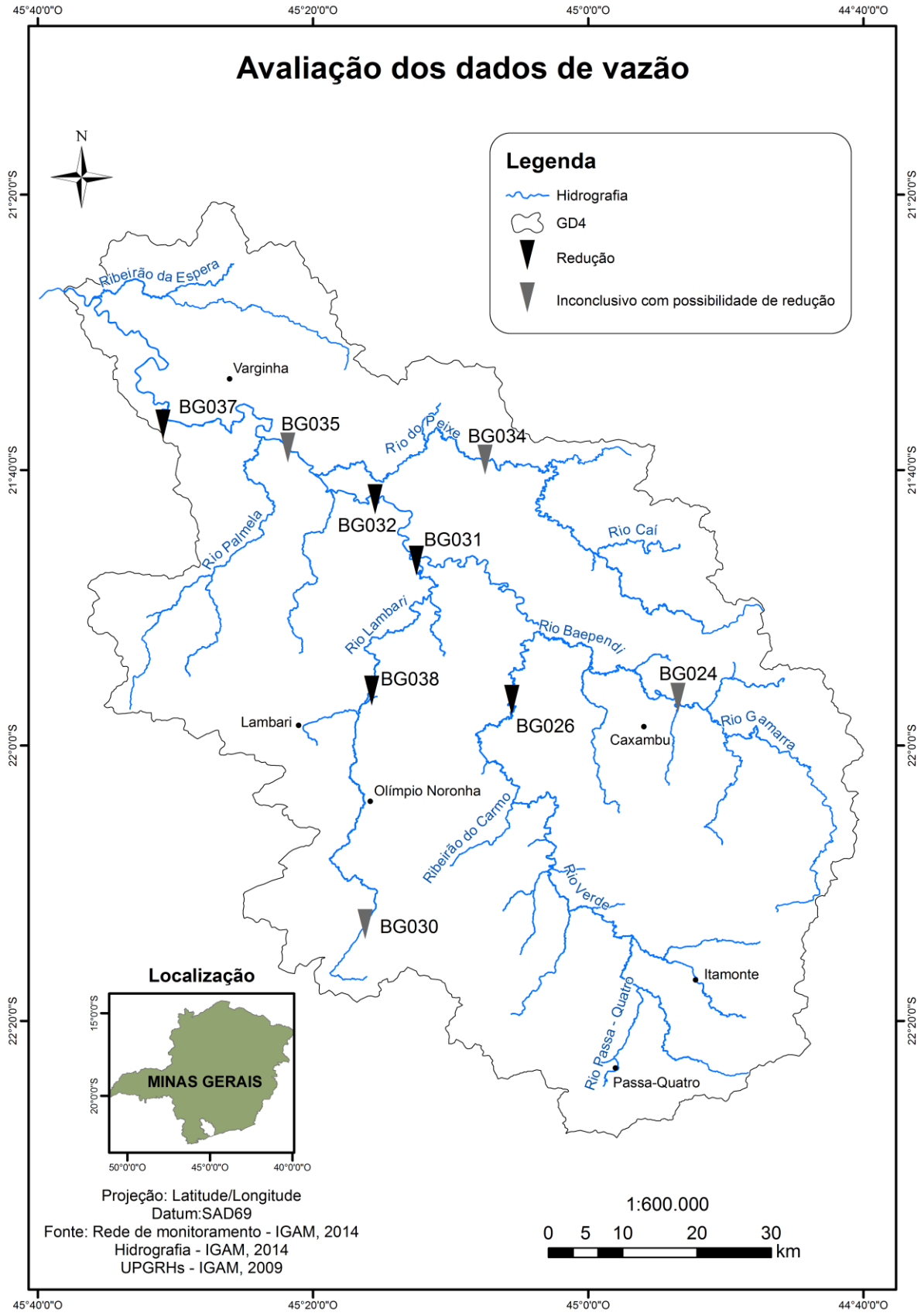
Parâmetro	BG026	BG032	BG035	BG037	BG024	BG030	BG038	BG031	BG034
Cl^-_T (kg/dia)	↓	↓	-	**?**↓	-	-	↓	↓	-
Cl-*a* (kg/dia)	↓	↓	**?**↓	-	↓	↓	↓	↓	**?**↓
Colif. term. (NMP/dia)	↓	-	-	↓	-	-	↓	↓	-
DBO (kg/dia O_2)	↓	↓	**?**↓	**?**↓	**?**↓	-	↓	↓	**?**↓
DQO (kg/dia O_2)	-	-	-	↓	-	-	↓	-	-
Feof-*a* (kg/dia)	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
P_T (kg/dia)	↓	↓	↓	↓	-	-	↓	↓	↓
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	-	↑	↑	**?**↑	-	-	-	-	**?**↑
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	**?**↓	-	-	-	-	-	-	↓	-
OD (kg/dia)	↓	↓	↓	↓	**?**↓	↓	↓	↓	**?**↓
SST (kg/dia)	↓	**?**↓	↓	**?**↓	↓	-	↓	↓	-
ST (kg/dia)	↓	**?**↓	**?**↓	↓	↓	**?**↓	↓	↓	↓

↑ tendência de elevação; ↓ tendência de redução; ?↑ inconclusiva com possibilidade de elevação; ?↓ inconclusiva com possibilidade de redução; - sem tendência; *não foi possível o cálculo de pelo menos um dos testes.

Nota – as estações de monitoramento foram ordenadas de montante para jusante de acordo com o corpo d'água em que estão localizadas, considerando primeiro as da calha, depois do rio Baependi, Lambari e do Peixe.

Para auxiliar nas avaliações, a análise de tendência temporal foi realizada também para os dados de vazão, em todas as estações de monitoramento. Os resultados são mostrados na Tabela IV.19 do Apêndice IV e na Figura 5.8 é possível visualizar o comportamento da vazão ao longo de toda a Bacia. Verificou-se que houve tendência de redução ou possível redução em todas as estações avaliadas.

Figura 5.8. Mapa representando a tendência espaço-temporais da vazão, nas estações selecionadas da bacia do rio Verde.



As concentrações dos parâmetros nitrato e cloreto total apresentaram tendência de elevação em todas as estações de monitoramento analisadas, exceto na estação BG024 que não apresentou tendência para cloreto total. Como grande parte da bacia é ocupada por áreas agrícolas, possivelmente o escoamento das águas pluviais pelos solos fertilizados é a principal fonte que contribuiu para a presença desses elementos no corpo d'água, além da drenagem das áreas urbanas.

Já as tendências para as cargas desses parâmetros apresentaram padrões diferentes. Para o parâmetro cloreto total, das nove estações analisadas, cinco apresentaram tendência de redução ou inconclusiva com possibilidade de redução. Já para o parâmetro nitrato, tendência de elevação ou inconclusiva com possibilidade de elevação ocorreram somente em quatro estações: BG032, BG035 e BG037, as quais estão localizadas no baixo rio Verde, e BG034 localizada no rio do Peixe.

A Figura 5.9 apresenta a série histórica do cloreto total na estação BG032 ao longo do tempo, que apresentou tendência significativa de elevação na análise dos dados de concentração e de redução em relação à análise dos dados de carga. Para complementar a análise também é apresentada a série histórica de vazão para esta estação (Figura 5.10). Observa-se realmente uma tendência crescente nos dados de concentração e decrescente nos dados de carga. No intuito de entender esse comportamento, analisando-se especificamente uma data de coleta, a do dia 31/10/2014, a vazão no curso d'água foi a menor registrada no período avaliado (15,60 m^3/s), dessa forma ao realizar-se a medição somente da concentração foi encontrado o maior valor de concentração da série histórica (3,48 mg/L). Isso evidencia, novamente, a necessidade de que avaliações de qualidade de água sejam realizadas analisando-se dados de vazão e de concentração para realização de análises mais consistentes. A Tabela 5.8 exemplifica a interpretação do parâmetro cloreto total.

Figura 5.9. Evolução temporal da concentração e da carga do parâmetro cloreto total, na estação BG032 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014.

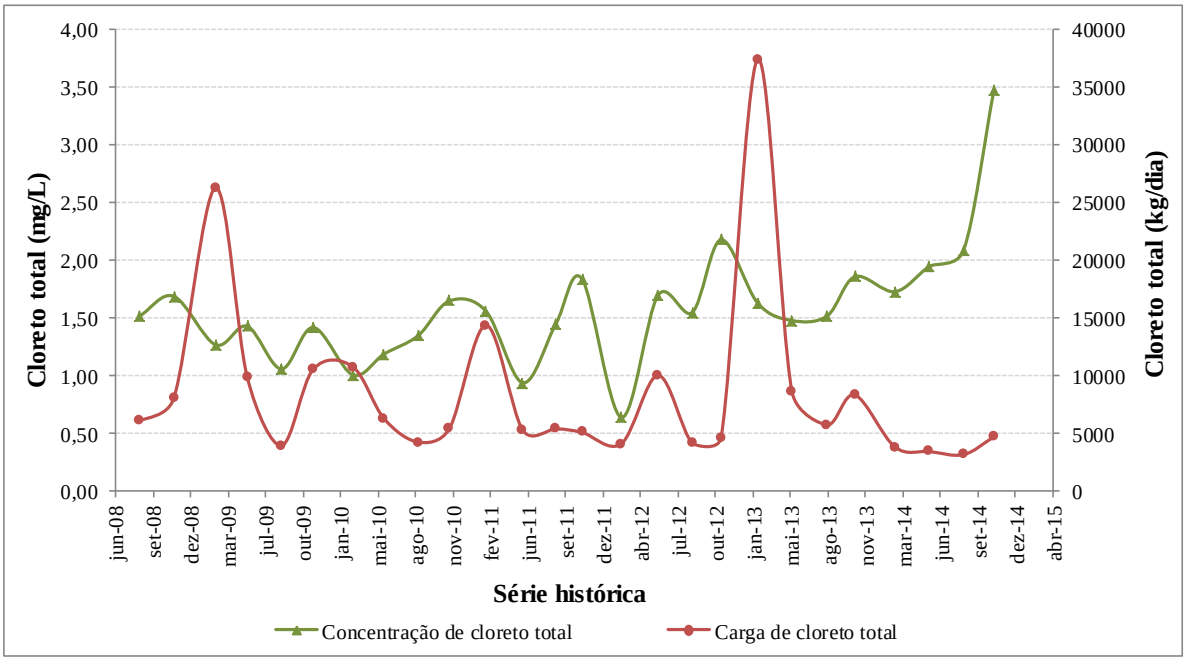


Figura 5.10. Evolução temporal da vazão, na estação BG032 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014.

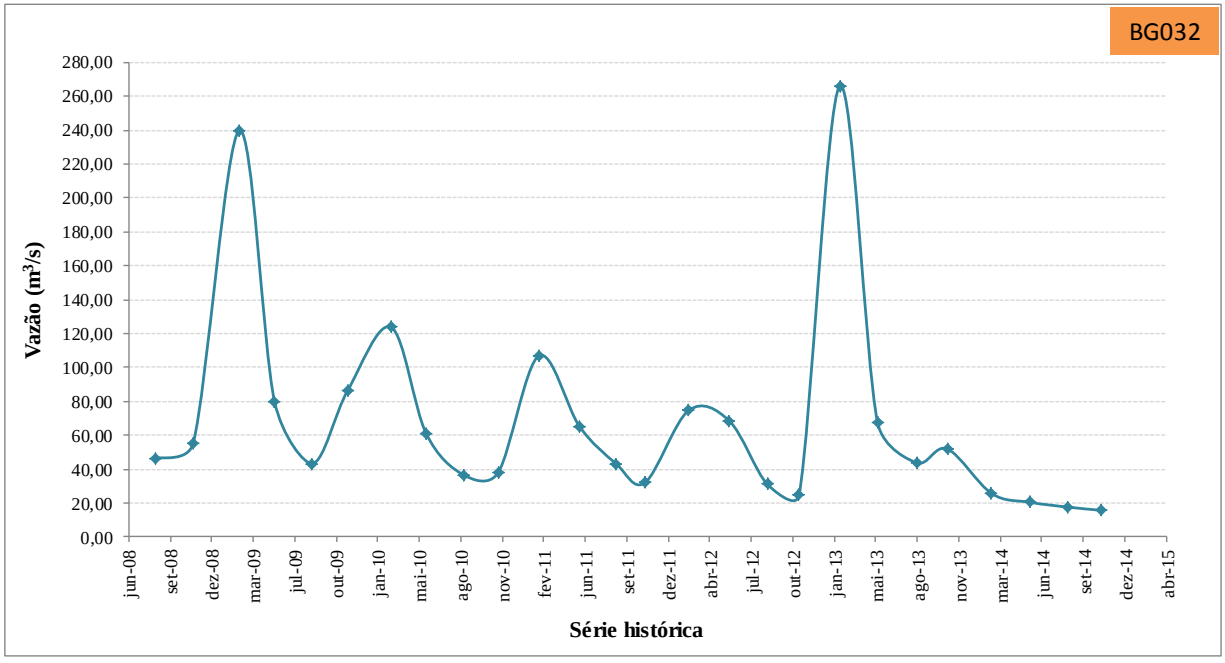


Tabela 5.8. Resumo das análises de tendência temporal dos dados de concentração e carga do parâmetro cloreto total e vazão, nas nove estações da bacia do rio Verde.

Parâmetro (Cl^-_T)	BG026	BG032	BG035	BG037	BG024	BG030	BG038	BG031	BG034
Concentração	↑	↑	↑	↑	-	↑	↑	↑	↑
Carga	↓	↓	-	**?**↓	-	-	↓	↓	-
Vazão	↓	↓	**?**↓	↓	**?**↓	**?**↓	↓	↓	**?**↓

Somente para duas estações os resultados de tendência, de concentração e de carga, para o parâmetro nitrato foram iguais: BG032 e BG035, localizadas no trecho final do rio Verde, recebendo os poluentes de toda a bacia. Na Figura 5.11 pode ser visto a evolução temporal da concentração e da carga do parâmetro nitrato na estação BG035. Mesmo ocorrendo uma diminuição nos valores de vazão ao longo da série histórica (Figura 5.12), foi verificada uma tendência de elevação nos valores de carga, indicando nesse caso uma real elevação da degradação ambiental.

Figura 5.11. Evolução temporal da concentração e da carga do parâmetro nitrato, na estação BG035 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014.

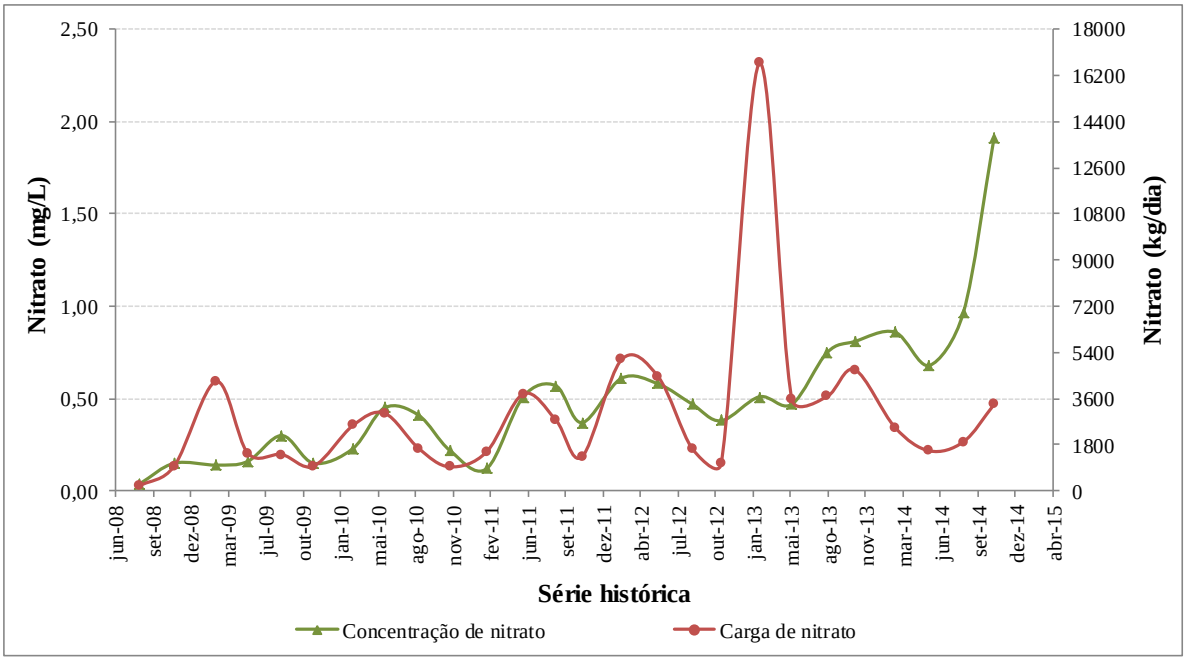
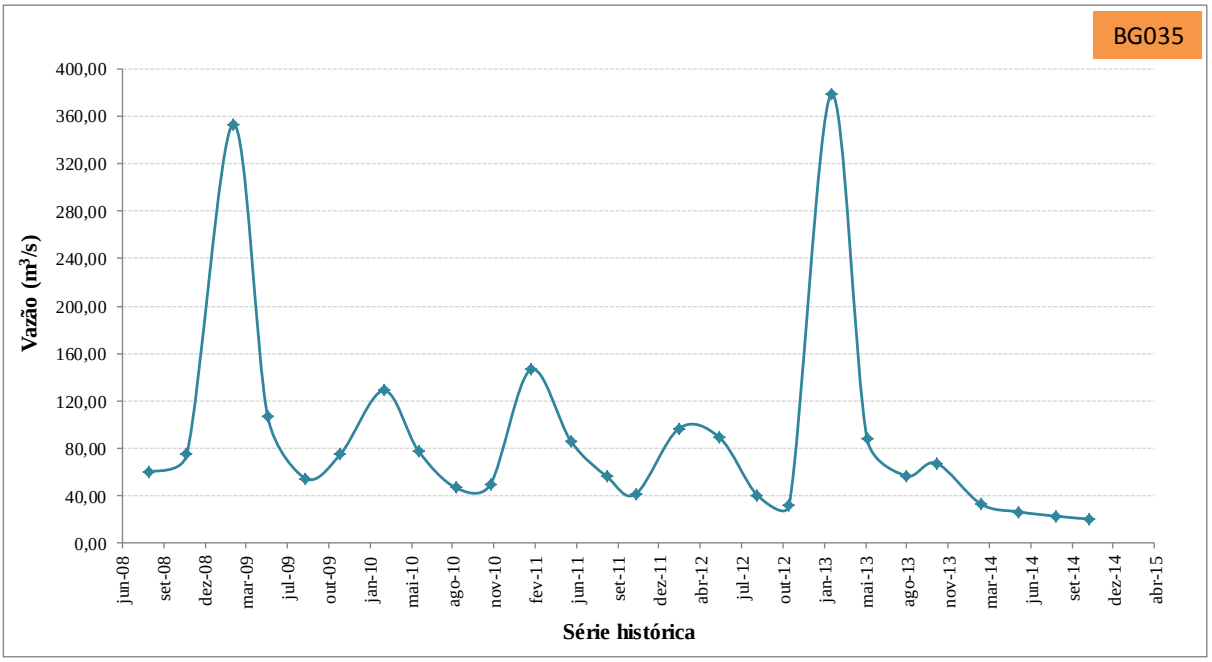


Figura 5.12. Evolução temporal da vazão, na estação BG035 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014.



Percebe-se que a tendência de elevação da concentração de nitrato foi verificada em todas as estações, acompanhada pela tendência de redução da vazão, ou tendência inconclusiva de redução e, no caso das cargas, estas apresentaram tendência de elevação em algumas estações (Tabela 5.9). Isto indica que a elevação da concentração causa o aumento da carga poluidora, já que a vazão está sendo reduzida.

Tabela 5.9. Resumo das análises de tendência temporal dos dados de concentração e carga do parâmetro nitrato e vazão, nas nove estações da bacia do rio Verde.

Parâmetro ($N\text{-}NO_3^-$)	BG026	BG032	BG035	BG037	BG024	BG030	BG038	BG031	BG034
Concentração	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Carga	-	↑	↑	**?**↑	-	-	-	-	**?**↑
Vazão	↓	↓	**?**↓	↓	**?**↓	**?**↓	↓	↓	**?**↓

A partir da avaliação desses dois parâmetros fica evidente a diferença entre as análises dos dados de carga e de concentração. O que se percebe é que alterações no fluxo do rio ao longo do tempo podem dificultar a interpretação dos dados de concentração, de modo que o exame dos dados de concentração junto com os dados de vazão fornecem uma avaliação mais abrangente da mudança ambiental.

Ainda analisando-se a Tabela 5.6 de resultados, destaca-se que as concentrações do parâmetro coliformes termotolerantes não apresentaram tendência significativa nas estações de monitoramento. Em outros estudos que analisaram dados de concentração dos parâmetros vem sendo constatado que os cursos d'água de Minas Gerais encontram-se em um elevado estado de degradação, e que os valores de coliformes termotolerantes têm apresentado valores tão elevados que se encontram acima do limite de detecção do método utilizado, sendo, dessa forma, substituídos pelo limite de detecção (valor constante), e, por isso, nenhuma tendência tem sido observada (TRINDADE, 2013; BARBOSA, 2015; CALAZANS, 2015).

Quanto à análise dos dados de carga, o parâmetro coliformes termotolerantes apresentou tendência significativa de redução nas estações BG026, BG031, BG037 e BG038, e nas demais estações nenhum tendência foi constatada. No entanto, uma análise conjunta dos dados de concentração, carga e vazão mostram que as concentrações de todas as estações permaneceram sem tendência, independente do comportamento da vazão, que influenciava apenas a carga (Tabela 5.10). Isto mostra que a situação das estações, com relação aos coliformes termotolerantes, permanece a mesma, com concentrações elevadas, em função da ausência ou insuficiência de tratamento dos esgotos sanitários pelos municípios presentes na Bacia.

Tabela 5.10. Resumo das análises de tendência temporal dos dados de concentração e carga do parâmetro coliformes termotolerantes e vazão, nas nove estações da bacia do rio Verde.

Parâmetro (Colif. term.)	BG026	BG032	BG035	BG037	BG024	BG030	BG038	BG031	BG034
Concentração	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carga	↓	-	-	↓	-	-	↓	↓	-
Vazão	↓	↓	**?**↓	↓	**?**↓	**?**↓	↓	↓	**?**↓

Na Figura 5.13 pode ser visto a série temporal dos valores de concentração e carga na estação BG037 e na Figura 5.14 a série temporal de vazão. A estação BG037 apresenta valores mais elevados de carga em relação às demais, com valor mediano igual a 4,82E14 NMP/dia, possivelmente por ser o último ponto na bacia e receber toda a carga de poluição.

Figura 5.13. Evolução temporal da concentração e da carga do parâmetro coliformes termotolerantes, na estação BG037 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014.

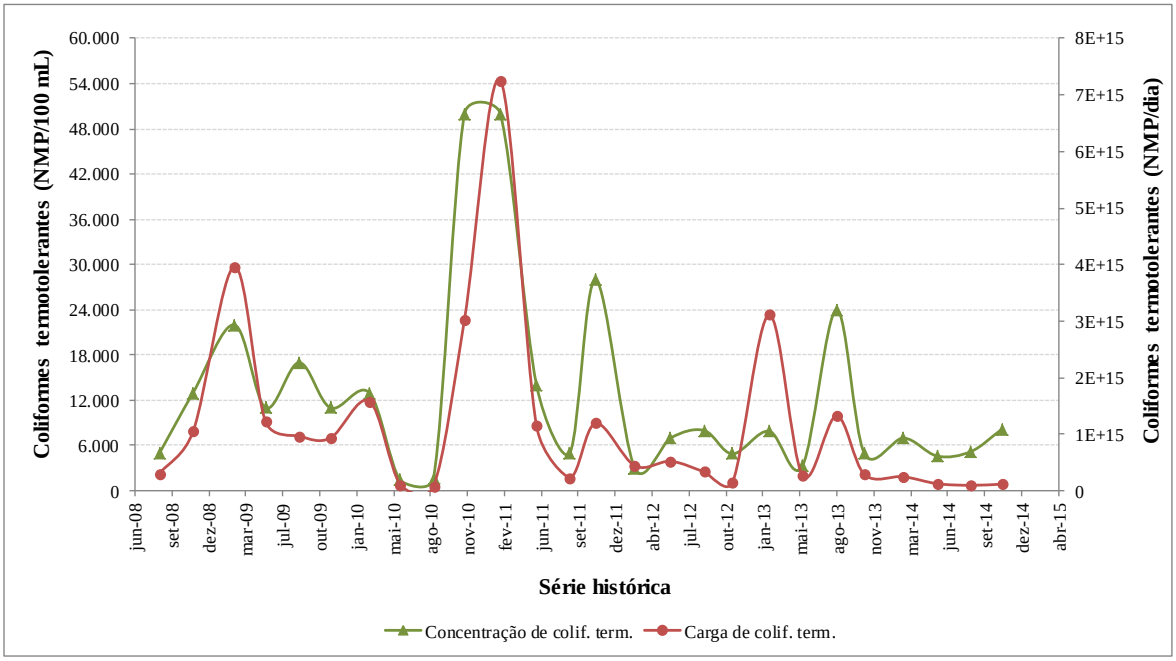
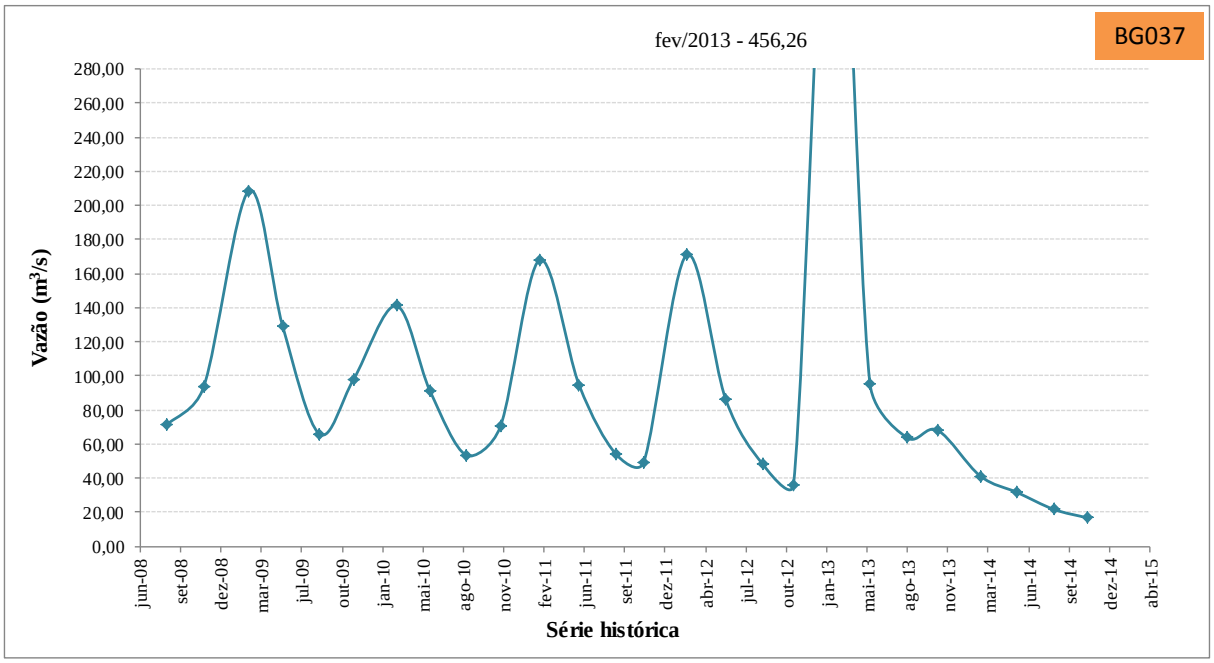


Figura 5.14. Evolução temporal da vazão, na estação BG037 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014.



Importante chamar atenção para o fato de que quando se analisa somente dados de carga dos poluentes, sem verificar o comportamento da vazão e da concentração, há certa dificuldade em se analisar os resultados, uma vez que não se sabe se alterações nos valores de carga foram causadas por aumento ou diminuição de vazão ou de concentração.

A concentração de fósforo total apresentou tendência de redução em uma única estação (BG034), sendo que as demais não apresentaram tendência. A análise dos dados de carga, também identificou tendência de redução, mas essas ocorreram em todas as estações de monitoramento, exceto na BG024 e BG030. Como já constatado para o parâmetro coliformes termotolerantes, para a maioria das estações a vazão está influenciando somente os dados de carga, enquanto as séries de concentração se apresentam sem tendência.

Na estação BG034, observou-se tendência de redução nos valores de concentração de fósforo total, apesar da redução nos valores de vazão (Figura 5.15), o que indica, nesse caso, que a redução nas concentrações está efetivamente relacionada à redução do aporte de poluente em relação a esse parâmetro, como detalhado na Tabela 5.11 para o fósforo total.

Figura 5.15. Evolução temporal da concentração e da carga do parâmetro fósforo total, na estação BG034 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014.

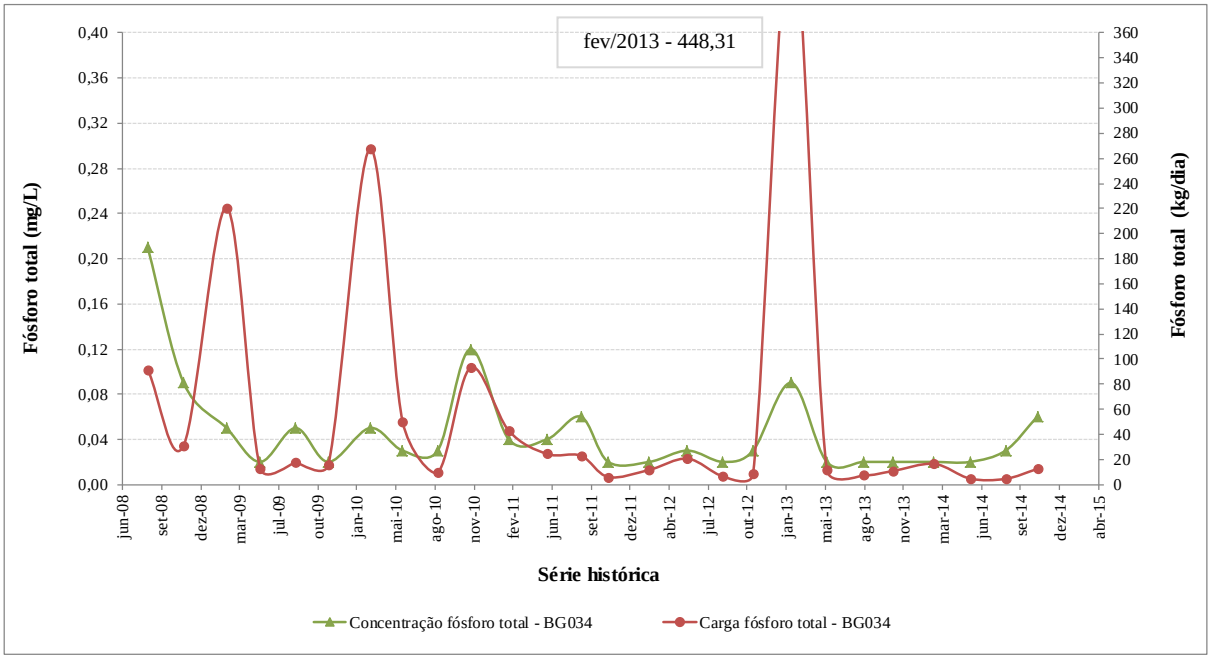


Tabela 5.11. Resumo das análises de tendência temporal dos dados de concentração e carga do parâmetro fósforo total e vazão, nas nove estações da bacia do rio Verde.

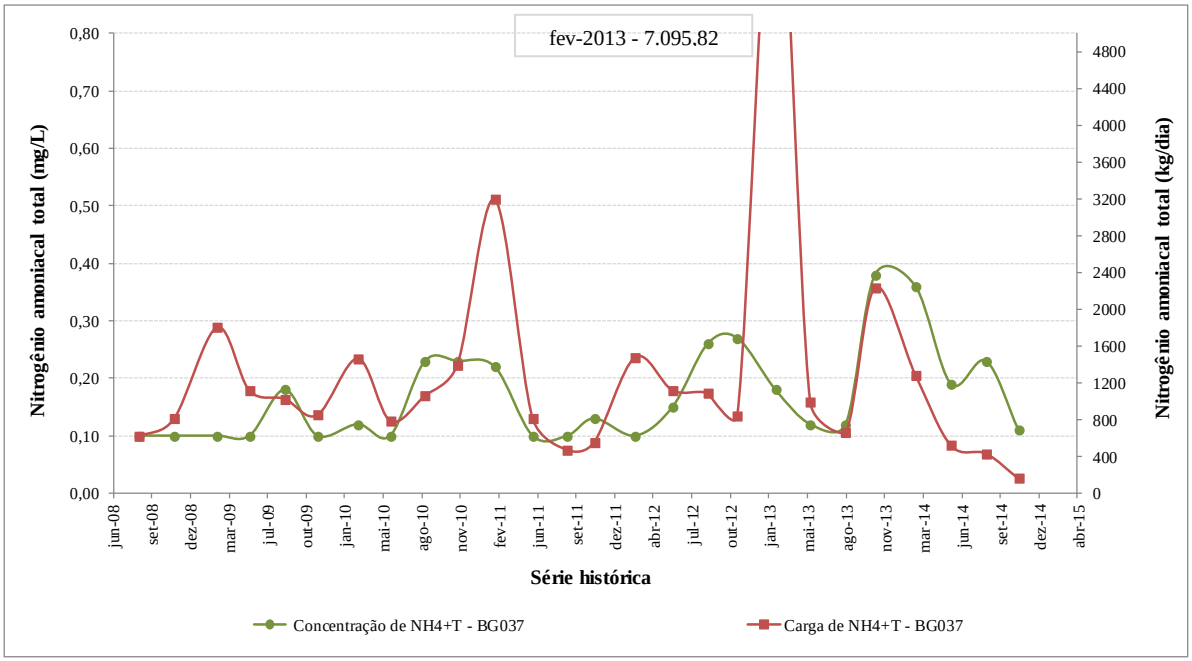
Parâmetro (P_T)	BG026	BG032	BG035	BG037	BG024	BG030	BG038	BG031	BG034
Concentração	-	-	-	-	-	-	-	-	↓
Carga	↓	↓	↓	↓	-	-	↓	↓	↓
Vazão	↓	↓	**?**↓	↓	**?**↓	**?**↓	↓	↓	**?**↓

Quanto à concentração do parâmetro nitrogênio amoniacal, foram notadas tendências significativas de elevação ou possíveis elevações em duas estações do rio Lambari (BG030 e BG038) e três do alto rio Verde (BG032, BG035 e BG037). Nas demais estações não foram observadas tendências significativas. Em contraste, tendência de redução e possível redução foram exibidas nos dados de carga nas estações BG026 e BG031, respectivamente. Um resumo das análises de tendência para esse parâmetro é mostrado na Tabela 5.12. É interessante observar que em todas as estações nas quais foram observadas tendência de elevação ou possível elevação da concentração, ao analisarem-se os dados de carga das mesmas estações nenhuma tendência foi constatada (exemplo da estação BG037 apresentada na Figura 5.16), indicando que a elevação nos valores de concentração foi devido à redução nos valores de vazão. Conforme relatado por Trindade 2013, variações nas concentrações podem ocorrer devido a mudanças na vazão sem necessariamente existir realmente uma tendência temporal ou espacial.

Tabela 5.12. Resumo das análises de tendência temporal dos dados de concentração e carga do parâmetro nitrogênio amoniacal total e vazão, nas nove estações da bacia do rio Verde.

Parâmetro ($N\text{-}NH_4^+{}_T$)	BG026	BG032	BG035	BG037	BG024	BG030	BG038	BG031	BG034
Concentração	-	↑	**?**↑	↑	-	↑	↑	-	-
Carga	**?**↓	-	-	-	-	-	-	↓	-
Vazão	↓	↓	**?**↓	↓	**?**↓	**?**↓	↓	↓	**?**↓

Figura 5.16. Evolução temporal da concentração e da carga do parâmetro nitrogênio amoniacal total, na estação BG037 da bacia do rio Verde, no período de 2008 a 2014.



Observa-se que para todos os parâmetros avaliados, na maioria dos casos em que a análise dos dados de carga e de concentração apontou ausência de tendência, os dados de vazão indicaram tendência inconclusiva com possibilidade de redução. Nesses casos a tendência inconclusiva encontrada para os dados de vazão pode ser descartada, podendo ser considerada a ausência de tendência, também, no dado de vazão.

De maneira geral, ainda analisando-se os dados da Tabela 5.6, observou-se que as concentrações dos parâmetros que mais apresentaram tendência significativa de elevação foram nitrato (100%), cloreto total (89%) e nitrogênio amoniacal (33%), considerando as nove estações analisadas. Por outro lado a tendência de redução foi mais expressiva para as concentrações de feofitina *a* (89%), clorofila *a* (44%) e sólidos suspensos totais (33%). A tendência de redução mostra uma melhora enquanto que a tendência de elevação mostra uma piora, exceto para o OD.

Para concentração de alguns parâmetros a ausência de tendência temporal, estatisticamente significativa, foi identificada ao longo do período analisado, com destaque para coliformes termotolerantes (100%), Fósforo Total (89%), Demanda Química de Oxigênio (78%) e Oxigênio Dissolvido (78%).

No que tange à avaliação geral dos resultados dos dados de carga (Tabela 5.7), constatou-se que as tendências de redução ocorreram com maior frequência para os parâmetros feofitina *a* (100%), fósforo total (78%) e oxigênio dissolvido (78%). Já a tendência de elevação foi observada somente para o parâmetro nitrato (22%), entre todos os dados de carga analisados. Assim como para concentração somente tendências de elevação para o OD denotam melhoria.

E, ainda, analisando-se os dados de carga, a ausência de tendência foi identificada para algumas variáveis, por exemplo, para as cargas de demanda química de oxigênio (78%), nitrogênio amoniacal total (78%), coliformes termotolerantes (56%) e nitrato (56%).

Para uma melhor visualização e comparação do comportamento dos resultados obtidos nas análises de tendência temporal foram elaborados mapas com os resultados para os dados de concentração e de carga por parâmetro de qualidade da água, os quais são mostrados nas Figuras 5.17 a 5.21. Através dos mapas, é possível observar como o mesmo parâmetro se comportou em termos de carga e de concentração, ao longo da bacia. Ressalta-se que são

destacados no corpo do texto os resultados em que as diferenças foram mais evidentes, enquanto que os demais foram apresentados nas Figuras IV.3 a IV.9 do Apêndice IV.

Figura 5.17. Mapas representando as tendências espaço-temporais do parâmetro cloreto total, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde.

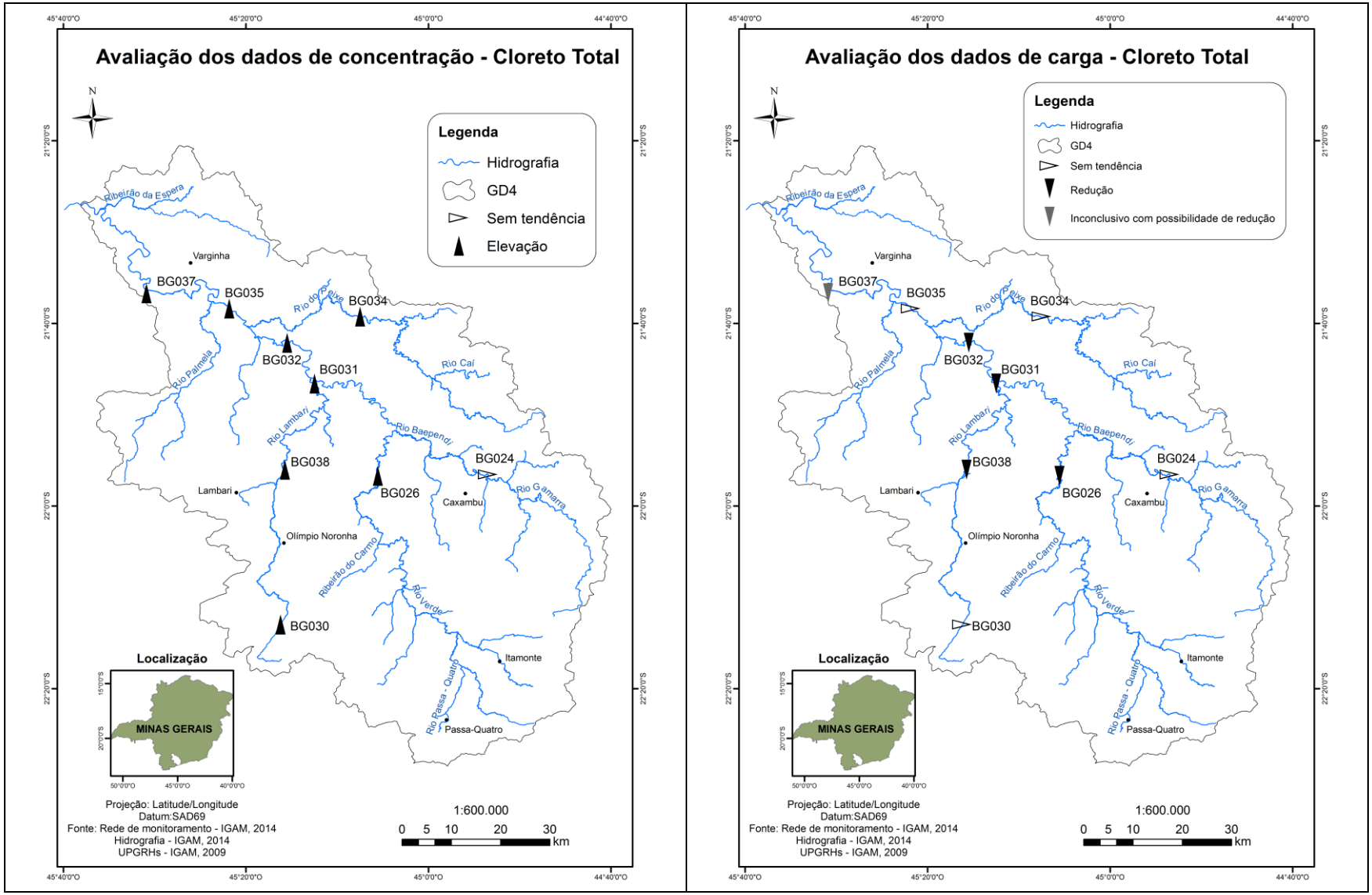


Figura 5.18. Mapas representando as tendências espaço-temporais do parâmetro coliformes termotolerantes, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde.

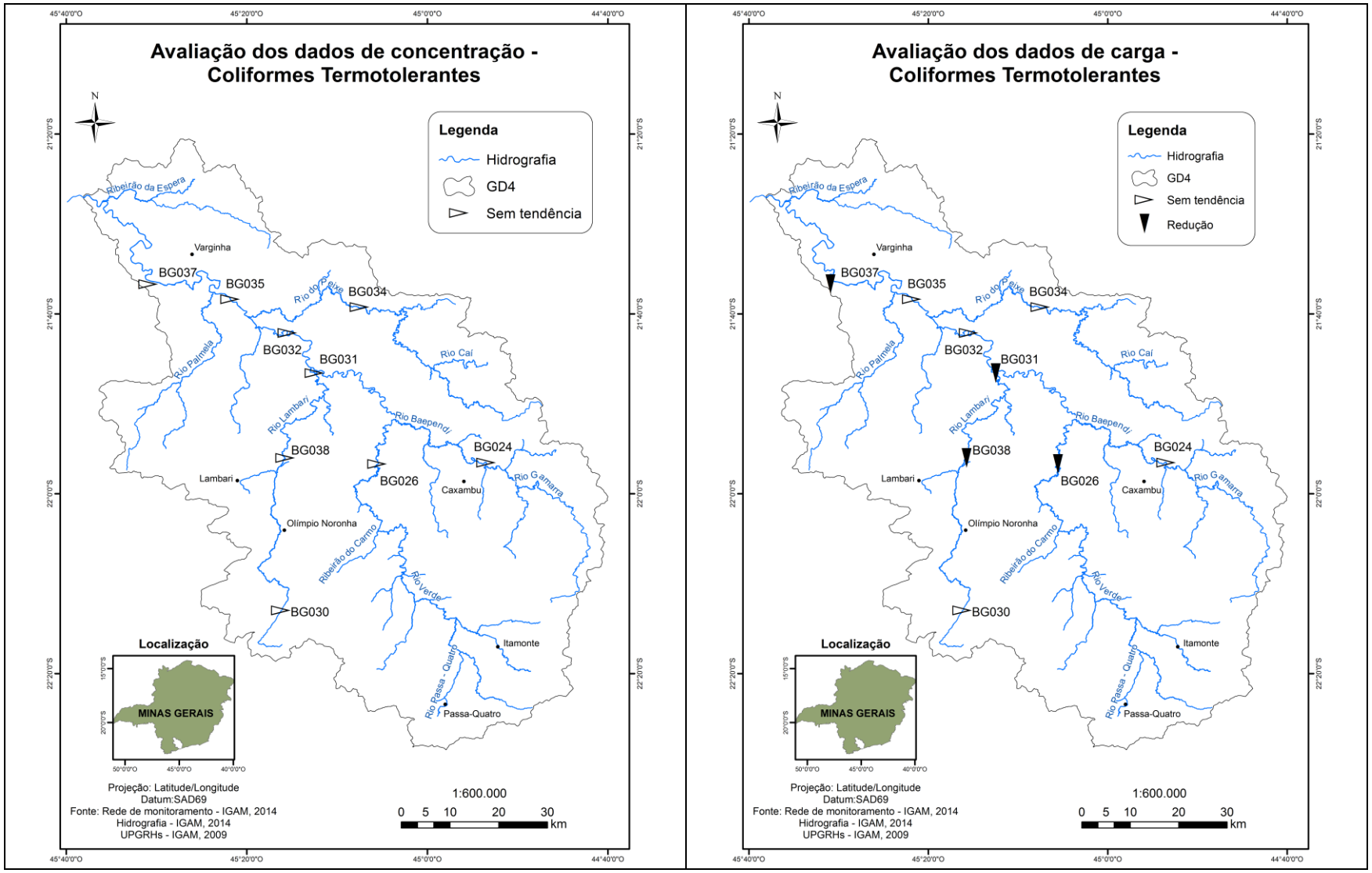


Figura 5.19. Mapas representando as tendências espaço-temporais do parâmetro DBO, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde.

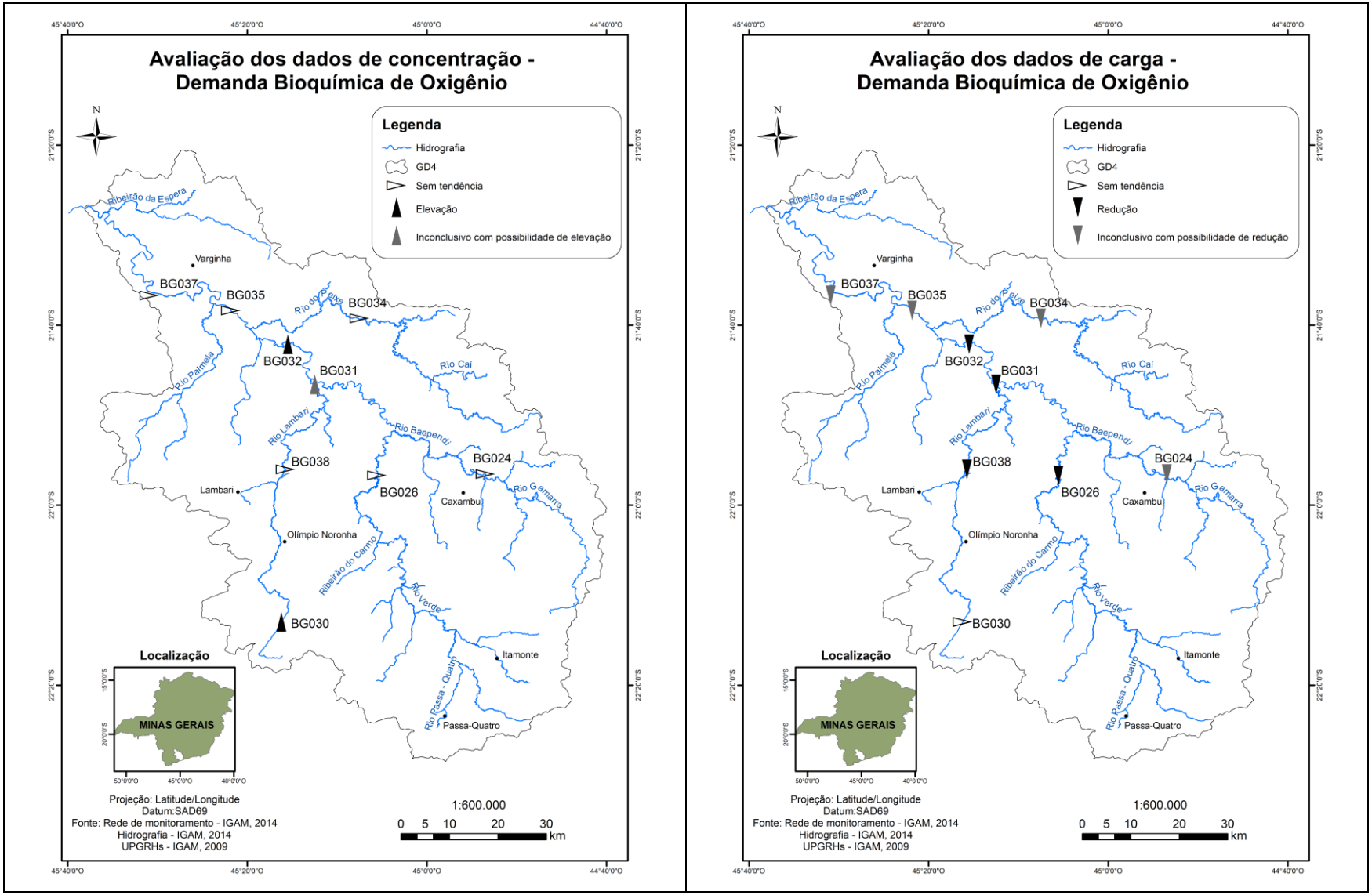


Figura 5.20. Mapas representando as tendências espaço-temporais do parâmetro nitrogênio amoniacal total, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde.

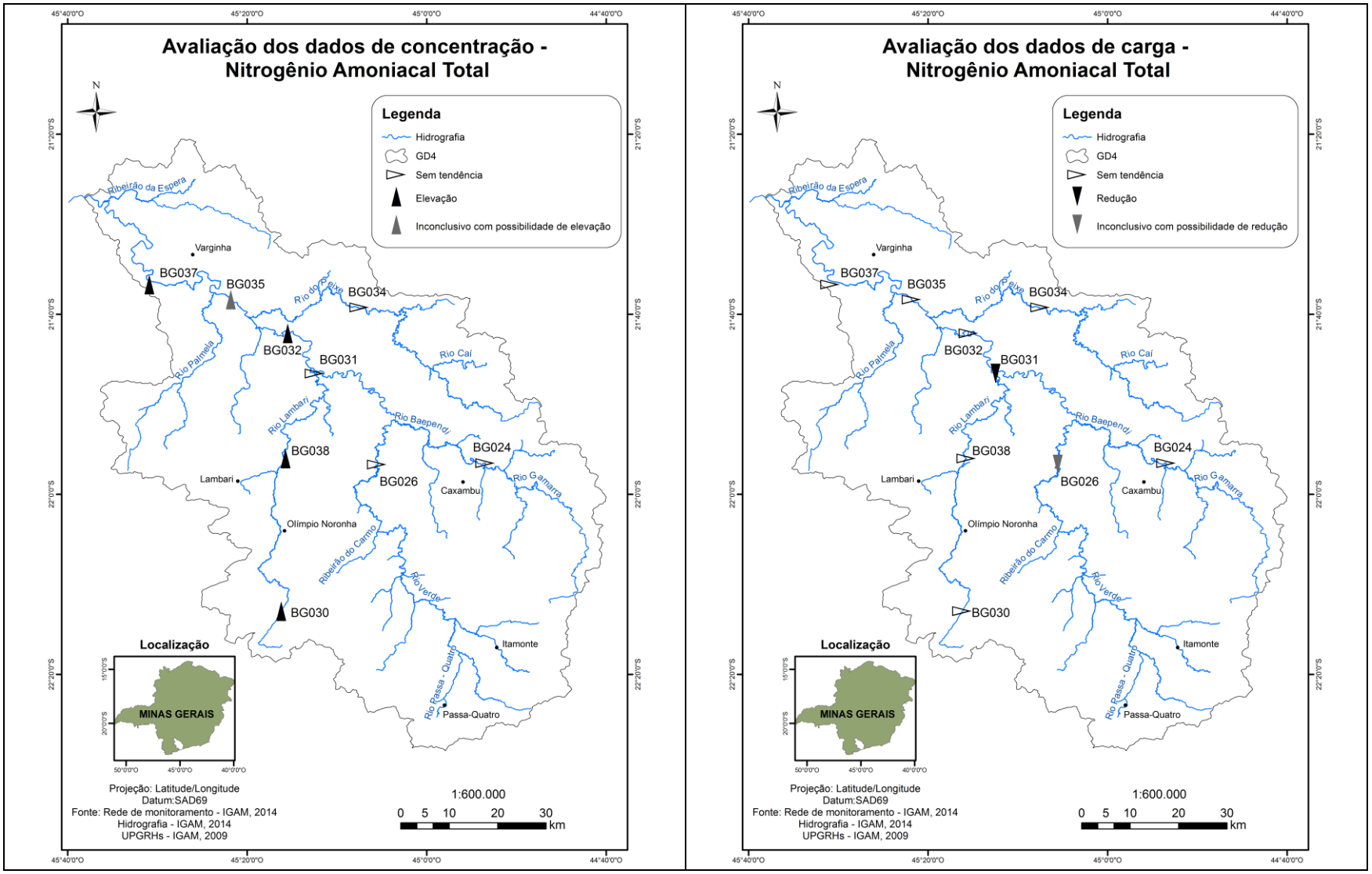
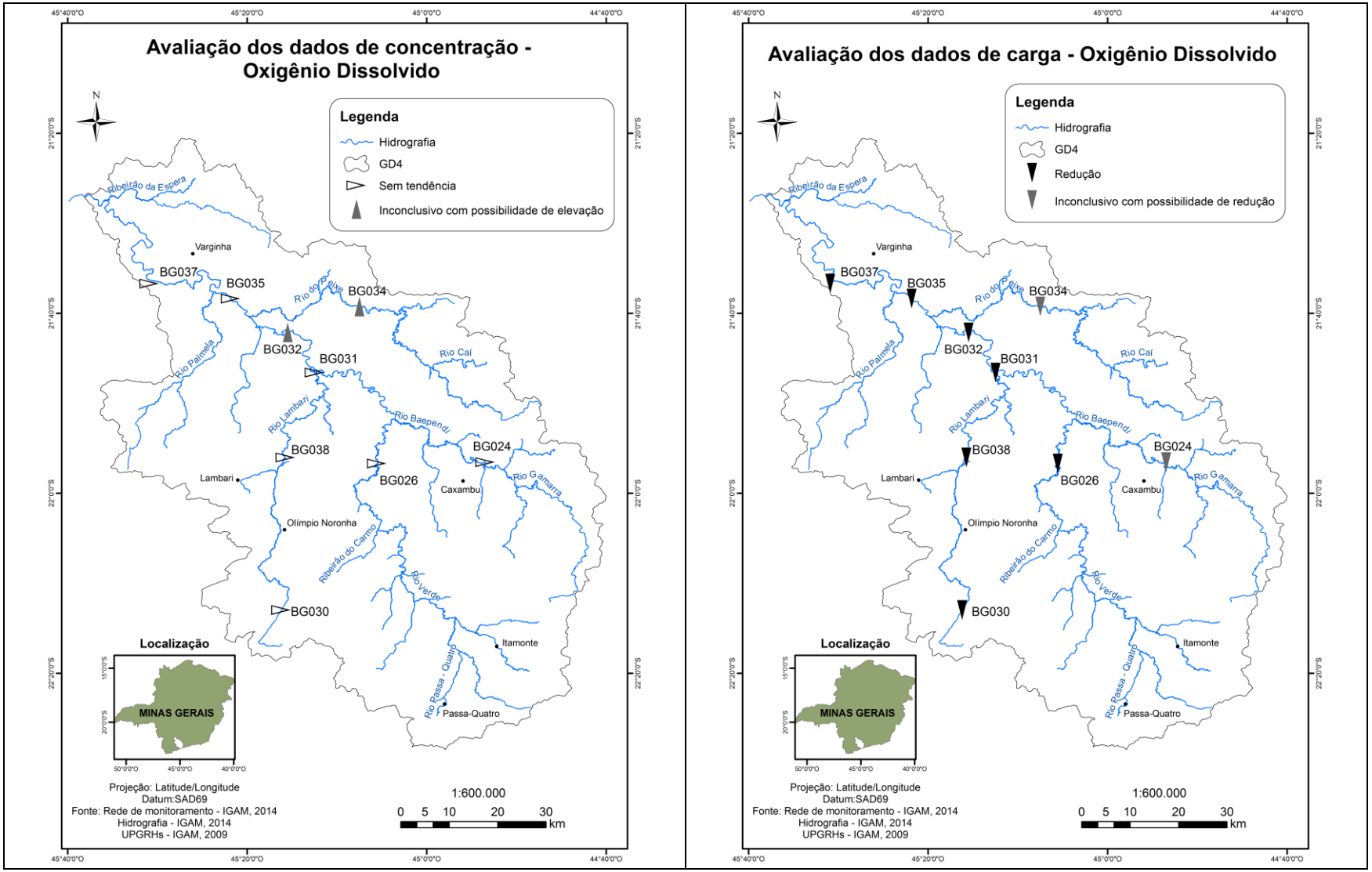


Figura 5.21. Mapas representando as tendências espaço-temporais do parâmetro oxigênio dissolvido, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde.



Analisando-se os mapas apresentados torna-se ainda mais evidente as diferenças espaço-temporais dos resultados das análises de dados de concentração e de carga. Verifica-se, predominantemente, tendência de redução (ou possível redução) e ausência de tendência nos dados de carga. O contrário da análise dos dados de concentração que apresentaram um maior número de tendências de aumento nas concentrações ou ausência de tendência. A coleta de dados em dias de menor pluviosidade foi aventada para explicar as tendências de aumento verificadas nos dados de concentração.

Cabe ainda destacar que, considerando todos os resultados de tendência, em 68% dos casos a tendência observada para a carga não foi a mesma que a encontrada para concentração. Conforme mencionado acima a concentração apresentou mais tendências de elevação ou possível elevação (27%), do que a carga (4%). Constatações semelhantes também foram realizadas por Barbosa (2013) e Coelho (2013). E, no geral, os dados de concentração foram mais estáveis, com 54% das análises sem tendência ao longo do tempo, contra 32% das análises sem tendência para os dados de carga. Muitos parâmetros não apresentaram tendência significativa e reforçando o que foi explanado anteriormente, isso não prova que não há tendência.

Todos os resultados apresentados corroboram o fato de que, para uma avaliação mais abrangente e fidedigna da qualidade da água, os dados de concentração e vazão devem ser avaliados juntos, pois alterações no fluxo do rio ao longo do tempo podem dificultar a interpretação se somente dados de concentrações estiverem sendo avaliados, como também apontando por Anderson *et al*. 2010. Isso ocorre porque se o fluxo de um rio aumenta e a massa de um determinado poluente entrando nesse curso d'água permanece a mesma, a concentração desse poluente no rio irá mostrar um declínio, não indicando uma menor degradação do corpo d'água.

6 CONCLUSÕES

A análise dos dados de carga apresentou resultados diferentes comparados à análise dos dados de concentração, com base nos 12 parâmetros avaliados. As técnicas estatísticas multivariadas utilizadas identificaram as estações de monitoramento BG024 (localizada no rio Baependi a jusante da cidade de Baependi) e BG038 (localizada no rio Lambari a jusante da cidade de Lambari) como as de melhor e pior qualidade da água, respectivamente. Já na análise dos dados de carga, a estação BG037 (no rio Verde a jusante da cidade de Varginha) foi destacada como a de pior qualidade da água e as estações dos afluentes do rio Verde identificadas como as menos impactadas.

As análises de tendência espaço-temporal indicaram diferenças entre a distribuição espacial da carga e da concentração para a maioria dos parâmetros avaliados.

A utilização de medidas de concentração de poluentes mostrou-se insuficiente para avaliações da qualidade da água e, consequentemente, para a gestão de recursos hídricos. Assim, recomenda-se que os dados de concentração devam ser avaliados em conjunto com os dados de vazão de modo a evitar o mascaramento pelo efeito da diluição. Pois, a diminuição na concentração de um determinado parâmetro, não significa necessariamente que houve degradação do poluente ou restrição de suas fontes. A diminuição pode simplesmente ter ocorrido devido ao aumento de vazão do corpo d'água e consequente diluição do poluente.

A análise de dados de carga dos poluentes, sem considerar o comportamento da vazão e da concentração, não forneceu resultados conclusivos uma vez que as alterações nos valores de carga podem ser causadas por alterações na vazão ou na concentração.

Por fim, o número de estações de monitoramento utilizados na pesquisa foi reduzido, limitando a abrangência da avaliação da qualidade da água na bacia. Para as análises multivariadas grande parte dos parâmetros também foi excluída, consequência da falta de padronização da frequência de amostragem, o que também contribuiu para a análise restrita da qualidade da água.

RECOMENDAÇÕES

Sugere-se como recomendações para trabalhos futuros os seguintes pontos:

- Considerar a utilização de dados de estações pluviométricas, realizando uma análise conjunta aos dados de concentração dos poluentes e vazão. Assim, seria possível trabalhar com análises considerando os períodos de estiagem e cheia;
- Utilizar outra metodologia para a transferência dos dados de vazão de uma estação fluviométrica para uma estação de qualidade da água;
- Realizar todas as análises, em termos de carga e de concentração, com um maior número de estações e parâmetros de qualidade da água, permitindo assim avaliação mais ampla da qualidade da água.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *Medição de descarga líquida em grandes rios: manual técnico*. Brasília: Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica (SGH), 2009. 88 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. *Orientações para consistência de dados fluviométricos*. Brasília, 2012. 16 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. *Portal da Qualidade das Águas*. Disponível em < http://portalpnqa.ana.gov.br/avaliacao.aspx>. Acesso em: 15 out. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. *Portal da Qualidade das Águas*. Disponível em < http://portalpnqa.ana.gov.br/Qualiagua.aspx>. Acesso em: 09 dez. 2015a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. *HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas*. Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 08 abr. 2015b.

AMARO, C. A. *Proposta de um índice para Avaliação de Conformidade da Qualidade dos Corpos Hídricos ao Enquadramento.* 2009. 224 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ANDERSON, H.; FUTTER, M.; OLIVER, I.; REDSHAW, J.; HARPER, A. *Trends in Scottish River water quality*. Environment Protection Agency, 2010. 178 p.

ANTONOPOULOS, V. Z.; PAPAMICHAIL, D. M.; MITSIOU, K. A. Statistical and trend analysis of water quality and quantity data for the Strymon River in Greece. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 5, n. 4, p. 679-691, 2001.

ARAÚJO, E. N. *Estudo do comportamento espacial dos parâmetros de qualidade das águas da bacia do rio Paraopeba*. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

EUCLYDES, H. P. (Cord.); FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. R; SANTOS, R. M.; LEITE, C. V. *Atlas digital das águas de Minas – uma ferramenta para o planejamento e gestão dos recursos hídricos*. 2 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (UFV), Fundação Rural Mineira (RURALMINAS), Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), 2007. 78 p.

BARBOSA, P. E. *Avaliação espaço-temporal da carga e da concentração de poluentes na calha do rio das velhas*. 2013. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

BARBOSA, T. B. C. *Avaliação da qualidade das águas Superficiais da sub-bacia do rio Paracatu em função do uso e Ocupação do solo*. 2015. 156 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

BARBOSA, P. E.; TRINDADE, A. L. C.; OLIVEIRA, S. M. A. C. Confirmação estatística da hipótese do impacto da sazonalidade na variação da carga de sólidos totais e coliformes termotolerantes no rio São Francisco, em Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2013, Goiânia, GO, *Anais...* ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2013.

BARNETT, V.; LEWIS, T. *Outliers in Statistical Data*. 3 ed. Chichester: Wiley, 1994. 604 p.

BENGRAÏNE, K.; MARTHABA, T. F. Using Principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality. *Journal of Hazardous Materials B100*, p. 179-195, 2003.

BHAT, S. A.; MERAJ, G.; YASEEN, S.; PANDIT, A. K. Statistical assessment of water quality parameters for pollution source identification in Suknag stream: An inflow stream of lake Wular (Ramsar Site), Kashmir Himalaya. *Journal of Ecosystems*, p. 1-18, 2014.

BOUZA-DEAÑO, R.; TERNERO-RODRÍGUEZ, M.; FERNÁNDEZ-ESPINOSA, A. J. Trend study and assessment of surface water quality in the Ebro River (Spain). *Journal of Hydrology*, v. 361, p. 227-239, 2008.

BOYACIOGLU, H.; BOYACIOGLU, H. Investigation of temporal trends in hydrochemical quality of surface water in western Turkey. *Bull Environ Contam Toxicol*, n. 80, p. 469-474, 2008.

BRACA, G. Stage-discharge relationships in open channels: practices and problems - FORALPS Technical Report, 11. Trento: Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, 2008. 24 p.

BRANCO, S. M. Caracterização e alterações da qualidade da Água. In: PORTO, R. L. L.; BRANCO, S. M.; CLEARY, R. W.; COIMBRA, R. M.; EIGER, S.; LUCA, S. J.; NOGUEIRA, V. P. Q.; PORTO, M. F. A. *Hidrologia Ambiental*. 3 ed. São Paulo: Edusp/ABRH, 1991. 414 p.

BU, H.; TAN, X.; LI, S.; ZHANG, Q. 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.

CALAZANS, G. M. *Avaliação e proposta de adequação da rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais das sub-bacias do rio das Velhas e do rio Paraopeba, utilizando técnicas estatísticas multivariadas.* 2015. 196 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

CARVALHO, M. A. G. *Métodos Estatísticos para Análise de Dados de Monitoração Ambiental*. 2003. 134 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Aplicações) - Autarquia Associada à Universidade de São Paulo (IPEN), São Paulo, 2003.

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

CHEVALLIER, P. *Aquisição e processamento de dados*. In: Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009. 943 p.

CHRISTENSEN, V. G.; RASMUSSEN, P. P.; ZIEGLER, A. C. Real-time water-quality monitoring and regression analysis to estimate nutrient and bacteria concentrations in Kansas streams. *Water Science Technology*, v. 45, n. 9, 2002.

CHRISTIE, O. H. J. Introduction to multivariate methodology, an alternative way? *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, n. 29, p. 177-188, 1995.

CHRISTOFARO, C.; LEÃO, M. M. D. 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 Interdisciplinar Journal of Applied Science*, Universidade de Taubaté, v. 4, n. 3, p. 54-66, 2009.

CHRISTOFARO, C.; LEÃO, M. M. D. Tratamento de dados censurados em estudos ambientais. *Química Nova*, v. 37, n. 1, p. 104-110, 2014.

COELHO, M. *Estratégia de monitoramento da qualidade da água para a gestão de recursos hídricos em bacias urbanas*. 2013. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

COIMBRA, R. M. Monitoramento da qualidade da Água. In: PORTO, R. L. L.; BRANCO, S. M.; CLEARY, R. W.; COIMBRA, R. M.; EIGER, S.; LUCA, S. J.; NOGUEIRA, V. P. Q.; PORTO, M. F. A. *Hidrologia Ambiental*. 3 ed. São Paulo: Edusp/ABRH, 1991. 414 p.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. *Introduzindo hidrologia*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas-UFRGS, 2008.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO GRANDE – CBH Grande. *A Bacia*. Disponível em < http://www.grande.cbh.gov.br/Bacia.aspx>. Acesso em: 20 jan. 2015a.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO GRANDE – CBH Grande. *Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Verde - GD4*. Disponível em < http://www.grande.cbh.gov.br/GD4.aspx>. Acesso em: 13 out. 2015b.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. *Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem*. Governo do estado de São Paulo. 2009. Disponível em: < http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf >.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução* n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília: CONAMA, 2005.

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 da outras providências. Belo Horizonte: COPAM, 2008.

COSTA, E. P. *Avaliação da violação de parâmetros de qualidade das águas superficiais aos limites da legislação mineira em sub-bacias hidrográficas do rio São Francisco*. 2014. 163 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2014.

COX, M. E.; MOSS, A.; SMYTH, G. K. Water quality condition and trend in North Queensland waterways. *Marine Pollution Bulletin*, v. 51, p. 89-98, 2005.

CPRM/ANA. *Diretrizes para análise de dados hidrométricos e normas para identificação e preenchimento de falhas*. Brasília, 2004 *apud* PACA, V. H. M. *Análise de informações satelitais e dados convencionais da rede pluvio-fluviométrica como contribuição à modelagem hidrológica na região amazônica - estudo de caso: bacia do rio Guamá – Pará*. 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil), Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. Disponibilidade hídrica para outorga (I): avaliação por seção hidrológica de referência. *REGA*, v. 4, n. 2, p. 51-64, 2007.

CRUZ, J. C. Qualidade *versus* Quantidade: Aspectos qualitativos dos recursos hídricos - Curso de Pós Graduação do IPH/UFRGS. 1997 *apud* SILVEIRA, G. L.; ROBAINA, A. D.; GIOTTO, E.; DEWES, R. Outorga para uso dos recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 3, p. 5-16, 1998b.

DERISIO, J. C. *Introdução ao controle de poluição ambiental*. 2 ed. São Paulo: Editora Signus, 2000. 164 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DNAEE. *Sistemática para análise de consistência de dados fluviométricos*. Brasília, 1982.

DIEBEL, M. W.; MAXTED, J. T.; ROBERTSON, D. M.; HAN, S.; ZANDEN, M. J. V. Landscape Planning for Agricultural Nonpoint Source Pollution Reduction III: Assessing Phosphorus and Sediment Reduction Potential. *Environmental Management*, v. 43, p. 69-83, 2009.

ECOPLAN ENGENHARIA; LUME ESTRATÉGIA AMBIENTAL; COMITÊ DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO VERDE; INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Verde – Resumo Executivo*. Minas Gerais, 2010a. 75 p.

ECOPLAN ENGENHARIA; LUME ESTRATÉGIA AMBIENTAL; COMITÊ DA BACIA HIDROGRAFICA DO RIO VERDE; INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Verde – Volume 1A*. Minas Gerais, 2010b. 400 p.

ELETROBRÁS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. *Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas*. Diretoria de Engenharia. 2000. [s.n.].

FAN, X.; CUI, B.; ZHAO, H.; ZHANG, Z.; ZHANG, H. Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques. *Procedia Environmental Sciences*, v. 2, p. 1220-1234, 2010.

FINOTTI, A. R.; FINKLER, R.; SILVA, M. D.; CEMIM, G. *Monitoramento de Recursos Hídricos em Áreas Urbanas*. Caxias do Sul: Educs., 2009. 272p.

GATICA, E. A.; ALMEIDA, C. A.; MALLEA, M. A.; CORIGLIANO, M. C.; GONZÁLEZ, P. Water quality assessment, by statistical analysis, on rural and urban areas of Chocancharava River (Río Cuarto), Córdoba, Argentina. *Environmental Monitoring and Assessment*, n. 184, p. 7257-7274, 2012.

GAUTHIER, T. D. Detecting trends using Spearman's Rank Correlation Coefficient. *Environmental Forensics*, v. 2, p. 359-362, 2001.

GIBBONS, R. D.; COLEMAN, D. D. Statistical methods for detection and quantification of environmental contamination. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001. 400 p.

GILBERT, R. O. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1987. 320 p.

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 Jaibaras pelo emprego da análise da componente principal. *Revista Ciência Agronômica*, v. 38, n. 1, p. 17-24, 2007.

GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Trend analysis of water quality parameters for the Nisava River. *Architecture and Civil Engineering*, v. 11, n. 3, p. 199-210, 2013.

GROPPO, J. D. *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.

GROPPO, J. D.; MORAES, J. M.; BEDUSCHI, C. E.; GENOVEZ, A. M.; MARTINELLI, L. A. Trend analysis of water quality in some rivers with different degrees of development within the São Paulo state, Brazil. *River Research and Applications*, v. 24, p. 1056-1067, 2008.

HAIR, J. F. JR.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. *Análise Multivariada de dados*. 6 ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 688 p.

HARVEY, C. L.; DIXON, H.; HANNAFORD, J. An appraisal of the performance of data-infilling methods for application to daily mean river flow records in the UK. *Hydrology Research*, v. 43, n. 5, p. 618-636, 2012.

HE, M.; WANG, Z.; TANG, H. Modeling the ecological impact of heavy metals on aquatic ecosystems: a framework for the development of an ecological model. *The Science of the Total Environment*, v. 266, p. 291-298, 2001.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEJA, M.; BARRADO, E.; FERNANDEZ, J. M.; FERNANDES, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by Principal Component Analysis. *Water Research*, v. 34, n. 3, p. 807-816, 2000.

HELSEL, D. R. *Nondetects and data analysis: statistics for censored environmental data*. New Jersey: Wiley-Interscience, 2005. 250 p.

HELSEL, D. R.; HIRSCH, R. M. *Statistical methods in water* resources – Chapter A3: Techniques of Water-Resources Investigations. Book 4. United States Geological Survey, 2002. 522 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Monitoramento da qualidade das águas superficiais da bacia do rio Grande em 2009*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Relatório anual, 2010. 287 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Qualidade das Águas Superficiais de Minas Gerais em 2014*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Resumo executivo, 2015a. 175 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. *Monitoramento da Qualidade das Águas*. Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/component/content/article/3302-nova-categoria/1523-monitoramento-da-qualidade-das-aguas>. Acesso em: 02 mar. 2015b.

ISO 1100-2 – Hydrometry - measurement of liquid flow in open channels - part 2: determination of the stage-discharge relationship, 1998 *apud* BRACA, G. *Stage-discharge relationships in open channels: practices and problems - FORALPS Technical Report, 11*. Trento: Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, 2008. 24 p.

JACCON, G.; CUDO, K. J. *Curva-chave: análise e traçado*. Brasília: DNAEE, 1989. 273 p.

JOHNSON, H. O.; GUPTA, S. C.; VECCHIA, A. V.; ZVOMUYA, F. Assessment of water quality trends in the Minnesota River using non-parametric and parametric methods. *Journal of Environmental Quality*, v. 38, n. 4, p. 1018-1030, 2009.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 6 ed. New Jersey: Pearson, 2007. 773 p.

JONES, R. C.; KELSO, D. P.; SCHAEFFER, E. Spatial and seasonal patterns in water quality in an embayment-mainstem reach of the tidal freshwater Potomac River, USA: a multiyear study. *Environmental Monitoring and Assessment*, n. 147, p. 351-375, 2008.

JURY, W. A.; H. J. VAUX. The emerging global water crisis: managing scarcity and conflict between water users. *Advances in Agronomy*, v. 95, p. 1– 76, 2007.

KANNEL, P. R.; LEE, S.; KANEL, S. R.; KHAN, S. P. Chemometric application in classification and assessment of monitoring locations of an urban river system. *Analytica Chimica Acta*, n. 582, p. 390-399, 2007.

KAZI, T. G.; ARAIN, M. B.; JAMALI, M. K.; JALBANI, N.; AFRIDI, H. I.; SARFRAZ, R. A.; BAIG, J. A.; SHAH, A. Q. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: a case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, n. 72, p. 301-309, 2009.

KHALIL, B.; OUARDA, T. B. M. J.; ST-HILAIRE, A.; CHEBANA, F. A statistical approach for the rationalization of water quality indicators in surface water quality monitoring networks. *Journal of Hydrology*, v. 386, p.173-185, 2010.

KISI, O.; AY, M. Comparison of Mann–Kendall and innovative trend method for water quality parameters of the Kizilirmak River, Turkey. *Journal of Hydrology*, v. 513, p. 362-375, 2014.

KOIDE, S.; SOUZA, M. A. A. Monitoramento da qualidade da água. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. 1 ed. Porto Alegre: ABRH, 2001. 626 p.

KOWLKOWSKI, T.; ZBYTNIEWSKI, R.; SZPEJNA, J.; BUSZEWSKI, B. Application of chemometrics in water classification. *Water Research*, v. 40, n. 4, p. 744-752, 2006.

LACHENBRUCH, P. A. *Some unsolved practical problems in discriminant analysis*. Department of Biostatistics: University of North Carolina at Chapel Hill. 1975.

LAMPARELLI, M. C. *Grau de Trofia em Corpos d'água do Estado de São Paulo:* Avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. 238 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LEE, H. W.; BHANG, K. J.; PARK, S. S. Effective visualization for the spatiotemporal trend analysis of the water quality in the Nakdong River of Korea. *Ecological Informatics*, v. 5, p. 281-292, 2010.

LEMOS, G. M; LOPES, W. T. A.; SILVA, L. R. S.; PISCOYA, R. C. C. C.; SILVA, M. C. A. M.; REITZ, K. Análise de consistência de dados fluviométricos de estações localizadas na sub-bacia 12 (rios Solimões, Juruá e Japurá). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento Gonçalves, RS. *Anais...*ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

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.

LOPES, W. T. A; LEMOS, G. M; SILVA, L. R. S.; SILVA, M. C. A. M.; PISCOYA, R. C. C. C.; GOMES, A. O.; SANTOS, A. G. Sistema para análise de dados hidrológicos–SIADH.

In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento Gonçalves, RS. *Anais*...ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

LUO, P.; HE, B.; TAKARA, K.; RAZAFINDRABE, B. H. N.; NOVER; D.; YAMASHIKI, Y. Spatiotemporal trend analysis of recent river water quality conditions in Japan. *Journal of Environmental Monitoring*, n. 13, p. 2819-2829, 2011.

MARQUES, M. N.; COTRIM, M. B.; PIRES, M. A. F. Avaliação do impacto da agricultura em áreas de proteção ambiental, pertencentes à bacia hidrográfica do rio ribeira de Iguapé. *Química Nova*, v. 30, n. 5, p. 1171-1178, 2007.

MATSUBARA, H.; MORIMOTO, S.; SASE, H.; OHIZUMI, T.; SUMIDA, H.; NAKATA, M.; UEDA, H. Long-term declining trends in river water pH in central Japan. *Water, Air & Soil Pollution*, v. 200, p. 253-265, 2009.

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*, v. 515, p. 143-9, 2004.

MEYBECK, M.; KUUSISTO, E.; MÄKELÄ, A.; MÄLKKI, E. Chapter 2 – Water quality. In: BARTRAM, J.; BALANCE, R. *Water quality monitoring - A practical guide to the design and implementation of freshwater: quality studies and monitoring programmes*. UNEP/WHO, 1996.

MINGOTI, S. A. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 297 p.

MOHAMED, I.; OTHMAN, F.; IBRAHIM, A. I. N.; ALAA-ELDIN, M. E.; YUNUS, R. M. Assessment of water quality parameters using multivariate analysis for Klang River basin, Malaysia. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 187, p. 1-12, 2015.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Química Nova*, v. 21, n. 4, 1998.

MOREIRA, F. M.; ARAÚJO, L. M. N.; BARROS, P. S. T.; TAVARES, J. C.; LEAL, M. S. Análise de consistência de dados fluviométricos. *A Água em Revista*, v. 4, n. 7, p. 43-47, 1996.

MUANGTHONG, S.; SHRESTHA, S. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: case study of the Nampong River and Songkhram River, Thailand. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 187:548, p. 1-12, 2015.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

NIAZI, F.; MOFID, H.; MODARES, N. F. Trend analysis of temporal changes of discharge and water quality parameters of Ajichay River in four recent decades. *Water Quality Exposure and Health*, v. 6, p. 89-95, 2014.

NILSSON, C.; RENÖFÄLT, B. M. Linking flow regime and water quality in rivers: a challenge to adaptive catchment management. *Ecology and Society*, v. 13, n. 2, p. 1-20, 2008.

NONATO, E. A.; VIOLA, Z. G. G; ALMEIDA, K. C. B.; SHOR, H. H. R. Tratamento estatístico dos parâmetros da qualidade das aguas da bacia do Alto Curso do Rio das Velhas. *Química Nova*, v. 30, n. 4, p. 797-804, 2007.

NOORI, R.; SABAHI, M. S.; KARBASSI, A. R.; BAGHVAND, A.; ZADEH, H. T. Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set. *Desalination*, v. 260, p. 129-136, 2010.

NORMANDO, D.; TJÄDERHANE, L.; QUINTÃO, C. C. A. A escolha do teste estatístico – um tutorial em forma de apresentação em PowerPoint. *Dental Press J. Orthod*., v. 15, n. 1, p. 101-106, 2010.

OGWUELEKA, T. C. Use of multivariate statistical techniques for the evaluation of temporal and spatial variations in water quality of the Kaduna River, Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 187: 137, p. 1-17, 2015.

OLSEN, R. L.; CHAPPELL, R. W.; LOFTIS, J. C. Water quality sample collection, data treatment and results presentation for principal components analysis – literature review and Illinois River watershed case study. *Water Research*, v. 46, p. 3110-3122, 2012.

OMO-IRABOR, O. O.; OLOBANIYI, S. B.; ODUYEMI, K.; AKUNNA, J. Surface and groundwater water quality assessment using multivariate analytical methods: A case study of the Western Niger Delta, Nigeria. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 33, p. 666-673, 2008.

OUYANG, Y. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis. *Water Research*, v. 39, p. 2621-2635, 2005.

PACA, V. H. M. *Análise de informações satelitais e dados convencionais da rede pluvio-fluviométrica como contribuição à modelagem hidrológica na região amazônica - estudo de caso: bacia do rio Guamá – Pará*. 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil), Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

PANDA, U. C.; SUNDARAY, S. K.; RATH, P.; NAYAK, B. B.; BHATTA, D. Application of factor and cluster analysis for characterization of river and estuarine water systems – A case study: Mahanadi River (India). *Journal of Hydrology*, v. 331, n. 3-4, p. 434-445, 2006.

PASSELL, H. D.; DAHM, C. N.; BEDRICK, E. J. Hydrological and geochemical trends and patterns in the upper Rio Grande, 1975–1999. *Journal of the American Water Resources Association*, n. 40, p. 111-127, 2004.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T; MARTINS, J. A. GOMIDE, F. L. S. *Hidrologia Básica*. São Paulo: Edgard Blucher; Rio de Janeiro: Fundação Nacional de material escolar, 1976. 278 p.

PISCOYA, R. C. C. C.; LOPES, W. T. A.; LEMOS, G. M.; SILVA, L. S.; SILVA, M. C. A. M. Análise de consistência de dados fluviométricos de estações de monitoramento da ANA localizadas nas sub-bacias hidrográficas 10 (rios Solimões, Javari e Itaquaí) e 11 (rios Solimões, Içá e Jandiatuba). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2013, Bento Gonçalves, RS. *Anais...* ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

QIAN, Y.; MIGLIACCIO, K. W.; WAN, Y.; LI, Y. Trend Analysis of Nutrient Concentrations and loads in selected canals of the Southern Indian River Lagoon, Florida. *Water, Air, Soil Pollut*, v. 186, p. 195-208, 2007.

QUILBÉ, R.; ROUSSEAU, A. N.; DUCHEMIN, M.; POULIN, A.; GANGBAZO, G.; VILLENUEVE, J.P. Selecting a calculation method to estimate sediment and nutrient loads in streams: Application to the Beaurivage River (Québec, Canadá). *Journal of hydrology*, v. 326, p. 295-310, 2006.

RAVICHANDRAN, S. Hydrological Influences on Thewater Quality Trends In Tamiraparani Basin, South India. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 87, p. 293-309, 2003.

REIS, E. *Estatística Multivariada Aplicada*. 2 ed. Lisboa: Edições Sílabo, 2001. 344 p.

REITZ, K.; DIAS, S. F. Análise Comparativa da Aplicação de Métodos de Calibragem de Curvas-Chave de Estações Instáveis na Análise de Consistência de Dados Fluviométricos da Estação Barreirinha, no Rio Auti-Paraná, na Bacia Hidrográfica do Rio Amazonas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 1, p. 155-163, 2014.

SANDERS, T. G.; WARD, R. C.; LOFTIS, J. C.; STEELE, T. D., ADRIAN, D. D.; YEVJEVICH, V. *Design of Networks for Monitoring Water Quality*. 5 ed. Colorado: Water Resources Publications, 2003. 328 p.

SANTOS-ROMÁN, D. M.; WARNER, G. S.; SCATENA, F. Multivariate analysis of water quality and physical characteristics of selected watersheds in Puerto Rico. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 39, p. 829-839, 2003.

SEFIONE, A. L. *Estudo comparativo de métodos de extrapolação superior de curvas-chave*. 2002. 87 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2002.

SHAH, V. G.; DUNSTAN, R. H.; GEARY, P. M.; COOMBES, P.; ROBERTS, T. K.; ROTHKIRCH, T. Comparisons of water quality parameters from diverse catchments during dry periods and following rain events. *Water Research*, v. 41, n. 16, p. 3655-3666, 2007.

SHRESTHA, S.; KAZAMA, F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of the Fuji River, Japan. *Environmental Modeling & software*, v. 22, n.4, p. 464-475, 2007.

SILVEIRA, G. L.; SILVA, C. E.; IRION, C. A. O.; CRUZ, J. C.; REETZ, E. F. Balanço de cargas poluidoras pelo monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídricos em pequena bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 8, n. 1, p. 5-11, 2003.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 3, n. 3, p. 111-131, 1998a.

SIMEONOVA, P.; SIMEONOV, V.; ANDREEV, G. Water quality study of the Struma River basin, Bulgaria (1989-1998). *Central European Journal of Chemistry*, p. 121-136, 2003.

SIMEONOV, V.; STRATIS, J. A.; SAMARA, C.; ZACHARIADIS, G.; VOUTSA, D.; ANTHEMIDIS, A.; SOFONIOU, M.; KOUIMTZIS, T. Assessment of the surface water quality in northen Greece. *Water Research*, v. 37, n. 17, p. 4119-4124, 2003.

SINGH, K. P.; MALIK, A.; MOHAN, D.; SINHA, S. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) – a case study. *Water Research*, v. 38, n. 18, p. 3980-3992, 2004.

SINGH, K. P.; MALIK, A.; SINHA, S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti River (India) using multivariate statistical techniques – a case study. *Analytica Chimica Acta*, v. 538, n. 1-2, p. 355-374, 2005.

SMITH, R. A.; HIRSCH, R. M.; SLACK, J. R. A study of trends in total phosphorus measurements at NASQAN stations. *U.S. Geological survey water-supply paper 2190*, p. 1-34, 1982.

SOJKA, M.; SIEPAK, M.; ZIOŁA, A.; FRANKOWSKI, M.; MURAT-BŁAŻEJEWSKA, S.; SIEPAK, J. Application of multivariate statistical techniques to evaluation of water quality in the MałaWełna River (Western Poland), *Environmental Monitoring Assessment*, v. 147, p. 159-170, 2008.

ST-HILAIRE, A.; BRUN, G.; COURTENAY, S. C.; OUARDA, T. B. M. J.; BOGHEN, A. D.; BOBÉE, B. Multivariate analysis of water quality in the Richibucto drainage Basin (New Brunswick, Canada). *Journal of the American Water Resources Association*, v. 40, p. 691-703, 2004.

STROBL, R.O.; ROBILLARD, P.D. Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: a review. *Journal of Environmental Management*, v. 87, n. 4, p. 639-648, 2008.

SUN, C. C.; SHEN, Z. Y.; XIONG, M.; MA, F. B.; LI, Y. Y.; CHEN, L.; LIU, R. M. Trend of dissolved inorganic nitrogen at stations downstream from the Three-Gorges Dam of Yangtze River. *Environmental Pollution*, v. 180, p. 13-18, 2013.

TABARI, H.; MAROFI, S.; AHMADI, M. Long-term variations of water quality parameters in the Maroon River, Iran. *Environmental Monitoring Assessment*, v. 177, p. 273-287, 2011.

TRINDADE, A. L. C. *Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do rio São Francisco.* 2013. 181 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

TUCCI, C. E. M. *Modelos Hidrológicos*. 2 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2005. 678 p.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia - Ciência e Aplicação*. 4 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2009a. 943 p.

TUCCI, C. E. M. Blog do Tucci – Recursos Hídricos e Meio Ambiente. *Deficiência do monitoramento de qualidade da água*, set. 2009b. Disponível em< http://rhama.net/wordpress/?p=112>. Acesso em: 09 ago. 2015.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. M. *Gestão da água no Brasil*. Brasília: UNESCO, 2001. 156 p.

VAROL, M.; GÖKOT, B.; BEKLEYEN, A.; ŞEN, B. Spatial and temporal variations in surface water quality of the dam reservoirs in the Tigris River basin, Turkey. *Catena*, v. 92, p. 11-21, 2012.

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBÁN, L. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. *Water Research*, v. 32, n. 12, p. 3581-3592, 1998.

VICINI, L. *Análise multivariada da teoria à prática*. 2005. 215 f. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 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.

WANG, X.; CAI, Q.; YE, L.; QU, X. Evaluation of spatial and temporal variation in stream water quality by multivariate statistical techniques: A case study of the Xiangxi River basin, China. *Quaternary International*, v. 282, p. 137-144, 2012.

WUNDERLIN, D. A.; DÍAZ, M. Del P.; AMÉ, M. V.; PESCE, S. F.; HUED, A. C.; BISTONI, M. de Los A. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquía River Basin (Códoba-Argentina). *Water Research*, v. 35, n. 12, p. 2881-2894, 2001.

XU, H. S.; XU, Z. X.; WU, W.; TANG, F. F. Assessment and spatiotemporal variation analysis of water quality in the Zhangweinan River basin, China. *Procedia Environmental Sciences*, v. 13, p.1641-1652, 2012.

YU, Y. S.; ZOU, S.; WHITTEMORE, D. Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology,* v.150, p. 61-80, 1993.

ZHANG, Q.; LI, Z.; ZENG, G.; LI, J.; FANG, Y.; YUAN, Q.; WANG, Y.; YE, F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques in red soil hilly region: a case study of Xiangjiang watershed, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 152, p. 123-131, 2009.

ZHANG, X.; WANG, Q.; LIU, Y.; WU, J.; YU, M. Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in the southwest new territories and Kowloon, Hong Kong. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 173, p. 17-27, 2011.

ZHAO, G.; GAO, J.; TIAN, P.; TIAN, K.; NI, G. Spatial–temporal characteristics of surface water quality in the Taihu Basin, China.. Environmental Earth Sciences, v. 64, p. 809-819, 2011.

ZHOU, F.; GUO, H.; LIU, Y.; JIANG, Y. Chemometrics data analysis of marine water quality and source identification in Southern Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, v. 54, p. 745-756. 2007a.

ZHOU, F.; LIU, Y.; GUO, H. Application of multivariate statistical methods to water quality assessment of the watercourses in northwestern new territories, Hong Kong. *Environmental Monitoring and Assessment*, n. 132, p. 1-13, 2007b.

ZIPPER, C. E.; HOLTZMAN, G. I.; DARKEN, P. F.; GILDEA, J. J.; STEWART, R. E. Virginia USA water quality, 1978 to 1995: regional interpretation. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 38, n. 3, p. 789-802, 2002.

ZUCCO, E.; PINHEIRO, A.; DESCHAMPS, F. C.; SOARES, P. A. Metodologia para estimativa das concentrações em cursos de água para vazões de referência: uma ferramenta de suporte e apoio ao sistema de gestão de bacias hidrográficas. *REGA*, v. 9, n. 1, p. 25-37, 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE I

Tabelas relacionadas ao Capítulo 4, subcapítulo 4.1:

ÁREA DE ESTUDO

Quadro I.1. Descrição das estações de monitoramento de qualidade da água da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Grande.

Estação	UPGRH	Classe de Enquadramento	Data de Estabelecimento	Data de Desativação	Descrição	Latitude	Longitude	Altitude (m)
BG001	GD1	Classe 2	26/08/1997		Rio Grande na cidade de Liberdade	-22,04	-44,32	1124
BG003	GD1	Classe 2	26/08/1997		Rio Grande a jusante de Madre de Deus de Minas e a montante do reservatório de Camargos	-21,5	-44,33	931
BG005	GD1	Classe 2	26/08/1997		Rio Aiuruoca a montante do reservatório de Camargos	-21,61	-44,39	924
BG007	GD1	Classe 2	25/08/1997		Rio Grande a jusante do reservatório de Itutinga	-21,3	-44,62	857
BG009	GD1	Classe 2	30/08/1997		Rio Capivari a montante da confluência com o Rio Grande	-21,28	-44,88	824
BG008	GD2	Classe 2	16/05/2011		Ribeirão Caieiro próximo de sua foz no rio das Mortes	-21,22	-43,92	1018
BG010	GD2	Classe 2	28/02/2000	04/07/2011	Ribeirão Caieiro a montante da confluência com o rio das Mortes	-21,22	-43,9	936
BG011	GD2	Classe 2	25/08/1997		Rio das Mortes a montante da cidade de Barbacena	-21,25	-43,68	1072
BG012	GD2	Classe 2	28/02/2000		Rio das Mortes a montante da foz do ribeirão Caieiro	-21,27	-43,88	935
BG013	GD2	Classe 2	01/12/1997		Rio das Mortes a jusante da cidade de Barroso	-21,17	-44	927
BG014	GD2	Classe 2	28/02/2000		Rio das Mortes a montante da cidade de Barroso	-21,2	-43,97	924
BG015	GD2	Classe 2	25/08/1997		Rio das Mortes a jusante da cidade de São João Del-Rei	-21,07	-44,32	880
BG017	GD2	Classe 2	25/08/1997		Rio das Mortes a montante da confluência com o Rio Grande	-21,13	-44,74	853
BG019	GD2	Classe 2	30/08/1997		Rio Grande a montante do reservatório de Furnas	-21,17	-45,13	784
BG021	GD2	Classe 2	29/08/1997		Rio Jacaré a montante do reservatório de Furnas	-21,01	-45,21	765
BG023	GD3	Classe 2	29/08/1997		Rio Formiga na cidade de Formiga e a montante do reservatório de Furnas	-20,49	-45,45	797
BG065	GD3	Classe 2	11/07/2007		Ribeirão São Pedro a montante do reservatório de Furnas	-21,15	-45,57	811
BG069	GD3	Classe 2	11/07/2007		Rio do Machado na cidade de Machado	-21,67	-45,89	786
BG089	GD3	Classe 2	24/02/2008		Rio Muzambinho a jusante da cidade de Muzambinho	-21,35	-46,52	972
BG024	GD4	Classe 2	12/05/2008		Rio Baependi a jusante da cidade de Baependi	-21,94	-44,89	874
BG025	GD4	Classe 1	26/08/1997		Rio Verde na região das nascentes, na localidade de Pinicão	-22,33	-44,91	929
BG026	GD4	Classe 2	12/05/2008		Rio Verde a montante de Conceição do Rio Verde	-21,95	-45,09	860
BG027	GD4	Classe 2	01/10/1987		Rio Verde na cidade de São Sebastião do Rio Verde	-22,22	-44,97	884
BG028	GD4	Classe 2	26/08/1997		Rio Verde na cidade de Soledade de Minas	-22,06	-45,05	863
BG029	GD4	Classe 2	01/10/1987		Rio Baependi a montante da confluência com o Rio Verde	-21,87	-45,05	861

Quadro I.1. Descrição das estações de monitoramento de qualidade da água da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Grande (continuação).

Estação	UPGRH	Classe de Enquadramento	Data de Estabelecimento	Data de Desativação	Descrição	Latitude	Longitude	Altitude (m)
BG030	GD4	Classe 2	01/10/1987		Rio Lambari na cidade de Cristina	-22,22	-45,27	1003
BG031	GD4	Classe 2	01/10/1987		Rio Lambari a montante da confluência com o Rio Verde	-21,78	-45,21	836
BG032	GD4	Classe 2	01/10/1987		Rio Verde na cidade de Três Corações	-21,7	-45,26	836
BG033	GD4	Classe 3	01/10/1987		Rio do Peixe a montante da confluência com o Rio Verde	-21,67	-45,32	832
BG034	GD4	Classe 2	29/02/2000		Rio do Peixe a jusante da foz do ribeirão Vermelho	-21,65	-45,12	861
BG035	GD4	Classe 2	01/10/1987		Rio Verde na localidade de Flora	-21,64	-45,36	831
BG036	GD4	Classe 2	01/10/1987		Rio Palmela a montante da confluência com o rio Verde	-21,64	-45,4	831
BG037	GD4	Classe 2	01/10/1987		Rio Verde a jusante da cidade de Varginha	-21,61	-45,52	805
BG038	GD4	Classe 2	12/05/2008		Rio Lambari a jusante da cidade de Lambari	-21,93	-45,26	855
BG040	GD4	Classe 2	26/08/2008		Ribeirão Vermelho a jusante de São Tomé das Letras	-21,66	-45,04	861
BG067	GD4	Classe 2	11/07/2007		Ribeirão da Espera a montante da Represa de Furnas	-21,46	-45,52	840
BG039	GD5	Classe 2	28/08/1997		Rio Sapucaí a montante da cidade de Itajubá	-22,51	-45,39	873
BG041	GD5	Classe 2	28/08/1997		Rio Sapucaí a jusante da cidade de Itajubá	-22,37	-45,55	835
BG042	GD5	Classe 2	24/08/2008		Ribeirão do Mandu a montante de Pouso Alegre	-22,27	-46,08	843
BG043	GD5	Classe 2	28/08/1997		Rio Sapucaí a montante da confluência com o Rio Sapucaí-Mirim	-22,22	-45,87	825
BG044	GD5	Classe 2	28/08/1997		Rio Sapucaí-Mirim a montante da cidade de Pouso Alegre	-22,29	-45,89	848
BG045	GD5	Classe 2	28/08/1997		Rio Sapucaí-Mirim a montante da confluência com o rio Sapucaí	-22,21	-45,9	818
BG046	GD5	Classe 2	24/08/2008		Rio do Cervo a montante da cidade de Congonhal	-22,16	-46,11	846
BG047	GD5	Classe 2	28/08/1997		Rio Sapucaí a montante da cidade de Careaçu	-22,06	-45,7	831
BG048	GD5	Classe 2	25/08/2008		Rio do Cervo a montante de Espírito Santo do Dourado	-22,12	-45,92	825
BG049	GD5	Classe 2	28/08/1997		Rio Sapucaí a montante da Represa de Furnas	-21,58	-45,67	790
BG050	GD5	Classe 2	25/08/2008		Rio Dourado a montante da confluência com o Rio Sapucaí	-21,96	-45,91	893
BG052	GD5	Classe 2	24/08/2008		Rio Sapucaí-Mirim a jusante da confluência com o ribeirão Mandu	-22,23	-45,9	830
BG063	GD6	Classe 2	15/08/1997		Ribeirão das Antas a jusante da cidade de Poços de Caldas	-21,73	-46,61	924
BG075	GD6	Classe 2	21/07/2007		Rio Pardo a montante de Bandeira do Sul	-21,75	-46,41	949

Quadro I.1. Descrição das estações de monitoramento de qualidade da água da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Grande (continuação).

Estação	UPGRH	Classe de Enquadramento	Data de Estabelecimento	Data de Desativação	Descrição	Latitude	Longitude	Altitude (m)
BG077	GD6	Classe 2	21/07/2007		Rio Mogi-Guaçu na cidade de Inconfidentes	-22,31	-46,33	862
BG079	GD6	Classe 2	16/07/2007		Ribeirão Ouro Fino na cidade de Ouro Fino	-22,29	-46,38	822
BG081	GD6	Classe 2	16/07/2007		Rio Eleutério a montante de sua confluência com o Rio Mogi Guaçu	-22,33	-46,7	682
BG083	GD6	Classe 2	16/07/2007		Rio das Antas a jusante da cidade de Bueno Brandão	-22,46	-46,35	1102
BG091	GD6	Classe 2	24/02/2008		Ribeirão Pirapetinga a jusante da cidade de Andradas	-22,09	-46,58	841
BG093	GD6	Classe 2	28/07/2011		Rio Mogi-Guaçu no limite com o Estado de São Paulo.	-22,27	-46,69	774
BG095	GD6	Classe 2	27/07/2011		Rio Canoas na divisa dos Estados de Minas Gerais e São Paulo.	-21,42	-47	578
BG096	GD6	Classe 2	31/07/2012		Ribeirão das Antas a montante de Poços de Caldas	-21,93	-46,59	1287
BG097	GD6	Classe 2	01/08/2012		Rio Jaguari-Mirim a jusante do rio Pirapetinga	-22,09	-46,63	830
BG098	GD6	Classe 2	01/08/2012		Rio Jaguari-Mirim a montante do Rio Pirapetinga	-22,09	-46,55	850
BG099	GD6	Classe 2	02/08/2012		Ribeirão Ouro Fino a montante da cidade de Ouro Fino	-22,26	-46,37	892
BG051	GD7	Classe 2	29/08/1997		Rio Grande a jusante do Reservatório de Furnas	-20,69	-46,36	676
BG053	GD7	Classe 2	29/08/1997		Ribeirão da Bocaina a jusante de Passos e a montante do Reservatório de Peixoto	-20,69	-46,6	701
BG055	GD7	Classe 2	29/08/1997		Rio São João a montante do Reservatório de Peixoto	-20,62	-46,84	680
BG071	GD7	Classe 2	28/08/2007		Córrego Liso a jusante de São Sebastião do Paraíso	-20,93	-46,95	860
BG073	GD7	Classe 2	22/09/2007		Ribeirão Santana a jusante do córrego Liso	-20,82	-46,82	771
BG100	GD7	Classe 2	30/07/2012		Ribeirão Conquista a montante da represa de Furnas	-20,72	-46,39	633
BG057	GD8	Classe 2	15/08/1997		Córrego Gameleiras a montante do reservatório de Volta Grande	-20,01	-47,88	503
BG058	GD8	Classe 2	02/03/2000		Rio Uberaba a montante da cidade de Uberaba	-19,66	-47,83	799
BG059	GD8	Classe 2	15/08/1997		Rio Uberaba na cidade de Conceição das Alagoas e a montante do reservatório de Porto Colômbia	-19,92	-48,39	511
BG061	GD8	Classe 2	15/08/1997		Rio Grande a montante da confluência com o Rio Pardo	-20,18	-48,64	439
BG085	GD8	Classe 2	06/09/2007	01/04/2008	Rio Verde ou Feio a montante do reservatório Águas Vermelhas	-19,74	-49,65	388
BG086	GD8	Classe 2	16/08/2008		Córrego Santa Rosa a jusante da cidade de Iturama	-19,76	-50,2	417
BG087	GD8	Classe 2	06/09/2007		Ribeirão da Tronqueira a jusante da cidade de Iturama	-19,74	-50,23	399

Nota: As estações de monitoramento com data de estabelecimento anterior a 1997 foram implantadas quando o monitoramento das águas em Minas Gerais era coordenado e executado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM).

Quadro I.2. Denominação, descrição e localização das estações fluviométricas com medição de descarga líquida da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Grande, no ano de 2014.

Código da estação	Curso d'água	Município	Operadora	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Área de drenagem (km^2)
61260000	Rio Sapucaí	Itajubá	IGAM	-22,51	-45,39	849	426
61268500	Rio Santo Antônio	Delfim Moreira	IGAM	-22,50	-45,31	1170	121
61269100	Rio Santo Antônio	Itajubá	IGAM	-22,47	-45,37	871	232
61271100	Rio Sapucaí	Itajubá	IGAM	-22,43	-45,45	867	870
61255500	Rio Sapucaí	Piranguçu	IGAM	-22,57	-45,46	905	363
61566000	Rio do Machado	Poço Fundo	CEMIG	-21,74	-45,96	-	724
61210000	Rio Pouso Alegre	Formiga	CEJARAGUÁ	-20,58	-45,39	933	247
61008001	Rio Grande	Itutinga	IGAM	-21,03	-44,32	-	6260
61089000	Rio das Mortes	Barbacena	IGUAÇU MINAS	-21,27	-43,88	1006	798
61089500	Rio das Mortes	Barbacena	IGUAÇU MINAS	-21,24	-43,90	947	822
61262100	Rio de Bicas	Wenceslau Braz	IMBEL	-22,54	-45,36	966,5	137
61220000	Rio Grande	Formiga	CEJARAGUÁ	-20,67	-45,36	801	144
61487080	Rio Lambari	Cristina	SPE CRISTINA	-22,16	-45,28	914	167
61428000	Rio Verde	Passa Quatro	CEI MINAS	-22,37	-44,90	1340	68,9
61472000	Rio Baependi	Baependi	CEI MINAS	-21,94	-44,85	912	158
61465000	Ribeirão do Jacu	Baependi	GESM	-22,12	-44,84	1152	83,4
61795000	Rio Uberaba	Conceição das Alagoas	FURNAS	-19,91	-48,39	436	1980
61800500	Rio Pardo	Santa Rita de Caldas	CPRM	-22,00	-46,31	1048	357
61802502	Rio Pardo	Botelhos	AES TIETÊ	-21,72	-46,46	981	1660
61740080	Rio Grande	Conquista	CONS.IGARAPAVA	-19,99	-47,76	516,6	63500
61770000	Ribeirão do Pinheirinho	Monte Santo de Minas	CPRM	-21,14	-47,01	873	226
61794000	Rio Uberaba	Uberaba	CPRM	-19,73	-47,98	-	566
61807002	Rio Lambari	Poços de Caldas	AES TIETÊ	-21,73	-46,60	929	480
61815000	Rio Guaxupé	Guaxupé	CPRM	-21,29	-46,70	828	76
61794500	Rio Uberaba	Uberaba	SHM	-19,70	-48,22	-	887
61009000	Rio Grande	Bom Jardim de Minas	IGAM	-21,95	-44,19	1099	529
61009001	Rio Grande	Bom Jardim de Minas	CEMIG	-21,95	-44,20	-	509
61012000	Rio Grande	Madre de Deus de Minas	IGAM	-21,49	-44,33	875	2070
61012001	Rio Grande	Madre de deus de Minas	CEMIG	-21,49	-44,33	-	2230
61014000	Rio Aiuruoca	Alagoa	IGAM	-22,17	-44,64	1036	282
61024000	Rio Aiuruoca	Aiuruoca	IGAM	-21,98	-44,60	966	532
61024001	Rio Aiuruoca	Aiuruoca	CEMIG	-21,98	-44,60		536
61031000	Rio Francês	Carvalhos	IGAM	-22,00	-44,46	1087	104
61045000	Rio Turvo Grande	Andrelândia	IGAM	-21,75	-44,35	940	383
61052000	Rio Turvo Pequeno	Andrelândia	IGAM	-21,74	-44,31	951	274
61060000	Rio Aiuruoca	Andrelândia	IGAM	-21,69	-44,35	905	1960
61060001	Rio Aiuruoca	Andrelândia	CEMIG	-21,67	-44,35	-	2050
61734080	Rio Grande	Sacramento	CEMIG	-20,02	-47,44	-	62700
61075000	Rio Ingaí	Luminárias	IGAM	-21,51	-44,92	1050	1010
61078000	Rio Capivari	Itumirim	IGAM	-21,32	-44,87	807	1820

Quadro I.2. Denominação, descrição e localização das estações fluviométricas com medição de descarga líquida da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Grande, no ano de 2014 (continuação).

Código da estação	Curso d'água	Município	Operadora	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Área de drenagem (km^2)
61078500	Rio Capivari	Itumirim	ALIANÇA	-21,32	-44,87	-	1820
61085000	Rio das Mortes	Antônio Carlos	IGAM	-21,28	-43,81	997	569
61090000	Rio das Mortes	Barroso	IGAM	-21,19	-43,98	900	1040
61100000	Rio Elvas	Ibertioga	IGAM	-21,44	-43,96	980	186
61105000	Rio Elvas	Tiradentes	IGAM	-21,16	-44,14	880	828
61107000	Rio das Mortes	São João Del-Rei	IGAM	-21,12	-44,23	660	2720
61115000	Rio Carandaí	Coronel Xavier Chaves	IGAM	-21,05	-44,21	842	643
61122000	Rio das Mortes Pequeno	São João Del-Rei	IGAM	-21,20	-44,33	870	272
61135000	Rio das Mortes	Ibituruna	IGAM	-21,14	-44,74	799	6070
61135002	Rio das Mortes	Ibituruna	ALIANÇA	-21,14	-44,74	799	6050
61140000	Rio Perapetinga	Bom Sucesso	IGAM	-21,03	-44,77	832	348
61146080	Rio Grande	Lavras	ALIANÇA	-21,14	-45,04	-	15720
61173000	Ribeirão Couro do Cervo	Lavras	CPRM	-21,34	-45,17	813	390
61202000	Rio Jacaré	Santana do Jacaré	FURNAS	-20,90	-45,13	-	1620
61267000	Ribeirão do Taboão	Delfim Moreira	IGAM	-22,51	-45,29	1192	112
61271000	Rio Sapucaí	Itajubá	IGAM	-22,44	-45,43	843	860
61280000	Rio Lourenço Velho	Virgínia	IGAM	-22,37	-45,22	1083	268
61285000	Rio Lourenço Velho	Itajubá	IGAM	-22,38	-45,45	845	560
61295000	Ribeirão Vargem Grande	Brazópolis	IGAM	-22,47	-45,62	846	156
61305000	Rio Sapucaí	Santa Rita do Sapucaí	IGAM	-22,25	-45,71	814	2810
61343000	Rio Capivari	Paraisópolis	IGAM	-22,56	-45,88	880	247
61350000	-	Conceição dos Ouros	IGAM	-22,41	-45,79	850	1310
61360000	Rio Itaim	Cambuí	IGAM	-22,61	-46,04	980	116
61370000	Rio Itaim	Pouso Alegre	IGAM	-22,37	-45,89	820	676
61390000	Rio do Cervo	Pouso Alegre	IGAM	-22,12	-45,92	815	486
61410000	Rio Sapucaí	Careaçu	IGAM	-22,05	-45,70	880	7330
61425000	Rio Sapucaí	Paraguaçu	FURNAS	-21,59	-45,66	780	9410
61429000	Rio Verde	Itanhandu	IGAM	-22,29	-44,94	886	292
61460000	Rio Verde	Conceição do Rio Verde	IGAM	-21,89	-45,08	843	1840
61473000	Rio Baependi	Baependi	IGAM	-21,95	-44,88	903	614
61484000	Rio Lambari	Cristina	IGAM	-22,21	-45,27	-	73
61500000	Rio Lambari	Cambuquira	IGAM	-21,87	-45,26	843	744
61510000	Rio Verde	Três Corações	IGAM	-21,70	-45,25	832	4180
61520000	Rio do Peixe	Três Corações	IGAM	-21,68	-45,26	832	854
61530000	Rio Palmela	Campanha	IGAM	-21,78	-45,44	860	360
61537000	Rio Verde	Varginha	FURNAS	-21,61	-45,49	-	6300
61565000	Rio do Machado	Poço Fundo	CPRM	-21,79	-46,12	820	349
61568000	Rio do Machado	Machado	CPRM	-21,69	-45,90	795	732
61610000	Rio Muzambo	Monte Belo	CPRM	-21,28	-46,36	859	884
61700000	Rio Santana	Pratápolis	CPRM	-20,81	-46,81	880	473

Quadro I.2. Denominação, descrição e localização das estações fluviométricas com medição de descarga líquida da porção mineira da bacia hidrográfica do rio Grande, no ano de 2014 (continuação).

Código da estação	Curso d'água	Município	Operadora	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Área de drenagem (km^2)
61861000	Rio Mogi-Guaçu	Inconfidentes	CPRM	-22,32	-46,32	875	463
61865000	Rio Mogi-Guaçu	Jacutinga	CPRM	-22,27	-46,60	920	918
61470002	Ribeirão das Furnas	Baependi	CEI MINAS	-21,93	-44,80	990	97,1
61685000	Rio São João	Itaú de Minas	VOTORCIM II	-20,77	-46,72	717	1297
61710000	Rio Santana	Jacuí	VOTORCIM II	-20,81	-46,81	751	498
61771000	Ribeirão do Pinheirinho	Itamogi	CLFM	-21,42	-47,04	850	251
61945080	Rio Verde ou Feio	Itapagipe	AES TIETÊ	-19,79	-49,65	411	2660
61823000	Rio Canoas	Arceburgo	CLFM	-21,43	-46,92	600	458
61268700	Rio Santo Antônio	Delfim Moreira	SPE ÁGUIA	-22,50	-45,31	1200	126
61106800	Rio das Mortes	São João Del-Rei	ALIANÇA	-21,12	-44,23	660	2718
61176000	Rio do Cervo	Lavras	FURNAS	-21,23	-45,17	798	1060
61808000	Rio Lambari	Poços de Caldas	DMEDISTR	-21,70	-46,58	897,2	518
61061080	Rio Grande	Itutinga	CEMIG	-21,33	-44,62	917	6230
61268800	Rio Santo Antônio	Delfim Moreira	SPE ÁGUIA	-22,49	-45,35	954	157
61869700	Rio Mogi-Guaçu	Jacutinga	MOHINI	-22,27	-46,69	780	1245
61869200	Rio Mogi-Guaçu	Jacutinga	MOHINI	-22,28	-46,54	830	841
61114500	Rio Carandaí	Coronel Xavier Chaves	CIF	-21,06	-44,21	912	-
61116000	Rio Carandaí	Coronel Xavier Chaves	CIF	-21,08	-44,23	890	-
61112000	Rio Carandaí	Coronel Xavier Chaves	CIF	-21,02	-44,15	972	-
61806200	Ribeirão das Antas	Poços de Caldas	DME	-21,77	-46,60	1186	455
61203000	Rio Jacaré	Cana Verde	FURNAS	-20,45	-45,15	780	2013
61078600	Rio Capivari	Itumirim	FURNAS	-21,34	-44,87	859	-
61106900	Rio das Mortes	Conceição da Barra de Minas	FURNAS	-21,09	-44,58	865	-
61684000	Rio São João	Fortaleza de Minas	VOTORCIM II	-20,85	-46,70	819	1190
61689000	Rio São João	Itaú de Minas	VOTORCIM II	-20,80	-46,71	768	1230
61684500	Rio São João	Passos	VOTORCIM II	-20,84	-46,70	814	1207
61806100	Ribeirão Caldas ou dos Poços	Poços de Caldas	DMEDISTR	-21,78	-46,60	1160	1,7
61740040	Ribeirão dos Dourados	Conquista	CONS.IGARAPAVA	-19,96	-47,61	520	63440
61807500	Rio Lambari	Poços de Caldas	DME	-21,72	-46,58	907	55
61065090	Rio Grande	Nazareno	CEMIG	-21,28	-44,63	-	-
61089200	Rio das Mortes	Barbacena	IGUAÇU MINAS	-21,27	-43,89	965	816
61088800	Rio das Mortes	Barbacena	IGUAÇU MINAS	-21,28	-43,82	1027	577

APÊNDICE II

Tabelas com resultados relacionados ao Capítulo 5, subcapítulo 5.1:

DEFINIÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DOS BANCOS DE DADOS

Quadro II.1. Descrição das estações de monitoramento de qualidade da água e fluviométricas da bacia do rio Verde (GD4), selecionadas para o estudo.

Estação	Classe de Enquadramento	Descrição	Latitude	Longitude	Altitude (m)
BG024	Classe 2	Rio Baependi a jusante da cidade de Baependi	-21,94	-44,89	874
BG026	Classe 2	Rio Verde a montante de Conceição do Rio Verde	-21,95	-45,09	860
BG030	Classe 2	Rio Lambari na cidade de Cristina	-22,22	-45,27	1003
BG031	Classe 2	Rio Lambari a montante da confluência com o Rio Verde	-21,78	-45,21	836
BG032	Classe 2	Rio Verde na cidade de Três Corações	-21,70	-45,26	836
BG034	Classe 2	Rio do Peixe a jusante da foz do ribeirão Vermelho	-21,65	-45,12	861
BG035	Classe 2	Rio Verde na localidade de Flora	-21,64	-45,36	831
BG037	Classe 2	Rio Verde a jusante da cidade de Varginha	-21,61	-45,52	805
BG038	Classe 2	Rio Lambari a jusante da cidade de Lambari	-21,93	-45,26	855

Quadro II.2. Descrição das estações fluviométricas da bacia do rio Verde (GD4) selecionadas para essa pesquisa.

Código da estação	Curso d'água	Município	Operadora	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Área de drenagem (km2)
61460000	Rio Verde	Conceição do Rio Verde	IGAM	-21,89	-45,08	843	1840
61473000	Rio Baependi	Baependi	IGAM	-21,95	-44,88	903	614
61484000	Rio Lambari	Cristina	IGAM	-22,21	-45,27	-	73
61500000	Rio Lambari	Cambuquira	IGAM	-21,87	-45,26	843	744
61510000	Rio Verde	Três Corações	IGAM	-21,70	-45,25	832	4180
61520000	Rio do Peixe	Três Corações	IGAM	-21,68	-45,26	832	854
61537000	Rio Verde	Varginha	FURNAS	-21,61	-45,49	-	6300

ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DOS DADOS FLUVIOMÉTRICOS

Este Apêndice apresenta os resultados de todas as etapas referentes à análise de consistência dos dados fluviométricos utilizados nesta pesquisa. Ela foi realizada com o objetivo de obter os dados de vazão, para que, então, a carga dos parâmetros selecionados pudesse ser calculada. São apresentadas as etapas de organização do banco de dados, análise de cotas, análise de medições de descarga líquida, traçado e análise de curvas-chave e suas extrapolações e a análise de vazões entre as estações (análise de continuidade). Para exemplificação do procedimento adotado os resultados de apenas uma estação fluviométrica, a 61460000, são apresentados.

A.I. Organização do banco de dados fluviométricos

Para organização do banco de dados foi elaborado um diagrama de barras, exemplificado na Tabela II.1. Nesse diagrama os números se referem à quantidade de meses, por ano, com dados de cotas médias diárias brutas.

Tabela II.1. Exemplo do diagrama de barras realizado para análise inicial do banco de dados fluviométricos, para três estações fluviométricas.

Código	Nome	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
61429000	Itanhandu	1	8	12	12	11	9	0	0
61460000	Conceição do Rio Verde	12	12	12	12	12	10	12	12
61500000	Fazenda Juca Casimiro	12	12	12	12	12	12	12	12

Cor vermelha – quantidade de meses, por ano, incompleta.
Cor Verde - quantidade de meses, por ano, completa.

A.II. Análise de cotas observadas

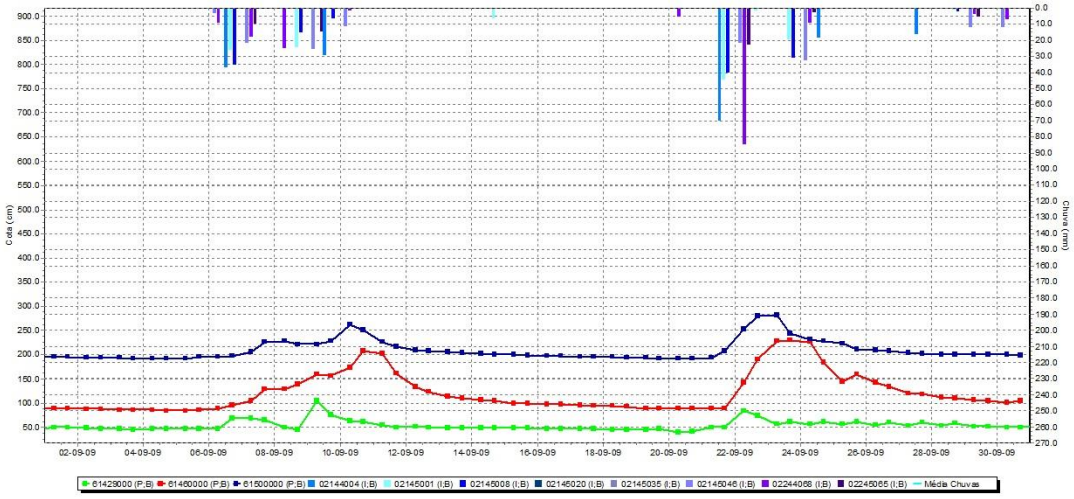
A consistência das cotas fluviométricas foi realizada através da análise dos cotagramas diários da estação fluviométrica que estava sendo avaliada em comparação com os cotagramas das estações suporte. Na presente pesquisa, os cotagramas utilizados apresentavam as duas leituras diárias de cota: leitura de cota às 7h e às 17h. Além disso, foram analisadas as cotas a partir de 2003, pois, os valores de cotas anteriores a esse ano se encontravam consistidas no banco de dados da ANA.

As estações suporte foram escolhidas com base na sua proximidade com a estação principal. Procuraram-se inicialmente estações que estivessem no mesmo curso d'agua da estação que estava sendo analisada e na ausência de estações no mesmo rio, foram escolhidas estações próximas à analisada, pois estas poderiam melhor representar variações de chuvas regionais.

Assim, para a estação 61460000, foram selecionadas como estações suportes a 61500000 e 61429000, por atenderem aos critérios necessários.

Os dados de chuva da Bacia foram plotados juntamente aos cotagramas, como exemplificado na Figura II.1, proporcionando assim uma distinção entre variações nas cotas ocasionadas pela chuva ou originadas de erros.

Figura II.1. Cotagramas das estações 6146000, 61500000 e 61429000 e dados de chuva da Bacia plotados no programa Hidro 1.2.



Os erros detectados e corrigidos nessa etapa, para a estação 61460000, foram o erro de cópia (ou erro de digitação) e erro de metro. O erro de digitação foi corrigido com exatidão quando verificado no boletim que o valor anotado pelo observador era diferente do digitado, entretanto, nem sempre o boletim estava disponível para a data desejada, gerando assim incertezas sobre o suposto erro. Para melhor controle das cotas duvidosas, foi criada uma planilha no programa Microsoft Excel, como a apresentada na Figura II.2.

Após análise e possível correção de cada valor duvidoso, a cota foi classificada com o status "real" ou "estimada" (foi atribuído à cota o status real quando se tinha certeza da correção realizada, já o status estimado foi atribuído aos valores que, mesmo apresentando sinais de erro, não sofreram alterações, ou ainda aqueles que sofreram alterações, mas não se tinha certeza dos novos valores). Vale ressaltar que essa classificação realizada é subjetiva. Além disso, foram anotados nessa planilha, os períodos em que não ocorreu leitura de cotas.

Figura II.2. Exemplo da planilha auxiliar utilizada para análise de cotas observadas da estação 61460000.

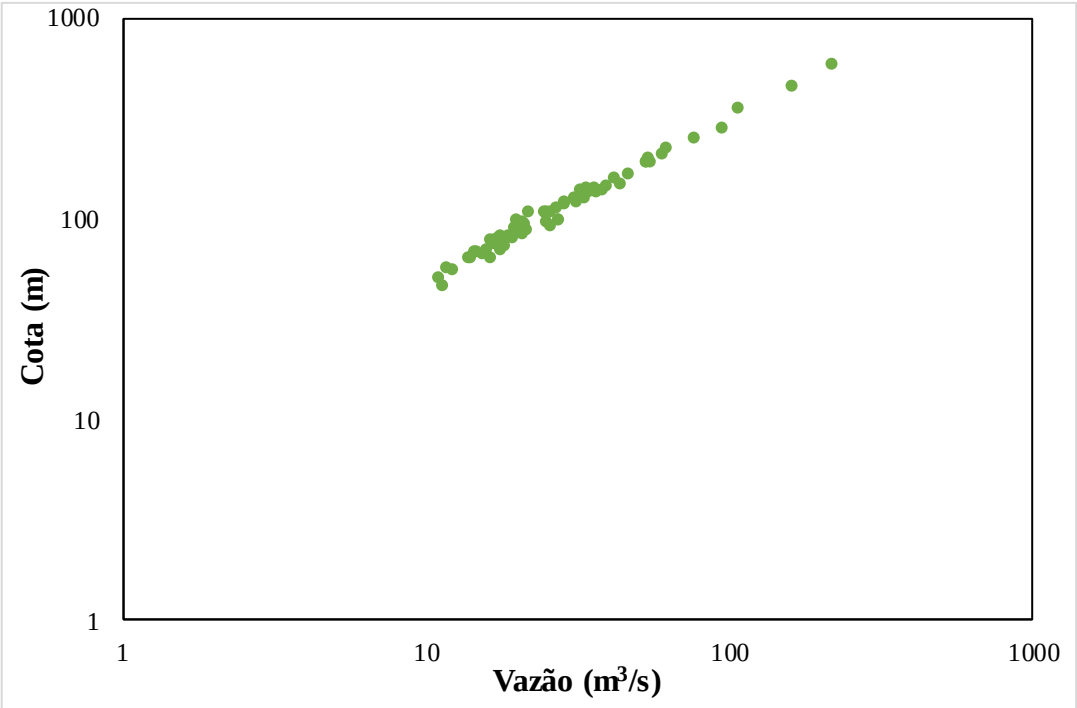
Estação	CONCEIÇÃO DO RIO VERDE
Código:	61460000
Estações de Apoio	
61429000	ITANHANDU
61500000	FAZENDA JUCA CASIMIRO
Período Analisado	01/10/2003 a 30/06/2014

Data	Ocorrência	Cota Original (cm)	Cota Corrigida (cm)	Status
24/10/2003	erro de metro as 7h	198	98	real
08/12/2003	erro de metro as 17h	99	199	estimado
24/12/2003	erro de metro as 7h	10	100	real
29/03/2004	erro de metro as 17h	100	200	real
06/10/2004	erro de digitacao as 7h	14	104	estimado
12/01/2005	erro de metro as 17h	142	242	real
15/02/2005	erro de metro as 7h	134	234	real
31/01/2006 a 01/03/2006	sem leituras de cotas			
25/05/2006	erro de digitacao as 7h	7	87	estimado
25/11/2006	erro de digitacao as 17h	705	75	real
07/01/2007	erro de metro as 17h	538	638	real
30/01/2008	erro de metro ou digitacao as 17h	2	200	estimado
29/02/2008 a 01/04/2008	sem leituras de cotas			
09/10/2008	erro de metro as 7h	10	100	real
14/04/2009 a 16/04/2009	sem leituras de cotas			
27/09/2009	erro de metro as 7h	12	120	real
30/09/2009 a 01/11/2009	sem leituras de cotas			
13/12/2009	erro de digitacao as 7h	794	494	estimado
11/04/2010	erro de digitacao as 17h	1489	189	real
31/05/2010 a 01/07/2010	sem leituras de cotas			
30/06/2011 a 01/08/2011	sem leituras de cotas			
22/12/2011	erro de metro as 7h	372	272	real

A.III. Análise de medições de descarga líquida

Primeiramente, de posse dos dados de descarga líquida, plotaram-se os gráficos de cota *versus* área, cota *versus* largura, cota *versus* velocidade, cota *versus* profundidade, além de cota *versus* vazão. Esse último gráfico foi plotado também em escala logarítmica (Figura II.3), permitindo identificar as medições que apresentavam grande dispersão em relação às demais. Dessa forma, medições duvidosas foram excluídas do banco de dados quando todos os gráficos plotados indicavam a presença de erro.

Figura II.3. Gráfico de cota *versus* vazão em escala logarítmica para a estação 61460000.



A.IV. Traçado e análise de curvas-chave

Os dados de descarga líquida analisados juntamente com as cotas medidas foram utilizados para definição da curva-chave. A Tabela II.2 mostra os dados utilizados para a estação 61460000.

A determinação das constantes (a, h_0, n) da Equação II.1 foi realizada utilizando-se a ferramenta computacional Solver e por regressão linear simples. Os resultados de ambas as análises são descritos a seguir.

$$Q = a(h - h_0)^n \qquad \text{(II.1)}$$

Tabela II.2. Dados de cotas medidas e vazões utilizados para traçar a curva-chave para a estação 61460000.

Data	Cota (cm)	Vazão (m^3/s)
24-08-1992	98	23,4
12-12-1992	138	32,2
18-06-1993	136	33,3
23-07-1993	106	22,0
26-09-1993	197	54,6
12-09-1994	64	13,8
15-07-1995	117	28,9
22-12-1995	137	32,2
20-01-1996	225	62,1
28-04-1996	140	33,8
10-08-1996	81	17,8
14-11-1996	108	24,8
27-04-1997	142	35,8
04-08-1997	97	20,0
03-11-1997	87	20,4
01-02-1998	125	30,8
11-05-1998	96	21,0
16-08-1998	70	15,9
24-11-1998	68	14,8
01-02-1999	354	107,0
02-05-1999	120	28,6
12-08-1999	77	16,4
08-11-1999	68	14,6
25-04-2000	135	33,8
25-07-2000	157	42,1
24-10-2000	67	15,5
25-04-2001	74	16,9
24-07-2001	55	12,2
16-10-2001	57	11,8
14-01-2002	295	83,2
14-02-2002	457	162
29-04-2002	111	27,1
29-07-2002	70	17,7
11-11-2002	63	14,1
14-01-2003	295	83,2
21-06-2003	87	21,6
11-10-2003	73	18,3
28-01-2004	90	21,2
26-04-2004	190	53,2
24-07-2004	134	36,5
22-10-2004	107	25,9
18-02-2005	206	60,3
15-05-2005	127	33,5
30-07-2005	105	25,0
28-10-2005	63	16,4
19-02-2006	191	53,2
24-05-2006	80	19,4
27-07-2006	78	17,0
11-01-2007	582	219,0
25-04-2007	120	31,3
22-07-2007	84	20,9
20-10-2007	46	11,3
20-02-2008	189	55,5
23-05-2008	149	43,6
22-07-2008	98	27,6
24-10-2008	92	26,0
25-01-2009	251	76,8
26-04-2009	144	39,4
20-07-2009	106	24,9
26-10-2009	167	46,8
29-04-2010	137	38,3
22-07-2010	97	27,5
28-10-2010	96	24,9
29-01-2011	283	94,9
29-04-2011	136	34,5
25-07-2011	82	18,8
15-11-2011	88	20,8
20-04-2012	93	21,2
12-07-2012	80	18,1
30-10-2012	50	11,1
26-01-2013	218	57,6
23-04-2013	145	33,9
15-07-2013	89	19,7
10-10-2013	80	17,3
2014-04-29	51	9,5
2014-10-29	46,5	9,1

- Obtenção da curva-chave utilizando a ferramenta computacional Solver

Os valores de vazão calculados dependem das constantes adotadas para a Equação II.1. Assim, o Solver forneceu os valores das constantes *a, h_0 e n*, de maneira a aproximar, ao máximo, os valores de vazão medidos e os valores de vazão calculados, e, consequentemente, minimizar o desvio percentual médio (Equação II.2).

$$Desvio\ \ percentual\ médio = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left| \frac{v_{cal\,i} - v_{med\,i}}{v_{med\,i}} \right|}{n} \qquad \text{(II.2)}$$

Onde v_{cal} é vazão calculada, v_{med} é a vazão média e *n* o número de medições que foram utilizadas.

A Tabela II.3 foi elaborada para auxiliar na geração das curvas-chave. Além dos dados de vazão medidos e cotas, são apresentados também os valores de vazão calculados através da curva-chave e o desvio percentual entre os valores de vazão medidos e calculados para cada cota.

Tabela II.3. Exemplo dos dados utilizados na determinação das constantes *a*, h_0 e *n* da Equação II.1.

Cota (m)	Vazão medida (m^3/s)	Vazão calculada (m^3/s)	Desvio percentual (%)	Cota (m)	Vazão medida (m^3/s)	Vazão calculada (m^3/s)	Desvio percentual (%)
0,98	23,40	22,70	0,030	1,07	25,90	25,24	0,026
1,38	32,20	34,31	0,066	2,06	60,30	55,65	0,077
1,36	33,30	33,71	0,012	1,27	33,50	31,04	0,07
1,06	22,00	24,95	0,134	1,05	25,00	24,67	0,01
1,97	54,60	52,73	0,034	0,63	16,40	13,31	0,19
0,64	13,80	13,57	0,017	1,91	53,20	50,80	0,05
1,17	28,90	28,11	0,027	0,80	19,40	17,77	0,08
1,37	32,20	34,01	0,056	0,78	17,00	17,23	0,01
2,25	62,10	61,91	0,003	5,82	219,00	195,01	0,11
1,40	33,80	34,91	0,033	1,20	31,30	28,98	0,07
0,81	17,80	18,03	0,013	0,84	20,90	18,84	0,10
1,08	24,80	25,52	0,029	0,46	11,30	9,11	0,19
1,42	35,80	35,52	0,008	1,89	55,50	50,16	0,10
0,97	20,00	22,42	0,121	1,49	43,60	37,64	0,14
0,87	20,40	19,66	0,036	0,98	27,60	22,70	0,18
1,25	30,80	30,45	0,011	0,92	26,00	21,03	0,19
0,96	21,00	22,14	0,054	2,51	76,80	70,65	0,08
0,7	15,90	15,12	0,049	1,44	39,40	36,12	0,08
0,68	14,80	14,60	0,014	1,06	24,90	24,95	0,00
3,54	107,00	107,00	0,000	1,67	46,80	43,20	0,08
1,20	28,60	28,98	0,013	1,37	38,30	34,01	0,11
0,77	16,40	16,96	0,034	0,97	27,50	22,42	0,18
0,68	14,60	14,60	0,000	0,96	24,90	22,14	0,11
1,35	33,80	33,41	0,011	2,83	94,90	81,66	0,14
1,57	42,10	40,09	0,048	1,36	34,50	33,71	0,02
0,67	15,50	14,34	0,075	0,82	18,79	18,30	0,03
0,74	16,90	16,17	0,043	0,88	20,84	19,93	0,04
0,55	12,20	11,30	0,074	0,93	21,20	21,31	0,01
0,57	11,80	11,80	0,000	0,80	18,15	17,77	0,02
2,95	83,20	85,86	0,032	0,50	11,11	10,07	0,09
4,57	162,00	145,64	0,101	2,18	57,62	59,59	0,03
1,11	27,10	26,38	0,027	1,45	33,99	36,42	0,07
0,70	17,70	15,12	0,146	0,89	19,70	20,21	0,03
0,63	14,10	13,31	0,056	0,80	17,30	17,77	0,03
2,95	83,20	85,86	0,032	0,51	9,54	10,32	0,08
0,87	21,60	19,66	0,090	0,46	9,10	9,23	0,01
0,73	18,30	15,91	0,131				
0,90	21,20	20,48	0,034				
1,90	53,20	50,48	0,051				
1,34	36,50	33,11	0,093				

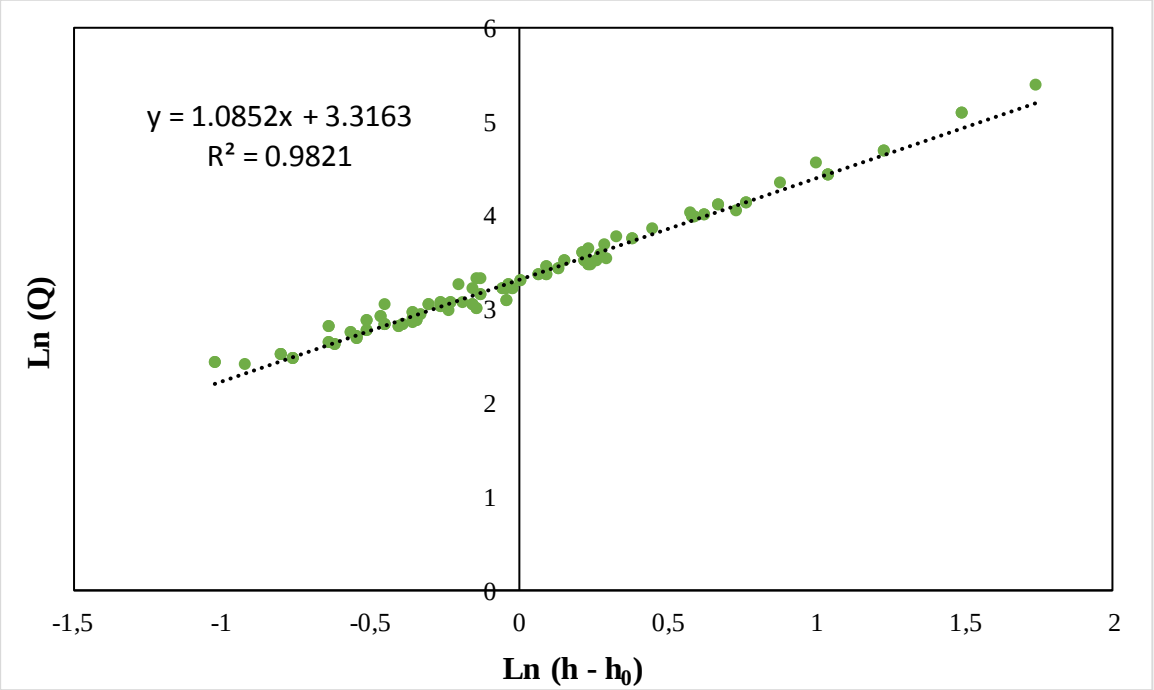
- Obtenção da curva-chave por regressão linear simples

Mediante o uso de transformações adequadas, algumas funções podem ser linearizadas permitindo assim a aplicação da regressão linear simples (NAGHETTINI e PINTO, 2007). Visando à confirmação de que os valores das constantes obtidos através do Solver eram os mais adequados, realizou-se a transformação logarítmica da Equação II.1 para que a regressão linear simples pudesse ser aplicada. Esse procedimento é mostrado na Equação II.3.

$$\ln Q = \ln k + n \times \ln(h - h_0) \qquad \text{(II.3)}$$

A partir da Equação II.3 foi gerado o gráfico da Figura II.4. Variou-se o valor de h_0 até que o melhor ajuste dos pontos à reta foi encontrado (h_0 = 0,1 m). Assim, com a estimativa dos coeficientes da reta de regressão, os valores de *n* e *k* também puderam ser determinados.

Figura II.4. Diagrama de dispersão com linha ajustada de regressão linear simples.



De posse das equações obtidas pelos dois métodos, plotou-se as duas curvas-chave juntamente com os dados de descarga líquida (Figura II.5). Observa-se que a curva obtida utilizando-se a ferramenta Solver apresentou o melhor ajuste aos dados. Todavia, na validação dessa curva-chave verificou-se que a distribuição dos desvios no gráfico de desvio *versus* tempo não era uniforme e alguns dos desvios foram superiores a 10% (Figura II.6), valor considerado alto segundo Piscoya *et al*. (2013), indicando a necessidade de revisão da curva-chave em análise.

Figura II.5. Representação gráfica das curvas-chave para a estação 61460000, obtidas utilizando-se a ferramenta computacional Solver e a regressão linear simples.

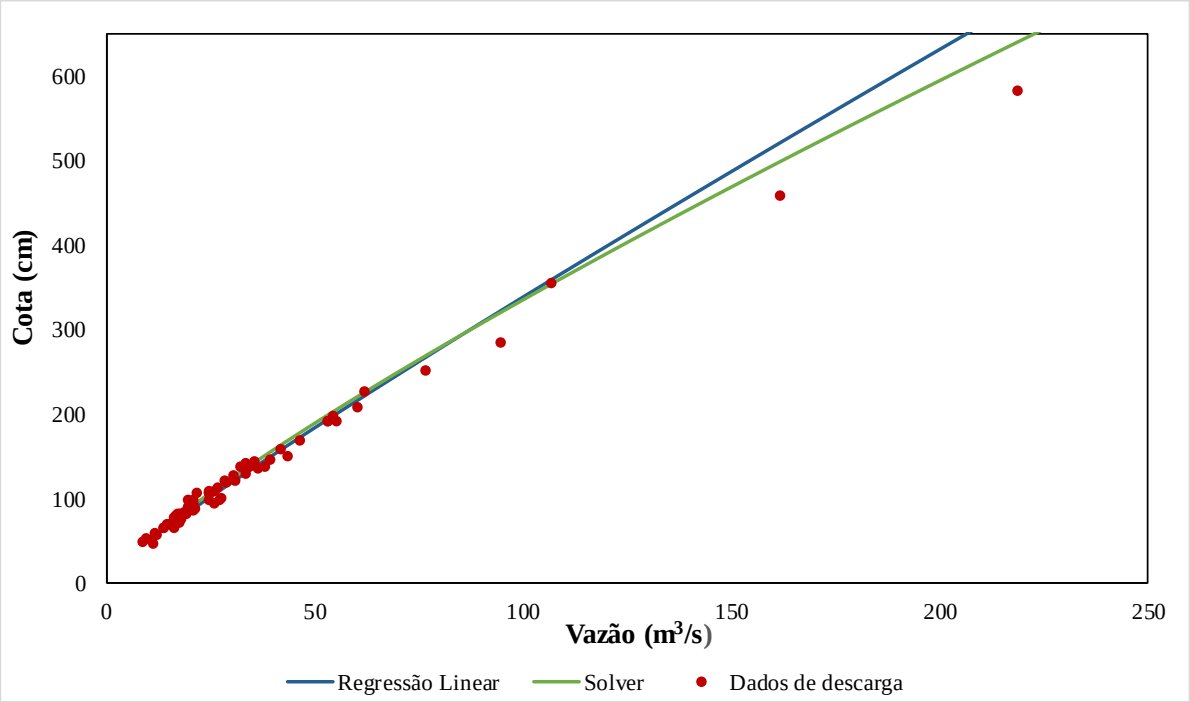
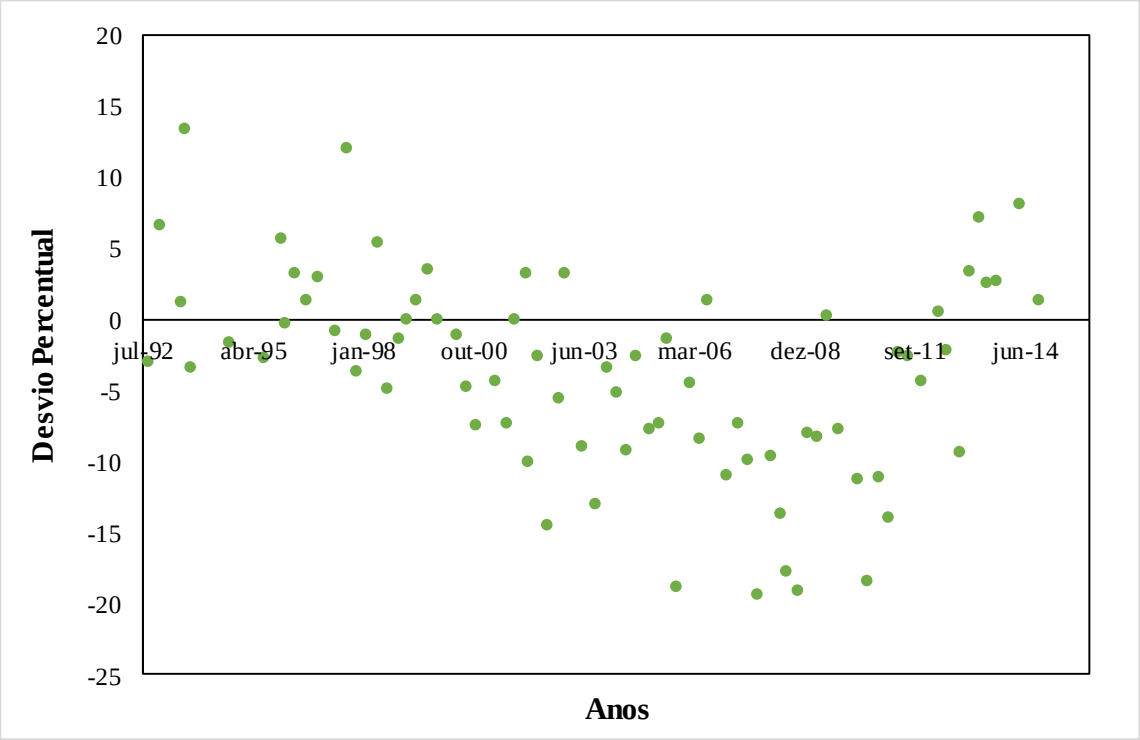


Figura II.6. Gráfico do desvio percentual *versus* tempo para a estação 61460000.

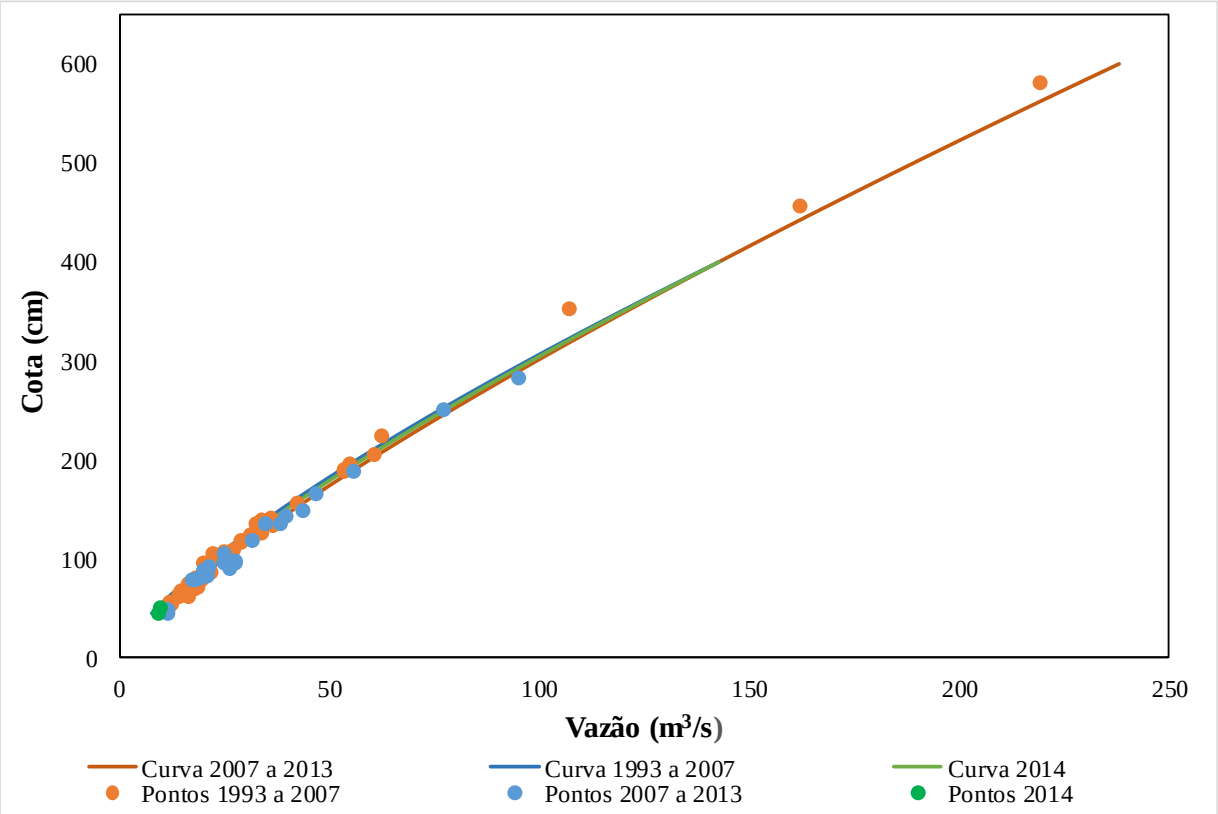


Segundo JACCON e CUDO (1989), a posição da curva através de um conjunto de medições deve repartir equitativamente os pontos de cada lado do traçado - "regra de igual repartição dos pontos" - minimizando a soma dos valores absolutos dos desvios relativos entre a

descarga medida e a lida na curva, para a mesma cota. O que não ocorreu com a curva-chave traçada, sendo, portanto, necessário dividir o período em análise em períodos menores.

Para estação 61460000, o período em análise foi dividido em três novos períodos, e para cada novo período todo o procedimento apresentado foi novamente realizado. Os gráficos de desvio *versus* tempo para cada novo período foram analisados e verificou-se que os desvios apresentaram distribuição uniforme e foram inferiores a 10%, indicando que as novas curvas-chave apresentam um melhor ajuste às medições de vazões. Na Figura II.7 pode ser visto as curvas-chave traçadas para cada novo período.

Figura II.7. Representação gráfica das curvas-chave da estação 61460000, para três diferentes períodos.



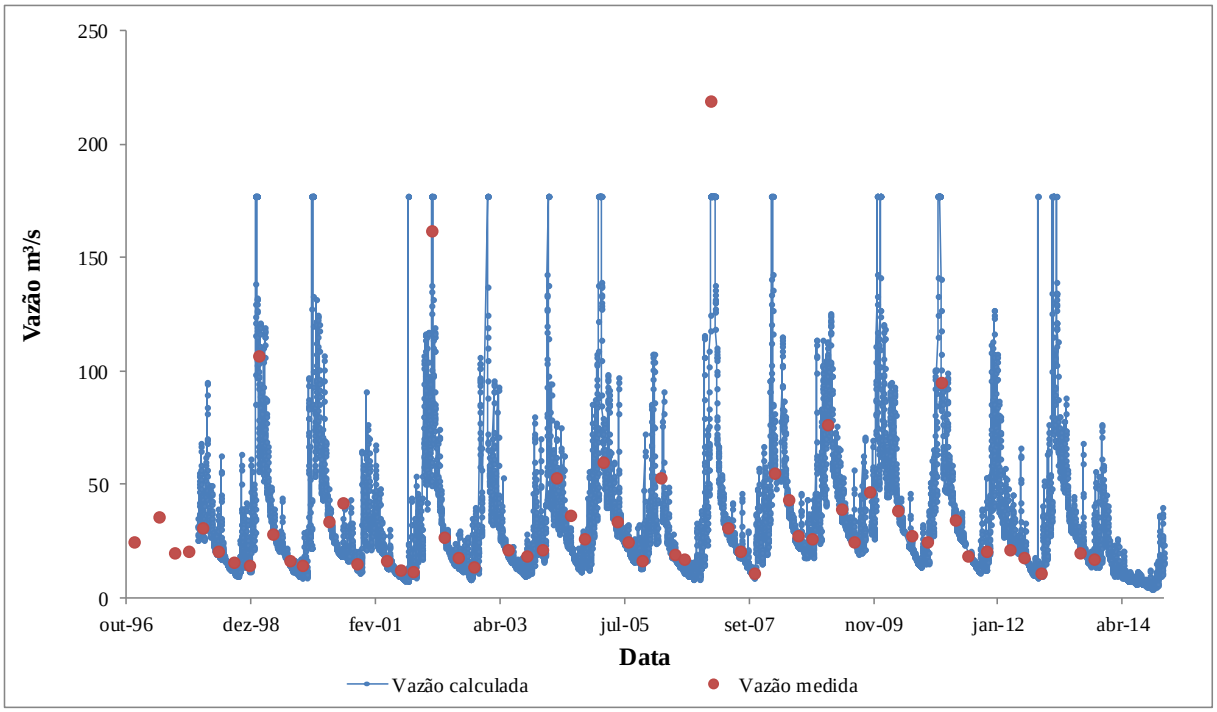
No caso da estação 61460000, observou-se a necessidade da extrapolação do ramo inferior das curvas-chaves, que foi realizado pelo método linear.

A.V. Análise das séries de vazões entre estações (análise de continuidade)

Para verificar a consistência dos valores de vazão gerados pelas curvas-chave plotou-se um fluviograma (Figura II.8), através do qual foi possível comparar os valores de vazão

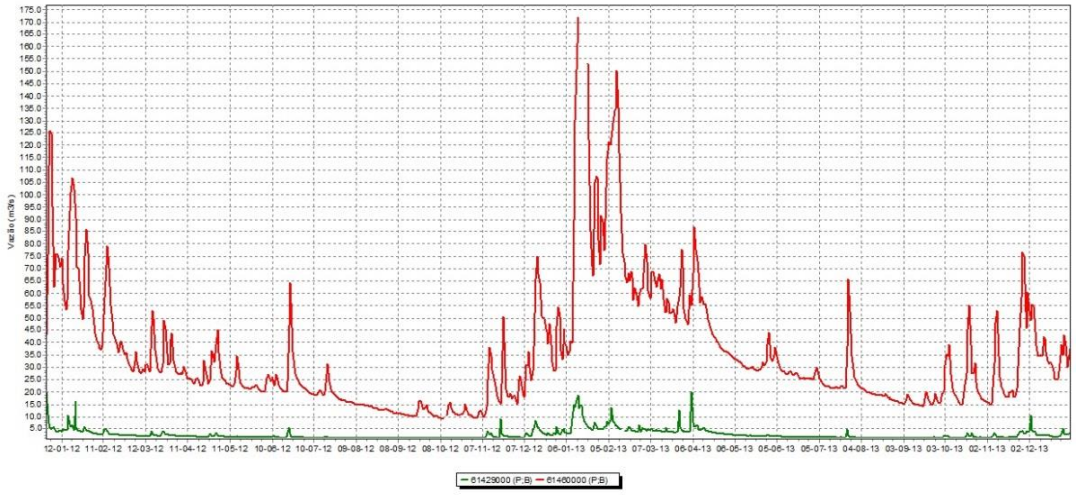
calculados e valores de vazão medidos. Além disso, verificaram-se os períodos de falhas para que essas pudessem ser preenchidas através do método de percentis iguais descrito por Harvey *et al*. (2012).

Figura II.8. Fluviograma da estação 61460000, no período de 1998 a 2014.



Ainda para análise da série de vazões da estação 61460000, foi escolhida como suporte a estação 61429000 que se encontra a montante da estação analisada. Na Figura II.9, para exemplificar, foi plotado o fluviograma para as duas estações no período de 2012 a 2013.

Figura II.9. Fluviogramas das estações 61460000 e 614290000 plotados no programa Hidro 1.2, no período de 2012 a 2013.



Comparando-se os valores de vazão para as duas estações, o comportamento foi dentro do esperado: a vazão da estação a montante (61429000) é inferior à vazão da estação de jusante (61460000), e a elevação ou redução da vazão apresentada a montante é observada também a jusante. Com isso, concluiu-se que as curvas-chave elaboradas estão bem ajustadas, e os valores de vazão obtidos pelas mesmas condizem com a realidade do curso d'água.

APÊNDICE III

Tabelas com resultados relacionados ao Capítulo 5, subcapítulo 5.2:

ANÁLISE DESCRITIVA DOS DADOS DE CONCENTRAÇÃO E DE CARGA

Tabela III.1. Estatística descritiva dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG024.

BG024											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (mg/L)	26	0,30	1,18	0,50	0,55	0,64	0,60	0,22	1,11	0,76	0,57
Cl-*a* (µg/L)	26	0,01	5,34	0,32	0,80	1,74	1,19	1,22	1,71	3,34	0,46
Colif. Term. (NMP/100 mL)	26	140,00	160000,00	5725,00	13000,00	22332,25	25958,04	43096,45	2,52	5,02	10432,28
DBO (mg/L O_2)	26	2,00	3,10	2,00	2,00	2,00	2,04	0,22	4,80	21,04	2,03
DQO (mg/L O_2)	25	5,00	19,00	5,10	7,40	11,00	9,06	4,50	0,93	-0,40	8,14
Feof-*a* (µg/L)	24	0,01	14,04	0,50	1,15	2,39	2,21	3,18	2,60	6,65	0,71
P_T (mg/L)	26	0,01	0,11	0,02	0,02	0,04	0,03	0,02	1,89	3,81	0,03
$N\text{-}NO_3^-$ (mg/L N)	26	0,01	0,53	0,12	0,17	0,25	0,19	0,11	1,08	1,43	0,16
$N\text{-}NH_4^+{}_T$(mg/L N)	26	0,10	0,41	0,10	0,10	0,14	0,13	0,07	3,14	9,94	0,12
OD (mg/L)	26	6,80	9,60	7,40	8,20	8,40	8,02	0,70	0,19	-0,46	7,99
SST (mg/L)	26	2,00	102,00	6,25	9,50	17,25	16,31	21,65	2,85	8,03	9,85
ST (mg/L)	26	22,00	130,00	31,00	36,00	43,50	42,54	23,74	2,42	5,79	38,51

Tabela III.2. Estatística descritiva dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG026.

BG026											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (mg/L)	26	0,69	3,80	1,39	1,98	2,21	1,90	0,65	0,63	1,17	1,80
Cl-*a* (µg/L)	26	0,01	8,45	1,09	2,23	2,92	2,24	1,75	1,60	4,17	1,22
Colif. Term. (NMP/100 mL)	25	50,00	11000,00	500,00	1100,00	1700,00	1983,48	2716,51	2,18	3,89	822,27
DBO (mg/L O_2)	26	2,00	2,20	2,00	2,00	2,00	2,01	0,04	4,80	21,04	2,01
DQO (mg/L O_2)	25	5,00	20,00	8,80	11,00	15,00	11,62	4,30	0,15	-0,91	10,79
Feof-*a* (µg/L)	24	0,01	19,04	0,89	1,57	3,86	3,35	4,36	2,30	5,26	1,28
P_T (mg/L)	26	0,05	0,23	0,06	0,08	0,11	0,09	0,05	1,37	1,21	0,08
$N\text{-}NO_3^-$ (mg/L N)	26	0,10	1,54	0,27	0,53	0,77	0,59	0,37	0,75	-0,08	0,47
$N\text{-}NH_4^+{}_T$(mg/L N)	26	0,10	0,34	0,10	0,10	0,15	0,14	0,08	1,49	0,64	0,13
OD (mg/L)	26	5,70	8,80	6,33	7,15	7,50	6,97	0,75	0,20	-0,46	6,93
SST (mg/L)	26	11,00	153,00	23,25	45,00	77,00	53,77	37,34	0,84	0,02	41,63
ST (mg/L)	26	43,00	224,00	68,25	85,00	121,00	97,85	42,05	1,18	1,25	90,36

Tabela III.3. Estatística descritiva dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG030.

BG030											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (mg/L)	26	0,89	10,10	1,19	1,46	1,72	1,86	1,74	4,31	17,99	1,58
Cl-*a* (µg/L)	25	0,01	4,29	0,53	1,34	1,91	1,50	1,31	0,99	0,12	0,66
Colif. Term. (NMP/100 mL)	26	202,00	160000,00	8000,00	20500,00	35000,00	35841,65	43273,87	1,95	2,93	18702,93
DBO (mg/L O_2)	26	2,00	92,00	2,00	2,00	3,25	6,41	17,55	4,72	20,51	3,02
DQO (mg/L O_2)	25	5,00	264,00	10,00	13,00	19,00	26,28	51,85	4,13	16,25	14,52
Feof-*a* (µg/L)	24	0,01	11,68	0,32	1,58	2,31	2,33	2,88	1,95	3,29	0,72
P_T (mg/L)	26	0,01	0,83	0,04	0,05	0,09	0,11	0,16	3,70	13,68	0,06
$N\text{-}NO_3^-$ (mg/L N)	26	0,04	0,78	0,15	0,21	0,46	0,30	0,20	0,73	-0,60	0,23
$N\text{-}NH_4^+{}_T$(mg/L N)	26	0,10	0,65	0,10	0,11	0,16	0,15	0,12	3,30	11,22	0,13
OD (mg/L)	26	3,10	8,80	6,63	7,25	7,95	7,18	1,13	-1,71	4,62	7,07
SST (mg/L)	26	2,00	202,00	18,00	24,50	50,50	41,62	45,58	2,11	4,29	25,78
ST (mg/L)	26	30,00	247,00	57,00	68,00	99,50	87,08	49,75	1,74	2,52	77,25

Tabela III.4. Estatística descritiva dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG031.

BG031											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (mg/L)	26	0,56	3,90	1,22	1,42	1,75	1,52	0,63	1,99	6,18	1,42
Cl-*a* (µg/L)	26	0,01	8,75	1,14	1,96	3,30	2,48	1,92	1,38	2,33	1,60
Colif. Term. (NMP/100 mL)	25	22,00	160000,00	500,00	1300,00	3000,00	8632,20	31646,52	4,64	19,72	1115,72
DBO (mg/L O_2)	26	2,00	2,70	2,00	2,00	2,00	2,03	0,14	4,31	17,56	2,03
DQO (mg/L O_2)	25	5,00	28,00	6,00	12,00	17,00	12,27	5,97	0,58	0,02	10,84
Feof-*a* (µg/L)	24	0,01	11,82	0,70	2,08	4,54	3,46	3,69	1,16	0,10	1,17
P_T (mg/L)	26	0,03	0,16	0,05	0,07	0,08	0,07	0,04	0,96	0,07	0,07
$N\text{-}NO_3^-$ (mg/L N)	26	0,04	1,61	0,23	0,41	0,66	0,49	0,36	1,19	1,64	0,36
$N\text{-}NH_4^+{}_T$(mg/L N)	26	0,10	0,32	0,10	0,10	0,14	0,13	0,06	2,09	3,72	0,12
OD (mg/L)	26	6,40	9,20	6,90	7,75	8,28	7,62	0,81	0,13	-1,20	7,57
SST (mg/L)	26	2,00	118,00	15,25	25,50	55,50	38,04	31,85	0,97	-0,06	24,71
ST (mg/L)	26	37,00	171,00	56,25	70,50	98,75	82,00	35,29	0,82	-0,17	75,34

Tabela III.5. Estatística descritiva dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG032.

BG032											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (mg/L)	26	0,64	3,48	1,37	1,54	1,72	1,58	0,52	1,62	4,96	1,51
Cl-*a* (µg/L)	26	0,27	10,05	1,28	2,87	5,28	3,72	3,03	0,88	-0,45	2,54
Colif. Term. (NMP/100 mL)	25	23,00	160000,00	2200,00	7900,00	13000,00	15879,88	32305,21	3,81	14,30	5315,35
DBO (mg/L O_2)	26	2,00	4,00	2,00	2,00	2,00	2,12	0,42	3,85	13,88	2,09
DQO (mg/L O_2)	25	5,00	31,00	7,30	14,00	17,00	14,14	7,52	0,72	-0,01	12,22
Feof-*a* (µg/L)	24	0,01	15,66	0,70	1,57	4,55	3,28	3,98	1,71	2,46	1,09
P_T (mg/L)	26	0,03	0,17	0,04	0,06	0,08	0,06	0,03	1,64	3,44	0,06
N-NO_3^- (mg/L N)	26	0,10	3,30	0,21	0,46	0,69	0,56	0,62	3,47	13,07	0,40
N-$NH_4^+{}_T$(mg/L N)	26	0,10	0,30	0,10	0,10	0,17	0,14	0,07	1,30	0,14	0,13
OD (mg/L)	26	6,50	9,10	6,90	7,55	8,05	7,53	0,73	0,25	-0,85	7,50
SST (mg/L)	26	2,00	99,00	15,50	30,50	48,75	37,19	28,12	0,80	-0,43	25,72
ST (mg/L)	26	15,00	151,00	55,25	68,00	89,50	76,15	32,67	0,66	-0,18	69,13

Tabela III.6. Estatística descritiva dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG034.

BG034											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (mg/L)	26	0,72	3,19	1,13	1,49	1,79	1,54	0,56	0,98	1,16	1,45
Cl-*a* (µg/L)	26	0,01	3,20	0,39	1,34	1,65	1,22	0,86	0,14	-0,45	0,47
Colif. Term. (NMP/100 mL)	26	33,00	160000,00	430,00	700,00	3016,25	11368,77	32513,92	3,95	15,27	1358,45
DBO (mg/L O_2)	26	2,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,08	0,24	2,86	7,16	2,07
DQO (mg/L O_2)	25	5,00	38,00	7,00	11,00	17,00	12,80	7,78	1,41	2,35	10,92
Feof-*a* (µg/L)	24	0,01	42,11	0,81	1,40	3,76	4,46	8,85	3,49	12,04	1,05
P_T (mg/L)	26	0,02	0,21	0,02	0,03	0,05	0,05	0,04	2,54	6,79	0,04
$N\text{-}NO_3^-$ (mg/L N)	26	0,06	1,31	0,19	0,30	0,48	0,37	0,27	1,65	3,51	0,29
$N\text{-}NH_4^+{}_T$(mg/L N)	26	0,10	0,28	0,10	0,10	0,13	0,13	0,05	1,80	1,96	0,12
OD (mg/L)	26	6,40	9,60	6,90	7,70	8,35	7,71	0,81	0,26	-0,62	7,67
SST (mg/L)	26	2,00	179,00	7,25	17,00	57,25	37,46	44,41	1,64	2,24	18,64
ST (mg/L)	26	35,00	231,00	48,00	66,00	101,00	82,42	48,26	1,56	1,95	72,27

Tabela III.7. Estatística descritiva dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG035.

BG035											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl-T (mg/L)	26	1,24	4,39	1,44	1,77	2,00	1,86	0,65	2,43	7,16	1,78
Cl-*a* (µg/L)	26	0,01	17,51	1,45	3,11	5,94	4,16	4,05	1,61	2,64	1,95
Colif. Term. (NMP/100 mL)	26	490,00	35000,00	2300,00	5000,00	10500,00	8417,23	8827,21	1,47	1,50	4792,33
DBO (mg/L O2)	26	2,00	3,90	2,00	2,00	2,00	2,08	0,37	4,63	19,88	2,06
DQO (mg/L O2)	25	5,00	28,00	7,80	12,00	15,00	12,34	5,39	0,85	0,93	11,25
Feof-*a* (µg/L)	24	0,01	26,50	0,60	2,03	3,68	4,09	6,33	2,44	5,27	1,24
PT (mg/L)	26	0,02	0,27	0,05	0,07	0,08	0,08	0,05	2,35	5,78	0,06
N-NO3- (mg/L N)	26	0,04	1,91	0,22	0,46	0,60	0,49	0,38	1,99	5,36	0,37
N-NH4+T(mg/L N)	26	0,10	0,37	0,10	0,12	0,19	0,15	0,07	1,57	1,71	0,14
OD (mg/L)	26	4,60	8,80	6,23	6,80	7,48	6,89	0,88	-0,21	0,30	6,84
SST (mg/L)	26	3,00	127,00	10,25	17,50	40,25	31,62	32,04	1,67	2,04	20,56
ST (mg/L)	26	18,00	171,00	51,00	59,00	78,75	71,58	35,84	1,35	1,19	64,35

Tabela III.8. Estatística descritiva dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG037.

BG037											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (mg/L)	26	1,26	4,41	1,53	1,89	2,42	2,08	0,70	1,54	2,76	1,99
Cl-*a* (µg/L)	26	0,01	19,49	1,34	2,69	4,73	4,22	4,61	1,83	3,01	1,87
Colif. Term. (NMP/100 mL)	26	1400,00	50000,00	4925,00	7950,00	13750,00	12694,77	12932,03	1,92	2,99	8516,74
DBO (mg/L O_2)	26	1,70	4,00	2,00	2,00	2,00	2,12	0,44	3,45	11,72	2,09
DQO (mg/L O_2)	25	5,00	30,00	8,40	11,00	19,00	13,87	7,76	0,64	-0,78	11,88
Feof-*a* (µg/L)	24	0,01	26,43	1,30	2,51	4,44	5,20	7,35	1,98	2,60	2,01
P_T (mg/L)	26	0,05	0,16	0,06	0,07	0,09	0,08	0,03	1,73	2,54	0,07
N-NO_3^- (mg/L N)	26	0,12	2,48	0,35	0,47	0,83	0,62	0,47	2,48	7,52	0,51
N-$NH_4^+{}_T$(mg/L N)	26	0,10	0,38	0,10	0,13	0,23	0,17	0,08	1,15	0,45	0,15
OD (mg/L)	26	6,30	9,20	7,53	8,00	8,40	7,99	0,69	-0,29	-0,11	7,96
SST (mg/L)	26	2,00	134,00	13,25	24,50	48,75	39,62	39,60	1,34	0,45	25,08
ST (mg/L)	26	39,00	202,00	56,00	61,50	106,25	82,50	44,47	1,31	0,54	73,67

Tabela III.9. Estatística descritiva dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG038.

BG038											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (mg/L)	26	0,69	3,22	1,29	1,61	1,86	1,62	0,55	0,69	1,20	1,53
Cl-*a* (µg/L)	26	0,01	10,68	1,41	2,02	3,69	2,90	2,50	1,41	1,75	1,75
Colif. Term. (NMP/100 mL)	25	30,00	160000,00	2300,00	3500,00	7000,00	13042,44	32287,88	4,05	15,71	3532,55
DBO (mg/L O_2)	26	2,00	4,60	2,00	2,00	2,15	2,30	0,65	2,29	4,48	2,24
DQO (mg/L O_2)	25	6,20	35,00	11,00	14,00	18,00	15,25	6,81	1,24	1,37	13,99
Feof-*a* (µg/L)	24	0,01	35,64	0,99	2,46	4,75	4,90	7,59	3,01	9,42	1,55
P_T (mg/L)	26	0,06	0,20	0,07	0,08	0,12	0,10	0,04	0,96	-0,26	0,09
$N\text{-}NO_3^-$ (mg/L N)	26	0,09	1,65	0,19	0,36	0,58	0,43	0,33	2,03	5,43	0,33
$N\text{-}NH_4^+{}_T$(mg/L N)	26	0,10	0,69	0,10	0,20	0,25	0,21	0,13	2,10	5,61	0,18
OD (mg/L)	26	5,60	8,70	6,13	7,20	7,40	6,94	0,88	0,16	-1,12	6,89
SST (mg/L)	26	17,00	190,00	28,00	39,00	69,50	59,96	48,15	1,53	1,29	46,91
ST (mg/L)	26	49,00	245,00	73,25	84,50	119,25	106,46	52,17	1,44	1,18	96,97

Tabela III.10. Estatística descritiva dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG024.

BG024											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (kg/dia)	26	194,52	3093,48	376,42	533,83	679,21	795,74	791,75	1,99	2,57	583,70
Cl-*a* (kg/dia)	26	0,004	27,40	0,16	0,89	1,22	2,51	5,91	3,44	11,01	0,47
Coli. Term. (NMP/dia)	26	1,83E+12	9,98E+14	6,30E+13	1,03E+14	1,92E+14	2,14E+14	2,79E+14	1,953	2,539	1,08E+14
DBO (kg/dia O_2)	26	717,92	10261,81	1407,29	1649,86	2586,40	2736,24	2493,50	1,98	2,77	2096,55
DQO (kg/dia O_2)	25	2580,64	68744,09	4863,11	7866,66	11847,70	12008,78	14179,61	3,01	8,85	8479,67
Feof-*a* (kg/dia)	24	0,00	19,50	0,33	1,12	3,22	3,14	4,74	2,15	4,26	0,74
P_T (kg/dia)	26	7,45	190,96	15,15	22,44	43,87	38,07	43,45	2,40	5,09	25,94
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	26	8,30	615,71	107,56	183,91	264,10	218,67	154,51	1,03	0,16	165,20
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	26	35,90	718,33	74,94	109,81	202,66	177,20	175,52	1,94	2,92	126,12
OD (kg/dia)	26	2440,92	42586,50	5301,45	6682,29	11399,18	10912,65	10114,70	1,99	2,96	8235,41
SST (kg/dia)	26	1032,26	389549,83	4438,54	7685,85	22632,76	30961,96	76038,06	4,27	17,60	10148,25
ST (kg/dia)	26	10805,60	496485,08	23078,34	29416,36	57033,19	66162,11	99711,02	3,40	11,69	39698,95

Tabela III.11. Estatística descritiva dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG026.

BG026											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (kg/dia)	26	1509,05	25087,03	2547,94	3232,53	5506,42	4706,04	4660,71	3,41	12,32	3702,22
Cl-*a* (kg/dia)	26	0,017	31,16	1,47	3,80	6,56	5,53	6,33	2,68	8,47	2,51
Coli. Term. (NMP/dia)	25	3,77E+11	1,13E+15	6,95E+12	2,08E+13	5,67E+13	1,00E+14	2,44E+14	3,432	11,277	1,73E+13
DBO (kg/dia O_2)	26	1197,57	20563,14	2554,71	4108,25	6395,58	5351,84	4430,97	2,01	4,07	4139,74
DQO (kg/dia O_2)	25	3808,55	205631,36	12237,32	20725,11	33473,68	32418,60	40180,97	3,40	12,11	21736,56
Feof-*a* (kg/dia)	24	0,01	52,58	0,80	3,50	11,35	9,51	13,12	1,90	3,15	2,59
P_T (kg/dia)	26	29,94	1439,42	88,09	147,56	276,13	281,55	332,63	2,21	4,43	174,32
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	26	227,49	6374,57	631,95	1064,79	1488,62	1246,05	1172,54	3,34	12,34	965,81
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	26	59,88	2467,58	158,44	278,68	465,68	389,52	466,29	3,57	13,48	267,82
OD (kg/dia)	26	4543,23	65802,04	8431,21	13457,10	22056,24	18125,72	13991,89	1,86	3,68	14292,73
SST (kg/dia)	26	7459,04	801962,32	30387,45	65003,71	234258,84	183137,98	222003,42	1,54	1,32	85855,85
ST (kg/dia)	26	43398,03	1336603,86	91945,18	164792,23	371729,66	301603,09	326253,30	1,73	2,35	186355,85

Tabela III.12. Estatística descritiva dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG030.

BG030											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (kg/dia)	26	52,31	1035,78	112,14	142,48	250,08	211,54	201,58	2,85	8,92	161,00
Cl-*a* (kg/dia)	25	0,0002	1,92	0,03	0,13	0,25	0,25	0,41	3,03	9,21	0,06
Coli. Term. (NMP/dia)	26	4,08E+11	3,82E+14	1,02E+13	1,73E+13	3,13E+13	5,14E+13	9,73E+13	2,785	6,411	1,90E+13
DBO (kg/dia O_2)	26	67,49	2408,87	192,93	351,95	441,37	429,44	461,01	3,21	11,29	306,99
DQO (kg/dia O_2)	25	281,23	37377,98	526,02	1265,24	2279,72	3371,49	7313,52	4,25	17,30	1478,91
Feof-*a* (kg/dia)	24	0,00	2,36	0,03	0,12	0,41	0,37	0,59	2,17	4,07	0,07
P_T (kg/dia)	26	0,96	103,58	3,85	5,78	9,02	13,05	20,92	3,35	11,73	6,57
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	26	3,93	351,26	12,13	24,32	40,12	39,27	65,79	4,31	18,06	23,52
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	26	2,81	103,58	9,65	12,06	19,77	17,94	19,11	3,64	13,87	13,61
OD (kg/dia)	26	81,17	3692,76	563,95	759,11	1249,41	925,94	715,57	2,29	6,63	719,31
SST (kg/dia)	26	180,75	90968,10	940,48	2258,97	6200,50	8245,82	18221,19	3,85	14,75	2622,69
ST (kg/dia)	26	1406,14	111233,27	4581,02	5886,35	15144,47	13928,70	21888,16	3,61	13,35	7858,32

Tabela III.13. Estatística descritiva dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG031.

BG031											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (kg/dia)	26	409,36	11667,26	672,87	865,12	1983,76	1688,70	2268,80	3,51	12,72	1120,24
Cl-*a* (kg/dia)	26	0,003	13,57	0,65	2,11	3,34	2,96	3,44	1,70	2,24	1,26
Coli. Term. (NMP/dia)	25	4,74E+10	1,87E+15	2,83E+12	1,14E+13	3,51E+13	1,11E+14	3,72E+14	4,458	18,533	9,00E+12
DBO (kg/dia O_2)	26	460,85	12346,30	888,11	1257,43	2825,30	2350,02	2717,18	2,63	6,46	1600,80
DQO (kg/dia O_2)	25	2488,33	67904,66	4093,57	6171,06	14484,82	13283,87	15746,29	2,16	4,26	8336,67
Feof-*a* (kg/dia)	24	0,00	16,76	0,22	2,45	5,86	3,80	4,64	1,53	1,49	0,88
P_T (kg/dia)	26	10,77	557,55	20,48	46,69	104,86	98,91	138,56	2,39	4,85	52,20
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	26	59,06	2407,53	177,37	312,07	370,56	404,44	469,40	3,28	11,09	287,51
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	26	21,55	802,51	58,84	90,95	146,31	140,32	162,61	3,01	9,16	97,44
OD (kg/dia)	26	1589,94	40742,80	3293,69	5597,18	10068,94	8468,38	8950,33	2,48	5,83	5970,94
SST (kg/dia)	26	649,87	441394,59	7263,03	17215,39	77427,43	63051,37	109769,10	2,61	5,91	19482,92
ST (kg/dia)	26	11634,36	734605,00	25553,46	41668,71	138629,94	116848,04	176634,09	2,66	6,17	59394,83

Tabela III.14. Estatística descritiva dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG032.

BG032											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (kg/dia)	26	3182,75	37456,31	4361,00	5583,98	9550,82	8470,80	7601,13	2,72	7,13	6798,44
Cl-*a* (kg/dia)	26	0,472	208,15	6,21	12,46	24,63	24,43	41,30	3,64	13,45	11,44
Coli. Term. (NMP/dia)	25	2,46E+12	2,83E+15	8,83E+13	3,26E+14	5,96E+14	5,35E+14	6,73E+14	2,052	3,868	2,42E+14
DBO (kg/dia O_2)	26	2710,50	45958,67	6146,77	8794,21	12985,98	12010,60	10394,81	2,25	4,53	9396,73
DQO (kg/dia O_2)	25	15782,23	372808,43	26426,81	45685,42	101534,87	87400,59	103350,25	2,00	2,71	54884,39
Feof-*a* (kg/dia)	24	0,12	107,35	1,30	6,69	28,47	18,29	26,67	1,93	3,38	4,94
P_T (kg/dia)	26	76,14	2068,14	143,86	230,25	355,21	415,08	493,57	2,18	3,89	265,51
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	26	521,56	12179,05	1134,34	1823,10	2852,88	2402,19	2338,54	2,95	9,88	1787,12
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	26	135,53	3217,11	395,01	587,72	790,81	740,58	640,88	2,60	7,17	578,28
OD (kg/dia)	26	9622,28	158557,40	22228,99	31753,97	48929,63	42727,20	34824,67	2,13	4,27	33764,43
SST (kg/dia)	26	2710,50	1905465,32	48287,62	143006,74	317322,00	315085,96	496533,25	2,46	5,13	115789,28
ST (kg/dia)	26	40387,30	3056251,29	154399,77	347684,50	558859,59	555569,03	736148,51	2,47	5,35	311173,40

Tabela III.15. Estatística descritiva dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG034.

BG034											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (kg/dia)	26	253,00	8916,39	498,45	721,29	1296,43	1368,29	1804,64	3,13	10,08	882,10
Cl-*a* (kg/dia)	26	0,001	7,14	0,18	0,52	1,13	1,13	1,85	2,67	6,04	0,28
Coli. Term. (NMP/dia)	26	2,71E+11	9,29E+14	1,56E+12	3,88E+12	3,55E+13	1,18E+14	2,64E+14	2,260	3,644	8,27E+12
DBO (kg/dia O_2)	26	387,91	10703,75	663,58	1181,17	1589,64	2123,79	2919,83	2,25	3,46	1262,68
DQO (kg/dia O_2)	25	1166,66	104605,64	3303,05	5104,81	12020,40	14999,64	25070,15	2,57	5,68	6800,74
Feof-*a* (kg/dia)	24	0,00	32,64	0,24	0,98	4,05	4,74	8,87	2,33	4,16	0,66
P_T (kg/dia)	26	4,48	448,31	9,89	16,22	39,96	56,54	102,76	2,72	6,83	22,11
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	26	37,93	1693,62	86,53	162,06	309,37	281,30	357,00	2,82	8,02	174,48
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	26	14,92	747,18	35,47	60,48	105,71	127,02	175,99	2,45	5,08	73,64
OD (kg/dia)	26	1253,23	36927,94	2674,76	3724,08	5775,10	7575,84	9844,91	2,21	3,43	4670,88
SST (kg/dia)	26	829,18	493140,89	2134,58	11941,56	45663,16	59890,61	120334,05	2,54	5,51	11350,36
ST (kg/dia)	26	6266,17	767108,05	18605,46	39915,43	77884,60	109099,08	190834,64	2,50	5,05	44005,49

Tabela III.16. Estatística descritiva dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG035.

BG035											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (kg/dia)	26	4366,63	58202,57	7292,75	9558,19	12230,80	12651,98	11415,05	2,98	8,64	10286,15
Cl-*a* (kg/dia)	26	0,039	534,36	5,57	17,42	34,92	41,26	102,34	4,54	19,43	11,26
Coli. Term. (NMP/dia)	26	1,18E+13	7,85E+15	1,15E+14	3,24E+14	6,70E+14	7,46E+14	1,53E+15	4,096	16,525	2,77E+14
DBO (kg/dia O_2)	26	3523,65	65396,15	7814,26	11050,33	15323,70	15537,27	14992,84	2,56	5,69	11921,69
DQO (kg/dia O_2)	25	16384,98	457773,05	32683,86	67971,22	116567,33	91821,49	92504,34	2,62	7,87	64693,30
Feof-*a* (kg/dia)	24	0,01	171,61	2,92	11,97	28,70	22,92	35,86	3,15	10,53	7,15
P_T (kg/dia)	26	98,99	3923,77	162,11	339,39	639,13	595,50	783,79	3,21	10,84	369,37
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	26	208,62	16676,02	1435,66	2198,05	3658,71	2968,19	3104,50	3,44	12,90	2154,79
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	26	275,79	3596,79	552,12	750,75	1039,41	970,50	765,77	2,37	5,14	797,57
OD (kg/dia)	26	8104,40	215807,29	25787,22	38214,53	59228,36	52729,75	49051,36	2,33	4,92	39501,90
SST (kg/dia)	26	10500,70	4152655,52	38851,94	103290,28	356883,61	443436,87	995011,90	3,07	7,98	118805,73
ST (kg/dia)	26	63004,18	5591370,81	187019,96	332133,68	695555,11	755666,27	1312004,37	2,98	7,60	371873,69

Tabela III.17. Estatística descritiva dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG037.

BG037											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (kg/dia)	26	6118,79	69775,58	9690,12	11940,92	15142,17	15124,95	12294,71	3,56	13,34	12856,76
Cl-*a* (kg/dia)	26	0,051	140,34	7,53	17,28	44,72	29,33	32,26	1,80	3,49	12,08
Coli. Term. (NMP/dia)	26	7,83E+13	7,26E+15	2,38E+14	4,82E+14	1,22E+15	1,16E+15	1,61E+15	2,457	6,181	5,51E+14
DBO (kg/dia O_2)	26	3730,97	78842,46	9258,30	12844,65	20958,50	17257,31	15036,27	2,79	8,95	13510,48
DQO (kg/dia O_2)	25	18654,84	906688,34	37242,18	71343,02	145170,83	130841,25	187042,23	3,17	10,23	76158,31
Feof-*a* (kg/dia)	24	0,05	355,63	5,53	14,50	51,90	44,55	81,20	2,92	7,89	12,89
P_T (kg/dia)	26	100,22	4336,34	275,60	430,34	756,66	705,46	872,10	3,15	10,09	470,48
N-NO_3^- (kg/dia N)	26	967,92	18922,19	2269,21	3042,52	4772,04	4128,42	3573,62	2,91	9,46	3289,74
N-$NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	26	157,49	7095,82	692,03	1008,81	1368,03	1301,86	1336,61	3,37	11,92	986,82
OD (kg/dia)	26	9019,74	311427,73	34935,64	49491,57	74581,74	67224,76	59629,36	2,78	8,95	51511,06
SST (kg/dia)	26	3730,97	4218071,84	73942,94	128651,33	494943,87	529234,94	947047,24	2,72	7,31	162253,80
ST (kg/dia)	26	85812,24	6110290,99	225270,25	363428,88	992593,17	898780,93	1298782,07	2,81	8,23	476561,29

Tabela III.18. Estatística descritiva dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água selecionados, considerando o período de julho de 2008 a 2014, na estação de monitoramento BG038.

BG038											
Parâmetros	N° de dados	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 50 (mediana)	Percentil 75	Média	Desvio-padrão	Coeficiente de Assimetria	Coeficiente de Curtose	Média geométrica
Cl^-_T (kg/dia)	26	370,14	8187,90	568,23	711,99	1486,91	1297,11	1603,20	3,37	11,56	913,57
Cl-*a* (kg/dia)	26	0,006	23,01	0,51	1,57	2,59	3,08	5,04	2,82	7,87	1,05
Coli. Term. (NMP/dia)	25	4,15E+11	7,14E+14	7,49E+12	1,79E+13	6,93E+13	1,16E+14	2,20E+14	1,933	2,078	2,17E+13
DBO (kg/dia O_2)	26	312,17	8618,84	778,20	1396,92	2027,45	1818,76	1839,21	2,63	6,58	1339,41
DQO (kg/dia O_2)	25	2178,61	60331,88	4552,29	6900,33	14305,99	12158,35	13669,38	2,40	5,32	8189,53
Feof-*a* (kg/dia)	24	0,01	37,59	0,22	1,23	3,88	3,99	7,94	3,42	11,72	0,89
P_T (kg/dia)	26	15,61	689,51	28,49	48,21	89,22	101,23	162,96	2,93	7,30	55,05
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	26	43,42	1034,26	143,38	211,04	286,23	245,64	191,96	2,79	9,14	199,49
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	26	37,72	991,17	71,07	88,06	150,16	151,12	187,36	3,68	13,89	108,89
OD (kg/dia)	26	858,47	24994,63	2420,81	4142,28	6519,94	5707,99	5624,97	2,36	5,18	4121,86
SST (kg/dia)	26	3218,65	422323,13	11613,90	20046,17	72380,52	71426,95	115036,53	2,30	4,30	28067,64
ST (kg/dia)	26	10665,86	723982,51	28330,27	46677,94	115509,78	113210,83	166928,48	2,60	6,18	58023,41

Tabela III.19. *P*-valor do teste de normalidade de Shapiro-Wilk aplicado aos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água, por estação de monitoramento da bacia do rio Verde, ao nível de significância de 5%.

Parâmetros	BG024	BG026	BG030	BG031	BG032	BG034	BG035	BG037	BG038
Cl^-_T (mg/L)	0,004	**0,163**	0,000	0,000	0,002	**0,111**	0,000	0,002	**0,251**
Cl-*a* (µg/L)	0,001	0,003	0,004	0,008	0,005	**0,092**	0,001	0,000	0,002
Colif. term. (NMP/100 mL)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
DBO (mg/L O_2)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
DQO (mg/L O_2)	0,001	**0,426**	0,000	**0,072**	0,020	0,003	**0,132**	0,013	0,013
Feof-*a* (µg/L)	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P_T (mg/L)	0,000	0,000	0,000	0,008	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001
$N\text{-}NO_3^-$ (mg/L N)	0,033	**0,118**	0,013	0,019	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (mg/L N)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
OD (mg/L)	**0,369**	**0,232**	0,001	**0,098**	**0,245**	**0,244**	**0,160**	**0,916**	**0,127**
SST (mg/L)	0,000	0,029	0,000	0,008	0,022	0,000	0,000	0,000	0,000
ST (mg/L)	0,000	0,013	0,000	0,047	**0,102**	0,000	0,001	0,000	0,000

* Valores em **negrito** indicam dados com distribuição Normal (simétrica) (p > 0,05)

Tabela III.20. *P*-valor do teste de normalidade de Shapiro-Wilk aplicado aos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água, por estação de monitoramento da bacia do rio Verde, ao nível de significância de 5%.

Parâmetro	BG024	BG026	BG030	BG031	BG032	BG034	BG035	BG037	BG038
Cl^-_T (kg/dia)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Cl-*a* (kg/dia)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Coli. term. (NMP/dia)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
DBO (kg/dia O_2)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
DQO (kg/dia O_2)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Feof-*a* (kg/dia)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
P_T (kg/dia)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
OD (kg/dia)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
SST (kg/dia)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
ST (kg/dia)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

* Valores em **negrito** indicam dados com distribuição Normal (simétrica) (p > 0,05)

Tabela III.21. Percentual de *outliers* em cada estação de monitoramento da bacia do rio Verde, em termos de concentração dos parâmetros de qualidade da água.

Parâmetro	BG024	BG026	BG030	BG031	BG032	BG034	BG035	BG037	BG038
Cl^-_T (mg/L)	15,38	3,85	7,69	3,85	7,69	3,85	3,85	3,85	3,85
Cl-*a* (µg/L)	3,85	3,85	12,00	3,85	0,00	0,00	3,85	11,54	3,85
Colif. term. (NMP/100 mL)	11,54	12,00	15,38	16,00	12,00	19,23	11,54	11,54	12,00
DBO (mg/L O2)	3,85	3,85	15,38	7,69	11,54	15,38	7,69	15,38	23,08
DQO (mg/L O2)	0,00	0,00	8,00	0,00	0,00	4,00	4,00	0,00	8,00
Feof-*a* (µg/L)	8,33	12,50	12,50	12,50	8,33	12,50	12,50	16,67	12,50
P_T (mg/L)	3,85	3,85	11,54	11,54	3,85	7,69	7,69	7,69	3,85
$N\text{-}NO_3^-$ (mg/L N)	3,85	3,85	0,00	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (mg/L N)	11,54	19,23	7,69	15,38	3,85	19,23	3,85	0,00	3,85
OD (mg/L)	0,00	0,00	3,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SST (mg/L)	11,54	0,00	11,54	3,85	3,85	3,85	7,69	11,54	11,54
ST (mg/L)	11,54	3,85	11,54	3,85	3,85	7,69	11,54	3,85	7,69

Tabela III.22. Percentual de *outliers* em cada estação de monitoramento da bacia do rio Verde, em termos de carga dos parâmetros de qualidade da água.

Parâmetro	BG024	BG026	BG030	BG031	BG032	BG034	BG035	BG037	BG038
Cl^-_T (kg/dia)	15,38	3,85	7,69	7,69	7,69	11,54	11,54	11,54	7,69
Cl-*a* (kg/dia)	11,54	3,85	8,00	11,54	11,54	7,69	3,85	3,85	11,54
Coli. term. (NMP/dia)	15,38	12,00	15,38	20,00	12,00	19,23	11,54	15,38	16,00
DBO (kg/dia O_2)	15,38	7,69	11,54	7,69	7,69	15,38	7,69	3,85	7,69
DQO (kg/dia O_2)	12,00	8,00	16,00	12,00	12,00	16,00	4,00	8,00	8,00
Feof-*a* (kg/dia)	12,50	12,50	8,33	4,17	4,17	12,50	4,17	8,33	12,50
P_T (kg/dia)	11,54	15,38	23,08	11,54	15,38	19,23	7,69	7,69	7,69
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	3,85	3,85	3,85	11,54	3,85	7,69	3,85	7,69	7,69
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	11,54	3,85	7,69	7,69	7,69	11,54	7,69	7,69	11,54
OD (kg/dia)	11,54	7,69	3,85	7,69	7,69	15,38	7,69	7,69	7,69
SST (kg/dia)	7,69	11,54	15,38	7,69	7,69	11,54	7,69	19,23	11,54
ST (kg/dia)	15,38	11,54	11,54	7,69	7,69	11,54	7,69	7,69	11,54

APÊNDICE IV

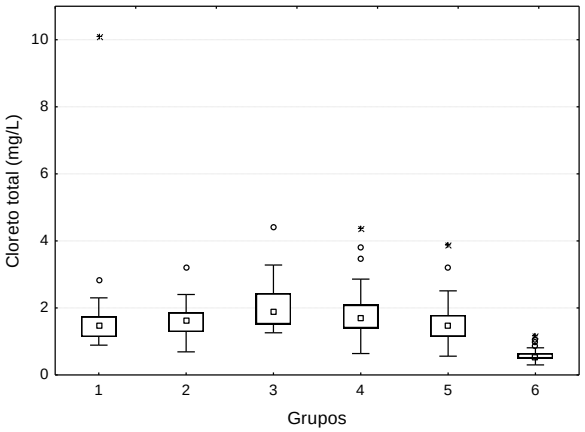
Tabelas com resultados relacionados ao Capítulo 5, subcapítulo 5.3:

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS DA BACIA DO RIO VERDE, EM TERMOS DE CONCENTRAÇÃO E DE CARGA DOS POLUENTES

Figura IV.1. *Box-plot* das concentrações dos parâmetros de qualidade da água da sub-bacia do rio Verde, e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de Kruskal-Wallis (p<0,05), considerando os agrupamentos formados pela Análise de Agrupamento.

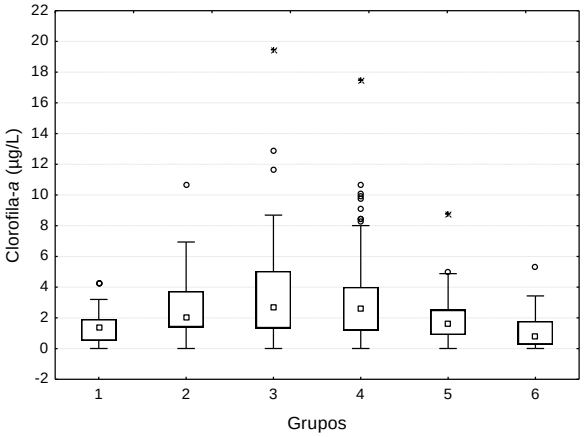
***Box-plot* das concentrações dos parâmetros**	**Resultados do teste de comparações múltiplas**

Cloreto total (mg/L)



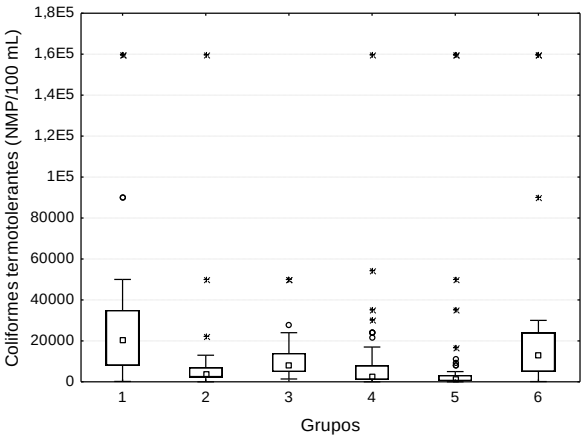
1	2	3	4	5	6	Grupos
	=	↑	=	=	↓	*1*
=		↑	=	=	↓	*2*
↓	↓		=	↓	↓	*3*
=	=	=		↓	↓	*4*
=	=	↑	↑		↓	*5*
↑	↑	↑	↑	↑		*6*

Clorofila *a* (µg/L)



1	2	3	4	5	6	Grupos
	↑	↑	↑	=	=	*1*
↓		=	=	=	↓	*2*
↓	=		=	↓	↓	*3*
↓	=	=		↓	↓	*4*
=	=	↑	↑		=	*5*
=	↑	↑	↑	=		*6*

Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)

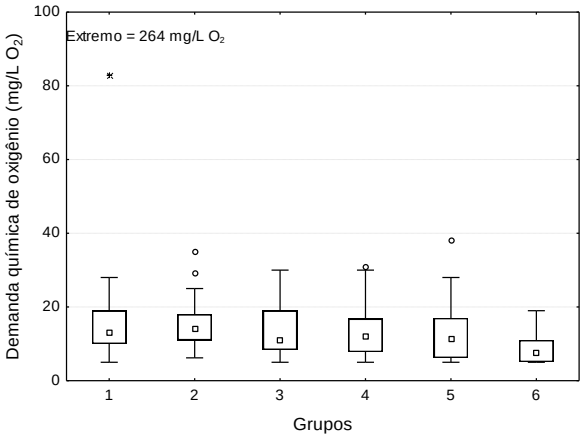


1	2	3	4	5	6	Grupos
	↓	=	↓	↓	=	*1*
↑		=	=	↓	↑	*2*
=	=		↓	↓	=	*3*
↑	=	↑		↓	↑	*4*
↑	↑	↑	↑		↑	*5*
=	↓	=	↓	↓		*6*

Figura IV.1. *Box-plot* das concentrações dos parâmetros de qualidade da água da sub-bacia do rio Verde, e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de Kruskal-Wallis ($p<0,05$), considerando os agrupamentos formados pela Análise de Agrupamento (continuação).

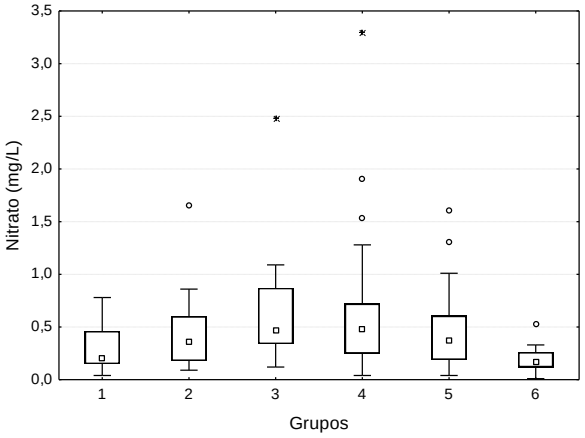
***Box-plot* das concentrações dos parâmetros**	**Resultados do teste de comparações múltiplas**

Demanda química de oxigênio (mg/L O_2)



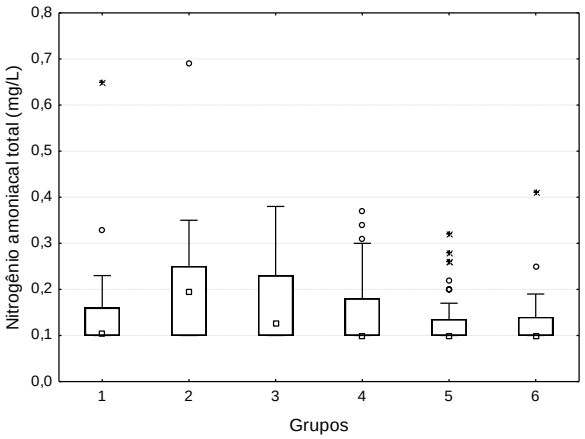
1	2	3	4	5	6	Grupos
	=	=	=	=	↓	*1*
=		=	=	=	↓	*2*
=	=		=	=	↓	*3*
=	=	=		=	↓	*4*
=	=	=	=		↓	*5*
↑	↑	↑	↑	↑		*6*

Nitrato (mg/L)



1	2	3	4	5	6	Grupos
	=	↑	↑	=	=	*1*
=		=	=	=	↓	*2*
↓	=		=	↓	↓	*3*
↓	=	=		=	↓	*4*
=	=	↑	=		↓	*5*
=	↑	↑	↑	↑		*6*

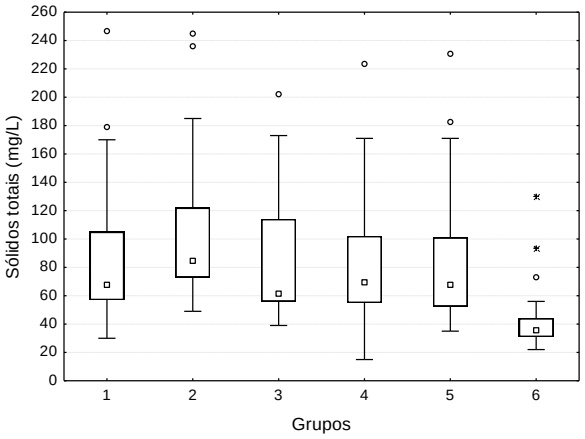
Nitrogênio amoniacal total (mg/L)



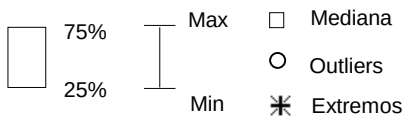
1	2	3	4	5	6	Grupos
	↑	=	=	=	=	*1*
↓		=	↓	↓	↓	*2*
=	=		=	↓	=	*3*
=	↑	=		=	=	*4*
=	↑	↑	=		=	*5*
=	↑	=	=	=		*6*

Figura IV.1. *Box-plot* das concentrações dos parâmetros de qualidade da água da sub-bacia do rio Verde, e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de Kruskal-Wallis (p<0,05), considerando os agrupamentos formados pela Análise de Agrupamento (continuação).

***Box-plot* das concentrações dos parâmetros**	**Resultados do teste de comparações múltiplas**
Sólidos totais (mg/L)	



1	2	3	4	5	6	Grupos
	=	=	=	=	↓	*1*
=		↓	↓	↓	↓	*2*
=	↑		=	=	↓	*3*
=	↑	=		=	↓	*4*
=	↑	=	=		↓	*5*
↑	↑	↑	↑	↑		*6*

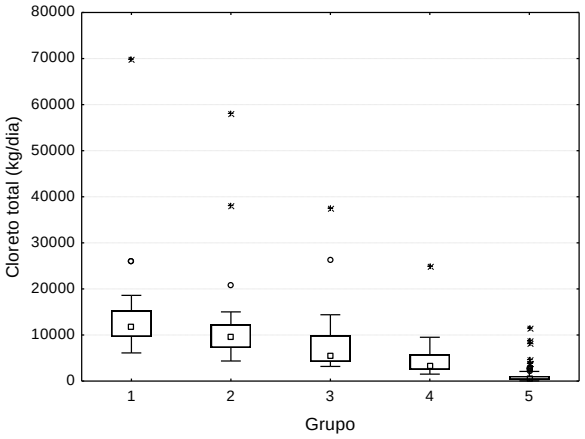


= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita)
↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita)
↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

Figura IV.2. *Box-plot* das cargas dos parâmetros de qualidade da água da sub-bacia do rio Verde, e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de Kruskal-Wallis ($p<0,05$), considerando os agrupamentos formados pela Análise de Agrupamento.

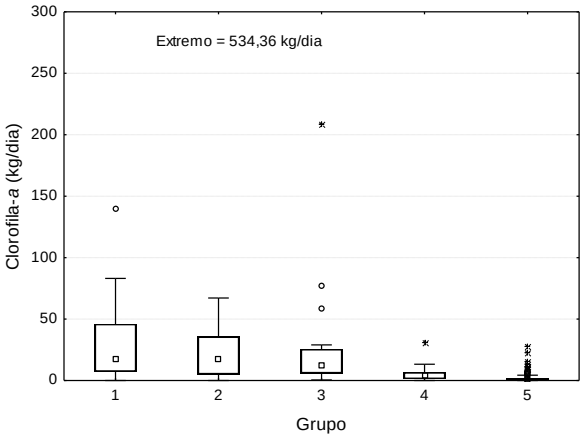
***Box-plot* das cargas dos parâmetros**	**Resultados do teste de comparações múltiplas**

Cloreto total (kg/dia)



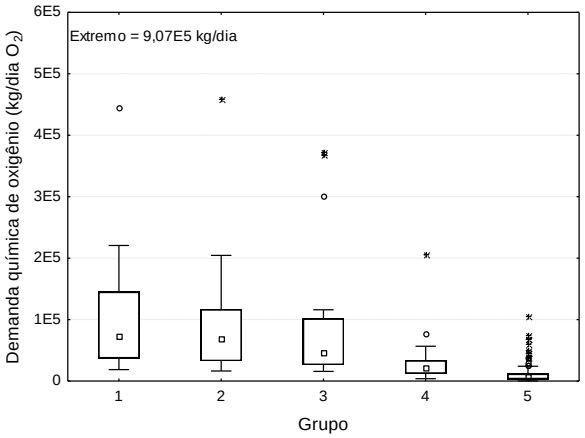
1	2	3	4	5	Grupos
	=	=	↓	↓	*1*
=		=	↓	↓	*2*
=	=		=	↓	*3*
↑	↑	=		↓	*4*
↑	↑	↑	↑		*5*

Clorofila *a* (kg/dia)



1	2	3	4	5	Grupos
	=	=	↓	↓	*1*
=		=	↓	↓	*2*
=	=		↓	↓	*3*
↑	↑	↑		↓	*4*
↑	↑	↑	↑		*5*

Demanda química de oxigênio (kg/dia O_2)

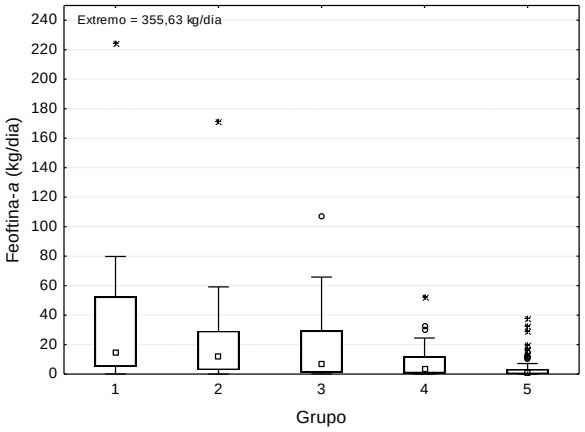


1	2	3	4	5	Grupos
	=	=	↓	↓	*1*
=		=	↓	↓	*2*
=	=		↓	↓	*3*
↑	↑	↑		↓	*4*
↑	↑	↑	↑		*5*

Figura IV.2. *Box-plot* das cargas dos parâmetros de qualidade da água da sub-bacia do rio Verde, e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de Kruskal-Wallis ($p<0,05$), considerando os agrupamentos formados pela Análise de Agrupamento (continuação).

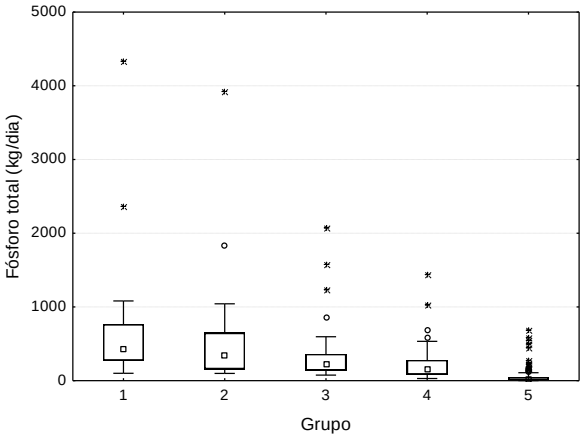
***Box-plot* das cargas dos parâmetros**	**Resultados do teste de comparações múltiplas**

Feofitina *a* (kg/dia)



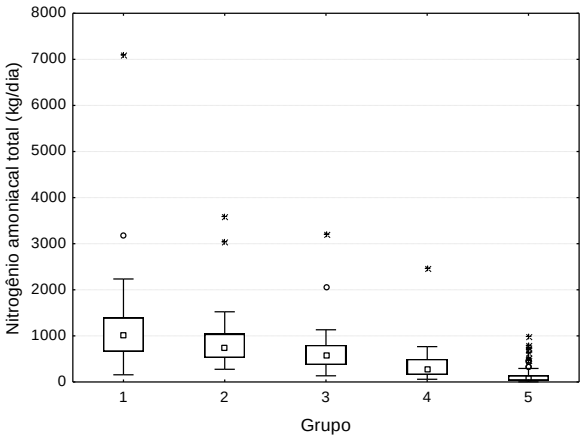
1	2	3	4	5	Grupos
	=	=	↓	↓	*1*
=		=	=	↓	*2*
=	=		=	↓	*3*
↑	=	=		↓	*4*
↑	↑	↑	↑		*5*

Fósforo total (kg/dia)



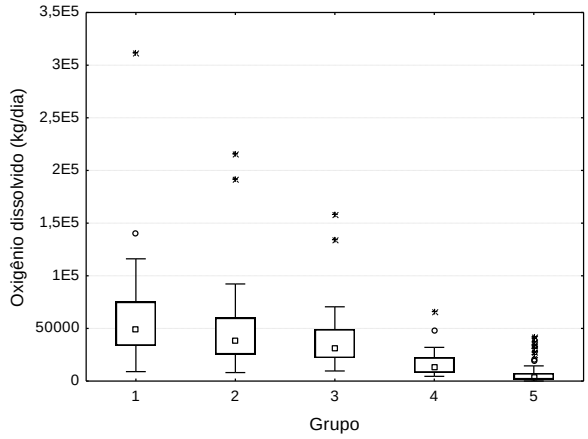
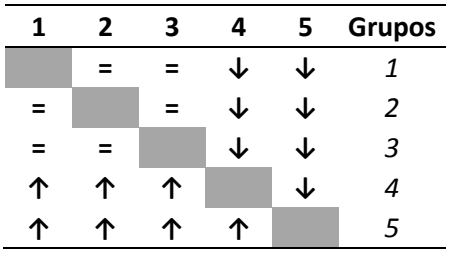
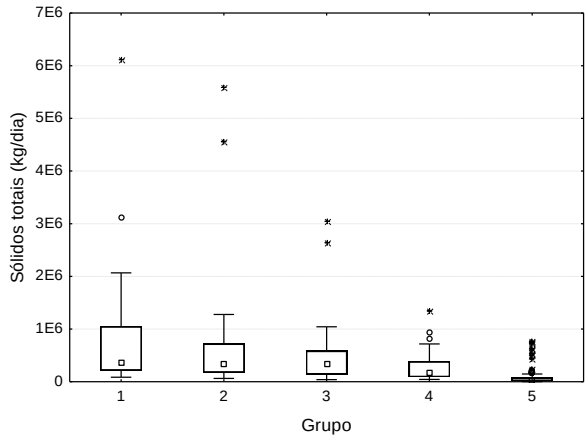
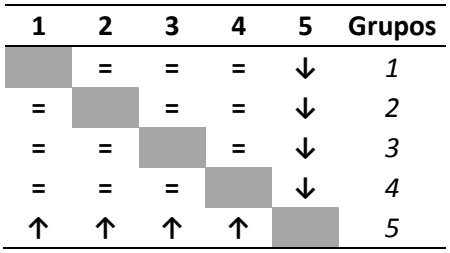
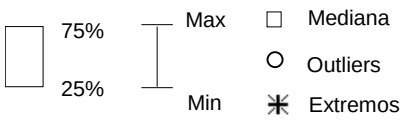
1	2	3	4	5	Grupos
	=	=	↓	↓	*1*
=		=	=	↓	*2*
=	=		=	↓	*3*
↑	=	=		↓	*4*
↑	↑	↑	↑		*5*

Nitrogênio amoniacal total (kg/dia)



1	2	3	4	5	Grupos
	=	=	↓	↓	*1*
=		=	↓	↓	*2*
=	=		↓	↓	*3*
↑	↑	↑		↓	*4*
↑	↑	↑	↑		*5*

Figura IV.2. *Box-plot* das cargas dos parâmetros de qualidade da água da sub-bacia do rio Verde, e resultados do teste de comparações múltiplas, após diferença indicada pelo teste de Kruskal-Wallis ($p<0,05$), considerando os agrupamentos formados pela Análise de Agrupamento (continuação).

***Box-plot* das cargas dos parâmetros**	**Resultados do teste de comparações múltiplas**
Oxigênio dissolvido (kg/dia O_2)	
	
Sólidos totais (kg/dia)	
	
	= Grupo em negrito (acima) não se difere significativamente do grupo em itálico (à direita) ↑ Grupo em negrito (acima) significativamente maior que o grupo em itálico (coluna à direita) ↓ Grupo em negrito (acima) significativamente menor que o grupo em itálico (coluna à direita)

ANÁLISE DE TENDÊNCIAS TEMPORAIS - DADOS DE CONCENTRAÇÃO

Tabela IV.1. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG024.

Parâmetro	KW[1]	Influência da sazonalidade	MK[1]	Tau de Kendall[2]	S[2]	SMK[1]	Tau de Kendall[2]	S[2]	Correlação de Spearman[1]	Tendência
Cl^-_T (mg/L)	0,108	Não	0,204	0,185	58,000				0,287	Sem tendência
Cl-*a* (µg/L)	0,233	Não	**0,018**	-0,337	-108,000				**0,006**	Redução
Colif. term. (NMP/100 mL)	**0,036**	Sim				0,345	0,187	11,000	0,142	Sem tendência
DBO (mg/L O_2)	0,343	Não	0,182	0,233	21,000				0,165	Sem tendência
DQO (mg/L O_2)	0,178	Não	0,095	0,247	72,000				0,077	Sem tendência
Feof-*a* (µg/L)	0,761	Não	**0,020**	-0,345	-95,000				**0,008**	Redução
P_T (mg/L)	0,066	Não	0,338	0,149	42,000				0,325	Sem tendência
N-NO_3^- (mg/L N)	0,340	Não	**0,000**	0,519	167,000				**0,000**	Elevação
N-$NH_4^+{}_T$ (mg/L N)	0,203	Não	0,334	0,151	41,000				0,331	Sem tendência
OD (mg/L)	**0,001**	Sim				0,151	0,276	16,000	0,653	Sem tendência
SST (mg/L)	**0,006**	Sim				0,123	-0,284	-17,000	0,182	Sem tendência
ST (mg/L)	**0,001**	Sim				0,057	-0,361	-21,000	0,294	Sem tendência

[1]*P*-valor relacionado à estatística do teste. Valores em negrito são estatisticamente significativos (p<0,05).
[2]Valor da estatística do teste.

Tabela IV.2. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG026.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (mg/L)	0,104	Não	**0,031**	0,307	99,000				**0,028**	Elevação
Cl-*a* (µg/L)	0,584	Não	**0,042**	-0,290	-93,000				0,055	Inconclusivo com possibilidade de redução
Colif. term. (NMP/100 mL)	0,846	Não	0,061	-0,276	-81,000				0,072	Sem tendência
DBO (mg/L O_2)	0,343	Não	0,182	0,233	21,000				0,165	Sem tendência
DQO (mg/L O_2)	**0,019**	Sim				0,703	0,097	5,000	0,244	Sem tendência
Feof-*a* (µg/L)	0,536	Não	**0,006**	-0,399	-110,000				**0,003**	Redução
P_T (mg/L)	0,129	Não	0,082	-0,255	-79,000				0,058	Sem tendência
N-NO_3^- (mg/L N)	0,709	Não	**<0,0001**	0,666	216,000				**<0,0001**	Elevação
N-$NH_4^+{}_T$ (mg/L N)	0,609	Não	0,210	0,198	49,000				0,279	Sem tendência
OD (mg/L)	**0,000**	Sim				0,701	0,086	5,000	0,622	Sem tendência
SST (mg/L)	**0,028**	Sim				**0,001**	-0,600	-36,000	**0,010**	Redução
ST (mg/L)	**0,004**	Sim				**0,006**	-0,500	-30,000	0,053	Inconclusivo com possibilidade de redução

Tabela IV.3. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG030.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (mg/L)	0,842	Não	**0,022**	0,324	105,000				**0,036**	Elevação
Cl-*a* (µg/L)	0,451	Não	**0,023**	-0,331	-98,000				**0,013**	Redução
Colif. term. (NMP/100 mL)	0,180	Não	0,625	0,073	23,000				0,641	Sem tendência
DBO (mg/L O_2)	0,222	Não	**0,003**	0,454	125,000				**0,003**	Elevação
DQO (mg/L O_2)	**0,008**	Sim				0,183	0,249	15,000	0,133	Sem tendência
Feof-*a* (µg/L)	0,523	Não	**0,004**	-0,429	-118,000				**0,001**	Redução
P_T (mg/L)	**0,026**	Sim				0,841	0,070	3,000	0,737	Sem tendência
N-NO_3^- (mg/L N)	0,259	Não	**0,002**	0,437	141,000				**0,000**	Elevação
N-$NH_4^+{}_T$ (mg/L N)	0,352	Não	**0,001**	0,502	141,000				**0,001**	Elevação
OD (mg/L)	**0,005**	Sim				1,000	0,015	1,000	0,437	Sem tendência
SST (mg/L)	**0,023**	Sim				0,297	-0,194	-12,000	0,257	Sem tendência
ST (mg/L)	**0,018**	Sim				**0,038**	-0,382	-23,000	0,190	Inconclusiva com possibilidade de redução

Tabela IV.4. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG031.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (mg/L)	0,121	Não	**0,026**	0,314	102,000				**0,011**	Elevação
Cl-*a* (µg/L)	0,845	Não	**0,001**	-0,458	-148,000				**0,000**	Redução
Colif. term. (NMP/100 mL)	0,620	Não	0,052	-0,282	-84,000				0,088	Sem tendência
DBO (mg/L O_2)	0,545	Não	0,055	0,325	41,000				**0,042**	Inconclusivo com possibilidade de elevação
DQO (mg/L O_2)	**0,042**	Sim				**0,036**	0,393	23,000	0,050	Inconclusivo com possibilidade de elevação
Feof-*a* (µg/L)	0,930	Não	**0,005**	-0,419	-115,000				**0,001**	Redução
P_T (mg/L)	0,053	Não	0,134	-0,221	-68,000				0,133	Sem tendência
N-NO_3^- (mg/L N)	0,760	Não	**<0,0001**	0,715	232,000				**<0,0001**	Elevação
N-$NH_4^+{}_T$ (mg/L N)	0,266	Não	0,139	0,230	61,000				0,123	Sem tendência
OD (mg/L)	**0,000**	Sim				0,123	0,297	17,000	0,359	Sem tendência
SST (mg/L)	**0,005**	Sim				0,187	-0,252	-15,000	0,054	Sem tendência
ST (mg/L)	**0,002**	Sim				0,089	-0,319	-19,000	0,105	Sem tendência

Tabela IV.5. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG032.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (mg/L)	0,101	Não	**0,002**	0,431	140,000				**0,001**	Elevação
Cl-*a* (µg/L)	0,295	Não	0,274	-0,157	-51,000				0,248	Sem tendência
Colif. term. (NMP/100 mL)	0,821	Não	0,167	0,203	60,000				0,162	Sem tendência
DBO (mg/L O_2)	0,806	Não	**0,015**	0,405	62,000				**0,012**	Elevação
DQO (mg/L O_2)	0,097	Não	0,055	0,282	83,000				0,060	Sem tendência
Feof-*a* (µg/L)	0,766	Não	**0,010**	-0,381	-105,000				**0,011**	Redução
P_T (mg/L)	0,127	Não	0,372	-0,133	-41,000				0,322	Sem tendência
N-NO_3^- (mg/L N)	0,891	Não	**<0,0001**	0,738	239,000				**<0,0001**	Elevação
N-$NH_4^+{}_T$ (mg/L N)	0,829	Não	**0,044**	0,316	78,000				**0,047**	Elevação
OD (mg/L)	**0,000**	Sim				**0,015**	0,460	26,000	0,269	Inconclusivo com possibilidade de elevação
SST (mg/L)	**0,012**	Sim				**0,011**	-0,467	-28,000	**0,030**	Redução
ST (mg/L)	**0,017**	Sim				**0,024**	-0,423	-25,000	**0,045**	Redução

Tabela IV.6. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG034.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (mg/L)	0,276	Não	**0,000**	0,497	161,000				**0,000**	Elevação
Cl-*a* (µg/L)	0,631	Não	0,375	-0,130	-41,000				0,276	Sem tendência
Colif. term. (NMP/100 mL)	0,290	Não	0,342	-0,137	-44,000				0,365	Sem tendência
DBO (mg/L O_2)	0,122	Não	0,191	0,217	38,000				0,199	Sem tendência
DQO (mg/L O_2)	**0,019**	Sim				0,774	0,066	4,000	0,490	Sem tendência
Feof-*a* (µg/L)	0,422	Não	0,074	-0,266	-73,000				0,053	Sem tendência
P_T (mg/L)	0,583	Não	**0,037**	-0,314	-92,000				**0,044**	Redução
N-NO_3^- (mg/L N)	0,867	Não	**<0,0001**	0,723	234,000				**<0,0001**	Elevação
N-$NH_4^+{}_T$ (mg/L N)	**0,014**	Sim				-	-	-	0,197	Sem tendência
OD (mg/L)	**0,000**	Sim				**0,026**	0,422	24,000	0,180	Inconclusivo com possibilidade de elevação
SST (mg/L)	**0,012**	Sim				1,000	-0,012	-1,000	0,362	Sem tendência
ST (mg/L)	**0,007**	Sim				0,258	-0,214	-13,000	0,093	Sem tendência

-SMK não pode ser calculado devido a presença de sequencias constantes na serie de nitrogênio amoniacal total.

Tabela IV.7. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG035.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (mg/L)	0,078	Não	**0,003**	0,425	138,000				**0,002**	Elevação
Cl-*a* (µg/L)	0,075	Não	0,179	-0,191	-62,000				0,114	Sem tendência
Colif. term. (NMP/100 mL)	0,848	Não	0,773	-0,044	-14,000				0,457	Sem tendência
DBO (mg/L O_2)	0,617	Não	0,124	0,262	33,000				0,119	Sem tendência
DQO (mg/L O_2)	0,254	Não	0,055	0,280	83,000				**0,049**	Inconclusiva com possibilidade de elevação
Feof-*a* (µg/L)	0,963	Não	**0,015**	-0,359	-99,000				**0,033**	Redução
P_T (mg/L)	0,207	Não	0,639	-0,072	-22,000				0,438	Sem tendência
N-NO_3^- (mg/L N)	0,876	Não	**<0,0001**	0,717	232,000				**<0,0001**	Elevação
N-$NH_4^+{}_T$ (mg/L N)	**0,047**	Sim				0,060	0,391	19,000	**0,011**	Inconclusiva com possibilidade de elevação
OD (mg/L)	**0,001**	Sim				1,000	-0,013	-1,000	0,366	Sem tendência
SST (mg/L)	**0,001**	Sim				0,059	-0,350	-21,000	0,175	Sem tendência
ST (mg/L)	**0,001**	Sim				0,159	-0,267	-16,000	0,245	Sem tendência

Tabela IV.8. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG037.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (mg/L)	0,152	Não	**0,004**	0,401	130,000				**0,003**	Elevação
Cl-*a* (µg/L)	0,345	Não	0,758	-0,046	-15,000				0,681	Sem tendência
Colif. term. (NMP/100 mL)	0,409	Não	0,233	-0,171	-55,000				0,156	Sem tendência
DBO (mg/L O_2)	0,198	Não	0,416	0,137	24,000				0,439	Sem tendência
DQO (mg/L O_2)	0,187	Não	0,690	0,061	18,000				0,715	Sem tendência
Feof-*a* (µg/L)	0,459	Não	**0,017**	-0,348	-96,000				**0,016**	Redução
P_T (mg/L)	0,149	Não	0,558	-0,090	-27,000				0,568	Sem tendência
N-NO_3^- (mg/L N)	0,870	Não	**<0,0001**	0,765	247,000				**<0,0001**	Elevação
N-$NH_4^+{}_T$ (mg/L N)	0,613	Não	**0,007**	0,396	120,000				**0,004**	Elevação
OD (mg/L)	**0,000**	Sim				0,337	-0,188	-11,000	0,383	Sem tendência
SST (mg/L)	**0,021**	Sim				0,253	-0,215	-13,000	0,052	Sem tendência
ST (mg/L)	**0,006**	Sim				0,131	-0,287	-17,000	0,105	Sem tendência

Tabela IV.9. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de concentração dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG038.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (mg/L)	0,090	Não	**0,045**	0,284	92,000				**0,040**	Elevação
Cl-*a* (µg/L)	0,849	Não	**0,032**	-0,302	-98,000				**0,036**	Redução
Colif. term. (NMP/100 mL)	0,963	Não	0,160	-0,206	-61,000				0,225	Sem tendência
DBO (mg/L O_2)	0,192	Não	0,133	0,241	54,000				0,103	Sem tendência
DQO (mg/L O_2)	**0,015**	Sim				0,507	0,132	8,000	0,260	Sem tendência
Feof-*a* (µg/L)	0,916	Não	**0,006**	-0,403	-111,000				**0,001**	Redução
P_T (mg/L)	0,088	Não	0,460	-0,111	-34,000				0,390	Sem tendência
N-NO_3^- (mg/L N)	0,571	Não	**<0,0001**	0,668	216,000				**<0,0001**	Elevação
N-$NH_4^+{}_T$ (mg/L N)	0,078	Não	**0,013**	0,364	112,000				**0,011**	Elevação
OD (mg/L)	**0,000**	Sim				0,389	-0,173	-10,000	0,438	Sem tendência
SST (mg/L)	**0,020**	Sim				**0,006**	-0,500	-30,000	**0,007**	Redução
ST (mg/L)	**0,004**	Sim				**0,005**	-0,524	-31,000	**0,020**	Redução

ANÁLISE DE TENDÊNCIAS TEMPORAIS - DADOS DE CARGA

Tabela IV.10. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG024.

Parâmetro	KW[1]	Influência da sazonalidade	MK[1]	Tau de Kendall[2]	S[2]	SMK[1]	Tau de Kendall[2]	S[2]	Correlação de Spearman[1]	Tendência
Cl^-_T (kg/dia)	**0,014**	Sim				0,345	-0,187	-11,000	0,257	Sem tendência
Cl-*a* (kg/dia)	0,580	Não	**0,002**	-0,428	-139,000				**0,000**	Redução
Colif. term. (NMP/dia)	0,481	Não	0,965	0,009	3,000				0,960	Sem tendência
DBO (kg/dia O_2)	**0,005**	Sim				0,218	-0,238	-14,000	**0,042**	Inconclusivo com possibilidade de redução
DQO (kg/dia O_2)	**0,037**	Sim				1,000	0,000	0,000	0,177	Sem tendência
Feof-*a* (kg/dia)	0,258	Não	**0,008**	-0,384	-106,000				**0,003**	Redução
P_T (kg/dia)	0,059	Não	0,085	-0,244	-79,000				0,140	Sem tendência
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	**0,041**	Sim				0,222	0,233	14,000	0,429	Sem tendência
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	**0,045**	Sim				0,706	-0,085	-5,000	0,061	Sem tendência
OD (kg/dia)	**0,016**	Sim				0,110	-0,300	-18,000	**0,018**	Inconclusivo com possibilidade de redução
SST (kg/dia)	**0,016**	Sim				**0,049**	-0,367	-22,000	**0,007**	Redução
ST (kg/dia)	**0,011**	Sim				**0,006**	-0,500	-30,000	**0,005**	Redução

[1]*P*-valor relacionado à estatística do teste. Valores em negrito são estatisticamente significativos (p<0,05).
[2]Valor da estatística do teste.

Tabela IV.11. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG026.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (kg/dia)	0,402	Não	**0,007**	-0,372	-121,000				**0,011**	Redução
Cl-*a* (kg/dia)	0,557	Não	**0,001**	-0,446	-145,000				**0,002**	Redução
Colif. term. (NMP/dia)	0,636	Não	**0,009**	-0,373	-112,000				**0,015**	Redução
DBO (kg/dia O_2)	**0,028**	Sim				**0,005**	-0,521	-31,000	**0,004**	Redução
DQO (kg/dia O_2)	**0,014**	Sim				0,778	-0,067	-4,000	0,088	Sem tendência
Feof-*a* (kg/dia)	0,117	Não	**0,001**	-0,471	-130,000				**0,000**	Redução
P_T (kg/dia)	0,089	Não	**0,000**	-0,495	-161,000				**0,000**	Redução
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	0,127	Não	0,148	0,206	67,000				0,149	Sem tendência
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	0,071	Não	**0,047**	-0,281	-91,000				0,080	Inconclusivo com possibilidade de redução
OD (kg/dia)	**0,029**	Sim				**0,008**	-0,489	-29,000	**0,004**	Redução
SST (kg/dia)	**0,023**	Sim				**0,000**	-0,700	-42,000	**0,003**	Redução
ST (kg/dia)	**0,022**	Sim				**0,002**	-0,567	-34,000	**0,004**	Redução

Tabela IV.12. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG030.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (kg/dia)	**0,006**	Sim				0,398	-0,167	-10,000	0,498	Sem tendência
Cl-*a* (kg/dia)	0,383	Não	**0,012**	-0,360	-108,000				**0,008**	Redução
Colif. term. (NMP/dia)	**0,020**	Sim				0,398	0,167	10,000	0,718	Sem tendência
DBO (kg/dia O_2)	**0,001**	Sim				0,511	0,133	8,000	0,496	Sem tendência
DQO (kg/dia O_2)	**0,001**	Sim				0,925	-0,033	-2,000	0,880	Sem tendência
Feof-*a* (kg/dia)	0,165	Não	**0,001**	-0,486	-134,000				**0,000**	Redução
P_T (kg/dia)	**0,003**	Sim				0,450	-0,149	-9,000	0,494	Sem tendência
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	**0,026**	Sim				0,301	0,200	12,000	0,202	Sem tendência
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	**0,048**	Sim				0,925	-0,033	-2,000	0,955	Sem tendência
OD (kg/dia)	**0,026**	Sim				**0,049**	-0,367	-22,000	**0,033**	Redução
SST (kg/dia)	**0,009**	Sim				0,159	-0,267	-16,000	0,056	Sem tendência
ST (kg/dia)	**0,008**	Sim				0,074	-0,333	-20,000	**0,044**	Inconclusivo com possibilidade de redução

Tabela IV.13. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG031.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (kg/dia)	0,083	Não	**0,011**	-0,354	-115,000				**0,013**	Redução
Cl-*a* (kg/dia)	0,615	Não	**<0,0001**	-0,625	-203,000				**<0,0001**	Redução
Colif. term. (NMP/dia)	0,448	Não	**0,006**	-0,387	-116,000				**0,010**	Redução
DBO (kg/dia O_2)	0,056	Não	**<0,0001**	-0,580	-185,000				**<0,0001**	Redução
DQO (kg/dia O_2)	**0,003**	Sim				0,398	-0,167	-10,000	0,169	Sem tendência
Feof-*a* (kg/dia)	0,103	Não	**0,000**	-0,528	-145,000				**<0,0001**	Redução
P_T (kg/dia)	0,053	Não	**0,001**	-0,487	-158,000				**0,000**	Redução
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	**0,004**	Sim				0,222	0,233	14,000	0,435	Sem tendência
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	0,056	Não	**0,001**	-0,462	-150,000				**0,002**	Redução
OD (kg/dia)	0,101	Não	**<0,0001**	-0,552	-179,000				**0,000**	Redução
SST (kg/dia)	**0,015**	Sim				**0,014**	-0,455	-27,000	**0,007**	Redução
ST (kg/dia)	0,052	Não	**0,000**	-0,499	-162,000				**0,000**	Redução

Tabela IV.14. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG032.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (kg/dia)	0,168	Não	**0,030**	-0,305	-99,000				**0,035**	Redução
Cl-*a* (kg/dia)	0,151	Não	**0,034**	-0,298	-97,000				**0,021**	Redução
Colif. term. (NMP/dia)	0,844	Não	0,800	0,040	12,000				0,611	Sem tendência
DBO (kg/dia O_2)	0,054	Não	**0,021**	-0,327	-106,000				**0,022**	Redução
DQO (kg/dia O_2)	**0,010**	Sim				0,925	0,033	2,000	0,692	Sem tendência
Feof-*a* (kg/dia)	0,795	Não	**0,003**	-0,435	-120,000				**0,004**	Redução
P_T (kg/dia)	0,068	Não	**0,002**	-0,428	-139,000				**0,002**	Redução
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	0,087	Não	**0,013**	0,348	113,000				**0,012**	Elevação
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	0,052	Não	0,152	-0,203	-66,000				0,206	Sem tendência
OD (kg/dia)	**0,028**	Sim				**0,049**	-0,367	-22,000	**0,013**	Redução
SST (kg/dia)	**0,013**	Sim				0,074	-0,333	-20,000	**0,016**	Inconclusivo com possibilidade de redução
ST (kg/dia)	**0,025**	Sim				0,074	-0,333	-20,000	**0,011**	Inconclusivo com possibilidade de redução

Tabela IV.15. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG034.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (kg/dia)	**0,002**	Sim				0,639	-0,100	-6,000	0,576	Sem tendência
Cl-*a* (kg/dia)	0,699	Não	0,058	-0,268	-87,000				**0,045**	Inconclusivo com possibilidade de redução
Colif. term. (NMP/dia)	0,134	Não	0,148	-0,206	-67,000				0,159	Sem tendência
DBO (kg/dia O_2)	**0,006**	Sim				**0,049**	-0,367	-22,000	0,058	Inconclusivo com possibilidade de redução
DQO (kg/dia O_2)	**0,001**	Sim				0,925	-0,033	-2,000	0,242	Sem tendência
Feof-*a* (kg/dia)	**0,035**	Sim				**0,049**	-0,367	-22,000	**0,007**	Redução
P_T (kg/dia)	0,134	Não	**0,003**	-0,415	-135,000				**0,002**	Redução
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	**0,007**	Sim				**0,031**	0,400	24,000	0,051	Inconclusivo com possibilidade de elevação
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	**0,007**	Sim				0,398	-0,167	-10,000	0,230	Sem tendência
OD (kg/dia)	**0,003**	Sim				**0,049**	-0,367	-22,000	0,082	Inconclusivo com possibilidade de redução
SST (kg/dia)	**0,006**	Sim				0,301	-0,200	-12,000	0,136	Sem tendência
ST (kg/dia)	**0,005**	Sim				**0,011**	-0,467	-28,000	**0,018**	Redução

Tabela IV.16. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG035.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (kg/dia)	**0,036**	Sim				0,301	-0,200	-12,000	0,061	Sem tendência
Cl-*a* (kg/dia)	**0,019**	Sim				0,110	-0,300	-18,000	**0,035**	Inconclusivo com possibilidade de redução
Colif. term. (NMP/dia)	0,256	Não	0,114	-0,225	-73,000				0,085	Sem tendência
DBO (kg/dia O_2)	**0,021**	Sim				0,059	-0,355	-21,000	**0,018**	Inconclusivo com possibilidade de redução
DQO (kg/dia O_2)	**0,018**	Sim				0,925	-0,033	-2,000	0,266	Sem tendência
Feof-*a* (kg/dia)	0,704	Não	**0,007**	-0,391	-108,000				**0,015**	Redução
P_T (kg/dia)	0,056	Não	**0,006**	-0,385	-125,000				**0,006**	Redução
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	0,090	Não	**0,040**	0,290	94,000				**0,028**	Elevação
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	0,170	Não	0,343	-0,136	-44,000				0,229	Sem tendência
OD (kg/dia)	**0,017**	Sim				**0,031**	-0,400	-24,000	**0,009**	Redução
SST (kg/dia)	**0,006**	Sim				**0,011**	-0,467	-28,000	**0,028**	Redução
ST (kg/dia)	**0,019**	Sim				0,074	-0,333	-20,000	**0,012**	Inconclusivo com possibilidade de redução

Tabela IV.17. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG037.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (kg/dia)	**0,014**	Sim				0,511	-0,133	-8,000	**0,020**	Inconclusivo com possibilidade de redução
Cl-*a* (kg/dia)	0,200	Não	0,160	-0,200	-65,000				0,138	Sem tendência
Colif. term. (NMP/dia)	0,123	Não	**0,024**	-0,317	-103,000				**0,036**	Redução
DBO (kg/dia O_2)	**0,034**	Sim				0,159	-0,267	-16,000	**0,003**	Inconclusivo com possibilidade de redução
DQO (kg/dia O_2)	0,050	Não	**0,029**	-0,313	-94,000				**0,026**	Redução
Feof-*a* (kg/dia)	0,077	Não	**0,002**	-0,449	-124,000				**0,002**	Redução
P_T (kg/dia)	**0,023**	Sim				**0,006**	-0,500	-30,000	**0,002**	Redução
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	**0,019**	Sim				**0,049**	0,367	22,000	0,096	Inconclusivo com possibilidade de elevação
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	**0,008**	Sim				0,778	0,067	4,000	0,384	Sem tendência
OD (kg/dia)	**0,016**	Sim				**0,011**	-0,467	-28,000	**0,004**	Redução
SST (kg/dia)	**0,026**	Sim				0,074	-0,333	-20,000	**0,010**	Inconclusivo com possibilidade de redução
ST (kg/dia)	**0,025**	Sim				**0,011**	-0,467	-28,000	**0,003**	Redução

Tabela IV.18. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de carga dos parâmetros de qualidade da água estudados, na estação de monitoramento BG038.

Parâmetro	KW	Influência da sazonalidade	MK	Tau de Kendall	S	SMK	Tau de Kendall	S	Correlação de Spearman	Tendência
Cl^-_T (kg/dia)	0,271	Não	**0,003**	-0,415	-135,000				**0,005**	Redução
Cl-*a* (kg/dia)	0,122	Não	**0,007**	-0,372	-121,000				**0,016**	Redução
Colif. term. (NMP/dia)	0,919	Não	**0,010**	-0,367	-110,000				**0,018**	Redução
DBO (kg/dia O_2)	0,144	Não	**0,004**	-0,403	-131,000				**0,004**	Redução
DQO (kg/dia O_2)	0,104	Não	**0,037**	-0,300	-90,000				**0,049**	Redução
Feof-*a* (kg/dia)	0,510	Não	**<0,0001**	-0,551	-152,000				**<0,0001**	Redução
P_T (kg/dia)	0,178	Não	**0,001**	-0,458	-149,000				**0,002**	Redução
$N\text{-}NO_3^-$ (kg/dia N)	**0,034**	Sim				0,159	0,267	16,000	0,222	Sem tendência
$N\text{-}NH_4^+{}_T$ (kg/dia N)	0,159	Não	0,098	-0,234	-76,000				0,096	Sem tendência
OD (kg/dia)	0,056	Não	**0,001**	-0,471	-153,000				**0,002**	Redução
SST (kg/dia)	0,116	Não	**0,001**	-0,458	-149,000				**0,001**	Redução
ST (kg/dia)	0,089	Não	**0,001**	-0,452	-147,000				**0,002**	Redução

ANÁLISE DE TENDÊNCIAS TEMPORAIS - DADOS DE VAZÃO

Tabela IV.19. Resultados das análises de tendência temporal dos dados de vazão, nas estações de monitoramento da bacia do rio Verde selecionadas.

Parâmetro	KW[1]	Influência da sazonalidade	MK[1]	Tau de Kendall[2]	S[2]	SMK[1]	Tau de Kendall[2]	S[2]	Correlação de Spearman[1]	Tendência
BG024	**0,012**	Sim				0,218	-0,238	-14,000	**0,022**	Inconclusivo com possibilidade de redução
BG026	**0,028**	Sim				**0,005**	-0,521	-31,000	**0,004**	Redução
BG030	**0,034**	Sim				0,072	-0,338	-20,000	**0,015**	Inconclusivo com possibilidade de redução
BG031	0,115	Não	**<0,0001**	-0,605	-193,000				**<0,0001**	Redução
BG032	**0,025**	Sim				**0,038**	-0,386	-23,000	**0,008**	Redução
BG034	**0,005**	Sim				**0,049**	-0,367	-22,000	0,056	Inconclusivo com possibilidade de redução
BG035	**0,013**	Sim				0,059	-0,355	-21,000	**0,014**	Inconclusivo com possibilidade de redução
BG037	**0,020**	Sim				**0,031**	-0,400	-24,000	**0,004**	Redução
BG038	0,085	Não	**0,001**	-0,448	-145,000				**0,002**	Redução

[1]*P*-valor relacionado à estatística do teste. Valores em negrito são estatisticamente significativos (p<0,05).
[2]Valor da estatística do teste.

Figura IV.3. Mapas representando as tendências temporais do parâmetro clorofila *a*, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde.

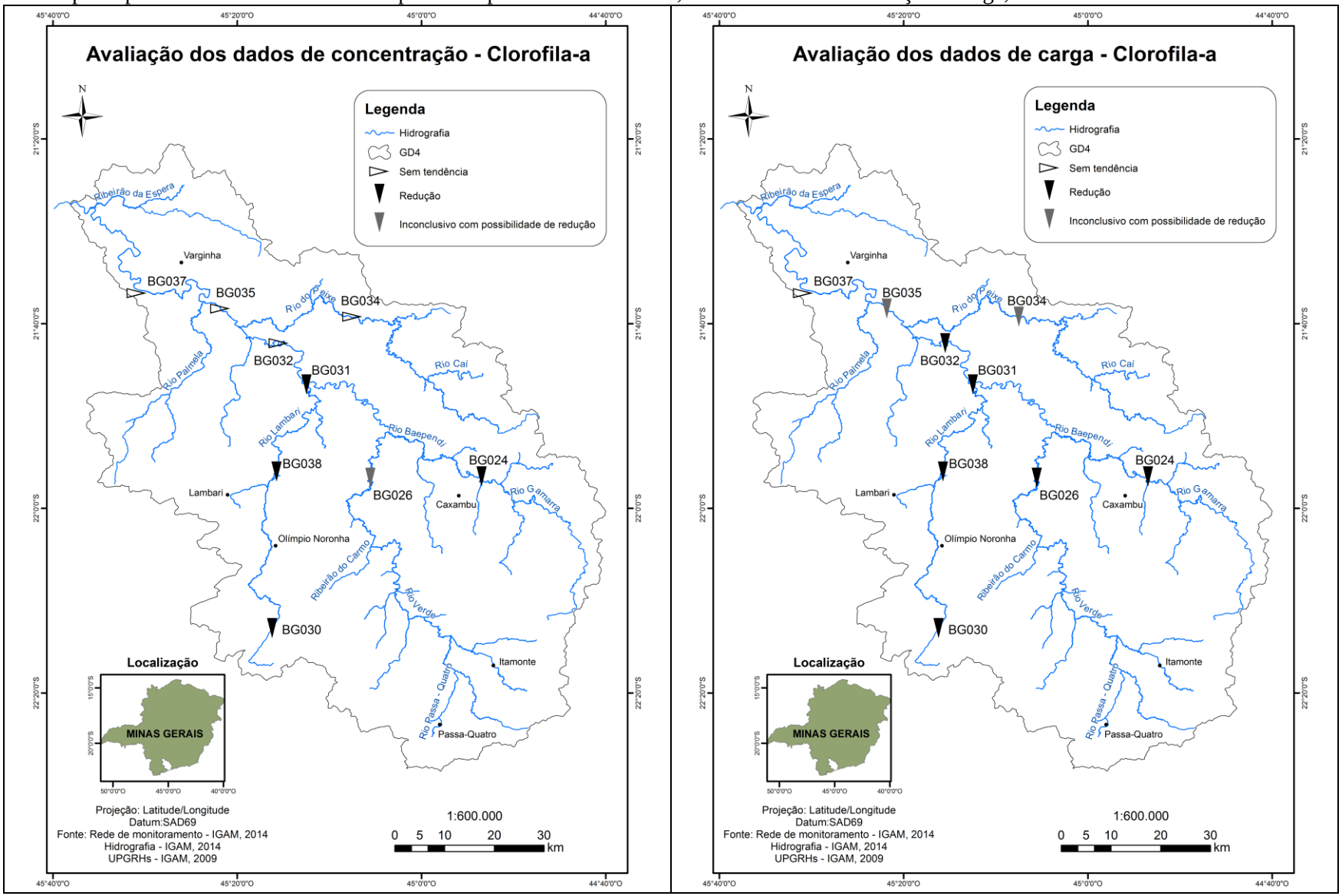


Figura IV.4. Mapas representando as tendências temporais do parâmetro DQO, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde.

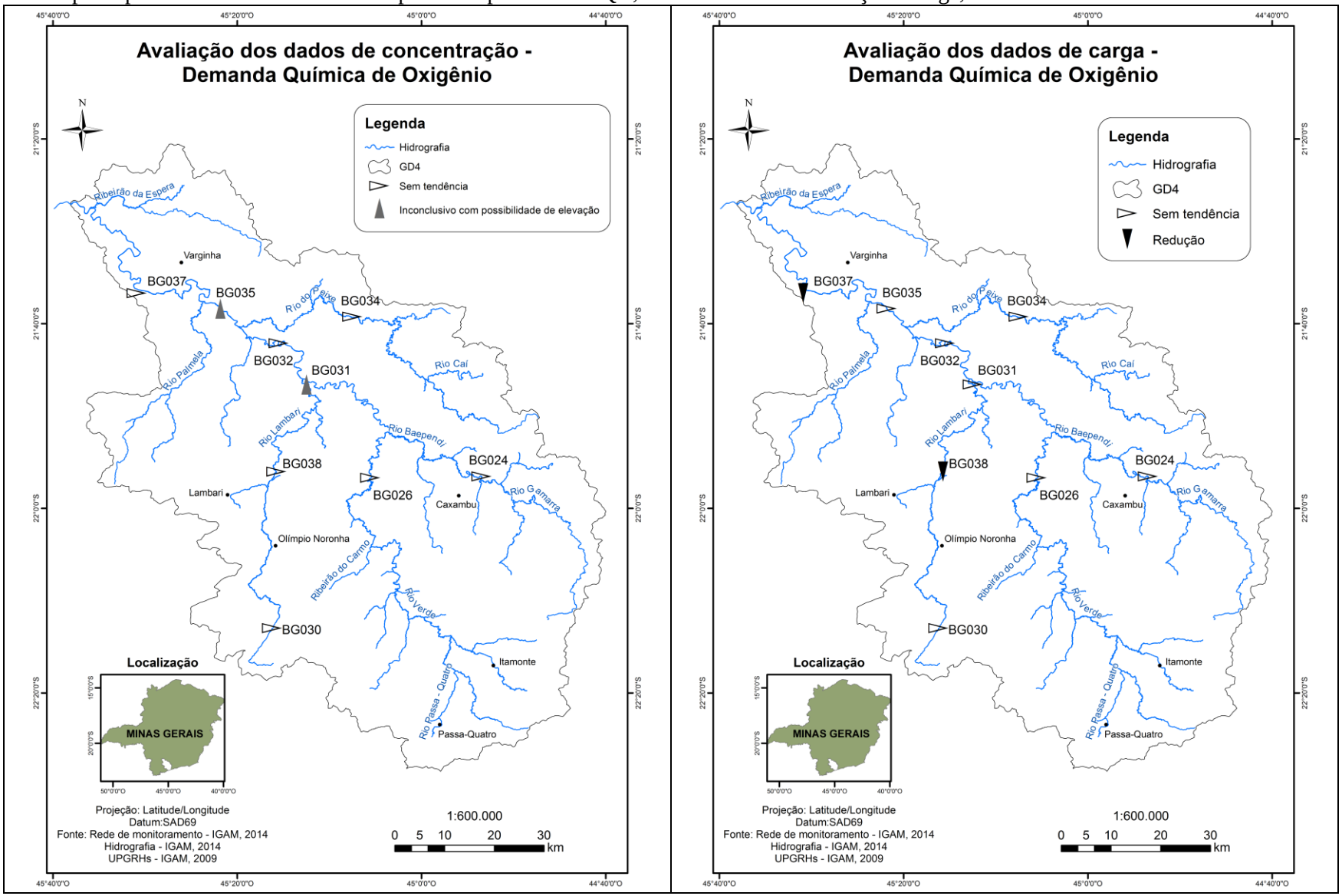


Figura IV.5. Mapas representando as tendências temporais do parâmetro feofitina *a*, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde.

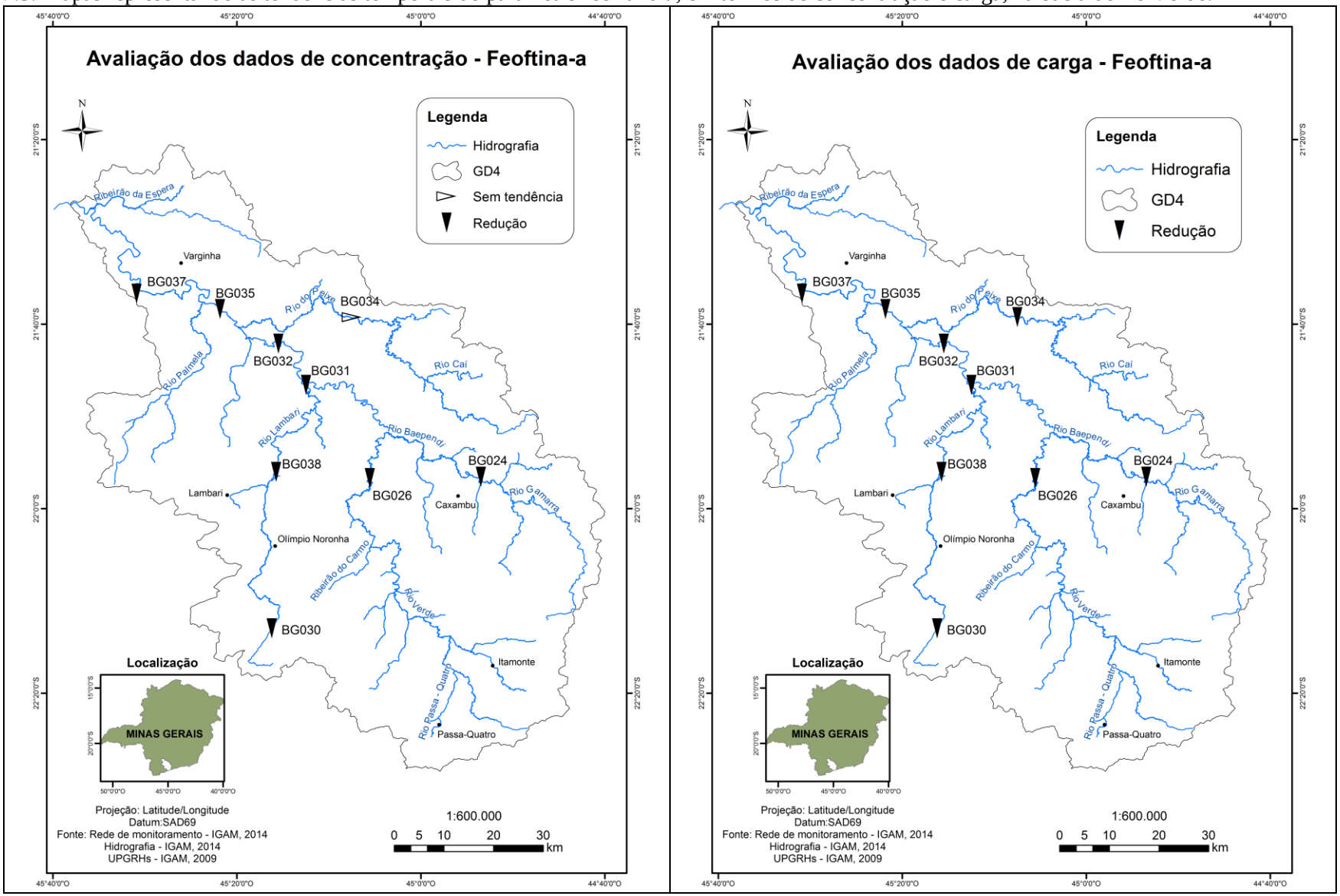


Figura IV.6. Mapas representando as tendências temporais do parâmetro fósforo total, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde.

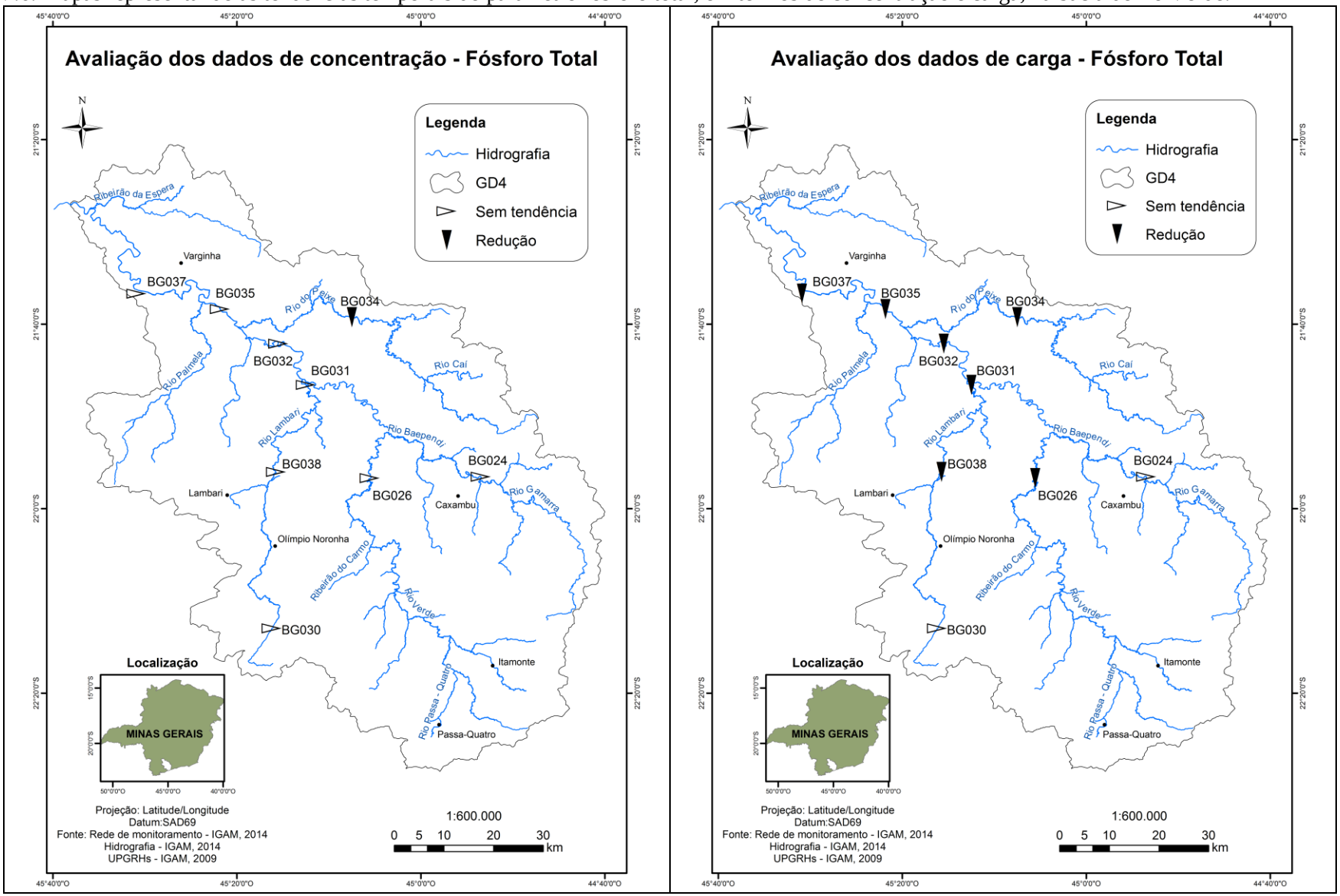


Figura IV.7. Mapas representando as tendências temporais do parâmetro nitrato, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde.

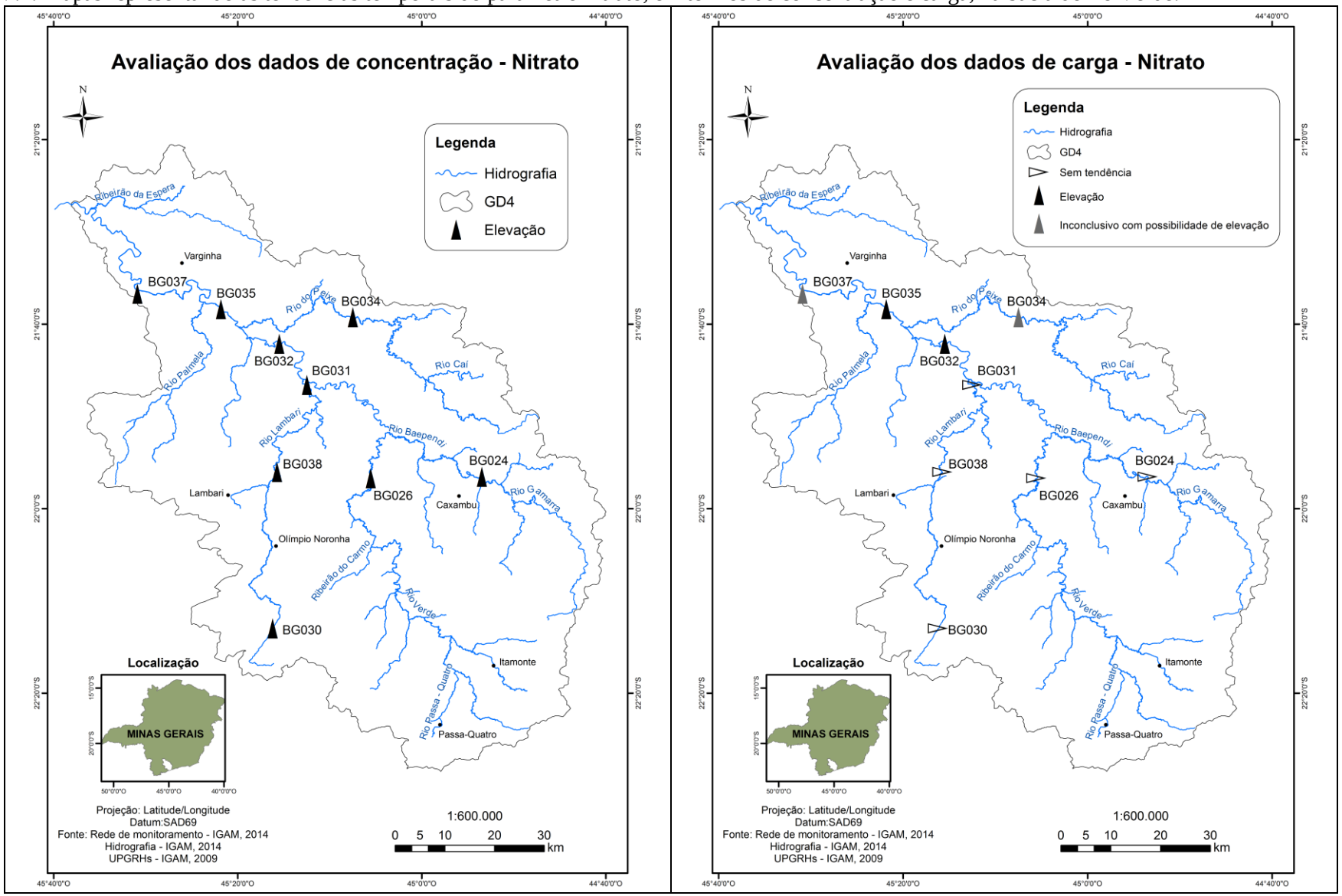


Figura IV.8. Mapas representando as tendências temporais do parâmetro sólidos suspensos totais, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde.

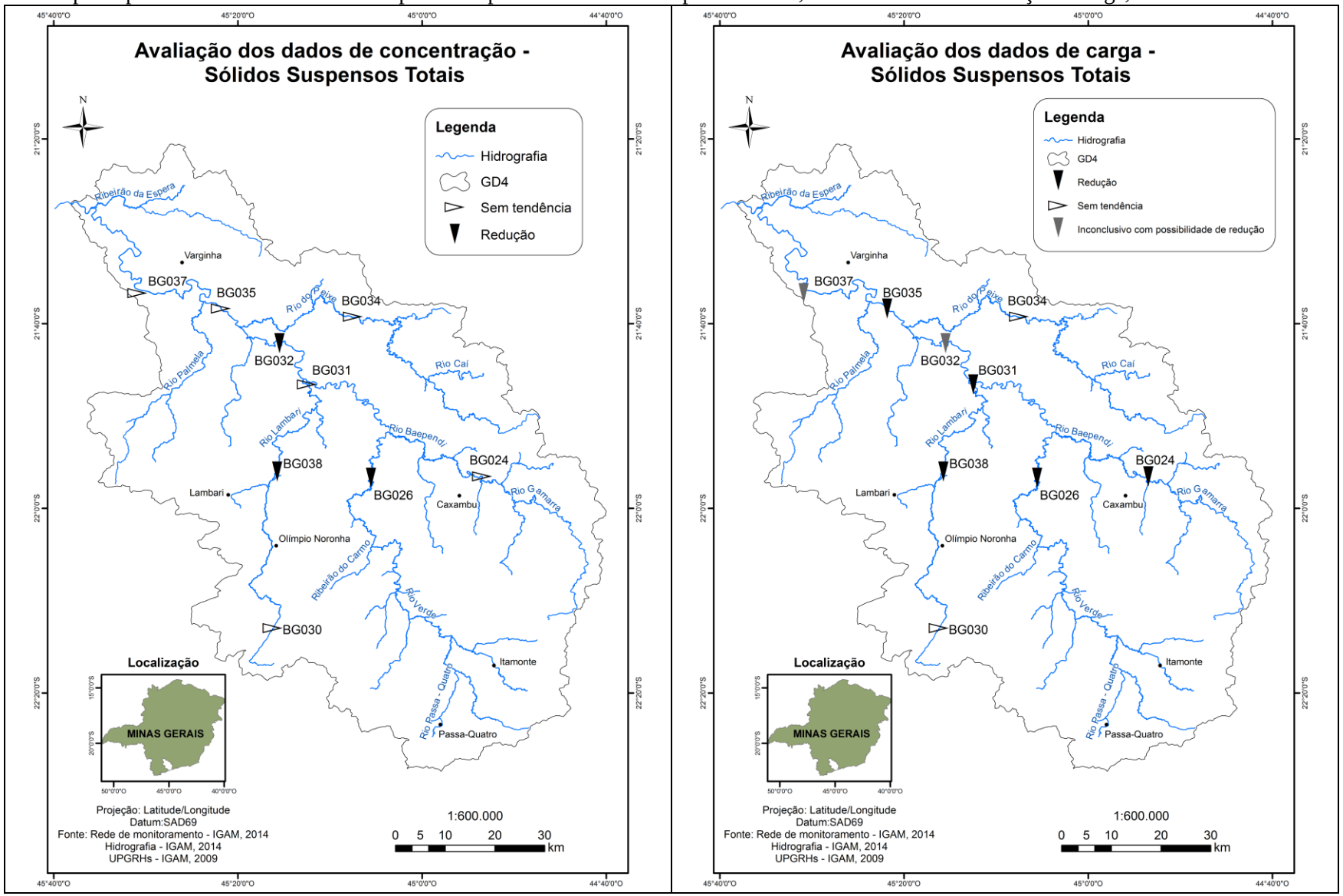
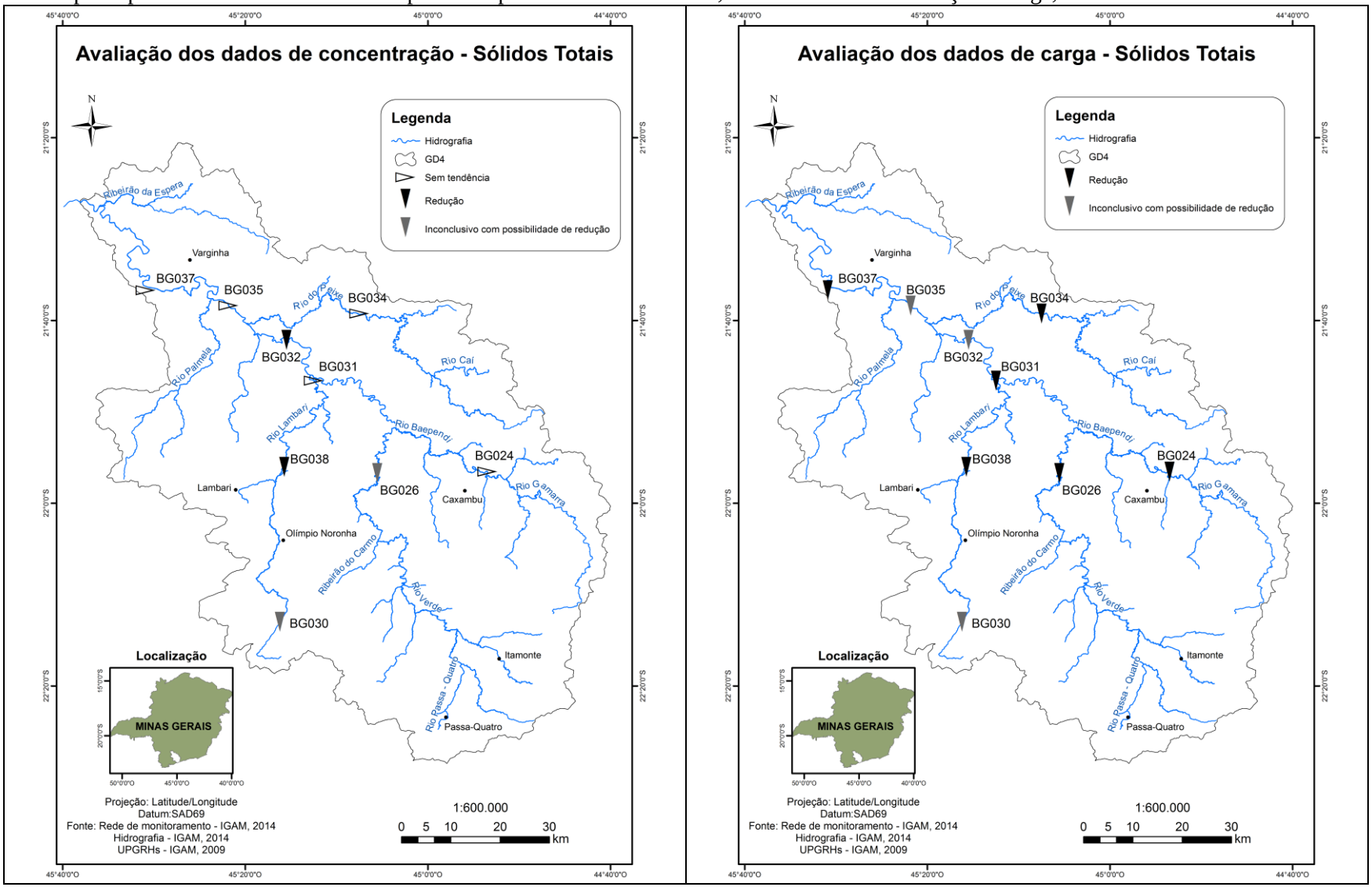



Figura IV.9. Mapas representando as tendências temporais do parâmetro sólidos totais, em termos de concentração e carga, na bacia do rio Verde.