

Júlia Piazzi de Lima

Análise espaço-temporal do impacto de  
estações de tratamento de esgoto sobre  
cursos d'água na bacia do médio rio das  
Velhas

XVI Curso de Especialização em Geoprocessamento - 2017



UFMG

Instituto de Geociências

Departamento de Cartografia

Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha

Belo Horizonte

**JÚLIA PIAZI DE LIMA**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO IMPACTO DE ESTAÇÕES DE  
TRATAMENTO DE ESGOTO SOBRE CURSOS D'ÁGUA NA BACIA MÉDIO  
RIO DAS VELHAS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Geoprocessamento. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Prof. Dra. Úrsula Ruchkys de Azevedo

Co-orientador: Prof. Dr. Frederico Wagner de Azevedo Lopes

**BELO HORIZONTE**

2017

L732a Lima, Júlia Piazi de.  
2017 Análise espaço-temporal do impacto de estações de tratamento de esgoto sobre cursos d'água na Bacia Médio Rio das Velhas [manuscrito] / Júlia Piazi de Lima. – 2017.  
67 f., enc.: il. (principalmente color.)  
  
Orientadora: Úrsula Ruchkys de Azevedo.  
Coorientador: Frederico Wagner de Azevedo Lopes.  
Monografia (especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Cartografia, 2017.  
Bibliografia: f. 56-64.  
Inclui anexo e apêndice.  
  
1. Geoprocessamento. 2. Água – Estações de tratamento – Velhas, Rio das (MG). 3. Água – Qualidade – Velhas, Rio das (MG). I. Ruchkys, Úrsula de Azevedo. II. Lopes, Frederico Wagner de Azevedo. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Departamento de Cartografia. IV. Título.

CDU: 528(815.1)

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta caminhada.

Agradeço a minha família, especialmente meus pais, por acreditarem e investirem em mim.

Agradeço a minha orientadora Úrsula Ruchkys de Azevedo, pelos ensinamentos, paciência e confiança ao longo das supervisões das minhas atividades.

Ao meu co-orientador, Frederico Wagner de Azevedo Lopes, pela dedicação, orientação e amizade. Nossas conversas foram fundamentais para o desenvolvimento deste projeto.

Ao Lucas, pela paciência, atenção e suporte durante esta etapa. Não conseguiria sem seu apoio.

Aos amigos que estiveram presentes e se mostraram sempre dispostos a ajudar.

## RESUMO

O aumento contínuo na demanda por recursos hídricos vêm contribuindo para a deterioração das águas, uma vez que o tratamento dos efluentes gerados não acompanha o volume de resíduos produzidos. Estações de tratamento de esgoto são unidades responsáveis pelo tratamento de efluentes domésticos, que através de processos físicos, químicos e/ou biológicos simulam as condições de autodepuração que ocorrem na natureza. Pensando nisso, o presente trabalho tem como objetivo principal analisar o impacto da implantação de estações de tratamento de esgoto e seus lançamentos sobre o curso d'água. Além disso, pretender fazer um diagnóstico da área de estudo através de uma evolução temporal da qualidade das águas no trecho alto da bacia do médio rio das Velhas comparando posteriormente essa qualidade com pontos de outorga, além de avaliar a situação dos municípios quanto ao Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB). Para alcançar os objetivos propostos, foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento para evolução temporal da qualidade das águas, como interpolação de dados provenientes de pontos de monitoramento de qualidade das águas. Para fazer uma análise da relação da qualidade das águas com a densidade dos pontos de outorga, foi utilizada uma matriz de atribuição, que ajuda na criação de diversos cenários. Para avaliar a influência de estações de tratamento sobre cursos d'água foram utilizados dois métodos diferentes: cálculo de autodepuração dos cursos d'água com ETEs próximas (análise espacial) e análises de tendência (análise temporal) utilizando o software ProUCL. Análises de tendência foram feitas considerando o período anterior e posterior a implantação da ETE, a fim de observar alterações nos parâmetros Fósforo total, Nitrogênio amoniacal total, Sólidos dissolvidos totais e Turbidez. Após realização dos mapas de evolução temporal foi possível observar uma melhora da qualidade das águas em relação ao parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no intervalo de 2005 a 2010. Com relação a outorga, foram observados que alguns locais com mais concessões de outorga (locais próximos a região metropolitana de Belo Horizonte e município de Sete Lagoas) apresentam pior qualidade das águas, representando então um local com uma exploração exacerbada dos recursos hídricos. Com relação a implantação das ETEs, através dos cálculos de autodepuração não foi possível observar a influência negativa do lançamento de efluentes delas sobre o curso d'água, uma vez que os resultados sugerem apenas uma diminuição do oxigênio dissolvido apenas no ponto de mistura. Com relação a análise de tendência, foram observadas tendências de aumento em dois casos para os nutrientes fósforo total e nitrogênio amoniacal. Entretanto, apesar de tais evidências, esse aumento pode estar vinculado a um lançamento irregular no trecho analisado que não foi considerado neste trabalho. Portanto, não foram encontrados resultados que sugerem a influência negativa do impacto de lançamentos das ETEs sobre os cursos d'água, resultado corroborado pela literatura.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Situação do esgotamento sanitário no Brasil.....	5
Figura 2 - Zonas de depuração de um curso d'água. ....	14
Figura 3 - Rede de monitoramento do estado de Minas Gerais .....	22
Figura 4- Bacia do Rio das Velhas e sua divisão .....	25
Figura 5 - Pontos de outorga no trecho alto da bacia médio Rio das Velhas - 2016 adiante .....	29
Figura 6 - Localização das ETEs e dos Pontos de Monitoramento no trecho alta da bacia médio Rio das Velhas.....	33
Figura 7 - Evolução temporal do parâmetro DBO no trecho médio do rio das Velhas .....	39
Figura 8 - Qualidade das águas no trecho alto da bacia médio rio das Velhas - 2016.....	40
Figura 9- Situação dos municípios do trecho alto da bacia do médio rio das Velhas quanto ao PMSB e aos índices de coleta e tratamento de esgoto .....	42
Figura 10 - Densidade de pontos de outorga no trecho alto da bacia médio rio das Velhas - 2016 adiante .....	44
Figura 11-Relação Qualidade das águas e Outorga.....	45
Figura 12- Perfil do Oxigênio Dissolvido .....	46
Figura 13- Perfil de Oxigênio Dissolvido para a ETE Tamanduá .....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Acesso e déficit segundo componente do saneamento básico no Brasil.....	6
Tabela 2- Tipos de tratamento secundário utilizados em uma Estação de Tratamento de Esgotos - Lagoas de Estabilização. ....	10
Tabela 3- Tipos de tratamento secundário utilizados em uma Estação de Tratamento de Esgotos - Lodos ativados e Sistemas aeróbios com biofilme .....	11
Tabela 4- Tipos de tratamento secundário utilizados em uma Estação de Tratamento de Esgotos - Tratamento anaeróbio.....	12
Tabela 5- Dados referentes aos pontos de monitoramento de qualidade das águas superficiais fornecido pelo IGAM.....	27
Tabela 6 - Matriz de atribuição de relação de qualidade de água e densidade de pontos de outorga .....	29
Tabela 7 - Classificação das áreas após a álgebra de mapas .....	30
Tabela 8- ETEs analisadas neste trabalho, localizadas no trecho alto da bacia do médio rio das Velhas .....	31
Tabela 9- Valores de Oxigênio dissolvido para efluentes finais de ETEs .....	32
Tabela 10 - Valores adotados de k1 em condições de laboratório .....	33
Tabela 11- Valores típicos para k1 e kd.....	34
Tabela 12 - Cálculos para determinação de k2 .....	34
Tabela 13- Relação entre ponto de monitoramento e ETE .....	36
Tabela 14 - Qualidade das águas a montante das ETE Taquaraçu de Minas, São José da Lapa, Matozinhos e Jequitibá .....	47
Tabela 15- Tendências para a ETE Pedro Leopoldo.....	47
Tabela 16- Tendências para a ETE Matozinhos.....	48
Tabela 17 - Tendência para a ETE Jequitibá .....	48
Tabela 18 - Tendências para a ETE Tamanduá- Sete Lagoas .....	50
Tabela 19 - Tendências para a ETE Monte Carlo .....	50
Tabela 20 - Síntese dos resultados obtidos da autodepuração .....	51

## **LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ANA - Agência Nacional de Águas

BHRV - Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas

BHRV - Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

FEAM - Fundação Estadual de Meio Ambiente

IGAM - Instituto de Gestão de Águas de Minas Gerais

IQA - Índice de Qualidade das Águas

MRV - Médio rio das Velhas

OD - Oxigênio Dissolvido

PDRH - Planos Diretores de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas

PERH - Plano Estadual de Recurso Hídrico

PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico

PNMA - Política Nacional de Meio Ambiente

PNSB - Política Nacional de Saneamento Básico

RMBH - Região Metropolitana de Belo Horizonte

SAAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto

SEMAD - Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

USEPA - United States Environmental Protection Agency



# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	4
2.1	Saneamento básico.....	4
2.1.1	Esgotamento sanitário e caracterização.....	6
2.1.1.1	Etapas e tipos de tratamento .....	8
2.1.1.2	Lançamento de efluentes industriais e domésticos.....	13
2.1.1.3	Autodepuração.....	13
2.1.1.3.1	Modelos utilizados para determinação da autodepuração.....	15
2.1.2	Marco legal aplicado aos recursos hídricos e saneamento .....	16
2.1.3	Gerenciamento de recursos hídricos em Minas Gerais .....	18
2.2	Ferramentas utilizadas no controle e gerenciamento dos recursos hídricos .....	20
2.2.1	Monitoramento da qualidade das águas .....	20
2.2.1.1	Rede de monitoramento de Minas Gerais.....	21
2.2.2	Geoprocessamento.....	22
3	MATERIAIS E MÉTODOS .....	24
3.1	Localização e caracterização da área de estudo.....	24
3.2	Procedimentos Metodológicos.....	27
3.2.1	Diagnóstico da qualidade das águas .....	27
3.2.2	Outorga e qualidade das águas .....	28
3.2.3	Influência de ETEs sobre cursos d'água.....	30
3.2.3.1	Autodepuração.....	30
3.2.3.2	Análises temporais.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	37
4.1	Diagnóstico de cobertura por serviços de esgotamento sanitário na bacia.....	37
4.2	Outorga e qualidade das águas .....	43
4.3	Influência de ETEs sobre a qualidade corpos d'água receptores .....	46
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
7	ANEXO.....	62
8	APÊNDICE.....	64

## 1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água, em qualidade e quantidade adequadas, é requisito primordial para a manutenção da vida aquática, bem como para as diversas atividades humanas, como abastecimento público, irrigação, uso industrial, pesca, entre outros (ANA, 2012). Entretanto, o aumento contínuo na demanda por recursos hídricos tem contribuído para a deterioração das águas, uma vez que o tratamento dos efluentes gerados não acompanha o volume de resíduos gerados, bem como a crescente diversidade de poluentes. Dentre esses, podem ser destacados a matéria orgânica biodegradável, nutrientes, organismos patogênicos, matéria orgânica não biodegradável (agrotóxicos, detergentes, produtos farmacêuticos), metais e sólidos orgânicos dissolvidos (VIEIRA, 2015). Estes potenciais poluentes são advindos tanto de áreas urbanas como de áreas rurais e são, frequentemente, originários de fontes como os esgotos domésticos, despejos industriais, efluentes agrícolas e de criação de animais, além do escoamento superficial (VON SPERLING, 2005).

Conforme o diagnóstico do Ministério das Cidades em 2013, o esgotamento sanitário é um dos serviços mais precários e que menos envolve investimentos. Apenas 53% dos esgotos coletados no país são tratados, sendo o restante lançado *in natura* nos corpos d'água, e em algumas regiões este valor pode ser ainda menor.

É responsabilidade dos três níveis de governo (Municipal, Estadual e Federal) abarcar estas esferas que envolvem o saneamento básico. Para que fossem cumpridas as responsabilidades, foram estabelecidas diretrizes nacionais e a política federal do saneamento, bem como a obrigatoriedade dos municípios de fazer um planejamento do saneamento básico. Os planos regionais de saneamento (PMSB) são elaborados e articulados entre os estados e os municípios. Sem o Plano, a partir de 2014 com prorrogação para 2015, a Prefeitura não poderia receber recursos federais para projetos de saneamento básico (SANEPAR, 2017). Dos 853 municípios de Minas Gerais, apenas 11% dispõem do PMSB, havendo por consequência uma ausência de informações referentes a situação de saneamento de vários municípios.

A Lei 9.433 de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, tem como objetivo assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos e a utilização racional e integrada dos recursos hídricos. Os Planos Diretores de Recursos Hídricos de Bacia Hidrográfica (PDRH) são utilizados a nível estadual e são um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.

A bacia do rio das Velhas teve seu Plano Diretor atualizado em 2015, sendo sua primeira versão feita em 1997 com atualização em 2004. A atualização possuía o intuito de produzir um instrumento que atuasse de forma efetiva e sustentável sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos da bacia, garantindo o uso múltiplo, racional e sustentável em benefício de uma melhoria da qualidade de vida das gerações presentes e futuras (CBH VELHAS, 2017). Além desta atualização, em 2003 foi firmado um projeto estruturador pelo governo que objetivava identificar as principais causas de degradação da bacia do rio das Velhas, e o Ribeirão Arrudas e do Onça (lançamento do efluentes feito neste ribeirão) foram identificados como epicentros. O principal objetivo do Projeto Estruturador Revitalização do Rio das Velhas é elevar a qualidade das águas, passando a enquadrá-las na Classe 2, a mesma adotada para as águas destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional, às atividades de lazer (natação, esqui aquático e mergulho), irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e para a criação de peixes (aquicultura) (SEMAD, 2017).

De acordo com dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, em Minas Gerais, somente 22,7% dos municípios do estado possuíam tratamento de esgotos. Com relação a bacia do rio das Velhas, dos 51 municípios pertencentes a bacia, 46 lançam seus esgotos gerados (tratados ou não) dentro da área da bacia (FEAM, 2010). De acordo com Plano para Incremento do Percentual de Tratamento de Esgotos Sanitários na bacia do Rio das Velhas, 14,67% dos municípios não apresenta rede de coleta de esgotos e 48,64% dos efluentes domésticos não são tratados. Com relação ao curso médio Velhas, das 45 Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) instaladas, apenas 13 apresentam boas condições, sendo 16 em condições precárias, 2 fora de operação e 1 em fase de projetos (FEAM, 2010).

Deste modo, o monitoramento e diagnóstico da qualidade das águas se tornam ferramentas imprescindíveis para o controle à poluição, possibilitando subsidiar a elaboração e avaliação de ações e planos efetivos de recuperação e prevenção dos ambientes aquáticos (AMARO, 2009).

Neste contexto, este trabalho visa analisar a interferência da implementação das estações de tratamento de esgoto doméstico, localizadas no trecho alto da bacia médio rio das Velhas (MRV) sobre a qualidade das águas superficiais da bacia, por meio da análise temporal dos dados do monitoramento oficial do Estado de Minas Gerais.

Como objetivos específicos, têm-se:

- Analisar a evolução temporal do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio na qualidade das águas da bacia do rio das Velhas;

- Diagnosticar situação dos municípios quanto ao atendimento ao Plano Municipal de Saneamento Básico, índices de coleta e tratamento de esgoto;
- Relacionar pontos de outorga na bacia com qualidade das águas;
- Identificar a capacidade de autodepuração do curso d'água levando em conta a carga orgânica dos lançamentos das ETES;
- Identificar e delimitar as áreas de influência direta do lançamento das ETES;

Deste modo, pretende-se discutir os impactos da ampliação da infraestrutura de coleta e tratamento de esgoto sobre os ambientes aquáticos, bem como a efetividade e possíveis limitações dos instrumentos legais vigentes.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Saneamento básico

De acordo com a Lei nº 11.445/2007, saneamento básico foi definido como um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

*a) Abastecimento de água: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;*

*b) Esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;*

*c) Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;*

*d) Drenagem de águas pluviais: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas*

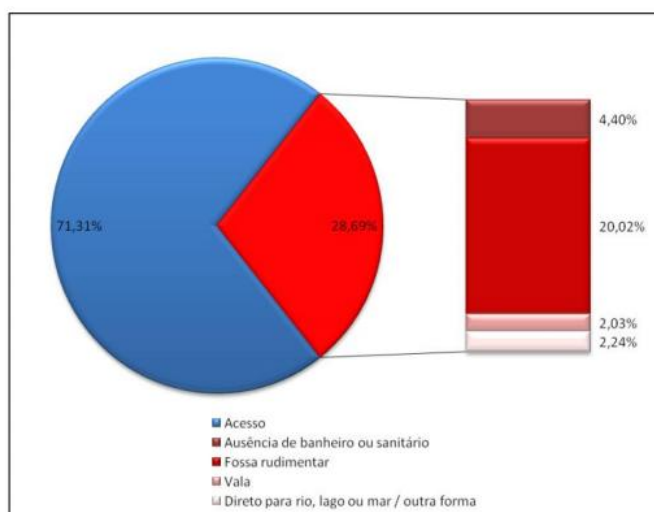
Uma grande parte da população brasileira tem acesso ao sistema de saneamento básico. Entretanto, o déficit com relação a esses serviços é bastante significativo, e abrange milhões de pessoas vivendo em ambientes insalubres e expostos a diversos riscos que podem comprometer a sua saúde (BRASIL, 2011).

Da população com acesso a abastecimento de água, aproximadamente, 157 milhões de pessoas (82,8% dos habitantes do Brasil) são atendidas por rede de distribuição, sem ser considerada a intermitência e qualidade da água, sendo que, dessas, cerca de 3,5 milhões não possuem canalização interna em suas residências (IBGE, 2009; MDS, 2009). Têm-se ainda que a maior parcela do déficit em relação a esse componente encontra-se na região nordeste do país, onde quase 7,7 milhões de pessoas (14,4% de sua população) supriam suas necessidades hídricas de maneira inadequada em

2008. Em torno de 12,1 milhões de pessoas possuem acesso a abastecimento de água considerado inadequado, sendo que, desse contingente, em torno de 7,5 milhões consomem água proveniente de poço ou nascente; contudo, suas residências não dispõem de instalações hidráulicas (BRASIL, 2011).

Com relação ao acesso a um sistema de afastamento de excretas humanas e/ou esgotos sanitários, cerca de 54,4 milhões de brasileiros são desprovidos de rede coletora de esgoto sanitário e água pluviais ou de fossa séptica. A Figura 1 mostra que 20% da população apresenta como único tipo de tratamento de esgotos sanitários a fossa rudimentar. Diferentemente do abastecimento de água, onde as regiões não atendidas encontram-se nas áreas rurais, o déficit em contingente populacional é maior nas áreas urbanas (BRASIL, 2011). Segundo dados do SNIS, ao menos 1,45 bilhão de metros cúbicos de esgoto não foram tratados em 2007, sendo de 62,5% o volume de esgoto tratado em relação ao coletado no Brasil para esse mesmo ano.

**Figura 1-** Situação do esgotamento sanitário no Brasil.



Fonte: BRASIL, 2011.

Em relação ao sistema de drenagem urbana, a PNSB (2000) levantou, em 4.327 dos 5.507 municípios brasileiros existentes na época, dados sobre a ocorrência de inundações em um período de 2 anos. Os dados indicam que 1.235 municípios, em um período de 2 anos, foram atingidos por um ou mais eventos de inundações, representando cerca de 29% dos municípios. Desse total, a grande maioria, cerca de 43%, estão localizados na macrorregião Sudeste. Nas macrorregiões Sul e Nordeste estão cerca de 29% e 18% dos municípios, respectivamente. Os dados da PNSB 2000 mostram também que os municípios que apresentaram maior número de ocorrência de inundação foram os de maior população.

Quanto ao afastamento dos resíduos sólidos domiciliares (RSD), os dados da PNAD (2008) mostram que, de 2004 a 2008, houve um acréscimo de 3,4 pontos percentuais na proporção de moradores que dispõem de coleta de RSD, solução considerada adequada do ponto de vista sanitário. É importante destacar que, em 2008, quase 39 milhões de pessoas não possuíam solução adequada para o afastamento de RSD. Os dados da referida pesquisa, mostram uma grande diferença, em todas as macrorregiões, quanto ao manejo dos RSD entre as áreas urbanas e rurais. Nas urbanas, a população das macrorregiões que têm acesso adequado ao manejo dos RSD representa mais de 80% do total e nas rurais não alcança 50%.

Quanto às unidades de disposição final de resíduos sólidos domiciliares e de limpeza pública (UDFRSDLP) tem-se que apenas 46% do número possuem aterros sanitários (SNIS, 2007). Na amostra dos aterros controlados, essa proporção é de 19%, ou seja, grande parte das unidades declaradas ao SNIS não atendem minimamente ao preconizado pela técnica.

Através da Tabela 1, observa-se que os maiores déficits no saneamento básico estão no esgotamento sanitário, sendo um dos serviços mais precários e que menos envolve investimentos.

**Tabela 1-** Acesso e déficit segundo componente do saneamento básico no Brasil.

Componente	Acesso		Déficit	
	Habitantes	%	Habitantes	%
Abastecimento de Água <sup>1</sup>	177.399.154	93,59	12.146.032	6,41
Afastamento de Esgotos Sanitários	135.167.691	71,31	54.377.495	28,69
Afastamento de Resíduos Sólidos Domiciliares	150.606.804	79,46	38.938.382	20,54

Fonte: BRASIL, 2011.

Apenas 53% dos esgotos coletados no país são tratados, sendo o restante lançado *in natura* nos corpos d'água, e em algumas regiões este valor pode ser ainda menor.

### 2.1.1 Esgotamento sanitário e caracterização

De acordo com a NBR 9648 (ABNT, 1986), sistema de esgotamento sanitário é o conjunto de condutos, instalações e equipamentos, destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar, somente esgoto sanitário, a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro.

Segundo a NBR 9648 (ABNT, 1986) esgoto sanitário é o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária. De acordo com Von Sperling (2005), esgoto doméstico é o despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas; águas de infiltração são as que penetram na rede coletora de esgoto por meio de juntas defeituosas da tubulação, paredes de poços de visita, entre outros; contribuição parasitária são aqueles admitidos na rede de esgoto, tem alta vazão e características específicas de onde foram produzidos.

A caracterização da qualidade das águas e dos efluentes é essencial à adequação ao uso e a minimização, a partir do tratamento adequado (SANTOS, 2008). De acordo com Von Sperling (2005), o esgoto doméstico é composto de aproximadamente 99% água e os outros 1% de sólidos orgânicos ou inorgânicos, suspensos e dissolvidos, nutrientes e microorganismos.

Sólidos podem ser classificados quanto a forma e tamanho em suspensos totais (SST) e sólidos dissolvidos totais (SDT). A matéria sólida em suspensão compõe a parte que é retida em uma membrana filtrante. A fração que passa pelo filtro compõe a matéria sólida dissolvida, que está presente em solução. Podem ainda ser orgânicos ou inorgânicos, sendo que os orgânicos volatilizam em uma temperatura de aproximadamente 500°C e os inorgânicos ficam fixos no ambiente (VON SPERLING, 2005).

A matéria orgânica é uma mistura heterogênea de diversos compostos orgânicos (proteína, carboidrato), sendo uma das principais causadoras da poluição em corpos d'água. Existem maneiras indiretas de medir matéria orgânica, como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) sendo que ambos determinam o consumo de oxigênio para decomposição da matéria orgânica e não sua concentração direta (BRAGA et al., 2002). Atualmente, tem-se utilizado o parâmetro Carbono Orgânico Total (COT) como medida direta de determinação de matéria orgânica, por um teste instrumental que mede todo o carbono liberado na forma de CO<sub>2</sub>. ADBO dos esgotos domésticos varia entre 100 e 400 mg/l, e a DQO, entre 200 e 800 mg/L (JORDÃO e PESSOA, 2011).

Nutrientes, como nitrogênio e fósforo, são também encontrados em esgotos. Estes elementos estão relacionados ao crescimento de algas, podendo causar a eutrofização de corpos d'água e são também indispensáveis para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento biológico (ReCESA 2, 2008). Os nutrientes são oriundos de despejos domésticos, mas também de excrementos animais e fertilizantes, sendo altamente utilizados em plantações e agropecuária.



O nitrogênio pode ser encontrado em várias formas no ambiente, como nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e nitrogênio gasoso. As formas mais comuns desse nutriente nos esgotos são na forma de nitrogênio orgânico e nitrogênio amoniacal. O nitrogênio, nos processos de conversão da amônia ( $\text{NH}_3$ ) a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), implica no consumo de oxigênio dissolvido no corpo d'água receptor (VON SPERLING, 2005). Já o fósforo encontra-se na água principalmente nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. Os ortofosfatos são diretamente disponíveis para metabolismo biológico sem necessidade de conversão a formas mais simples.

Em esgotos ainda, são encontrados agentes patogênicos, principalmente bactérias, protozoários e vírus, que são detectados através de organismos indicadores de contaminação fecal. Os indicadores de contaminação fecal são microrganismos, em sua maioria, não patogênicos usados para a indicação da contaminação da água por fezes humanas ou de animais, e assim, a sua potencialidade de transmissão de doenças (VON SPERLING, 2005). Normalmente, são utilizados como indicadores, os coliformes totais, os termotolerantes e a *Escherichia Coli*, sendo esta última cada vez mais utilizada, por indicar com mais precisão a contaminação por fezes.

#### *2.1.1.1 Etapas e tipos de tratamento*

Uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) é definida como uma unidade ou estrutura projetada com o intuito de tratar esgotos, de ordem doméstica ou industrial, através de processos físicos, químicos e/ou biológicos que simulem condições de autodepuração que ocorrem na natureza (LINS, 2010). O projeto das unidades, bem como o tipo de processo a ser escolhido dependem das características desejáveis para o efluente final e devem garantir um grau de tratamento compatível com as condições desejadas pelo corpo receptor (VON SPERLING, 2005; LINS, 2010).

Resumidamente o processo é composto por um tratamento preliminar, seguido por um tratamento primário e secundário, e em alguns casos, por um terciário. Observa-se no:

a) Tratamento preliminar: remoção de sólidos grosseiros e areia (MOTA, 2000), correspondendo a uma etapa de preparação das águas residuárias para um tratamento subsequente. Os principais mecanismos de remoção envolvem reações físicas, como peneiramento e sedimentação (VON SPERLING, 2005). A retirada de sólidos grosseiros está relacionada com a proteção de bombas e tubulações que fazem o transporte dos esgotos, além de proteção dos corpos receptores. A remoção de areia tem como principal objetivo evitar a abrasão nos equipamentos e tubulação.

b) Tratamento primário: remoção parcial de sólidos sedimentáveis e remoção de sólidos flutuantes, como óleos e graxas (OLIVEIRA, 2014). Formado principalmente por decantadores primários

convencionais ou outros processos físicos químicos, podendo haver inserção de produtos químicos como coagulantes para aumento de sua eficiência. Com a remoção de sólidos sedimentáveis, há uma redução de DBO, já que sólidos suspensos orgânicos são removidos por sedimentação (VON SPERLING, 2005).

c) Tratamento secundário: remoção de matéria orgânica dissolvida. A matéria orgânica a ser removida no tratamento secundário é composta pela fração dissolvida e pelos sólidos de sedimentabilidade mais lenta, remanescentes dos processos primários (OLIVEIRA, 2014). Para que ocorra essa degradação, inclui-se uma etapa biológica no tratamento de esgoto, com os principais atuantes microorganismos aeróbios, anaeróbios e/ou facultativos. A base de todo o processo biológico é o contato efetivo entre os microrganismos e o material orgânico presente nos esgotos, de tal forma que esse possa ser utilizado como alimento pelos microrganismos(OLIVEIRA, 2014). Os principais tipos de tratamento podem ser observados nas Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4.

**Tabela 2-** Tipos de tratamento secundário utilizados em uma Estação de Tratamento de Esgotos - Lagoas de Estabilização.

TRATAMENTO SECUNDÁRIO	DESCRIÇÃO	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO			
		DBO	N	P	Coliformes
<b>Lagoas de Estabilização</b>					
<b>Lagoas Facultativas</b>	O efluente entra por uma extremidade da lagoa e sai pela outra. Durante este caminho, que pode demorar vários dias, o esgoto sofre os processos que irão resultar em sua purificação. Após a entrada do efluente na lagoa, a matéria orgânica em suspensão começa a sedimentar formando o lodo de fundo. Já a matéria orgânica dissolvida e a em suspensão de pequenas dimensões permanecem dispersas na massa líquida, onde sofrerão tratamento aeróbio nas zonas mais superficiais da lagoa. Nesta zona há necessidade da presença de oxigênio, sendo este fornecido por trocas gasosas da superfície líquida com a atmosfera e pela fotossíntese realizada pelas algas presentes. Para isso há necessidade de suficiente iluminação solar, portanto, estas lagoas devem ser implantadas em lugares de baixa nebulosidade e grande radiação solar.	70-85	30-50	20-60	60-99
<b>Lagoas Anaeróbio facultativas</b>	A maior parte da DBO do esgoto é removida na lagoa anaeróbia (mais profunda e com menor volume); na lagoa facultativa, predominam as bactérias facultativas, capazes de adaptação aos ambientes aeróbios (mais à superfície) e anaeróbios (no fundo das lagoas), o oxigênio necessário à estabilização da matéria orgânica é fornecido, em grande parte, por algas que realizam a fotossíntese.	70-90	30-50	20-60	60-99,9
<b>Lagoas Aeradas Facultativas</b>	A principal diferença entre este tipo de sistema e uma lagoa facultativa convencional é que o oxigênio, ao invés de ser produzido por fotossíntese realizada pelas algas, é fornecido por aeradores mecânicos.	70-90	30-50	20-60	60-96
<b>Lagoas Aerada de Mistura Completa</b>	O grau de energia introduzido é suficiente para garantir a oxigenação da lagoa e manter os sólidos em suspensão e a biomassa dispersos na massa líquida. O efluente que sai possui uma grande quantidade de sólidos suspensos e não é adequado para ser lançado diretamente no corpo receptor. Para que ocorra a sedimentação e estabilização destes sólidos é necessária a inclusão de unidade de tratamento complementar, que neste caso, são as lagoas de decantação.	70-90	30-50	20-60	60-99

Fonte: VON SPERLING (2005)

**Tabela 3-** Tipos de tratamento secundário utilizados em uma Estação de Tratamento de Esgotos - Lodos ativados e Sistemas aeróbios com biofilme

TRATAMENTO SECUNDÁRIOS	DESCRIÇÃO	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO			
		DBO	N	P	Coliformes
<b><u>Lodo Ativado</u></b>					
<b>Lodos Ativados Convencional</b>	No reator aerado ocorrem as reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica e, em determinadas condições, de nitrogênio e de fósforo. No decantador secundário ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa), permitindo que o efluente final saia clarificado. Parte dos sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário (chamado de lodo biológico) é recirculado para o reator, para se manter uma desejada concentração de biomassa no mesmo, a qual é responsável pela elevada eficiência do sistema.	85-93	30-40	30-45	60-90
<b>Lodos Ativados por Aeração Prolongada</b>	Semelhante ao item anterior, entretanto o lodo permanece mais tempo dentro do reator, mantendo a mesma carga de DBO. Nesta situação, os microorganismos começam a se alimentar da matéria orgânica de dentro das suas células, levando a uma digestão do lodo em condições aeróbias	93-98	15-30	30-45	65-90
<b><u>Sistemas Aeróbios com Biofilme</u></b>					
<b>Filtros Biológicos de Baixa Carga</b>	O filtro biológico é constituído de um leito filtrante. O efluente é lançado sobre este por meio de braços rotativos e percola através do meio suporte formando sobre estas uma película de bactérias. O esgoto passa rapidamente pelo leito em direção ao dreno de fundo, porém a película de bactérias absorve uma quantidade de matéria orgânica e faz sua digestão mais lentamente. Neste sistema, como a carga de DBO aplicada é baixa, o lodo sai parcialmente estabilizado devido ao consumo da matéria orgânica presente na células das bactérias em seus processos metabólicos por causa da escassez de alimento.	85-93	30-40	30-45	60-90
<b>Filtros Biológicos de Alta Carga</b>	Menos eficiente que o sistema de filtros biológicos de baixa carga e o lodo não sai estabilizado. A área ocupada é menor e a carga de DBO aplicada é maior.	80-90	30-40	30-45	60-90
<b>Biodiscos</b>	O processo de biodiscos consiste de uma série de discos ligeiramente espaçados, montados num eixo horizontal. O eixo gira mantendo uma parte dos discos submersos pelo esgoto e uma parte exposta ao ar. Nos discos a biomassa cresce aderida formando o biofilme.	85-93	30-40	30-45	60-90

**Tabela 4-** Tipos de tratamento secundário utilizados em uma Estação de Tratamento de Esgotos - Tratamento anaeróbio

TRATAMENTO SECUNDÁRIOS	DESCRIÇÃO	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO			
		DBO	N	P	Coliformes
<b><u>Tratamento Anaeróbio</u></b>					
<b>Fossa-Filtro Anaeróbio</b>	O tanque séptico remove a maior parte dos sólidos em suspensão, os quais se sedimentam e sofrem o processo de digestão anaeróbia pela atuação do lodo que se acumula no fundo do tanque. O efluente do tanque séptico é encaminhado ao filtro anaeróbio, onde ocorre a remoção complementar da DBO	70-90	10-25	10-20	60-90
<b>Reator UASB</b>	O efluente entra pelo fundo e tem contato com o leito de lodo, onde ocorre adsorção de grande parte da matéria orgânica pela biomassa. Na parte superior, o reator UASB possui um separador trifásico dividido em zonas de sedimentação e de coleta de gás para reter a biomassa no sistema. A zona de sedimentação permite a saída do efluente clarificado e o retorno dos sólidos (biomassa) ao sistema, aumentando a sua concentração no reator.	60-80	10-25	10-20	60-90

d) Tratamento terciário: remoção de nutrientes, organismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes. Os processos de tratamento terciário mais utilizados são: desinfecção, adsorção por carvão ativado, processos de separação de membrana e processo oxidativo avançado (POA) (LINS, 2010).

#### *2.1.1.2 Lançamento de efluentes industriais e domésticos*

De acordo com Von Sperling (2005), existem duas fontes de poluição das águas: pontual e difusa. Na poluição difusa, os poluentes atingem o corpo d'água de maneira distribuída ao longo de sua extensão, sendo muitas vezes difícil determinar a origem da contaminação. Já na poluição pontual, os poluentes atingem o corpo d'água de maneira concentrada, como por exemplo, a descarga de um emissário transportando os esgotos de uma comunidade.

A poluição pode ocorrer de vários modos, seja por poluição térmica provocada por efluentes lançados em altas temperaturas, poluição química, poluição física devido a carga de materiais em suspensão ou biológica devido a descarga de patógenos (ABRAHÃO, 2006). Dentro da poluição química, a mais importante é a introdução de matéria orgânica no sistema que funciona como alimento para microorganismos, levando a uma redução ou ausência de oxigênio dissolvido. Os tipos mais frequentes de efluentes com presença de matéria orgânica são esgotos domésticos. Segundo Braga et al. (2002), a matéria orgânica em si não é um poluente, porém, seu despejo no meio aquático pode ocasionar um desequilíbrio entre produção e consumo de oxigênio.

Estações de tratamento de esgoto são responsáveis por tratar esgotos domésticos que chegam pelos emissários no sistema. De acordo com Nuvolari et al. (2003) a finalidade de uma ETE é diminuir cargas poluidoras de esgoto sanitário por meio das unidades de tratamento que geram a separação entre poluentes em suspensão e dissolvidos, fazendo com que a água lançada no corpo receptor atinja os parâmetros de qualidade.

A poluição não é determinada apenas pela quantidade e qualidade dos efluentes lançados, mas também e principalmente pela capacidade do corpo d'água em assimilar, assimilação está relacionada com as interações entre as condições físicas, químicas e biológicas do ambiente (ABRAHÃO, 2006).

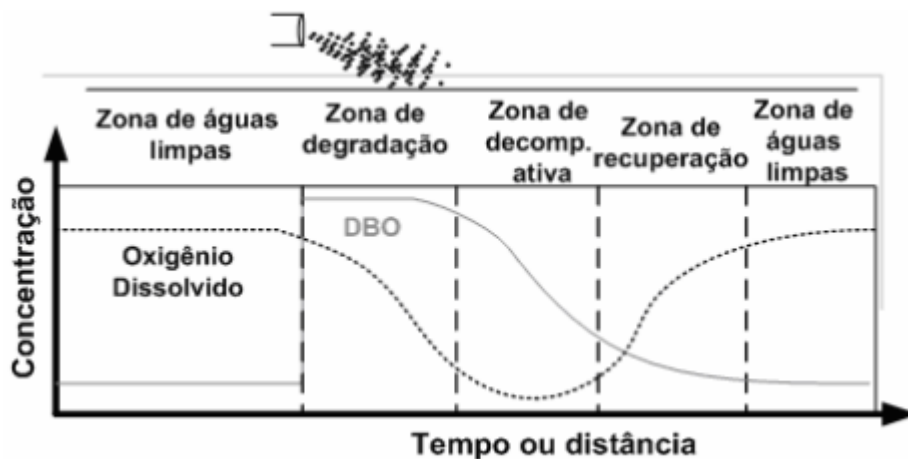
#### *2.1.1.3 Autodepuração*

A autodepuração pode ser entendida como um fenômeno de sucessão ecológica, em que o restabelecimento do equilíbrio do meio aquático, ou seja, a busca pelo estágio inicial, é realizada por

mecanismos essencialmente naturais. A introdução de matéria orgânica em corpos d'água resulta, indiretamente, no consumo de oxigênio. Este fenômeno acontece devido a estabilização da matéria orgânica, realizada por bactérias degradadoras, que utilizam o oxigênio disponível para sua respiração. Este processo biológico de degradação e depuração de poluentes orgânicos depende da presença de microorganismos (bactérias, fungos, protozoários e algas), além das possibilidades de oxigenação e reoxigenação, da atmosfera e de luz (fotossíntese) (VON SPERLING, 2005). A decomposição da matéria orgânica por microorganismos aeróbios corresponde a um dos mais importantes processos integrantes do fenômeno de autodepuração (ANDRADE, 2010).

De modo geral, o processo de autodepuração se desenvolve ao longo do tempo e da direção longitudinal do curso d'água. Foram definidas quatro zonas de autodepuração: zona de águas limpas, zona de degradação, zona de decomposição ativa e zona de recuperação (BRAGA et al., 2002) (Figura 2).

**Figura 2 - Zonas de depuração de um curso d'água.**



Fonte: VON SPERLING (2005).

A zona de águas limpas é localizada a montante do efluente e também após a zona de recuperação. Nesta região existe elevada concentração de oxigênio dissolvido e vida aquática superior. A zona de degradação fica logo a jusante do lançamento, sendo caracterizada por uma diminuição na concentração de oxigênio dissolvido e presença de microorganismos mais resistentes. Na zona de decomposição ativa a concentração de oxigênio dissolvido atinge o valor mínimo e a vida aquática se resume a bactérias e fungos anaeróbios, com concentrações ainda elevadas de DBO. Por fim, na zona de recuperação, se inicia a etapa do restabelecimento do equilíbrio anterior a poluição, com aumento do oxigênio dissolvido e diminuição de matéria orgânica (DBO) no curso d'água.

Para os cálculos de autodepuração de um curso d'água alguns coeficientes são importantes para demonstrar as características de um corpo d'água. O coeficiente de autodepuração  $k_1$  - coeficiente de desoxigenação - depende das características da matéria orgânica, além da temperatura e também da presença de substâncias inibidoras. No caso de efluentes tratados, observa-se uma taxa de degradação mais lenta, uma vez que a maior parte da matéria orgânica assimilável já foi removida, restando apenas a parcela mais devagar (VON SPERLING, 2007).

O coeficiente de decomposição da DBO no rio -  $k_d$  - incorpora essas características e muitas vezes é utilizado nos cálculos de autodepuração. Existem várias formas de determinar  $k_d$ , através de faixas de valores sugeridas por autores até equações que levam em conta a profundidade e vazão do curso d'água. De modo geral, para situações de rios profundos observa-se menores valores de  $k_d$  em relação a rios mais rasos.

O coeficiente de reaeração -  $k_2$  - tem maior influência nos resultados de balanço de oxigênio dissolvido do que o  $k_d$ . De mesma forma que  $k_d$ , existem diversas formas de determinação deste, através de fórmulas e faixas já definidas por outros autores. De maneira mais usual, a escolha do método depende dos dados do curso d'água em questão.

#### 2.1.1.3.1 Modelos utilizados para determinação da autodepuração

A fim de se obter uma interpretação plausível da qualidade das águas é necessária a utilização de um método simples, que forneça informações objetivas e interpretáveis sobre características peculiares dos cursos hídricos bem como expressem a atual situação do mesmo (SANTOS, 2008). Modelos são versões simplificadas do mundo real, logo são bons indicadores (JORGENSEN, 1994). Uma das principais aplicações de modelos na área de qualidade das águas se relaciona com o lançamento de cargas pontuais ou difusas sobre um curso d'água.

A escolha de um modelo em detrimento a outro depende de vários fatores, como os objetivos da análise, tempo e os dados que estão disponíveis. Existem, de modo geral, quatro principais modelos relacionados a qualidade das águas (BENEDETTI & SFORZI, 1999), sendo eles:

**Modelo Streeter Phelps:** são compostos por um conjunto de equações que delineam o perfil de oxigênio dissolvido em um curso d'água após o lançamento de efluentes tendo como parâmetros apenas a degradação da matéria orgânica e a reaeração. O modelo de Streeter Phelps apresenta algumas limitações: não leva em consideração a demanda bentônica, só funciona em decomposição aeróbia, não considera sedimentação da matéria orgânica e não inclui a reoxigenação proveniente da



fotossíntese. Além disso, não prevê entradas de tributários ou lançamentos, apenas em uma descarga constante de efluentes (TUCCI, 1998).

**Modelos de Biodegradação e Nitrificação:** modelos que calculam a degradação da matéria orgânica em função da sequência de reações de nitrificação. Os modelos mais conhecidos são o QUAL I e QUAL II.

**Modelos de eutrofização:** modelos baseados nos processos de degradação da matéria orgânica e da nitrificação, mas inclui o crescimento e decaimento de fitoplâncton e o ciclo do fósforo. Os modelos mais utilizados são o QUAL2E, que incluem vários fatores que interferem na quantidade de oxigênio disponível.

**Modelos para ecossistema:** de maneira diferente dos modelos citados anteriormente, estes modelos representam níveis tróficos dos ecossistemas, levando em conta microorganismos como zooplâncton e algas bentônicas. O exemplo mais conhecido deste modelo é o WQRRS que simula qualidade das águas em sistemas de rios e reservatórios.

#### 2.1.2 Marco legal aplicado aos recursos hídricos e saneamento

Ao longo do tempo, diversas leis e normas foram desenvolvidas com o intuito de racionalizar o uso dos recursos hídricos. Até 1934, a água era vista como um bem infinito que deveria ser explorado (CALAZANS, 2015). Foi quando foi instituído o Código das Águas, que influenciou a criação de leis que dispõem sobre a gestão de águas no Brasil. O código prevê a gratuidade de qualquer água corrente ou nascente para atendimento às primeiras necessidades, além da preferência à derivação para abastecimento das populações (LOPES, 2007).

Em 1981, foi sancionada a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), que tinha como objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições de desenvolvimento socioeconômico, aos interesses de segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendendo a vários princípios, entre eles a racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar (BRASIL, 1981). Mais uma vez foi reforçada a questão da racionalização e do bom uso dos recursos hídricos com a PNMA.

Com a criação da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei 9433/97, a água passa a ser um domínio de bem público; um recurso natural de bem limitado, dotado de valor econômico; seu uso prioritário é para consumo humano e dessedentação de animais; a gestão deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas; a bacia hidrográfica passa a ser a unidade territorial e a gestão

se torna descentralizada e conta com participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997). Dentre os objetivos da PNRH, pode se destacar a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, no intuito de promover o desenvolvimento sustentável e preservação e defesa contra eventos hidrológicos críticos.

A PNRH regulamentou vários instrumentos, sendo um deles o enquadramento dos cursos d'água, segundo usos preponderantes, permitindo uma gestão qualitativa e quantitativa da água por meio do controle sobre os níveis de qualidade dos mananciais (LOPES, 2007). O Sistema de Informações de Recursos Hídricos, outro instrumento, que visa reunir, dar consistência e divulgar os dados e informações sobre a situação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil, utiliza o monitoramento como ferramenta para implementação (CALAZANS, 2015).

A resolução CONAMA nº 357, do ano de 2005, foi estabelecida com o intuito de classificar os corpos d'água e determinar diretrizes ambientais para seu enquadramento, além de estabelecer condições e padrões para lançamento de efluentes (BRASIL, 2005). Com a resolução CONAMA, as águas doces foram separadas em cinco classes, a saber:

*I - classe especial: águas destinadas ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção; à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.*

*II - classe 1: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.*

*III - classe 2: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho; à*

*irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e à aquíicultura e à atividade de pesca.*

*IV - classe 3: águas que podem ser destinadas ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário; e à dessedentação de animais.*

*V - classe 4: águas que podem ser destinadas à navegação; e à harmonia paisagística*

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o órgão consultivo e deliberativo no âmbito federal, sendo o responsável pela formulação de resoluções que determinam os limites legais para parâmetros de qualidade da água, conforme a classificação do curso d'água. Em Minas Gerais, o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) e o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) se tornam os responsáveis. Assim, as concentrações dos parâmetros de qualidade da águas, no estado de Minas Gerais, devem atender aos padrões da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008 (CALAZANS, 2015).

### 2.1.3 Gerenciamento de recursos hídricos em Minas Gerais

O estado de São Paulo foi a primeira unidade da federação brasileira a editar uma política de recursos hídricos, em 1991. Embora o estado tenha se baseado nos princípios constitucionais, desconsiderou alguns aspectos, como os mecanismos de cobrança (ABERS & JORGE, 2005). Minas Gerais também se adiantou na criação da Política Nacional de Recursos Hídricos instituindo a Lei n. 11.504/94. Esta lei já estabelecia o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos de Minas Gerais (IGAM, 2007), orientando também a elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, dentre outras medidas (MINAS GERAIS, 1994). Entretanto, esta lei foi revogada em 1999, sendo instituída uma nova lei, Lei n 13199/99, com base na Política Nacional de Recursos Hídricos, que promovia melhor estruturação da disposição sobre o gerenciamento de recursos hídricos, suas estruturas e organismos.

Com a Lei n. 13199/99, passam a ser instrumentos da PERH: (1) Plano Estadual de Recursos Hídricos; (2) Planos Diretores de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas; (3) Sistema Estadual de Informações sobre Recursos Hídricos; (4) o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo

seus usos preponderantes; (5) a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; (6) a cobrança pelo uso de recursos hídricos; (7) a compensação a municípios pela exploração e restrição de uso de recursos hídricos e (8) o rateio de custos das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo (MINAS GERAIS, 1999).

Dentre esses instrumentos, destaca-se o Plano Diretor de Recursos Hídricos de Bacia Hidrográfica - PDRH - e outorga do direito de uso. O PDRH deve ser utilizado para orientar a execução de ações prioritárias na bacia e acompanhar e controlar a evolução dos processos que interferem na questão dos recursos hídricos (MORAES e KNOPP, 2010). A outorga de direito de uso de recursos hídricos objetiva assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água. De acordo com a Lei nº 9.433/97, os seguintes usos estão sujeitos a outorga:

- a) Derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- b) Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- c) Lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- d) Aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- e) Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

De acordo com o Manual Técnico e Administrativo de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos no Estado de Minas Gerais (IGAM, 2010a), captações, as derivações e os desvios alteram a quantidade de água existente em um corpo hídrico. Tais usos somente poderão ser outorgados se houver disponibilidade hídrica, considerados os usos já outorgados a montante e a jusante de determinada seção do curso de água.

A âmbito estadual, a Resolução CONAMA nº 357 concede espaço para a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008 dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes.

## **2.2 Ferramentas utilizadas no controle e gerenciamento dos recursos hídricos**

Ferramentas como o monitoramento ambiental levam a um controle dos processos que ocorrem na bacia hidrográfica e dão como resposta um alerta quando a qualidade dos cursos d'água não se encontra como o esperado. Aliado ao monitoramento, a representação espacial do levantamento feito consegue identificar poluições difusas e pontuais através de informações georreferenciadas.

### **2.2.1 Monitoramento da qualidade das águas**

Crescimento populacional, urbanização, alterações do uso do solo e poluição de modo geral vêm contribuindo para uma diminuição da qualidade e quantidade de água disponível (LIMA, 2016). Esse fato é característico de áreas com adensamento populacional, especialmente em ambientes urbanos, onde os cursos d'água recebem uma alta quantidade de efluentes, sedimentos e lixo (POMPEU et al., 2005). Entretanto, tanto processos naturais, como clima, precipitação e erosão, como processos antropogênicos podem determinar a qualidade da água de uma região (MENDIGUCHÍA et al., 2004).

Devido ao fácil acesso, águas superficiais são muito vulneráveis a poluição. A descarga de efluentes, de ordem doméstica ou industrial representa uma fonte constante de poluição pontual (TRINDADE, 2013). Pensando nisso, é cada vez mais desejável a obtenção de avaliações confiáveis de qualidade das águas, que venham a ser utilizadas tanto para gestão de recursos hídricos quanto para avaliação de políticas públicas (AYOKO et al., 2007). Segundo Simeonov et al. (2002), o monitoramento cuidadoso da qualidade da água de um rio é uma das maiores prioridades em termos de política de proteção ambiental.

O acompanhamento sistemático da qualidade dos ambientes é atribuição legal dos órgãos da administração pública responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental, conforme definido pela Política Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 1981). Um importante aspecto na avaliação da qualidade da água em um corpo hídrico é o acompanhamento de sua tendência de evolução no tempo, possibilitando, dessa forma, a identificação de medidas preventivas, bem como a eficiência de algumas medidas a serem adotadas. A existência de séries históricas e sua interpretação permitem uma melhor compreensão da evolução temporal da qualidade ambiental e sua correlação com outros fenômenos, de forma a possibilitar o manejo, a conservação e a utilização dos recursos existentes, considerando as diferenças regionais quanto aos aspectos geográficos, sociais e econômicos (TRINDADE, 2013; LAMPARELLI, 2004).

Em geral, um programa de monitoramento inclui coletas frequentes nos mesmos pontos de amostragem e análise em laboratório de um grande número de parâmetros (físicos, químicos e biológicos), resultando em matriz de grandes dimensões e complexa interpretação. Os parâmetros físicos, químicos e biológicos que caracterizam a qualidade das águas acabam sofrendo grandes variações tanto no tempo quanto no espaço, sendo necessário um programa de monitoramento sistemático para se obter a real estimativa da variação da qualidade das águas superficiais (ANDRADE et al, 2007). Os parâmetros utilizados devem ser bons indicadores, que se correlacionam com as alterações ocorridas na microbacia, sejam estas de origens antrópicas ou naturais (TOLEDO e NICOLLELA, 2002), entretanto devido a características próprias de cada sistema é difícil definir uma única variável como indicador padrão. Portanto, em programas de monitoramento procura-se trabalhar com um maior número de variáveis, obtidas de redes de monitoramento, buscando entender as relações existentes entre elas.

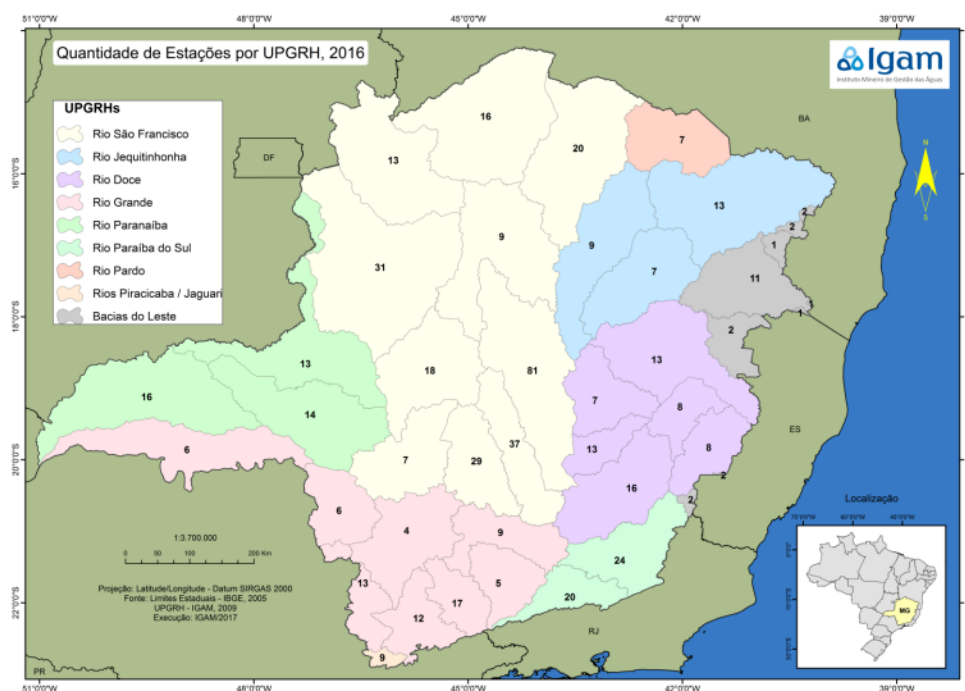
#### *2.2.1.1 Rede de monitoramento de Minas Gerais*

As redes de monitoramento da qualidade das águas superficiais brasileiras tiveram início na década de 70, quando foram implantadas as primeiras redes estaduais. Desde então, cada estado tem adotado diferentes estratégias no estabelecimento de seus programas de monitoramento da qualidade das águas (ANA, 2015).

Em Minas Gerais, o monitoramento de qualidade das águas é realizado pelo Instituto Mineiro de Águas - IGAM, por meio do Projeto Águas de Minas, em execução desde 1997. A rede básica de monitoramento (macro-rede) contava, em 2016, com 554 estações de amostragem distribuídas nas bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Grande, Doce, Paranaíba, Paraíba do Sul, Mucuri, Jequitinhonha, Pardo, Buranhém, Itapemirim, Itabapoana, Itanhém, Itaúnas, Jucuruçu, Peruípe, São Mateus e Piracicaba/Jaguari (IGAM, 2017c). As redes dirigidas, atualmente possuem 21 estações de monitoramento. Essas redes têm objetivos específicos, tais como subsidiar as propostas de enquadramento da sub-bacia da Pampulha e acompanhar a qualidade das Águas da Cidade Administrativa de Minas Gerais (CAMG) e Parque Estadual Serra Verde (PESV).

Visando orientar o planejamento, a estruturação e a formação dos Comitês de Bacia Hidrográfica no Estado, o CERH-MG estabeleceu 36 Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos de Minas Gerais – UPGRH. As UPGRHs, que são unidades físico-territoriais, identificadas dentro das bacias hidrográficas do Estado, apresentam uma identidade regional caracterizada por aspectos físicos, sócio-culturais, econômicos e políticos (IGAM, 2017c). As Unidades de Planejamento podem ser vistas na Figura 3.

**Figura 3 - Rede de monitoramento do estado de Minas Gerais**



. Fonte: IGAM, 2017c.

Além disso, para avaliar a situação da qualidade dos recursos hídricos no estado de Minas Gerais, o Projeto Águas de Minas utiliza os indicadores: Índice de Qualidade das Águas – IQA, Contaminação por Tóxicos – CT, Índice de Estado Trófico- IET, Densidade de cianobactérias e Ensaio de Ecotoxicidade, sendo que os dois últimos são realizados apenas em alguns pontos específicos.

## 2.2.2 Geoprocessamento

O termo Geoprocessamento representa a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicações, energia e planejamento urbano e regional (DAVIS e SIMONETT, 1990). O geoprocessamento vem sendo cada vez mais utilizado, apresentando grande importância no contexto tecnológico e científico devido à organização de informações, dispostas de maneira correta e disponível de forma ágil para planejamento e tomada de decisões importantes. Representa valiosa ferramenta para aplicações em atividades e processos que lidam com recursos geograficamente distribuídos (CÂMARA et al., 2001).

Pode ser considerado um ramo da tecnologia de computação eletrônica que transforma registros de ocorrência em ganho de conhecimento (SOUZA, 2008). A correlação de informações acerca da

qualidade das águas pode ser realizada utilizando-se Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) na implementação e interpretação de informações para um diagnóstico ambiental mais preciso, mais rápido e de menor custo (BILICK e LACERDA, 2005).

A aplicação na gestão de bacias hidrográficas se baseia, em grande parte, em consultas e manipulação de dados geográficos, objetivando não só a espacialização, como também na elaboração de tendências e criação de modelos sobre fenômenos do mundo real (TEIXEIRA e CRUZ, 2005).



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e caracterização da área de estudo

Para fins de planejamento e gestão de recursos hídricos, de acordo com a Deliberação Normativa CERH-MG nº 6/2002, o estado de Minas Gerais foi dividido em Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH), sendo a Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas uma delas. Está localizada na região central do estado de Minas Gerais, apresentando uma forma alongada e inclinada, com uma área de 29.173km<sup>2</sup> e como principais tributários Rio Paraúna, Rio Itabirito, Rio Taquaraçu, Rio Bicudo e Ribeirão da Mata (FEAM, 2010). Nasce na cachoeira das Andorinhas, em Ouro Preto e percorre uma distância de 806,84 km<sup>2</sup> até desaguar no São Francisco no Distrito de Várzea de Palma, sendo dividido em três regiões: alto, médio e baixo Velhas (Figura 4).

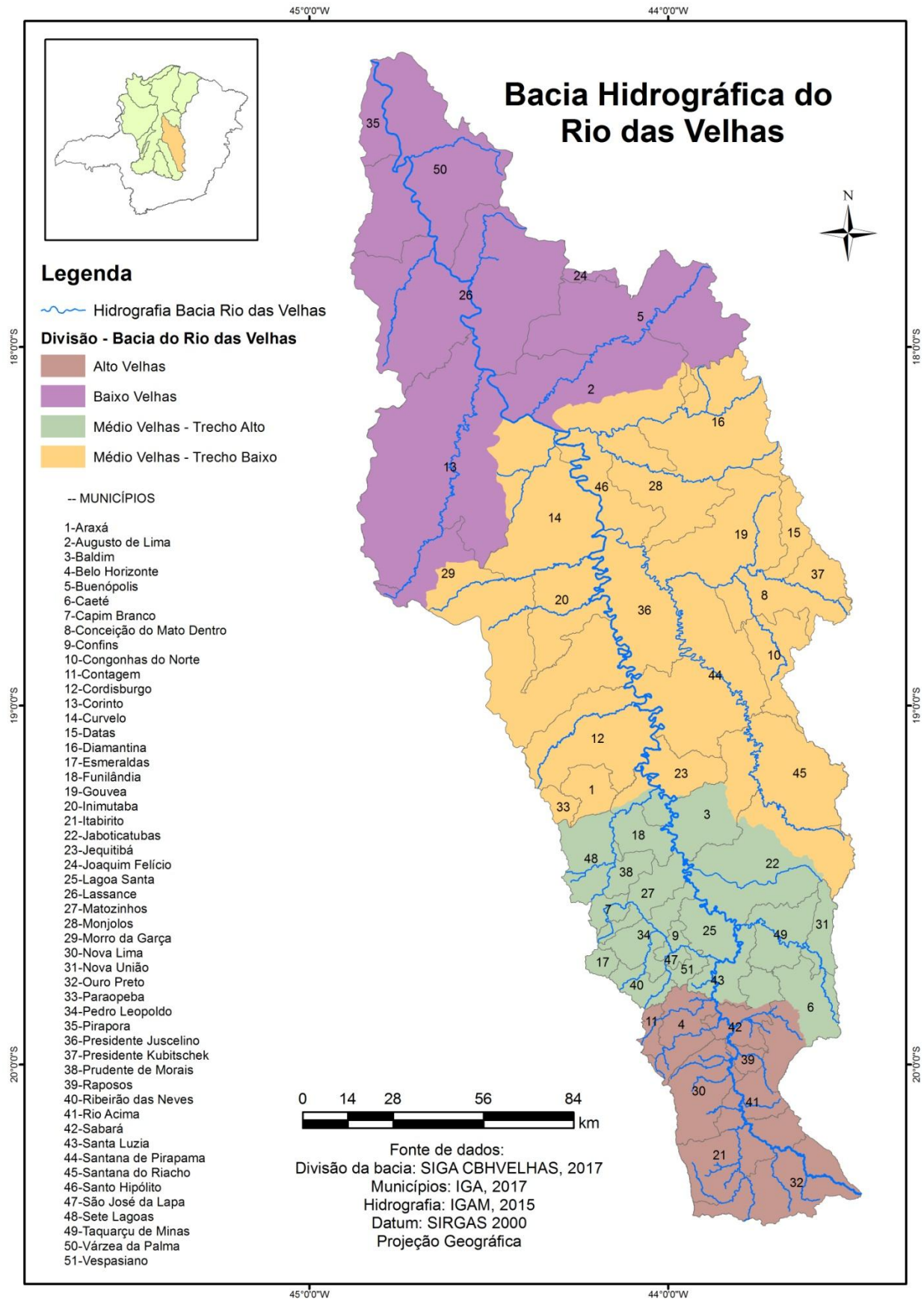
O trecho alto apresenta a maior aglomeração populacional, com uma expressiva atividade econômica, concentrada, principalmente na Região Metropolitana de Belo Horizonte, local dos maiores focos de poluição hídrica de toda a bacia. Já os trechos médio e baixo possuem características diferenciadas em relação ao uso e ocupação do solo, apresentando uma menor concentração populacional e predomínio das atividades agrícolas e pecuárias (CBH VELHAS, 2015).

Para este trabalho foi analisado apenas o trecho alto do médio Rio das Velhas que compreende 31 municípios. Dentre estes estão totalmente inseridos na bacia Capim Branco, Confins, Funilândia, Lagoa Santa, Matozinhos, Nova União, Pedro Leopoldo, Prudente de Moraes, Ribeirão das Neves, São José da Lapa, Taquaraçu de Minas, Vespasiano, enquanto que Baldim (60%), Caeté (58%), Esmeraldas (7%), Jaboticatubas (68%), Jequitibá (24%), Sabará (37%), Santa Luzia (96%) e Sete Lagoas (66%) tem seu território parcialmente inserido da bacia (CBH VELHAS, 2015).

A região é composta por 6 Unidades Territoriais Estratégicas - UTE -, sendo elas: Poderoso Vermelho, Ribeirão da Mata, Rio Taquaraçu, Carste, Jabó-Baldim e Ribeirão Jequitibá. As UTEs se caracterizam por (CBHVELHAS, 2017):

UTE Poderoso Vermelho: composta pelos municípios Sabará, Santa Luzia e Taquaraçu de Minas e considerada prioritária para conservação, uma vez que encontra-se inserida na Província Cárstica de Lagoa Santa. Apresenta uma área urbana que ocupa apenas 9,94% do território e a atividade econômica é a agropecuária ocupando 28,8% do território. Com relação a efluentes, apresenta cinco ETEs em operação, com índice de tratamento de esgotos de 26,63%.

**Figura 4-** Bacia do Rio das Velhas e sua divisão



Ribeirão da Mata: composta pelos municípios Capim Branco, Confins, Esmeraldas, Lagoa Santa, Matozinhos, Pedro Leopoldo, Ribeirão das Neves, Santa Luzia, São José da Lapa e Vespasiano, apresentando oito Unidades de Conservação (UC) inseridas parcialmente em seu território. Seu uso do solo é composto por 38,3% de vegetação arbustiva, 32,7% de atividade agropecuária e 17,9% de área urbana. A UTE possui oito Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) em operação e o índice de tratamento é de 30,54%.

Rio Taquaraçu: constituída pelos municípios Caeté, Jaboticatubas, Nova União, Santa Luzia e Taquaraçu de Minas. Com relação ao uso do solo, 36,8% é de vegetação arbustiva, 31,1% vegetação arbórea e 27,7% para atividade agropecuária. Na UTE existem duas estações de amostragem do IGAM, sendo uma delas no Rio Taquaraçu e outra no Rio Vermelho, seu afluente.

Carste: engloba os municípios Confins, Funilândia, Lagoa Santa, Matozinhos, Pedro Leopoldo e Prudente de Moraes. Nesta UTE, 50,7% do uso do solo é representado pela agropecuária, 22% cerrado e outros 13,2% pela vegetação arbórea. Os municípios de Lagoa Santa, Matozinhos e Funilândia possuem Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) em funcionamento e esta Unidade apresenta o sexto maior índice de tratamento de esgoto entre as UTEs da Bacia do Rio das Velhas.

Jabó-Baldim: compreendida pelos municípios de Baldim e Jaboticatubas. Nesta UTE, 49,6% do uso do solo é representado pela agropecuária e cobertura natural, dividida em vegetação arbustiva (28,9%) e vegetação arbórea (14,3%). Baldim e Jaboticatubas, municípios com sede na UTE, possuem Plano Municipal de Saneamento Básico, entretanto não existe qualquer tipo de tratamento de efluentes na UTE.

Ribeirão Jequitibá: composta pelos municípios Capim Branco, Funilândia, Jequitibá, Prudente de Moraes e Sete Lagoas. Nesta UTE, 56,1% do uso do solo é representado pela agropecuária e 18,5% de cobertura natural, representada unicamente pela vegetação arbustiva. Todos os municípios com sede na UTE possuem Plano Municipal de Saneamento Básico. A UTE Ribeirão Jequitibá apresenta um baixo índice de tratamento de esgoto (26,56%).

A população da Bacia do Velhas, estimada em 4.937.792 milhões de habitantes (IBGE, 2010), está distribuída nos 51 municípios cortados pelo rio e seus afluentes. A região metropolitana de Belo Horizonte ocupa apenas 10% da área territorial da bacia, mas possui mais de 70% de toda a sua população. Ainda de acordo com IBGE (2010), a população do trecho alto da bacia médio Velhas é estimada em 1.146.614 milhões de habitantes e conta com 19 municípios, ocupando uma área de aproximadamente 7.920 km<sup>2</sup>.

### 3.2 Procedimentos Metodológicos

O método foi dividido em três etapas: diagnóstico da qualidade das águas, relação da outorga com a qualidade das águas no trecho e cálculo de autodepuração e análise estatística de tendência a fim de observar a influência das ETEs sobre os corpos d'água.

#### 3.2.1 Diagnóstico da qualidade das águas

Foram utilizados pontos de monitoramento de qualidade das águas administrados pelo IGAM ou pela ANA correspondente a bacia médio rio das Velhas. O monitoramento da qualidade das águas da bacia do médio rio das Velhas inclui variáveis físico-químicas e biológicas, sendo realizado pelo IGAM, no estado de Minas Gerais. A rede de monitoramento da qualidade das águas superficiais em operação pelo IGAM teve início em 1997 e é composta por 68 estações de amostragem no rio das Velhas, sendo 33 localizados no trecho médio da bacia.

Neste trabalho foram utilizadas estações da rede básica de monitoramento da qualidade das águas, implementadas pelos projetos “Águas de Minas”, caracterizadas pela sigla (BV) que visa um monitoramento detalhado nas áreas de poluição dessa região, e pelo projeto Saneamento e Cidadania (SC), que avalia a situação do rio antes e depois das medidas de melhorias implantadas referentes ao Projeto Lixo e Cidadania (Figura 6). Todos os pontos encontrados na bacia médio rio das Velhas fazem parte da Rede Básica de Monitoramento, ou seja, são pontos fixos de monitoramento.

Os dados apresentam frequência de monitoramento trimestral e, em alguns casos, mensal. Com relação ao número de parâmetros de monitoramento analisados, eles variam de 46 a 51 entre as estações de amostragem na área de estudo (Tabela 5).

**Tabela 5-** Dados referentes aos pontos de monitoramento de qualidade das águas superficiais fornecido pelo IGAM.

Pontos	Frequência	Parâmetros
<b>BV001, BV013, BV037, BV063, BV067, BV080, BV083, BV105, BV137, BV138, BV139, BV141, BV142, BV146, BV148, BV149, BV150, BV151, BV152, BV153 e BV156</b>	Mensal	1997-2012: Alcalinidade total, Arsênio total, Bário total, Cádmio total, Chumbo total, Cianeto total, Cloreto total, Clorofila A, Cobre total, Coliformes termotolerantes, Condutividade elétrica, Cor verdadeira, DBO, DQO, Dureza de cálcio, Dureza de Magnésio, Dureza total, Streptococcus

<b>BV010, BV013, BV035, BV037, BV041, BV062, BV063, BV067, BV070, BV076, BV081, BV083, BV085, BV105, BV130, BV133, BV135, BV136, BV137, BV139, BV140, BV141, BV142, BV143, BV144, BV145, BV146, BV147, BV148, BV149, BV150, BV151, BV152, BV153, BV154, BV155, BV156, BV157, BV158, BV159, BV160, BV161, BV162, SC03, SC10, SC12, SC13, SC14, SC16, SC17, SC19, SC21, SC22, SC23, SC24, SC25, SC26, SC27, SC28, SC30, SC33, SC39.</b>	Trimestral	fecais, Fenóis total, Feoftina a, Ferro dissolvido, Ferro total, Fósforo total, Manganês total, Mercúrio total, Níquel total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal, Nitrogênio orgânico, Óleos e graxas, Oxigênio dissolvido, pH, Potássio dissolvido, Selênio total, Sódio dissolvido, Sólidos dissolvidos totais, Sólidos em suspensão totais, Sólidos totais, Substâncias tensoativas, Sulfato, Sulfeto, Temperatura da água, Temperatura do ar, Turbidez e Zinco total.  2013-2016: Inseridos Alcalinidade de bicarbonato, Alumínio dissolvido, Boro total, Cobre dissolvido e Escherichia coli. Coliformes termotolerantes substituídos por totais.
---	------------	--

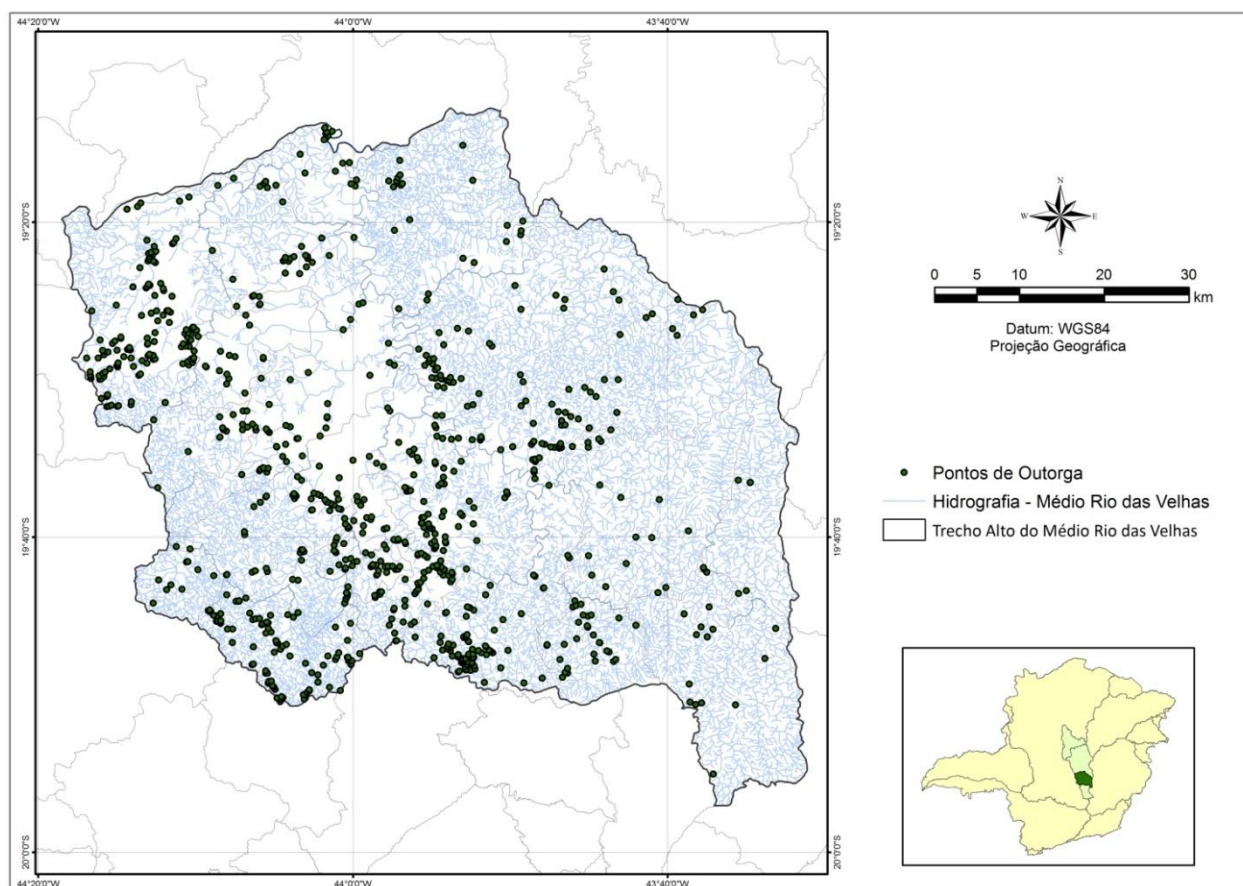
Os pontos de monitoramento foram escolhidos devido à proximidade a uma Estação de Tratamento de Esgoto, a montante ou a jusante. Foram calculadas médias aritméticas do parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para todas as estações de monitoramento do trecho analisado.

Para o parâmetro analisado foi feita uma interpolação utilizando o método Ponderação do Inverso da Distância (IDW), onde os pontos amostrais próximos tem mais peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui influência no novo ponto. A interpolação dos dados foi feita considerando o período de 2005 a 2010 e o ano de 2016. Posteriormente, foi escolhido o método de classificação de Quebra Naturais, uma vez que ao analisar os intervalos gerados, havia uma homogeneidade.

### 3.2.2 Outorga e qualidade das águas

Esta etapa requereu informações referentes aos locais de outorga da bacia médio rio das Velhas. Para obtenção de tal, foram utilizadas informações fornecidas pelo GeoSisemaNet e foram pré-processados e filtrados os dados cujo período de outorga era 2016 adiante. O datum das informações era o WGS84. Estes resultados foram lançados em um software de geoprocessamento e através da função *Kernel Density*, localizada na aba *Spacial Analyst Tools*, no campo *Density*, foi gerado um raster que mostra a distribuição da densidade ao longo de todo o trecho tratado. A figura mostra os pontos localizados no trecho alto médio Velhas (Figura 5).

**Figura 5** - Pontos de outorga no trecho alto da bacia médio Rio das Velhas - 2016 adiante



Além disso, também foi feita a interpolação de dados de qualidade ambiental dos pontos de monitoramento do IGAM e foi também gerado um raster com estas informações. Cruzando as informações é possível observar como está a qualidade das águas nos trechos de maior densidade de pontos de outorga. Foi feita uma reclassificação de ambos os raster gerados com 4 classes cada um. Para o caso da qualidade das águas, as classes foram ótima (2), boa (4), média (6) e ruim (8). Para o raster de densidade de pontos de outorga as classes foram baixa (20), moderada (40), densa (60) e muito densa (80). A partir daí foi feita uma matriz de atribuição de maneira que fosse possível identificar diversos cenários dentro da área (Tabela 6).

**Tabela 6** - Matriz de atribuição de relação de qualidade de água e densidade de pontos de outorga

		Densidade de outorga			
		Baixa	Moderada	Densa	Muito densa
Qualidade das águas		20	40	60	80
Ótima	2	11	21	31	41
Boa	4	12	22	32	42
Média	6	13	23	33	43
Ruim	8	14	24	34	44

Por meio da análise da matriz, foram determinados quatro cenários da atual situação da outorga e a qualidade das águas no trecho alto da bacia médio rio da Velhas, que foram relacionados através dos atributos unitários gerados através da Álgebra de Mapas, realizada no ArcGis. Foram somados os raster, sendo que cada um teve peso de 0,5, mostrando que elas têm pesos iguais na análise. As classes podem ser observadas na Tabela 7.

**Tabela 7** - Classificação das áreas após a álgebra de mapas

<b>Reclassificação</b>	<b>Valores unitários</b>	<b>Classes definidas</b>
<b>1</b>	11-12-21-22	Potencial de exploração
<b>2</b>	33-34-43-44	Muito explorada e degradada
<b>3</b>	13-14-23-24	Atenção na concessão (limitação de usos)
<b>4</b>	31-32-41-42	Exploração coerente

Foram definidas como áreas de potencial de exploração áreas que apresentam boa qualidade da água entretanto apresentam poucos pontos de outorga. Áreas com qualidade ruim e muitos pontos de outorga são áreas muito exploradas e provavelmente degradadas. Regiões com baixa densidade de pontos e qualidade de média a ruim foram consideradas necessitadas de atenção na concessão na outorga, levando em conta alguns usos que requerem qualidades melhores, como irrigação. Por fim, áreas com qualidade boa e ótima e densidades altas de outorga são áreas que são exploradas levando em conta seu potencial máximo, consideradas áreas de exploração coerente.

### 3.2.3 Influência de ETEs sobre cursos d'água

Para uma análise mais específica sobre o impacto da implantação das ETEs sobre os cursos d'água foi feita a avaliação de como o curso hídrico se recupera depois de um lançamento, processo conhecido como autodepuração. Os dados foram também analisados por meio de análises de tendência temporais, que possibilitam a avaliação de longas séries de dados de forma resumida e completa, indicando possíveis mudanças que o crescimento e o desenvolvimento acelerado estão causando no ecossistema aquático (GROPPO, 2005).

#### 3.2.3.1 Autodepuração

A autodepuração fornece informações sobre o decréscimo de oxigênio dissolvido e a concentração do mesmo ao longo do tempo na massa líquida após o lançamento de algum efluente. Para tais cálculos, foi utilizado o modelo de *Streeter Phelps* que desenvolveu a relação entre o decaimento da matéria orgânica, medido pela DBO e OD em rios.

Foram necessárias informações referentes às estações de tratamento de esgoto localizadas no trecho de estudo, sendo obtidas junto a FEAM, que desenvolve desde 2006 o programa Minas Trata Esgoto, estruturado para realizar a gestão estratégica da implantação de sistemas de tratamento de esgotos, permitindo a universalização dos serviços e melhorias na qualidade de vida da população. Em 2014 e 2015, procurou avaliar as carências para melhoria do sistema de esgotamento sanitário do Estado, referentes à cobertura dos serviços de coleta e tratamento de esgoto. Foram utilizados, para este trabalho, dados referentes a situação das Estações de Tratamento de Esgoto encontradas na bacia rio das Velhas no relatório " Desenvolvimento de Plano para Incremento do Percentual de Esgotamento Sanitário da Bacia do Rio das Velhas", realizado em 2015 e gerenciado pela própria FEAM. Foram fornecidos informações referentes às ETEs, coordenadas geográficas, órgão responsável pela administração, situação atual e local de lançamento de efluentes (Anexo A).

Com essas informações em mãos, e utilizando os Planos de Saneamento Básico (PMSB) que passaram a ser obrigatórios a partir de 2015, foram adquiridas também informações referentes ao ano de implantação das ETEs dos municípios estudados. A partir dos anos de implantação de cada ETE é possível analisar sua interferência sobre o curso d'água mais próximo. A Tabela 8 apresenta as ETEs que serão utilizadas neste trabalho.

**Tabela 8-** ETEs analisadas neste trabalho, localizadas no trecho alto da bacia do médio rio das Velhas

<b>MUNICÍPIO</b>	<b>NOME ETE</b>	<b>CORPO RECEPTOR</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO</b>
Matozinhos	ETE Matozinhos	Ribeirão da Mata	2013
Pedro Leopoldo	ETE Pedro Leopoldo	Ribeirão da Mata	2015
Sete Lagoas	ETE Monte Carlo	NI	2008
Sete Lagoas	ETE Tamanduá	NI	2008
Jequitibá	ETE Jequitibá	Rio das Velhas	2006

Algumas ETEs da bacia do médio rio das Velhas, entretanto, não participaram da análise, devido a falta de pontos de monitoramento de qualidade das águas próximo ou a montante, ao ano de implantação ser anterior ao início de monitoramento ambiental (impedindo uma análise prévia do curso d'água), ao fato da estação de tratamento ser muito recente (não haver disponibilizado dados de monitoramento após a implantação) ou ainda a não disponibilização de informações a respeito deste ano de implantação.

Foram necessários ainda dados referentes a características do efluente e do corpo receptor. Com relação ao efluente, foram necessárias informações sobre vazões afluentes e concentrações de DBO e OD no efluente final. As informações do oxigênio dissolvido foram obtidas através da literatura que



determina valores de OD no efluente dependendo do tipo de tratamento (Tabela 9). Sobre as concentrações de DBO, dado que usualmente esgotos apresentem uma concentração média de 300 mg/L de DBO, considerando a eficiência do tratamento utilizado era possível estimar a concentração efluente. Valores de eficiência de cada sistema podem ser vistos na Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4. As vazões foram fornecidas pelos Planos Municipais de Saneamento Básico de cada município.

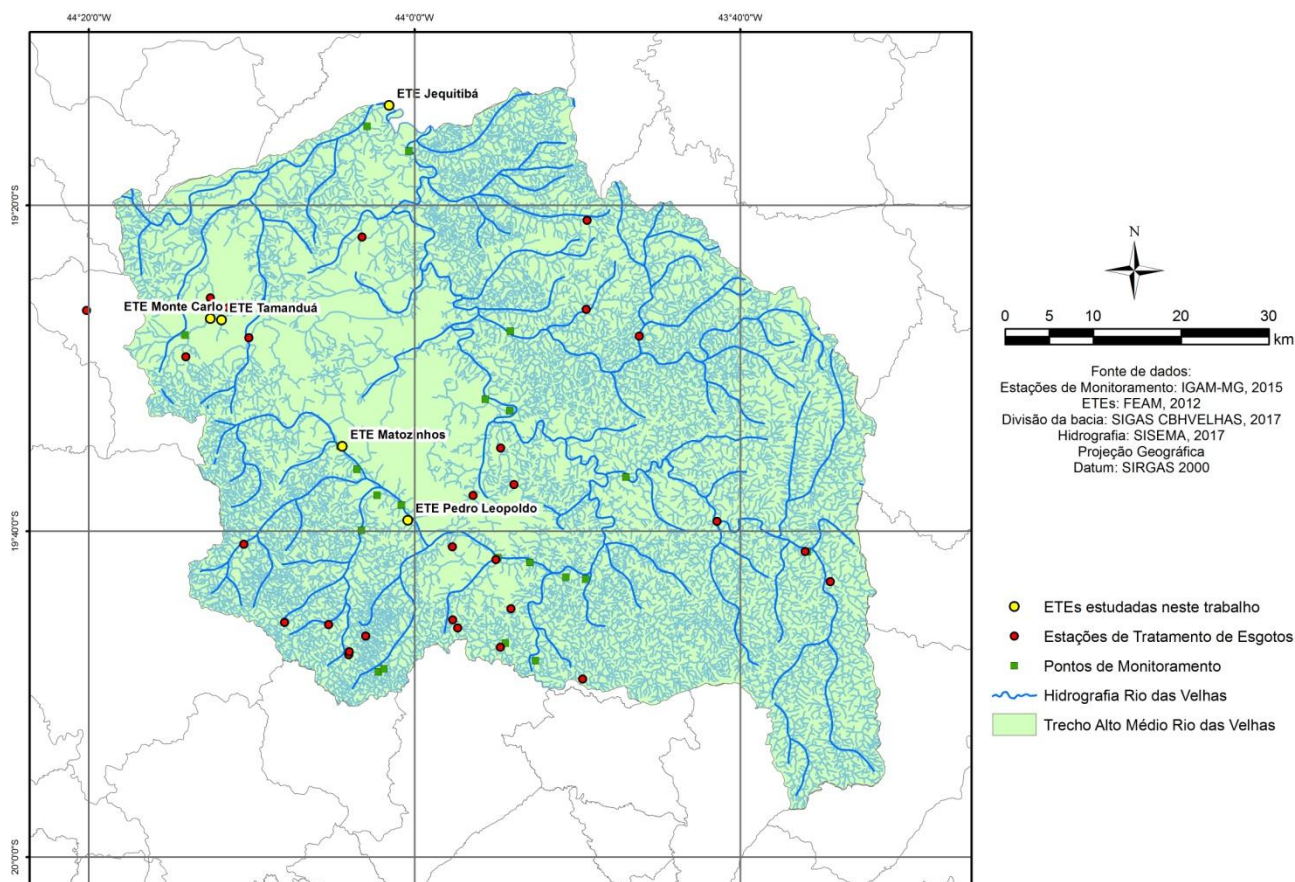
**Tabela 9-** Valores de Oxigênio dissolvido para efluentes finais de ETEs

<b>Tipos de tratamento</b>	<b>Concentrações de OD (mg/L)</b>
Sistemas Anaeróbios	0
Tratamento primário	0
Lodos ativados	2
Lagoas	5

Fonte: Von Sperling, 2005

Com relação as características dos corpos receptores, foram necessárias informações da profundidade e largura do corpo d'água, as concentração DBO e OD dos cursos d'água, temperatura e salinidade. As informações das concentrações foram obtidas dos pontos a montante das ETEs analisadas (Figura 6). A fim de ilustrar o impacto de cada ETE sobre o curso d'água, foram padronizados os valores de largura e profundidade dos rios, uma vez que não foram encontradas informações específicas a respeito de cada um.

**Figura 6** - Localização das ETEs e dos Pontos de Monitoramento no trecho alta da bacia médio Rio das Velhas



Com relação aos coeficientes, os valores comumente adotados de  $k_1$  (coeficiente de desoxigenação) podem ser vistos na Tabela 10.

**Tabela 10** - Valores adotados de  $k_1$  em condições de laboratório

Origem	$k_1$ (dia <sup>-1</sup> )
Esgoto bruto concentrado	0,35-0,45
Esgoto bruto de baixa concentração	0,30-0,40
Efluente primário	0,30-0,40
Efluente secundário	0,12-0,24
Curso d'água com águas limpas	0,08-0,20

Fonte: Von Sperling (2007)

A Tabela 11 mostra a relação de valores de  $k_1$  e  $k_d$ , sendo que para este trabalho foram adotados valores de  $k_d$  iguais a 0,22.

**Tabela 11-** Valores típicos para k1 e kd

Origem	K1	Kd	
		Rios rasos	Rios profundos
Curso d'água recebendo esgoto bruto concentrado	0,35-0,45	0,50-1,00	0,35-0,50
Curso d'água recebendo esgoto bruto de baixa concentração	0,30-0,40	0,40-0,80	0,30-0,45
Curso d'água recebendo efluente primário	0,30-0,40	0,40-0,80	0,30-0,45
Curso d'água recebendo efluente secundário	0,12-0,24	0,12-0,24	0,12-0,24
Curso d'água com águas limpas	0,080-0,20	0,080-0,20	0,080-0,20

Fonte: Von Sperling (2007)

Devido a falta de dados e suposição de rios não tão profundos, foi adotada a equação de Owens et al (apud BRANCO, 1978; CHAPRA, 1997) para cálculo do k2 (Tabela 12), com profundidade padronizada de rios de 1m e largura também padronizada de 7 m. Foi feita a padronização devido a falta de dados.

**Tabela 12 -** Cálculos para determinação de k2

Pesquisador	Fórmula	Faixa de aplicação aproximada
O'Connor & Dobbins (1958)	$3,93 * v^{0,5} * H^{-1,5}$	$0,6\text{m/s} \leq H < 4\text{m/s}$ $0,05\text{m/s} \leq v < 0,8\text{m/s}$
Chuchillet al (1962)	$5,0 * v^{0,97} * H^{-1,67}$	$0,6\text{m/s} \leq H < 4\text{m/s}$ $0,05\text{m/s} \leq v < 1,5\text{m/s}$
Owens et al (ap Branco, 1978; Chapra, 1997)	$5,3 * v^{0,67} * H^{-1,85}$	$0,1\text{m/s} \leq H < 0,6\text{m/s}$ $0,05\text{m/s} \leq v < 1,5\text{m/s}$

Fonte: Von Sperling (2007)

A temperatura tem muita influência sobre o metabolismo microbiano, logo devem ser feitas conversões dos coeficientes para temperatura da amostra de água. A Equação 1 mostra como é feita a conversão, sendo o valor de  $\theta$  variável. Para o caso de kd adota-se o valor 1,047 enquanto para k2 adota-se 1,024.

$$k = k_{20} * \theta^{(T-20)} \quad \text{(Equação 1)}$$

As equações de mistura são utilizadas para a modelagem (VON SPERLING, 2007), logo foram determinadas concentração de oxigênio no rio logo após a mistura ( $C_o$ ), concentração de DBO da mistura ( $DBO_5$ ) e DBO última da mistura ( $L_o$ ) (Equação 2, 3 e 4).

$$C_o = \frac{Q_r * OD_r + Q_e * OD_e}{Q_r + Q_e} \quad \text{(Equação 2)}$$

$$DBO_5 = \frac{Q_r * DBO_r + Q_e * DBO_e}{Q_r + Q_e} \quad \text{(Equação 3)}$$

$$L_o = DBO_5 * k_t = k_t * \frac{(Q_r * DBO_r + Q_e * DBO_e)}{Q_r + Q_e} \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde  $Q_r$  é a vazão do rio em  $m^3/s$ ,  $Q_e$  é a vazão do efluente ( $m^3/s$ ),  $OD_r$  é a concentração de oxigênio dissolvido do rio (mg/L),  $OD_e$  a concentração de oxigênio dissolvido da amostra (mg/L),  $DBO_r$  a DBO do rio (mg/L) e  $DBO_e$  a DBO do efluente (mg/L).

Para determinar a concentração de Oxigênio dissolvido em um tempo  $t$  faz-se necessária a Equação 5, onde  $C_s$  é a concentração de saturação de oxigênio do meio (mg/L),  $K_d$  é o coeficiente de decomposição,  $k_1$  é o coeficiente de desoxigenação,  $k_2$  o coeficiente de reaeração,  $L_o$  a DBO última da mistura (mg/L) e  $C_o$  é a concentração inicial de oxigênio.

$$C_o = C_s - \left\{ \frac{k_d * L_o}{k_2 - k_d} * (e^{-k_d * t} + e^{-k_2 * t}) + (C_s - C_o) * e^{-k_2 * t} \right\} \quad \text{(Equação 5)}$$

Para o caso do déficit de oxigênio, a Equação 6 descreve o fenômeno, com variáveis semelhantes às utilizadas no cálculo da concentração de oxigênio dissolvido no tempo  $t$ .

$$D = D_o * e^{\frac{-k_2}{v} * t} + \frac{k_1 * L_o}{k_2 - k_1} * (e^{\frac{-k_1}{v} * t} + e^{\frac{-k_2}{v} * t}) \quad \text{Equação 6}$$

As informações referentes a concentração em determinado tempo e o déficit neste tempo podem ser visualizadas na forma de gráfico, de modo a facilitar a interpretação dos resultados.

### 3.2.3.2 Análises temporais

Esta etapa consistiu na organização e sistematização dos dados de monitoramento da qualidade das águas da bacia do médio Rio das Velhas, de forma a elaborar um banco de dados para a realização dos tratamentos estatísticos para análise da influência de outros parâmetros sobre a qualidade das águas. Os dados secundários, do período de 1997 a 2016, foram organizados em planilhas Excel, separadamente para cada ponto de monitoramento.

Em termos estatísticos, determinar se o valor de uma variável diminuiu ou aumentou (melhorou ou piorou) ao longo do tempo significa determinar se a distribuição de probabilidade dessa variável mudou ao longo do tempo. A presença de uma tendência estatisticamente significativa é avaliada usando o valor de Z. Essa estatística é utilizada para testar a hipótese nula, ou seja, que nenhuma tendência existe. O teste utilizado para análise neste trabalho será o Mann Kendall, não paramétrico e sugerido pela Organização Meteorológica Mundial para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais. Foi utilizado este teste não paramétrico, uma vez que ele não exige muitas suposições quanto a distribuição da variável, são mais flexíveis, robustos e são aplicáveis para análises de dados qualitativos.

O software utilizado foi o Pró UCL versão 5.1, desenvolvido pela USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos) em 1999. Ele fornece ferramentas gráficas e estatísticas para lidar com a tomada de decisões protegendo a vida humana e o meio ambiente (USEPA, 2015).

Os pontos que serão comparados podem ser observados na Tabela 13.

**Tabela 13-** Relação entre ponto de monitoramento e ETE

<b>Ponto de monitoramento a montante</b>	<b>Ponto de monitoramento a jusante</b>	<b>ETE</b>	<b>Localização ETE</b>
SC22	SC23	ETE Matozinhos	Matozinhos
SC21	SC17	ETE Pedro Leopoldo	Pedro Leopoldo
SC25	SC26	ETE Monte Carlo	Sete Lagoas
SC26	BV140	ETE Tamanduá	Sete Lagoas
BV156	BV141	ETE Jequitibá	Jequitibá

Para estas estações, optou-se por acompanhar aqueles utilizados para cálculo de IQA, sendo eles: DBO e Fósforo total. Somados a estes, optou-se também por analisar Nitrogênio Amoniacal, devido a altas concentrações verificadas em efluentes domésticos; e Sólidos dissolvidos totais e Turbidez, por demonstrarem eficiência no tratamento físico-químico das ETEs.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Diagnóstico de cobertura por serviços de esgotamento sanitário na bacia

De acordo com o Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM), em 2010, através da análise do IQA e da DBO, o Rio das Velhas apresentava melhora da qualidade com relação ao ano de 2003. Os resultados analisados comprovam esta afirmação e mostraram uma melhora significativa na média de DBO no Rio das Velhas com diminuição de 15,25mg/L em 2003 para 7,6mg/L em 2009 (IGAM, 2017b).

Acredita-se que essa melhora vem de um projeto estruturador pelo governo que objetivava identificar as principais causas de degradação da bacia do rio das Velhas, sendo, os ribeirões Arrudas e do Onça, os principais agentes de carreamento de poluentes, firmado em 2013. O principal objetivo do Projeto Estruturador Revitalização do Rio das Velhas - Meta 2010 consiste na melhoria da qualidade das águas, visando alcançar a Classe 2 (SEMAD, 2017). Em 2007, a partir da parceria com a organização não governamental (ONG) Projeto Manuelzão, da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), o projeto passou a ser um dos Programas Estruturadores do Governo de Minas e ações no sentido de recuperar uma bacia foram intensificadas.

Dentre as diversas ações que contribuem para a melhoria da qualidade das águas do rio das Velhas destaca-se, principalmente, a construção de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), os programas de interceptação de esgotos e a melhoria da eficiência das estações na eliminação da poluição. Através de dados analisados, das 31 Estações de Tratamento de Esgoto municipais localizadas no trecho alto na bacia médio rio das Velhas, 15 foram instaladas após 2005, mostrando a importância da implantação de planos que suportem a restauração e preservação dos cursos d'água.

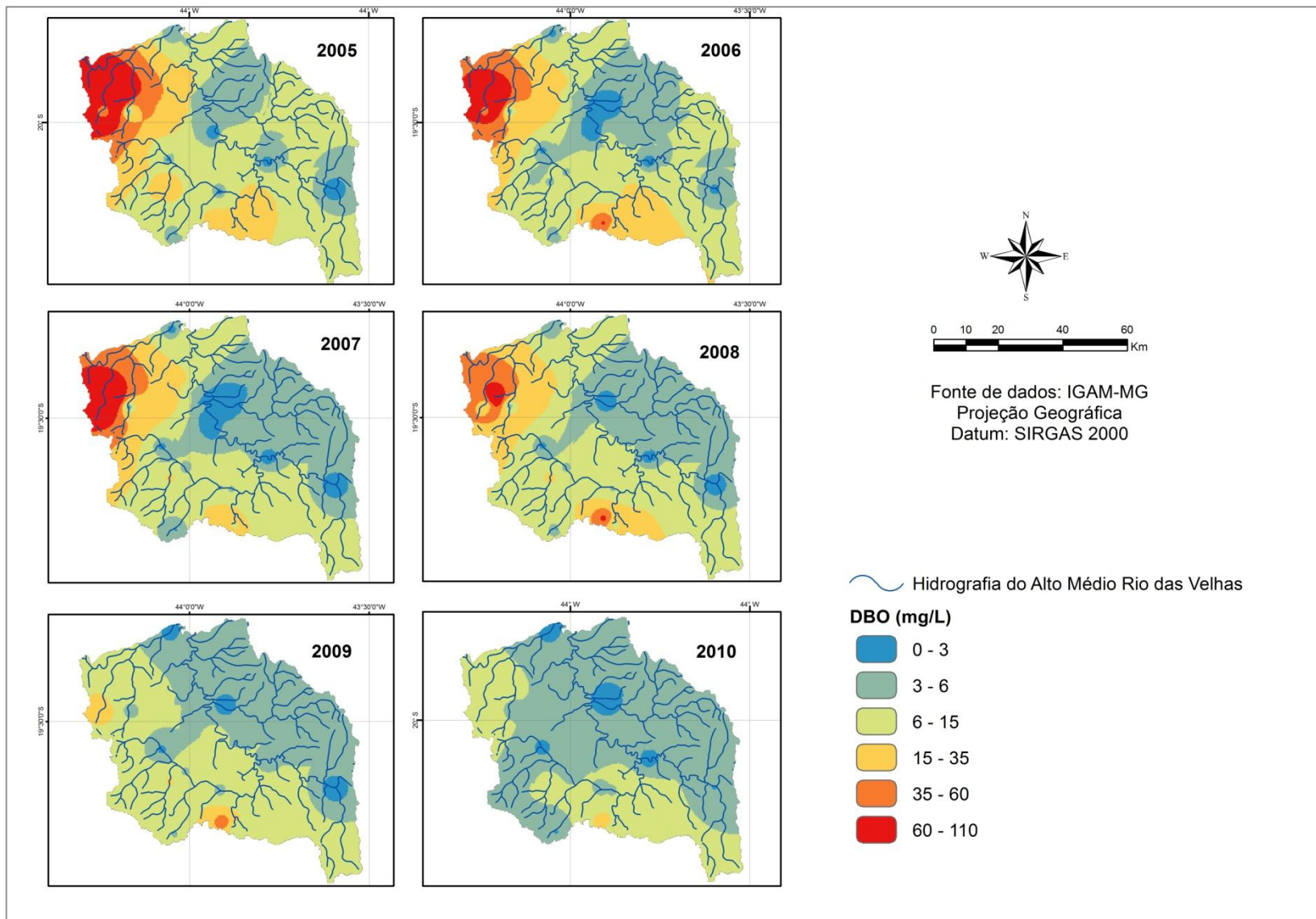
Como continuidade das ações de revitalização propostas pela Meta 2010, é lançada a Meta 2014, prevendo ações a serem executadas até o ano de 2015. Dentre as ações estratégicas tinha-se a o tratamento de esgotos de todas as cidades do ribeirão da Mata, Sabará e Nova Lima, além do fortalecimento do comitê de bacia e um novo plano diretor da bacia e integração de gestão ambiental com a gestão das águas, com respeito ao enquadramento dos cursos de água.

Paralelo a esse projeto, em 2016, foi lançado o projeto Coalização Cidade pelas Águas, que já atua em outras regiões. As bacias dos rios das Velhas e Paraopeba são alvo de um projeto de recuperação das áreas degradadas, que poderá aumentar a captação de água e indiretamente melhorar a qualidade das águas no trecho em questão diminuindo o stress hídrico. Inicialmente, o projeto objetivava identificar as localidades prioritárias na Grande BH, como áreas de cabeceira de rios, e de maior

vulnerabilidade a erosões. As ações de restauração e conservação serão feitas por meio de técnicas, como o manejo de práticas agrícolas, e melhoria de estradas rurais (CIDADE PELAS ÁGUAS, 2017).

Com a Lei Federal nº 11.445/07, os municípios ficam responsáveis pela elaboração do Plano Municipal Saneamento Básico que surge para regularizar a situação em relação aos sistemas de esgotamento sanitário, abastecimento de água, resíduos sólidos e drenagem urbana. Acredita-se que tais projetos citados, aliados a políticas instauradas, estejam levando a uma lenta, porém progressiva melhora da qualidade dos cursos d'água. Neste contexto, a Figura 7 mostra a evolução temporal do parâmetro DBO para a bacia do médio rio das Velhas no período 2005-2010, onde lê-se maiores valores de DBO indicando pior qualidade de água com maiores requisitos de oxigênio para degradar toda a matéria orgânica presente.

**Figura 7** - Evolução temporal do parâmetro DBO no trecho médio do rio das Velhas

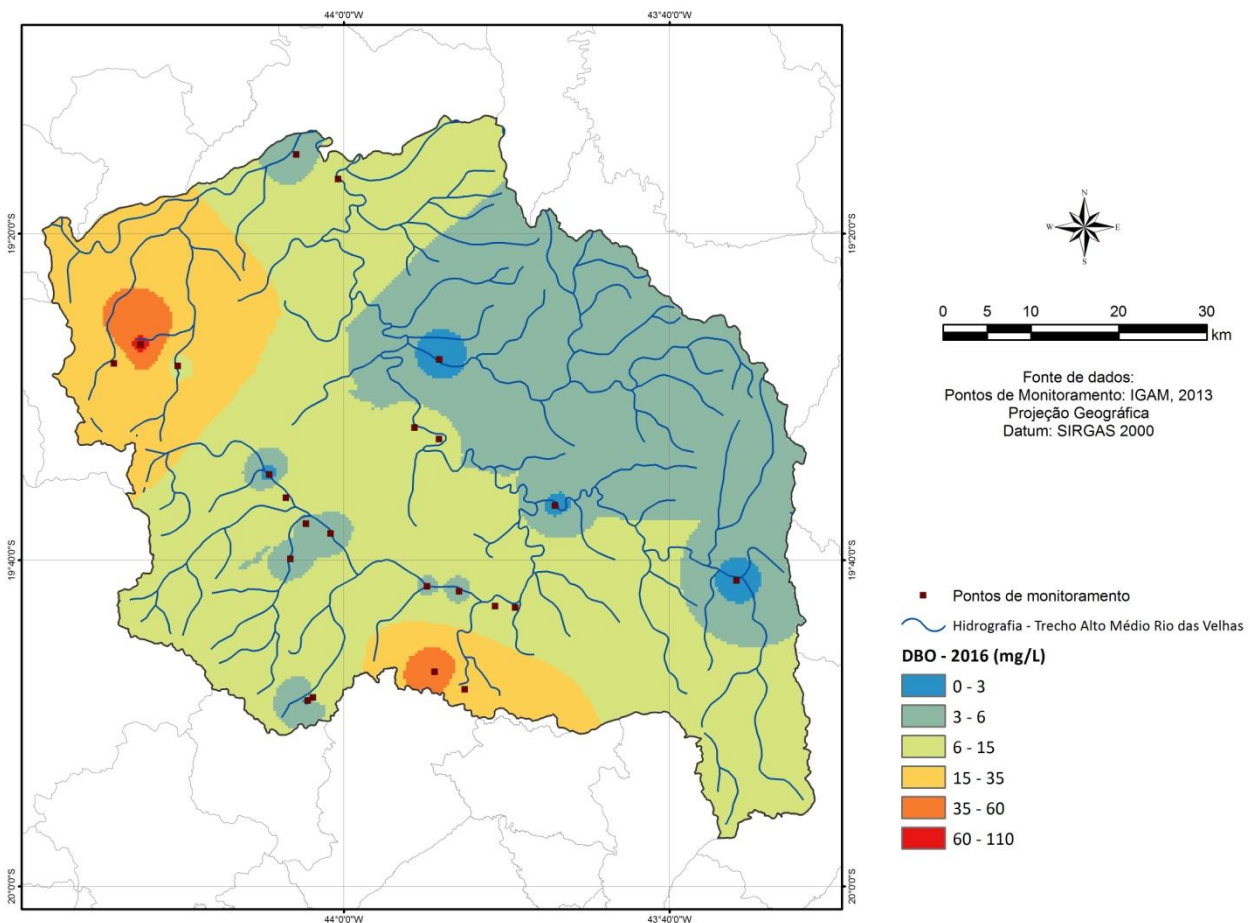




Na região onde são observados os maiores valores de DBO localizam-se várias ETEs do município de Sete Lagoas - ETE Barreiro, ETE Tamanduá, ETE Monte Carlo, ETE Areias, ETE Jardim Primavera e ETE Iporanga - que se encontram em sua maioria em situações precárias. O município de Sete Lagoas está localizado a 60 quilômetros de Belo Horizonte e possui cerca de 220 mil habitantes e apesar de ser um grande pólo de desenvolvimento comercial e industrial, era em 2009, o segundo maior poluidor da bacia do Rio das Velhas. Todo o esgoto do município era coletado, mas apenas 4% recebia tratamento adequado e o restante jogado diretamente no Ribeirão Jequitibá (IGAM, 2017a). Em outras regiões mais próximas do Alto Rio das Velhas, o comportamento se repete em municípios como Vespasiano, Ribeirão das Neves e Santa Luzia.

As informações mais recentes referentes à qualidade das águas no trecho são de 2016, fornecidas pelo IGAM (Figura 8). Observa-se uma piora em relação ao período 2005-2010, com DBO alcançando 60 mg/L em algumas regiões, entretanto situação considerada boa levando em conta o histórico da região.

**Figura 8 -** Qualidade das águas no trecho alto da bacia médio rio das Velhas - 2016

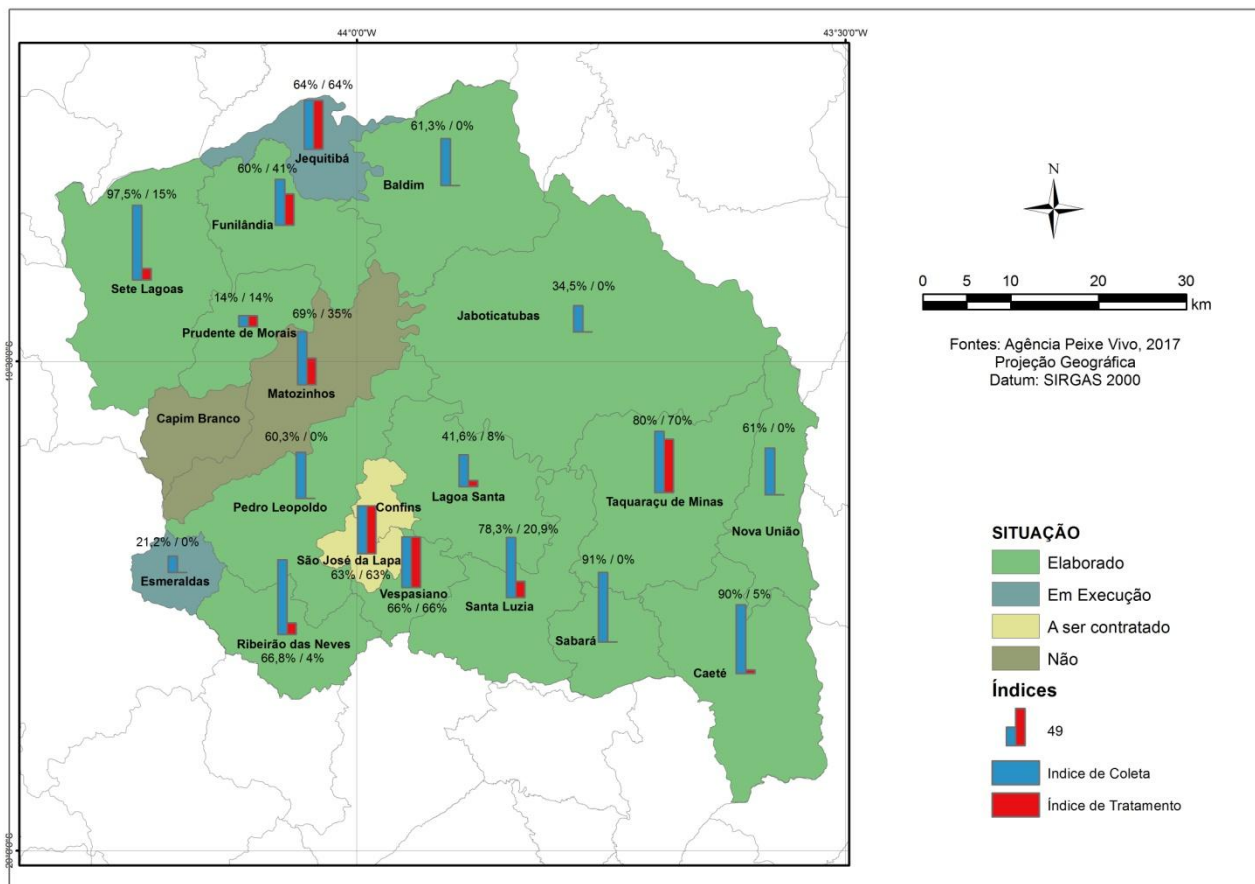


É possível observar que, fazendo um comparativo com a Figura 7, a qualidade da água se deteriorou no período 2010-2016, devido provavelmente ao lançamento de fontes pontuais não autorizadas nos cursos hídricos. Observa-se entretanto, que nesta região, não foram observadas situações críticas (DBO = 110mg/L) semelhantes ao a outros períodos.

Para evitar que este tipo de contaminação aconteça, uma das principais ações vão na direção da fiscalização quanto a poluição difusa. Em 1997, foi implantado o programa Caça Esgoto, de responsabilidade da Copasa, que identifica e retira o esgoto despejado inadequadamente nas galerias pluviais, nos córregos e nos rios, encaminhando-os para as ETEs. De 2003 a 2008 foram eliminados aproximadamente 550 lançamentos, que progressivamente afetam positivamente na qualidade da bacia (IGAM, 2017a).

Em relação a situação dos municípios desta região quanto ao Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) e aos índices de coleta e tratamento de esgoto encontra-se satisfatória, uma vez que a maior parcela dos municípios já elaborou o PMSB. A grande maioria dos municípios encontra-se próxima da capital mineira e/ou pertence a Região Metropolitana de Belo Horizonte, o que pode ser um fator determinante. Os municípios de Matozinhos e Capim Branco não realizaram o PMSB, nem existe algum projeto de contratação ou parceria para que ocorra (PEIXE VIVO, 2017). Os municípios Esmeraldas e Jequitibá estão na etapa de execução da documentação. Confins e São José da Lapa estão na etapa de contratação dos responsáveis pela elaboração (Figura 9). É importante considerar este instrumento de planejamento, uma vez que objetivam o diagnóstico do saneamento básico no território dos municípios e definir o planejamento para o setor, considerando-se o horizonte 20 anos e metas de curto, médio e longo prazos.

**Figura 9-** Situação dos municípios do trecho alto da bacia do médio rio das Velhas quanto ao PMSB e aos índices de coleta e tratamento de esgoto



Observa-se que 35% dos municípios apresenta uma coleta parcial dos efluentes domésticos, desprovidos de qualquer tipo de tratamento destes. Por exemplo, no caso de Jaboticatubas, 34,5% da população conta com um sistema de coleta, entretanto a Estação de Tratamento de Esgotos do município encontra-se desativada com o esgoto sendo lançado *in natura* no Córrego Grande. Pedro Leopoldo, Esmeraldas, Baldim, Sabará e Nova União são providos de um sistema de coleta, entretanto, devido à falta de ETEs, estes efluentes são lançados *in natura* no rio, levando a contaminação dos corpos d'água.

O baixo índice de tratamento de esgoto verificado em Santa Luzia eleva os riscos de incidência de doenças de veiculação hídrica junto à população, principalmente, em crianças, o que acarreta um aumento dos gastos pelas unidades de saúde municipais. Conforme o próprio PMS da referida cidade, a cada R\$ 1,00 investido em saneamento básico representa uma economia de R\$ 4,00 na saúde (SANTA LUZIA, 2014).

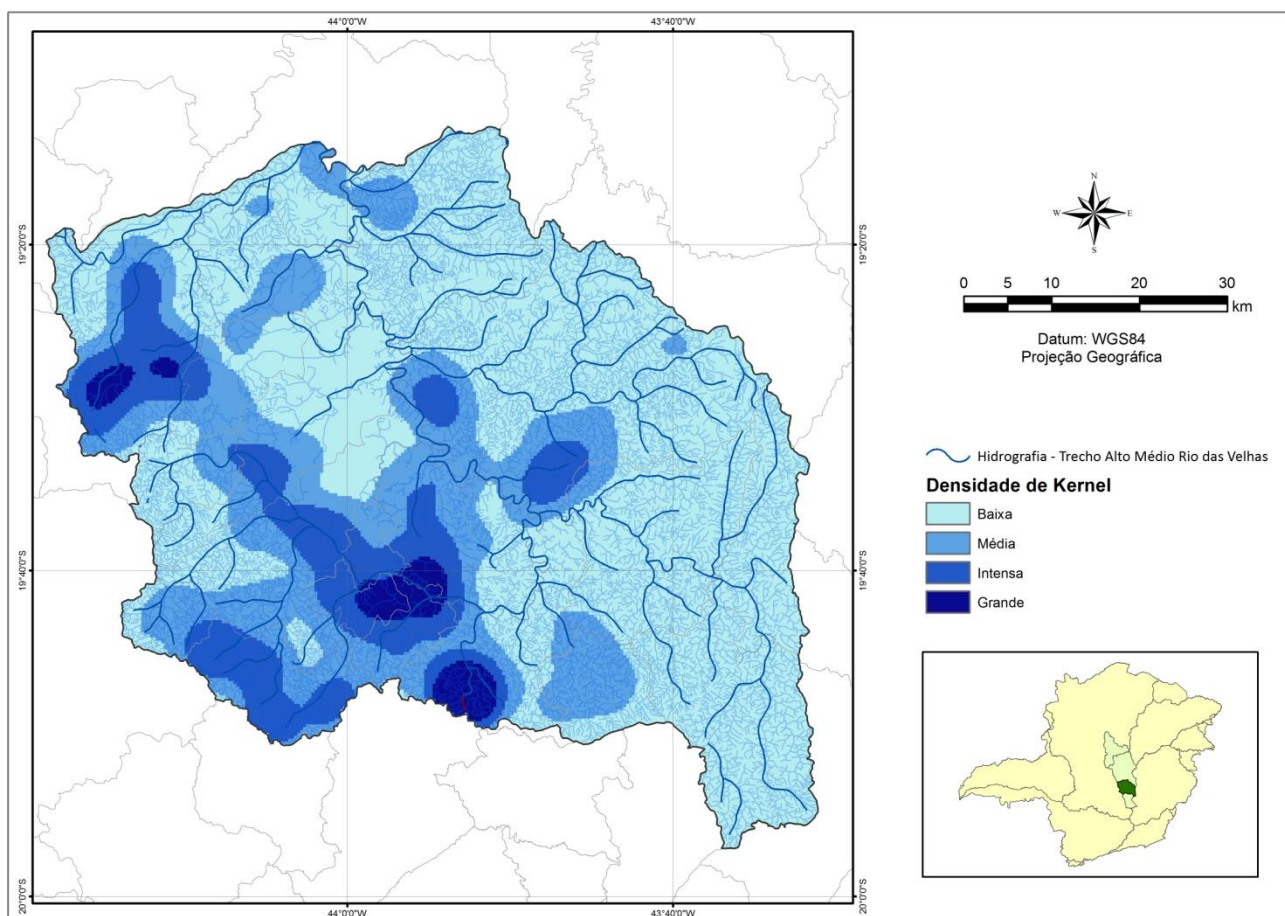
Os municípios como Taquaraçu de Minas, São José da Lapa, Vespasiano e Jequitibá apresentam os melhores índices de tratamento de esgoto. O município de Taquaraçu de Minas possui cerca de 80% de redes coletoras de esgotos implantadas na área urbana, sendo que 70% dos esgotos são coletados e enviados para a ETE Taquaraçu, que opera em boas condições desde 2010, quando inaugurada.

Os municípios Caeté, Nova União, Sabará e Taquaraçu de Minas tiveram seu PMSB realizado pela COBRAPE -Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos- financiado com recursos provenientes da cobrança pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas.

## **4.2 Outorga e qualidade das águas**

Após realização da Densidade de Kernel, a Figura mostra a distribuição da densidade dos pontos de outorga superficial e subterrânea ao longo do trecho alto da bacia médio. Observa-se que a densidade de pontos se concentra na área próxima a região metropolitana da capital mineira e na região do município de Sete Lagoas (Figura 10). De acordo com o Laboratório de Estudos de Bacia (USP), a região de Sete Lagoas foi a que a polícia ambiental mais reportou chamadas para mediar conflitos hídricos e segue, de acordo com pesquisadores, para se tornar mais uma bacia de embates pelo uso da água (LEBAC, 2015).

**Figura 10** - Densidade de pontos de outorga no trecho alto da bacia médio rio das Velhas - 2016 adiante



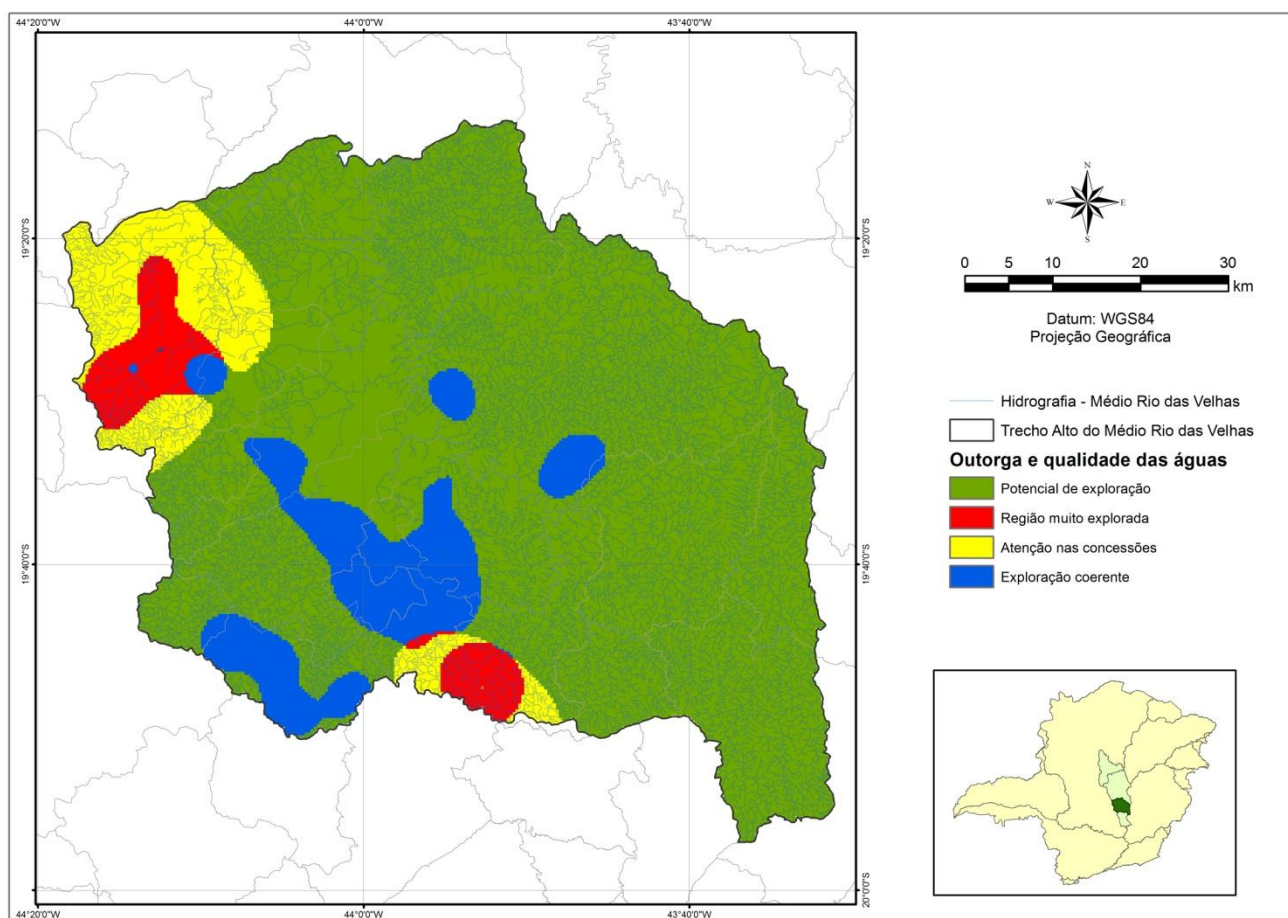
De acordo com o IGAM (2015), na Bacia do Rio das Velhas, a finalidade de abastecimento é o uso de recurso hídrico mais expressivo, que corresponde a 61,74% da vazão outorgada. Em 2014, a bacia hidrográfica do Rio das Velhas possuía 1.496 outorgas vigentes, sendo que destas, 243 são para uso das águas superficiais e 1.253 para o uso das águas subterrâneas (IGAM, 2015).

Quando foram cruzadas informações de qualidade, levou-se em conta que o problema da carência dos recursos hídricos deve ser entendido como uma dupla preocupação: a da quantidade da água, necessária para atender a demandas atuais e futuras, e a da qualidade, necessária para permitir o seu uso sem o comprometimento das demandas ecossistêmicas.

Ao sobrepor os mapas, têm-se que as regiões de maior concentração de outorga têm uma qualidade de água em relação a DBO razoável, com valores na faixa de 60mg/L (Figura 11). Deve-se atentar que alguns dos usos de outorga são para irrigação de culturas e requerem para tal, uma qualidade de água superior em detrimento a outros usos.



**Figura 11-Relação Qualidade das águas e Outorga**



De acordo com a CONAMA nº 357/05, "para a irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película, bem como para a irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, não deverá ser excedido o valor de 200 coliformes termotolerantes por 100mL".

Além disso, de acordo com a USEPA (2012), plantações de alimentos crus, principalmente, requerem água com um pH de 6 a 9, DBO menor que 10mg/L e turbidez menor que 2 NTU. Plantações de alimentos que serão utilizados para uso humano porém de maneira processada suportam maiores valores de DBO (30mg/L), sólidos em suspensão totais com valores máximos de 30mg/L e no caso de coliformes totais valores máximos de 200 coliformes por 100mL (resultando semelhante ao da CONAMA nº 357/05).

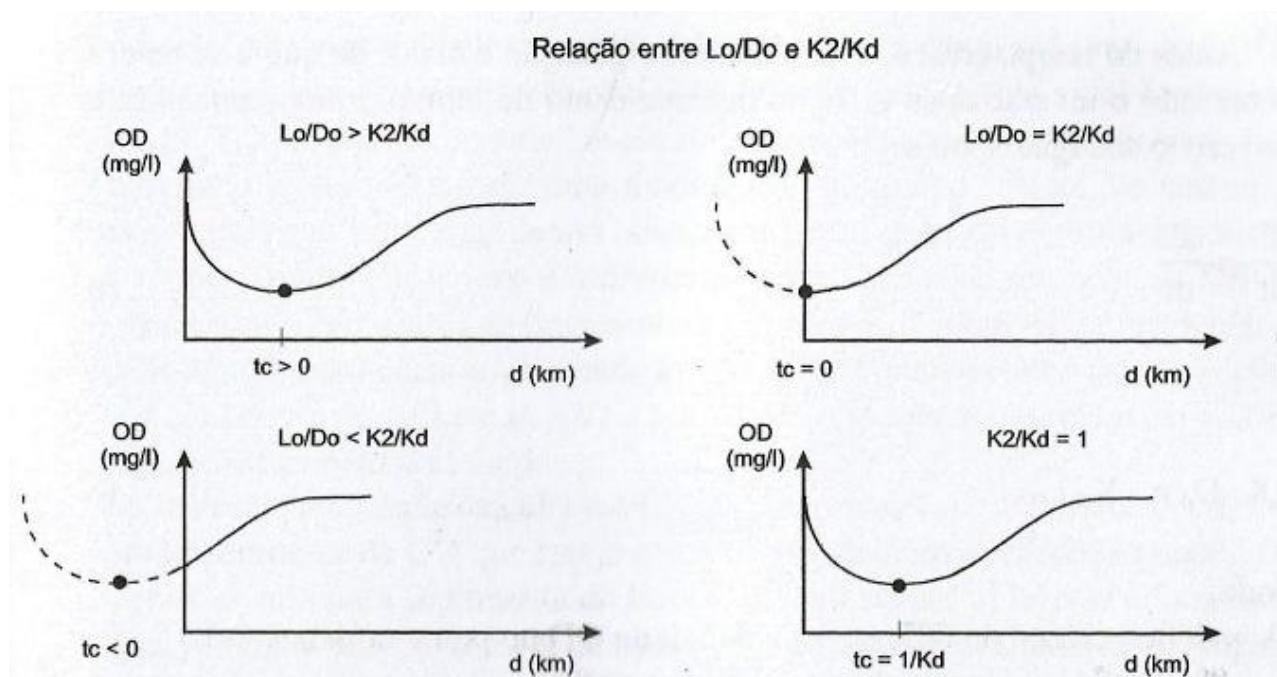
As áreas que foram muito exploradas localizam-se próximas da região metropolitana de Belo Horizonte e também no município de Sete Lagoas, onde é conhecido o conflito pelo uso da água. A maior parte da área tem potencial para exploração e concessão de outorgas, entretanto sabe-se que a

disponibilidade hídrica não é o único fator que uma empresa leva em conta para instalar-se em um município.

### 4.3 Influência de ETEs sobre a qualidade corpos d'água receptores

Uma análise mais específica - autodepuração - determina a influência direta do lançamento de efluentes sobre o corpo receptor. Os resultados obtidos de maneira geral mostram que um lançamento pontual e com uma pequena vazão em um curso d'água que apresenta uma boa qualidade leva a um momento de deterioração apenas na mistura, mas a partir daí ocorre o restabelecimento da qualidade anterior. Von Sperling (2007) explica que existem quatro perfis de oxigênio dissolvido, e em alguns casos, quando a qualidade do corpo receptor é alta, ocorre um déficit apenas no momento da mistura (Figura 12).

**Figura 12-** Perfil do Oxigênio Dissolvido



Existem quatro cenários possíveis de recuperação do corpo d'água. O primeiro cenário ( $L_0/D_0 > k_2/k_d$ ) tem um tempo crítico positivo, e a partir do ponto de lançamento haverá uma queda no oxigênio dissolvido, levando a um déficit superior ao inicial. No cenário onde  $L_0/D_0 = k_2/k_d$ , o tempo crítico é zero, ou seja, ocorre no exato local do lançamento. Nessa situação, o curso d'água apresenta uma boa capacidade regeneradora em relação aos despejos, não vindo a sofrer queda nos teores de OD. Quando  $L_0/D_0 < k_2/k_d$ , o tempo crítico é negativo e indica que desde o lançamento, a concentração de OD só tende a se elevar, mostrando que o curso d'água apresenta uma capacidade de autodepuração

superior à capacidade de degeneração dos esgotos. Quando  $k_2/k_d=1$ , existe uma indeterminação matemática e a condição tende a um tempo crítico igual a  $1/k_d$ .

Nas ETEs Pedro Leopoldo, Matozinhos e Jequitibá a concentração de oxigênio aumenta após o lançamento dos efluentes da ETE. Neste caso, têm-se um tempo crítico negativo e indicativos que desde o lançamento, a concentração de oxigênio tende a elevar, sendo o déficit inicial o maior observado. Comprova-se que estes cursos d'água apresentam uma capacidade de autodepuração superior à capacidade de degeneração dos esgotos, devido uma boa qualidade das águas com baixos valores de DBO e altos valores de oxigênio dissolvido (Tabela 14).

**Tabela 14** - Qualidade das águas a montante das ETE Taquaraçu de Minas, São José da Lapa, Matozinhos e Jequitibá

ETE	DBO	OD	Temperatura
Pedro Leopoldo	4,85	5,34	24,59
Matozinhos	2,4	6,67	22,3
Jequitibá	10,15	3,078	24,65

Apenas para o caso da ETE Jequitibá os valores de DBO encontram-se um pouco elevados, mas de acordo com a modelagem feita, o curso d'água ainda é capaz de se degenerar facilmente.

A ETE Pedro Leopoldo foi implantada em 2015, é de competência da COPASA e apresenta boas condições de tratamento. Tem unidades referentes ao tratamento preliminar – grade mecanizada tipo cremalheira e caixa de areia tipo ponte rolante – seguido de reatores anaeróbios de fluxo ascendente, filtros biológicos percoladores, decantadores secundários e leitos de secagem. O efluente final é lançado no Ribeirão da Mata. A análise estatística mostrou padrões semelhantes para o período anterior e posterior a implantação da estação de tratamento de esgoto (Tabela 15).

**Tabela 15-** Tendências para a ETE Pedro Leopoldo

		Fósforo total	N.Amoniacal	SDT	Turbidez
<2010	Antes SC21	-	-	-	-
	Depois SC21	-	↑	↑	↓
>2010	Antes SC17	-	-	-	-
	Depois SC17	↑	↑	↑	↓

Os resultados obtidos da análise de tendência *Mann Kendall* evidenciam aumentos de tendência para os parâmetros nitrogênio amoniacal e sólidos dissolvidos totais antes da implementação da ETE (Tabela 15). Estas tendências se perpetuaram ao longo do rio ocorrendo também no ponto a jusante -



SC17- com acréscimo de aumento de tendência para o fósforo. A média dos valores de fósforo encontrados após a implantação da ETE no ponto SC17 foi de 0,28 mg/L sendo o limite estabelecido pelo COPAM/ CERH-MG (2008) 0,05 mg/L. Esta tendência de aumento pode estar vinculada a um lançamento inapropriado da estação de tratamento de esgoto, bem como a outras fontes de lançamento difusas.

A ETE Matozinhos apresenta-se operando em boas condições lançando seus efluentes no Ribeirão da Mata, que apresenta classe 2 de enquadramento. Observa-se tendência de aumento para o fósforo total no período de implantação posterior a ETE para o ponto SC23, com valores médios alcançando 0,274mg/L (Tabela 16).

**Tabela 16-** Tendências para a ETE Matozinhos

		<b>Fósforo total</b>	<b>N.Amoniacal</b>	<b>SDT</b>	<b>Turbidez</b>
<b>&lt;2013</b>	Antes SC22	-	-	-	-
	Depois SC22	-	-	↑	-
<b>&gt;2013</b>	Antes SC23	-	-	-	↑
	Depois SC23	↑	-	↑	-

Resultado similar de aumento de concentração de fósforo foi observado em Silva (2008) que analisou a influência do descarte de Estações de Tratamento de Água (ETA) e Esgoto (ETE) dos municípios de São Lourenço da Serra e Juquitiba (SP). Foram realizadas coletas entre os anos de 2004 e 2006, a montante e a jusante das estações de vários parâmetros básicos (pH, Oxigênio dissolvido, Condutividade), metais (Ferro, Bário, Alumínio, Manganês, Zinco, Sódio e Magnésio) e nutrientes (Fósforo e Nitrogênio). Comparando os pontos a montante e a jusante da ETE, foi observado aumento nas concentrações a jusante de nitrogênio amoniacal, NTK e nitrato em relação às concentrações encontradas a montante, e em algumas coletas aumentos de fósforo no ponto a jusante.

A ETE Jequitibá foi implantada em 2006 e é de responsabilidade da Prefeitura atuando em condições precárias no tratamento de esgotos domésticos. Apresenta tratamento preliminar, tanque séptico e filtro anaeróbico. Os resultados da tendência indicam que todo o trecho avaliado está sob influência dos mesmos eventos e que para este caso o lançamento da ETE não interfere na qualidade (Tabela 17).

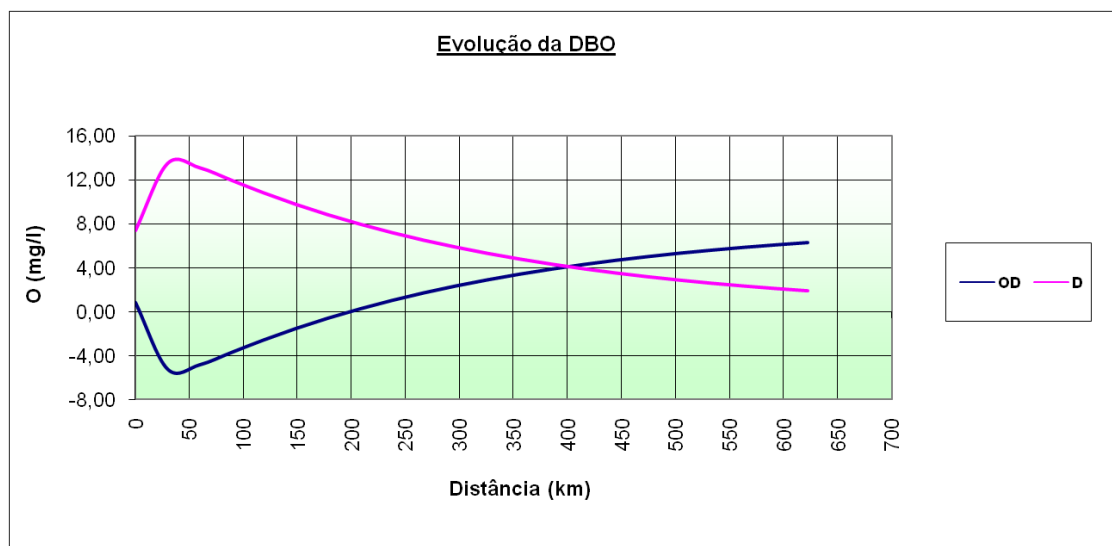
**Tabela 17 -** Tendência para a ETE Jequitibá

		<b>Fósforo total</b>	<b>N.Amoniacal</b>	<b>SDT</b>	<b>Turbidez</b>
<b>&lt;2006</b>	Antes BV156	-	-	-	-
	Depois BV156	↑	-	↑	↓
<b>&gt;2006</b>	Antes BV141	-	-	-	-

Resultado semelhante foi observado por Pereira & Ribeiro (2016) que analisou a qualidade da água a montante e a jusante do lançamento de efluentes da ETE do município de Aparecida do Rio Doce, SP. Os parâmetros avaliados foram cor aparente, oxigênio dissolvido, pH, temperatura da água, turbidez, coliformes totais e E.coli e de modo geral não foram observadas diferenças significativas entre os pontos avaliados para os parâmetros em questão, apenas algumas concentrações discordantes para os parâmetros turbidez, cor e *E. coli* quanto a Resolução CONAMA 357/05.

A ETE Tamanduá, localizada no município de Sete Lagoas, foi implantada em 2008 e é de competência da SAAE. O sistema adotado nesta estação de tratamento inclui um tratamento preliminar, tanque séptico e filtro anaeróbio. Observa-se que a qualidade das águas a montante (SC26) encontra-se muito ruim com valores de DBO alcançando 136mg/L e valores de Oxigênio dissolvido chegando a 0,82mg/L. Após realização de cálculos de autodepuração, observa-se que após o lançamento da ETE Tamanduá, o curso d'água atinge uma situação de anaerobiose, ou seja, ausência de oxigênio. A Figura 13 mostra o perfil de oxigênio dissolvido para este caso, onde o sistema alcançou a anaerobiose. Devido a limitação do modelo de Streeter Phelps de trabalhar apenas com condições aeróbias, devem ser aplicados para estas situações outros modelos.

**Figura 13-** Perfil de Oxigênio Dissolvido para a ETE Tamanduá



Sugere-se que existem lançamentos incorretos de esgoto. Isso contribui para que a qualidade do corpo d'água já seja ruim antes do lançamento avaliado (ETE Tamanduá) e mostra que fenômenos naturais (autodepuração) não são capazes de recuperar a qualidade da água neste trecho.

Em relação a outros parâmetros, que também são encontrados em efluentes domésticos, observa-se que a montante do lançamento, a partir do ano de implantação da ETE Tamanduá (2008), os parâmetros fósforo, nitrogênio amoniacal e sólidos dissolvidos totais apresentavam uma tendência de aumento (Tabela 18). Tendência esta que se repete no período posterior a 2008 para os parâmetros fósforo total e sólidos dissolvidos. Esse fato é um indicativo que a contaminação que vêm ocorrendo no curso hídrico acontece a montante do lançamento da estação, sendo este apenas um contribuinte para a deterioração da qualidade das águas. Análises devem ser feitas a montante para identificação de possíveis lançamentos irregulares que levem ao comprometimento da qualidade dos cursos d'água.

**Tabela 18** - Tendências para a ETE Tamanduá- Sete Lagoas

		<b>Fósforo total</b>	<b>N.Amoniacal</b>	<b>SDT</b>	<b>Turbidez</b>
<b>&lt; 2008</b>	Antes BV105	-	-	-	-
	Depois BV105	↑	↑	↑	↓
<b>&gt; 2008</b>	Antes BV140	-	-	-	-
	Depois BV140	↑	-	↑	↑

A média da concentração de fósforo para o período 1997-2007 foi 0,19mg/L e no período de 2008-2016 este valor aumentou para 0,27mg/L, sendo que o limite máximo permitido pela DN COPAM nº 01/2008, é de 0,020 mg/L, ficando o valor encontrado bem acima do estipulado por lei.

A ETE Monte Carlo, uma das responsáveis pelo tratamento de esgotos domésticos do município de Sete Lagoas, foi implantada em 2008 e encontra-se a montante da ETE Tamanduá. Seu sistema de tratamento inclui um tratamento preliminar (para remoção de sólidos grosseiros), um tanque séptico e um filtro anaeróbio. De acordo com FEAM (2010), a ETE é de responsabilidade da SAAE e encontra-se em situações precárias, com mau funcionamento de algumas unidades. Valores de DBO a montante do lançamento atingem 71mg/L e 3,94mg/L para Oxigênio dissolvido, indicando alguma contaminação por matéria orgânica a montante. O lançamento feito impacta o curso d'água aproximadamente 50km a jusante.

Após análises estatísticas, observam-se tendências de aumento para os parâmetros nitrogênio amoniacal e sólidos dissolvidos totais no ponto a jusante do lançamento (SC26) após a implantação da ETE (2008), tendência esta que não ocorre no ponto a montante no mesmo período, exceto para sólidos dissolvidos (Tabela 19).

**Tabela 19** - Tendências para a ETE Monte Carlo

		<b>Fósforo total</b>	<b>N.Amoniacal</b>	<b>SDT</b>	<b>Turbidez</b>
<b>&lt;2008</b>	Antes SC25	-	-	-	-
	Depois SC25	-	-	↑	-

<b>&gt;2008</b>	Antes SC26	-	-	-	-
	Depois SC26	-	↑	↑	-

A presença de nitrogênio amoniacal consiste em um indicador de possível lançamento de efluentes domésticos nos cursos d'água. Cabe ressaltar que, o ponto de monitoramento, SC26, fica próximo ao ponto de mistura no Ribeirão do Matadouro, a jusante dos lançamentos de esgoto de Sete Lagoas, o que pode contribuir para encontrar altas concentrações de coliformes e nitrogênio amoniacal.

De forma geral, lançamentos com pouca vazão em cursos d'água com boa qualidade não interferem a jusante, apenas no ponto de mistura. Além disso, foi observado pela análise de tendência que os efluentes provenientes de ETEs impactam o curso d'água, entretanto não são responsáveis pela deterioração elevada da qualidade das águas(Tabela 20).

**Tabela 20 - Síntese dos resultados obtidos da autodepuração**

ETE	Autodepuração			Tendência			
	Impacto	DBOm	ODm	Fósforo	N.Amoniacal	SDT	Turbidez
Tamanduá	Anaerobiose	136	0,82				+
Monte Carlo	50km a jusante	71,11	3,944		+		
Pedro Leopoldo	Ponto de mistura	4,85	5,34	+			
Matozinhos	Ponto de mistura	2,4	6,67	+			
Jequitibá	Ponto de mistura	10,15	3,078				

No entanto, destaca-se que, nesta análise não são considerados outros tipos de lançamento que ocorrem ao longo da bacia e que estes, infelizmente, podem fazer com que o processo de autodepuração seja mais lento, do que o estipulado pela metodologia adotada neste trabalho.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise da evolução temporal da qualidade das águas, observa-se que alguns pontos apresentavam uma qualidade ruim (valores de DBO alcançando 136mg/L) em 2005 e houve uma melhora para 2010. As regiões mais afetadas com pior qualidade estão próximas da região metropolitana de Belo Horizonte e no município de Sete Lagoas, grande pólo de desenvolvimento comercial e industrial, era em 2009, o segundo maior poluidor da bacia do Rio das Velhas. As melhores observadas são explicadas pela implantação de planos visando a recuperação da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, como o Meta 2014 e também indiretamente através da elaboração do Plano Diretor da bacia do Rio das Velhas, que identificou locais mais críticos de qualidade ambiental.

Os dados analisados da autodepuração mostram que para a maioria dos lançamento de efluentes provenientes de estações de tratamento de esgoto ocorre uma diminuição da concentração de

oxigênio dissolvido apenas no ponto da mistura (lançamento), não havendo impactos muito adiante no curso d'água. Tal situação se repetiu na maior parte das ETEs, exceto na ETE Tamanduá, localizada em Sete Lagoas onde era observada uma qualidade da água ruim a montante e não é possível determinar o real impacto apenas do lançamento da ETE. Com relação a análises de tendência foram detectados que os parâmetros que foram mais afetados e apresentaram tendência de aumento foram os nutrientes fósforo total e nitrogênio amoniacal, e ainda assim tais tendências não foram detectadas para todas as estações de tratamento analisadas. Acredita-se que a qualidade das águas encontrava-se deteriorada devido a lançamentos irregulares anteriores ao lançamento da ETE, uma vez que através das análises feitas não foi possível detectar impactos significativos da implantação das ETEs sobre os trechos analisados. Vale ressaltar que tal análise seria muito mais detalhada e precisa se fossem instalados pontos de monitoramento próximos de locais conhecidos de lançamento de efluentes além de visitas a campo para observar se existem realmente pontos de lançamento irregulares.

Com relação aos pontos de outorga, foram analisadas outorgas superficiais e subterrâneas localizadas no trecho alto da bacia do médio rio das Velhas. Foram observadas maiores concentrações na região próxima a região metropolitana da capital mineira (as piores concentrações de DBO estão neste trecho também) e no município de Sete Lagoas, já conhecido por conflitos pelo uso da água.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERS, R., JORGE, K. D. Descentralização da gestão da água: por que os comitês de bacia estão sendo criados? *Revista Ambiente & Sociedade*, v. VIII, n. 2, p. 99-124, São Paulo, julho/dezembro, 2005.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.648: **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tanques sépticos – Unidades de Tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**. – Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABNT– ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969, 1997: **Tanques sépticos – Unidades de Tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABRAHÃO, R. **Impactos do lançamento de efluentes na qualidade da água do rio Mussuré**. 2008. 140p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente): Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, 2008.

AGB-PEIXE VIVO. **Monitoramento qualitativo de águas superficiais na área da bacia do Ribeirão Caeté/Sabará**. Relatório de Plano de Trabalho. 2013.

AGÊNCIA DE MINAS. Disponível em: <<http://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticia/prazo-para-elaboracao-dos-planos-municipais-de-saneamento-basico-e-adiado>> Acesso em Abril/2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Portal da qualidade das águas**. 2015, Disponível em:<<http://pnqa.ana.gov.br/default.aspx>>. Acesso em 28 de julho de 2015.

AGÊNCIA PEIXE VIVO, 2017. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/comcbhvelhas/situao-pmsb>> Acesso em Agosto/2017.

ALMEIDA, P.G.S.; OLIVEIRA, S.C.; CHERNICHARO, C.A.L. Operação de filtros biológicos percoladores pós-reactores UASB sem a etapa de decantação secundária. **Eng. Sanit. Ambient**. vol.16, no.3 Rio de Janeiro Setembro, 2011.

AMARO, C. A. **Proposta de um índice para avaliação de conformidade da qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento**. 2009. 224p. Dissertação (Mestrado): Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2009

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil) **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012**. 264 p.; il. Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2012.

ANDRADE, E. M. de; ARAÚJO, L. de F.P.; ROSA, M.F.; DISNEY, W.; ALVES, A.B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.3, p.683-690, set./dez. 2007.

ANDRADE, L.N. **Autodepuração dos corpos d'água**. Dissertação (Mestrado): Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

ÁVILA, R.O. **Avaliação do desempenho de sistema tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

AYOKO, G. A.; SINGH, K.; BALEREA, S.; KOKO, T. S. Exploratory multivariate modeling and prediction of the physico-chemical properties of surface water and groundwater. *Journal of Hydrology*, n. 336, p. 115– 124, 2007.

BENEDITTI, L.; SFORZI, J. Dynamic **Integrated Modelling - A case study on the Lambro Catchment**. University Gent. Faculty of Agricultural and Applied Biological Sciences, 1999, 208p.

BILICH, M. R.; LACERDA, M. P. C. Avaliação da qualidade da água do Distrito Federal (DF), por meio de geoprocessamento. **In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12. (SBSR)**, 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2059-2066. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8.

BRAGA, B. **Introdução a Engenharia Ambiental**. São Paulo: Prentice Hall. 2002. 305p.

BRASIL, **Lei nº 6.938**, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências, de 31 de agosto de 1981.

BRASIL. **Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

BRASIL. **Lei nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Brasília, 2011.

BRASIL. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

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. 211p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2015.

CBH RIO DAS VELHAS. Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. Disponível em: <<http://cbhvelhas.org.br/atualizacao-do-plano-diretor-de-recursos-hidricos-da-bacia-do-rio-das-velhas/>> Acesso em Abril/2017.

CBH VELHAS. Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. **Plano Diretor de Recursos Hídricos**. Minas Gerais, 2015.

CBH. **Comitês de Bacia Hidrográfica**. Disponível em: <<http://www.cbh.gov.br/GestaoComites.aspx>> Acesso em Junho/2017.

CBHVELHAS, 2013a. **Elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico de Taquaraçu de Minas**. Outubro, 2013.

CBHVELHAS, 2015. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Cordisburgo**. Março, 2015.

CBVELHAS, 2013. **Elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico de Nova União**. Outubro, 2013.

CBVELHAS, 2014. **Diagnóstico da Situação de Saneamento Básico do município de Funilândia**. Julho, 2014.

CIDADE PELAS ÁGUAS. Disponível em: <<http://cidadespelaagua.com.br/>> Acesso em 24/07.

DAVIS, F. W.; SIMONETT, D. S. GIS and Remote Sensing. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. **Geographical Information Systems: principles and applications**. 1990. v.2, p.191-213.



ELMIRO, M.A.T.; FREITAS, C.R.; DUTRA, L.V.; ROSA, G. Análise de redução do Índice de Qualidade das Águas utilizando ambientes de geoprocessamento. Belo Horizonte, 2005.

FEAM, 2010. **Fundação Estadual do Meio Ambiente. Plano para Incremento do Percentual de Tratamento de Esgotos Sanitários na Bacia do Rio das Velhas.** Belo Horizonte, 2010.

GROPPO, Juliano Daniel. **Estudo de tendências nas series temporais de qualidade de água de rios do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenção antrópica.** 2005. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/>> Acesso em Abril/2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM, 2013. Instituto de Gestão de Águas de Minas. **Monitoramento da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de Minas Gerais.** Relatório Trimestral. Belo Horizonte, 2013.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM, 2015. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/1-ultimas-noticias/1574-esclarecimento-outorgas-e-crise-hidrica>> Acesso em Agosto/2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM, 2017a. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/1-ultimas-noticias/778-expedicao-pelo-velhas-debate-situacao-de-sete-lagoas-na-meta-2010>> Acesso em Agosto/2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM, 2017b. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/banco-de-noticias/1-ultimas-noticias/971-o-velhas-rejuvenesce>> Acesso em Agosto/2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM, 2017c. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2016.** Resumo executivo. 175p. Belo Horizonte, março/2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM, 2017d. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Relatório da 1ª etapa do Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERHMG,** dez. 2006. Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br>>. Acesso em: 27 dez. 2017.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Manual técnico e administrativo de outorga de direito de uso de recursos hídricos no estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2010.113p.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-basico-enquanto-direito-fundamental-e-direito-humano>> Acesso em Abril/2017.

JORDÃO, E.P. e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª Edição. ABES, Rio de Janeiro, 2011. 969 p.

JORGENSEN, S.E. **Lake Management**. Oxford: Pergamon Press, 1994, 167p.

KETTELHUT, J.T.S. RODRIGUEZ, F.A. GARRIDO, R.J. PAIVA, F. NETO, O.C. RIZZO, H. Aspectos legais, institucionais e gerenciais. In: FREITAS, M.A.V. (Org). **O estado das águas no Brasil - 1999, perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos**. Brasília: ANEEL-SRH-MMA-OMM. 1999. 336p.

LAMPARELLI, Marta Condé. **Grau de Trofia em Corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 238 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LASSALETTA, L., BILLEN, G.; GRIZZETTI, B.; ANGLADE, J.; GARNIER, J. 50 year trends in nitrogen use efficiency of world cropping systems: the relationship between yield and nitrogen input to cropland. **Environmental Research Letters**, v.9, 9pp, 2014.

LEBAC - LABORATÓRIO DE ESTUDO DE BACIA DA USP, 2015. **Região de Sete Lagoas é a que mais tem ocorrências policiais por conflitos hídricos**. Disponível em: <<http://lebac.org.br/noticias/87/regiao-de-sete-lagoas-e-a-que-tem-mais-ocorrencias-policiais-por-conflitos-hidricos>> Acesso em Setembro/2017.

LIMA, H.S. **Qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do rio Doce e sua relação com aspectos socioambientais**. 2016. 170 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

LINS, G.A. **Impactos ambientais em Estações de Tratamento de Esgoto**. 2010. 286p. Dissertação (Mestrado): Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

LOPES, F.W.A. **Avaliação da qualidade das águas e condições de balneabilidade na bacia do Ribeirão do Carrancas - MG.** 2007. 107p. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, 2007.

MENDIGUCHÍA, C.; MORENO, C.; GALINDO-RIANO, M.D.; GARCÍA-VARGAS, M. Using chemometric tools to assess antropogenic effects in river water a case study: Guadalquivir river (Spain). *Analytica Chimica Acta*, Amsterdam, v.515, p.143-9, abr., 2004.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008.** 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.

MINAS GERAIS. **Lei Estadual n. 11.504, de 20 de junho de 1994.** Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Belo Horizonte: Diário do Executivo, 1994.

MINAS GERAIS. **Lei estadual n. 13.199, de 29 de janeiro de 1999.** Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. Belo Horizonte: Diário do Executivo, 1999.

MORAES, T.C. KNOPP, G. Projeto de qualificação em gestão e fortalecimento institucional dos comitês de bacia hidrográfica de Minas Gerais: parceria estado e sociedade civil organizada para o desenvolvimento sustentável. In: **III Congresso Consad de Gestão Pública.** Brasília, DF, 2010.

MOTTA, S. **Introdução a Engenharia Ambiental.** 2 ed. Rio de Janeiro. ABES, 2000.

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

NETO, R.T.B. **Avaliação da disponibilidade de água em aquíferos por meio de análises espaço-temporais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental): Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Paraíba, 2012.

NUVOLARI, A. **Esgoto Sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola.** 1. ed. São Paulo: Blucher, 2003. 520p.

OLIVEIRA, C.M.R. **Aplicabilidade de sistemas simplificados para Estações de Tratamento de Esgoto de cidades de pequeno porte.** 2014. 88p. Trabalho Final de Conclusão de Curso: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2014.

PEREIRA, D.G.; RIBEIRO, R.L. **Qualidade da água na área de influência da ETE de Nova Aparecida do Rio Doce**. 2016. Monografia (Trabalho Final de Conclusão de Curso): Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade de Rio Verde, 2016.

PERES, L. J. S.; HUSSAR, G. J.; BELI, E.. Eficiência do tratamento de esgoto doméstico de comunidades rurais por meio de fossa séptica biodigestora. **Revista Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal-SP, v. 7, n. 1, p. 020-036, jan. /mar . 2010

PHILIPPI JR., A.; MALHEIROS, T. F. Águas residuárias: visão de saúde pública e ambiental. In: PHILIPPI JR., A. **Saneamento, saúde e ambiente**. Barueri: Manole, 20., 2005. p. 181 – 219.

PORTO, M.T.R.; CHERNICHARO, C.A.L.; PONTES, P.P.; BEJAR, D.O. Avaliação do sistema reator UASB e filtro biológico percolador operando sob diferentes condições hidráulicas. In: **XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. México, 2002.

ReCESA 2 – Rede Nacional de Extensão e Capacitação Tecnológica em Saneamento Ambiental. **Esgotamento sanitário: Operação e manutenção de sistemas simplificados de tratamento de esgotos: Guia do Profissional em Treinamento – nível 2**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Belo Horizonte, 2008. 112p

RODRIGUEZ, L.C.C.; RODRIGUES, L.S.; COLARES, E.R.; BENDATI, M.M.A. O geoprocessamento como ferramenta no Cadastro Municipal de Poços Tubulares Profundos no município de Porto Alegre (RS) in: **IV Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2004, Porto Alegre (RS)**. Anais do IV Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre: ABES/RS, 2004.

SAAD, A.R.; MARTINEZ, S.S.; GOULART, M.E.; SEMENSATTO, D.; VARGAS, R.R.; ANDRADE, M.R.M. Efeitos do uso do solo e da implantação da estação de tratamento de esgoto sobre a qualidade das águas do rio Baquirivu-Guaçu, região metropolitana de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. p. 147 - 156. Vol. 20 no.1. Porto Alegre, 2015.

SANEPAR. **Companhia de Saneamento do Paraná**. Disponível em: <<http://site.sanepar.com.br/prefeituras/plano-municipal-de-saneamento-basico>> Acesso em Abril/2017.

SANTA LUZIA, 2014. **Plano Municipal de Saneamento Básico** aprovado pelo Decreto nº 2967 de 23 de julho de 2014.

SANTOS, R.C.M.M. **Estudo de parâmetros relevantes da poluição da água por efluentes de lavanderia e tinturaria industriais em um rio não perene**. 2008. 92p. Dissertação (Mestrado): Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Universidade Católica de Pernambuco, 2008.

SEMAD, 2017. **Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<http://meta2010.meioambiente.mg.gov.br/a-meta-2010>> Acesso em Abril/2017.

SILVA, A.M. **Avaliação da qualidade do rio São Lourenço, SP, sob influência de Estações de Tratamento de Água e Estações de Tratamento de Esgoto**. 2008. 176p. Tese (Doutorado em Ciências na área de Tecnologia Nuclear, 2008.

SILVA, D.F. **Tecnologia alternativa para tratamento de efluentes domésticos da área rural**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2014.

SIMEONOV, V.; EINAX, J.; STANIMIROVA, I.; KRAF, J. Environmental modeling and interpretation of river water monitoring data. *Anal. Bioanal. Chem.* v.374, p.898–905,

SOUZA, J.O.; MEDEIROS, J.F.; SILVA, M.C.C.; ALMEIDA, A.H.B. Adubação orgânica, manejo de irrigação e fertilização na produção de melão amarelo. In: **Hortic. Bras.**, v.26, p.15-18. 2008.

SOUZA, S. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais à degradação a qualidade das águas**. 2008. 52p. Monografia (Especialização em Geoprocessamento): Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

TEIXEIRA, A. J. A.; CRUZ, C. B. M. Classificação de bacias de drenagem com o suporte do sensoriamento remoto e geoprocessamento -o caso da Baía de Guanabara-. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 12. (SBSR), 16-21 abr. 2005, Goiânia. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 2779-2786. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00018-8.

THAME, Antônio Carlos. A responsabilidade dos comitês em defesa da água e da vida. **Água** 1993-2003 CBH-PCJ. São Paulo, 2003. p.13-16.

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbaciasob uso agrícola e urbano. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.59, p.181-6, 2002.

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. 165 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. ProUCL: User Guide. Statistical Software for Environmental Applications for Data Sets with and without Nondetect Observations. Washington, 2015.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. 2012 Guidelines for Water Reuse. Washington: U. S. Environmental Protection Agency, 2012. 643 p

**VIEIRA, B.M. Avaliação da qualidade das águas e de sua compatibilidade com os usos de microbacias hidrográficas rurais com déficit hídrico quantitativo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES, 2015.

VON SPERLING, M. Estudos e modelagem da qualidade da água de rios. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 587 p. 2007.

**VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Volume 1. 3.ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

## 7 ANEXO

A

	Município	Região	Nome da ETE	Georeferenciamento		Sistema	Titularidade	Condições de Operação	Corpo Receptor
				Latitude (S)/E	Longitude (WO)/N				
1	Araçá	Médio Rio das Velhas	ETE Araçá	19° 11' 47,1"	44° 14' 48,9"	TP, tanque séptico e filtro anaeróbio	Prefeitura	Precárias	Ribeirão do Candoca
2	Augusto de Lima	Baixo Rio das Velhas	Nova ETE Araçá	NI	NI	TP, reator UASB e filtro anaeróbio	Prefeitura	Projeto	Ribeirão do Candoca
3	Baldim	Médio Rio das Velhas	ETE Augusto de Lima	18° 06' 30,8"	44° 16' 01"	TP, tanque séptico e filtro anaeróbio	Prefeitura	Precárias	Córrego Curumataí
4	Belo Horizonte	Alto Rio das Velhas	ETE Arrudas	617.233,35	7.799.797,21	TP e sistema de lodos ativados convencional	COPASA	Boas condições	Ribeirão Arrudas
			ETE Onça	616.155,75	7.807.786,80	TP, reator UASB, filtro biológico percolador, decantador secundário e centrifugação do lodo gerado no tratamento.		Boas condições	Ribeirão do Onça
			ETE Pilar/Olhos d'água	607.921,91	7.788.895,72	TP, reator UASB e leito de secagem		Boas condições	Córrego Embondo
			ETE Minas Solidária	617.362,46	7.798.197,74	TP, reator UASB e leito de secagem		Boas condições	Córrego Olaria
5	Buenópolis	Baixo Rio das Velhas	ETE Jardim Vitória (Vista do Sol)	NI	NI	TP, reator UASB e leito de secagem	Prefeitura	Obras	NI
			ETE Buenópolis	17° 52' 59,2"	44° 11' 00,8"	TP, UASB, lagoa facultativa e leito de secagem	Prefeitura	Obras	NI
6	Caeté	Médio Rio das Velhas	ETE Principal	19° 52' 43,6"	43° 40' 16,3"	TP, reator UASB, filtro biológico percolador, decantador secundário e leito de secagem.	SAAE	Obras	Rio Caeté
			ETE São Geraldo	19° 55' 2,4"	43° 40' 27,4"	TP, reator UASB, filtro anaeróbio e leito de secagem.		Precárias	Rio Juca Vieira
			ETE Santa Frutosa	19° 53' 58,2"	43° 40' 53,9"	TP, reator UASB e filtro anaeróbio		Obras	Córrego Santa Frutosa
7	Capim Branco	Médio Rio das Velhas	-	-	-	-	Prefeitura	-	NI
8	Confins	Médio Rio das Velhas	ETE Aerorporto	NI	NI	TP sem a unidade de desarenação, lagoa facultativa e lagoa de maturação	COPASA	Precárias	Córrego do Jaques
			ETE Confins SEDE	NI	NI	TP, UASB e filtro anaeróbio	Prefeitura	Precárias	NI
9	Congonhas do Norte	Médio Rio das Velhas	-	-	-	-	Prefeitura	-	Córrego Santa Maria
10	Cortagem	Alto Rio das Velhas	ETE Nova Cortagem	589.226,95	7.805.671,77	TP, reator UASB, filtro anaeróbio, decantador secundário e leito de secagem	COPASA	Boas condições	Córrego Água Suja
11	Cordisburgo	Médio Rio das Velhas	ETE Principal	19° 06' 49,8"	44° 19' 19,3"	TP e lagoa facultativa	COPASA	Precárias	Ribeirão do Onça
			ETE 2	19° 07' 40,3"	44° 19' 34,8"	TP, tanque séptico, filtro anaeróbio e leito de secagem		Precárias	NI
12	Corinto	Baixo Rio das Velhas	ETE Curralinho	18° 21' 14,2"	44° 25' 51,5"	TP, reator UASB, lagoa facultativa, lagoas de maturação e leito de secagem	COPASA	Boas condições	Córrego Curralinho
13	Curvelo	Médio Rio das Velhas	ETE Santo Antonio	18° 44' 11"	44° 24' 16,6"	TP, reator UASB, decantador secundário, aerador em cascata, desodorizador e leito de secagem	COPASA	Obras	Ribeirão Santo Antônio
14	Datas	Baixo Rio das Velhas	ETE Datas	18° 26' 53,1"	43° 39' 45,7"	TP, reator UASB e leito de secagem	Prefeitura	Boas condições	Ribeirão Datas
15	Esmeraldas	Médio Rio das Velhas	ETE Vau do Palmital	586.500,00	7.823.700,00	TP, reator UASB, filtro biológico percolador, decantador secundário, leito de secagem e desinfecção ultravioleta	COPASA	Obras	NI
16	Funilândia	Médio Rio das Velhas	-	-	-	-	Prefeitura	-	NI
17	Gouveia	Baixo Rio das Velhas	ETE Chiqueiro	18° 26' 25"	43° 44' 53"	TP, reator UASB, filtro anaeróbio e leito de secagem	Prefeitura	Precárias	Ribeirão do Chiqueiro
18	Inimutaba	Médio Rio das Velhas	-	-	-	-	Prefeitura	-	NI
19	Itabirito	Alto Rio das Velhas	ETE Marzagão	625.125,10	7.764.912,83	TP, reator UASB, filtro biológico percolador, decantador secundário e leito de secagem	SAAE	Obras	Rio Itabirito
20	Jaboticatubas	Médio Rio das Velhas	ETE Jaboticatubas	NI	NI	TP, reator UASB, filtro biológico percolador, decantador secundário e leito de secagem	COPASA	Obras	Rio Jaboticatubas
21	Jequitibá	Médio Rio das Velhas	ETE Jequitibá	19° 13' 52,3"	44° 01' 33,3"	TP, tanque séptico e filtro anaeróbio	Prefeitura	Precárias	Rio das Velhas
22	Lagoa Santa	Médio Rio das Velhas	ETE Lagoa Santa	19° 37' 7,9"	43° 53' 53,1"	TP, lodos ativados com aeração prolongada e leito de secagem	COPASA	Boas condições	Córrego Bebedouro
			ETE Vila Maria	19° 34' 53,1"	43° 54' 42,9"	TP, reator UASB, tanque de mistura rápida, floculação, flotação e leito de secagem		Boas condições	Córrego Bebedouro
23	Lassance	Baixo Rio das Velhas	ETE Lassance	NI	NI	NI	SAAE	Boas condições	NI
24	Matuzinhos	Médio Rio das Velhas	ETE Matuzinhos	19° 34' 47,9"	44° 4' 25,8"	TP, lagoa anaeróbia e lagoa facultativa	COPASA	Boas condições	Ribeirão da Mata
25	Monjolos	Baixo Rio das Velhas	ETE Monjolos	18° 19' 17,0"	44° 07' 15,3"	TP, tanque séptico e filtro anaeróbio	Prefeitura	Fora de Operação	Rio Pardo Pequeno
26	Morro da Garça	Médio Rio das Velhas	ETE Morro da Garça	18° 32' 47,7"	44° 36' 15,5"	TP, tanque séptico, filtro anaeróbio e leito de secagem	Prefeitura	Precárias	Córrego do Morro
			ETE Vale do Sereno	19° 59' 26,6"	43° 55' 31,6"	TP, reator UASB, filtro biológico percolador, decantador secundário e centrifugação do lodo gerado no tratamento.	Prefeitura	Boas condições	Córrego Cardeal
			ETE Jardim Canadá,	20° 03' 30"	43° 58' 24,6"	TP, reator UASB e filtro biológico percolador, decantador secundário e leito de secagem	COPASA	Boas condições	Córrego Fundo
			ETE Vila da Serra	611.140,00	7.790.440,00	O seu efluente é bombeado para a ETE Vale do Sereno. Portanto, opera como Estação Elevatória de Esgotos.	COPASA	Boas condições	Córrego Cardoso
			ETE Bela Fama	621.750,00	7.787.375,00	TP, reator UASB, filtro anaeróbio e leito de secagem	Prefeitura	Projeto	NI
			ETE José de Almeida	616.050,00	7.789.350,00	TP, tanque séptico, filtro anaeróbio e leito de secagem	Prefeitura	Projeto	NI
27	Nova Lima	Alto Rio das Velhas	ETE Central (Sede)	622.400,00	7.788.746,00	TP, reator UASB, arejador, filtro biológico percolador, decantador secundário, estações elevatórias de recirculação e leito de secagem	Prefeitura	Projeto	NI
			ETE Honorário Bicalho	622.400,00	7.787.400,00	TP, reator UASB, filtro anaeróbio e leito de secagem	Prefeitura	Projeto	NI
			ETE de São Sebastião de Águas Claras (Macacos) e Capela Velha	NI	NI	TP, tanque séptico, filtro anaeróbio e leito de secagem	Prefeitura	Projeto	NI
28	Nova União	Médio Rio das Velhas	ETE Nova Esperança	19° 41' 14,8"	43° 36' 0,4"	TP, reator UASB e leito de secagem	Prefeitura	Obras	Rio Vermelho
			ETE Nova Aparecida	19° 43' 5,8"	43° 34' 28"	TP, tanque séptico e filtro anaeróbio	Prefeitura	Fora de Operação	Rio Vermelho
29	Ouro Preto	Alto Rio das Velhas	ETE São Bartolomeu	20° 18' 40,3"	43° 34' 47,5"	TP, reator UASB, filtro anaeróbio e leito de secagem	SEMAE	Boas Condições	NI
			ETE Antônio Pereira	NI	NI	NI	SEMAE	Boas condições	NI
			ETE São Cristóvão	NI	NI	NI	SEMAE	Obras	NI
30	Pedro Leopoldo	Médio Rio das Velhas	ETE Pedro Leopoldo	NI	NI	NI	COPASA	Obras	NI
31	Presidente Juscelino	Médio Rio das Velhas	-	-	-	-	Prefeitura	-	Rio Paratuna
32	Presidente Kubitschek	Baixo Rio das Velhas	ETE Presidente Kubitschek	18° 36' 49"	43° 33' 50"	TP, reator UASB, filtro anaeróbio e leito de secagem	Prefeitura	Boas condições	Ribeirão Tijuca
33	Prudente de Moraes	Médio Rio das Velhas	ETE Prudente de Moraes	19° 28' 07,6"	44° 10' 09,9"	Reator UASB	DMAE	Precárias	NI
34	Raposos	Alto Rio das Velhas	-	-	-	-	COPASA	-	NI
35	Ribeirão das Neves	Médio Rio das Velhas	ETE Ribeirão das Neves	595553,71	7814557,05	TP e lagoa facultativa	COPASA	Boas condições	Ribeirão das Neves
			ETE Justinópolis	NI	NI	NI	COPASA	Obras	NI
			ETE Veneza	NI	NI	NI	COPASA	Obras	NI
			ETE Dutra Ladeira	19° 47' 34,5"	44° 04' 02,3"	TP, lagoa facultativa e lagoa de maturação	Prefeitura	Precárias	NI
			ETE José Martinho Drumond	19° 47' 23,3"	44° 04' 00,6"	TP, reator UASB, filtro biológico percolador e leito de secagem	Prefeitura	Fora de Operação	NI
36	Rio Acima	Alto Rio das Velhas	ETE Vila Duarte	20° 03' 16,7"	43° 48' 06,3"	TP, filtro anaeróbio e leito de secagem	Prefeitura	Boas condições	Rio das Velhas
			Nova ETE (Principal)	624.045,00	7.779.772,00	TP, filtro anaeróbio e leito de secagem		Projeto	Rio das Velhas
37	Sabará	Alto Rio das Velhas	ETE Sabará	NI	NI	NI	Prefeitura	Fora de Operação	NI
			ETE APAC	19° 44' 44,9"	43° 54' 4,7"	TP, reator UASB, escoamento superficial e leito de secagem	COPASA	Boas condições	Córrego Candango
			ETE Cristina	19° 47' 6,9"	43° 54' 43,5"	TP e 2 lagoas aeradas facultativas		Boas condições	Córrego Poderoso
			ETE Bom Destino do Norte	622.763,00	7.808.250,00	TP, reator UASB e leito de secagem		Boas condições	Córrego Maquiné
38	Santa Luzia	Médio Rio das Velhas	ETE Bom Destino do Sul	19° 11' 47,4"	44° 14' 48,9"	TP, reator UASB e leito de secagem	COPASA	Boas condições	Córrego Bom Destino
			ETE Santa Luzia	NI	NI	TP, reator UASB, filtros biológicos percoladores, decantadores secundários, elevatória de recirculação e central de desidratação mecânica, via centrifugação.		Obras	NI
			ETE Taquara	NI	NI	NI	COPASA	Obras	NI
39	Santana de Pirapama	Médio Rio das Velhas	ETE Ribeirão Jequitibá	19° 00' 27,4"	44° 02' 16,3"	TP, tanque séptico e filtro anaeróbio	DEMAE	Precárias	Ribeirão Jequitibá
40	Santana do Riacho	Médio Rio das Velhas	-	-	-	-	Prefeitura	-	NI
41	Santo Hipólito	Baixo Rio das Velhas	ETE Santo Hipólito	18° 18' 17,8"	44° 13' 27,2"	TP, tanque séptico e filtro anaeróbio	COPASA	Fora de Operação	NI
42	São José da Lapa	Médio Rio das Velhas	ETE São José da Lapa	19° 40' 57,7"	43° 57' 41"	TP, reator UASB, filtro biológico percolador, decantador secundário e leito de secagem	COPASA	Boas condições	Córrego das Carrancas
			ETE Inácia de Carvalho	NI	NI	NI		Obras	NI
			ETE Barreiro	19° 26' 27,5"	44° 20' 08,6"	UASB	SAAE	Precárias	NI
			ETE Tamanduá	19° 27' 01,6"	44° 11' 51,3"	TP, tanque séptico, filtro anaeróbio		Precárias	NI
			ETE Monte Carlo	19° 26' 56,7"	44° 12' 32,5"	TP, tanque séptico, filtro anaeróbio		Precárias	NI
			ETE Areias	19° 26' 16,7"	44° 11' 25,7"	UASB e leito de secagem		Precárias	NI
			ETE Jardim Primavera	19° 25' 40,7"	44° 12' 31,9"	Reator UASB, filtro biológico percolador, decantador secundário e leito de secagem		Boas condições	NI
			ETE Iporanga	19° 29' 17,6"	44° 14' 02,7"	TP, tanque séptico e filtro anaeróbio	Precárias	NI	
44	Taquaraçu de Minas	Médio Rio das Velhas	ETE Taquaraçu de Minas	NI	NI	TP, reator UASB, filtro biológico percolador, decantador secundário e leito de secagem	Prefeitura	Obras	Rio Taquaraçu
45	Várzea da Palma	Baixo Rio das Velhas	ETE Várzea da Palma	17° 35' 20"	44° 42' 59,5"	TP, reator UASB e leito de secagem	COPASA	Boas condições	Córrego Rio das Velhas
			ETE Vespasiano Central	19° 41' 45,0"	43° 55' 0,2"	TP, lodos ativados com aeração prolongada e leito de secagem	COPASA	Boas condições	Ribeirão da Mata
			ETE Nova Pampulha	19° 45' 26,9"	43° 57' 39,3"	TP, reator UASB, filtro biológico percolador, decantador secundário e leito de secagem		Boas condições	Córrego Candango
46	Vespasiano	Médio Rio das Velhas	ETE Morro Alto	19° 45' 55,9"	43° 57' 20,3"	TP, lodos ativados com aeração prolongada, 2 lagoas de estabilização e leito de secagem	COPASA	Boas condições	Córrego Sujo
			-	-	-	-		Boas condições	Córrego Sujo

NI: Não informado



## 8 APÊNDICE

1

### Vazões utilizadas

<b>ETE</b>	<b>Cidade</b>	<b>Q PMSB (L/s)</b>	<b>Qefluente (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Monte Carlo</b>	Sete Lagoas	10	0,01
<b>Tamanduá</b>	Sete Lagoas	10	0,01
<b>Pedro Leopoldo</b>	Pedro Leopoldo	23,51	0,02351
<b>Matozinhos</b>	Matozinhos	16,6	0,0166
<b>Jequitibá</b>	Jequitibá	5	0,005