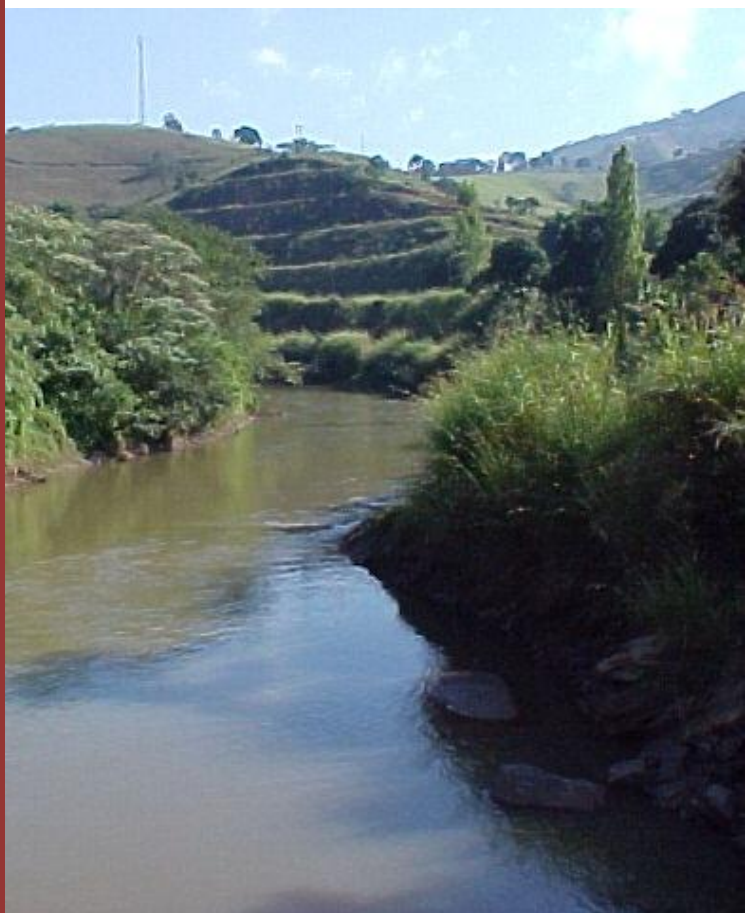




Governo do Estado de Minas Gerais  
Sistema Estadual de Meio Ambiente  
*Instituto Mineiro de Gestão das Águas*  
*Gerência de Monitoramento Hidrometeorológico*

## Identificação de municípios com condição crítica para a qualidade de água na bacia do rio Paraopeba



Relatório 2013

Belo Horizonte

8 de julho de 2013



**Secretário**  
Adriano Magalhães

---

**IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas**

---

**Diretoria Geral**  
Marília Carvalho de Melo

**Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Monitoramento das Águas**  
Jeane Dantas de Carvalho

**Gerência de Monitoramento Hidrometeorológico**  
Wanderlene Ferreira Nacif, Química

**Coordenação do Projeto Águas de Minas**  
Katiane Cristina de Brito Almeida, Bióloga

**ESPAÇO DESTINADO PARA  
INFORMAÇÕES DE CATALOGAGEM E  
PUBLICAÇÃO**

## **REALIZAÇÃO:**

---

**IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas**

---

**Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Monitoramento das Águas**  
Jeane Dantas de Carvalho

**Gerência de Monitoramento Hidrometeorológico**  
Wanderlene Ferreira Nacif, Química

**Coordenação do Projeto Águas de Minas**  
Katiane Cristina de Brito Almeida, Bióloga

### **Equipe Técnica**

Alice Helena dos Santos Alfeu, Engenheira de Minas  
Fernanda Maia Oliveira, Bióloga  
Matheus Duarte Santos, Geógrafo  
Nádia Antônia Pinheiro dos Santos, Geógrafa  
Regina Márcia Pimenta de Mello, Bióloga  
Sérgio Pimenta Costa, Biólogo  
Vanessa Kelly Saraiva, Química

### **Estagiários**

Átalo Pinto Coelho, estudante de Engenharia Ambiental  
Claúdio Tavares da Silva Júnior, estudante de Biologia  
Rosilayne Nogueira dos Santos, estudante de Engenharia Química

### **Apoio Administrativo**

Marina Francisca Nepomuceno

## APOIO:

---

### Coletas de Amostras e Análises

---

#### Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial SENAI - CETEC

##### Gerência de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Ambiental

Marcos Bartasson Tannús - Gerente de P&D Tecnologia Ambiental

Cláudia Lauria Fróes Siúves - Bióloga, Responsável Laboratório

Cláudia Márcia Perrout Cerqueira - Bióloga, Responsável Laboratório

Enrico Sette - Biólogo, Responsável Laboratório

Hanna Duarte Almeida Ferraz - Bióloga, Responsável Laboratório

Jordana de Oliveira Vieira - Bióloga

José Antônio Cardoso, Químico, Coordenador do Projeto

Márcia de Arruda Carneiro - Bióloga

Marina Andrada Maria - Bióloga

Marina Miranda Marques Viana - Responsável Qualidade

Mônica Alves Mamão - Bióloga

Nathália Mara Pedrosa Chedid - Bióloga, Responsável Laboratório

Patrícia Neres dos Santos - Química, Responsável Coleta

Patrícia Pedrosa Marques Guimarães - Química, Responsável Laboratório

##### Gerência de Pesquisa e Desenvolvimento em Tecnologia Química

Olguita G. Ferreira Rocha, Química e Bioquímica Farmacêutica - Gerente

Andréa Moreira Carvalho Hot de Faria - Química

Renata Vilela Cecílio Dias - Química, Responsável Laboratório

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>8</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	8
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	8
<b>3</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>8</b>
3.1	BACIA DO RIO PARAPEBA.....	8
3.1.1	<i>Usos do Solo</i> .....	9
3.1.2	<i>Usos da água</i> .....	10
<b>4</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>11</b>
4.1	REDE DE MONITORAMENTO .....	11
4.2	COLETAS E ANÁLISES LABORATORIAIS .....	15
4.3	TÉCNICAS AMOSTRAIS .....	16
4.4	METODOLOGIA DOS TRATAMENTOS DOS DADOS .....	17
4.4.1	<i>Indicadores de Qualidade das Águas</i> .....	18
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>20</b>
5.1	PARÂMETROS QUE REFLETEM OS IMPACTOS DOS LANÇAMENTOS DE ESGOTOS .....	20
5.1.1	<i>Coliformes Termotolerantes</i> .....	20
5.1.2	<i>Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)</i> .....	25
5.1.3	<i>Fósforo Total</i> .....	27
5.1.4	<i>Oxigênio Dissolvido (OD)</i> .....	29
5.1.5	<i>Nitrogênio Amoniacal</i> .....	31
5.1.6	<i>Índice de Qualidade de Água – IQA</i> .....	33
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>38</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>40</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
APHA-AWWA-WPCF – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater  
CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos  
CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais  
COPAM – Conselho Estadual de Políticas Ambientais  
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio  
DN – Deliberação Normativa  
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto  
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas  
IQA – Índice de Qualidade das Águas  
MG – Minas Gerais  
OD – Oxigênio Dissolvido  
RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte  
SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

# 1 INTRODUÇÃO

O monitoramento da qualidade das águas no Estado de Minas Gerais foi estabelecido como competência do IGAM na Lei Nº 12.584, de 17 de julho de 1997, que dispõe sobre a criação do IGAM. Trata-se do Projeto "Águas de Minas", que se encontra em curso desde o ano de 1997, implementado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM e cuja coordenação passou a ser de responsabilidade do IGAM a partir de outubro de 2001, ressaltando que a partir de 1999 a condução dos trabalhos foi compartilhada pelas duas Instituições.

Os dezesseis anos de operação da rede de monitoramento vêm demonstrando a sua importância no fornecimento de informações básicas necessárias para a definição de estratégias e da própria avaliação da efetividade do Sistema de Controle Ambiental, sob responsabilidade da FEAM/COPAM, e para o Planejamento e Gestão Integrada dos Recursos Hídricos, subsidiando a formação e atuação dos Comitês e Agências de Bacias a cargo do IGAM/CERH.

Este trabalho é fundamental para a continuidade do acompanhamento da situação de qualidade das águas do Estado, que vem sendo conduzido pelo IGAM, uma vez que o conhecimento da situação de qualidade dos corpos de água, seu comportamento, as tendências ao longo do tempo e o comprometimento pela presença de poluentes é ferramenta básica para a gestão integrada dos recursos hídricos.

Nesse sentido, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) vem desenvolvendo diversos projetos e programas cujo objetivo principal é monitorar e classificar qualitativamente e quantitativamente as águas superficiais, visando a sua proteção e o seu uso sustentável. O programa de Monitoramento das Águas Superficiais é uma das pesquisas direcionadas para o uso sustentável da água, buscando avaliar a qualidade e usos das águas superficiais com objetivo de aperfeiçoar o monitoramento da qualidade das águas no Estado de Minas Gerais.

A área de abrangência desse programa inclui as principais bacias dos rios mineiros. O monitoramento básico é realizado em locais estratégicos para acompanhamento da evolução da qualidade das águas, identificação de tendências e apoio a elaboração de diagnósticos. Além disso, os resultados obtidos no monitoramento

permitem a identificação de locais onde é necessário um maior detalhamento. Nas regiões em que são dominantes as pressões ambientais decorrentes de atividades industriais, minerárias e de infra-estrutura, são operadas redes de monitoramento específicas para cada tipo de pressão antrópica, as quais são denominadas redes dirigidas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Identificar os municípios com condição crítica de qualidade de água na bacia do rio Paraopeba por meio do indicador IQA (Índice de Qualidade das Águas) e dos parâmetros que o compõem no período de monitoramento entre os anos de 1997 a 2012.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Classificar o IQA nos corpos de água monitorados no período e avaliar a sua evolução espacial na bacia do rio Paraopeba
- Levantar e analisar os parâmetros que mais influenciaram as ocorrências de IQA Ruim e/ou Muito Ruim no período.
- Analisar e discutir os parâmetros que refletem os impactos dos lançamentos de esgotos: coliformes termotolerantes, DBO, fósforo total, oxigênio dissolvido e nitrogênio amoniacal total destacando-se as estações com os piores resultados no período.
- Identificar os cinco piores municípios da bacia em termos de qualidade de águas.

## **3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **3.1 Bacia do rio Paraopeba**

A bacia do rio Paraopeba está localizada na região central do estado de Minas Gerais e possui uma área de 12.054 Km<sup>2</sup> que corresponde a 2,5% da área total do Estado. Abrange 48 municípios e 35 sedes municipais com uma população total de 930.560 habitantes. O rio Paraopeba, principal corpo de água da bacia, nasce no extremo sul da Serra do Espinhaço, município de Cristiano Ottoni, e percorre uma extensão de 510 km, segundo a direção N-NW, desaguando na represa de Três



Marias, município de Felixlândia. Seus principais afluentes da margem direita são: o rio Maranhão, rio Pequeri, ribeirão Casa Branca, ribeirão Grande, ribeirão Sarzedo, ribeirão Betim, ribeirão Macacos, ribeirão Cedro, ribeirão São João; na margem esquerda: rio Brumado, rio da Prata, rio Macaúbas, rio Manso, ribeirão Serra Azul e rio Pardo.

Os dados gerais da bacia do Paraopeba estão descritos na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1:** Características gerais da bacia do rio Paraopeba

<b>Características Gerais da Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba</b>	
Área da bacia	12.054 km <sup>2</sup>
Extensão do curso principal	510km
Localização	Região Central de Minas Gerais
	Lat -20°51'58" -18°49'36"
	Long -43°47'18" -45° 8'8"
Ocupação	48 municípios, sendo 21 contidos parcialmente e 14 na RMBH
Sede municipal na bacia	35 municípios
População aproximada (IBGE, 2010)	2.349.024 Habitantes
Outorgas superficiais vigentes (2013)	544 m <sup>3</sup> /s
Outorgas subterrâneas vigentes (2013)	732 m <sup>3</sup> /s

### 3.1.1 USOS DO SOLO

A atividade minerária é desenvolvida em toda a bacia. A exploração de minério de ferro e manganês ocorre na região do Quadrilátero Ferrífero e no alto e médio curso da bacia do rio Paraopeba, nos municípios de Brumadinho, Belo Vale, Ibirité, Sarzedo, Moeda, Ouro Branco e Congonhas. A produção de minério de ferro nesses municípios em grandes minas ultrapassa nove (9) milhões de toneladas/ano. Segundo Diagnóstico Ambiental do Vale do Paraopeba (SECT/MG, 1996 *in* IGAM, 2010): *“as pequenas e médias minerações (10.000 a 100.000 ton/mês) de ferro no vale do Paraopeba localizam-se principalmente no divisor do rio Manso e do ribeirão Serra Azul, nas Serras Itatiaiuçu, Farofas e Três Irmãos”*.

A extração de areia e argila é uma atividade de destaque na bacia e envolve principalmente os municípios de Cachoeira da Prata e Esmeraldas, sub-bacia do ribeirão São João, no baixo curso do Paraopeba. A lavra de areia é bastante simples, realizada a céu aberto através de dragas com bombas de sucção

(chupadeiras) ou em cavas nas várzeas. A areia é transportada em caminhões caçamba sem nenhum beneficiamento e abastece, principalmente, o mercado de construção civil da região metropolitana de Betim. Outra atividade minerária realizada é a lavra de ardósia que se concentra no baixo curso da bacia, com formação de cavas profundas e geração de grande quantidade de rejeitos, muitas vezes depositados nas margens dos corpos de água.

As atividades industriais, embora também estejam distribuídas por toda a região, destacam-se na sub-bacia do rio Maranhão, em Conselheiro Lafaiete, Ouro Branco e Congonhas, sub-bacia do ribeirão Sarzedo, em Ibirité, sub-bacia do rio Betim, em Betim, na sub-bacia do ribeirão dos Macacos, em Sete Lagoas e Cachoeira da Prata, bem como no município de Paraopeba. Sobressaem-se os ramos industriais metalúrgicos, têxtil, alimentício e químico. Destacam-se as atividades siderúrgicas localizadas em Betim, com alto desenvolvimento industrial, e urbanização na área que corresponde a Região Metropolitana de Betim e a conurbação de Betim e Contagem.

Na agropecuária, a horticultura é destaque no alto e especialmente médio curso, com a produção voltada para o abastecimento da região metropolitana de Betim. A pecuária extensiva é desenvolvida no baixo curso, onde também se concentram as monoculturas de eucaliptos que abastecem as siderúrgicas existentes nesta região.

### **3.1.2 USOS DA ÁGUA**

A sub-bacia hidrográfica do rio Paraopeba é caracterizada principalmente pela presença dos seguintes tipos de uso dos recursos hídricos: abastecimento doméstico e industrial, irrigação, mineração, dessedentação de animais, pesca e piscicultura. Estes usos estão relacionados às atividades econômicas dominantes na sub-bacia. Segundo estimativa do Consórcio Intermunicipal da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba – CIBAPAR, a bacia possui cerca de 15.000 usuários (IGAM, 2009).

Em relação às outorgas vigentes, a distribuição dos usos é bastante irregular ao longo da bacia do rio Paraopeba. O alto e médio cursos concentram os usos diversos, com destaque para o abastecimento humano, indústria e mineração. Já o baixo curso concentra principalmente o uso para irrigação e dessedentação de animais.

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados norteiam-se pelos objetivos principais estabelecidos para os trabalhos de monitoramento da qualidade das águas, que são:

- • Diagnóstico - conhecer e avaliar as condições de qualidade das águas;
- • Divulgação - divulgar a situação de qualidade das águas para os usuários;
- • Planejamento - fornecer subsídios para o planejamento da gestão dos recursos hídricos da bacia do rio Paraopeba, identificar áreas críticas de poluição e propor prioridades de atuação.

### **4.1 Rede de Monitoramento**

Atualmente a rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do rio das Paraopeba conta com 33 (trinta e três) estações, que compõem a rede básica de monitoramento, Neste estudo serão avaliadas as 30 estações que fazem parte da rede básica de monitoramento da bacia do rio Paraopeba, que foram implantadas até 2007 e que dessa forma possuem uma maior quantidade de resultados na série histórica de monitoramento.

A Tabela 4.1 apresenta a descrição das 33 estações da bacia do rio Paraopeba.

**Tabela 4.1:** Localização e descrição das estações de amostragem de águas superficiais na bacia hidrográfica do rio Paraopeba

Estação	Classe de Enquadramento	Curso D'água	Descrição	Município	Latitude - Grau			Longitude - Grau		
BP022	Classe 2	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba a montante de Cristiano Otoni, próximo de sua nascente	Cristiano Otoni (MG)	-20°	50'	8,9"	-43°	48'	3,2"
BP024	Classe 1	Rio Brumado	Rio Brumado a montante de sua foz no rio Camapuã, a jusante de Entre Rios de Minas	Entre Rios de Minas (MG)	-20°	38'	50"	-44°	3'	38,8"
BP026	Classe 1	Rio Camapuã	Rio Camapuã na cidade de Jeceaba	Jeceaba (MG)	-20°	33'	35,6"	-43°	59'	31"
BP027	Classe 2	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba a jusante da cidade de Jeceaba, logo após a foz do Rio Camapuã	Congonhas (MG), Jeceaba (MG)	-20°	30'	36,1"	-43°	59'	3,2"
BP029	Classe 2	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba na cidade de Belo Vale	Belo Vale (MG)	-20°	24'	50,8"	-44°	1'	31,4"
BP032	Classe 1	Rio Macaúbas	Rio Macaúbas a jusante de Bonfim, a montante de sua foz no rio Paraopeba	Bonfim (MG)	-20°	19'	19,8"	-44°	9'	8,7"
BP036	Classe 2	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba na localidade de Melo Franco	Brumadinho (MG)	-20°	12'	0,9"	-44°	7'	23,6"
BP066	Classe 2	Rio Veloso	Rio Veloso a jusante de Itaiaiçu	Itaiaiçu (MG)	-20°	10'	13,1"	-44°	22'	33,4"
BP068	Classe 2	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba no local denominado Fecho do Funil	Mário Campos (MG), São Joaquim de Bicas (MG)	-20°	5'	58,5"	-44°	12'	36,1"
BP069	Classe 1	Ribeirão Serra Azul	Ribeirão Serra Azul em Juatuba	Juatuba (MG)	-19°	57'	3,8"	-44°	20'	27,6"
BP070	Classe 2	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba a jusante da foz do Ribeirão Sarzedo, próximo à cidade de São Joaquim de Bicas	Betim (MG), São Joaquim de Bicas (MG)	-20°	2'	29,9"	-44°	15'	16,5"
BP071	Classe 3	Rio Betim	Rio Betim próximo de sua foz no Rio Paraopeba, em Betim	Betim (MG), Juatuba (MG)	-19°	58'	3,1"	-44°	15'	54,7"
BP072	Classe 2	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba a jusante da foz do Rio Betim, na divisa dos municípios de Betim e Juatuba	Betim (MG)	-19°	56'	37,6"	-44°	18'	44,7"

Estação	Classe de Enquadramento	Curso D'água	Descrição	Município	Latitude - Grau			Longitude - Grau		
BP073	Classe 2	Ribeirão das Areias ou Riacho das Pedras	Riacho das Pedras ou Ribeirão das Areias em Betim, a montante de sua foz no rio Betim	Betim (MG)	-19°	57'	48,4"	-44°	11'	43,4"
BP074	Classe 1	Ribeirão dos Macacos	Ribeirão Macacos na cidade de Cachoeira da Prata a montante de sua foz no rio Paraopeba	Cachoeira da Prata (MG)	-19°	31'	20"	-44°	27'	21,8"
BP075*	Classe 2	Córrego Pintado	Córrego Pintado a jusante da Represa da REGAP.	Ibirité (MG)	-19°	59'	13,6"	-44°	05'	55,7"
BP076	Classe 2	Ribeirão São João	Ribeirão São João próximo de sua foz no Rio Paraopeba, na cidade de Paraopeba	Inhaúma (MG), Paraopeba (MG)	-19°	25'	34,9"	-44°	31'	7,4"
BP078	Classe 2	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba a jusante da foz do Rio Pardo em Pompéu	Curvelo (MG), Pompéu (MG)	-19°	10'	2,7"	-44°	42'	24,1"
BP079	Classe 1	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba a montante da foz do Rio Pequeri, em São Braz do Suaçuí	Congonhas (MG), Conselheiro Lafaiete (MG), São Brás do Suaçuí (MG)	-20°	36'	8,8"	-43°	54'	42"
BP080	Classe 2	Rio Maranhão	Rio Maranhão próximo de sua foz no Rio Paraopeba, a jusante da cidade de Congonhas	Congonhas (MG)	-20°	30'	52,9"	-43°	54'	16,7"
BP081*	Classe 2	Ribeirão Ibirité	Ribeirão Ibirité a jusante do município de Ibirité.	Ibirité (MG)	-20°	00'	11,7"	-44°	05'	21,1"
BP082	Classe 2	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba na localidade de São José, em Esmeraldas	Esmeraldas (MG), São José da Varginha (MG)	-19°	40'	22,9"	-44°	28'	47,2"
BP083	Classe 2	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba logo após a foz do Ribeirão São João em Paraopeba	Papagaios (MG), Paraopeba (MG)	-19°	22'	20,7"	-44°	31'	54,7"
BP084	Classe 2	Rio Maranhão	Rio Maranhão na localidade de Gagé próximo a Conselheiro Lafaiete	Conselheiro Lafaiete (MG)	-20°	36'	1"	-43°	48'	13,3"
BP085*	Classe 2	Ribeirão Ibirité	Ribeirão Ibirité a jusante da Represa de Ibirité.	Ibirité (MG)	-20°	01'	30"	-44°	07'	23,9"

Estação	Classe de Enquadramento	Curso D'água	Descrição	Município	Latitude - Grau			Longitude - Grau		
BP086	Classe 2	Ribeirão Sarzedo	Ribeirão Sarzedo próximo de sua foz no Rio Paraopeba em Mário Campos	Betim (MG), Mário Campos (MG)	-20°	2'	52,6''	-44°	11'	23,7''
BP088	Classe 1	Rio Betim	Rio Betim a jusante do Reservatório de Vargem das Flores em Betim	Betim (MG)	-19°	54'	42,5''	-44°	10'	27,7''
BP090	Classe 2	Ribeirão Grande	Ribeirão Grande a montante de sua foz no rio Paraopeba em Esmeraldas	Esmeraldas (MG)	-19°	48'	29,6''	-44°	23'	37,2''
BP092	Classe 1	Ribeirão Casa Branca	Ribeirão Casa Branca à montante da confluência com o Ribeirão Catarina em Casa Branca (Brumadinho)	Brumadinho (MG)	-20°	6'	22,4''	-44°	3'	31,4''
BP094	Classe 1	Ribeirão Catarina	Ribeirão Catarina à montante da confluência com o Ribeirão Casa Branca em Casa Branca (Brumadinho)	Brumadinho (MG)	-20°	7'	15,3''	-44°	2'	24,1''
BP096	Classe 2	Rio Manso	Rio Manso próximo de sua confluência com o rio Paraopeba em Brumadinho	Brumadinho (MG)	-20°	8'	11,3''	-44°	13'	3''
BP098	Classe 2	Ribeirão do Cedro	Ribeirão do Cedro próximo de sua foz no rio Paraopeba em Caetanópolis	Caetanópolis (MG), Paraopeba (MG)	-19°	17'	57,4''	-44°	28'	57''
BP099	Classe 2	Rio Paraopeba	Rio Paraopeba a montante de sua foz na barragem de Três Marias	Felixlândia (MG), Pompéu (MG)	-18°	50'	50,5''	-44°	47'	29,6''

\*Estações de monitoramento implantadas nos anos de 2012 e 2013.

## **4.2 Coletas e Análises Laboratoriais**

As amostragens e análises laboratoriais são realizadas pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI / Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. As coletas de amostras são realizadas através de campanhas trimestrais, com um total anual de 4 campanhas por ponto de monitoramento.

Nas campanhas completas, realizadas em janeiro/fevereiro/março e em julho/agosto/setembro, caracterizando respectivamente os períodos de chuva e estiagem, são analisados 52 parâmetros comuns ao conjunto de pontos de amostragem. Nas campanhas intermediárias, realizadas nos meses abril/maio/junho e outubro/novembro/dezembro, caracterizando os demais períodos climáticos do ano, 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 alguns pontos de monitoramento são analisados ainda os parâmetros densidade de cianobactérias, cianotoxinas, ensaios de toxicidade crônica e macroinvertebrados bentônicos. No Quadro 4.1 são apresentados os parâmetros de qualidade de água analisados na rede básica de monitoramento.

**Quadro 4.1:** Variáveis analisadas na rede básica de monitoramento

Alcalinidade Bicarbonato	Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO*	Nitrogênio Amoniacal Total*
Alcalinidade Total	Demanda Química de Oxigênio - DQO*	Nitrogênio Orgânico
Alumínio Dissolvido	Densidade de Cianobactérias <sup>#</sup>	Óleos e Graxas
Arsênio Total	Dureza (Cálcio)	Oxigênio Dissolvido - OD*
Bário Total	Dureza (Magnésio)	pH <i>in loco</i> *
Boro Total	Dureza total	Potássio
Cádmio Total	Ensaio de Toxicidade Crônica <sup>#</sup>	Selênio Total
Cálcio	Estreptococos Fecais	Sódio
Chumbo Total	Fenóis Totais	Sólidos Dissolvidos *
Cianeto Livre	Feoftina*	Sólidos em Suspensão*
Cianotoxinas <sup>#</sup>	Ferro Dissolvido	Sólidos Totais*
Cloreto Total*	Fósforo Total*	Substâncias tensoativas
Clorofila <i>a</i> *	Macroinvertebrados bentônicos <sup>#</sup>	Sulfatos
Cobre Dissolvido	Magnésio Total	Sulfetos
Coliformes Termotolerantes*	Manganês Total	Temperatura da Água*
Coliformes Totais*	Mercúrio Total	Temperatura do Ar*
Condutividade Elétrica <i>in loco</i> *	Níquel Total	Turbidez*
Cor Verdadeira	Nitrato*	Zinco Total
Cromo Total	Nitrito	

\*Parâmetros comuns a todos os pontos nas campanhas intermediárias  
<sup>#</sup> Parâmetros analisados apenas em pontos específicos

### 4.3 Técnicas amostrais

Nas coletas foram adotadas as técnicas de amostragem e preservação especificadas na NBR 9898, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, ou as Normas do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WPCF, última edição. As amostras foram do tipo simples, de superfície, colhidas preferencialmente no perfil principal do curso de água.

As análises laboratoriais atenderam às normas aprovadas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial ou, na sua ausência, aos métodos indicados no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA-AWWA-WPCF, última edição. Os limites de detecção dos métodos de análise deverão, na medida das possibilidades técnicas, ser pelo menos 10 (dez) vezes inferiores aos padrões definidos para a classe 1 de enquadramento da Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01/08.



#### **4.4 Metodologia dos tratamentos dos dados**

Foram avaliados os dados obtidos no período de 1997 a 2012 do indicador IQA e dos dados quantitativos dos parâmetros envolvidos no cálculo do Índice de Qualidade das Águas: coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total e oxigênio dissolvido, acrescentando-se o nitrogênio amoniacal total, das estações de amostragem que compõem a rede básica de monitoramento da bacia do rio Paraopeba. Esses parâmetros foram selecionados por serem os mais representativos de contaminação por esgotos domésticos. Os resultados analíticos referentes aos parâmetros monitorados nas águas superficiais foram confrontados com os limites de Classe definidos na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº01/2008.

Os dados da série histórica de monitoramento para este estudo, que compreendeu o período de 1997 a 2012, foram apresentados em gráficos de box-plot, que permitem observar a tendência central e a variabilidade dos dados amostrais. Nesses gráficos foram incluídos a mediana (percentil 50%), os quartis inferior (percentil 25%) e superior (percentil 75%) e alguma outra medida da dispersão dos dados, como os valores mínimos e máximos. Optou-se por não considerar os resultados das estações implantadas no segundo semestre do ano de 2012, devido a pequena quantidade de resultados.

Inseriram-se neste tipo de gráfico os limites estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM/CERH nº 01/08 como forma de identificar as estações que apresentaram resultados em desconformidade. Para efeito de visualização e comparação, as estações foram ordenadas segundo a sua localização na bacia, considerando a sequência em que seus corpos d'água têm contribuição no rio Paraopeba (sentido montante-jusante).

Em relação aos corpos de água avaliados no presente estudo, todos os pontos amostrados pertencem à bacia do rio Paraopeba, enquadrada conforme Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) nº 14, datada de 28 de dezembro de 1995.

Para relacionar a qualidade das águas de cada ponto de amostragem com os esgotos das cidades a montante dos mesmos, utilizou-se um mapa de drenagem em alta resolução, apresentando e nominando os principais cursos de água, as

estações de amostragem, os limites e sedes municipais e as manchas urbanas da sub-bacia. Com essas informações, foi possível observar quais municípios mais interferem na qualidade sanitária das águas por esgotos considerando a área de drenagem a montante de cada estação de monitoramento.

Complementarmente, verificou-se a situação dos tratamentos de esgotos de cada município da área estudada, utilizando-se como referência o Plano para Incremento do Percentual de Tratamento de Esgotos Sanitários na Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba, elaborado pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) em 2011. Com esse estudo, procurou-se identificar os despejos de esgotos *in natura* e de esgotos tratados, as redes coletoras de esgotos, as estações de tratamento de esgoto (ETE) presentes e a eficiência desses tratamentos. Assim, foi possível relacionar o impacto de cada município na qualidade sanitária das águas registrada a jusante.

#### **4.4.1 INDICADORES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS**

No intuito de traduzir de forma concisa e objetiva para as autoridades e o público a influência que as atividades ligadas aos processos de desenvolvimento provocam na dinâmica ambiental dos ecossistemas aquáticos, foram criados os indicadores de qualidade de águas. O uso de indicadores de qualidade de água consiste no emprego de variáveis que se correlacionam com as alterações ocorridas no corpo de água, sejam essas de origens antrópicas ou naturais (TOLEDO *et al.*, 2002).

Geralmente um indicador de qualidade de água agrupa três categorias amplas de variáveis, sendo essas químicas, físicas e biológicas. Diversas técnicas para a elaboração de um índice de qualidade de água são utilizadas, criando-se índices específicos para os diferentes usos de água. Alguns exemplos de diferentes índices são índice de qualidade de água para abastecimento (MARQUES *et al.*, 2007), para microbacias sob uso agrícola e urbano (TOLEDO *et al.*, 2002), para proteção da vida aquática (SILVA *et al.*, 2006), entre outros.

No presente estudo optou-se por utilizar como instrumento de avaliação da qualidade da água da bacia do rio Paraopeba, o IQA – Índice de Qualidade das Águas, como apoio na interpretação das informações e, especialmente, como uma forma de traduzir e divulgar a condição de qualidade prevalente nos cursos d'água avaliados.

O IQA foi desenvolvido pela National Sanitation Foundation dos Estados Unidos, através de pesquisa de opinião junto a vários especialistas da área ambiental, quando cada técnico selecionou, a seu critério, os parâmetros relevantes para avaliar a qualidade das águas e estipulou, para cada um deles, um peso relativo na série de parâmetros especificados.

O tratamento dos dados da mencionada pesquisa definiu um conjunto de nove (9) parâmetros considerados mais representativos para a caracterização da qualidade das águas: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, temperatura da água, turbidez e sólidos totais. A cada parâmetro foi atribuído um peso, conforme apresentado na tabela a seguir, de acordo com a sua importância relativa no cálculo do IQA, e traçadas curvas médias de variação da qualidade das águas em função da concentração do mesmo.

**Tabela 4.2: Pesos atribuídos aos parâmetros do IQA**

<b>Parâmetro</b>	<b>Peso - <math>w_i</math></b>
Oxigênio dissolvido – OD (%ODSat)	0,17
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio – DBO (mg/L)	0,10
Nitratos (mg/L $\text{NO}_3^-$ )	0,10
Fosfato total (mg/L $\text{PO}_4^-$ )	0,10
Variação na temperatura (°C)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Resíduos totais (mg/L)	0,08

As metodologias para o cálculo do IQA consideram duas formulações, uma aditiva e outra multiplicativa. Adota-se o IQA multiplicativo, que é calculado pela seguinte equação:

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i}$$

Onde:

IQA = Índice de Qualidade de Água, variando de 0 a 100;

$q_i$  = qualidade do parâmetro  $i$  obtido através da curva média específica de qualidade;

$w_i$  = peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade, entre 0 e 1.

Os valores do índice variam entre 0 e 100, conforme especificado a seguir:

**Tabela 4.3:** Faixas do Índice de Qualidade das Águas (IQA)

<b>Nível de Qualidade</b>	<b>Faixa</b>
<b>Excelente</b>	$90 < IQA \leq 100$
<b>Bom</b>	$70 < IQA \leq 90$
<b>Médio</b>	$50 < IQA \leq 70$
<b>Ruim</b>	$25 < IQA \leq 50$
<b>Muito Ruim</b>	$0 \leq IQA \leq 25$

Assim definido, o IQA reflete a interferência por esgotos sanitários e outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos.

Segundo a metodologia do cálculo do IQA utilizada, a falta de resultados dos parâmetros coliformes termotolerantes e oxigênio dissolvido inviabiliza a utilização dos resultados do cálculo desse índice, em vista das correspondentes distorções, já que esses parâmetros possuem os maiores pesos no cálculo do IQA.

## **5 CONSIDERAÇÕES E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

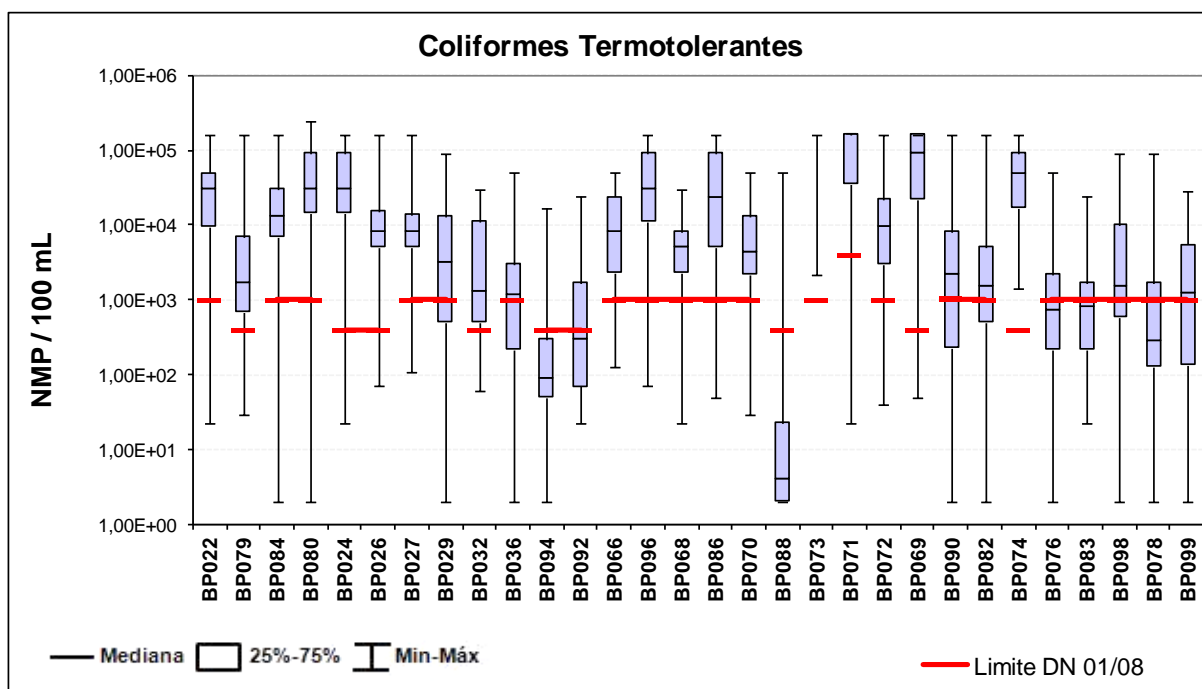
### **5.1 Parâmetros que refletem os impactos dos lançamentos de esgotos**

A seguir será apresentada a discussão dos resultados dos parâmetros que refletem os impactos dos lançamentos de esgotos para cada um dos pontos de monitoramento, sendo esses: coliformes termotolerantes, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido e nitrogênio amoniacal, além do Índice de Qualidade das Águas (IQA) ao longo da série histórica (1997 a 2012). Todos os parâmetros foram avaliados quanto às suas concentrações e ao seu atendimento aos padrões previstos na legislação estadual, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº01/2008, considerando o enquadramento de cada trecho onde estão localizadas as estações de monitoramento.

#### **5.1.1 COLIFORMES TERMOTOLERANTES**

Os gráficos box-plot a seguir apresentam os resultados do parâmetro coliformes termotolerantes no período de 1997 a 2012 para todas as estações de monitoramento pertencentes a rede básica de monitoramento da bacia do rio Paraopeba.

**Figura 5.1:** Box-plot da série histórica do parâmetro coliformes termotolerantes da bacia do rio Paraopeba.



As bactérias do grupo coliformes são uns dos principais indicadores de contaminações fecais originadas do trato intestinal do homem e de outros animais. Os resultados encontrados para esse parâmetro indicam que as águas da maioria das estações avaliadas apresentam condições sanitárias ruins.

Pode-se observar que em 80% das amostras as medianas das contagens de coliformes termotolerantes estiveram acima do limite estabelecido na legislação para a classe de enquadramento correspondente. Esses resultados refletem o grande impacto dos lançamentos de esgotos sanitários sem tratamento nos tributários e diretamente no rio Paraopeba provenientes dos municípios que compõem essa sub-bacia.

Destaca-se que os corpos d'água que apresentaram as piores condições em relação ao parâmetro coliformes termotolerantes, tendo mais de 75% de seus resultados acima de dez vezes o limite legal correspondente (Classe 1 igual a 200 NMP, Classe 2 igual a 1.000 NMP e Classe 3 igual a 4.000 NMP), na bacia do rio Paraopeba estão localizadas no rio Maranhão próximo de sua foz no rio Paraopeba, a jusante da cidade de Congonhas (BP080), rio Brumado a montante de sua foz no rio Camapuã, a jusante de Entre Rios de Minas (BP024), rio Camapuã na cidade de Jeceaba (BP026), rio Manso próximo de sua confluência com o rio Paraopeba em

Brumadinho (BP094), riacho das Pedras ou ribeirão das Areias, a montante de sua foz no rio Betim (BP073), ribeirão Serra Azul em Juatuba (BP069) e ribeirão Macacos na cidade de Cachoeira da Prata a montante de sua foz no rio Paraopeba (BP074).

O município de Betim é aquele que contribui mais expressivamente no lançamento de esgotos sanitários na estação localizada Riacho das Pedras ou Ribeirão das Areias em Betim, a montante de sua foz no rio Betim (BP073). Segundo levantamento da FEAM (2010), o município apresenta Índice de Qualidade dos Serviços de Esgotamento Sanitário Municipal – IQES – Bom, com 80% da população urbana atendida pela rede coletora de esgotos e 70% da população urbana atendida pelo tratamento de esgotos. No entanto, as duas ETEs que drenam para esse trecho foram definidas como em “Condições Precárias”. Os lançamentos clandestinos de esgotos sanitários sem adequado tratamento ocorridos no município, e ainda a contribuição de outras fontes de poluição impactam na qualidade das águas no riacho das Pedras ou ribeirão das Areias, no trecho que passa por Betim.

As estações localizadas no Rio Brumado a montante de sua foz no rio Camapuã, a jusante de Entre Rios de Minas (BP024) e rio Camapuã na cidade de Jeceaba (BP026) sofrem influência do lançamento de esgotos sanitários do município de Entre-Rios de Minas. Este município conta com 80% de esgoto coletado, no entanto sem tratamento dos efluentes gerados.

O município de Congonhas conta com 4 ETEs, que se encontram em condições precárias de funcionamento. O município trata apenas 7,72% do esgoto coletado, o que pode contribuir para a degradação da qualidade das águas nas estações localizadas no rio Maranhão próximo de sua foz no rio Paraopeba, a jusante da cidade de Congonhas (BP080).

A estação localizada no rio Manso próximo de sua confluência com o rio Paraopeba em Brumadinho (BP094) recebe todo o esgoto sanitário proveniente da área urbana de Brumadinho, sendo que este município não possui estação de tratamento de esgoto em funcionamento.

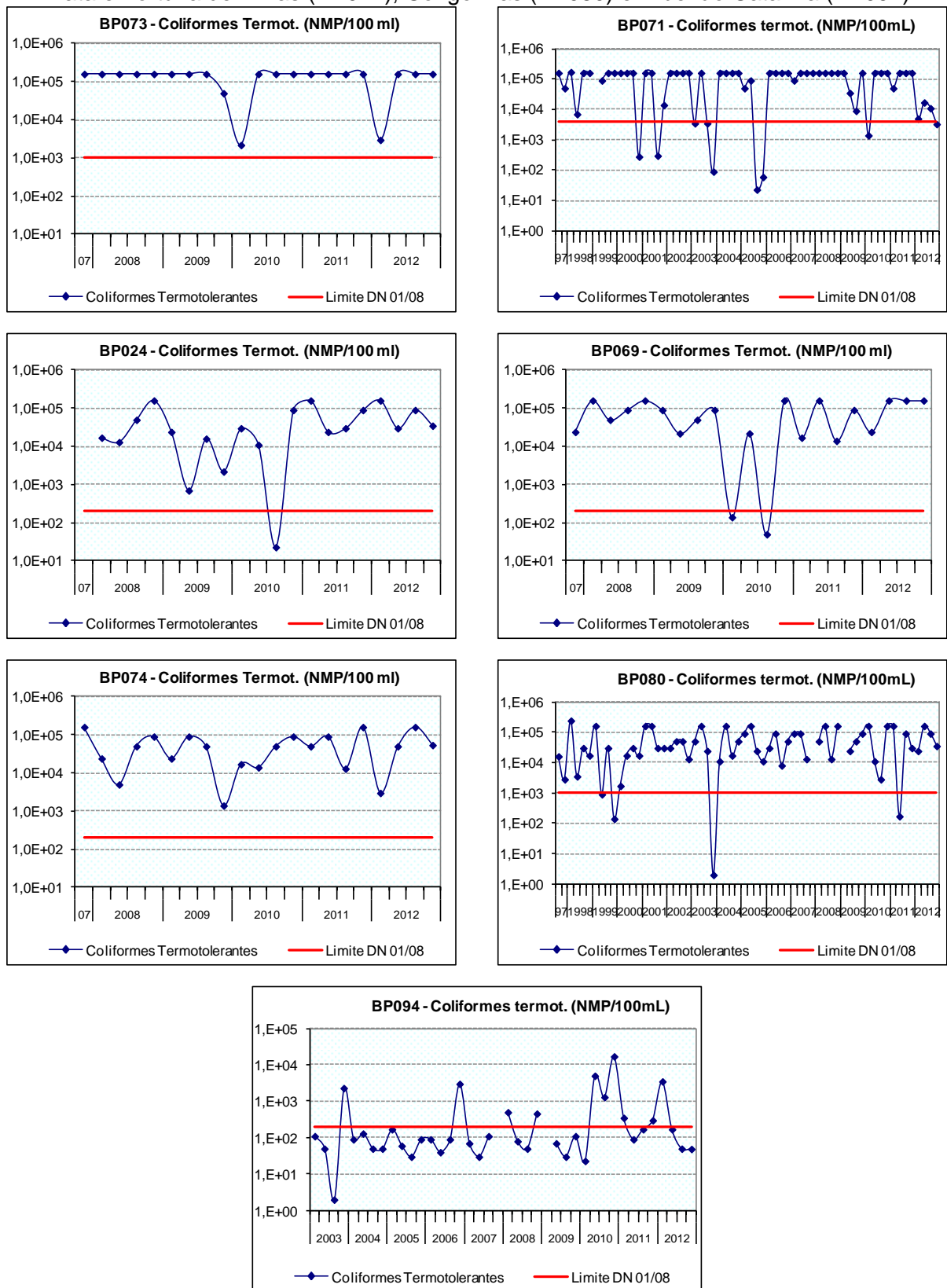
A estação de monitoramento localizada no ribeirão Serra Azul em Juatuba (BP069) recebe impactos de grande parte dos esgotos de Juatuba e Mateus Leme, uma vez que, no primeiro, 65% dos esgotos são coletados e, no segundo, 59%. Esse corpo

de água também recebe efluentes de uma ETE em Juatuba. No entanto, o mesmo encontra-se a jusante do ponto de monitoramento do Igam, não sendo possível avaliar as condições do corpo de água com esse efluente.

A estação localizada no ribeirão Macacos na cidade de Cachoeira da Prata a montante de sua foz no rio Paraopeba (BP074) recebe influência dos lançamentos sanitários dos municípios de Cachoeira da Prata e Fortunas de Minas, onde ocorrem a coleta de, respectivamente, 100% e 80% dos esgotos gerados. Visto que as ETEs desses dois municípios tratam somente 40% e 50% desses esgotos, em condições precárias, pode-se afirmar que ambos contribuem conjuntamente para a poluição das águas do ribeirão dos Macacos.

A Figura 5.2 apresenta os resultados da série histórica de coliformes termotolerantes nas estações que apresentaram os piores resultados na bacia do rio Paraopeba. Observa-se que os valores mais altos de coliformes termotolerantes ocorreram no ponto do rio Betim próximo de sua foz no rio Paraopeba, em Betim (BP071), onde 86% dos resultados atingiram valores iguais ou maiores que o limite de quantificação do método analítico (160.000NMP/100mL). Vale ressaltar que esses resultados se relacionam com parte dos esgotos não coletados (20%) deste município, que é o mais populoso dessa sub-bacia, com população estimada em aproximadamente 380 mil habitantes (IBGE, 2010).

**Figura 5.2:** Evolução temporal do parâmetro coliformes termotolerantes em Betim (BP071 e BP073), Entre-Rios de Minas (BP024), Juatuba e Mateus Leme (BP069), Cachoeira da Prata e Fortuna de Minas (BP074), Congonhas (BP080) e Ribeirão Catarina (BP094)

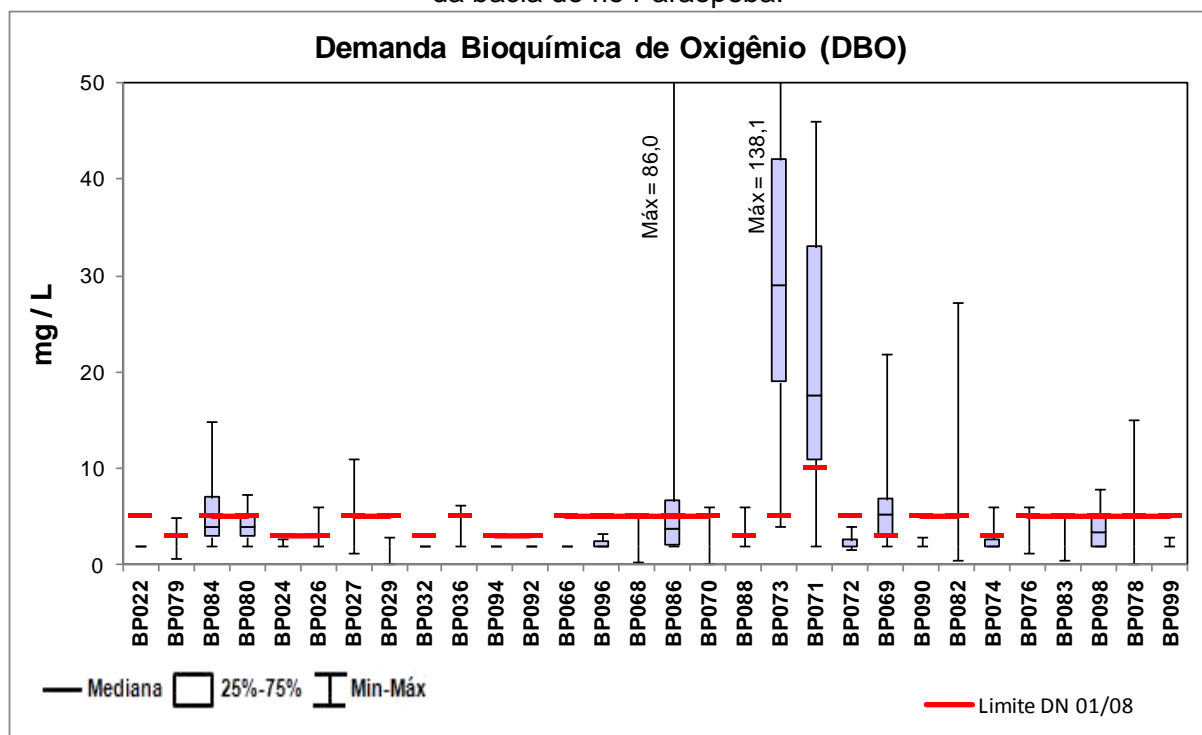




## 5.1.2 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO)

O gráfico box-plot abaixo apresenta os resultados do parâmetro demanda bioquímica de oxigênio (DBO) no período de 1997 a 2012 para todas as estações que compõem este estudo. Verificou-se que 10% das estações apresentaram medianas dos resultados do parâmetro acima do limite estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°01/08.

**Figura 5.3:** Box-plot da série histórica do parâmetro demanda bioquímica de oxigênio (DBO) da bacia do rio Paraopeba.



Os resultados de DBO durante a série histórica de monitoramento (1997 a 2012) utilizada neste estudo indicam que as estações que apresentaram os piores resultados, com o percentil 25% acima do limite legal, foram riacho das Pedras ou ribeirão das Areias, a montante de sua foz no rio Betim (BP073), rio Betim próximo de sua foz no rio Paraopeba, em Betim (BP071) e ribeirão Serra Azul em Juatuba (BP069). Esses foram os pontos que apresentaram pelo menos 75% dos resultados com valores acima dos limites preconizados na legislação.

Em análise do levantamento da Feam, verificaram-se os municípios que têm interferência na qualidade das águas devido aos lançamentos de seus esgotos sanitários não tratados ou com tratamento ineficiente.

Dessa forma, Betim é mencionado com seus lançamentos de esgotos no córrego Lava Pés e córrego Santo Antônio, que conseqüentemente refletem na qualidade das águas do riacho das Pedras ou ribeirão das Areias, a montante de sua foz no rio Betim (BP073). Ainda nesse município, verificaram-se lançamentos de esgotos no rio Betim, córrego Cachoeira, córrego Saraiva, córrego Lava Pés, córrego Santo Antônio e ribeirão Sarzedo, que por sua vez refletem na qualidade das águas do rio Betim próximo de sua foz no rio Paraopeba, em Betim (BP071).

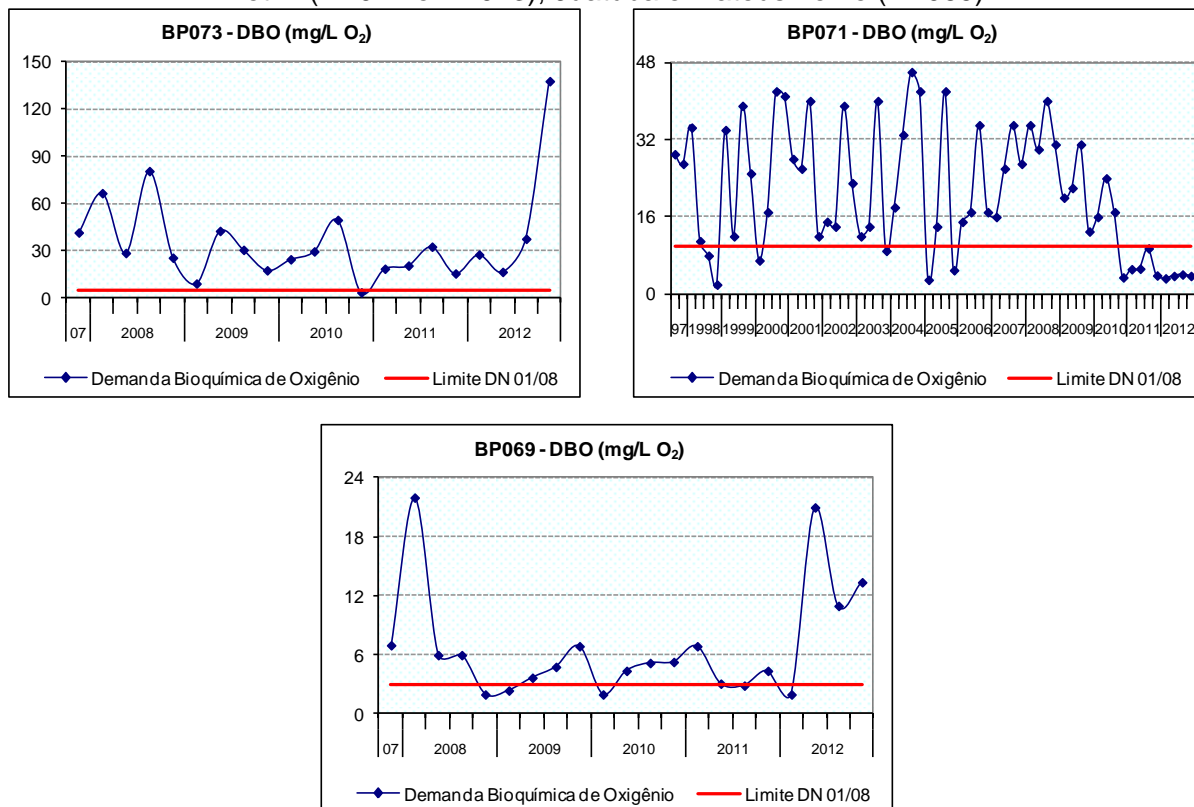
Outros lançamentos de esgotos foram constatados no município de Juatuba, como no ribeirão Serra Azul e ribeirão Mateus Leme. Já no município de Mateus Leme, foi relatado lançamento de esgotos no ribeirão Mateus Leme (Feam, 2011). Os lançamentos de esgotos desses dois municípios refletem na qualidade do ribeirão Serra Azul em Juatuba (BP069).

A Figura 5.4 mostra a evolução dos resultados do riacho das Pedras ou ribeirão das Areias, a montante de sua foz no rio Betim (BP073) e do ribeirão Serra Azul em Juatuba (BP069), considerados os piores, conforme já explicado. Os gráficos abaixo (Figura 5.8) mostram a evolução temporal da demanda bioquímica de oxigênio para as três estações que apresentaram valores do percentil 25% com violações ao limite estabelecido na Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº01/2008.

Destaca-se que, observando a Figura 5.3 e a Figura 5.4, a estação localizada no riacho das Pedras ou ribeirão das Areias, a montante de sua foz no rio Betim (BP073) foi a que durante a série histórica teve os piores resultados, com relação tanto ao percentil 25%, quanto à mediana e ao percentil 75%, para a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) na bacia do rio Paraopeba. Vale ressaltar que essa estação recebe os despejos de esgotos domésticos do município de Betim que possui 70% de tratamento dos esgotos sanitários. É possível observar, ainda, que a última amostra analisada foi aquela que atingiu o maior valor para esse parâmetro na série histórica desse ponto.

Ressalta-se também a evidente melhoria dos resultados de DBO no ponto do rio Betim próximo de sua foz no rio Paraopeba, em Betim (BP071) a partir de 2010, provavelmente resultado da implantação de ETEs, sobretudo a ETE Betim Central, que se encontra em “Boas” condições de tratamento de esgotos (Feam, 2011).

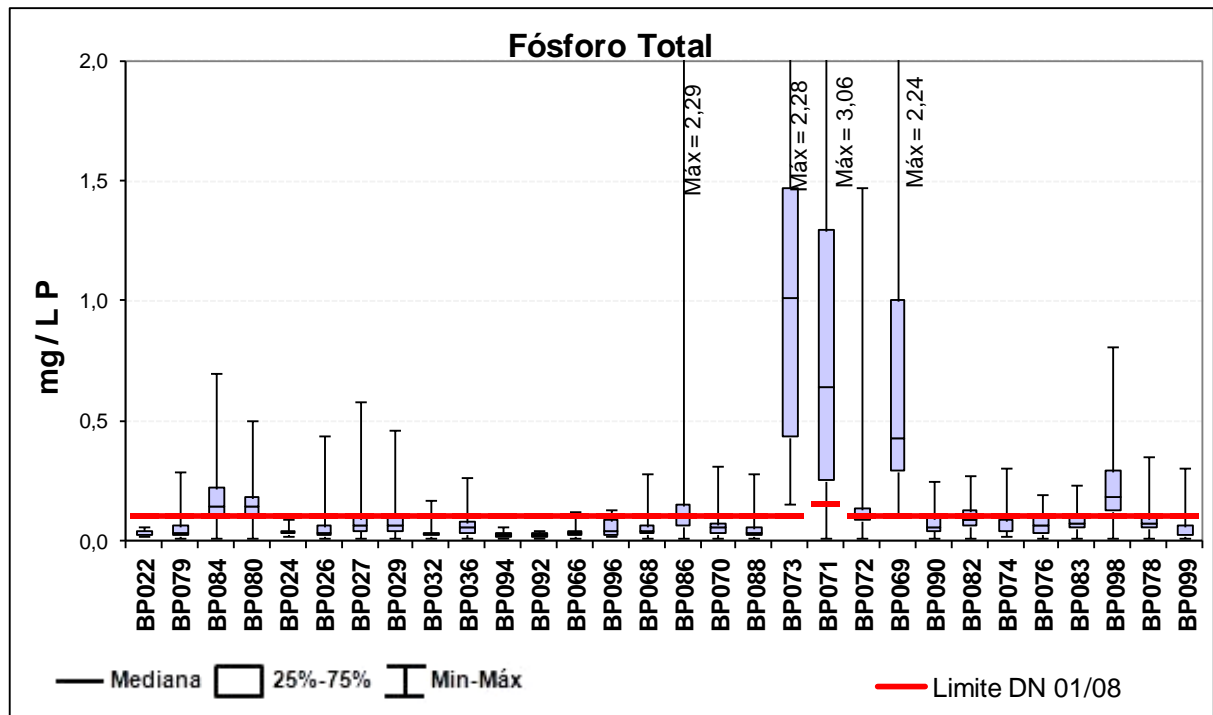
**Figura 5.4:** Evolução temporal do parâmetro demanda bioquímica de oxigênio (DBO) em Betim (BP071 e BP073), Juatuba e Mateus Leme (BP069)



### 5.1.3 FÓSFORO TOTAL

Abaixo nos gráficos box-plot serão apresentados os resultados do parâmetro fósforo total no período de 1997 a 2012 para todas as estações de monitoramento pertencentes a rede básica de monitoramento da bacia do rio Paraopeba. Verificou-se que cerca de 20% das estações apresentaram medianas dos resultados do parâmetro acima do limite estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH n°01/08.

**Figura 5.5:** Box-plot da série histórica do parâmetro fósforo total da bacia do rio Paraopeba.



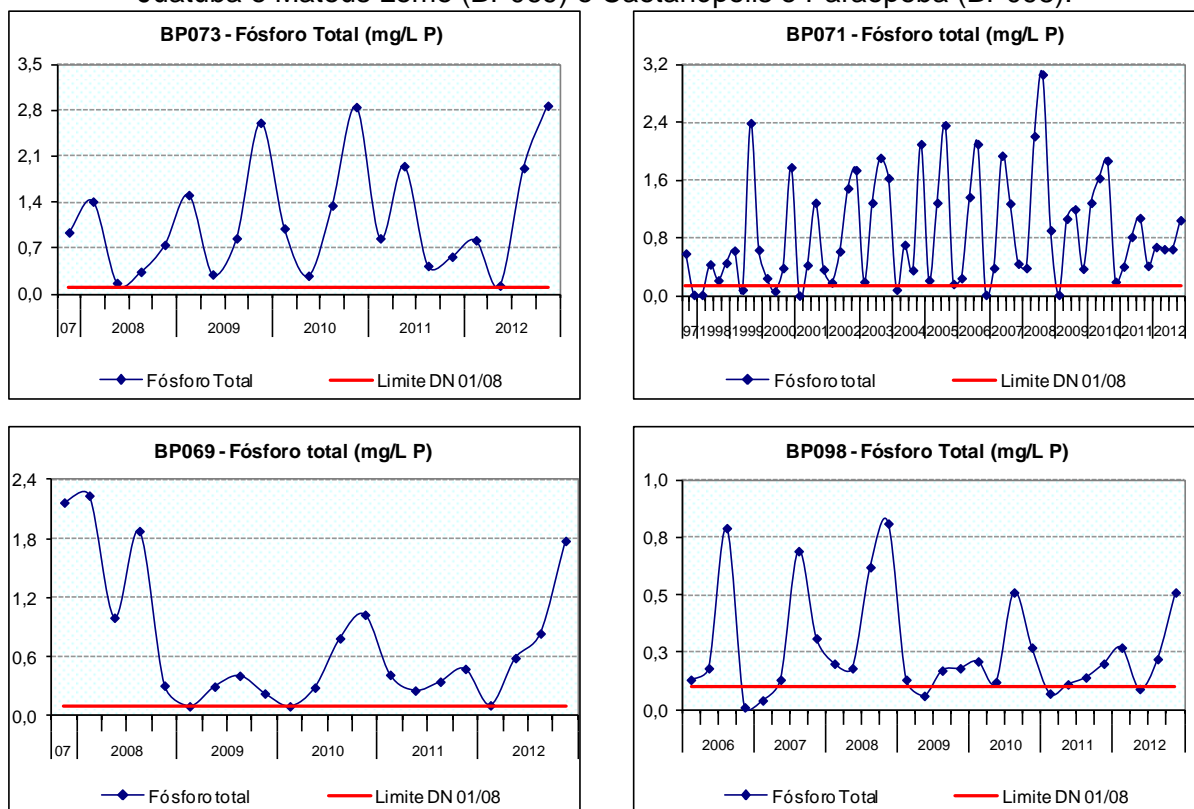
O fósforo aparece nos cursos de água devido, principalmente, ao uso de fertilizantes em atividades agrícolas e à descarga de esgoto sanitário.

Observando-se o gráfico acima pode-se destacar que os pontos que apresentaram violações em mais de 75% dos resultados para o parâmetro fósforo total foram riacho das Pedras ou ribeirão das Areias, a montante de sua foz no rio Betim (BP073), rio Betim próximo de sua foz no rio Paraopeba, em Betim (BP071), ribeirão Serra Azul em Juatuba (BP069) e ribeirão do Cedro próximo de sua foz no rio Paraopeba em Caetanópolis (BP098).

Esses resultados remetem principalmente às atividades agrícolas e aos lançamentos de esgotos sanitários sem tratamento ou com tratamento insuficiente presentes nos municípios de Juatuba, Mateus Leme, Betim, Caetanópolis e Paraopeba.

A Figura 5.6 mostra que, ao longo da série histórica de monitoramento (2007 a 2012), a estação localizada no riacho das Pedras ou ribeirão das Areias, a montante de sua foz no rio Betim (BP073) foi a que sempre apresentou valores acima dos limites estabelecidos pela DN 01/08, registrando o valor de 2,9 mg/L no quarto trimestre de 2012.

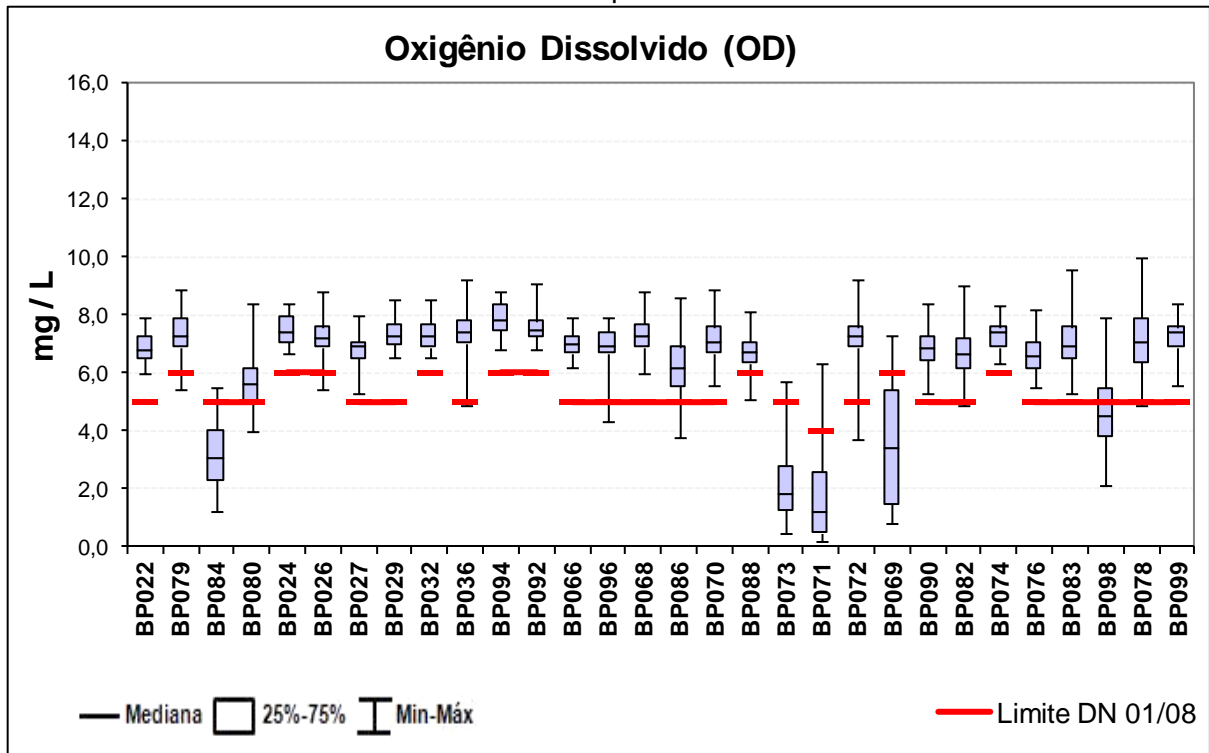
**Figura 5.6:** Evolução temporal do parâmetro fósforo total em Betim (BP071 e BP073), Juatuba e Mateus Leme (BP069) e Caetanópolis e Paraopeba (BP098).



#### 5.1.4 OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

Os gráficos box-plot a seguir apresentam os resultados do parâmetro oxigênio dissolvido para todas as estações de monitoramento da bacia do rio Paraopeba componentes deste estudo. Os dados são referentes à série histórica de 1997 a 2012.

**Figura 5.7:** Box-plot da série histórica do parâmetro oxigênio dissolvido (OD) da bacia do rio Paraopeba.



Observando-se os gráficos acima, pode-se dizer que cerca de 17% das estações apresentaram valores de mediana em desconformidade com o limite estabelecido na legislação DN 01/08, conforme a classe de enquadramento.

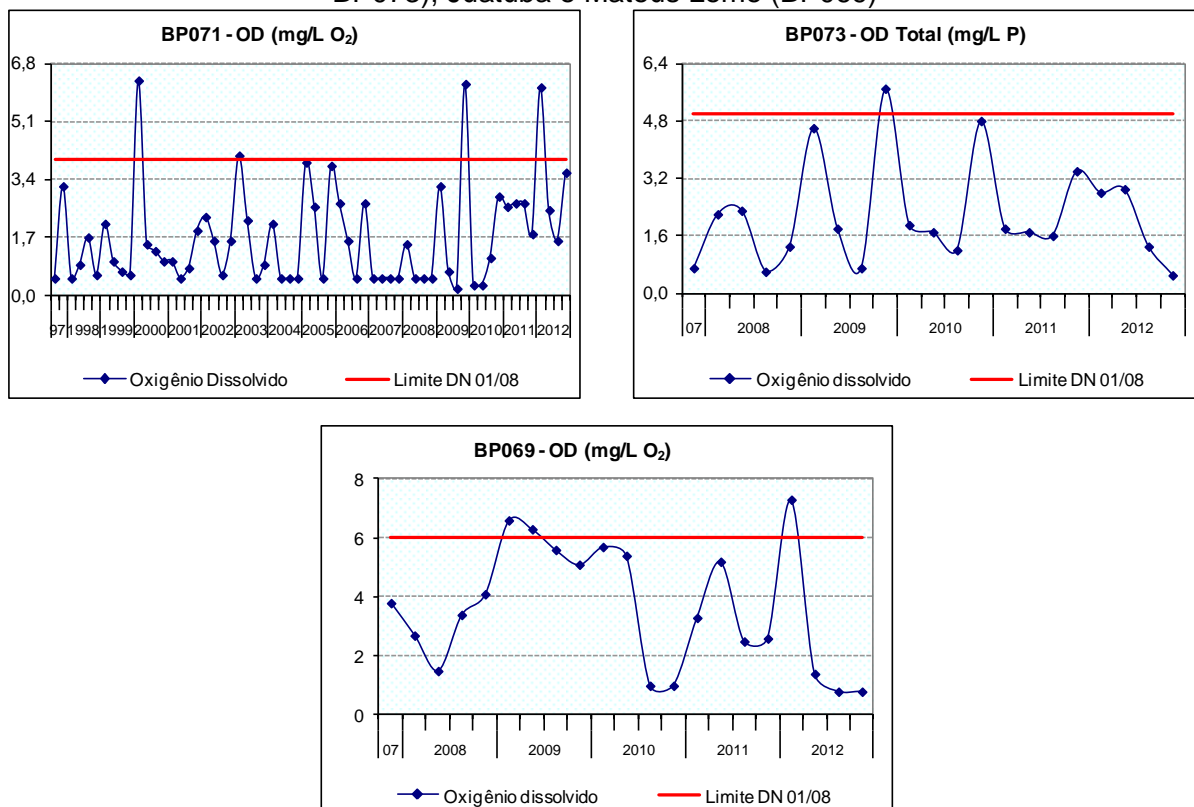
Ressalta-se que as estações que apresentaram os piores resultados de concentração de oxigênio dissolvido, com o percentil 75% em desconformidade com o limite estabelecido, foram o rio Maranhão na localidade de Gagé próximo a Conselheiro Lafaiete (BP084), riacho das Pedras ou ribeirão das Areias, a montante de sua foz no rio Betim (BP073), rio Betim próximo de sua foz no rio Paraopeba, em Betim (BP071) e ribeirão Serra Azul em Juatuba (BP069).

Os resultados em desconformidade com a legislação para essas estações de monitoramento indicam o elevado consumo de oxigênio dissolvido resultante da decomposição da matéria orgânica advinda principalmente de despejos domésticos dos municípios de Juatuba, Mateus Leme, Betim e Conselheiro Lafaiete.

A estação localizada no rio Betim próximo de sua foz no rio Paraopeba, em Betim (BP071) apresentou o menor percentil 75% em relação aos resultados de oxigênio dissolvido, conforme mostrado na Figura 5.8.

Contudo, destaca-se a melhoria dos resultados oxigênio dissolvido no ponto do rio Betim próximo de sua foz no rio Paraopeba, em Betim (BP071) a partir de 2010, provavelmente resultado da redução da matéria orgânica, que por sua vez pode ser atribuída à implantação da ETE Betim Central (Feam, 2011).

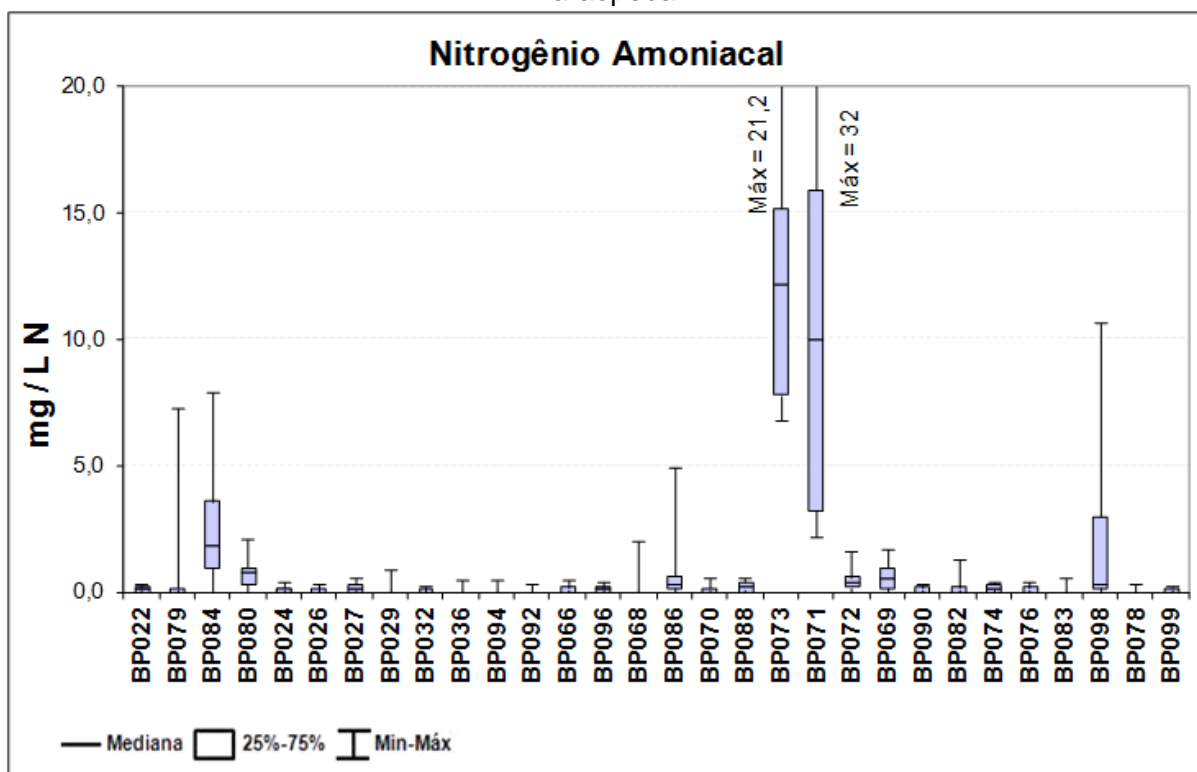
**Figura 5.8:** Evolução temporal do parâmetro oxigênio dissolvido (OD) em Betim (BP071 e BP073), Juatuba e Mateus Leme (BP069)



### 5.1.5 NITROGÊNIO AMONIAICAL

O gráfico box-plot abaixo apresenta os resultados do parâmetro nitrogênio amoniacal no período de 1997 a 2012 nas estações de monitoramento pertencentes à rede básica de monitoramento da bacia do rio Paraopeba. Vale destacar que este parâmetro tem seus limites máximos variáveis de acordo com o resultado do pH de cada amostra (DN COPAM/CERH nº 01/08).

**Figura 5.9:** Box-plot da série histórica do parâmetro nitrogênio amoniacal da bacia do rio Paraopeba.



Assim como os demais parâmetros avaliados neste estudo, o parâmetro nitrogênio amoniacal também fornece indicativo de poluição orgânica da água.

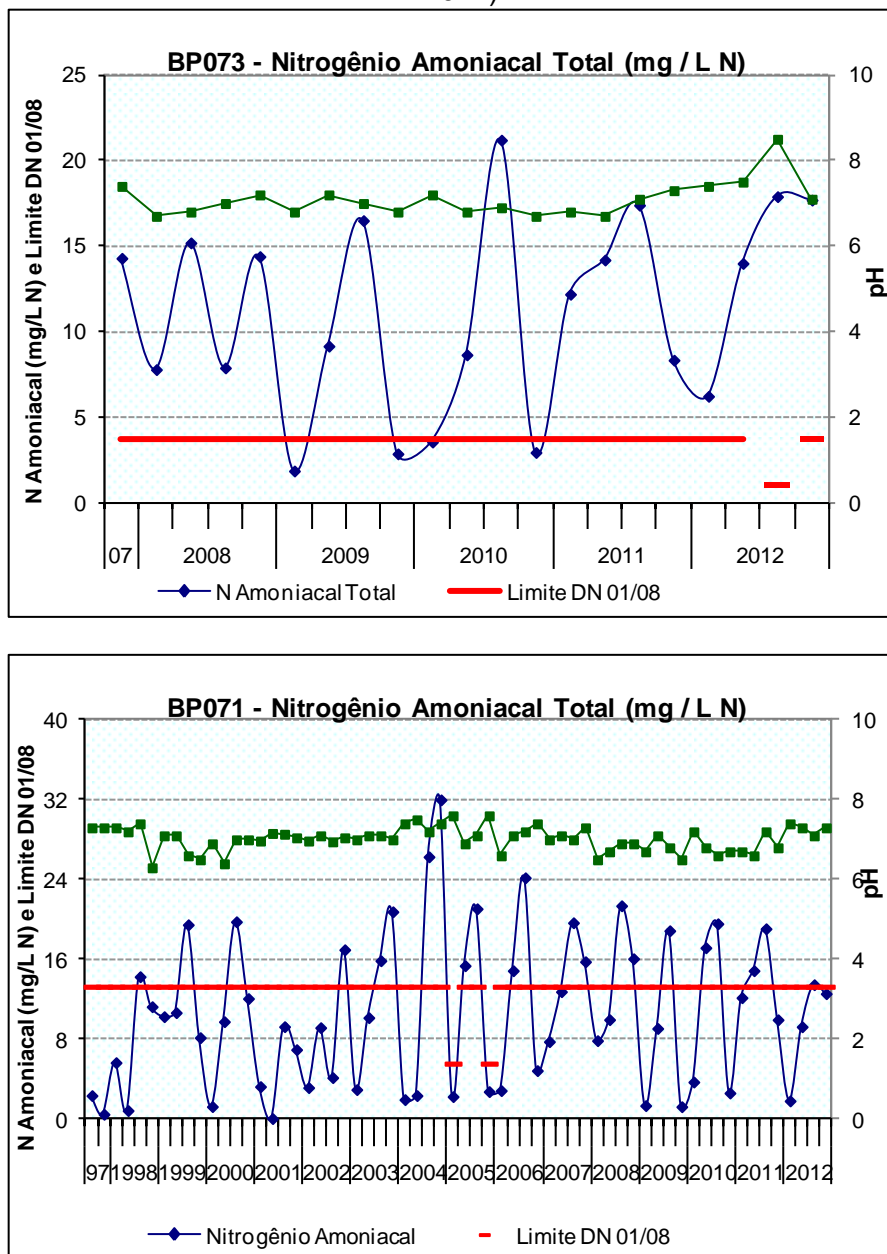
Os resultados de nitrogênio amoniacal evidenciam as estações que ao longo da série histórica (1997 a 2012) apresentaram-se em desconformidade com os limites estabelecidos na legislação. Os resultados indicaram que 14% dos resultados da série histórica estiveram acima dos limites previstos nessa legislação. Podemos destacar que as duas estações de amostragem que apresentaram os resultados mais altos de nitrogênio amoniacal, com relação à mediana, na bacia do rio Paraopeba foram: riacho das Pedras ou ribeirão das Areias, a montante de sua foz no rio Betim (BP073) (mediana igual a 12 mg/L) e rio Betim próximo de sua foz no rio Paraopeba, em Betim (BP071) (mediana igual a 10 mg/L).

Esses resultados podem ser explicados pelos lançamentos de esgotos domésticos, além de agricultura e atividades industriais (siderurgia e laticínios) do município de Betim.

Os gráficos a seguir (Figura 5.10) mostram a evolução temporal das concentrações de nitrogênio amoniacal total nessas estações, bem como a variação do limite de acordo com o pH, pela DN 01/08.



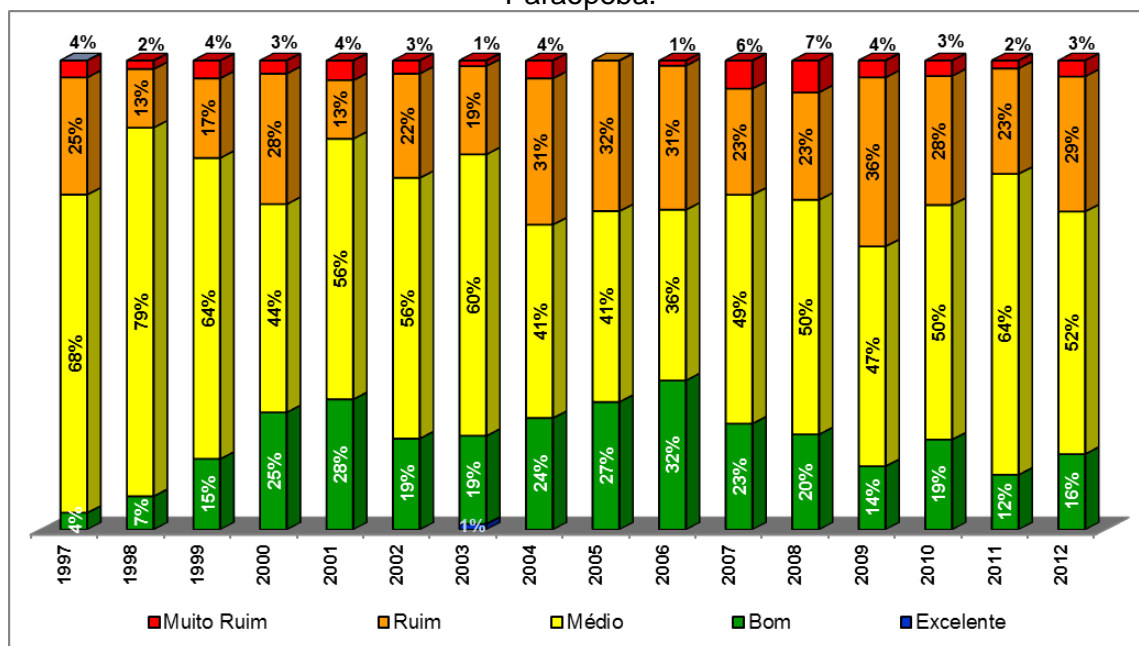
**Figura 5.10:** Evolução temporal do parâmetro nitrogênio amoniacal em Betim (BP073 e BP071)



### 5.1.6 ÍNDICE DE QUALIDADE DE ÁGUA – IQA

Na Figura 5.11 é mostrada a evolução temporal da frequência de ocorrência do IQA na bacia do Paraopeba, no período de 1997 a 2012.

**Figura 5.11 - Evolução temporal do Índice de Qualidade das Águas – IQA na bacia do rio Paraopeba.**



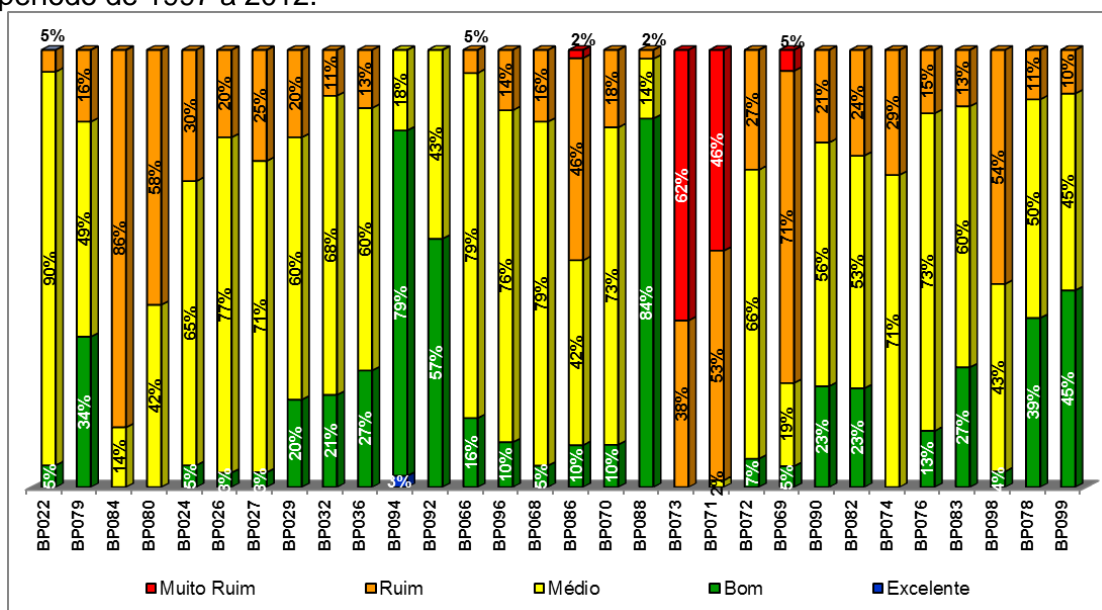
Pode-se verificar que houve predomínio das ocorrências de IQA Médio no período estudado. Os piores resultados foram constatados nos anos de 2004 e 2009, quando as ocorrências somadas de IQA Ruim e Muito Ruim resultaram em 35,0% e 39,6%, respectivamente. Observa-se que, ao longo do período analisado, houve um único registro de IQA Excelente, constatado no 3º trimestre de 2003 no ponto ribeirão Catarina à montante da confluência com o ribeirão Casa Branca em Casa Branca (Brumadinho) (BP094). No geral, observa-se uma oscilação nas freqüências de IQA, o que não permite dizer que há uma tendência à melhoria, nem à piora. Já em relação aos anos de 2011 e 2012, observa-se um aumento na freqüência das ocorrências de IQA Muito Ruim, de 2% a 3%, e de IQA Ruim, de 23% a 29%. Por outro lado, também houve um aumento na freqüência de ocorrência de IQA Bom, passando de 12% a 16%. Dessa forma, observa-se a redução da freqüência de IQA Médio, de 64% a 52%.

O gráfico a seguir apresenta as ocorrências de IQA durante a série histórica estudada (1997 a 2012) considerando individualmente as estações de monitoramento.

Pode-se dizer que as estações que apresentaram os maiores percentuais de freqüência de ocorrências somadas de IQA Muito Ruim e Ruim, durante a série histórica avaliada, estão localizadas na cidade de Betim, no riacho das Pedras ou

ribeirão das Areias a montante de sua foz no rio Betim (BP073) e rio Betim próximo de sua foz no rio Paraopeba (BP071). Ressalta-se que em ambas as estações a frequência de IQA Muito Ruim ultrapassou os 45%. Essas estações têm a qualidade de suas águas comprometida devido aos lançamentos de esgotos sanitários de Betim. É importante frisar que, segundo Plano para Incremento do Percentual de Tratamento de Esgotos Sanitários na Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba (FEAM, 2011), o tratamento de esgotos declarado nessa cidade é de 70%, podendo-se atribuir forte influência desses resultados a parte dos 30% não tratados restantes.

**Figura 5.12:** Percentual de ocorrência de IQA para as estações da bacia do rio Paraopeba no período de 1997 a 2012.



Na Tabela 5.1 são listados os trechos de corpos hídricos que apresentaram mais de 40% de ocorrências somadas de IQA Ruim e Muito Ruim no período de 1997 a 2012, na bacia do rio Paraopeba.

Ressalta-se que as estações localizadas no riacho das Pedras ou ribeirão das Areias, a montante de sua foz no rio Betim (BP073) e no rio Betim próximo de sua foz no rio Paraopeba, em Betim (BP071), ambas localizadas a jusante da cidade de Betim, foram as que apresentaram as maiores frequências de ocorrência de IQA Muito Ruim e Muito Ruim no período de 1997 a 2012.

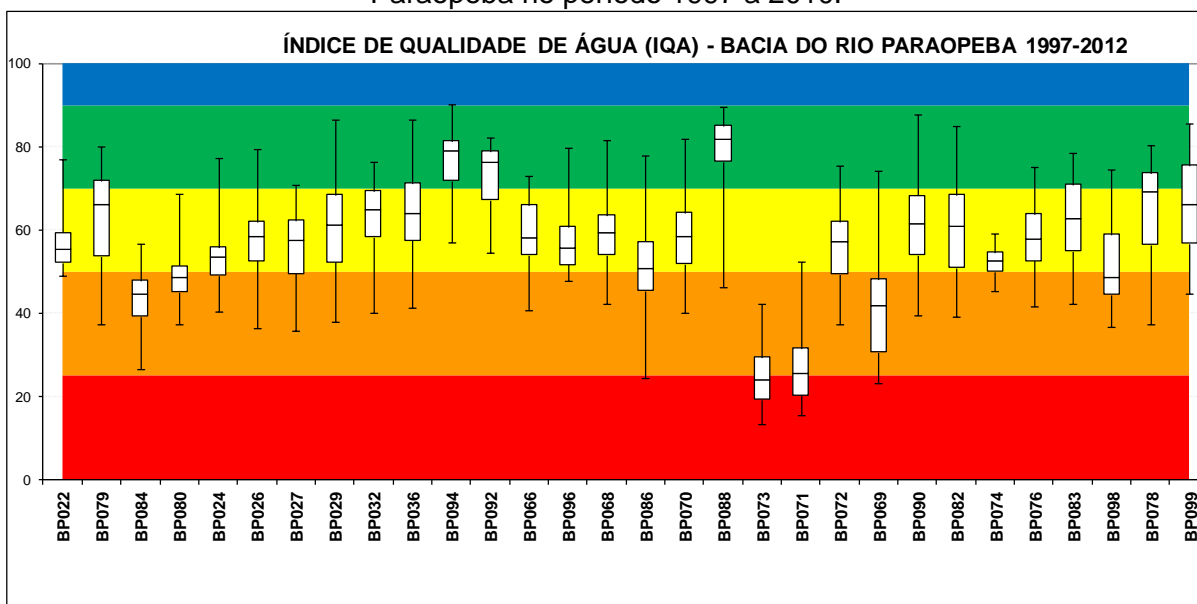
**Tabela 5.1:** Corpos de água que apresentaram as maiores frequências de Muito Ruim e Ruim na bacia do rio Paraopeba no período de 1997 a 2012

<b>Estação</b>	<b>Descrição</b>	<b>Municípios a montante</b>	<b>% de IQA Ruim e Muito Ruim</b>
BP073	Riacho das Pedras ou Ribeirão das Areias em Betim, a montante de sua foz no rio Betim	Betim	<b>100,0%</b>
BP071	Rio Betim próximo de sua foz no Rio Paraopeba, em Betim	Betim	<b>98,4%</b>
BP084	Rio Maranhão na localidade de Gagé próximo a Conselheiro Lafaiete	Conselheiro Lafaiete	86,3%
BP069	Ribeirão Serra Azul em Juatuba	Juatuba e Mateus Leme	76,2%
BP080	Rio Maranhão próximo de sua foz no Rio Paraopeba, a jusante da cidade de Congonhas	Congonhas	58,3%
BP098	Ribeirão do Cedro próximo de sua foz no rio Paraopeba em Caetanópolis	Caetanópolis e Paraopeba	53,6%
BP086	Ribeirão Sarzedo próximo de sua foz no Rio Paraopeba em Mário Campos	Mário Campos, Sarzedo, Ibité	48,1%

A ocorrência de IQA Muito Ruim nos corpos de água citados na tabela acima reflete os lançamentos de esgotos sanitários e efluentes industriais dos municípios presentes nessas regiões quais sejam Conselheiro Lafaiete, Congonhas, Mario Campos, Sarzedo, Ibité, Betim, Juatuba, Mateus Leme, Caetanópolis e Paraopeba.

A Figura 5.13 abaixo apresenta a distribuição dos resultados de IQA considerando-se a série histórica (1997 a 2012) para cada uma das estações localizadas na bacia hidrográfica do rio Paraopeba.

**Figura 5.13 –** Box-plot dos valores de IQA nos corpos de água monitorados na bacia do rio Paraopeba no período 1997 a 2010.



Cerca de 16,7% das medianas das estações inseridas na bacia do rio Paraopeba encontram-se na faixa de IQA Ruim e aproximadamente de 3,3% na faixa de IQA Muito Ruim.

A estação de monitoramento que apresentou a mediana com menor valor, no intervalo correspondente a IQA Muito Ruim (pior condição), está localizada em Betim, no riacho das Pedras ou ribeirão das Areias a montante de sua foz no rio Betim (BP073). Como já mencionado anteriormente, Betim apresenta 30% de esgotos não tratados, lançando assim nos corpos d'água grande quantidade de matéria orgânica que compromete a qualidade do referido corpo de água. Já os pontos de monitoramento que apresentaram mediana no intervalo relativo a IQA Ruim, bem como os municípios a montante dos mesmos, são: Rio Maranhão na localidade de Gagé (BP084), localizado a jusante de Conselheiro Lafaiete; Rio Maranhão próximo de sua foz no Rio Paraopeba (BP080), localizado a jusante de Congonhas; Rio Betim próximo de sua foz no Rio Paraopeba (BP071), localizado a jusante de Betim; Ribeirão Serra Azul em Juatuba (BP069), localizado a jusante de Juatuba e Mateus Leme; e Ribeirão do Cedro próximo de sua foz no rio Paraopeba em Caetanópolis (BP098), localizado a jusante de Caetanópolis e Paraopeba.

## 6 CONCLUSÕES

Considerando os resultados avaliados neste estudo, conclui-se que os municípios que mais contribuem para a má qualidade dos corpos d'água da bacia do rio Paraopeba são **Betim, Ibirité, Conselheiro Lafaiete, Mateus Leme e Congonhas**. Os mesmos se encontram nas regiões denominadas Médio e Baixo Curso do rio Paraopeba, que comportam um grande contingente populacional dessa bacia. Além desse fator, a mesma região, que abrange parte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, apresenta, sobretudo em Betim e proximidades, uma grande concentração de indústrias em relação ao restante da bacia, o que, juntamente com a parcela de esgotos não tratados, potencializa os reflexos na má qualidade dos recursos hídricos.

De acordo com dados da FEAM, Betim conta com sete ETEs, sendo elas: Betim Central, Cachoeira, Salomé, Teixeira, Cidade Verde, Santo Antônio e Petrovale. Essas ETEs encontram-se em “precárias” condições de funcionamento, à exceção da ETE Betim Central, que se encontra em “Boas condições”. Apesar do número de estações de tratamento de esgoto existentes no município, a população urbana atendida pela rede coletora é de 80%, sendo que 70% desses são tratados. Mas apesar da condição dos corpos de água ainda ser bastante crítica, os resultados do monitoramento mostram uma redução da matéria orgânica, sobretudo rio Betim próximo de sua foz no rio Paraopeba. A implantação de ETE's, sobretudo a ETE Betim Central, que iniciou sua operação em 2010 (FEAM, 2011) contribuiu com a redução dos resultados de matéria orgânica (DBO) nesse trecho do rio Paraopeba.

O município de Ibirité, segundo dados da FEAM, conta com 87% de rede coletora de esgotos, mas nenhum tratamento. Vale ressaltar que em 2011 a ETE São Pedro estava ainda em fase de projeto, com previsão de término da implantação em 2012, o que não foi averiguado. Assim, identificou-se como ponto-chave no diagnóstico de Ibirité, a ausência de serviço de tratamento de esgotos, o que contribui de forma pontual e significativa para a poluição dos corpos monitorados no município de Ibirité (FEAM, 2011). É importante ressaltar que o ribeirão Sarzedo próximo de sua foz no rio Paraopeba em Mário Campos (BP086) também recebe os esgotos das manchas urbanas de Mário Campos e Sarzedo. Estas cidades, conurbadas entre si e com Ibirité, localizam-se a jusante de Ibirité. Todavia, como a soma das populações

urbanas desses dois municípios é 76% menor que a de Ibirité, considerou-se esta cidade a grande poluidora do ribeirão Sarzedo.

No município de Conselheiro Lafaiete coleta-se 85% do esgoto gerado, no entanto, tem forte influência para a piora da qualidade das águas da bacia do rio Paraopeba, pois devolve 53% do percentual coletado sem tratamento aos corpos receptores.

Segundo diagnóstico, o município de Mateus Leme apresenta 59% de rede coletora de esgotos, sem no entanto que haja tratamento dos efluentes gerados (FEAM, 2011). É necessário ressaltar que o ribeirão Serra Azul em Juatuba (BP069) também é impactado pela área urbana de Juatuba, que é contígua à de Mateus Leme. No entanto, considerando que Juatuba apresenta 30% de tratamento dos 65% de esgoto coletado de uma população menor, os impactos da cidade Mateus Leme foram considerados responsáveis pela maior parcela da poluição detectada.

Congonhas conta com a presença das ETE's Maranhão, Casa de Pedra I, Casa de Pedra II e Pires. O município possui um considerável percentual de coleta de esgoto (80%), porém, devido aos agravantes da precariedade de todas as ETE em operação só consegue tratar 7,72% dos efluentes. Nesse sentido, conclui-se que Congonhas tem contribuição pontual para a poluição do rio Maranhão.

## 7 REFERÊNCIAS

BAUMGARTEN, M.G.Z.; POZZA, S.A. *Qualidade das águas. Descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental*. Editora da FURG, rio Grande, 166p, 2001

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. *Águas Superficiais*. Disponível em < <http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 20/11/2011.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. Plano para incremento do percentual de tratamento de esgotos sanitários na bacia hidrográfica do Rio Paraopeba / Fundação Estadual do Meio Ambiente. --- Belo Horizonte: FEAM, 2011. 515 p.

IBGE. Censo 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 8 de julho de 2013.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. *Indicadores da Qualidade da Água*. Projeto Águas de Minas. Disponível em <<http://aguas.igam.mg.gov.br>> . Acesso em 22/10/2011. (a)

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. *Monitoramento da qualidade das águas superficiais na bacia do rio Paraopeba em 2009*. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 2010.

JACKSON, J., Heavy metals and other inorganic toxic substances. In: S. Matsui (ed), *Toxic Substances Management in Lakes and Reservoirs, Guidelines of Lake Management*, International Lake Environment Committee, Foundation & United Nations Environment Programme, 1992, p. 65-80.

LERMONTOV, A.; YOKOYAMA, L.; LERMONTOV, M.; MACHADO, M. A. S. River Quality Analysis using Fuzzy Water Quality Index: Ribeira do Iguape river watershed, Brazil. *Ecological Indicators*, 9, 1188-1197, 2009.

LUMB, A.; SHARMA T. C.; BIBEAULT, J. A Review of Genesis and evolution of Water Quality Index (WQI) and Some Future Directions. *Water Qual. Expo Health*, 3, 11-24, 2011.



MARQUES, M.N.; DAUDE, L.F.; SOUZA, R.M.G.L., CONTRIM, M.E.; PIRES, M.A.F. Avaliação de um índice dinâmico de qualidade de água para abastecimento. Um estudo de caso. *Exacta*, 5. (1), pp. 5-8, 2007.

SILVA, G. S.; JARDIM, W. F. Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia – SP. *Quim. Nova*, Vol. 29, No. 4, 689-694, 2006.

SIMÕES, F. S.; MOREIRA, A. B.; BISINOTI, M. C.; GIMENEZ, S. M. N.; YABE, M. J. F. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological Indicators*, 8, 476-484, 2008.

TOLEDO, L. G., NICOLELLA, G. Índice de Qualidade de Água em Microbacia Sob Uso Agrícola e Urbano. *Scientia Agrícola*, v. 59, n. 1, p. 181-186, 2002.

VON SPERLING, M. . Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Volume 7. *Estudos e modelagem da qualidade da água de rios*. 1. ed. Betim: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2007. v. 1. 588 p.