Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
Centro de Energia Nuclear na Agricultura

Avaliação hidrobiogeoquímica na bacia do Ribeirão das Posses no âmbito do
Programa Conservador das Águas, Extrema, MG

Lucas de Camargo Reis

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências Área de concentração: Ecologia
Aplicada

Piracicaba
2018

Lucas de Camargo Reis
Bacharel e Licenciado em Ciências Biológicas

**Avaliação hidrobiogeoquímica na bacia do Ribeirão das Posses no âmbito do Programa
Conservador das Águas, Extrema, MG**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientadora:
Profa. Dra. **MARISA DE CÁSSIA PICCOLO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências Área de concentração: Ecologia
Aplicada

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Reis, Lucas de Camargo

Avaliação hidrobiogeoquímica na bacia do Ribeirão das Posses no âmbito do Programa Conservador das Águas, Extrema, MG / Lucas de Camargo Reis. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2018.

71 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

1. Pagamento de serviços ambientais 2. Bacias hidrográficas 3. Restauração florestal 4. Ecologia isotópica I. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus avós, Drau de Oliveira Reis e Doralina Lourenço dos Reis

Ao meu amigo Guilherme dos Santos Barreto

Cujas presenças não pude desfrutar nos últimos anos, devido às intensas atividades dessa pesquisa

E que partiram, deixando a saudade...

“Tomara

Que a tristeza te convença

Que a saudade não compensa

E que a ausência não dá paz

E o verdadeiro amor de quem se ama

Tece a mesma antiga trama

Que não se desfaz

E a coisa mais divina

Que há no mundo

É viver cada segundo

Como nunca mais...”

Vinicius de Moraes

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família sempre presente e incentivadora, em especial à minha mãe dona Neusa Antunes de Camargo, ao meu pai Waldecir Lourenço dos Reis e aos meus irmãos Tiago de Camargo Reis e Daniela de Oliveira Reis.

Agradeço à minha orientadora Marisa Piccolo e meus co-orientadores Plínio Camargo e Ricardo Figueiredo pela orientação, correção de textos, atividades de campo e ensinamentos durante essa jornada, sem nunca me esquecer de que nos momentos mais difíceis, sem bolsa e formas de conseguir recursos para me manter, eles fizeram um esforço conjunto para me manter no programa de pós-graduação.

À minha colega de programa Cristiane Formigosa, por ter sido aquela que mais me ajudou nas discussões científicas, elaboração de tabelas, atividades de campo, leitura de artigos e análises diversas, entre outros compromissos na pós-graduação.

Aos técnicos de laboratório, Fabiana Adorno e Dagmar Oliveira pelos inestimáveis serviços prestados no apoio à minha pesquisa. E a Alexandra Krusche sempre solícita, mesmo sendo integrante de outro grupo de pesquisa.

Aos técnicos que me auxiliaram nos campos Paulo Rossi, Guilherme Furlan, Alex (TNC) e Adelmir, que muito me ajudaram a cumprir minhas tarefas de campo.

Aos funcionários da prefeitura de Extrema, da TNC e do projeto Conservador das Águas, principalmente o Sr. Elias e ao secretário municipal Sr. Paulo Pereira.

Aos amigos do grupo GEPURA, Pablo Majer, Isabela Aoki, Thiago Mendes, Amanda Strazzacapa, Elen Perez, Diego Salazar e Álvaro Marsola, aos meus estagiários Juliana Oliveira e Otávio Oliveira, aos meus colegas de pós-graduação Fernanda Gaudio e Aline Fransozi e à Haiany Miranda, Evandro Daniel e Wesley Saltarelli, sem me esquecer dos estagiários da embrapa Vitor Dias e Mateus Simioli que me auxiliaram nas duras campanhas de campo.

Aos pesquisadores que de alguma forma contribuíram com a evolução desse trabalho como Luiz Antônio Martinelli, Patrícia Portanova, Maria Lucia Zuccari, Alex Krusche, Anderson Pereira e Robson Willians.

Aos meus colegas de pós-graduação do LEI e do LCN, que junto comigo enfrentaram as angústias, dramas, ansiedades, mas também muitas conquistas, vitórias e fizeram desse período inesquecível.

Aos meus amigos da BiBoBuKum, que fizeram da nossa casa um lar e refúgio de todos os problemas do dia-a-dia, Cassio Toledo, Pedro Confort e Rodrigo Prado.

À Maíra Clemente, por ter sido incessantemente companheira nesse período tão intenso e pouco tranquilo da minha vida.

À Fapesp (Processo Fapesp: 2014/27023-3) e a Capes pela concessão das bolsas de estudo, sem isso não poderíamos ter chegado aos resultados tão importantes encontrados nesse trabalho.

Muito obrigado!

EPÍGRAFE

“Do rio que tudo arrasta se diz que é violento.
Mas ninguém diz violentas as margens que o reprimem”.

Bertold Brech

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS	11
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. OBJETIVO GERAL	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. HIPÓTESES.....	17
4. REVISÃO DE LITERATURA	19
5. MATERIAL E MÉTODOS	27
5.1. ÁREA DE ESTUDO	27
5.1.1. Detalhamento da área	29
P1 – Nascente em restauração desde 2007.....	31
P6 – Nascente em restauração desde 2009.....	32
P12 – Nascente em restauração desde 2010.....	32
5.2. COLETAS DE AMOSTRAS.....	33
5.3. PRECIPITAÇÃO E VAZÃO.....	33
5.4. PREPARO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS	34
5.4.1. Parâmetros físico-químicos.....	34
5.4.2. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO).....	35
5.4.3. Análises químicas.....	36
5.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	37
6. RESULTADOS	39
6.1. EVOLUÇÃO DOS PARÂMETROS DE 2011-2013 PARA 2015-2016.....	39
6.2. ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E DBO	40
6.3. CARBONO DISSOLVIDO.....	42
6.4. NITROGÊNIO DISSOLVIDO.....	44
6.5. ELEMENTOS IÔNICOS PRINCIPAIS	47
6.5.1. Concentração de ânions dissolvidos	47
6.5.2. Concentração de cátions dissolvidos	49
6.5.3. Balanço iônico dos elementos	51
6.5.4. Curvas de diluição iônica	52
6.6. MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)	54
6.6.1. Concentração de MPSF e MPSG.....	54
6.6.2. Análises isotópicas de MPSG.....	55
6.6.3. Transporte na foz do ribeirão	57
7. DISCUSSÃO	59
7.1. EVOLUÇÃO DOS PARÂMETROS CE, OD, NH_4^+ , NO_3^- , COD ENTRE 2011/2013 E 2015/2016.....	59
7.2. INFLUÊNCIA DAS AÇÕES DE RESTAURAÇÃO E VEGETAÇÃO RIPÁRIA NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE	59
7.3. EFEITOS DA MATRIZ DE PASTAGEM	60
7.4. TRANSPORTE DE MPS NO CANAL E APORTE DOS ELEMENTOS PRINCIPAIS	61
8. CONCLUSÃO.....	63
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS.....	67

RESUMO

Avaliação hidrobiogeoquímica na bacia do Ribeirão das Posses no âmbito do programa conservador das águas, Extrema, MG

O estudo das bacias formadoras do rio Piracicaba é prioritário no contexto de solução da crise hídrica na região sudeste do Brasil, pois elas são mantenedoras de mais 4,5 milhões de habitantes na região das bacias Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), e contém o sistema de represas do Cantareira, que promove o abastecimento de água de aproximadamente 8 milhões de habitantes na região metropolitana da cidade de São Paulo. Para a garantia de tais recursos hídricos, é fundamental um plano de restauração e conservação do entorno das represas constituintes do sistema, bem como das microbacias nas cabeceiras de seus tributários, tais como o rio Jaguari. Nessa região, na microbacia do ribeirão das Posses, afluente do rio Jaguari no município de Extrema - MG, iniciou-se no ano de 2007 o projeto Conservador das Águas, com o intuito de promover restauração e conservação de nascentes dentro de propriedades privadas, no modelo de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA). Esta pesquisa teve por objetivo avaliar a dinâmica espaço-temporal de parâmetros hídricos qualitativos e quantitativos em corpos d'água, como nascentes em restauração, tributários e canal principal do ribeirão das Posses e sua influência no rio Jaguari, considerando o uso do solo na área drenada a montante de cada ponto amostral. Os parâmetros hidrobiogeoquímicos avaliados foram: vazão, temperatura, pH, condutividade elétrica, DBO, além de oxigênio, carbono, nitrogênio e elementos iônicos principais dissolvidos e massa e razão isotópica de carbono e nitrogênio no material particulado em suspensão. Os resultados demonstram que as ações de restauração têm contribuído para a redução na condutividade elétrica (CE) nas nascentes. O uso da terra interferiu na qualidade dos corpos hídricos e que o Cl⁻ pode ser utilizado como traçador ambiental, refletindo a influência do ambiente de pastagens. Por fim, os processos erosivos predominam na bacia, sendo que o transporte de material particulado em suspensão para a foz no rio Jaguari foi de 68 ton km⁻² ano⁻¹.

Palavras-chave: Pagamento de serviços ambientais; Bacias hidrográficas; Restauração florestal; Ecologia isotópica

ABSTRACT

Hydrobiogeochemical evaluation in the Ribeirão das Posses basin at the scope of the “Conservador das Águas Project”, Extrema, MG, Brazil

The study of the basins forming the Piracicaba river is a priority in the context of the solution of the water crisis in the southeastern region of Brazil, as they maintain more than 4.5 million inhabitants in the Piracicaba, Capivari and Jundiá (PCJ) basins and contain the Cantareira dam system, which promotes the water supply of approximately 8 million inhabitants in the metropolitan region of the city of São Paulo. For the guarantee of such water resources, a plan of restoration and conservation of the surroundings of the dams constituting the system, as well as the micro-basins in the headwaters of its tributaries, such as the Jaguari river, is fundamental. In this region, the Conservador das Águas project was started in 2007 in the microbasin of the Posses stream, a tributary of the Jaguari river in the municipality of Extrema - MG, with the purpose of promoting restoration and conservation of springs within private properties, in the Payments for Environmental Services (PSA) model. The objective of this research was to evaluate the spatiotemporal dynamics of qualitative water parameters in water bodies, such as springs in restoration, tributaries and main channel of the Posses stream and its influence on the Jaguari river, considering the use of the soil in the drained area amount of each sampling point. The hydrobiogeochemical parameters evaluated were: flow, temperature, pH, electrical conductivity, BOD, in addition to oxygen, carbon, nitrogen and major dissolved ionic elements and isotopic mass and carbon and nitrogen ratio in suspended particulate matter. The results show that restoration actions have contributed to the reduction in the electrical conductivity (EC) in the springs. Land use has interfered in the quality of the water bodies and that Cl⁻ can be used as an environmental tracer, reflecting the influence of the pasture environment. Finally, erosion processes predominate in the basin, and transport of particulate matter in suspension to the mouth of the Jaguari River was 68 tons km⁻² year⁻¹.

Keywords: Payment of environmental services; River basins; Forest restoration; Isotopic ecology.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. BACIA DO RIBEIRÃO DAS POSSES, EXTREMA (MG), DESTAQUES PARA OS RIOS JAGUARI E CAMANDUCAIA (MINEIRO). ADAPTADO PROJETO CONSERVADOR DAS ÁGUAS (2015)	27
FIGURA 2. DISPOSIÇÃO ESQUEMÁTICA DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM COMO: AS NASCENTES EM RESTAURAÇÃO (P1, P6 E P12), OS TRIBUTÁRIOS (P5, P2 E P3), CANAL (P4, P7, P8, P9, P10, P11 E P13) E RIO JAGUARI (P14 E P15). O TEMPO (ANOS) DE RESTAURAÇÃO E O SENTIDO DA CORRENTE FLUVIAL.....	28
FIGURA 3. USO DA TERRA NA BACIA DO RIBEIRÃO DAS POSSES, MUNICÍPIO DE EXTREMA – MG, ADAPTADO TNC, 2013.	30
FIGURA 4. (A) LOCAL DE COLETA (P1) COM PRESENÇA MASSIVA DE GRAMÍNEAS, (B) IMAGEM AÉREA DA MICROBACIA DE DRENAGEM DO PONTO DE COLETA (P1) (GOOGLE EARTH - 2015) E (C) CONDIÇÃO ANTES E DEPOIS DE 10 ANOS DE RESTAURAÇÃO (TNC – 2015).....	31
FIGURA 5. (A) LOCAL DE COLETA (P6) COM PRESENÇA DA CERCA DO COCHO, (B) IMAGEM AÉREA DA MICROBACIA DE DRENAGEM DO PONTO DE COLETA (P6) (GOOGLE EARTH - 2015).....	32
FIGURA 6. (A) LOCAL DE COLETA (P12) ALAGADO E COLONIZADO POR TABOA (<i>TYPHA DOMINGENSIS</i>), (B) IMAGEM AÉREA DA MICROBACIA DE DRENAGEM E DO PONTO DE COLETA (P12) (GOOGLE EARTH - 2015).	32
FIGURA 7. DADOS DE VAZÃO ($L\ S^{-1}$) MÉDIA NA FOZ EM CADA COLETA E PRECIPITAÇÃO ACUMULADA DE TRINTA DIAS (MM) ANTES DE CADA COLETA NA BACIA DO RIBEIRÃO DAS POSSES, EXTREMA (MG), NO PERÍODO DE 27/JAN/15 A 27/JAN/16.....	34
FIGURA 8. LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS INSTALADAS ENTRE JAN/2015 E DEZ/2015, PONTOS DE COLETA E REDE DE DRENAGEM DA BACIA DO RIBEIRÃO DAS POSSES, EXTREMA (MG).	34
FIGURA 9. CONCENTRAÇÕES (MÉDIA $\pm$ ERRO PADRÃO) DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS OD ($MG\ L^{-1}$) E CE ($\mu S\ CM^{-1}$) E QUÍMICOS COD (μM), NO_3^- (μM) E NH_4^+ (μM) OBTIDAS ENTRE OS ANOS 2011-2013 (N=22) (SANTOS, 2014) E 2015-2016 (N=12) (ATUAL). OS RESULTADOS DO TESTE T (P=0,05) ENTRE OS TRABALHOS (2011-2013) E (2015-2016).	39
FIGURA 10. VALORES (MÉDIA (N=6) $\pm$ ERRO PADRÃO) PARA OS PERÍODO SECO E CHUVOSO DE OD_{MG} (BARRAS), VALORES MÉDIOS ANUAIS (N=12) DE OD_% (*) DA TEMPERATURA DO AR T_{AR} (-) E DA ÁGUA T_{H2O} (Δ), DE JAN/15 A JAN/16, SEPARADOS POR TIPOS DE CORPOS D'ÁGUA. TESTE ESTATÍSTICO KRUSKAL-WALLIS (P=0,05) ENTRE AS MÉDIAS NO PERÍODO SECO E CHUVOSO.....	41
FIGURA 11. MÉDIA $\pm$ ERRO PADRÃO (A) CE (B) DBO, NOS PERÍODOS SECO (N=6) E CHUVOSO (N=6) E (C) PH (N=12), VALORES MÁXIMOS E MÍNIMOS. LIMITES PELO CONAMA - RES.Nº357 – DE DBO PARA CORPOS HÍDRICOS CLASSE 1 - LINHA PONTILHADA E CLASSE 2 - LINHA TRACEJADA. TESTE ESTATÍSTICO KRUSKAL-WALLIS (P=0,05) ENTRE AS MÉDIAS NO PERÍODO SECO E CHUVOSO PARA CE E DBO, E AINDA, NO MESMO TIPO DE CORPO D'ÁGUA PARA O PH.	42
FIGURA 12. CONCENTRAÇÃO DE COD E CID (μM) (MÉDIA (N=6) $\pm$ ERRO PADRÃO), PARA OS MESES CHUVOSOS E SECOS, ENTRE JAN/15 E JAN/16. TESTE ESTATÍSTICO KRUSKAL-WALLIS (P=0,05) ENTRE AS MÉDIAS NO PERÍODO SECO E CHUVOSO.	44
FIGURA 13. CONCENTRAÇÕES (MÉDIA (N=6) $\pm$ ERRO PADRÃO) NT, NH_4^+ E NO_3^- (μM) DISSOLVIDOS, PARA OS MESES CHUVOSOS (N=6) E SECOS (N=6), ENTRE JAN/15 E JAN/16. TESTE ESTATÍSTICO KRUSKAL-WALLIS (P=0,05) ENTRE AS MÉDIAS NO PERÍODO SECO E CHUVOSO.....	46
FIGURA 14. CONCENTRAÇÕES (MÉDIA (N=6) $\pm$ ERRO PADRÃO) DE F⁻, CL⁻, SO_4^{2-} E HCO_3^- PARA OS MESES CHUVOSOS E SECOS, ENTRE JAN/15 E JAN/16. TESTE ESTATÍSTICO KRUSKAL-WALLIS (P=0,05) ENTRE AS MÉDIAS NO PERÍODO SECO E CHUVOSO.....	48

FIGURA 15. CONCENTRAÇÕES (MÉDIA (N=6) ± ERRO PADRÃO) DE K^+, Na^+, Mg^{2+}, Ca^{2+} PARA OS MESES CHUVOSOS E SECOS, ENTRE JAN/15 E JAN/16. TESTE ESTATÍSTICO KRUSKAL-WALLIS (P=0,05) ENTRE AS MÉDIAS NO PERÍODO SECO E CHUVOSO.	50
FIGURA 16. SOMATÓRIO DOS CÁTIOS (Σ^+) EM RELAÇÃO AO SOMATÓRIO DE ÂNIOS (Σ^-) EM μEQ PARA CADA PONTO DO ESTUDO EM TODAS AS COLETAS DE CAMPO (N=156).....	51
FIGURA 17. CONCENTRAÇÃO DOS ÍONS PRINCIPAIS NAS NASCENTES EM RESTAURAÇÃO P1 ($\diamond$), P6 ($\triangle$) E P12 ($\square$), VAZÕES INSTANTÂNEAS E AS RESPECTIVAS CURVAS DE DILUIÇÃO TEÓRICA (P1 = LINHA PONTILHADA, P6 = LINHA TRACEJADA MENOR E P12 = LINHA TRACEJADA MAIOR).	53
FIGURA 18. CONCENTRAÇÃO (MÉDIA ± ERRO PADRÃO), DE MPSG E MPSF, PARA OS MESES CHUVOSOS (N=6) E SECOS (N=6), OBTIDOS NOS PONTOS DE COLETA ENTRE JAN/15 E JAN/16. TESTE ESTATÍSTICO KRUSKAL-WALLIS (P=0,05) ENTRE AS MÉDIAS NO PERÍODO SECO E CHUVOSO.	55
FIGURA 19. TEORES ISOTÓPICOS $\Delta^{13}C$ (‰) E $\Delta^{15}N$ (‰) NO MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO GROSSO (MPSG) NO RIO JAGUARI, NO PERÍODO SECO (TRIÂNGULO VAZIO) E PERÍODO CHUVOSO (TRIÂNGULO CHEIO)	56

LISTA DE TABELAS

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS.....	11
TABELA 1. TIPOS DE CORPOS D'ÁGUA, GEOLOGIA, CLASSES DO SOLO, COORDENADAS GEOGRÁFICAS E DECLIVIDADE MÉDIA EM CADA PONTO DE COLETA	29
TABELA 2. USO DA TERRA EM CADA MICROBACIA DE DRENAGEM, ÁREA TOTAL DA BACIA, ÁREA DE VEGETAÇÃO (NATIVAS E RESTAURAÇÃO), ÁREA DE USO AGRÍCOLA (PASTAGEM, EUCALIPTO E SOLO EXPOSTO) E OUTROS USOS.	31
TABELA 3. MÉDIAS (N=12) ± ERRO PADRÃO DE T_{AR}, T_{H2O}, OD_{MG}, DBO, CE E PH (MÁXIMO E MÍNIMO), REFERENTE ÀS COLETAS DE CAMPO (JAN 2015 A JAN 2016). TESTE ESTATÍSTICO KRUSKAL-WALLIS (P=0,05) ENTRE AS MÉDIAS NO MESMO TIPO DE CORPO D'ÁGUA.	40
TABELA 4. CONCENTRAÇÕES DE COD E CID (MÉDIA (N=12) ± ERRO PADRÃO) DAS COLETAS MENSAIS DE CAMPO (JAN/15 A JAN/16), ORDENADOS POR TIPO DE CORPO D'ÁGUA. TESTE ESTATÍSTICO KRUSKAL-WALLIS (P=0,05) ENTRE AS MÉDIAS NO MESMO TIPO DE CORPO D'ÁGUA.	43
TABELA 5. VALORES MÉDIOS (N=12) (μM) PARA O NT, NO_3^-, NO_2^-, NH_4^+ E NOD, MÉDIAS ± ERRO PADRÃO, REFERENTES ÀS COLETAS MENSAIS DE CAMPO (JAN 2015 A JAN 2016), DIVIDIDOS POR SIMILARIDADE ENTRE AS ÁREAS DE COLETA. TESTE ESTATÍSTICO KRUSKAL-WALLIS (P=0,05) ENTRE AS MÉDIAS NO MESMO TIPO DE CORPO D'ÁGUA.	45
TABELA 6. CONCENTRAÇÕES (MÉDIAS (N=12) ± ERRO PADRÃO) DOS ÂNIOS AVALIADOS F^-, Cl^-, SO_4^{2-}, PO_4^{3-} E HCO_3^-, DE JAN/15 A JAN/16, ORDENADOS POR TIPOS DE CORPOS D'ÁGUA. TESTE ESTATÍSTICO KRUSKAL-WALLIS (P=0,05) ENTRE AS MÉDIAS NO MESMO TIPO DE CORPO D'ÁGUA.....	47
TABELA 7. CONCENTRAÇÕES (MÉDIAS (N=12) ± ERRO PADRÃO) DE Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, NO PERÍODO DE JAN/15 A JAN/16, ORDENADOS POR TIPOS DE CORPO D'ÁGUA. TESTE ESTATÍSTICO KRUSKAL-WALLIS (P=0,05) ENTRE AS MÉDIAS NO MESMO TIPO DE CORPO D'ÁGUA.	49
TABELA 8. EQUAÇÕES DAS CURVAS DE POTÊNCIA E CORRESPONDENTES VALORES DE R^2 PARA CONCENTRAÇÃO DE CADA ELEMENTO IÔNICO NAS ÁREAS DE NASCENTES DO ESTUDO.	52
TABELA 9. MÉDIAS (N=12) ± ERRO PADRÃO DE $\Delta^{13}C$, $\Delta^{15}N$, MPSF E MPSG, DIVIDIDOS POR SIMILARIDADE ENTRE AS ÁREAS DE COLETA, E PERCENTUAL (%) DA COMPOSIÇÃO DO MPS, DE JAN/15 A JAN/16. TESTE ESTATÍSTICO KRUSKAL-WALLIS (P=0,05) ENTRE AS MÉDIAS NO MESMO TIPO DE CORPO D'ÁGUA.	54
TABELA 10. TRANSPORTE DIÁRIO (T_{DIA}), TRANSPORTE ANUAL (T_{ANO}) E O TRANSPORTE ESPECÍFICO ANUAL (T_{EANO}) DE MPS, DIC, DOC, N-NT, NO_3^-, NH_4^+, F^-, Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, Na^+, K^+, Mg^{2+} E Ca^{2+} NA FOZ DO RIBEIRÃO DAS POSSES, CALCULADOS PARA O PERÍODO DE JAN/15 E JAN/16.	57

1. INTRODUÇÃO

A superfície terrestre é coberta por 71% da água, porém a água está acumulada majoritariamente nos oceanos, sendo somente 2,6% de água doce. Desse total de água doce, 76,4% estão nas calotas polares e 22,8% nos aquíferos, indisponíveis para o consumo, restando apenas 0,3% para os rios, lagos e represas, e é esse montante que é responsável por sustentar toda a vida das terras emersas. O Brasil é um país privilegiado, possuindo 12% do total de águas disponíveis, no entanto milhões de cidadãos não tem acesso à água com regularidade (BICUDO, 2010). Com o agravamento dos efeitos das mudanças climáticas globais (MARENGO, 2013), associados à falta de políticas públicas para a exploração e preservação dos mananciais, são cada vez mais comuns os episódios de seca e, consequentemente, racionamento da água para a população.

Mesmo em regiões altamente urbanizadas, como zona metropolitana de São Paulo, o acesso à água pode ser escasso, sendo que a situação teve seu ponto crítico em 2014, durante a chamada “crise hídrica” (CIRILO, 2015), período no qual o principal sistema de represas para o abastecimento da população metropolitana esteve à beira de um colapso. A região metropolitana paulista é abastecida principalmente pelo sistema Cantareira, responsável por cerca de 50% do total (WHATELY, 2007), sendo que a represa do Jaguari é o seu maior reservatório. Essa represa é alimentada pelo rio Jaguari, cujas nascentes estão no estado de Minas Gerais, uma região que vem sofrendo com a degradação dos mananciais de algumas zonas de cabeceira, devido ao uso inadequado do solo para fins agrícolas. Visando solucionar os problemas ambientais decorrentes dessa degradação, diversas ações de restauração ambiental e conservação do solo estão sendo implementadas, como aquelas aplicadas pelo projeto Conservador das Águas município de Extrema – MG.

O Conservador das Águas é uma das primeiras iniciativas de compensação financeira feita por meio do pagamento por serviços ambientais (PSA) do país. Criado em 2005, funciona estabelecendo acordos entre o poder público e os proprietários rurais, onde é promovida a restauração de nascentes e córregos em áreas privadas. Nestes acordos, são gerados contratos estabelecendo os modelos de restauração, as áreas a serem restauradas, as formas de compensação financeira e as contrapartidas do proprietário, garantindo o suporte técnico e o custeio integral da restauração por parte do projeto (PEREIRA, 2013).

A área selecionada, ribeirão das Posses, foi escolhida devido a esta ser a de maior índice de degradação ambiental de todo o município de Extrema - MG, e teve a sua primeira nascente restaurada no ano de 2007 (PEREIRA, 2013). Desde a implantação do projeto, diversos trabalhos científicos e técnicos já foram realizados na bacia do ribeirão das Posses. O interesse da comunidade científica se justifica, pelo pioneirismo da iniciativa e a possibilidade do estudo dos impactos de uma ação de restauração em larga escala em uma microbacia. Estudos sobre a geologia, qualidade do solo, erosão, sedimentos transportados, entre outros já foram concluídos, fornecendo fomentos para que outros trabalhos possam ser executados, como uma avaliação hidrológica, que gere entendimento sobre os impactos ambientais e as condições de conservação dos corpos hídricos.

O presente estudo realizou uma avaliação hidrobiogeoquímica da microbacia do ribeirão do Posses, através de parâmetros físico-químicos (condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH, temperatura do ar e da água), material particulado em suspensão (MPS), fino (MPSF) e grosso (MPSG), íons principais dissolvidos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- e PO_4^{3-}), além das formas iônicas de nitrogênio orgânico (NOD) e inorgânico (NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^-) e do nitrogênio total dissolvido (NT), e ainda, o carbono orgânico (COD) e inorgânico (CID) dissolvidos nos corpos hídricos. Dessa maneira, considera-se a dinâmica desses elementos em dois pontos de amostragem no rio Jaguari, um a montante e outro a jusante da contribuição do ribeirão das Posses, e mais treze

pontos de amostragem da água fluvial em diferentes locais da bacia desse ribeirão, contemplando sete trechos do seu canal principal, três em córregos afluentes e três de nascentes em restauração, considerando o uso da terra em cada local. Esse trabalho foi desenvolvido no âmbito do Projeto "Efeitos do uso da terra sobre aspectos quantitativos dos recursos hídricos em áreas de cabeceira das bacias dos rios Camanducaia e Jaguari" (Edital conjunto FAPEMIG/APQ-03157-13 e EMBRAPA/Macro programa 2 / Projeto BaCaJa - 02142100200) e recebeu apoio adicional da TNC (The Nature Conservancy).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a recuperação ambiental dos corpos hídricos na bacia do ribeirão das Posses, através do estudo da dinâmica espaço-temporal de parâmetros hídricos qualiquantitativos, promovida pela restauração florestal das nascentes no âmbito de um programa pagamento por serviços ambientais.

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar a dinâmica hidrobiogeoquímica da bacia e sua variação espaço-temporal;
- Investigar a influência da vegetação ripária na qualidade da água oriunda das áreas de restauração;
- Analisar os efeitos do uso da terra na qualidade dos corpos d'água da bacia do ribeirão das Posses;
- Investigar possíveis fontes antrópicas de degradação presentes na bacia do ribeirão das Posses;
- Estimar os fluxos hidro geoquímicos e calcular o balanço de massa dos elementos químicos relacionados;
- Investigar as possíveis fontes da matéria orgânica presente na água fluvial, com o auxílio da análise isotópica de carbono ($\delta^{13}\text{C}$) do material transportado;

3. HIPÓTESES

- Serão melhores os atributos de qualidade de água nas nascentes com maior tempo de restauração, com maiores áreas florestadas e com maior percentual de cobertura em relação à microbacia na qual está inserida;
- A melhoria da qualidade de água nas nascentes será transmitida para canal do ribeirão, de montante a jusante, através do aporte dos tributários, refletindo nos parâmetros de qualidade.

4. REVISÃO DE LITERATURA

O Brasil possui água doce em abundância, com aproximadamente 12% da água doce disponível para o consumo no planeta, porém a maior parte da população brasileira (93%) tem acesso a apenas 30% desse total. Isso ocorre porque grande parte da água encontra-se no norte do país (FORJAZ, 2007), região pouco povoada. Essa distribuição irregular faz com que algumas regiões, como o semiárido nordestino, enfrentem episódios de secas periódicos, no entanto até as metrópoles populosas do sudeste brasileiro já sofrem com racionamentos e restrições ao acesso à água. Para a maioria da comunidade científica o fenômeno de alteração climática global é causado pela ação humana, devido ao aumento nas emissões de gases do efeito estufa (CO_2 , CH_4 e N_2O) e pelo desflorestamento em larga escala das florestas tropicais. As alterações nos regimes pluviométricos e na disponibilidade hídrica regional, como as que ocorrem no sudeste brasileiro, são efeitos das alterações climáticas, devido a sua dependência das condições e sazonalidade do clima (NOBRE et al. 1991), fortemente influenciado pelo aumento do desmatamento na Amazônia.

Na região metropolitana de São Paulo a degradação dos recursos hídricos teve início a quase um século com a intensificação do processo de urbanização que gerou a canalização dos córregos, cobertura de mananciais, intensificação do despejo de esgotos e impermeabilização do solo, tornando necessária a captação de água para a população em regiões distantes do centro urbano através do represamento de bacias, como o que ocorre através do sistema Cantareira. Porém, mesmo a estratégia de represamento já não tem sido mais suficiente para satisfazer a demanda crescente com o processo de urbanização das últimas décadas, principalmente nas periferias da metrópole paulista, o que tem causado em alguns períodos o racionamento da água. Além disso, algumas zonas de cabeceira dos principais rios que abastecem o sistema apresentam condições inadequadas de cobertura do solo, como a ausência de vegetação nas áreas de topo de morro, nas margens dos córregos e nas zonas de nascentes, sendo que tais fatores influenciam negativamente na manutenção dos recursos hídricos (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2008). Além disso, o uso agrícola irregular, especialmente pela pecuária, através de uma ocupação desordenada e práticas inadequadas de manejo do solo na região, promovem perdas em qualidade e quantidade da água (MERTEN; MINELLA, 2002; AVILA, 2005; FERRAZ et al., 2009).

Com o objetivo de sanar esses e outros problemas, na década de 90, foram criados e instalados os Comitês PCJ (Comitês dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá), que são responsáveis pela gestão, planos de ação, estipulação de prazos, custos e metas almejadas para a qualidade ambiental das bacias PCJ. Tais bacias contabilizam uma área total de 15.303 km², contemplando 76 municípios, sendo 71 em São Paulo (92,6% da área) e 5 em Minas Gerais (7,4% da área), constituindo-se em uma região com aproximadamente 5 milhões de habitantes e abrigando o segundo maior polo industrial brasileiro. No entanto, sua importância é ainda maior quando considerado o fato de que contribui no abastecimento de água para 8,0 milhões de habitantes da região metropolitana paulista, por meio do sistema Cantareira (Agência das Bacias PCJ, 2017).

As nascentes de cabeceira do rio Jaguari abastecem as bacias do PCJ e muitas delas se localizam em propriedades rurais no extremo sul do estado de Minas Gerais. Nesses locais a vegetação natural, originalmente remanescente de florestas semidecíduas da mata Atlântica, foi substituída por pastagens, plantações de eucalipto e agricultura familiar; restando pequenos fragmentos isolados. Nesse processo não houve o devido cuidado com as áreas de preservação permanente (APP), como a preservação dos topos de morros, nascentes, florestas ripárias e encostas. Essas ações comprometem a recarga dos aquíferos, promovendo a perda na qualidade da água superficial e subterrânea, podendo causar onerosos custos às populações para a obtenção dessa água para consumo (TUNDISI;

MATSUMURA-TUNDISI, 2008), prejuízos estes que poderiam ser evitados através dos serviços ecossistêmicos promovidos pela vegetação natural.

A Avaliação Ecossistêmica do Milênio referenciou os conceitos de serviços ecossistêmicos e demonstrou sua relação na manutenção do bem-estar humano (MEA, 2005), indicando caminhos inovadores e iminentes para intervenção nos ecossistemas de forma a garantir a qualidade de vida na terra. Essa avaliação incluiu representantes de cinco convenções internacionais, cinco agências das Nações Unidas, organizações científicas internacionais, governos, líderes do setor privado, organizações não governamentais e grupos indígenas; e em suas conclusões apontou a necessidade de se implantar políticas públicas que favoreçam a recuperação e conservação dos serviços ecossistêmicos em benefício da sustentabilidade ambiental.

Os serviços ecossistêmicos representam o conjunto de funções do ecossistema que trazem benefícios à humanidade. Muitos destes serviços são críticos para nossa sobrevivência (regulação climática, regulação de reservas hídricas, purificação atmosférica, polinização de plantas cultivadas, etc.) (KREMEN, 2005). Por sua vez, a ação antrópica tem ocasionado muitas alterações na composição, estrutura e função dos ecossistemas (VITOUSEK, 1997), de maneira que em muitos casos, a capacidade desses ambientes em prover os serviços necessários foi muito prejudicada (DAILY 1997; PALMER et al. 2004). O conhecimento da maioria dos serviços ecossistêmicos é ainda pequeno, e isto impede um maior progresso na sua conservação e gerenciamento (BALMFORD et al. 2003; LUCK et al. 2003; PALMER et al. 2004; ROBERTSON; SWINTON 2005). Por exemplo, quando a cidade de Nova Iorque (EUA) decidiu pela recuperação ambiental da bacia do Rio Catskill, ao invés de construir uma estação de tratamento de água de alto custo, o potencial econômico dos serviços ecossistêmicos pode ser demonstrado de maneira contundente (HEAL, 2000).

O termo serviço ambiental, por sua vez, é utilizado atualmente para representar o que o homem faz para que a natureza continue a prover serviços ecossistêmicos. Portanto, a prestação de serviços ambientais refere-se a atividades humanas que contribuem para a manutenção ou recuperação dos serviços ecossistêmicos (CHOMITZ et al., 1999). Atualmente os serviços ambientais, ou serviços ecossistêmicos, estão firmemente inseridos no meio científico, e a importância em se estudar os serviços ecossistêmicos e ambientais tem sido amplamente reconhecida, inclusive para suprir informações que ajudam a subsidiar políticas públicas.

O projeto “Conservador das Águas” é uma iniciativa de ações de serviços ambientais, buscando a preservação e restauração ambiental no município de Extrema - MG, através da conservação dos solos e manutenção das zonas ripárias, visando à manutenção dos serviços ecossistêmicos fornecidos por essas áreas, principalmente no tocante ao provimento de água. O projeto conta com apoio técnico e incentivo financeiro para viabilização junto aos proprietários rurais, com financiamento público e privado, no modelo de pagamento por serviços ambientais (PSA). Para caracterização de um PSA é necessário que se contemplem cinco (5) critérios básicos: a existência de um serviço ambiental definido; um provedor; um comprador; um regime voluntário de negociação (provedor/comprador); e um contrato estabelecendo os critérios e normativas da transação (WUNDER, 2005). Quando um PSA é voltado ao caso de gestão de uma bacia hidrográfica, o provedor é o proprietário rural que está à montante da bacia. Os compradores são aqueles que estão à jusante da bacia, sendo estes beneficiários do serviço ecossistêmico, fazendo uso da água, devendo oferecer uma contrapartida financeira ao provedor. Os critérios a serem cumpridos pelo provedor passam a ser ditados pelo estabelecimento de normas para a forma de cobertura do solo, índices de erosão e qualidade das águas, sendo necessárias algumas vezes práticas conservacionistas, visando à conservação do solo e melhoria dos recursos hídricos (ZOLIN, 2010).

As avaliações hidrológicas fornecem informações importantes a respeito de possíveis impactos ambientais na qualidade das águas e nas condições de conservação ambiental dos recursos hídricos, sendo uma ferramenta fundamental para o estudo de bacias hidrográficas (GARCIA, 2005). Tal conhecimento pode fomentar a tomada de decisões por parte do poder público e minimizar prejuízos aos ecossistemas, com aplicação no contexto das políticas públicas. Assim, é necessário a elaboração de diagnósticos ambientais embasados em estudos de monitoramento de quantidade e qualidade de água para o entendimento da sustentabilidade hídrica em bacias hidrográficas.

Estudos em pequenas bacias, tais como a do ribeirão das Posses, são muito efetivos para a identificação do transporte e processamento de diversos elementos como: carbono (C), nitrogênio (N) e íons de escoamento superficial no solo (e entorno) (THOMAZ, 2004). Em um evento de precipitação é possível observar variações geoquímicas ocasionadas pela ocupação do solo de forma mais rápida e precisa, sendo essa uma vantagem em relação aos estudos de grandes bacias. Diante do desafio da sustentabilidade, visando compatibilizar a conservação ambiental e a produção agropecuária (ROBERTSON; SWINTON, 2005), é importante a realização do monitoramento hidrogeoquímico da bacia deste meio rural, avaliando-se a qualidade e a quantidade das águas fluviais em microbacias, cujas áreas de drenagem não ultrapassem 1.000 ha (MOLDAN; CERNÝ, 1994).

Devido às interferências antrópicas, são raros os corpos hídricos que tem a qualidade de água determinada apenas por processos naturais, tais como o clima, a vegetação nativa, a composição do solo e as rochas sedimentares na bacia de drenagem (MALMQVIST; RUNDLE, 2002; MEYBECK, 2003). Mudanças em características biogeoquímicas das águas em bacias hidrográficas ocorrerão, sempre que existir uma grande perturbação antrópica (BIGGS et al., 2002), sendo estas mudanças responsáveis pela alteração da capacidade do meio em comportar comunidades bióticas (OMETTO et al., 2000). Tais perturbações podem ser percebidas à jusante das bacias de drenagem ou ainda nos ecossistemas adjacentes, ultrapassando os limites da bacia, havendo um destaque às alterações causadas pela substituição da cobertura do solo, ou ao uso da terra, devido ao aumento das áreas agriculturáveis e de pastagens (TURNER; RABALAIS, 2003).

Não existem indicadores universais que caracterizem todos os sistemas hidrológicos, o que dificulta o estabelecimento de variáveis que representem todos os sistemas, sendo necessários estudos específicos para cada microbacia devendo ser considerado fatores edafoclimáticos, de relevo e vegetação local (TOLEDO; NICOLELLA, 2002). Dessa forma, além do entendimento dos processos biofísicos da paisagem, é necessário um melhor aferimento da qualidade da água para as comunidades, contemplando a manutenção dos serviços e funções ecossistêmicas na região da bacia ribeirão das Posses. E para compreender a avaliação da qualidade da água é importante que as interações, entre as diversas variáveis analisadas, sejam medidas de uma distribuição de pontos amostrais no espaço e no tempo (HARMANCIOGLU et al., 1998). Assim, é fundamental a compreensão dos efeitos das ações de conservação, implementadas nas cabeceiras do rio Jaguari, na qualidade e quantidade de água gerada pela bacia. Quando a cobertura vegetal é alterada ocorrem mudanças nos fluxos hídricos da bacia ou microbacia, variando expressivamente, dependendo do tipo de alteração: desmatamento, reflorestamento, atividade agrícola ou expansão urbana. No caso da substituição de pastagens por espécies de reflorestamento, a mudança no regime hidrológico será pronunciada em função do tempo de implantação do sistema florestal substituinte (MOSCA, 2003).

Para verificar-se a qualidade ambiental dos corpos hídricos é indicado compará-los com locais de condição natural (não perturbada), se possível dentro da mesma bacia hidrográfica, designados como locais de referência, nos quais as condições químicas, físicas e biológicas, e ainda, os processos naturais tenham sido minimamente afetados (HUGHES et al., 1986; STODDARD et al., 2006; HAWKINS et al., 2010). Porém, muitas vezes não se encontram locais verdadeiramente não perturbados (ou até minimamente perturbados) dentro de uma

bacia de interesse, devido à generalização das modificações humanas nos ecossistemas (STODDARD et al., 2006; WHITTIER et al., 2007; HERLIHY et al., 2008). A condição de referência passa então a ser o local com o menor distúrbio da localidade possível (REYNOLDSON et al., 1997; STODDARD et al., 2006; YATES e BAILEY, 2010).

A bacia do ribeirão das Posses é uma zona de drenagem inserida em um granitoide alcalino do Granito Piracaia, no entanto, algumas áreas estão sobre um paragneisse migmatizado. Os tipos de rochas encontrados na bacia são predominantemente monzodioritos, monzonitos e sienitos, sendo encontrados também paragneisses, micaxistos, biotita gnaisses, e granodioritos (LIMA, 2010). Os monzodioritos, monzonitos e os sienitos são rochas ígneas plutônicas saturadas com quartzo ausente (ou subordinado), contendo K feldspato e minerais ferromagnesianos piroxênio e biotita, com componentes essenciais plagioclásio Ca-Na. As paragneisses são gnaisses de origem sedimentar, já as micas são constituídas por silicato de alumínio hidratado com cátions como o K^+ , Fe^{2+} , Mg^{2+} e outros, gerando várias espécies minerais, tais como a biotita. Por fim os granodioritos também são rochas ígneas, constituídas de quartzo, plagioclásio e K feldspato, com presença de biotita (WINGE et al., 2001). A composição mineralógica da bacia é dada por ortopiroxênios ($(Mg,Fe)_2Si_2O_6$), plagioclásios ($(Na,Ca)Al(Si,Al)Si_2O_8$), feldspatos potássicos ($KAlSi_3O_8$), anfibólios e biotitas ($K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(F,OH)_2$) (CODEMIG, 2015). Não sendo encontradas na região rochas carbonatadas ($CaCO_3$ e $CaMg(CO_3)_2$) e evaporitos.

Em um estudo realizado entre 2011 e 2013 na bacia do ribeirão das Posses, foram testados alguns indicadores biogeoquímicos (pH, condutividade elétrica, DBO, oxigênio, carbono e nitrogênio dissolvidos) como referência para a avaliação das nascentes contempladas pelas práticas de PSA (SANTOS, 2014), sendo produzidos também mapas dos cursos d'água que compõem a zona de drenagem da bacia. Os resultados desse trabalho permitem um estudo comparativo entre as condições atuais (2015-2016) e no passado recente (2011-2013).

A temperatura da água e do ambiente influencia diretamente nas atividades biológicas, como as atividades metabólicas e reprodutivas (HYPOLITO et al., 2011) e físico-químicas do meio aquático, uma vez que age sobre as reações químicas, interferindo no pH, condutividade elétrica e, principalmente, no oxigênio dissolvido, estando os corpos hídricos sujeitos à variação nesse parâmetro ao longo do dia e das estações do ano (TELLES et al., 2013).

O oxigênio é o agente oxidante mais importante nas águas naturais (BAIRD, 2002) e essencial para a sobrevivência dos organismos aquáticos, sendo ainda um parâmetro importante na análise da eutrofização dos sistemas aquáticos (CARMOUSE, 1994). Elevados teores de oxigênio dissolvido podem indicar uma boa qualidade ambiental, enquanto teores baixos podem causar grande mortandade de espécies da biota aquática. Eventuais reduções nos teores são causadas pela respiração de plantas e aumento na atividade bacteriana de decomposição de compostos orgânicos (TUNDISI; MATSAMURA-TUNDISI, 2008), no entanto, a alta concentração de compostos orgânicos também pode gerar um efeito oposto, desencadeando o processo de eutrofização e acúmulo de algas, o que leva a supersaturação de oxigênio (TUNDISI; MATSAMURA-TUNDISI, 2008; TELLES et al., 2013). Outro mecanismo importante de entrada de oxigênio é a auto-oxigenação dos corpos hídricos, que ocorre devido às características do relevo, comuns em ambientes lóticos de alta declividade, o que prejudica a avaliação da qualidade ambiental de uma área através desse parâmetro.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) está intimamente relacionada aos processos de decomposição e de proliferação de microrganismos na água, se tratando da quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica pela ação microbiana (CETESB, 1991). Elevados valores para a DBO significam um alto consumo de oxigênio dissolvido, o que consequentemente pode causar mortandade de peixes e outros organismos aquáticos (TELLES et al., 2013). O CETESB utiliza a DBO como parâmetro de qualidade, definindo os valores mínimos as águas destinadas para o abastecimento humano, levando em conta o tratamento necessário antes da distribuição para

população. Assim como o CONAMA (Res. N° 357/2005), que classifica o corpo d'água para usos múltiplos de acordo com a qualidade ambiental.

A condutividade elétrica (CE) da água é um parâmetro que indica a soma iônica de uma solução para a concentração (VOGT, 2010), indicando a salinidade resultante da concentração de sais, ácidos e bases nas águas naturais (TUNDISI; MATSAMURA-TUNDISI, 2008). É outro parâmetro físico-químico importante para caracterização de um corpo hídrico, baixos valores de condutividade indicam uma boa qualidade ambiental, mas cada ecossistema poderá apresentar um patamar distinto, dependendo do tipo de rocha, composição da vegetação, regime hídrico e uso do solo. Ecossistemas com grande influência antrópica, como os ambientes agrícolas, urbanos ou com despejo de esgotos podem apresentar valores de uma ordem de grandeza 10 ou 100 vezes maiores. No entanto, características naturais dos solos podem elevar drasticamente a condutividade elétrica da água, tais como na presença de rochas carbonatadas, por exemplo, já os granitos e gnaisses, predominante no ribeirão das Posses, são rochas resistentes ao intemperismo e apresentam baixos valores de condutividade elétrica (ARCOVA et al., 1998).

O pH de águas continentais costuma estar sempre próximo a neutralidade ($\text{pH}=7$), isso indica um equilíbrio entre íons H^+ (hidrogênio ativo) e OH^- (hidroxilas). O tolerável para a maioria da vida aquática é o pH entre 6 e 9, isso porque alterações no pH podem contribuir para a precipitação de elementos tóxicos, tais como metais pesados, o que afetaria as formas de vida no local (TELLES et al., 2013). No entanto, variações naturais no pH são comuns, devido a composição dos solos, inclusive na mesma bacia hidrográfica, ou ainda em microbacias próximas (SILVA et al., 2012). A ação humana pode modificar a hidrogeoquímica das águas de uma bacia hidrográfica, refletindo em mudanças físico-químicas no pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido da água que variam com a vazão. Esse efeito foi observado por PINTO et al., (2009) no rio Negro, uma grande bacia amazônica, sob a influência do município de Manaus, indicando que o balanço de elementos, sejam cátions ou ânions, podem revelar interferências antrópicas nos ecossistemas, tais como a presença de esgotos, insumos agrícolas, diferenciando das entradas por aportes atmosféricos e geológicos (CONCEIÇÃO et al., 2010).

Uma análise dos teores elementares dissolvidos, tais como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- e PO_4^{3-} , feita em mesobacias do estado de São Paulo revelou o distúrbio gerado pelo plantio de cana de açúcar e pastagens, aumentando a concentração de alguns elementos como o Cl^- e o Ca^{2+} (WILLIAMS et al., 2001), o baixo teor de alguns elementos em solos de cerrado paulista e o efeito do uso agrícola nos corpos hídricos nessas áreas (SILVA et al., 2007) e ainda, altas concentrações naturais de alguns elementos em ambientes preservados de mata atlântica (SILVA et al., 2012), devido à composição natural dos solos nessas regiões como o HCO_3^- e o Ca^{2+} , oriundos de cavernas de calcário.

No ribeirão das Posses a predominância do uso da terra é de pastagens degradadas, sendo que esse processo de degradação pode surgir de duas maneiras: degradação agrícola ou degradação biológica. No ribeirão das Posses ocorre o processo de degradação biológica, no qual a perda de produtividade da pastagem ocorre pelo empobrecimento da capacidade biológica da área, aumento da acidez e compactação do solo, favorecendo a sobrevivência de gramíneas adaptadas e de baixo valor nutritivo para o gado como por exemplo, o capim-sapé (*Imperata brasiliensis*), capim-capeta (*Sporobolus indicus*), capim-navalha (*Paspalum virgatum*), entre outras gramíneas e dicotiledôneas adaptadas. O empobrecimento pode levar ainda à substituição da pastagem por áreas descobertas e vulneráveis a erosão (DIAS-FILHO, 2007). Em ambientes de pastagens, comuns em zonas rurais, cerca de 90% do potássio e magnésio e 80% do cálcio, consumidos através da ingestão da folhagem das gramíneas são excretados pela urina e fezes do gado (WHITEHEAD, 2000). Esses cátions ficam acumulados em locais restritos, normalmente próximos aos locais de descanso, cochos e bebedouros, sendo que o potássio é excretado principalmente pela urina,

enquanto que para o magnésio e o cálcio pelas fezes (DIAS-FILHO, 2007). O potássio excretado já está na forma iônica, solúvel em água, enquanto que o cálcio é lixiviado via reação com o nitrato, podendo chegar aos corpos hídricos. O sódio e cloreto são encontrados em ambientes de pastagens e associados ao manejo do gado, devido à alimentação do gado com sal mineral (BIGGS et al., 2002; FIGUEIREDO et al., 2010).

O carbono inorgânico encontra-se dissolvido nos corpos hídricos em diferentes formas, como o CO_2 livre e ácido carbônico (H_2CO_3), bicarbonato (HCO_3^-) e o carbonato (CO_3^{2-}), sendo que as alterações das formas predominantes dependerá do pH do meio (TUNDISI; MATSAMURA-TUNDISI, 2008; ESTEVES, 2011). As principais fontes de carbono inorgânico dissolvido nos ambientes aquáticos naturais são os processos de respiração das macrófitas emersas e da vegetação terrestre, a solubilização de CO_2 da atmosfera, a dissolução de CaCO_3 em rochas calcárias e os processos de intemperismo de rochas. O carbono orgânico dissolvido é aquele oriundo da decomposição da matéria orgânica, na forma de proteínas, carboidratos, lipídios e compostos húmicos (TUNDISI; MATSAMURA-TUNDISI, 2008), sendo que a concentração do carbono orgânico dissolvido, em águas tropicais não impactadas, normalmente está entre 2 e 15 mg L^{-1} (MEYBECK, 1982).

No meio aquático o nitrogênio dissolvido pode estar na forma orgânica (proteínas, clorofila, entre outras) ou inorgânica (amônio, nitrito e nitrato). As atividades humanas como os despejos de esgoto doméstico, industrial, de excrementos de animais confinados e de fertilizantes da agricultura geram nitrogênio inorgânico, principalmente na forma de amônio (TUNDISI; MATSAMURA-TUNDISI, 2008). No ambiente agrícola a principal fonte de nitrogênio será a partir do uso de fertilizantes, que escoem para os rios através das chuvas. O nitrogênio também é encontrado no meio natural pela deposição atmosférica das chuvas e pela fixação biológica por algas e bactérias.

A análise do material particulado em suspensão (MPS) qualifica e quantifica os materiais escoados pelos corpos hídricos, sendo necessária a regulação desse parâmetro pela vazão de água, a fim de se estabelecer o total de material transportado no período da amostragem. Nas florestas tropicais montanhosas de Porto Rico o transporte de material particulado foi de $16 - 417 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (MCDOWELL & ASBURY, 1994). A qualificação do MPS pode ser feita através da análise isotópica do carbono, sendo possível então diferenciar material oriundo de fragmentos florestais daquele vindo de pastagens. Cada ciclo fotossintético (C_3 e C_4) faz um fracionamento isotópico distinto e detectável pela análise isotópica (MARTINELLI et al., 1989). As áreas de florestas, predominantemente arbóreas, apresentam sinal de ciclo fotossintético C_3 , enquanto os ambientes de pastagens, predominantemente de gramíneas, têm ciclo de sinal fotossintético C_4 .

As curvas de diluição explicam o efeito que ocorre na concentração das espécies químicas quando há um aumento da vazão, associando baixas concentrações com altas vazões, sendo que estudos do seu comportamento são indicados para se verificar a existência de fontes de poluição na área de interesse. A proximidade da curva de diluição teórica em relação a curva de potência determinada pelos valores obtidos em campo indica se é um aporte pontual (como esgotos) ou aporte difuso (como gerado por descargas atmosféricas, intemperismo, erosão ou resíduos agrícolas) (MORTATTI, 2008). A curva de diluição teórica (C_T) tem coeficiente angular ($\alpha = -1$) e valor de $r^2 = 1$ e é dado pela equação $C_T = a \times X^\alpha$. Em uma curva de diluição um aporte pontual, apresentará uma diluição muito próxima à curva de diluição teórica, enquanto que, uma curva distante indicará um aporte difuso, sem a causa definida (VENDRAMINI, 2013). O estudo do efeito de diluição com a chegada das chuvas, através da comparação com a curva de diluição teórica, revelou a origem de elementos como o Na^+ , Ca^{2+} , NH_4^+ e PO_4^{3-} , oriundos do lançamento de esgotos no rio Piracicaba (MORTATTI et al., 2012). Outra forma de aporte difuso ocorre em áreas nas quais a concentração é constante, como em áreas preservadas, e ainda, em condições especiais da rocha matriz

ou em fenômenos erosivos (intemperismo de rocha), nos quais, não ocorre a diluição e sim uma maior concentração com o aumento da vazão (ALLAN, 2009).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Área de estudo

O estudo foi conduzido na bacia do ribeirão das Posses, localizado no município de Extrema, no estado de Minas Gerais ($22^{\circ}51'18''\text{S}$ $46^{\circ}19'04''\text{O}$), em um tributário do rio Jaguari, o qual está drenando áreas da Serra da Mantiqueira, região a qual divide os estados de São Paulo e Minas Gerais. É uma região inserida na área geopolítica de atuação do Comitê de Bacias Hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (CBH-PCJ).

A bacia do ribeirão das Posses é uma das microbacias (Figura 1) selecionadas para a restauração no Projeto Conservador das Águas (PEREIRA, 2013). O clima da região é o tropical de altitude Cwb (KÖPPEN, 1948), com verões amenos e chuvosos com períodos de estiagem durante o inverno e a precipitação média de 1477 mm ano⁻¹. O relevo da bacia do ribeirão das Posses possui altitudes variando de 938 - 1739 m, da foz do ribeirão das Posses, até o topo da serra da Mantiqueira, medidos com o auxílio de GPS (Garmin – GPSmap 60CSx).

Organização e Cartografia: Thiago S. de Azevedo - Unesp - Rio Claro - 2008

Figura 1. Bacia do ribeirão das Posses, Extrema (MG), destaques para os rios Jaguari e Camanducaia (mineiro). Adaptado Projeto Conservador das águas (2015)

O tipo de vegetação predominante na região são as Florestas Semidecíduas e Mata Atlântica (LEITÃO-FILHO, 1982), ou ainda, Floresta Ombrófila Densa, Mesófila Semidecídua e Mesófila Semidecídua de Altitude (IBGE, 1993), no entanto, atualmente restam apenas pequenos fragmentos dessa vegetação. A área total da bacia é de 1.206 hectares, distribuídos em cerca de 100 propriedades rurais, com atividade agrícola de subsistência, especialmente pecuária de corte/leite (com apenas uma fração comercializada localmente), e chácaras de veraneio. Para esse estudo na bacia do ribeirão das Posses foi estabelecido o monitoramento de quinze pontos de coleta (Figura 2), contemplando toda a extensão do ribeirão até o rio Jaguari.

Figura 2. Disposição esquemática dos pontos de amostragem como: as nascentes em restauração (P1, P6 e P12), os tributários (P5, P2 e P3), canal (P4, P7, P8, P9, P10, P11 e P13) e rio Jaguari (P14 e P15). O tempo (anos) de restauração e o sentido da corrente fluvial.

Devido às semelhanças nas áreas de drenagem e vazão média, estabeleceram-se quatro tipos de corpos d'água, visando uma melhor discussão dos parâmetros em cada ponto apresentados no trabalho:

- Nascentes em restauração – P1, P6 e P12;
- Tributários – P5, P2 e P3;
- Canal do ribeirão– P4, P7, P8, P9, P10, P11 e P13;
- Rio Jaguari – P14 e P15.

Os tipos de rochas e classes de solos encontrados na bacia do ribeirão das Posses foram descritos por LIMA (2010), que apontou a predominância de Monzodioritos, Monzonitos e Sienitos, no entanto, na região foram também identificados Paragnaisses, Micaxisto e Biotita Gnaiss, e ainda Granodiorito, Monzonito e Sienito. Foram também identificadas diferentes classes do solo presentes na bacia, tais como Argissolos Vermelho-Amarelo (predominando principalmente na parte leste da bacia), Cambissolos Háplicos e Húmicos (predominando na parte oeste da bacia), além de Neossolos Flúvicos e Litólicos.

A declividade do terreno na bacia é variada, com cerca de 30% da bacia em relevo suave (entre 0–10° de inclinação), 55% em relevo ondulado a montanhoso (11–20° de declividade) e 15% em relevo extremamente movimentado (declividade > 20°) com grande risco à erosão (AZEVEDO, 2008). Esses parâmetros podem auxiliar na interpretação para cada ponto de coleta (Tabela 1).

Tabela 1. Tipos de corpos d'água, geologia, classes do solo, coordenadas geográficas e declividade média em cada ponto de coleta

Tipo	Ponto	Geologia ^a / Classes de solo ^b	Coordenadas Geográficas (latitude, longitude)	Declividade (°)
Nascentes	P1	PMB / NF	22°53'13,4"S 46°14'27,2"O	21 - 30
	P6	MMS / LV-A	22°52'09,1"S 46°14'28,8"O	11 - 20
	P12	MMS / LV-A	22°50'42,3"S 46°14'20,8"O	11 - 20
Tributários	P5	MMS / CH	22°52'19,7"S 46°14'58,4"O	11 - 20
	P2	MMS / NL	22°52'49,9"S 46°14'50,7"O	0 - 10
	P3	MMS / NL	22°52'47,4"S 46°14'48,3"O	0 - 10
Canal do ribeirão	P4	MMS / NL	22°52'17,4"S 46°14'49,0"O	0 - 10
	P7	MMS / NL	22°52'10,7"S 46°14'46,8"O	0 - 10
	P8	MMS / NL	22°51'57,7"S 46°14'40,1"O	0 - 10
	P9	MMS / NL	22°51'36,5"S 46°14'32,5"O	0 - 10
	P10	MMS / NL	22°51'09,7"S 46°14'18,0"O	0 - 10
	P11	MMS / NL	22°50'47,4"S 46°14'10,2"O	0 - 10
	P13	MMS / NL	22°49'54,9"S 46°13'48,7"O	0 - 10
Jaguari	P14	-	22°50'16,2"S 46°13'19,5"O	0 - 10
	P15	-	22°49'50,3"S 46°13'47,9"O	0 - 10

^a PMB = Paragnaisses, Micaxisto e Biotita Gnaiss, MMS = Monzodioritos, Monzonitos e Sienitos;

^b NF = Neossolo Flúvico, LV-A = Latossolo Vermelho-Amarelo, CH = Cambissolo Húmico, NL = Neossolo Litólico;

5.1.1. Detalhamento da área

As pastagens são o uso da terra predominante na bacia (73%), com várias propriedades com a lotação de gado acima de sua capacidade de suporte, sendo muitas delas altamente degradadas. Para cada ponto de amostragem na bacia (de P1 a P13) foi obtido o uso da terra, área de drenagem, vegetação e de solo exposto, junto à TNC (The Nature Conservation) (Figura 3 e Tabela 2).

Figura 3. Uso da terra na bacia do ribeirão das Posses, município de Extrema – MG, adaptado TNC, 2013.

Tabela 2. Uso da terra em cada microbacia de drenagem, área total da bacia, área de vegetação (nativas e restauração), área de uso agrícola (pastagem, eucalipto e solo exposto) e outros usos.

Tipo	Ponto	Total	Uso agrícola				Vegetação				Outros ^a	
			Pasto	Total			Nativas	Rest.	Total			
		ha	ha	ha	%	ha	ha	ha	%	ha	%	
Nascentes	P1	18,1	13,7	13,8	76	1,9	2,1	4,0	22	0,4	2	
	P6	13,8	7,8	7,8	57	0,1	1,8	1,9	14	4,1	30	
	P12	9,7	7,9	7,9	81	1,1	0,5	1,6	16	0,2	2	
Tributários	P5	82,8	53,4	57,6	70	16,6	7,4	24,0	29	5,4	7	
	P2	144,9	99,4	106,9	74	22,4	11,6	34,0	23	11,5	8	
	P3	122,4	89,9	91,3	75	12,1	11,3	23,4	19	9,1	7	
Canal do ribeirão	P4	493,3	359,0	375,1	76	55,1	45,4	100,5	20	33,8	7	
	P7	581,3	415,8	436,1	75	72,8	53,0	125,8	22	39,7	7	
	P8	716,6	500,5	524,5	73	91,1	73,4	164,5	23	51,6	7	
	P9	805,7	559,7	589,7	73	103,5	80,7	184,2	23	61,8	8	
	P10	932,1	653,0	687,6	74	119,3	89,5	208,8	22	70,3	8	
	P11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	P13	1190,4	830,1	871,6	73,2	160,2	112,8	273,0	23	87,3	7	

^a Outros = Edificações, estradas, cursos d'água, nuvens e não identificado.

P1 – Nascente em restauração desde 2007

A nascente P1 é a mais antiga em restauração na bacia, possui a maior área total e percentual de cobertura florestal dentro de sua microbacia de drenagem, quando comparadas às outras nascentes em restauração, localizando-se mais a montante na bacia e tem a maior declividade (Tabela 2).

Apesar dos esforços de restauração existe nessa área uma grande concentração de gramíneas no leito do curso d'água (Figura 3a), tal condição interferiu em alguns dos resultados da qualidade de água do estudo.

Figura 4. (a) Local de coleta (P1) com presença massiva de gramíneas, (b) imagem aérea da microbacia de drenagem do ponto de coleta (P1) (Google Earth - 2015) e (c) condição antes e depois de 10 anos de restauração (TNC – 2015).

P6 – Nascente em restauração desde 2009

Os dados obtidos do uso da terra na microbacia de drenagem de P6 mostram um percentual de pastagem inferior aquele observado em outras nascentes em restauração. Isso se deve a interferência de nuvens na tomada da imagem aérea para o cálculo, no entanto a predominância no local é de pastagens e a declividade no local é intermediária na bacia (Tabela 2).

O destaque na área é a proximidade do ponto de coleta (P6) e um cocho para alimentação e manejo de gado, essa edificação foi construída no decorrer desse trabalho de pesquisa, foram então realizados exames complementares para verificar se isso influenciaria na qualidade da água (Figura 5a).

Figura 5. (a) Local de coleta (P6) com presença da cerca do cocho, (b) imagem aérea da microbacia de drenagem do ponto de coleta (P6) (Google Earth - 2015).

P12 – Nascente em restauração desde 2010

A nascente P12 é a mais nova em restauração na bacia, possui a menor área total e percentual de cobertura florestal entre as áreas de nascentes do estudo, localizando-se mais a jusante na bacia e tem uma declividade intermediária na bacia (Tabela 2).

Como destaque, na área da nascente restaurada (P12) ocorre um alagamento e colonização por uma planta aquática. Esse alagamento foi causado após a criação de uma barragem que tinha a finalidade de permitir o acesso do gado à água. A presença da planta aquática pode se tratar de introdução proposital na área, uma vez que ela serve de alimento ao gado, ou ainda uma espécie invasora (Figura 6a).

Figura 6. (a) Local de coleta (P12) alagado e colonizado por Taboa (*Typha Domingensis*), (b) imagem aérea da microbacia de drenagem e do ponto de coleta (P12) (Google Earth - 2015).

5.2. Coletas de amostras

De janeiro de 2015 a janeiro de 2016 foram realizadas doze amostragens de água no campo, nas datas: 27/01/2015, 20/02/2015, 19/03/2015, 24/04/2015, 22/05/2015, 16/06/2015, 20/07/2015, 26/08/2015, 05/10/2015, 04/11/2015, 27/11/2015 e 27/01/2016.

As campanhas consistiram na análise no campo de parâmetros físico-químicos, tais como pH, temperatura do ar (T_{ar}) e da água (T_{H_2O}), concentração e percentual de oxigênio dissolvido (OD_{mg} e $OD_{\%}$), e condutividade elétrica (CE). Ainda foram realizadas coletas de água fluvial para análise química laboratorial da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), do carbono orgânico dissolvido (COD) e do carbono inorgânico dissolvido (CID), do nitrogênio total dissolvido (NT), dos ânions cálcio (Ca^{+}), sódio (Na^{+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^{+}) e amônio (NH_4^{+}), dos íons fosfato (PO_4^{3-}), sulfato (SO_4^{2-}), cloreto (Cl^{-}), fluoreto (F^{-}), nitrato (NO_3^{-}), nitrito (NO_2^{-}) e bicarbonato (HCO_3^{-}).

Nas amostras de água foi ainda coletado o material particulado em suspensão (MPS) (fino (MPSF) e grosso (MPSG)) para estimativa do fluxo e para análise isotópica do C ($\delta^{13}C$) e N ($\delta^{15}N$). As amostras coletadas para análises químicas foram conservadas em caixa térmica com gelo até recebimento no laboratório e depois colocadas sob refrigeração até os procedimentos analíticos. Os materiais para acondicionamento das amostras foram lavados com solução ácida (HCl 5%) e água deionizada ultrapura (*Sistema Milli-Q®* – marca *Millipore*) (ABNT, 2001). As amostras foram mantidas sob refrigeração a 4°C (CETESB, 1987) para preservar a maioria das características físicas e químicas.

5.3. Precipitação e vazão

Os dados de vazão da bacia foram medidos na estação fluviométrica localizada na foz do ribeirão das Posses (22°49'54,9"S; 46°13'48,7"O) e disponibilizados pelo site HIDROWEB (Código ANA/CPRM: 62584600) da Agência Nacional de Águas (ANA).

Figura 7. Dados de vazão ($L s^{-1}$) média na foz em cada coleta e precipitação acumulada de trinta dias (mm) antes de cada coleta na bacia do ribeirão das Posses, Extrema (MG), no período de 27/jan/15 a 27/jan/16.

A precipitação na bacia foi calculada a partir de registros de precipitação fornecidos pelo IAG (Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas) da Universidade de São Paulo. A partir desses dados, considerando o acumulado nos últimos 30 dias antes de cada coleta, estabeleceu-se como período chuvoso aquele com precipitação superior a 150 mm, sendo considerado período seco aqueles meses que não se enquadrassem nessa premissa. Dessa maneira, o mês de janeiro, normalmente enquadrado como um período chuvoso, revelou-se um período seco para os fins desse estudo. Além disso, com os resultados obtidos pelo IAG, em um projeto parceiro, tivemos à disposição dados referentes a chuvas pontuais em diversos trechos da bacia (Figura 8). Esses dados nos auxiliaram no cálculo da vazão de cada ponto de coleta, bem como do transporte fluvial de material particulado em suspensão e das cargas dissolvidas.

Figura 8. Localização das estações pluviométricas instaladas entre Jan/2015 e Dez/2015, pontos de coleta e rede de drenagem da bacia do ribeirão das Posses, Extrema (MG).

5.4. Preparo e análise das amostras

5.4.1. Parâmetros físico-químicos

As amostras previamente peneiradas (malha de 63 μm) em campo, foram transferidas para recipiente onde foram medidos os parâmetros físico-químicos: tais como o pH, OD_{mg} , $OD\%$, CE, T_{H_2O} e T_{ar} . Para tanto foram utilizados os seguintes equipamentos: Peagâmetro - JENWAY 370 pH meter; Oxímetro - Thermo Orion; Condutivímetro - (Thermo Orion model 115).

5.4.2. Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Em cada ponto de coleta, quatro amostras de água previamente passadas pela peneira (63 μm) foram colhidas para a análise da DBO, utilizando-se frascos de vidro 60 ml (boca cônica; $\varnothing = 4 \text{ cm}$), próprios para a determinação da DBO, sendo que duas amostras foram conservadas com cloreto de mercúrio (HgCl_2) e as duas restantes não receberam nenhum tipo de conservante. As amostras foram então acondicionadas em uma caixa própria, onde ficaram ao abrigo da luz. No laboratório a medição do oxigênio dissolvido (Oxímetro de bancada – YSI 58 Oxygen Meter) para o cálculo da DBO ocorreu em no mínimo após cinco dias (120 horas). O cálculo de DBO foi realizado segundo a equação 1:

$$\text{DBO} = (\text{FI} - \text{FC}) * (120 / T_{\text{med}}) \quad (1)$$

Onde, FI é média do oxigênio dissolvido na amostra inoculada (mg L^{-1}); FC é a média do oxigênio dissolvido na amostra conservada (mg L^{-1}) e T_{med} é tempo decorrido desde a coleta (horas)

O material particulado em suspensão (MPS) na água fluvial foi separado em duas frações: fino (MPSF) e grosso (MPSG) (MEADE, 1985). A fração grossa (MPSG) do material particulado foi obtida a partir da filtragem da água coletada (de 20 a 50 L) em peneira (63 μm), até que se obtivesse um volume considerável de sedimento sobre a mesma. O acumulado foi seco em estufa (60 $^{\circ}\text{C}$) por 48 horas, sendo aferida a massa em balança analítica de precisão (0,00001g). Em seguida foram trituradas para análise isotópica de C ($\delta^{13}\text{C}$) e N ($\delta^{15}\text{N}$).

Para a obtenção da massa de material particulado em suspensão fino (MPSF) foram coletadas amostras de água, peneiradas a 63 μm , armazenadas em frascos de polipropileno (1000 mL, boca larga; $\varnothing = 4 \text{ cm}$). No laboratório as amostras foram filtradas à vácuo de baixa pressão em membranas de acetato de celulose pesadas anteriormente ($\varnothing$ poro = 0,45 μm ; $\varnothing=25 \text{ mm}$). O volume de água filtrado é desprezado e as membranas colocadas em estufa à 60 $^{\circ}\text{C}$ por 48 horas, secas e pesadas em balança analítica de precisão (0,000001g), para determinação da massa de material particulado retido em cada membrana.

A análise isotópica de C ($\delta^{13}\text{C}$) e N ($\delta^{15}\text{N}$) do material particulado em suspensão foi realizada através do analisador elementar (CHNS – EA 1110), acoplado em um espectrômetro de massa (Thermo Quest Finnigan Delta Plus). Os teores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ foram analisados por espectrometria de massas e terão os resultados dados pelas razões isotópicas $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ das amostras em relação ao padrão interno de análise de solo (Tropical – C = 1,63‰, N = 0,15‰), calibrado conforme o padrão internacional VPDB (*Belemnite americana*) e ar atmosférico, expressos em partes por mil (‰) (MARTINELLI et al., 1988).

O transporte fluvial foi calculado utilizando o método estocástico (PROBST, 1992; MORTATTI, 2011) que associa as concentrações normalizadas de MPS, DIC, DOC, N-NT, NO_3^- , NH_4^+ , F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} através das vazões instantâneas, pela equação 2:

$$T_{\text{dia}} = C \cdot Q_{\text{med}} \cdot f \quad (2)$$

Onde, T_{dia} é o transporte fluvial diário do M (Kg d^{-1}), C_{MPS} é a concentração média de MPS normalizada pela vazão (mg L^{-1}), Q_{med} é a vazão média do período ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$), f é o fator de correção da massa e do tempo para um

dia, igual a 87,400. Já o T_{ano} é o transporte fluvial anual do MPS (ton ano^{-1}), enquanto F é o fator de correção para o tempo de dia para ano e massa, igual a 365,25.

O transporte fluvial específico médio anual (T_{Eano}) é o transporte por unidade de área da bacia de drenagem ($\text{ton km}^{-2} \text{ano}^{-1}$), calculado na equação 3:

$$T_{Eano} = T_{ano} \cdot A^{-1} \quad (3)$$

Onde, A é a área da bacia de drenagem em km^2 .

5.4.3. Análises químicas

Para as análises químicas as amostras, entre 20 a 25 cm da coluna d'água (ABNT, 2001), eram coletadas, peneiradas a 63 μm e armazenadas em frascos de polipropileno (250 mL, $\varnothing = 4 \text{ cm}$). Foram mantidas em caixa térmica com gelo, sendo então encaminhadas ao Laboratório de Qualidade de Água da Embrapa Meio Ambiente (Jaguariúna-SP) e para o Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA (Piracicaba-SP).

Para a determinação da alcalinidade na água, a cada amostra coletada, uma alíquota foi filtrada a vácuo em membranas de acetato de celulose ($\varnothing$ poro = 0,45 μm ; *Millipore*) e analisada por titulação potenciométrica no titulador automático (Automatic Titrator HI902, HANNA instrument).

Para obtenção da concentração dos cátions e ânions dissolvidos na água, em cada ponto de coleta, uma alíquota da amostra coletada foi filtrada a vácuo em membranas de acetato de celulose ($\varnothing$ poro = 0,45 μm ; marca *Millipore*) e analisada através do cromatógrafo iônico (Dionex DX-120, acoplado ao amostrador automático - Dionex AS-40, com coluna supressora Dionex ASRS-ULTRA II 4 mm). A configuração do equipamento e suas colunas permitiu determinar-se as concentrações dos cátions (cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+) e amônio (NH_4^+)) e ânions (cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e fosfato (PO_4^{3-})).

Para a determinação do carbono inorgânico dissolvido (CID) e do nitrogênio total dissolvido (NT) em cada ponto de coleta um volume da amostra foi colhido, filtrado à vácuo através de membranas de acetato de celulose ($\varnothing$ poro = 0,45 μm ; marca *Millipore*), armazenado em frascos de polipropileno (60 ml) e conservado em congelador (0 °C). Após o descongelamento foram analisadas, utilizando o Analisador de Carbono Orgânico Total (Shimadzu TOC (V CPH) acoplado ao módulo de nitrogênio (TNM-1)).

Já para o carbono orgânico dissolvido (COD) em cada ponto de coleta um volume da amostra foi coletado, filtrado através de membranas microfibras de vidro (*Millipore* $\varnothing = \approx 0,7 \mu\text{m}$, calcinados 500°C por 5 horas), armazenado em frascos (calcinados) de quartzo (40 ml) e conservado no refrigerador (4°C) ao abrigo da luz. A amostra foi então analisada no Analisador de Carbono Orgânico Total (Shimadzu TOC (V CPH)). Para essa análise foram utilizadas soluções-padrão internacionais de referência (*Environmental Research Associates*). As diluições das soluções-padrão foram preparadas com água ultrapura (*Milli-Q®* – marca *Millipore*) de baixa condutividade (0,054 $\mu\text{S cm}^{-1}$ a 25°C).

Para obter-se o nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) não é necessária uma análise laboratorial específica, já que ele é a parcela complementar ao nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), que quando somadas geram o nitrogênio total dissolvido (NT). Isso implica que $\text{NT} = \text{NOD} + \text{NID}$ ou $\text{NOD} = \text{NT} - \text{NID}$.

O nitrogênio inorgânico dissolvido é a soma das concentrações de amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-). Então $\text{NID} = \text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^-$. Sendo assim, a concentração de nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) foi encontrada a partir da equação 4:

$$\text{NOD} = \text{NT} - (\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+ + \text{NO}_2^-) \quad (4)$$

Onde, NT é a concentração de nitrogênio total dissolvido; NO_3^- é a concentração de nitrato dissolvido; NH_4^+ é a concentração de amônio dissolvido e; NO_2^- é a concentração de nitrito dissolvido.

5.5. Análise estatística dos resultados

Os resultados foram analisados quanto à natureza das distribuições paramétricas (gaussianas) ou não paramétricas (não gaussianas), a partir do teste de normalidade Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov. Após esta análise foi constatada a não normalidade da maioria dos elementos analisados e escolhido para as análises estatísticas o teste de Kruskal-wallis, para comparação entre as médias dos parâmetros do estudo. Para fins de comparação com estudos anteriores realizados na bacia como o de Santos (2014), foi feito um teste T-student. As análises estatísticas foram feitas com o auxílio dos programas computacionais para execução de gráficos e gerenciamento do banco de dados em planilhas eletrônicas, com o uso dos softwares R e Paleontological Statistics (PAST), sendo utilizado o nível de significância de 5%. Foram ainda realizados teste de correlação de Spearman RS, afim de identificar parâmetros correlatos.

6. RESULTADOS

Os resultados a seguir referem-se aos parâmetros físico-químicos, carbono (orgânico e inorgânico), nitrogênio (orgânico e inorgânico) e à análise dos principais elementos iônicos dissolvidos na bacia do ribeirão das Posses, concentração e a análise isotópica de C e N ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$) do material particulado em suspensão (fino e grosso) e os fluxos transportados na foz do ribeirão das Posses. Além disso, foi realizada uma análise das curvas de diluição dos elementos nas nascentes em restauração, para verificar um possível efeito de poluição pontual, de causa antrópica ou natural.

6.1. Evolução dos parâmetros de 2011-2013 para 2015-2016

Os parâmetros físico-químicos (OD_{mg} , CE) e químicos (COD , NO_3^- e NH_4^+) foram analisados de forma comparativa com um trabalho desenvolvido anteriormente no ribeirão das Posses entre 2011-2013 (SANTOS, 2014), afim de verificarmos a evolução temporal. Vale salientar que o ponto P11 não era local de coleta entre 2011-2013, mas foi mantido nessa comparação para fim de analisarmos o conjunto do canal do ribeirão das Posses.

Figura 9. Concentrações (média $\pm$ erro padrão) dos parâmetros físico-químicos OD (mg L⁻¹) e CE (µS cm⁻¹) e químicos COD (µM), NO_3^- (µM) e NH_4^+ (µM) obtidas entre os anos 2011-2013 (n=22) (SANTOS, 2014) e 2015-2016 (n=12) (atual). Os resultados do teste T (p=0,05) entre os trabalhos (2011-2013) e (2015-2016).

Quanto ao oxigênio dissolvido (OD_{mg}) foram observadas reduções significativas entre 2011-2013 e 2015-2016 nos pontos P3, P4 e P8, todos no canal do ribeirão. É interessante também analisar os resultados para o ponto P12, que já eram os mais baixos na bacia, indicando que o problema do alagamento já existia anteriormente.

Para o COD foram observadas diferenças significativas apenas nos pontos P2 e P13, sendo que no primeiro houve uma elevação nos valores atuais, enquanto que no último foi verificada uma diminuição.

As formas de nitrogênio inorgânico NO_3^- e NH_4^+ , tiveram uma redução significativa na maioria dos pontos da bacia, exceto no ponto P1, onde o NH_4^+ aumentou. Porém, como não foram gerados dados a respeito do NT nos trabalhos de Santos (2014), não foi possível uma comparação mais aprofundada sobre a evolução das formas de nitrogênio nas áreas.

Os resultados de CE nas nascentes P1 e P6 tiveram uma redução significativa, quando comparados com os resultados de Santos (2014), o mesmo ocorrendo no tributário P5. Nesse último ponto as coletas não foram feitas exatamente no mesmo trecho do tributário.

6.2. Análise dos parâmetros físico-químicos e DBO

Os resultados da média anual ($n=12$) para os parâmetros físico-químicos: temperatura da água (T_{H_2O}) e do ambiente (T_{ar}), oxigênio dissolvido (OD_{mg} e $OD_{\%}$), condutividade elétrica (CE), pH, e demanda bioquímica de oxigênio (DBO), estão compilados na Tabela 3.

Tabela 3. Médias ($n=12$) $\pm$ erro padrão de T_{ar} , T_{H_2O} , OD_{mg} , DBO, CE e pH (máximo e mínimo), referente às coletas de campo (jan 2015 a jan 2016). Teste estatístico Kruskal-wallis ($p=0,05$) entre as médias no mesmo tipo de corpo d'água.

Tipo	Ponto	T_{ar} ($^{\circ}C$)	T_{H_2O} ($^{\circ}C$)	pH (máx-min)	OD_{mg} ($mg\ L^{-1}$)	CE ($\mu S\ cm^{-1}$)	DBO ($mg\ L^{-1}$)
		média $\pm$ erro	média $\pm$ erro	média $\pm$ erro	média $\pm$ erro	média $\pm$ erro	média $\pm$ erro
Nascentes	P1	22,3 $\pm$ 0,9	18,6 $\pm$ 0,4	7,9 - 5,9 ab	7,8 $\pm$ 0,2 a	33,8 $\pm$ 1,2 c	2,0 $\pm$ 0,3 b
	P6	25,3 $\pm$ 0,8	19,4 $\pm$ 0,7	7,4 - 6,0 a	8,2 $\pm$ 0,2 a	57,3 $\pm$ 2,8 b	1,1 $\pm$ 0,1 c
	P12	23,7 $\pm$ 0,8	19,2 $\pm$ 0,6	6,7 - 5,6 b	6,8 $\pm$ 0,2 b	69,4 $\pm$ 5,2 a	3,1 $\pm$ 0,5 a
Tributários	P5	24,5 $\pm$ 1,0	19,1 $\pm$ 0,7	7,6 - 6,0 a	8,3 $\pm$ 0,2 a	34,0 $\pm$ 1,5 c	1,5 $\pm$ 0,2 a
	P2	23,2 $\pm$ 0,8	19,0 $\pm$ 0,9	7,3 - 5,7 a	7,0 $\pm$ 0,2 c	66,3 $\pm$ 2,2 a	1,7 $\pm$ 0,2 a
	P3	23,2 $\pm$ 0,8	19,8 $\pm$ 0,8	7,4 - 5,7 a	7,6 $\pm$ 0,2 b	56,8 $\pm$ 1,7 b	1,3 $\pm$ 0,2 a
Canal do ribeirão	P4	25,0 $\pm$ 0,8	19,6 $\pm$ 0,8	7,3 - 5,6 a	7,3 $\pm$ 0,2 b	56,0 $\pm$ 2,3 bc	1,4 $\pm$ 0,1 b
	P7	25,1 $\pm$ 0,9	20,2 $\pm$ 0,7	7,5 - 6,4 a	8,3 $\pm$ 0,2 a	53,5 $\pm$ 2,1 c	1,3 $\pm$ 0,2 b
	P8	25,7 $\pm$ 0,8	20,5 $\pm$ 0,7	7,6 - 6,4 a	8,0 $\pm$ 0,3 a	54,6 $\pm$ 2,2 bc	1,2 $\pm$ 0,2 b
	P9	25,6 $\pm$ 0,9	20,0 $\pm$ 0,7	7,4 - 5,9 a	8,0 $\pm$ 0,1 a	56,5 $\pm$ 2,3 bc	1,2 $\pm$ 0,3 b
	P10	25,1 $\pm$ 0,9	20,1 $\pm$ 0,8	7,3 - 6,0 a	7,9 $\pm$ 0,2 a	59,1 $\pm$ 2,3 b	1,1 $\pm$ 0,2 bc
	P11	24,5 $\pm$ 0,9	20,3 $\pm$ 0,7	7,3 - 5,9 a	7,5 $\pm$ 0,1 b	59,9 $\pm$ 2,4 bc	0,9 $\pm$ 0,1 c
	P13	24,5 $\pm$ 1,0	20,2 $\pm$ 0,7	7,8 - 6,1 a	8,0 $\pm$ 0,2 a	73,6 $\pm$ 6,5 a	2,3 $\pm$ 0,7 a
Jaguari	P14	24,1 $\pm$ 0,7	18,8 $\pm$ 0,7	7,3 - 5,5 a	8,6 $\pm$ 0,3 a	29,2 $\pm$ 1,4 a	1,7 $\pm$ 0,3 a
	P15	24,2 $\pm$ 1,1	18,9 $\pm$ 0,7	7,6 - 5,8 a	8,3 $\pm$ 0,2 a	30,2 $\pm$ 1,5 a	1,8 $\pm$ 0,3 a

Figura 10. Valores (média (n=6) $\pm$ erro padrão) para os período seco e chuvoso de OD_{mg} (barras), valores médios anuais (n=12) de OD_% (*) da temperatura do ar T_{ar} (-) e da água T_{H2O} (Δ), de Jan/15 a Jan/16, separados por tipos de corpos d'água. Teste estatístico Kruskal-wallis (p=0,05) entre as médias no período seco e chuvoso.

As temperaturas do ar (T_{ar}) e da água (T_{H2O}) variaram entre 22,3-25,7 °C e 18,6 - 20,5 °C, os valores de OD_{mg} nos pontos de coleta foram todos acima de 6,5 mg L⁻¹, o que indica uma alta oxigenação na bacia. A concentração de OD_{mg} nas nascentes P1 (7,8 mg L⁻¹) e P6 (8,2 mg L⁻¹) foram semelhantes, enquanto que na nascente P12 foi obtido um valor médio mais baixo que os demais (6,8 mg L⁻¹). Nos tributários P5 (8,3 mg L⁻¹), P2 (7,0 mg L⁻¹) e P3 (7,6 mg L⁻¹) as concentrações médias foram distintas, sendo em P5 mais elevada e em P2 mais baixa. No canal do ribeirão o OD_{mg} variou pouco, sendo que a menor concentração foi obtida no ponto P4 (7,3 mg L⁻¹) a montante na bacia. No rio Jaguari as médias de OD_{mg} foram semelhantes nos pontos P14 (8,6 mg L⁻¹) e P15 (8,3 mg L⁻¹) e mais elevadas do que no ribeirão das Posses. Quando a concentração de OD_{mg} nos pontos de coleta variou, entre os períodos seco e chuvoso, os maiores valores foram obtidos no período seco. (Tabela 3 e Figura 10).

Em média, os valores de condutividade elétrica (CE) encontrados nas nascentes foram mais baixos do que no restante da bacia, mas no Jaguari foram ainda mais baixos. Entre as nascentes a condutividade foi menor em P1=33,8 μ S cm⁻¹, seguido de P6=57,3 μ S cm⁻¹ e maior em P12=69,4 μ S cm⁻¹. Nos tributários as médias também variaram sendo menores em P5 (34 μ S cm⁻¹), seguido de P3 (56,8 μ S cm⁻¹) e maiores em P2 (66,3 μ S cm⁻¹). No canal do ribeirão a CE pouco variou, sendo que os maiores valores foram encontrados a jusante da bacia no ponto P13 (73,6 μ S cm⁻¹). No rio Jaguari as médias de CE foram baixas e semelhantes nos pontos P14 (29,2 μ S cm⁻¹) e P15 (30,2 μ S cm⁻¹). Não foram observadas variações significativas na CE entre os períodos seco e chuvoso nos pontos de coleta na bacia do ribeirão das Posses e no rio Jaguari (Tabela 3 e Figura 11a).

Os valores encontrados para a DBO nos corpos d'água do ribeirão das Posses e rio Jaguari estiveram abaixo do parâmetro de qualidade mais baixo estabelecido pelo CONAMA (Classe 1 < 3,0 mg L⁻¹), com exceção ao ponto P12. Nas nascentes a média foi mais baixa em P6 (1,1 mg L⁻¹), seguida de P1 (2,0 mg L⁻¹) e P12 (3,1 mg L⁻¹). Os tributários P5 (1,5 mg L⁻¹), P2 (1,7 mg L⁻¹) e P3 (1,3 mg L⁻¹) tiveram DBO médias semelhantes e baixas. No canal do ribeirão a DBO variou pouco (entre 0,9 e 1,4 mg L⁻¹), exceto no ponto P13 (2,3 mg L⁻¹) na jusante da bacia onde houve uma elevação na média. O rio Jaguari teve DBO média semelhante nos pontos P14 (1,7 mg L⁻¹) e P15 (1,8 mg L⁻¹). Não houve variação da DBO entre os períodos seco e chuvoso nos pontos de coleta, exceto na nascente P12,

onde no período seco a média foi de 2,1 mg L⁻¹, passando para 4,2 mg L⁻¹ no período chuvoso (Tabela 3 e Figura 11b).

O pH nas áreas de coleta esteve próximo a neutralidade (pH $\approx$ 7), não diferindo entre os tipos de corpos d'água. A nascente P12 (pH=6,3) foi obtido o valor médio mais baixo e distinto dos demais, e ainda, o menor valor pH min, entre todas as amostras coletadas (pH = 5,6) (Tabela 3 e Figura 11c).

Figura 11. Média $\pm$ erro padrão (a) CE (b) DBO, nos períodos seco (n=6) e chuvoso (n=6) e (c) pH (n=12), valores máximos e mínimos. Limites pelo CONAMA - Res.nº357 – de DBO para corpos hídricos classe 1 - linha pontilhada e classe 2 - linha tracejada. Teste estatístico Kruskal-wallis ($p=0,05$) entre as médias no período seco e chuvoso para CE e DBO, e ainda, no mesmo tipo de corpo d'água para o pH.

6.3. Carbono dissolvido

Os teores de carbono orgânico e inorgânico dissolvidos nos corpos hídricos da área de estudo foram avaliados para os períodos anual (de Jan/15 a Jan/16), seco e chuvoso, e seus resultados constam na tabela 4.

As médias de COD nas nascentes P1 (212 µM) e P6 (226 µM) foram semelhantes e menores do que na nascente P12 (421 µM), que por sua vez foi a maior média obtidos nesse estudo. Nos tributários a média de COD foi semelhante entre P5 (205 µM) e P3 (207 µM), e mais baixas do que em P2 (339 µM). A média de COD no canal do ribeirão variou pouco e foram baixas, os menores valores do estudo foram obtidos no ponto P10 (184 µM). O rio Jaguari teve média semelhante nos pontos P14 (234 µM) e P15 (236 µM). Não houve variações na concentração de COD entre os períodos seco e chuvoso, exceto nos pontos P1 (174 - 258 µM) e P2 (273 - 391 µM), onde houveram aumentos com a chegada das chuvas (Tabela 4 e Figura 12a).

Tabela 4. Concentrações de COD e CID (média (n=12) $\pm$ erro padrão) das coletas mensais de campo (jan/15 a jan/16), ordenados por tipo de corpo d'água. Teste estatístico Kruskal-wallis ($p=0,05$) entre as médias no mesmo tipo de corpo d'água.

Tipo	Ponto	COD (μM)				CID (μM)			
		média	$\pm$	erro		média	$\pm$	erro	
Nascentes	P1	212,0	$\pm$	12,0	b	224,0	$\pm$	29,0	c
	P6	226,0	$\pm$	26,0	b	445,0	$\pm$	12,0	a
	P12	421,0	$\pm$	31,0	a	338,0	$\pm$	38,0	b
Tributários	P5	207,0	$\pm$	15,0	b	207,0	$\pm$	22,0	c
	P2	339,0	$\pm$	31,0	a	493,0	$\pm$	52,0	a
	P3	205,0	$\pm$	22,0	c	374,0	$\pm$	10,0	b
Canal do ribeirão	P4	236,0	$\pm$	22,0	a	293,0	$\pm$	23,0	ab
	P7	276,0	$\pm$	26,0	a	323,0	$\pm$	31,0	a
	P8	279,0	$\pm$	27,0	a	360,0	$\pm$	47,0	a
	P9	241,0	$\pm$	20,0	a	269,0	$\pm$	21,0	b
	P10	184,0	$\pm$	22,0	b	303,0	$\pm$	12,0	a
	P11	214,0	$\pm$	25,0	b	298,0	$\pm$	20,0	ab
Jaguari	P13	274,0	$\pm$	25,0	a	339,0	$\pm$	30,0	a
	P14	234,0	$\pm$	18,0	a	140,0	$\pm$	31,0	a
	P15	236,0	$\pm$	13,0	a	174,0	$\pm$	30,0	a

As médias de CID nas nascentes foram distintas, P1 (224 μM), P6 (445 μM) e P12 (338 μM), assim como nos tributários do ribeirão P5 (207 μM), P2 (493 μM) e P3 (374 μM), sendo que as áreas com maior cobertura florestal (P1 e P5) foram também aquelas com menores valores de CID. Já no canal do ribeirão a concentração média de CID variou pouco entre os pontos de coleta. No Jaguari a média foi semelhante nos pontos P14 (140 μM) e P15 (174 μM). Houveram diferenças entre a concentração de CID nos períodos chuvoso e seco na maioria dos pontos, nesses casos a concentração de carbono inorgânico dissolvido aumentou com a chegada das chuvas (Tabela 4 e Figura 12b).

Figura 12. Concentração de COD e CID (µM) (média (n=6) ± erro padrão), para os meses chuvosos e secos, entre Jan/15 e Jan/16. Teste estatístico Kruskal-wallis (p=0,05) entre as médias no período seco e chuvoso.

6.4. Nitrogênio dissolvido

Para o estudo do nitrogênio dissolvido nos corpos hídricos do ribeirão das Posses foram analisados os teores do nitrogênio total (NT), do amônio (NH_4^+), do nitrato (NO_3^-), do nitrito (NO_2^-) e do nitrogênio orgânico dissolvido (NOD) (Tabela 5).

As concentrações médias de NT nas nascentes P1 (26,3 µM) e P6 (14,5 µM) foram distintas, enquanto que para o ponto P12 (20,8 µM) o resultado foi um valor intermediário em relação às outras nascentes. Para os tributários as médias de NT em P5 (17,2 µM) e P3 (15,9 µM) foram semelhantes, enquanto que em o resultado de P2 (22,7 µM) foi mais elevado e distinto dos demais. A concentração média de NT no canal do ribeirão variou pouco, no entanto ficou evidente o aumento de montante a jusante na bacia, sendo que no ponto de foz P13 (32,5 µM) a concentração foi distinta e maior que no restante do canal. No Jaguari o NT as médias foram semelhantes nos pontos P14 (31,5 µM) e P15 (31,7 µM), com concentrações maiores e não influenciado pelo aporte do Posses. Não houveram diferenças significativas nas concentrações de NT nos pontos de coletas entre os períodos seco e chuvoso, exceto nos pontos P3 e P12, onde as concentrações foram mais elevadas no período chuvoso (Tabela 5 e Figura 13a).

Tabela 5. Valores médios (n=12) (μM) para o NT , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ e NOD , médias $\pm$ erro padrão, referentes às coletas mensais de campo (jan 2015 a jan 2016), divididos por similaridade entre as áreas de coleta. Teste estatístico Kruskal-wallis ($p=0,05$) entre as médias no mesmo tipo de corpo d'água.

Tipo	Ponto	NT (μM)				NO ₃ ⁻ (μM)				NH ₄ ⁺ (μM)				NOD (μM)				^a NO ₂ ⁻ (μM)
		média	±	erro		média	±	erro		média	±	erro		média	±	erro		
Nascentes	P1	26,3	±	5,7	a	2,3	±	0,4	a	2,2	±	0,7	a	21,8	±	4,4	a	< LD
	P6	14,5	±	2,9	b	0,2	±	0,0	b	1,5	±	0,5	a	12,8	±	2,2	b	< LD
	P12	20,8	±	3,6	ab	0,3	±	0,7	b	1,6	±	0,4	a	19,0	±	2,8	a	< LD
Tributários	P5	17,2	±	1,4	b	1,3	±	2,1	a	2,0	±	0,7	a	13,9	±	1,7	b	< LD
	P2	22,7	±	2,9	a	1,7	±	2,9	a	1,8	±	0,5	a	19,2	±	2,2	a	< LD
	P3	15,9	±	2,9	b	0,6	±	1,4	a	1,0	±	0,3	a	14,4	±	1,9	b	< LD
Canal do ribeirão	P4	22,3	±	2,1	b	2,2	±	0,4	bc	4,6	±	2,1	a	15,5	±	2,8	b	< LD
	P7	19,7	±	2,9	bc	1,8	±	0,3	c	3,3	±	1,4	ab	14,7	±	2,1	b	< LD
	P8	17,9	±	2,1	c	1,9	±	0,3	bc	1,7	±	0,5	b	14,3	±	1,8	b	< LD
	P9	20,7	±	3,6	bc	2,1	±	0,4	bc	1,9	±	0,8	b	16,7	±	2,7	ab	< LD
	P10	21,4	±	2,1	bc	1,6	±	0,2	c	5,1	±	1,7	a	14,8	±	1,9	b	< LD
	P11	21,9	±	2,1	bc	2,5	±	0,3	b	3,7	±	0,9	a	15,6	±	2,2	b	< LD
	P13	32,5	±	5,7	a	4,3	±	0,4	a	4,0	±	2,3	ab	24,2	±	4,9	a	< LD
Jaguari	P14	31,5	±	2,9	a	9,3	±	1,0	a	3,1	±	1,4	a	19,1	±	5,2	a	< LD
	P15	31,7	±	2,9	a	6,0	±	1,0	a	2,4	±	1,1	a	23,3	±	2,4	a	< LD

^a Não foi possível obter-se as concentrações de nitrito (NO_2^-), pois os resultados estiveram abaixo do limite de detecção (LD) de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ do equipamento.

As médias de NH_4^+ nas nascentes P1 ($2,2 \mu\text{M}$), P6 ($1,5 \mu\text{M}$) e P12 ($1,6 \mu\text{M}$) foram semelhantes. Assim como nos tributários P5 ($2,0 \mu\text{M}$), P2 ($1,8 \mu\text{M}$) e P3 ($1,0 \mu\text{M}$). O mesmo ocorrendo no canal do ribeirão, onde o menor valor foi de P8 ($1,7 \mu\text{M}$) e maior valor em P10 ($5,1 \mu\text{M}$). No rio Jaguari a média de NH_4^+ nos pontos P14 ($3,1 \mu\text{M}$) e P15 ($2,4 \mu\text{M}$) foi semelhante, não sendo observadas influência do aporte do Posses na concentração. Apesar de não ser significativamente diferente na maioria dos pontos, a concentração de NH_4^+ no ribeirão parece aumentar no período chuvoso, sendo que nos pontos mais a jusante P10 e P13 essa diferença é significativa (Tabela 5 e Figura 13b).

A concentração média de NO_3^- na nascente P1 ($2,3 \mu\text{M}$) foi mais elevada que nas demais, P6 ($0,2 \mu\text{M}$) e P12 ($0,3 \mu\text{M}$), essa diferença ocorreu principalmente no período seco, onde a concentração de P1 ($3,7 \mu\text{M}$) aumentou bastante. Nos tributários as médias foram semelhantes entre os pontos P5 ($1,3 \mu\text{M}$), P2 ($1,7 \mu\text{M}$) e P3 ($0,6 \mu\text{M}$). No canal do ribeirão também não houve diferenças significativas na concentração de NO_3^- entre os pontos de coleta, exceto no ponto P13 ($4,3 \mu\text{M}$) onde a concentração se diferenciou das demais. O rio Jaguari teve média de NO_3^- semelhante nos pontos P14 ($9,3 \mu\text{M}$) e P15 ($6,0 \mu\text{M}$), não havendo diferenças estatísticas. A concentração média de NO_3^- em alguns pontos do ribeirão das Posses e no rio Jaguari foi maior no período seco, quando comparado ao período chuvoso (Tabela 5 e Figura 13c).

Figura 13. Concentrações (média (n=6) $\pm$ erro padrão) NT, NH₄⁺ e NO₃⁻ (μM) dissolvidos, para os meses chuvosos (n=6) e secos (n=6), entre Jan/15 e Jan/16. Teste estatístico Kruskal-wallis (p=0,05) entre as médias no período seco e chuvoso.

As médias de NOD foi obtida a partir da diferença entre a concentração de NT e das formas inorgânicas de nitrogênio (NH₄⁺ e NO₃⁻). Como resultados obteve-se que nas nascentes P1 (21,8 μM) e P12 (19,0 μM) as concentrações de NOD foram semelhantes e mais elevadas do que no ponto P6 (12,8 μM). Já nos tributários, os pontos P5 (13,9 μM) e P3 (14,4 μM) tiveram concentrações semelhantes e mais baixas que em P2 (19,2 μM). No canal do ribeirão houve pouca diferença na concentração de NOD entre os pontos de coleta, exceto em P13 (24,2 μM), onde a concentração foi mais elevada. O rio Jaguari teve média de NOD semelhante nos pontos P14 (19,1 μM) e P15 (23,3 μM). Em linhas gerais as médias anuais para o NOD nos corpos d'água do estudo foram mais elevadas no Jaguari e nas nascentes. Não houve grandes diferenças no aporte de NOD entre os períodos seco e chuvoso, ocorrendo de forma mais evidente somente no ponto P12 (Tabela 5).

6.5. Elementos iônicos principais

6.5.1. Concentração de ânions dissolvidos

A concentração média e análise estatística dos ânions presentes nos corpos d'água do ribeirão das Posses, F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} e HCO_3^- estudadas nesse trabalho estão sintetizados na tabela 6.

Tabela 6. Concentrações (médias ($n=12$) $\pm$ erro padrão) dos ânions avaliados F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} e HCO_3^- , de jan/15 a jan/16, ordenados por tipos de corpos d'água. Teste estatístico Kruskal-wallis ($p=0,05$) entre as médias no mesmo tipo de corpo d'água.

Tipo	Ponto	F ⁻				Cl ⁻				SO ₄ ²⁻				HCO ₃ ⁻				aPO ₄ ⁻³	
		(μEq L ⁻¹)				(μEq L ⁻¹)				(μEq L ⁻¹)				(μEq L ⁻¹)				(μEq L ⁻¹)	
Nascentes		média	±	erro		média	±	erro		média	±	erro		média	±	erro			
	P1	3,7	±	0,9	b	25,1	±	3,4	a	10,5	±	1,7	a	128,6	±	17,8	b	< LD	
	P6	5,2	±	0,4	a	16,1	±	2,7	b	9,5	±	1,8	a	303,0	±	29,8	a	< LD	
	P12	5,7	±	1,7	ab	24,9	±	5,9	a	3,1	±	0,8	b	159,7	±	22,7	b	< LD	
Tributários	P5	3,1	±	0,6	b	23,9	±	1,6	b	14,9	±	0,5	a	148,4	±	13,4	b	< LD	
	P2	6,0	±	0,7	a	44,6	±	4,5	a	14,1	±	1,7	a	283,4	±	36,0	a	< LD	
	P3	5,1	±	0,7	a	28,0	±	3,0	b	14,6	±	1,4	a	241,1	±	31,2	a	< LD	
Canal do ribeirão	P4	4,7	±	0,7	a	40,1	±	4,1	b	11,8	±	2,3	abc	170,8	±	12,1	c	< LD	
	P7	4,4	±	0,6	a	39,8	±	3,7	b	12,1	±	0,6	b	222,0	±	21,7	ab	< LD	
	P8	4,6	±	0,4	a	37,6	±	3,6	b	10,1	±	1,0	c	242,9	±	23,8	ab	< LD	
	P9	5,1	±	0,7	a	40,1	±	5,2	b	12,7	±	0,7	ab	204,3	±	20,4	b	< LD	
	P10	4,9	±	0,7	a	42,3	±	4,6	b	14,0	±	0,9	a	211,3	±	24,6	ab	< LD	
	P11	5,0	±	0,7	a	44,5	±	3,9	b	13,6	±	1,1	a	178,5	±	17,9	bc	< LD	
	P13	5,1	±	0,5	a	70,5	±	8,2	a	13,7	±	1,1	a	259,8	±	30,6	a	< LD	
Jaguari	P14	2,2	±	0,4	a	30,8	±	4,6	a	25,6	±	4,9	a	95,3	±	10,7	a	< LD	
	P15	2,4	±	0,4	a	34,8	±	2,7	a	28,2	±	5,0	a	113,0	±	11,5	a	< LD	

^a Não foi possível obter-se as concentrações de fosfato (PO_4^{3-}), pois os resultados estiveram abaixo do limite de detecção (LD) de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ do equipamento.

As concentrações médias de F^- nas nascentes P1 ($3,7 \mu Eq L^{-1}$), P6 ($5,2 \mu Eq L^{-1}$) foram distintas, enquanto que os valores médios de P12 ($5,7 \mu Eq L^{-1}$), devido à alta variação entre os períodos seco e chuvoso não se diferenciou estatisticamente das demais. Nos tributários P2 ($6,0 \mu Eq L^{-1}$) e P3 ($5,1 \mu Eq L^{-1}$) as concentrações foram semelhantes e mais elevadas do que ponto P5 ($3,1 \mu Eq L^{-1}$). No canal do ribeirão não houveram variações nas concentrações entre os pontos de coleta, com exceção ao ponto P10 ($4,9 \mu Eq L^{-1}$), cuja concentração no período seco foi maior que no chuvoso. No rio Jaguari média de F^- foi semelhante nos pontos P14 ($2,2 \mu Eq L^{-1}$) e P15 ($2,4 \mu Eq L^{-1}$), sem alterações devido ao aporte do Posses, com um aumento significativo nas concentrações durante o período chuvoso no ponto P14 (Tabela 6 e Figura 14a).

Nas nascentes do Posses, as concentrações médias de Cl^- foram distintas nos pontos P1 ($25,1 \mu Eq L^{-1}$) e P6 ($16,1 \mu Eq L^{-1}$), enquanto que no ponto P12 ($24,9 \mu Eq L^{-1}$) a média sofreu grandes variações, não se diferenciando das demais. Nos tributários P5 ($23,9 \mu Eq L^{-1}$) e P3 ($28,0 \mu Eq L^{-1}$) as concentrações médias de Cl^- foram semelhantes e menores do que ponto P2 ($44,6 \mu Eq L^{-1}$). A concentração média no canal do ribeirão variou pouco entre os pontos de coleta, a exceção foi o ponto P13 ($70,5 \mu Eq L^{-1}$) que teve média mais elevada. No rio Jaguari a média de Cl^- nos

pontos P14 (30,8 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) e P15 (34,8 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) foram semelhantes. A concentração de Cl^- entre os períodos seco e chuvoso foi diferente nos pontos P6, P5, P7 e P13 no ribeirão das Posses e em P14 e P15 no Jaguari. Nesses casos, foi observada uma elevação na concentração no período seco, com exceção ao ponto P13 onde ocorreu o inverso, com uma elevação da concentração no período chuvoso (Tabela 6 e Figura 14b).

Figura 14. Concentrações (média ($n=6$) $\pm$ erro padrão) de F^- , Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^- para os meses chuvosos e secos, entre Jan/15 e Jan/16. Teste estatístico Kruskal-wallis ($p=0,05$) entre as médias no período seco e chuvoso.

As concentrações médias de SO_4^{2-} foram semelhantes nas nascentes P1 (10,5 $\mu\text{Eq L}^{-1}$), P6 (9,5 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) e maiores do que em P12 (3,1 $\mu\text{Eq L}^{-1}$). Já nos tributários não houveram diferenças entre as concentrações médias de SO_4^{2-} em P5 (14,9 $\mu\text{Eq L}^{-1}$), P2 (14,1 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) e P3 (14,6 $\mu\text{Eq L}^{-1}$). Houveram variações nas concentrações de SO_4^{2-} no canal do ribeirão, com um aumento da concentração nos pontos mais a jusante na bacia. No Jaguari a média de SO_4^{2-} foi semelhante entre os pontos P14 (25,6 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) e P15 (28,2 $\mu\text{Eq L}^{-1}$), sem evidência de alguma interferência do aporte do ribeirão das Posses. Não houveram diferenças na concentração de SO_4^{2-} entre os períodos seco e chuvoso, com exceção ao ponto de nascente P6 onde os maiores teores foram observados no período seco (Tabela 6 e Figura 14c).

As concentrações médias de HCO_3^- foram semelhantes em P1 (128,6 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) e P12 (159,7 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) e mais elevadas em P6 (303,0 $\mu\text{Eq L}^{-1}$). Nos tributários P2 (283,4 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) e P3 (241,1 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) as concentrações médias foram semelhantes e elevadas, quando comparadas ao ponto P5 (148,4 $\mu\text{Eq L}^{-1}$). A concentração média no canal do ribeirão variou entre os pontos de coleta, ocorrendo uma elevação na concentração de montante a jusante na bacia. No rio Jaguari as médias foram semelhantes nos pontos P14 (95,3 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) e P15 (113,0 $\mu\text{Eq L}^{-1}$). De um modo geral, as concentrações de HCO_3^- foram mais elevadas no período chuvoso (Tabela 6 e Figura 14d).

6.5.2. Concentração de cátions dissolvidos

A concentração média e análise estatística dos cátions majoritários presentes nos corpos d'água Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ estudadas nesse trabalho estão sintetizados na tabela 7. O teste de correlação (Spearman's rs) aplicado aos resultados de concentração dos elementos catiônicos dissolvidos apontaram para uma elevada correlação entre os elementos de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ .

Tabela 7. Concentrações (médias (n=12) $\pm$ erro padrão) de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , no período de jan/15 a jan/16, ordenados por tipos de corpo d'água. Teste estatístico Kruskal-wallis ($p=0,05$) entre as médias no mesmo tipo de corpo d'água.

Tipo	Ponto	Na^+			K^+			Mg^{2+}			Ca^{2+}		
		$(\mu\text{Eq L}^{-1})$			$(\mu\text{Eq L}^{-1})$			$(\mu\text{Eq L}^{-1})$			$(\mu\text{Eq L}^{-1})$		
		média	$\pm$	erro				média	$\pm$	erro	média	$\pm$	erro
Nascentes	P1	150,7	$\pm$	13,3	b	79,5	$\pm$	15,4	a	82,5	$\pm$	12,5	b
	P6	196,3	$\pm$	11,4	a	81,7	$\pm$	20,5	a	120,5	$\pm$	7,8	a
	P12	180,8	$\pm$	14,5	a	37,6	$\pm$	5,3	b	130,4	$\pm$	10,5	a
Tributários	P5	137,6	$\pm$	14,5	a	76,8	$\pm$	20,6	a	99,5	$\pm$	16,9	b
	P2	188,6	$\pm$	21,5	a	56,0	$\pm$	5,8	a	131,6	$\pm$	13,3	a
	P3	188,6	$\pm$	16,1	a	53,6	$\pm$	4,8	a	104,0	$\pm$	7,9	b
Canal do ribeirão	P4	168,2	$\pm$	22,2	ab	83,1	$\pm$	17,0	ab	114,4	$\pm$	13,2	ab
	P7	170,5	$\pm$	16,3	ab	71,8	$\pm$	7,2	b	122,3	$\pm$	11,6	ab
	P8	154,8	$\pm$	18,3	b	61,6	$\pm$	8,2	b	107,7	$\pm$	6,1	b
	P9	172,6	$\pm$	16,5	ab	85,8	$\pm$	19,7	ab	118,4	$\pm$	8,3	b
	P10	209,3	$\pm$	29,3	a	102,0	$\pm$	21,1	a	148,9	$\pm$	23,4	a
	P11	171,0	$\pm$	16,6	ab	69,5	$\pm$	8,0	b	136,2	$\pm$	13,0	a
	P13	178,8	$\pm$	15,8	ab	84,8	$\pm$	8,5	a	139,3	$\pm$	7,4	a
Jaguari	P14	110,6	$\pm$	15,8	a	59,2	$\pm$	13,7	a	77,5	$\pm$	8,7	a
	P15	104,2	$\pm$	6,0	a	63,8	$\pm$	12,1	a	83,6	$\pm$	16,0	a

As concentrações de K^+ foram semelhantes nas nascentes P1 (79,5 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) e P6 (81,7 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) e maiores do que na nascente P12 (37,6 $\mu\text{Eq L}^{-1}$). Os tributários P5 (76,8 $\mu\text{Eq L}^{-1}$), P2 (56,0 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) e P3 (53,6 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) tiveram concentrações médias semelhantes. No canal do ribeirão a concentração média de K^+ variou pouco entre os pontos de coleta, sendo mais elevadas do que no restante da bacia e no rio Jaguari. Por fim, no rio Jaguari a concentração média de K^+ foi semelhante nos pontos P14 (59,2 $\mu\text{Eq L}^{-1}$) e P15 (63,8 $\mu\text{Eq L}^{-1}$), não sendo afetada pelas maiores concentrações da foz do Posses. Em alguns pontos de coleta, tais como nas nascentes P1, P6 e P12, no

tributário P5, no ponto P10 do canal do ribeirão e nos pontos do Jaguari P14 e P15, a concentração de K^+ foi mais elevada no período chuvoso, quando comparada ao período seco (Tabela 7 e Figura 15a).

Os resultados das concentrações médias de Na^+ em P6 ($196,3 \mu\text{Eq L}^{-1}$) e P12 ($180,8 \mu\text{Eq L}^{-1}$) foram semelhantes e mais elevados do que na nascente P1 ($150,7 \mu\text{Eq L}^{-1}$). Já os pontos dos tributários P5 ($137,6 \mu\text{Eq L}^{-1}$), P2 ($188,6 \mu\text{Eq L}^{-1}$) e P3 ($188,6 \mu\text{Eq L}^{-1}$) tiveram concentrações médias de Na^+ semelhantes. A concentração média de Na^+ no canal do ribeirão também variou pouco entre os pontos de coleta. E os pontos do rio Jaguari tiveram concentrações médias de Na^+ semelhantes nos pontos P14 ($110,6 \mu\text{Eq L}^{-1}$) e P15 ($104,2 \mu\text{Eq L}^{-1}$). Não houve variações na concentração de Na^+ entre os períodos seco e chuvoso na maioria dos pontos, isso veio a ocorrer somente nas nascentes P6 e P12, onde a concentração foi mais elevada no período seco (Tabela 7 e Figura 15b).

Figura 15. Concentrações (média (n=6) $\pm$ erro padrão) de K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} para os meses chuvosos e secos, entre Jan/15 e Jan/16. Teste estatístico Kruskal-wallis ($p=0,05$) entre as médias no período seco e chuvoso.

As concentrações médias de Mg^{2+} nas nascentes P6 ($120,5 \mu\text{Eq L}^{-1}$) e P12 ($130,4 \mu\text{Eq L}^{-1}$) foram semelhantes e maiores do que na nascente P1 ($82,5 \mu\text{Eq L}^{-1}$). Nos tributários foram semelhantes as concentrações médias de Mg^{2+} em P5 ($99,5 \mu\text{Eq L}^{-1}$) e P3 ($104,0 \mu\text{Eq L}^{-1}$), sendo estas mais baixas quando comparadas ao tributário P2 ($131,6 \mu\text{Eq L}^{-1}$). Houveram ainda diferenças na concentração média de Mg^{2+} no canal do ribeirão, as maiores concentrações foram obtidas nos pontos P10 ($148,9 \mu\text{Eq L}^{-1}$) P11 ($136,2 \mu\text{Eq L}^{-1}$) e P13 ($139,3 \mu\text{Eq L}^{-1}$) a jusante na bacia. No rio Jaguari as médias de Mg^{2+} foram semelhantes nos pontos P14 ($77,5 \mu\text{Eq L}^{-1}$) e P15 ($83,6 \mu\text{Eq L}^{-1}$) e as

maiores concentrações do ribeirão das Posses aportadas no Jaguari alteraram sua concentração. Ocorreram aumentos na concentração de Mg^{2+} no período chuvoso em alguns pontos de nascentes (P1 e P12) e do tributário (P5) no ribeirão, e ainda no rio Jaguari (P14 e P15), nos demais pontos não houve alteração, com exceção à nascente P6, único ponto onde houve um aumento da concentração no período seco (Tabela 7 e Figura 15c).

As concentrações médias de Ca^{2+} foram semelhantes nas nascentes P1 ($139,6 \mu Eq L^{-1}$), P6 ($157,3 \mu Eq L^{-1}$) e P12 ($140,3 \mu Eq L^{-1}$). Nos tributários, as concentrações médias de Ca^{2+} em P5 ($119,5 \mu Eq L^{-1}$) foram mais baixas do que em P2 ($178,0 \mu Eq L^{-1}$) e P3 ($161,7 \mu Eq L^{-1}$). No canal do ribeirão a concentração variou pouco entre os pontos de coleta, com um aumento na concentração à jusante na bacia. No Jaguari a média de Ca^{2+} em P14 ($110,4 \mu Eq L^{-1}$) e P15 ($95,8 \mu Eq L^{-1}$) foi semelhante, não se observando alterações com o aporte do ribeirão das Posses. A concentração média de Ca^{2+} nos períodos seco e chuvoso se alterou nas nascentes do estudo, sendo que em P1 e P12 as maiores concentrações ocorreram durante o período chuvoso, enquanto que em P6 os maiores valores foram registrados no período seco. No Jaguari as maiores concentrações ocorreram no período chuvoso (Tabela 7 e Figura 15d).

6.5.3. Balanço iônico dos elementos

O balanço iônico dos elementos dissolvidos foi estudado a partir do gráfico do somatório dos cátions e ânions na bacia (Figura 16). Os resultados do balanço iônico das principais espécies químicas do estudo, excluídos os resultados referentes ao rio Jaguari, demonstrou-se uma predominância de cargas catiônicas (+) na bacia do ribeirão das Posses.

Figura 16. Somatório dos cátions (Σ^+) em relação ao somatório de ânions (Σ^-) em μEq para cada ponto do estudo em todas as coletas de campo ($n=156$).

6.5.4. Curvas de diluição iônica

Através do cálculo da curva de diluição teórica e da curva de ajuste de potência para cada elemento dissolvido foram então gerados gráficos que dispõem sobre o comportamento de diluição nas nascentes em restauração do estudo (Tabela 8 e Figura 17).

A curva de ajuste de potência para o HCO_3^- no ponto P1 obteve um coeficiente angular (α) negativo (≈ -1) e R^2 elevado (≈ 1), indicando um efeito de diluição com o aumento da vazão, comportando-se de forma semelhante à curva de diluição teórica, o que indica um aporte pontual do bicarbonato nesse local (Tabela 8 e Figura 17d).

As curvas de ajuste de potência do F^- e Cl^- no ponto P1 tiveram coeficiente angular (α) negativo, o que indica efeito de diluição com o aumento da vazão, no entanto os valores do r^2 foram muito baixos, o mesmo ocorre para o Cl^- no ponto P6, indicando uma distância da curva de diluição teórica e consequentemente o aporte desses íons na área ocorre de forma difusa (Tabela 8 e Figuras 17(a)(b)).

As curvas de ajuste de potência para os demais íons (SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , e Ca^{2+}) nas nascentes tiveram o coeficiente angular (α) positivo e, portanto, tendência a aumento de concentração com o aumento das vazões e aporte difuso (Tabela 8 e Figuras 17(c)(e)(f)(g)(h)).

Tabela 8. Equações das curvas de potência e correspondentes valores de R^2 para concentração de cada elemento iônico nas áreas de nascentes do estudo.

Íon	P1		P6		P12	
	Curva de potência	R^2	Curva de potência	R^2	Curva de potência	R^2
F^-	$1,9 \times 10^{-0,541}$	0,21	$6,5 \times 10^{0,3068}$	0,10	$9,4 \times 10^{0,5658}$	0,04
Cl^-	$22,4 \times 10^{-0,352}$	0,05	$7,3 \times 10^{-0,729}$	0,08	$60,6 \times 10^{0,8872}$	0,08
SO_4^{2-}	$9,2 \times 10^{0,124}$	0,00	$7,7 \times 10^{-0,114}$	0,00	$26,3 \times 10^{1,6497}$	0,27
HCO_3^-	$99,6 \times 10^{-0,98}$	0,67	$445,9 \times 10^{0,531}$	0,10	$453,6 \times 10^{0,7369}$	0,22
Na^+	$173,7 \times 10^{0,7957}$	0,26	$911,6 \times 10^{1,4571}$	0,36	$210,9 \times 10^{0,1399}$	0,01
K^+	$70,8 \times 10^{0,7113}$	0,15	$210,9 \times 10^{1,423}$	0,25	$131,8 \times 10^{0,9809}$	0,21
Mg^{2+}	$75,0 \times 10^{0,3085}$	0,03	$386,3 \times 10^{0,9411}$	0,10	$389,9 \times 10^{0,8081}$	0,50
Ca^{2+}	$124,8 \times 10^{0,5182}$	0,08	$224,6 \times 10^{0,2259}$	0,01	$257,6 \times 10^{0,4448}$	0,38

Figura 17. Concentração dos íons principais nas nascentes em restauração P1 (◇), P6 (△) e P12 (□), vazões instantâneas e as respectivas curvas de diluição teórica (P1 = linha pontilhada, P6 = linha tracejada menor e P12 = linha tracejada maior).

6.6. Material particulado em suspensão (MPS)

As massas médias de MPSG e MPSF (mg L^{-1}) e os resultados das análises isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) do material particulado em suspensão grosso (MPSG), de Jan/15 a Jan/16, divididas por similaridade entre as áreas de coleta, estão expressas na tabela 9.

Tabela 9. Médias ($n=12$) $\pm$ erro padrão de $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, MPSF e MPSG, divididos por similaridade entre as áreas de coleta, e percentual (%) da composição do MPS, de jan/15 a jan/16. Teste estatístico Kruskal-wallis ($p=0,05$) entre as médias no mesmo tipo de corpo d'água.

Tipo	Pontos	$\delta^{13}\text{C}$				$\delta^{15}\text{N}$				MPSF				MPSG				MPS	
		(‰)				(‰)				(mg L ⁻¹)				(mg L ⁻¹)				MPSF	MPSG
		média	±	erro		média	±	erro		média	±	erro		média	±	erro		%	
Nascentes	P1	-19,2	±	0,2	c	3,6	±	0,1	a	7,3	±	1,1	b	14,4	±	3,4	a	33,6	66,4
	P6	-20,5	±	0,4	b	3,4	±	0,3	ab	2,8	±	0,7	c	2,8	±	0,9	b	50,0	50,0
	P12	-24,2	±	0,6	a	3,1	±	0,3	b	31,3	±	4,8	a	3,2	±	1,3	b	90,7	9,3
Tributários	P5	-25,9	±	0,3	a	2,5	±	0,3	b	7,9	±	1,8	b	2,1	±	1,0	a	79,0	21,0
	P2	-23,6	±	0,8	b	3,2	±	0,5	a	6,7	±	1,8	b	1,5	±	0,8	a	81,7	18,3
	P3	-21,1	±	0,6	c	3,9	±	0,4	a	4,0	±	0,5	a	1,7	±	0,6	a	70,2	29,8
Canal do ribeirão	P4	-24,7	±	0,7	b	3,1	±	0,7	a	6,2	±	0,5	b	0,7	±	0,5	a	89,9	10,1
	P7	-23,2	±	0,5	c	2,0	±	0,7	a	6,3	±	0,7	b	1,4	±	0,7	a	81,8	18,2
	P8	-23,9	±	0,3	c	2,1	±	0,7	a	4,7	±	0,7	c	1,0	±	0,7	a	82,5	17,5
	P9	-23,2	±	0,5	c	3,2	±	0,5	a	7,1	±	0,8	b	1,3	±	0,8	a	84,5	15,5
	P10	-23,5	±	0,6	c	3,1	±	0,5	a	6,8	±	0,6	b	1,2	±	0,6	a	85,0	15,0
	P11	-25,0	±	0,5	ab	2,6	±	0,4	a	9,8	±	1,1	a	2,0	±	0,9	a	83,1	16,9
	P13	-26,0	±	0,6	a	2,4	±	0,2	a	7,8	±	2,3	ab	1,4	±	0,7	a	84,8	15,2
Jaguari	P14	-25,7	±	0,2	a	3,3	±	0,4	a	39,0	±	5,6	a	4,7	±	1,4	a	89,2	10,8
	P15	-25,3	±	0,4	a	2,8	±	0,3	a	41,9	±	9,0	a	3,2	±	1,4	a	92,9	7,1

6.6.1. Concentração de MPSF e MPSG

As análises demonstraram que a composição do MPS no ribeirão das Posses é predominantemente formada por MPSF, que aparece em maior percentual (Tabela 9). Essa situação é distinta apenas em dois pontos de nascente, o ponto P6 (onde os percentuais se igualam) e no ponto P1 (onde a maior contribuição é oriunda do MPSG).

As concentrações médias de MPSF nas nascentes P1 ($7,3 \text{ mg L}^{-1}$), P6 ($2,8 \text{ mg L}^{-1}$) e P12 ($31,3 \text{ mg L}^{-1}$) foram distintas. Os tributários tiveram concentrações médias semelhantes P5 ($7,9 \text{ mg L}^{-1}$), P2 ($6,7 \text{ mg L}^{-1}$) e P3 ($4,0 \text{ mg L}^{-1}$). A concentração média de MPSF no canal do ribeirão variou entre os pontos de coleta, havendo uma elevação na concentração de montante a jusante. Os pontos P14 ($39,0 \text{ mg L}^{-1}$) e P15 ($41,9 \text{ mg L}^{-1}$) no rio Jaguari tiveram média de MPSF semelhantes e não sofreram alteração com o aporte do ribeirão das Posses. No período chuvoso a concentração de MPSF foi maior nas nascentes P1 e P6, no tributário P5 e no rio Jaguari (Tabela 9 Figura 18a).

Figura 18. Concentração (média $\pm$ erro padrão), de MPSG e MPSF, para os meses chuvosos ($n=6$) e secos ($n=6$), obtidos nos pontos de coleta entre Jan/15 e Jan/16. Teste estatístico Kruskal-wallis ($p=0,05$) entre as médias no período seco e chuvoso.

As concentrações médias de MPSG foram semelhantes nas nascentes P6 ($2,8 \text{ mg L}^{-1}$) e P12 ($3,2 \text{ mg L}^{-1}$) e maiores na nascente P1 ($14,4 \text{ mg L}^{-1}$). Já os tributários tiveram concentrações médias de MPSG entre os pontos P5 ($2,1 \text{ mg L}^{-1}$), P2 ($1,5 \text{ mg L}^{-1}$) e P3 ($1,7 \text{ mg L}^{-1}$) muito semelhantes e sem diferenças significativas. A concentração média de MPSG no canal do ribeirão não variou entre os pontos de coleta. E no rio Jaguari as médias de MPSG foram semelhantes nos pontos P14 ($4,7 \text{ mg L}^{-1}$) e P15 ($3,2 \text{ mg L}^{-1}$). No período seco, na maioria dos pontos do ribeirão, foi observado um aumento na concentração de MPSG, tal comportamento não foi observado nos pontos do rio Jaguari, onde não houve diferenças entre os períodos seco e chuvoso (Tabela 9 Figura 18b).

6.6.2. Análises isotópicas de MPSG

Nas nascentes em restauração os valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ foram mais elevados em P1 ($3,6 \text{ ‰}$), quando comparados a P12 ($3,1 \text{ ‰}$), sendo que em P6 ($3,4 \text{ ‰}$) os valores foram intermediários. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ médios de P1 ($-19,2 \text{ ‰}$), P6 ($-20,5 \text{ ‰}$) e P12 ($-24,2 \text{ ‰}$) diferiram significativamente. Tanto $\delta^{15}\text{N}$, quanto $\delta^{13}\text{C}$, não foram alterados entre os períodos seco e chuvoso (Tabela 9 Figuras 19(a)(b)(c)).

Nos tributários os valores de $\delta^{13}\text{C}$ também foram distintos, sendo de $-25,9 \text{ ‰}$ no ponto P5, $-23,6 \text{ ‰}$ em P2 e de $-21,1 \text{ ‰}$ no ponto P3. Para o $\delta^{15}\text{N}$ foram semelhantes em P2 ($3,2 \text{ ‰}$) e P3 ($3,9 \text{ ‰}$), sendo e mais baixos em P5 ($2,5 \text{ ‰}$). Não foram observadas diferenças na composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ e $\delta^{13}\text{C}$ entre os períodos seco e chuvoso (Tabela 9 Figuras 19(d)(e)(f)).

Figura 19. Teores isotópicos $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰) no material particulado em suspensão grosso (MPSG) no rio Jaguarí, no período seco (triângulo vazio) e período chuvoso (triângulo cheio)

No canal do ribeirão houve uma diferenciação de $\delta^{13}\text{C}$ entre os pontos e o valor isotópico médio ficou mais leve de montante a jusante. Nos valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ não houve diferenças significativas, no entanto observou-se um comportamento interessante entre o período seco e chuvoso nos pontos P7, P8 e P10 no período seco, os valores de $\delta^{15}\text{N}$ ficaram mais baixos e por vezes até negativos (Tabela 9 e Figuras 19(g)(h)(i)(j)(k)(l)(m)).

No rio Jaguari os valores de $\delta^{13}\text{C}$ médios foram semelhantes nos pontos P14 (-25,7 ‰) e P15 (-25,3 ‰). Os valores médios de $\delta^{15}\text{N}$ não variaram entre os dois pontos. O aporte do ribeirão das Posses não interferiu nos resultados isotópicos no Jaguari (Tabela 9 e Figuras 19(n)(o)).

6.6.3. Transporte na foz do ribeirão

A partir dos resultados de concentração dos elementos principais, formas de carbono e nitrogênio, associado às massas de material particulado em suspensão MPS e a vazão na foz (P13) (Figura 20), de jan/15 a jan/16, foi então possível calcular os fluxos desses elementos na foz do ribeirão das Posses, gerando o transporte diário (T_{dia}), transporte anual (T_{ano}) e o transporte específico anual (T_{Eano}) (Tabela 10).

Tabela 10. Transporte diário (T_{dia}), transporte anual (T_{ano}) e o transporte específico anual (T_{Eano}) de MPS, DIC, DOC, N-NT, NO_3^- , NH_4^+ , F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} na foz do ribeirão das Posses, calculados para o período de jan/15 e jan/16.

	ton dia ⁻¹	ton ano ⁻¹	ton km ⁻² ano ⁻¹
MPS	2,248	821,567	68,350
DIC	0,064	23,319	1,940
DOC	0,094	20,518	1,707
NT	0,020	4,027	0,335
NO_3^-	0,011	2,296	0,191
NH_4^+	0,003	0,613	0,051
F^-	0,001	0,457	0,038
Cl^-	0,161	32,033	2,665
SO_4^{2-}	0,011	3,101	0,258
HCO_3^-	0,327	83,683	6,962
Na^+	0,118	26,492	2,204
K^+	0,065	15,554	1,294
Mg^{2+}	0,024	8,618	0,717
Ca^{2+}	0,042	14,196	1,181

7. DISCUSSÃO

7.1. Evolução dos parâmetros CE, OD, NH_4^+ , NO_3^- , COD entre 2011/2013 e 2015/2016

O oxigênio dissolvido pouco se alterou entre 2011/2013 e 2015/2016, quando isso ocorreu nos pontos P3, P4 e P8, onde se verificou uma redução nos teores de oxigênio, foi atribuído à irregularidade do regime pluviométrico entre os anos de 2015-2016. Outro fator importante é que o ponto P12 já apresentava os menores teores de OD da bacia, evidenciando que a área já era alagada anteriormente.

As médias de COD na bacia também se mantiveram no mesmo patamar entre 2011/2013 e 2015/2016, as exceções se referem aos pontos P2 e P13. Em P2, interferências nas margens e algumas correções no leito do canal, realizadas pelo poder público local, podem ser a fonte do aumento nas concentrações em 2015-2016, não significando um aporte contínuo de carbono orgânico na área. No ponto P13, a redução nos teores de COD se deve à menor carga orgânica na foz da bacia, provavelmente devido à redução de atividades de tanques pesqueiros no local, que devido à irregularidade das chuvas naquele ano tiveram uma redução, segundo dados da prefeitura de Extrema.

Na bacia foi constatada uma redução do nitrogênio inorgânico dissolvido, NO_3^- e NH_4^+ , essa redução pode indicar uma melhoria nas atividades de manejo de gado e eficiência no isolamento das áreas em restauração na bacia. O único ponto onde ocorreu uma elevação na concentração de NH_4^+ na bacia foi na nascente P1, tal condição se deve à massiva presença de gramíneas no leito do corpo d'água.

Na evolução dos parâmetros entre 2011/2013 e 2015/2016, verifica-se uma redução significativa na média de condutividade elétrica (CE) da água nos pontos de nascentes P1 (36,0 para 32,1 $\mu\text{S cm}^{-1}$), P6 (64 para 57,3 $\mu\text{S cm}^{-1}$) e também no tributário P5 (39 para 33,5 $\mu\text{S cm}^{-1}$), devido aos trabalhos de restauração efetuados nessas áreas. A redução na condutividade elétrica é um efeito esperado a partir da redução dos compostos iônicos dissolvidos (VOGT, 2010). Na nascente P12 não houve redução na CE, no entanto, deve se levar em consideração à condição de alagamento constante presente nessa área, prejudicando os efeitos da restauração.

7.2. Influência das ações de restauração e vegetação ripária nos parâmetros de qualidade

No trabalho de Silva (2012), foram observadas diminuições dos teores de OD_{mg} em áreas com menor cobertura florestal, no entanto isso não ocorreu nas áreas do ribeirão das Posses. As concentrações de oxigênio na bacia estiveram mais relacionadas à declividade do terreno e a auto - oxigenação dos corpos d'água (TUNDISI, 2008).

A nascente P1, que tem maior área florestal absoluta e relativa à zona de drenagem, foi o ponto com os menores valores médios de CE (32,1 $\mu\text{S cm}^{-1}$), já as nascentes P6 (57,3 $\mu\text{S cm}^{-1}$) e P12 (69,4 $\mu\text{S cm}^{-1}$), que são nascentes com áreas de vegetação menores e parecidas entre si, tiveram resultados de CE mais elevados, sendo que os resultados de P12 foram prejudicados pelos problemas na restauração (alagamento).

Em áreas preservadas, de geologia muito semelhante à do ribeirão das Posses, Arcova (1998) encontrou valores de CE ($< 20 \mu\text{S cm}^{-1}$) menores, o que indica que apesar dos resultados positivos das ações de restauração, a condição de qualidade ambiental das nascentes ainda pode melhorar. Dentro de uma bacia de pequeno porte como a do ribeirão das Posses é esperado que a condutividade elétrica não sofresse grandes variações entre os corpos d'água,

apesar dos diferentes tipos de rochas e classes de solo que compõem a área. Apesar das menores condutividades, o transporte de material particulado foi mais elevado em P1, devido à declividade mais elevada favorecendo os processos erosivos e à presença de gramíneas no leito do curso d'água. Tal condição prejudicou a avaliação do efeito buffer (LOWRANCE et al, 1997), no qual a vegetação funciona como uma barreira evitando o arraste de elementos para os corpos d'água.

Como já observado em relação aos resultados de Santos (2014), ocorreu uma redução significativa nas formas de nitrogênio inorgânico, NO_3^- e NH_4^+ , indicando uma melhoria nas atividades de manejo de gado e eficiência no isolamento das áreas em restauração na bacia. Através da análise de $\delta^{13}\text{C}$ do MPSG foi possível avaliar que elevações nos teores de NH_4^+ na nascente P1 ocorreu devido à presença massiva de gramíneas no leito do curso d'água, não pelos dejetos de gado na área, e ainda, pela análise do $\delta^{15}\text{N}$ foi identificado um processo de eutrofização no canal do ribeirão e a interferência de algas.

O alagamento contínuo de parte da área em restauração no ponto P12 teve impactos diretos na qualidade da água produzida nessa nascente. Isso ficou evidente pela baixa concentração de OD_{mg} e elevados valores de DBO, efeitos causados pelo processo de decomposição de matéria orgânica acumulada, sendo que a concentração de COD na área foi a mais elevada da bacia.

Outros efeitos desse distúrbio foram os elevados valores de CE e baixos valores de pH. O represamento e acúmulo de nutrientes na nascente P12 favoreceu o estabelecimento nessa área de uma espécie de macrófita aquática emergente a *Typha Domingensis*. Essa espécie pode ser utilizada com despoluidora de água e como complementação da alimentação do gado pela sua capacidade de reter nutrientes (NASCIMENTO et al., 2015), sendo esse efeito comprovado pelas baixas concentrações de K^+ , SO_4^{2-} , NH_4^+ e NO_3^- das águas. No entanto, o adensamento e desequilíbrio da população dessa planta, tem efeitos negativos como o favorecimento à proliferação de algas, ao desenvolvimento microbiano, à eutrofização do ecossistema e, ainda ao acúmulo de sedimentos (TUNDISI; MATSAMURA-TUNDISI, 2008), tendo como reflexo os elevados valores de MPSF encontrados na área.

7.3. Efeitos da matriz de pastagem

O efeito das pastagens na qualidade da água ficou evidenciado através da análise dos íons principais dissolvidos, como pela concentração elevada de cloreto (Cl^-), o que não indica diretamente um problema de contaminação, visto que em áreas preservadas podem ser muito mais elevadas (SILVA et al., 2012).

No entanto, como a região é constituída predominantemente por rochas graníticas, sem a presença de evaporitos, os teores de cloreto encontrados na área só podem ter origem atmosférica ou antrópica. Como as chuvas na região apresentam baixos teores de cloreto (LARA, 2001), resta a hipótese de origem antrópica devido ao manejo do gado. Tanto Biggs et al. (2002) como Figueiredo et al. (2010), associaram o Na^+ e o Cl^- elevados à presença de gado, devido ao oferecimento de sal mineral em cochos instalados nas áreas de pasto. As pastagens da região são altamente degradadas e de baixa produtividade, o que obriga o agricultor a complementar a alimentação do gado com sal mineral, rico em NaCl (sal comum) e os dejetos desses animais serão então a principal fonte de Cl^- para os cursos d'água. O sal mineral é composto também por diversos elementos em menor proporção, tais como o Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} , F^- , sendo que para servir ao gado é feita uma mistura 1:1 com o sal comum.

Outro elemento associado ao ambiente de pastagens é o K^+ , que é adquirido pelos animais que se alimentam das gramíneas, porém até 90% do total consumido é excretado nos dejetos, sendo boa parte reabsorvidos pelas plantas, mas muito se perde por lixiviação (DIAS-FILHO, 2007), contaminando os corpos hídricos. No ribeirão das Posses a região de cabeceira possui, muito devido ao processo de restauração, uma cobertura de mata

ciliar mais densa, favorecendo o consumo pelas plantas do K^+ . No entanto, isso não ocorre no canal do ribeirão, como resultado teremos as maiores concentrações de K^+ no canal. Apesar de estar associado ao manejo de gado, o K^+ dissolvido na bacia do ribeirão das Posses parece ter origem geológica, devido a sua elevada correlação com outros elementos do solo, tais como Ca^{2+} , Mg^{2+} (ANEXO 1).

Quando oriundo de ambientes de pastagens (C4), os valores médios esperados para o $\delta^{13}C$ MPSG deverão estar próximos de -16‰, já quando for proveniente de ambientes florestais (C3) se aproximará mais de -28‰, refletindo então a formação vegetal de origem (MARTINELLI et al., 1989). Nas nascentes P1(-19,2‰) e P6(-20,5‰) os resultados de $\delta^{13}C$ indicam a presença das gramíneas nos ambientes, já que apresentaram valores de $\delta^{13}C$ mais próximos à referência C4, indicando a influência das pastagens nesses locais, por sua vez, a nascente P12 (-24,2‰) apresentou valores mais baixos devido ao acúmulo de matéria orgânica proveniente da Taboa (C3). NO tributário P5 (-25,9‰), que possui uma área florestal maior e mais preservada, os valores de $\delta^{13}C$ foram típicos de ambientes florestais.

7.4. Transporte de MPS no canal e aporte dos elementos principais

Os fluxos anuais de material particulado em suspensão (MPS) transportados na foz do ribeirão das Posses (68,35 ton $km^{-2} ano^{-1}$) foi comparável aquele encontrado por McDowell e Asbury (1994) em zonas montanhosas de Porto Rico (16 – 417 ton $km^{-2} ano^{-1}$). Os fluxos de CID e COD, foram semelhantes aos encontrados em ribeirões de mesma ordem na região de Maricá-Guarapira - RJ (FIGUEIREDO, 1995). Os resultados de fluxos de elementos de solo Ca^{2+} (1,2 ton $km^{-2} ano^{-1}$), Mg^{2+} (0,7 ton $km^{-2} ano^{-1}$), K^+ (1,3 ton $km^{-2} ano^{-1}$) e Na^+ (2,2 ton $km^{-2} ano^{-1}$) foram semelhantes aos obtidos no parque estadual de Cunha, onde Ca^{2+} (0,7 ton $km^{-2} ano^{-1}$), Mg^{2+} (0,3 ton $km^{-2} ano^{-1}$), K^+ (0,2 ton $km^{-2} ano^{-1}$) e Na^+ (1,2 ton $km^{-2} ano^{-1}$) (ARCOVA, 1985).

O aporte dos elementos principais nas nascentes ocorre predominantemente por meio difuso, sem uma entrada pontual e específica (VENDRAMINI, 2013). Esse fenômeno ficou evidente quando foi realizada a comparação da curva de potência, gerada a partir dos dados de concentração dos elementos principais, com a curva de diluição teórica para cada elemento de interesse.

Na região o que ocorre é uma alta taxa de fenômenos erosivos, o que leva a um aumento da concentração dos elementos no período chuvoso e não a uma diluição (ALLAN, 2009). Apenas a curva de potência HCO_3^- no ponto P1 apresentou comportamento semelhante à curva de diluição teórica, com a causa ainda não elucidada por esse trabalho.

8. CONCLUSÃO

Houve uma redução na CE média nascentes P1 e P6 e no tributário P5, em comparação aos resultados de Santos (2014), entre 2011 e 2013, o que indica uma melhoria na qualidade da água nesses locais. E ainda, quando considerado o uso da terra, as nascentes com maiores áreas florestais absolutas e relativas à bacia de drenagem foram também aquelas com menores valores CE. Esses resultados corroboram com a hipótese de melhoria na qualidade ambiental das áreas em restauração com o passar do tempo, dependente da área absoluta e relativa em restauração.

A melhoria na qualidade da água do canal por meio do aporte dos seus tributários, oriundos das nascentes em restauração não pode ser comprovada, assim como não se comprovou o efeito buffer, no qual a vegetação funcionaria como uma barreira evitando o arraste de elementos para os corpos d'água.

As concentrações de Cl⁻ tem efeito de traçador ambiental, evidenciando a influência da atividade pecuária (a principal forma de uso da terra), o que se reflete na qualidade da água dos corpos hídricos da bacia. Outras evidências da influência da pastagem na água são os resultados de $\delta^{13}\text{C}$ do material particulado, que mostram, principalmente nas nascentes, sinais típicos de plantas C4 provenientes das gramíneas que compõem a pastagem.

Problemas na execução das ações de restauração, como o represamento irregular de nascentes, prejudicaram a qualidade ambiental das ações de restauração, gerando efeitos danosos na qualidade da água, com reflexos nos parâmetros físico-químicos como a diminuição do pH e da concentração de OD_{mg} e o aumento da CE, sendo causados principalmente pelo acúmulo excessivo de matéria orgânica nesses locais.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um projeto desenvolvido pelo IAG da Universidade de São Paulo, foram obtidos resultados a respeito das precipitações na bacia do ribeirão das Posses, através da instalação de estações pluviométricas, sendo que esses dados foram utilizados no cálculo dos fluxos hidrogeoquímicos da bacia. Os parâmetros de qualidade e quantidade de água, como vazão, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, cátions e ânions, foram selecionados tendo como base estudos prévios com foco para o entendimento da recuperação de APP em áreas beneficiadas por PSA, com colaboração da TNC pelo “Projeto Conservador das Águas”. Por ter gerado dados interessantes e com necessidades de um monitoramento de prazo maior, a TNC juntamente com a Embrapa Meio Ambiente e os Laboratórios de Ecologia Isotópica e de Ciclagem de Nutrientes (CENA/USP), darão continuidade no estudo incluindo os novos parâmetros de sustentabilidade hídrica indicados na presente proposta. Os resultados encontrados neste trabalho serão integrados aqueles obtidos pelo Projeto Bacaja (EMBRAPA), incorporando informações ao banco de dados desse em relatórios, após sua publicação.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO/IEC 17025-Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro: ABNT, 2001. 20p.
- Agência das Bacias PCJ - Fundação Agência das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. Relatório da Gestão e Situação das Bacias PCJ 2011, 2011.<http://www.comitepcj.sp.gov.br/comitespcj.htm>
- ALLAN J D, CASTILLO M M. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Springer, Netherlands. p. 69. 2009.
- APHA. American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19.ed. Washington: American Public Health Association, 1995. 140p.
- ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; LIMA, W. P. Balanço dos nutrientes Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ e NO_3^- em bacia hidrográfica experimental com vegetação natural do Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Cunha - SP. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE HIDROLOGIA FLORESTAL, Piracicaba. Anais. Piracicaba: IPEF, p. 61-67, 1985.
- ARCOVA, F. C. S., CESAR, S. F., CICCIO, V. Qualidade da água em microbacias recoberta por floresta de Mata Atlântica, Cunha, SP. Revista do Instituto Florestal, 10(2), p. 185-196, 1998.
- AVILA, B.B. Relação entre o uso e manejo do solo em uma bacia rural e a contribuição de nitrogênio, fósforo e sedimentos a corpos hídricos. 2005, 114p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2005.
- AZEVEDO, T. S. Legislação e geotecnologias na definição das áreas de preservação permanente e das reservas legais: Aplicação à Bacia do Córrego das Posses, Município de Extrema-MG. Tese de Doutorado, Rio Claro, 2008.
- BALMFORD, A., GREEN, R.E., JENKINS, M. Measuring the changing state of nature. Trends in Ecology & Evolution, v.18 (7), p.326–330, 2003.
- BICUDO, C.E.M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B., orgs. B 583 a Águas do Brasil: análises estratégicas / Carlos E. de M. Bicudo; José G. Tundisi; Marcos C. Barnsley Scheuenstuhl – São Paulo, Instituto de Botânica, p. 224, 2010.
- BIGGS, T.W.; DUNNE, T.; DOMINGUES, T.F.; MARTINELLI, L.A. Relative influence of natural watershed properties and human disturbance on stream solute concentrations in the southwestern Brazilian Amazon basin. Water Resources Research, San Francisco, v.38, 8p, 2002.
- BOS, M.G. Discharge measurement structures. Wageningen (The Netherlands), Publication 20-International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI, 1978.464p.
- CARMOUZE, J. P. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudos e análises químicas. São Paulo: Edgard Blücher, 1994. 253 p.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Guia de coleta e preservação de amostras de água. 1.ed. São Paulo: CETESB, 1987. 155p.
- CHOMITZ, K.M.; BRENES, E.; CONSTANTINO, L. Financing environmental services: the Costa Rican experience and its implications. The Science of The Total Environment. v. 240, p. 157-169, 1999.
- CIRILO, J. A. Crise hídrica: desafios e superação. Revista USP, Brasil, n. 106, p. 45-58, sep. 2015. ISSN 2316-9036. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/110102/108685>>. Acesso em: 12 sep. 2017. doi:<http://dx.doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p45-58>.

- CODEMIG - Companhia de desenvolvimento econômico de Minas Gerais, Mapa Geológico - Folha Extrema - SF.23-Y-B-IV, 2015.
- CONCEIÇÃO, F. T.; BONOTTO, D. M. Relações hidroquímicas aplicadas na avaliação de qualidade da água e diagnóstico ambiental na bacia do Rio Corumbataí (SP). *Geochimica Brasiliensis*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 1, p. 1-21, 2002.
- DAKER, A. Vertedouros. In: _____. *Água na agricultura: hidráulica aplicada à agricultura*. Ed. F.Bastos, p. 65-93, 1987.
- DAILY, Gretchen (Ed.). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, 1997.
- DIAS-FILHO, M. B; Degradação de pastagens: Processos, causas e estratégias de recuperação, 3ª Ed., Belém-PA: EMBRAPA Amazônia Oriental, p. 45, 2007.
- FIGUEIREDO, R. O.; Fluxos hidrogeoquímicos e sua relação com fatores ambientais nas bacias de drenagem do sistema fluvio-lagunar de Maricá - Guarapina, RJ. Dissertação de Mestrado em Geociências, Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, 120p., 1995.
- FIGUEIREDO, R. O.; MARKEWITZ, D.; DAVIDSON, E. A.; SCHULER, A. E.; WATRIN, O. S.; SILVA, P. S. Land-use effects on the chemical attributes of low-order streams in the eastern Amazon. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, v. 115, n. G4, 2010. <http://dx.doi.org/10.1029/2009JG001202>
- FERRAZ, S.F.B; PAULA, F.R.; VETORAZZI, C.A. Incorporação de indicadores de sustentabilidade na priorização de áreas para restauração florestal na bacia do Rio Corumbataí. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.33, n.5, p.937-947, 2009.
- FORJAZ, C. R. H. *Água Substância da Vida: o mundo da água*. São Paulo: Ed. Do autor, 222p. 2007.
- GARCIA, J.I.B. Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia hidrográfica do Arroio Cancela. 2005, 164p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio grande do Sul, 2005.
- HARMANCIOGLU, N.B.; OZKUL, S.A.; ALPASLAN, M.N. Water monitoring and network design. In: HARMANCIOGLU, N.B.; SINGH, V.P.; ALPASLAN, M.N. (Ed.) *Environmental data management*. The Hague: Kluwer Academic Publishers, p.61-100, Water Science Technology Library, 27, 1998.
- HAWKINS, C. P., OLSON, J. R., HILL, R. A. The reference condition: predicting benchmarks for ecological and water-quality assessments *Journal of the North American Benthological Society*, v. 29, p. 312 – 343, 2010.
- HEAL, G. *Nature and the Marketplace: Capturing the Value of Ecosystem Services*, Island Press, p.224, 2000
- HERLIHY, E. M., PAULSEN, S. G., SICKLE, J. V., STODDARD, J. L., HAWKINS, C. P., YUAN, L. L. Striving for consistency in a national assessment: the challenges of applying a reference-condition approach at a continental scale *Journal of the North American Benthological Society*, v. 27 , p. 860 – 877, 2008.
- HUGHES, R. M.,LARSEN, D. P., OMERNIK, J. M. Regional reference sites: a method for assessing stream potentials, *Environmental Management*,v. 10, p. 629-635, 1986.
- HYPOLITO, R.; ANDRADE, S.; EZAKI, S. *Geoquímica da interação água, rocha, solo: estudos preliminares*. São Paulo, All Print Editora, 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico de Minas Gerais. Rio de Janeiro, 1993. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 30/08/2017
- KARR, J. R. Defining and measuring river health *Freshwater Biology*, 41 , p. 221 – 234, 1999.
- KREMEN, C. Managing ecosystem services: what do we need to know about their ecology? *Ecology Letters*, 8: 468–479, 2005.

- KÖPPEN, W. Climatologia com um estudo de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948.
- LARA, L. B. L. S. et al. Chemical composition of rainwater and anthropogenic influences in the Piracicaba River Basin, Southeast Brazil. *Atmospheric Environment*, v. 35, n. 29, p. 4937-4945, 2001.
- LOWRANCE, R; ALTIER, L. S; NEWBOLD, J. D; SCHNABEL, R. R; GROFFMAN, P. M; DENVER, J. M; STAVIER, K. W. Water quality functions of riparian forest buffers in Chesapeake Bay watersheds. *Environmental Management*, 21(5), p.687-712, 1997.
- LEITÃO FILHO, H.F. Aspectos taxonômicos das florestas do Estado de São Paulo. *Silvicultura em São Paulo*, Piracicaba, n.16, p.197-206,1982.
- LIMA, G. C. Avaliação de atributos indicadores da qualidade do solo em relação à recarga de água na sub-bacia das posses, Extrema (MG), Lavras: UFLA, 2010. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras, 2010.
- LUCK, G.W., DAILY, G.C., EHRLICH, P.R. Population diversity and ecosystem services, *Trends in Ecology & Evolution*, v.18 (7), p.331–336, 2003.
- MALMQVIST, B.; RUNDLE, S. Threats to the running water ecosystems of the world. *Foundation for Environmental Conservation*, Switzerland, v.29, p.134-140, 2002.
- MARENGO, J. A.; VALVERDE, M. C.; OBREGON, G. O. Observed and projected changes in rainfall extremes in the Metropolitan Area of São Paulo. **Clim Res**, v. 57, p. 61-72, 2013.
- MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; MATSUI, E.; FORSBERG, B. A.; MOZETO, A. A. Utilização das variações naturais de $\delta^{13}\text{C}$ no estudo de cadeias alimentares em ambientes aquáticos. *Acta Limnológica Brasiliensis*, v. 2, p.859-882, 1988.
- MCDOWELL, W. H.; ASBURY, C. E. Export of carbon, nitrogen, and major ions from three tropical montane watersheds. *Limnology and oceanography*, v. 39, n. 1, p. 111-125, 1994.
- MEADE, R.H.; DUNNE, T.; RICHEY, J.E.; SANTOS, U.M.; SALATI, E. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. *Science*, v.228, p.488-490, 1985.
- MERTEN, G.H.; MINELLA, J.P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, Porto Alegre, v.3, n.4, p.33-38, 2002.
- MEYBECK, M. Global analysis of river systems: from earth system controls to Anthropocene controls., *Philosophical Transactions of the Royal Academic London B: Biological Sciences*,v.358, n.1440, p. 1935-1955, 2003.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). *Ecosystems and human well-being: A framework for assessment*. Island Press, Washington, D.C. 2005.
- MOLDAN, B.; CERNÝ, J. (Ed). *Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research*. Chichester: John Wiley & Sons, p.419.1994.
- MORTATTI, J; PROBST, J. L; FERNANDES, A. M; MORTATTI, B. C; OLIVEIRA, H. Influence of discharge on silicate weathering dynamics of the Tiete river basin: major cátions and dissolved sílica approach. *Geochimica Brasiliensis*, Rio de Janeiro, v. 22, n.1, p. 15-26, 2008.
- MORTATTI, J.; VICTÓRIA, R. L.; TARDY, Y. Balanço de alteração e erosão química na Bacia Amazônica. *Geochimica Brasiliensis*, v. 11, n. 1, 2011.
- MORTATTI, J.; VENDRAMINI, D; OLIVEIRA, H. Avaliação da poluição doméstica fluvial na zona urbana do município de Piracicaba, SP, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 7, n.2, p. 110-119, 2012.

- MOSCA, A. A. O. Caracterização hidrológica de duas microbacias visando à identificação de indicadores hidrológicos para monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas. 2003 88p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- NASCIMENTO, J. M. L.; COSTA, F. R. L, QUEIROZ, M. A. A; SANTOS, M. E. R. Crescimento e valor bromatológico de taboa sob condições semiáridas, *Pesq. Agropec. Tropical*, Goiânia, v.45, n. 1, p. 97-103, 2015.
- NOBRE, CA; SELLERS, P; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, v.4, p.957-988, 1991.
- OMETTO, J.P.H.B; MARTINELLI, L.A.; BALLESTER, M.V.; GESSNER, A.; KRUSCHE, A.V.; VICTORIA, R.L.; E WILLIAMS, M. Effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates in two streams of the Piracicaba River Basin, south-east Brazil. *Freshwater Biology*, 44:327-337, 2000.
- PALMER, M., BERNHARDT, E., CHORNESKY, E., COLLINS, S., DOBSON, A., DUKE, C., GOLD, B., JACOBSON, R., KINGSLAND, S., KRANZ, R., MAPPIN, M., MARTINEZ, M.L., MICHELI, F., MORSE, J., PACE, M., PASCUAL, M., PALUMBI, S., REICHMAN, O. J., SIMONS, A., TOWNSEND, A., TURNER, M. Ecology for a Crowded Planet, *Science*, v. 304 (5675) p. 1251-1252, 2004.
- PEREIRA, P. H. Projeto Conservador das Águas – Extrema. In: Pagiola, S.; Glehn, H.; Taffarello, D. (organizadores). *Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil*. São Paulo: SMA/CBRN, p. 29-40, 2013.
- PINTO, A. G. N. et al. Efeitos da ação antrópica sobre a hidrogeoquímica do rio Negro na orla de Manaus/AM. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 39, n .3, p. 627-638, 2009.
- REYNOLDSON, T. B., NORRIS, R. H., RESH, V. H., DAY, K.E., ROSENBERG, D. M. The reference condition: a comparison of multimetric and multivariate approaches to assess water-quality impairment using benthic macroinvertebrates *Journal of the North American Benthological Society* , v. 16 , p. 833 – 852, 1997.
- ROBERTSON, G.P; SWINTON, S. M. Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture. *Frontiers in Ecology and Environment*, v. 3 (1), p.38–46, 2005
- SALOMAO, M.S.M.B; COLE, J.J; CLEMENTE, C.A; SILVA, D.M.L; CAMARGO, P.B; VICTORIA, R.L; MARTINELLI, L. A; CO₂ and O₂ dynamics in human-impacted watersheds in the state of Sao Paulo, Brazil. *Biogeochemistry*, v.88, p. 271-283, 2008.
- SANTOS, C.P. Indicadores de qualidade de água em sistema de pagamentos por serviços ambientais. Estudo de caso: Extrema-MG, 105p. Dissertação - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014.
- SILVA, D.M.L; OMETTO, J.P.H.B; LOBO, G.A; LIMA, W.P; SCARANELLO M.A; MAZZI, ROCHA, H.R. Can land use changes alter carbono, nitrogen and major ion transport in subtropical brazilian streams? *Scientia Agricola* 64: 317-324, Piracicaba, 2007.
- SILVA, D. M. L., CAMARGO, P. B., MCDOWELL, W. H., VIEIRA, I., SALOMÃO, M. S. M. B., & MARTINELLI, L. A. Influence of land use changes on water chemistry in streams in the State of São Paulo, southeast Brazil. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 84(4), 919–30. 2012 <http://doi.org/10.1590/S0001-37652012000400007>
- SILVA, M.A; LIMA, G.C; SILVA, M.L.N.; FREITAS, D.A.F.; OLIVEIRA, A.H.; SANTOS, W.J.R.; PEREIRA, P.H.; VEIGA, F. Levantamento de solos e diagnóstico da degradação do solo e da água em função do uso. In: Congresso de pós-graduação da UFLA, 17; 2008, Lavras: UFLA, 2008. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/produagua/>. Acesso em: 02 ago 2014.

- STODDARD J., LARSEN, D. P., HAWKINS, C. P., JOHNSON, R. K., NORRIS, R. H. Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition *Ecological Applications*, v. 16, p.1267-1276, 2006.
- THOMAZ, S.M.; AGOSTINHO, A.A.; HAHN, N.S. (Eds.). *The Upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation*. The Netherlands: Backhuys Publishers. 393p. 2004.
- TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.59, n.1, p.181-186, jan./mar. 2002.
- TUNDISI, J.G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. *Limnologia*, São Paulo: Oficina de Textos, p. 107, 202, 2008.
- TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Biota Neotrop*. 10(4): 67-76, 2010.
- TURNER, R.E.; RABALAIS, N.N. Linking landscape and water quality in the Mississippi river basin for 200 years. *Bioscience*, v.53, p.563-572, 2003.
- VENDRAMINI, D. ; BONASSI, J. A. ; MORTATTI, J. Aspectos da influência antrópica na carga dissolvida do rio Piracicaba (SP). *Revista do Instituto de Geociências*, São Paulo, v.13, n. 3, p. 99-112, 2013.
- VITOUSEK, P.M., MOONEY, H.A., LUBCHENCO, J., MELILLO, J.M. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*, V. 277 (5325) p. 494-499, 1997.
- YATES, A. G., BAILEY, R. C. Selecting objectively defined reference sites for stream bioassessment programs *Environ. Monit. Avaliar.*, 170 , p. 129 – 140, 2010.
- WHATELY, M. Cantareira 2006 : um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo / Marussia Whately, Pilar Cunha. -- São Paulo: Instituto Socioambiental, 2007.
- WHITEHEAD, D. C. *Nutrient elements in grassland. Soil-plant-animal relationships* Wallingford, Reino Unido: CAB International, p. 369, 2000.
- WHITTIER, T. R., STODDARD, J. L., LARSEN, D. P., HERLIHY, A. T. Selecting reference sites for stream biological assessments: best professional judgment or objective criteria *Journal of the North American Benthological Society*, v.26 , p. 349 – 360, 2007.
- WILLIAMS, Michael R. et al. Precipitation and river water chemistry of the Piracicaba River Basin, Southeast Brazil. *Journal of environmental quality*, v. 30, n.3, p. 967-981, 2001.
- WINGE, M., coord. 2001. *Glossário Geológico Ilustrado*. <http://www.unb.br/ig/glossario/> (último acesso em 31/10/2017).
- WUNDER, S. Payments for environmental services: some nuts and bolts. *CIFOR Occasional Paper*, Indonesia n. 42, 24 p., 2005.
- ZOLIN, C.A. *Análise e otimização de projetos de pagamentos por serviços ambientais (PSA) utilizando sistemas de informações geográficas (SIG) – o caso de município de Extrema, MG*. 2010, 128p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.