

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA NA BACIA DO RIO DAS VELHAS - MG.

MÁRCIA DE ARRUDA CARNEIRO

Belo Horizonte
2014

MÁRCIA DE ARRUDA CARNEIRO

AVALIAÇÃO ECOTOXICOLÓGICA NA BACIA DO RIO DAS VELHAS - MG.

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Ecotoxicologia

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Arnola Cecília Rietzler

Belo Horizonte
Instituto de Ciências Biológicas da UFMG
2014

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me concedeu força, paciência e perseverança para conseguir superar todas as dificuldades do caminho.

Ao Júnior pelo apoio e carinho.

A professora Arnola Cecília Rietzler pela orientação, ensinamentos e disponibilidade em ajudar.

A professora Paulina pela compreensão.

Ao professor Francisco Barbosa pelo apoio e compreensão.

A Katiene Brito do IGAM pela cooperação na disponibilização dos dados.

RESUMO

A bacia do rio das Velhas encontra-se na região central do estado de Minas Gerais, com uma área de drenagem de aproximadamente 27.867,20 km², englobando 51 municípios de forma parcial ou total, contidos na bacia. Possui grande importância geopolítica por estar inserida no município de Belo Horizonte e região metropolitana, onde o desenvolvimento industrial e atividades de mineração estão presentes. Os biomas predominantes ao longo da bacia são de Mata Atlântica, Cerrado e Campos de Altitude. Os ensaios ecotoxicológicos tem sido utilizados para avaliar os efeitos de poluentes potencialmente tóxicos sobre comunidades biológicas. Estes ensaios têm sido conduzidos no Projeto Águas de Minas do Instituto Mineiro de Gestão Ambiental – IGAM, projeto esse de monitoramento de águas superficiais das bacias do estado de Minas Gerais. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a frequência de ocorrência de eventos tóxicos dos ensaios ecotoxicológicos de 23 estações amostrais que incluem estações na calha principal e nos principais tributários, numa série histórica de 5 anos que compreende 2009 à 2013 no alto, médio e baixo curso da bacia do rio das Velhas. Observou-se que as estações amostrais BV037, BV063 e BV067 (alto curso), BV137, BV154 e BV155 (médio curso) e BV151 (baixo curso) apresentaram os maiores percentuais de ocorrência de eventos tóxicos ao longo da série histórica. A partir dos resultados obtidos, é notável a importância dos ensaios ecotoxicológicos na identificação dos pontos mais críticos o que permite uma avaliação da qualidade da água do ponto de vista ecotoxicológico ao longo da bacia do rio das Velhas.

Palavras-chave: Ecotoxicologia; Bacia do rio das Velhas; Biomonitoramento.

ABSTRACT

The Velhas River basin lies in the central region of the state of Minas Gerais, with a drainage area of approximately 27867.20 km², encompassing 51 municipalities partially or completely contained in the basin. Has great geopolitical importance to be inserted in the municipality of Belo Horizonte and its metropolitan area, where industrial development and mining activities are present. The predominant biomes along the basin are Atlantic Forest, Cerrado and Altitude fields. The eco-toxicological tests have been used to assess the potentially toxic effects of pollutants on biological communities. These tests have been conducted on Waters Project of Mines Mining Institute of Environmental Management - IGAM, this project monitoring surface water basins in the state of Minas Gerais. This study aimed to evaluate the frequency of occurrence of toxic events of ecotoxicological testing of 23 sampling stations including stations in the main channel and major tributaries, a time series of 5 years comprises 2009 to 2013 on high, medium and low course of the Velhas river basin. It was observed that the sampling stations BV037, BV063 and BV067 (upper course), BV137, BV154 and BV155 (high school) and BV151 (lower course) had the highest percentages of occurrence of toxic along historic series events. From the results obtained, it is remarkable the importance of ecotoxicological assays in identifying the most critical points which allows an assessment of the water quality of the ecotoxicological point of view along the Velhas River basin.

Keywords: Ecotoxicology; Biomonitoring, Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Localização da bacia do rio das Velhas.....	06
FIGURA 2 - Delimitação dos cursos alto, médio e baixo da bacia do rio das Velhas.....	08
FIGURA 3 - Frequência de ocorrência de eventos tóxicos por ponto de monitoramento de cada curso do rio das Velhas.....	11
FIGURA 4 - Frequência média de ocorrência de eventos tóxicos de montante a jusante ao longo do rio das Velhas no período de 2009 a 2013.....	12
FIGURA 5 - Frequência de ocorrência no alto curso da bacia.....	13
FIGURA 6 - Frequência de ocorrência no médio curso da bacia.....	15
FIGURA 7 - Frequência de ocorrência no médio curso da bacia.....	16

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Faixas de concentração da CT- Contaminação por tóxicos.....	05
TABELA 2 - Descrição da estação amostral, classe de enquadramento, latitude e longitude.....	09
TABELA 3 - Dados da frequência de ocorrência do alto curso da bacia.....	14
TABELA 4 - Frequência de ocorrência no médio curso da bacia.....	15
TABELA 5 - Frequência de ocorrência no baixo curso da bacia.....	16
TABELA 6 - Comparação de resultados de Ecotoxicologia e Contaminação por Tóxicos.....	17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional de Águas

CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

COPAM – Conselho de Política Ambiental

CT – Contaminação por tóxicos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

RMBH – Região Metropolitana de Belo Horizonte

SENAI/FIEMG – Centro de Inovação e Tecnologia SENAI/FIEMG – Campus CETEC

UPGRH - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	2
3. MATERIAIS E MÉTODOS	5
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	5
3.2 AMOSTRAGEM E TIPO DE ENSAIO	7
3.3 TRATAMENTO DOS DADOS	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
4.1 ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DA SÉRIE HISTÓRICA	11
4.1.1 ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA NO ALTO CURSO DA BACIA	13
4.1.2 ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA NO MÉDIO CURSO DA BACIA	14
4.1.3 ANÁLISE DA FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA NO BAIXO CURSO DA BACIA	16
4.2 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE ECOTOXICOLOGIA COM O ÍNDICE CONTAMINAÇÃO POR TÓXICOS – CT.	11
5. CONCLUSÕES	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1 INTRODUÇÃO

A água doce, como fonte primária de recursos para a sociedade, levou à formação de grandes aglomerados urbanos e industriais, sendo fundamental no estabelecimento das civilizações no decorrer do tempo. A dependência do homem moderno do ecossistema aquático é mais evidente em regiões altamente industrializadas, nas quais as exigências “*per capita*” têm se tornado cada vez maiores. Além disso, nessas regiões, grande parte dos efluentes domésticos e industriais, são lançados nos corpos de água sem o tratamento prévio adequado (ESTEVES, 1998). Este crescimento exponencial tem gerado sérios problemas ambientais principalmente na qualidade e quantidade de água disponível para o consumo humano tendo em vista os rumores de estresse hídrico em diversas regiões do continente.

As maiores ameaças à biodiversidade de rios e córregos estão na degradação, na perda de habitats e na poluição química e orgânica da água (ALLAN *et al.*, 1993). Desta forma, os estudos que tendem a investigar os efeitos causados nas comunidades aquáticas em qualquer nível de organização, a comparar seus processos ecológicos e suas implicações no sistema natural, são de extrema importância não só para a espécie humana, como também para todas as espécies que fazem parte deste grande ecossistema (MORETTO, 2001).

Os projetos de monitoramento utilizados para avaliar a qualidade da água são baseados em análises físicas e químicas que qualificam e quantificam os teores de certas substâncias no meio, o que gera uma discussão entre muitos pesquisadores por não avaliar o seu potencial de risco para o organismo aquático. A utilização das comunidades aquáticas como indicadores biológicos a impactos é fomentada a partir do biomonitoramento, designado para medição da qualidade da água, baseado nas respostas dos organismos em relação ao seu habitat, de forma que a biota aquática reage a estímulos naturais ou antropogênicos (BUSS *et al.*, 2003).

Neste contexto a ecotoxicologia é uma ciência que reúne conceitos de ecologia e toxicologia, verificando e avaliando efeitos de poluentes nas comunidades aquáticas (PLAA, 1982 *apud* ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008). Os ensaios ecotoxicológicos podem ser realizados com organismos bioindicadores de diferentes graus de trofia, tais

como algas, peixes e microcrustáceos que são utilizados para determinar o efeito deletério que uma substância química ou compostos químicos produzem a esses organismos (USEPA, 2002).

Atualmente esses biotestes têm sido muito utilizados em países desenvolvidos e em algumas regiões do Brasil em projetos de monitoramento de qualidade da água. Assim, pode ser também utilizado para avaliar o potencial tóxico de determinadas substâncias provindas de efluente industrial a serem lançadas no corpo hídrico, visando o atendimento aos limites determinados pela legislação ambiental vigente.

Para a realização de avaliações eficientes, é de fundamental importância a aplicação de análises integradas da qualidade da água, unindo as metodologias tradicionais e os aspectos biológicos do sistema. Portanto, os ensaios ecotoxicológicos são importantes por complementar as informações obtidas por análises físicas e químicas para indicar o potencial agressor de substâncias poluentes às comunidades aquáticas.

Frente ao exposto, o objetivo deste trabalho é avaliar a frequência de ocorrência de eventos tóxicos, demonstrando a funcionalidade dos ensaios ecotoxicológicos nos três cursos da bacia do rio das Velhas (alto, médio e baixo), evidenciando assim a importância dos mesmos como uma ferramenta relevante para o monitoramento de qualidade da água.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Em comparação às outras ciências, a ecotoxicologia pode ser considerada nova por ser reconhecida mundialmente somente a partir dos anos 60 e no Brasil, foi estabelecida para avaliar critérios e padrões de qualidade da água, de efluentes líquidos, de resíduos sólidos e sedimento de solos buscando registrar produtos químicos nestes ambientes (ZAGATTO e BERTOLETTI, 2008).

O termo ecotoxicologia surgiu em Junho de 1969 em Estocolmo e sua definição, publicada em 1976 pelo Comitê Científico do ISCU sobre Problemas Ambientais (SCOPE), foi resumida como a ciência que estuda os efeitos das substâncias naturais

ou sintéticas sobre organismos vivos, incluindo a interação dessas substâncias com o meio num contexto integrado (PLAA, 1982). Em concordância com BLAISE (1984), que afirma que a Ecotoxicologia estuda os efeitos de uma ou mais substâncias aos organismos e como esses interagem no seu habitat. Assim, a Ecotoxicologia foi criada com o objetivo de ser uma ferramenta para avaliação das condições da biota aquática perante a exposição a compostos tóxicos.

Atualmente, é reconhecido que somente os ensaios ecotoxicológicos possuem a particularidade de caracterizar os efluentes líquidos de forma abrangente, sendo capazes de detectar o efeito tóxico resultante das interações entre as substâncias químicas na biota aquática (BERTOLETTI, 2008). Neste contexto, a Resolução CONAMA nº 430/11 (que complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/05) no seu artigo 1º que dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores, informa que ensaios ecotoxicológicos devem ser executados com a amostra de efluentes. Em seu artigo 18º, dispõe que o efluente não deverá causar ou possuir potencial para acarretar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

A maioria das ações antrópicas causa algum tipo de poluição, sendo um dos principais problemas a contaminação pela falta de saneamento básico que reflete no despejo incorreto de esgoto doméstico nos cursos d'água. Associado aos efluentes de origem industrial, que na maioria das vezes não são lançados no curso d'água conforme a legislação pertinente, o potencial de contaminação passa a apresentar sérios riscos na presença de compostos químicos perigosos.

Os principais tipos de poluidores receberam a denominação de fontes pontuais e difusas, onde as pontuais são aquelas que o poluente atinge de forma concentrada o corpo d'água e nas fontes difusas o poluente adentra o corpo d'água distribuído ao longo de parte da sua extensão (VON SPERLING, 1996), provindas de escoamento superficial, lixiviação de fertilizantes, dispersão natural, entre outros.

Segundo ZAGATTO e BERTOLETTI (2008), muitos trabalhos demonstram que a biota é afetada por interações sinérgicas, antagônicas de potencialização e de adição de contaminantes orgânicos, sendo que quando a biota aquática é exposta a mistura de

contaminantes pode causar interações toxicológicas que resultam da exposição de dois ou mais contaminantes (RAND *et al.*;1995).

Neste contexto, surge a importância do monitoramento ambiental, que consiste na realização de medições específicas de determinados indicadores e parâmetros, com objetivo de verificar impactos ambientais que possam estar ocorrendo na bacia (BITAR & ORTEGA, 1998). Entre as 27 unidades federativas, 17 delas operam com rede própria de monitoramento das águas superficiais, totalizando em 2259 estações de monitoramento ativos. Os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo são os que monitoram o maior número de parâmetros (físicos, químicos e biológicos), atingindo uma média de 50 a 60 parâmetros (ANA 2012).

A avaliação da qualidade das águas superficiais do estado de Minas Gerais é de responsabilidade do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, por meio do projeto Águas de Minas, em operação desde 1997. Este projeto tem como objetivo fornecer informações sobre as condições da qualidade das águas do estado de Minas Gerais necessárias para definição de estratégias de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Atualmente, o projeto trabalha com 620 estações amostrais distribuídos nas bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Grande, Doce, Paranaíba, Paraíba do Sul, Mucuri, Jequitinhonha, Pardo, Buranhém, Itapemirim, Itabapoana, Itanhém, Itaúna, Jucuruçu, Peruípe, São Mateus e Piracicaba/Jaguari (IGAM, 2012).

O projeto trabalha com a avaliação de 53 parâmetros físicos e químicos, 6 biológicos e utiliza os indicadores: IQA – Índice de Qualidade da Água; CT – Contaminação por tóxicos, IET – Índice de Estado Trófico, Densidade de Cianobactérias e Ensaio de Ecotoxicologia (sendo os dois últimos realizados somente em pontos específicos). Ensaio de densidades de cianobactérias, microbiológicos, ecotoxicológicos, organismos bentônicos e clorofila *a* são relatados e interpretados junto com parâmetros físicos e químicos para indicar a situação atual do corpo hídrico e reportar as principais fontes poluentes (IGAM, 2012).

O monitoramento biológico requer especial atenção dos gestores da água e dos especialistas da área, com a necessidade de melhorar e sistematizar o uso de indicadores científicos para medir os impactos e alertar sobre possível colapso do ecossistema aquático. O biomonitoramento é, portanto, uma ferramenta

importantíssima para avaliar as condições da biota aquática visando à conservação e preservação desses ambientes.

Como os ensaios ecotoxicológicos são capazes de enriquecer o entendimento junto a outros resultados das análises laboratoriais que visam a qualidade da água, podemos comparar também com um índice adotado pelo IGAM denominado Contaminação por tóxicos – CT. Este índice avalia os 13 seguintes parâmetros: arsênio total, bário total, cádmio total, fenóis totais, mercúrio total, nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal total e zinco total, e compara com os limites definidos na classe de enquadramento dos corpos de água determinados pelo Conselho Estadual de Política Ambiental - COPAM e Conselho Estadual de Recursos Hídricos – CERH na Deliberação Normativa Conjunta nº 01/08 (IGAM, 2013) Este índice recebe três faixas de classificação indicada na tabela 1.

Tabela 1: Faixas de concentração da CT- Contaminação por tóxicos.

Fonte: IGAM, 2013

Valor da CT em relação à classe de enquadramento	Contaminação	Significado
concentração $\leq 1,2 P$	Baixa	Refere se à ocorrência de substâncias tóxicas em concentrações que excedem em até 20% o limite da classe de enquadramento do trecho do corpo de água onde se localiza a estação de amostragem.
$1,2 P < \text{concentração} \leq 2P$	Média	Refere se a faixa de concentração que ultrapasse os limites mencionados no intervalo de 20% a 100%
Concentração $> 2P$	Alta	Refere se as concentrações que excedem em mais de 100% do limite

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1- Área de estudo

A área de estudo situa-se na bacia do rio das Velhas (Figura 1), inserida na região central do estado de Minas Gerais, com uma área de drenagem de aproximadamente 27.867,20 Km² englobando 51 municípios de forma parcial ou total contidos na bacia

(IGAM, 2007), que abrigam uma população estimada de 4,5 milhões de habitantes (IBGE, 2000). Sua nascente está localizada no município de Ouro Preto na Cachoeira das Andorinhas e sua foz no município de Várzea da Palma (MOREIRA, 2006), onde deságua no rio São Francisco. A bacia é dividida em alto, médio e baixo curso, entre as coordenadas 17° 15' E 20° 25' S – 43° 25' e 44° 50' W (LISBOA, *et al.*, 2008). O rio das Velhas é o maior afluente da bacia do São Francisco com 801 Km de extensão e corresponde a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos SF5 - São Francisco 5. (CBH Velhas, 2004).

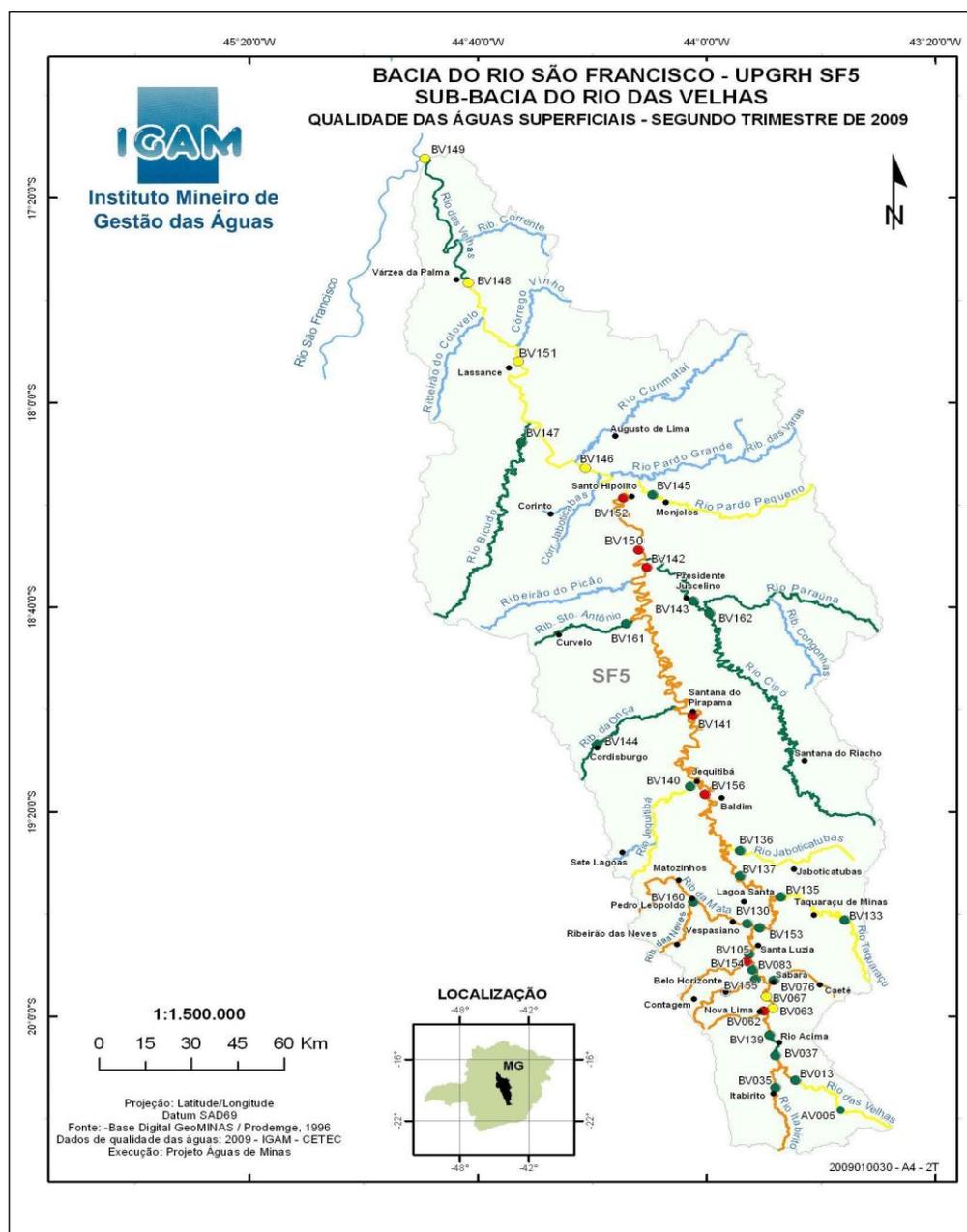


FIGURA 1 - Localização da bacia do rio das Velhas.

Fonte: IGAM, 2009

Os biomas predominantes ao longo da bacia são de Mata Atlântica, Cerrado e Campos de Altitude (CBH Velhas, 2004). A principal atividade econômica desenvolvida é o extrativismo mineral, concentrado no alto curso da bacia que compreende parte do Quadrilátero Ferrífero. A pecuária é a atividade mais importante do médio curso do rio e a agricultura está presente no baixo curso, mas com pouca expressividade. A atividade industrial concentra-se na Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH, que contribui significativamente para degradação dos corpos de água devido à falta de tratamento de seus efluentes e resíduos sólidos gerados (IGAM, 2009).

Segundo Ayoade (1991), embasado na classificação de Köppen, a região apresenta dois tipos climáticos: o tropical de altitude nas áreas mais elevadas e o tropical nas áreas de menor altitude. O clima tropical de altitude é caracterizado por médias térmicas anuais entre 19°C e 27°C, com precipitação média de 1500 mm anuais, concentradas nos meses de outubro a março. No clima tropical ocorrem duas estações bem definidas: uma chuvosa no verão e outra seca no inverno. A média de precipitação anual fica entre 1000 mm e 2000 mm e a temperatura média anual entre 19°C e 28°C. Ao Norte da bacia hidrográfica os índices pluviométricos são menores e as temperaturas maiores, em comparação ao restante da área.

3.2- Amostragem e tipo de ensaio

Os dados deste trabalho foram obtidos através do Projeto Águas de Minas do Instituto Mineiro de Gestão Ambiental – IGAM, onde todas as coletas e execução dos ensaios pertencem a rede de amostragem deste projeto em parceria com o Centro de Inovação Tecnológica SENAI/FIEMG campus CETEC, que trabalha com campanhas trimestrais avaliando as condições físicas, químicas e biológicas das principais bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais.

A série histórica escolhida foi de 2009 a 2013 onde buscou-se identificar áreas que caracterizassem as condições naturais da água da bacia, levando em consideração as principais interferências antrópicas, relacionadas com a ocupação do solo por atividades industriais, agricultura e exploração mineral no alto, médio e baixo curso (Figura 2).

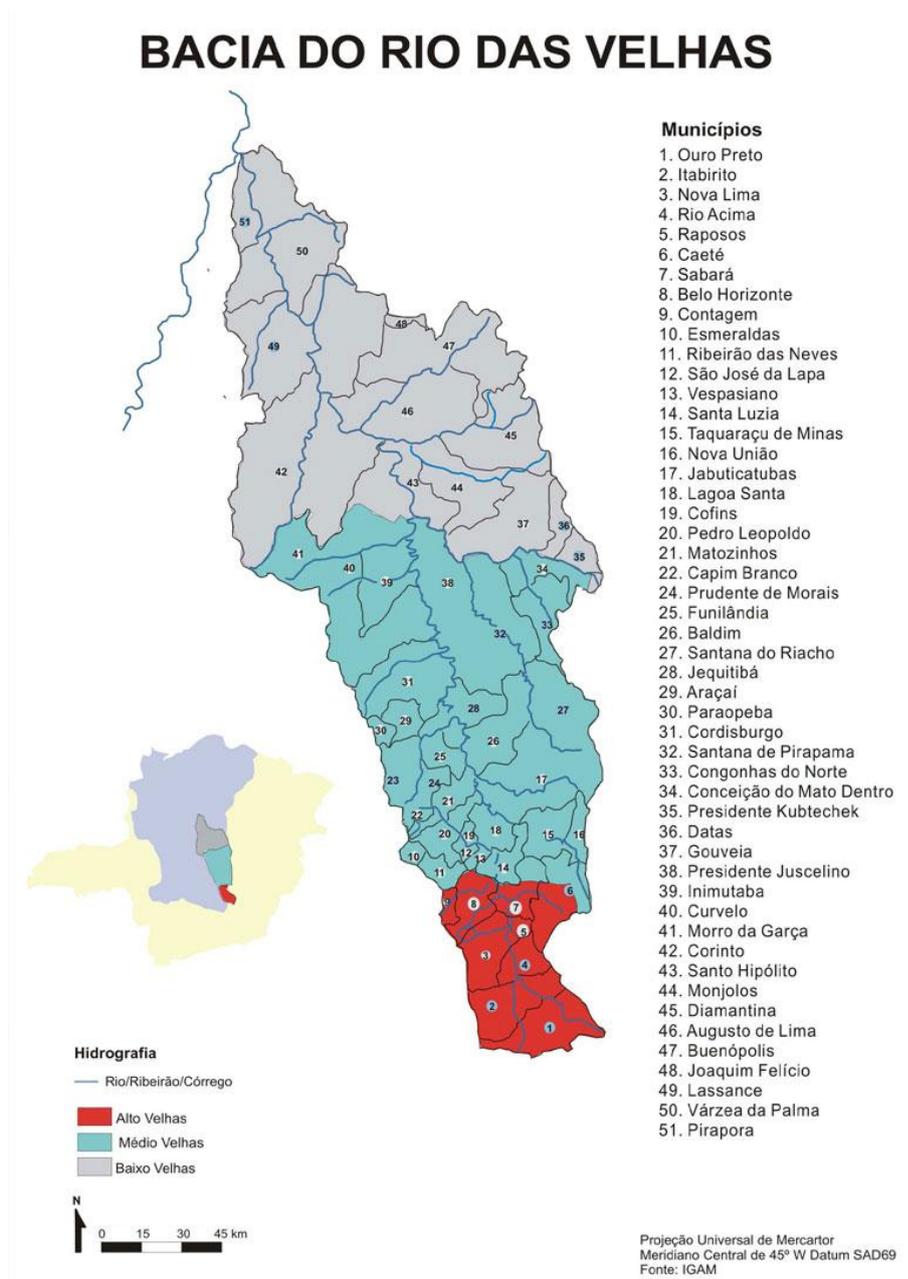


FIGURA 2 – Delimitação do curso alto, médio e baixo da bacia do rio das Velhas.

Fonte: IGAM, 2009

A metodologia utilizada na realização dos ensaios ecotoxicológicos é padronizada e normalizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 13373 (Ensaio com *Ceriodaphnia dubia* - ecotoxicidade crônica), onde os organismos são expostos à determinada amostra no período de 1 até 8 dias, e são observados os efeitos de reprodução e letalidade. Após o ensaio, os dados são tratados em programas estatísticos que permitem a interpretação do resultado como efeito tóxico ou não tóxico.

Foram utilizados apenas resultados de ensaios de ecotoxicidade crônica qualitativa, por se tratar de monitoramento de cursos d'água natural. E para este trabalho denominou se evento tóxico para todo resultado que apresentou efeito agudo (letalidade em até 48 horas de exposição) ou efeito crônico (alteração na reprodução em até 8 dias de exposição). A frequência do ensaio de ecotoxicidade crônica é trimestral, sendo no total 4 ensaios por ano para cada estação amostral. Ressalta que não foram utilizadas todas as estações amostrais que possuem o ensaio de ecotoxicologia pelo fato da falta de algum dado da série histórica (amostra não coletada, falta de acesso e etc.). As estações amostrais selecionadas estão descritas na tabela abaixo.

Tabela 2: Descrição da estação amostral, classe de enquadramento, latitude e longitude.

Fonte: IGAM 2013.

Estação	Classe de enquadramento	Descrição	Município	Latitude	Longitude
BV035	Classe 2	Rio ITABIRITO a jusante da cidade de Itabirito	Itabirito (MG)	-20° 12' 36,41"	-43°44' 30,26"
BV037	Classe 2	Rio das VELHAS logo a jusante da foz do rio Itabirito	Rio Acima (MG)	-20° 7'47,79"	-43°48' 0,09"
BV062	Classe 2	Ribeirão ÁGUA SUJA próximo de sua foz no rio das Velhas	Nova Lima (MG)	-19° 59' 0,39"	-43°49' 58,38"
BV063	Classe 2	Rio das VELHAS logo a jusante do ribeirão Água Suja	Nova Lima (MG), Raposos (MG)	-19° 58' 31,44"	-43° 48' 23,93"
BV067	Classe 2	Rio das VELHAS a montante do ribeirão Sabará	Sabará (MG)	-19° 56' 18,26"	-43° 49' 37,70"
BV076	Classe 3	Ribeirão SABARÁ próximo de sua foz no rio das Velhas	Sabará (MG)	-19° 53' 13,2"	-43° 48' 7,2"
BV083	Classe 3	Rio das VELHAS logo a jusante do ribeirão Arrudas	Sabará (MG)	-19° 50' 57,3"	-43° 51' 54,7"
BV139	Classe 2	Rio das VELHAS logo a jusante do ribeirão Arrudas	Rio Acima (MG)	-20° 3' 48,3"	-43° 49' 0,991"
BV105	Classe 3	Rio das VELHAS logo a jusante do ribeirão do Onça	Santa Luzia (MG)	-19° 47' 56,08"	-43° 52' 33,45"
BV130	Classe 2	Ribeirão da MATA próximo de sua foz no rio das Velhas	Vespasiano (MG)	-19° 41' 55,05"	-43° 52' 54,9"
BV135	Classe 1	Rio TAQUARAÇU próximo de sua foz no rio das Velhas	Jaboticatubas (MG), Santa Luiza (MG)	-19° 36' 40,2"	-43° 47' 0,614"
BV137	Classe 3	Rio das VELHAS na Ponte Raul Soares	Lagoa Santa (MG)	-19° 32' 35,8"	-43° 54' 8,842"

Continua...

Continuação tabela 2: Descrição da estação amostral, classe de enquadramento, latitude e longitude.

Estação	Classe de enquadramento	Descrição	Município	Latitude	Longitude
BV141	Classe 2	Rio das VELHAS na cidade de Santana do Pirapama	Santana de Pirapama (MG)	-19° 1' 15,9"	-44° 2' 28,96"
BV142	Classe 2	Rio das VELHAS a jusante do ribeirão Santo Antônio	Iminutaba (MG), Presidente Juscelino (MG)	-18° 32' 13,4"	-44° 10' 30,19"
BV150	Classe 2	Rio das VELHAS a jusante do rio Paraúna, na localidade de Senhora da Glória	Santo Hipólito (MG)	-18° 28' 53,6"	-44° 11' 53,69"
BV155	Classe 3	Ribeirão ARRUDAS próximo de sua foz no rio das Velhas	Sabará (MG)	-19° 52' 47,54"	-43° 51' 29,56"
BV154	Classe 3	Ribeirão do ONÇA próximo de sua foz no rio das Velhas	Santa Luzia (MG)	-19° 49' 19,29"	-43° 52' 59,45"
BV155	Classe 3	Ribeirão ARRUDAS próximo de sua foz no rio das Velhas	Sabará (MG)	-19° 52' 47,54"	-43° 51' 29,56"
BV156	Classe 2	Rio das VELHAS logo a jusante do rio Jabuticatubas	Baldim (MG)	-19° 16' 39,92"	-44° 0' 20,33"
BV160	Classe 2	Ribeirão das NEVES próximo de sua foz no ribeirão da Mata	Pedro Leopoldo (MG)	-19° 37' 47,04"	-44° 2' 17,92"
BV148	Classe 2	Rio das VELHAS na cidade de Várzea da Palma	Várzea da Palma (MG)	-17° 36' 39"	-44° 41' 46,8"
BV149	Classe 2	Rio das VELHAS, a montante da sua foz no rio S-Francisco, em Guaicuí	Várzea da Palma (MG)	-17° 12' 14,8"	-44° 49' 22,8"
BV151	Classe 2	Rio das VELHAS a jusante do correjo do Vinho em Lassance	Lassance (MG)	-17° 51' 54,7"	-44° 42' 56,59"

3.3- Tratamento dos dados

Por se tratar de variáveis qualitativas buscou se montar o banco de dados da série história e calcular os resultados da frequência de ocorrência por estação amostral nos 5 anos escolhidos entre 2009 e 2013. Para tanto foram elaborados tabelas, quadros e gráficos no programa Excel 2007 com objetivo de exemplificar melhor os valores encontrados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise da frequência de ocorrência da série histórica

A importância em trabalhar com dados de uma série histórica de monitoramento ambiental consiste em avaliar determinada estação amostral ou trecho de um rio e indicar a evolução temporal ocorrida neste intervalo, tanto progressiva quanto regressiva. A figura 3 representa o percentual da ocorrência dos eventos tóxicos entre o número de estações avaliadas em cada curso da bacia. Nota-se que o médio curso da bacia apresenta uma ocorrência mais elevada em relação ao alto e baixo curso. Porém, o número de estações amostrais não é idêntico para cada curso, sendo importante utilizar este dado para analisar de forma pontual a estação amostral e sua localidade.

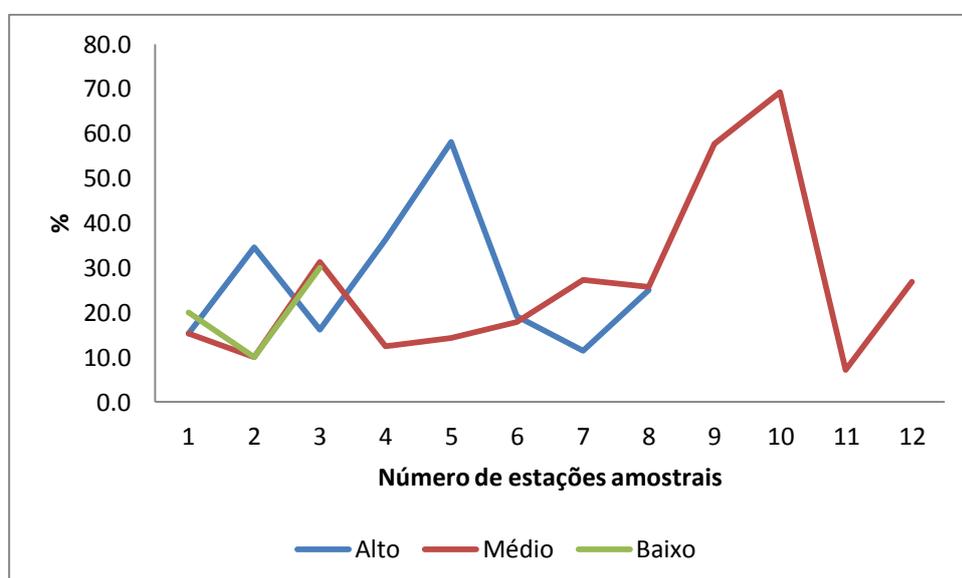


FIGURA 3- Frequência de ocorrência de eventos tóxicos por estação de monitoramento de cada curso da bacia.

Para uma visualização mais ampla de toda a bacia em estudo a Figura 4 apresenta a frequência de ocorrência, por estação amostral, na sequência do rio, de montante a jusante ao longo da bacia. Através da figura, pode-se verificar como os resultados expressam bem os picos de eventos tóxicos nas estações amostrais BV063 e BV076, com possível influência de contaminação provinda das cidades de Nova Lima e Sabará (Ribeirões Água Suja e Sabará), e também nos pontos BV153, BV154 e BV155 com a influência de contaminação da região metropolitana de Belo Horizonte (Ribeirões Arrudas, Onça e da Mata).

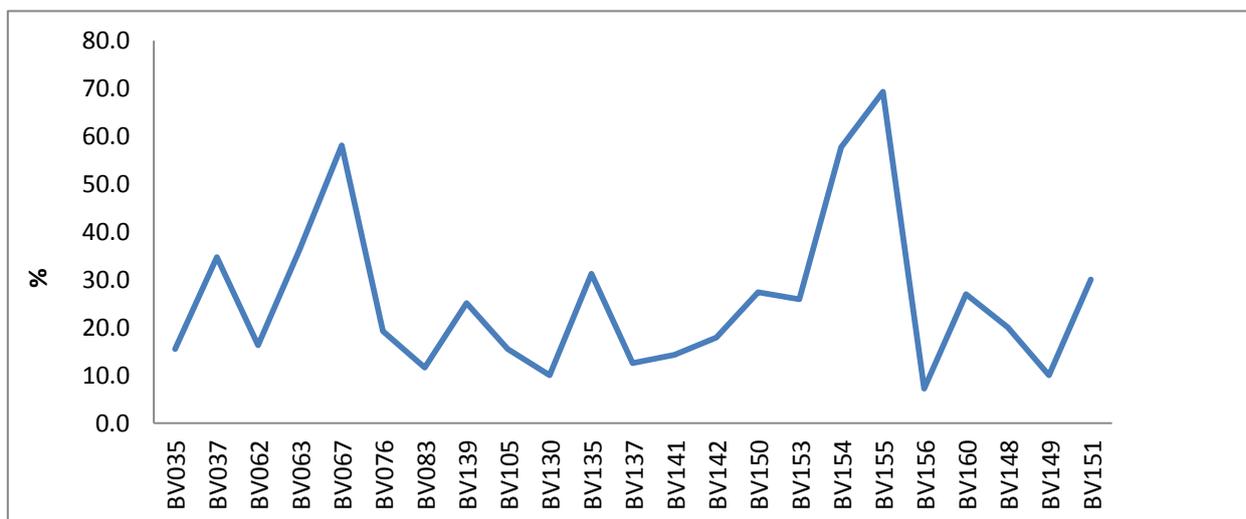


FIGURA 4: Frequência média de ocorrência em percentual de eventos tóxicos de montante a jusante ao longo do rio das Velhas no período de 2009 a 2013.

É preciso ressaltar que os pontos amostrais pertencem a ambientes lóticos, que são sistemas de água corrente influenciados por diversos fatores tais como alterações de fluxo, interação com sistema pluvial e terrestre, tipos de estruturas geológicas, topografia e cobertura vegetal. Que apresenta diferenças na dinâmica e na estrutura das comunidades aquáticas, como por exemplo, apresenta uma concentração maior de oxigênio dissolvido devido a diferenças de altitude que favorecem os processos de autodepuração auxiliando no equilíbrio do meio aquático.

No entanto, cada composto químico apresenta um comportamento diferente no ambiente, quase sempre associado às características físicas e químicas da água, podendo se complexar a outros elementos da água ou do sedimento, assim como dissociar, derivar, volatilizar ou degradar. E existem outros compostos que só demonstram efeitos tóxicos na presença de outro. Desta forma, a água de um curso d'água terá vários momentos e várias características diferentes ao longo do seu percurso.

E com objetivo de uma análise ecotoxicológica mais completa é importante ressaltar que os ensaios com sedimento podem identificar um efeito tóxico não observado nos ensaios de amostras da coluna d'água. Boldrini *et. al.*, (1990) *apud* Zagatto (2006) afirma que determinados poluentes, tais como, metais pesados e compostos organoclorados mantêm no ambiente integrado ao sedimento, podendo acumular se em concentrações superiores aquelas encontradas no meio líquido, podendo ocasionar

efeitos agudos ou crônicos para as comunidades que vivem em contato com o sedimento. Influenciando assim em todo o metabolismo do sistema aquático.

4.1.1 Análise da frequência de ocorrência no alto curso da bacia

O alto curso do rio das Velhas compreende em todo o Quadrilátero ferrífero, Ouro Preto Belo Horizonte e região metropolitana (IGAM, 2013). Conforme podemos observar na figura 5 os maiores picos de ocorrência pertencem as estações BV037, BV063 e BV067. A estação amostral BV037 está situada a jusante da foz do rio Itabirito, no qual abrange as cidades de Itabirito e Rio Acima e o principal setor industrial na região é a Siderúrgica VDL (antiga Queiroz Júnior). A estação BV063 está situada a jusante do ribeirão água suja no município de Nova Lima, onde os índices de contaminação das águas demonstram os impactos gerados pela atividade de mineração na região. E a estação BV067 situada a montante do ribeirão Sabará que abrange os municípios de Caeté e Sabará, onde o município de Sabará apresenta uma atividade industrial mais desenvolvida e Caeté possui aera de preservação ambiental regulamentada.

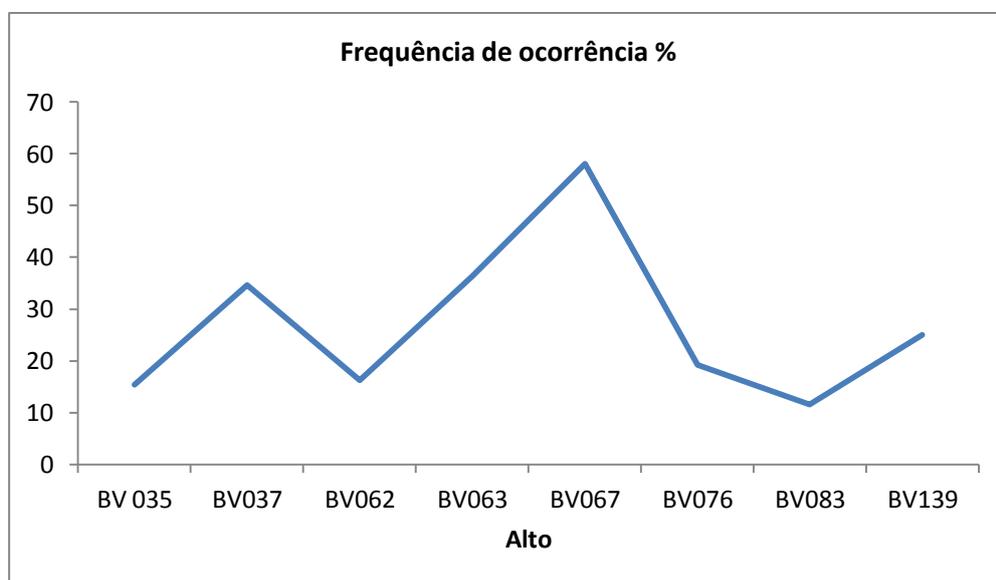


Figura 5: Frequência de ocorrência no alto curso da bacia.

Na tabela 3 utilizada para complementar as informações do gráfico acima, demonstra as 3 estações amostrais que apresentaram os maiores valores de ocorrência e ressalta a importância de observar dentro da série histórica de 5 anos consecutivos qual foi o

número de amostras ensaiadas e o número de eventos tóxicos para cada uma destas estações amostrais. E a média para todas as estações foi de 27,4%.

Tabela 3: Dados da frequência de ocorrência do alto curso da bacia

Fonte: IGAM, 2013.

Estação amostral	Número total de amostras	Número de eventos tóxicos	Frequência de ocorrência de eventos tóxicos
BV035	26	4	15.4%
BV037	26	9	34.6%
BV062	74	12	16.2%
BV063	77	28	36.4%
BV067	31	18	58.1%
BV076	26	5	19.2%
BV083	26	3	11.5%
BV139	24	6	25.0%
TOTAL	310	85	27.4%

4.1.2 Análise da frequência de ocorrência no médio curso da bacia

O médio curso da bacia do rio das Velhas traça ao longo da foz do ribeirão da Mata até a foz do rio Paraúna (IGAM, 2013). As estações amostrais que apresentaram maiores picos de ocorrência foram BV137, BV154 e BV155. A estação BV137 situada na calha central do rio das Velhas pertence ao município de Lagoa Santa (Figura 6). O trecho está enquadrado como classe 3, tendo como principal atividade econômica a agropecuária.

As estações BV154 e BV155 também são enquadradas como classe 3, situadas na foz do ribeirão do Onça e ribeirão Arrudas, nos municípios de Santa Luzia e Sabará. E de acordo com o estudo do Consórcio ESSE/Montgomery, nas sub-bacias dos ribeirões Arrudas e Onça existem 3.125 indústrias, das quais cerca de 50% podem ser considerados poluentes (ATLAS, 2007).

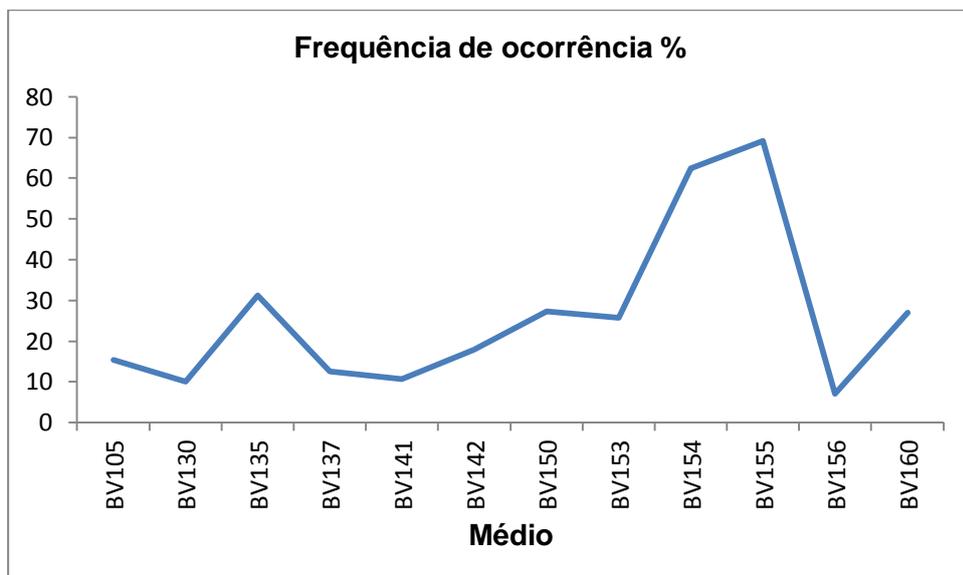


Figura 6: Frequência de ocorrência no médio curso da bacia

Na tabela 4 utilizada para complementar as informações da figura acima, demonstra as 3 estações amostrais que apresentaram os maiores valores de ocorrência e ressalta a importância de observar dentro da série histórica de 5 anos consecutivos qual foi o número de amostras ensaiadas e o número de eventos tóxicos para cada uma destas estações amostrais. E a média para todas as estações foi de 26,0%.

Tabela 4 Frequência de ocorrência no médio curso da bacia

Fonte: IGAM, 2013

Estação amostral	Número total de amostras	Número de eventos tóxicos	Frequência de ocorrência de eventos tóxicos
BV105	26	4	15.4%
BV130	30	3	10.0%
BV135	32	10	31.3%
BV137	24	3	12.5%
BV141	28	4	14.3%
BV142	28	5	17.9%
BV150	22	6	27.3%
BV153	31	8	25.8%
BV154	26	15	57.7%
BV155	26	18	69.2%
BV156	28	2	7.1%
BV160	26	7	26.9%
TOTAL	327	85	26.0%

4.1.3 Análise da frequência de ocorrência no baixo curso da bacia

O baixo curso do rio vai do rio Paraúna até a foz do rio São Francisco em Barra do Guaicuí. Neste trecho foram escolhidas somente 3 estações amostrais (Figura 7). Onde a estação BV151 apresentou a maior ocorrência na série histórica em estudo. Situada na calha central do rio das Velhas a jusante do córrego do Vinho no município de Lassance, enquadrada na classe 2. E a principal atividade econômica básica a extração de quartzo, agricultura e pecuária.

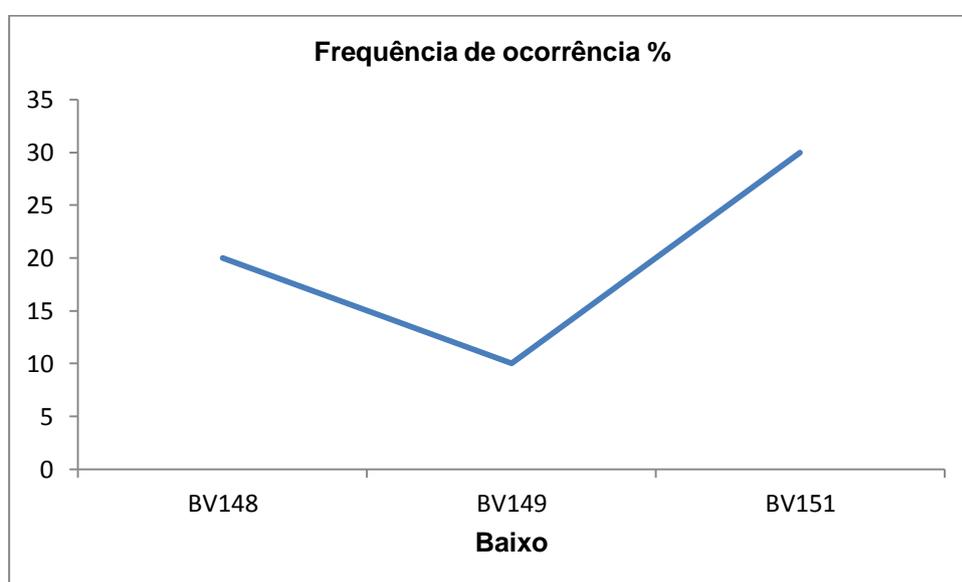


Figura 7: Frequência de ocorrência no médio curso da bacia

Na tabela 5 utilizada para complementar as informações do gráfico acima, demonstra as 3 estações amostrais que apresentaram os maiores valores de ocorrência e ressalta a importância de observar dentro da série histórica de 5 anos consecutivos qual foi o número de amostras ensaiadas e o número de eventos tóxicos para cada uma destas estações amostrais. E a média para todas as estações foi de 20,0%.

Tabela 5: Frequência de ocorrência no baixo curso da bacia

Estação amostral	Número total de amostras	Número de eventos tóxicos	Frequência de ocorrência de eventos tóxicos
BV148	20	4	20.0%
BV149	20	2	10.0%
BV151	20	6	30.0%
TOTAL	60	12	20.0%

4.2 Comparação dos resultados de Ecotoxicologia com o índice Contaminação por tóxicos – CT.

Utilizou-se para exemplificar uma comparação entre os resultados de Ecotoxicologia e Contaminação por Tóxicos nas 4 campanhas trimestrais do ano de 2013 (Tabela 6). Podemos observar que dentre as quatro estações selecionadas a maioria delas coincidiu o resultado de efeito tóxico em ecotoxicologia e contaminação por tóxico alta. Indicando assim a viabilidade e funcionalidade dos ensaios de ecotoxicologia e a importância em tratar e apresentar os dados de forma agrupada, buscando correlacionar os resultados de maneira geral em cada estação amostral.

Tabela 6: Comparação de resultados de Ecotoxicologia e Contaminação por Tóxicos
Fonte: IGAM, 2013

Estação amostral	Resultados de Ecotoxicologia 2013				CT – Contaminação por Tóxicos 2013			
	1º Trim.	2º Trim.	3º Trim.	4º Trim.	1º Trim.	2º Trim.	3º Trim.	4º Trim.
BV 142	Não tóxico	Tóxico	Tóxico	Não Tóxico	Alta	Alta	Alta	Alta
BV 148	Tóxico	Não tóxico	Não tóxico	Não tóxico	Alta	Média	Alta	Alta
BV 150	Tóxico	Não tóxico	Tóxico	Tóxico	Alta	Alta	Alta	Alta
BV 151	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Tóxico	Alta	Média	Alta	Alta

Para as campanhas que não apresentaram efeito tóxico e a CT foi alta, pode se inferir ao processo hidrodinâmico do rio em diluir o contaminante em um determinado trecho. Fato este que deixa a indicação de outras formas de amostragens tais como o uso do sedimento para conseguir indicar eventos tóxicos que não apresentaram na coluna d'água. Sendo importante destacar que em algumas estações em que o valor da CT foi alta o resultado apresentou como não tóxico para ecotoxicidade, sendo que a CT alta significa uma violação em concentrações que excedem 100% do limite permitido pela legislação competente.

De acordo com IGAM 2013, a situação mais crítica entre todas as bacias do projeto de monitoramento ambiental do estado de Minas Geras encontra-se na bacia do rio das Velhas, que apresentou 14% de frequência de CT Média e 26% de CT Alta no ano de 2013. Portanto, através destes levantamentos surge a necessidade dos órgãos gestores do meio ambiente atuar efetivamente nas fontes de contaminação por tóxicos que está presente em todo o curso da bacia do rio das Velhas.

5. CONCLUSÕES

Os estudos ecotoxicológicos possibilitaram uma melhor visualização dos dados a partir da apresentação pontual da frequência de ocorrência de eventos tóxicos ao longo da bacia do rio das Velhas na série histórica de 5 anos. Por se tratar de ambientes lóticos, recomenda-se um direcionamento de pesquisas visando ensaios de ecotoxicidade relacionados ao sedimento. Cabe destacar que o ensaio ecotoxicológico é uma ferramenta importante para os programas de monitoramento da qualidade da água e de estudos ambientais, estes são utilizados para fomentar as tomadas de decisões que envolvem o ecossistema aquático.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (2005). **Ecotoxicologia aquática – Toxicidade crônica** – Método de ensaio com *Ceriodaphnia* spp (Crustacea, Cladocera). NBR 13373. Associação Brasileira de Normas Técnicas: 14.

ALLAN, J. D.; FLECKER, A. S. **Biodiversity conservation in running waters**. Bioscience, v. 43, p. 32-43, 1993.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Informe 2012 Edição Especial**. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/arquivos/Conjuntura2012.pdf>> Acesso em: 23 set. 2013

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 3ª edição. Trad. de Maria Juraci Zani dos Santos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1991.

ATLAS digital das águas de Minas; **uma ferramenta para o planejamento e gestão dos recursos hídricos**. Coordenação técnica, direção e roteirização Humberto Paulo Euclides. 2. ed. Belo Horizonte : RURALMINAS ; Viçosa, MG : UFV , 2007 . 1 CD-ROM. ISBN 85-7601-082-8.

BERTOLETTI, E. **Controle Ecotoxicológico de efluentes líquidos no estado de São Paulo**. São Paulo. Cetesb 2008. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/publicacoes/manual-controle-ecotoxicologico-2013.pdf>>. Acesso em 24 de Maio 2014.

BITAR, O.Y & ORTEGA, R.D. **Gestão Ambiental**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A. (Eds.). Geologia de Engenharia. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998.

BLAISE, C. **Introduction to ecotoxicological concepts**. Assessment, Proceedings of biological testing and Harzad. Enviromental Canadá,1984.

BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F. & NESSIMIAN, J.L. **Bases conceituais para a aplicação do biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios.** Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro. Mar - abr. 2003.

COMITÊ BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS – CBH VELHAS. **Histórico: Bacia do Velhas.** Disponível em: <<http://www.cbhvelhas.org.br/index.php/more-about-joomla/a-bacia.htm>> Acesso em 15 fev. 2014.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2014.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 13 maio 2014.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Qualidade das águas superficiais em 2009.** Relatório Anual 2009. Disponível em:<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/qualidade_aguas/relatorio-executivo-qualidade-2009.pdf> Acesso em: 10 jan. 2014.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Monitoramento da qualidade das águas superficiais em Minas Gerais em 2012 – Resumo Executivo** Disponível em:<<http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/qualidade/2013/resumo-executivo-agua-superficial-2012.pdf>> Acesso em: 12 maio. 2014.

IGAM - INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Identificação de municípios com condição crítica para a qualidade de água na bacia do rio das Velhas – Relatório 2013** Disponível em <
http://www.igam.mg.gov.br/images/stories/ARQUIVO_SANEAMENTO/estudo-saneamento-rio-das-velhas.pdf> Acesso em: 12 de maio. 2014

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico: Censo 2000.** Disponível em: <
http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/default_censo_2000.shtm> Acesso em: 24 jun. 2014.

LISBOA, A. H.; GOULART, E. M. A. & DINIZ, L. F. M. **Projeto Manuelzão: a história da mobilização que começou em torno de um rio.** Belo Horizonte: Instituto Guaicuy, 2008.

MOREIRA, E. A & OLIVEIRA, C. V; **A ocupação da Bacia do Rio das Velhas relacionada aos tipos de solos e processos erosivos.** Tese (mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2006.

MORETTO, E. M. **Diversidade zooplanctônica e variáveis liminológicas das regiões limnética e litorânea de cinco lagoas do Vale do Rio Doce – MG, e suas relações com o entorno.** São Carlos, S.P. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, 2001.

PLAA, G.L. **Present status: toxic substances in the environment.** Canada Journal of physiology and Pharmacology. 1982

RAND, G.M. **Fundamentals of Aquatic Toxicology: Effects, environmental fate and risk assessment.** Second Edition. Taylor & Francis, Washington, DC. 1125p; 1995.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. **Short-term methods for estimating the chronic toxicity of effluents and receiving waters to freshwater organisms.** Fourth edition. (EPA-821-R-02-13). 335 p. Washington, 2002.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 2ª edição. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte;1996.

ZAGATTO P. A, BERTOLETTI E. **Ecotoxicologia Aquática: Princípios e Aplicações**. 2ª edição. Editora Rima; São Paulo, 2008.