

TRANSPORTE ANUAL DE SEDIMENTOS E NUTRIENTES DO RIO MUZAMBO, TRIBUTÁRIO DO RESERVATÓRIO DE FURNAS (MG)

Cochise Ricci Libânio¹

Diego de Souza Sardinha²

RESUMO

Os sedimentos e nutrientes nas águas superficiais dos rios podem ser provenientes do intemperismo das rochas, erosão dos solos e atividades antrópicas. A bacia hidrográfica do Rio Muzambo está inserida na região Sudoeste do Estado de Minas Gerais. Seu exutório situa-se no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas, utilizado para a regularização da vazão, geração de energia elétrica, abastecimento, piscicultura e turismo. Com isso, este trabalho avaliou o transporte anual de sedimentos e nutrientes entre julho de 2017 a junho de 2018, com amostragens mensais e próximas ao exutório do rio. O Rio Muzambo transporta anualmente aproximadamente 17×10^3 , 14×10^3 , 846, 182, 17 e 0,06 toneladas de sólidos totais em suspensão, sólidos totais dissolvidos, nitrato, sulfato, fosfato e fósforo total, respectivamente. O transporte de sedimentos e nutrientes, atrelados ao uso da terra na bacia, pode influenciar nos processos de eutrofização e assoreamento do reservatório de Furnas, implicando na diminuição do volume e da qualidade da água utilizável, e, reduzindo a quantidade de energia gerada. Neste sentido, medidas de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos devem ser incentivadas, visando à manutenção dos usos múltiplos das águas desta importante bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica. Qualidade da água. Uso da terra. Planejamento.

ABSTRACT

Sediments and nutrients in river surface waters may come from weathering of rocks, soil erosion and anthropic activities. The Muzambo River basin is located in the Southwest region of Minas Gerais State. The river mouth is in the Furnas Hydroelectric Power Plant Reservoir, which is used for flow regulation, electricity generation, supplies, fish farming and tourism. Thus, this work evaluated sediment and nutrient annual transport from July 2017 to June 2018, with monthly sampling collected near the river mouth. Each year, the Muzambo River

¹ Geógrafo e mestre em Ciências Ambientais. Laboratório de Ecossistemas Aquáticos e Solos (LEAS) do Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) da Universidade Federal de Alfenas (Unifal) - cochise.libanio@unifal-mg.edu.br

² Engenheiro Ambiental, mestre e doutor em Geologia Regional. Laboratório de Ecossistemas Aquáticos e Solos (LEAS) do Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) da Universidade Federal de Alfenas (Unifal) - diego.sardinha@unifal-mg.edu.br

carries approximately 17×10^3 , 14×10^3 , 846, 182, 17 and 0.06 tons of total suspended solids, total dissolved solids, nitrate, sulfate, phosphate and total phosphorus respectively. The sediments and nutrients transport, linked to the land use in the watershed can influence Furnas reservoir eutrophication and siltation processes, reducing not only the volume and quality of usable water, but also the and amount of energy generated. In this sense, water resources planning and management measures should be encouraged, aiming at the water multiple uses in this important basin.

Keywords: Watershed. Basin. Water quality. Land use. Planning.

Submissão: 07/10/2019

Aprovação: 14/11/2019

1 INTRODUÇÃO

Em condições naturais a qualidade da água em uma bacia hidrográfica é afetada pelo escoamento superficial, infiltração e interação água/rocha/solo, resultantes da precipitação atmosférica. Em condições antrópicas, a qualidade da água pode ser afetada pelos despejos domésticos, industriais e/ou agrícolas. As condições naturais juntamente com as ações antrópicas podem proporcionar problemas no que se refere à qualidade da água de rios e reservatórios.

O transporte de sedimentos em bacias hidrográficas são fenômenos naturais provenientes do intemperismo das rochas e da ação erosiva da chuva sobre o solo, que através do escoamento superficial transportam partículas até os corpos hídricos, afetando diretamente a composição das águas superficiais. A avaliação do transporte de sedimentos em bacias hidrográficas é essencial para a determinação do volume de assoreamento em cursos d'água e reservatórios, permitindo estimar a sua vida útil e indicar a viabilidade da ocupação humana (MEADE *et al.*, 1979; DORFMAN, 1993; GUSTAVO; JEAN, 2002; CARNEIRO *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2010).

Segundo Esteves (2011), a eutrofização é o aumento da concentração de nutrientes, especialmente fósforo e nitrogênio nos ecossistemas aquáticos. O enriquecimento de corpos d'água está associado ao crescimento da produtividade primária, ocorrendo a proliferação de algas e macrófitas aquáticas, trazendo prejuízos para produção de energia elétrica, abastecimento, proteção a vida aquática, além de encarecer o tratamento para consumo da água (CARLSON, 1977; LAMPARELLI, 2004; TUNDISI, 2005; FIA *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2013; ARAÚJO *et al.*, 2018).

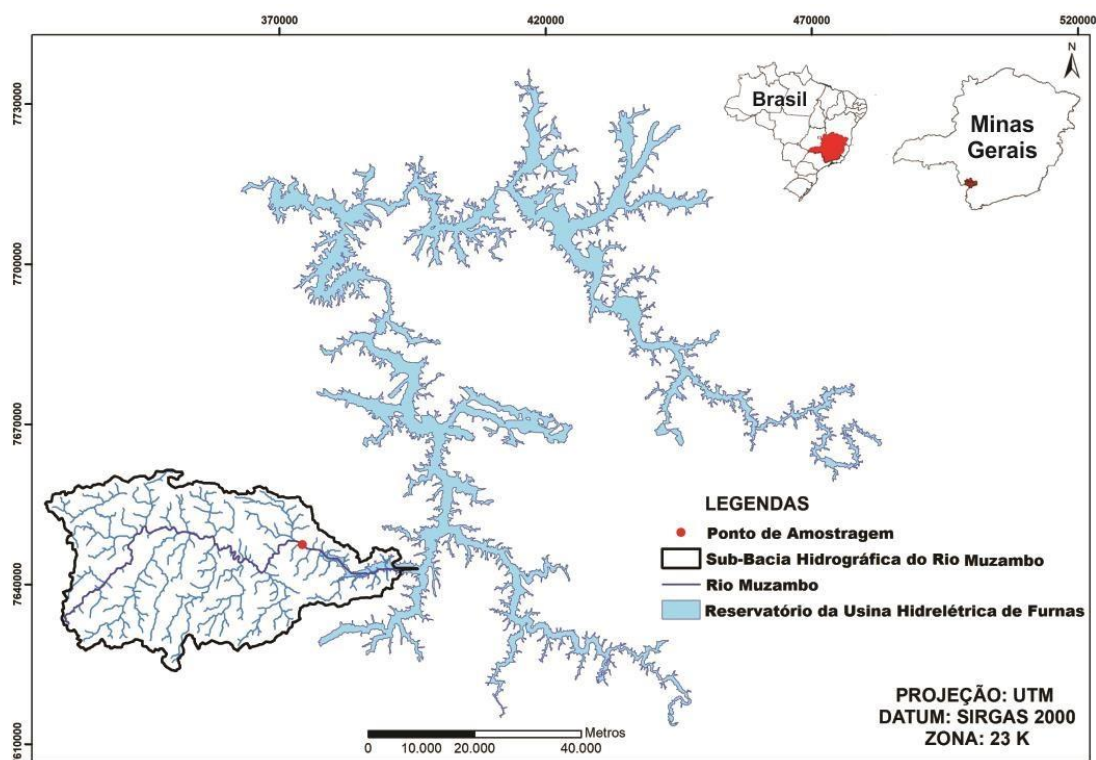
Barragens artificiais e reservatórios foram extensivamente construídos na América Latina, modificando os sistemas aquáticos naturais para se adequar às atividades humanas. Esses reservatórios foram construídos principalmente para geração de energia na maioria dos casos, mas agora são usados para outros fins, como abastecimento de água, irrigação, controle de enchentes, recreação e pesca (CUNHA *et al.*, 2013, p.126). A eutrofização pode acarretar a deterioração dos ecossistemas aquáticos, e seu controle implica no emprego de diferentes técnicas de manejo e recuperação que devem ser aplicadas tanto na totalidade da bacia hidrográfica quanto no reservatório que se deseja recuperar (ARAÚJO *et al.*, 2018, p. 56).

A bacia hidrográfica do Rio Muzambo está localizada na região Sudoeste do Estado de Minas Gerais e seu exutório situa-se no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas, utilizado para regularização da vazão, geração de energia elétrica, abastecimento, piscicultura e turismo. Como a alteração da qualidade da água deste importante sistema pode promover vários efeitos em níveis biológicos, econômicos, sociais e de saúde pública, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o transporte anual de sedimentos e nutrientes deste importante tributário.

2 ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Muzambo está inserida na Unidade de Gestão do Comitê da Bacia Hidrográfica do Entorno do Reservatório de Furnas GD3 (MAPA 1). A área total da bacia hidrográfica é de 1.512 km² e seu leito principal possui 112 km, abrangendo os municípios de Guaxupé, Juruáia, São Pedro da União, Cabo Verde, Nova Resende, Muzambinho, Monte Belo, Areado e Alterosa (INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM, 2013).

Mapa 1 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Muzambo

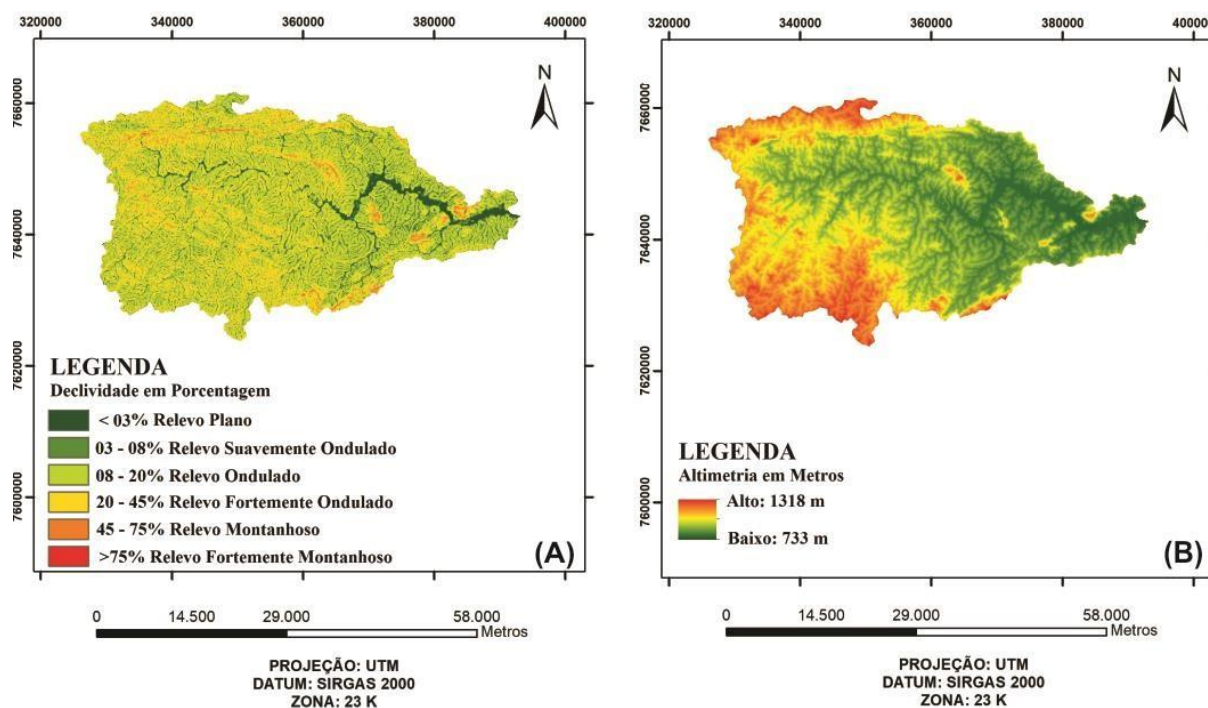


Fonte: SISEMA (2018)

A bacia está localizada no Complexo Varginha, com idades do Pré-Cambriano a Eopaleozóico, possuindo falhas de grande envergadura, dentre elas as falhas de Areado e São Pedro da União (COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM, 1979, p.124). A litologia é caracterizada por um embasamento de rochas cristalinas deformadas por tectonismo com sobreposição de depósitos detríticos e colúvio-aluvionares. A região é marcada pela presença de granada-biotita-xisto e granada-biotita-gnaíse com variedades xistosas.

A bacia está inserida na província geomorfológica do planalto Sul de Minas, região caracterizada por níveis planálticos intercalados com serranias, e, a fronteira ocidental é marcada pelo domínio morfológico da Zona Cristalina do Norte (CPRM, 1979, p. 61-62). A região apresenta um conjunto de relevos dissecados, apresentando colinas e morros de vertentes convexo-côncavas de topografia variada, áreas de relevo plano com declividade inferior a 3%, e áreas de relevo altamente montanhoso com declividade superior a 75% (MAPA 2).

Mapa 2 – Relevo e altimetria da bacia do Rio Muzambo



Legenda: (A) Mapa de relevo e declividade da bacia do Rio Muzambo.

(B) Mapa de altimetria da bacia do Rio Muzambo.

Fonte: SISEMA (2018)

A altimetria varia de 733 a 1.318 m em relação ao nível do mar, aonde foram observados em campo, latossolos vermelhos em relevos planos a suavemente ondulados preparados para cultivo agrícola, cambissolos e neossolos em relevos ondulados a fortemente ondulados com cultivos de café, e, solos indiferenciados de várzea (aluvionares, gleissolos e organossos) em relevos planos utilizados para pastagem.

A área total da bacia é de 1.512 km², porém como o ponto de amostragem está localizado antes do exutório, foi considerada uma área que abrange 1.322 km². A vegetação é característica da transição entre Cerrado e Mata Atlântica, sendo uma região de elevada produção de café, cultivo de cana para produção de etanol e açúcar, além de grandes áreas de pastagens.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar o transporte anual de sedimentos e nutrientes do Rio Muzambo, foram realizadas amostragens entre julho de 2017 a junho de 2018, caracterizando as variações em um ano hidrológico, ou seja, de maiores e menores índices pluviométricos. Os dados de

precipitação foram adquiridos na estação pluviométrica 2146030 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, 2018). A vazão foi determinada com régua limnimétrica para nível da água, trena para a largura, e um micromolinetete Flow Rate Sensor Vernier para velocidade (0,0 a 4,0 m/s \pm 0,0012 m/s). A vazão foi estimada de acordo com a Equação (1).

$$Q = P \times L \times V \quad (1)$$

Onde: Q = vazão (m³/s); P = profundidade do canal (m); L = largura do canal (m); V = velocidade de escoamento no canal (m/s).

O deflúvio da bacia do Rio Muzambo foi calculado pela Equação (2), levando em conta a vazão medida nos dias de amostragem, os dias do mês e a área da bacia até o ponto de amostragem. Com isso, foi possível calcular o saldo do balanço hidrológico pela Equação (3).

$$Defl = \frac{Q \times dias}{A} \quad (2)$$

Onde: $Defl$ = deflúvio (mm); Q = vazão (m³/s); dias = dias do mês (dia); A = área da bacia (m²).

$$Saldo = P - Defl \quad (3)$$

Onde: $Saldo$ = saldo (mm); P = precipitação (mm); $Defl$ = deflúvio (mm).

As amostras foram coletadas com garrafa de Van Dorn, de forma composta, em volumes iguais em três pontos da mesma secção do rio (25% - 50% - 25%) a uma profundidade de 0,5 m nas porções 25% e 25% (margens) e a 1 m na porção 50% (leito do canal principal).

Para qualidade da água, foi utilizado medidor portátil U-50 Multiparameter Water Quality Checkers da Horiba: pH (método de eletrodo de vidro, de 0,0 a 14,0 \pm 0,1 pH); condutividade elétrica (método do eletrodo 4AC, de 0,0 a 100,0 μ S/cm \pm 0,1 %); turbidez (fonte de luz LED, de 0,0 a 800,0 NTU \pm 1,0 NTU); sólidos totais dissolvidos (conversão de condutividades 0,0 a 100 g/L \pm 5 mg/L) e temperatura (método termistor -10 a 55 °C \pm 0,3°C).

Amostras de sólidos totais em suspensão foram realizadas em triplicata segundo metodologia gravimétrica (Equação 4), com volume de 250 ml cada de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, 2012).

$$STS = \frac{P_1 - P_2}{V_{amostra}} \quad (4)$$

Onde: STS = concentração de Sólidos Totais em Suspensão (mg/L); P_1 = massa do filtro pesado após a filtração (mg), P_2 = massa do filtro pesado antes da filtração (mg) e V = volume da amostra de água filtrada (L).

Os teores de fosfato PO_4^{3-} (método do ácido ascórbico, de 0,02 a $2,5 \pm 0,05$ mg/L), sulfato SO_4^{2-} (método sulfaver 4, de 0 a $70 \text{ mg/L} \pm 0,5$ mg/L) e nitrato NO_3^- (método de redução de cádmio, de 0 a $5,0 \pm 0,2$ mg/L) foram quantificados por espectrofotômetro modelo DR 890 da Hach Company (HACH, 2013). Para conversão de Fosfato PO_4^{3-} em Fósforo Total foi utilizado o fator de conversão 0,3262 (HACH, 2013). Este fator de conversão foi obtido a partir da relação do peso molecular do fósforo P (30,97) e do fosfato PO_4^{3-} (94,93).

Para avaliar o transporte anual de sedimentos e nutrientes nas águas superficiais do Rio Muzambo foi necessário relacionar a concentração média ponderada para cada parâmetro com a vazão média do rio durante o ano monitorado, ou seja, estimou-se a quantidade total fornecida pelo rio em t/ano. A concentração média ponderada (P_t) foi obtida pela Equação 5.

$$P_t = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (5)$$

Onde: P_t = média ponderada de sedimentos e nutrientes nas águas fluviais (mg/L); C_i = concentração de sedimentos e nutrientes na i -ésima amostra (mg/L); Q_i = vazão do rio durante a coleta da i -ésima amostra (m^3/s).

Para o transporte anual foram empregados os dados de vazão (descarga líquida) e a concentração média ponderada de sedimentos e nutrientes a partir da Equação (5). Para a estimativa pela Equação (6), levou-se em consideração a área de drenagem até o ponto de amostragem, correspondente a 1322 km^2 .

$$\frac{T_{anual}}{Área} = Q_{vazão} \times 31,536 \times (Cmp) \quad (6)$$

Onde: T_{anual} = transporte anual de sedimentos e nutrientes ($t/\text{km}^2/\text{ano}$); 31,536 = fator de correção; $Q_{vazão}$ = vazão média (m^3/s); Cmp = concentração média ponderada de sedimentos e nutrientes (mg/L); Área = área até o ponto de amostragem (1322 km^2).

Os mapas da área de estudo foram gerados a partir de arquivos disponibilizados pelo Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SISEMA, 2018). O mapa de uso e cobertura da terra foi gerado a partir da classificação supervisionada de imagens multiespectrais do satélite Landsat 8, datadas de 10 de maio de 2018, na órbita/ponto 219/75 (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE, 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Características hidrológicas do Rio Muzambo

Os dados hidrológicos da bacia do Rio Muzambo, referentes ao período de estudo, encontram-se na Tabela 1. As médias pluviométricas mensais indicam dois períodos hidrológicos distintos, caracterizado por uma estação seca que compreende os meses entre abril a setembro (112,7 mm), e estação úmida entre os meses de outubro a março (1100,5 mm). A precipitação total durante o período de estudo foi de 1213,20 mm, com uma média de 101,10 mm, mínima de 0,40 mm e máxima 240,90 mm. A precipitação provavelmente influencia nos dados de vazão, média de 11,80 m³/s variando entre 5,06 m³/s em setembro e 31,72 m³/s em novembro (TABELA 1).

Tabela 1 – Dados hidrológicos da bacia do Rio Muzambo

Mês	Dias	Precipitação (mm)	Vazão (m³/s)	Deflúvio (mm)	Saldo (mm)
Julho	31	0,40	7,24	14,67	-14,27
Agosto	31	11,40	6,26	12,68	-1,28
Setembro	30	19,10	5,06	9,92	9,18
Outubro	31	122,50	5,54	11,22	111,28
Novembro	30	158,80	31,72	62,19	96,61
Dezembro	31	240,90	6,92	14,02	226,88
Janeiro	31	220,00	13,53	27,41	192,59
Fevereiro	28	210,50	18,43	33,73	176,77
Março	31	147,80	24,60	49,84	97,96
Abril	30	31,40	6,06	11,88	19,52
Mai	31	17,30	8,30	16,82	0,48
Junho	30	33,10	7,88	15,45	17,65
Média	30,42	101,10	11,80	23,32	77,78
Total	365,00	1213,20	141,54	279,83	933,37
Desvio padrão	0,90	91,96	8,68	16,99	85,02

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Nos meses de julho e agosto a precipitação foi de 0,40 mm e 11,40 mm, e a vazão de 7,24 m³/s e 6,26 m³/s. Nestes meses, há um deflúvio negativo de -14,27 mm e -1,28 mm, respectivamente, aonde provavelmente o escoamento superficial do Rio Muzambo é alimentado pelo escoamento de base (escoamento subterrâneo). Apesar do aumento do volume de precipitação em agosto, a vazão diminui, provavelmente devido ao processo de recarga das águas subterrâneas que alimentaram a água superficial no período de estiagem.

A precipitação volta a aumentar nos meses de outubro (122,5 mm) e novembro de 2017 (158,80 mm), refletindo em uma vazão de 31,72 m³/s. O aumento da precipitação nos meses de dezembro (240,90 mm), janeiro (220,00 mm) e fevereiro (210,50 mm) também influenciam positivamente o balanço hidrológico da bacia do Rio Muzambo, com um saldo positivo de água de 226,88 mm, 192,59 mm e 176,77 mm, respectivamente (TABELA 1).

O Rio Muzambo apresenta um regime de vazão bastante irregular durante todo o período estudado. A produção de água no período das chuvas supera em aproximadamente 90% a produção hídrica no período mais seco. Por outro lado, a contribuição do escoamento direto para o deflúvio no período das chuvas supera em aproximadamente 70% a produção hídrica no período mais seco. Apesar da limitação de dados, os resultados indicam que o escoamento de base, que é alimentado no período chuvoso, é responsável pela alimentação do curso d'água durante o período de estiagem (TABELA 1).

Parâmetros físicos e químicos

O uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Muzambo, importante produtora de água para o Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas, é utilizado para produção de café, cultivo de cana de açúcar e pastagens. Com isso, a fim de verificar aportes de nutrientes e sedimentos que possam resultar na deterioração desta importante fonte de água, a Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para as águas superficiais da bacia do Rio Muzambo. Como o Rio Muzambo não possui enquadramento, segundo o Art. 42 da Resolução CONAMA n° 357 de 2005, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2 (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA, 2005).

Tabela 2 – Parâmetros físicos e químicos analisados nas águas do Rio Muzambo

Mês	¹ Temp. (°C)	pH	² Cond. (µS/cm)	Turbidez (NTU)	³ STD	⁴ STS (mg/L)	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	P	SO ₄ ²⁻
Julho	16,75	7,47	66,00	4,00	43,00	16,60	1,30	0,06	0,020	0,00
Agosto	18,92	7,22	64,00	6,20	41,00	27,60	1,40	0,04	0,013	0,00
Setembro	20,93	7,61	66,00	9,10	43,00	28,20	1,50	0,06	0,020	0,00
Outubro	24,87	7,18	87,00	11,10	56,00	23,20	2,40	0,08	0,026	0,00
Novembro	23,89	7,18	55,00	41,80	35,00	115,60	1,00	0,08	0,026	0,00
Dezembro	26,83	7,13	76,00	20,40	50,00	41,30	1,30	0,16	0,052	1,00
Janeiro	26,58	6,86	68,00	23,10	44,00	41,00	2,70	0,06	0,020	1,00
Fevereiro	24,54	7,22	56,00	33,10	37,00	19,60	3,10	0,16	0,052	0,00
Março	24,88	6,58	58,00	29,60	38,00	29,30	2,90	0,18	0,059	1,00
Abril	20,81	6,77	65,00	17,70	42,00	35,30	2,70	0,33	0,108	0,00
Mai	19,96	5,53	51,00	5,20	33,00	8,00	4,40	0,68	0,222	2,00
Junho	17,55	6,63	58,00	4,10	38,00	6,90	3,10	0,45	0,147	1,00
Média	22,21	6,95	64,17	17,12	41,67	32,72	2,32	0,20	0,064	0,50
Desvio padrão	3,49	0,55	9,93	12,69	6,41	28,41	1,02	0,20	0,064	0,67

Legenda: ¹Temp. = temperatura. ²Cond. = condutividade. ³STD = sólidos totais dissolvidos. ⁴STS = sólidos totais em suspensão.

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

A temperatura da água oscilou de 16,75°C em julho e 26,83°C em dezembro com média anual de 22,21°C. Os resultados indicam uma variação média de aproximadamente 10°C na temperatura da água entre o inverno seco e o verão chuvoso. Os valores de pH não apresentam grande variação durante o período de amostragem (desvio padrão de 0,55). As Resoluções CONAMA n° 357 de 2005 e n° 410 de 2009 fixam o valor de pH entre 6,0 e 9,0 como critério de proteção da vida aquática (CONAMA, 2005; 2009), e, a maioria dos valores encontrados durante o período de amostragem estão dentro da faixa recomendada (média de 6,95), com um único valor fora desta faixa, em maio, com o valor de 5,53 (TABELA 2).

Os menores valores de condutividade elétrica foram obtidos no mês de maio (51 µS/cm) e os maiores em outubro (87 µS/cm). O intemperismo das rochas pode elevar a condutividade, no entanto, à contribuição de efluentes advindos de fontes pontuais (efluentes domésticos e industriais) e difusas (agricultura e pecuária) também podem contribuir para o aumento da condutividade (TABELA 2). Todos os valores de turbidez estão de acordo com as Resoluções CONAMA n° 357 de 2005 e n° 410 de 2009, para rios de classe 2, ou seja, inferiores a 100 NTU. No entanto, observa-se um aumento dos valores no período de chuvas, quando há aumento do escoamento superficial (vazão). O aumento do escoamento superficial

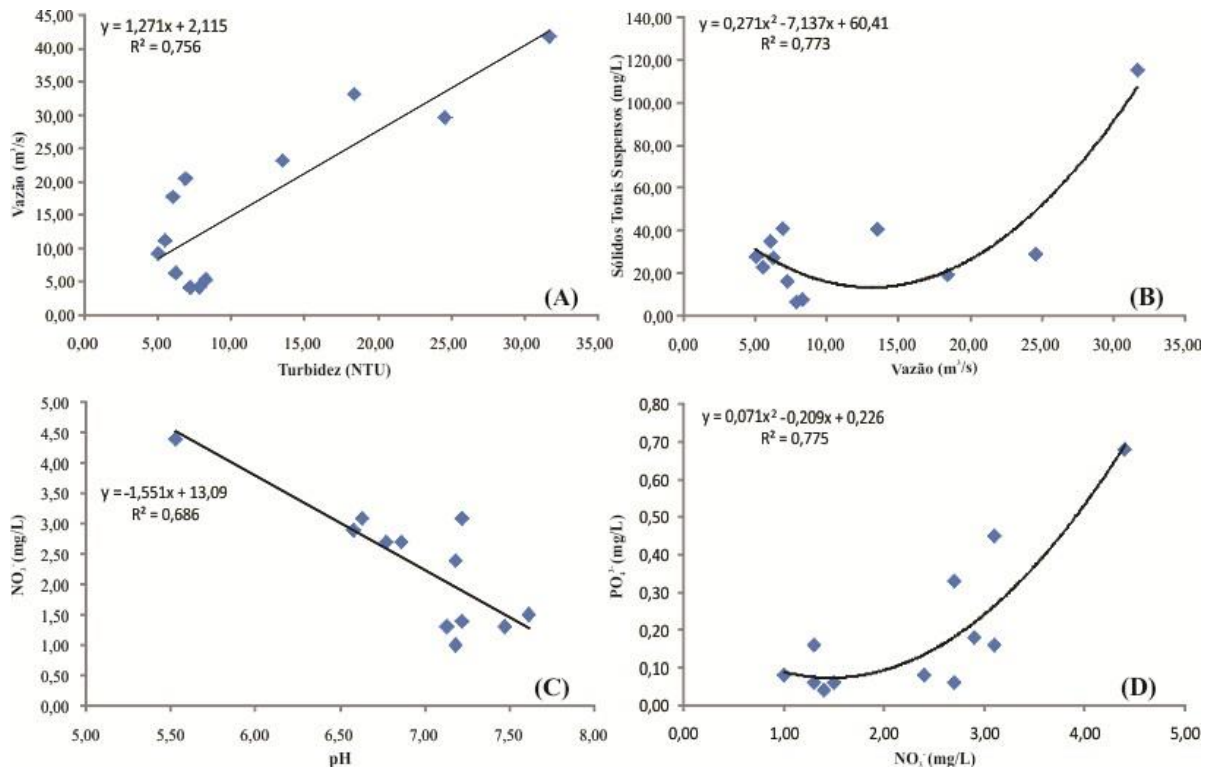
pode influenciar em um maior carreamento de sedimentos para a calha do Rio Muzambo (TABELA 2 e GRÁFICO 1A).

Conforme observado para turbidez, os valores de sólidos totais em suspensão (STS) também aumentam com a vazão, provavelmente devido à erosão laminar e perda de solo na bacia do Rio Muzambo (GRÁFICO 1B). Para os sólidos totais dissolvidos (STD) verificou-se a ocorrência do processo de diluição nas águas superficiais, com concentrações menores no período chuvoso, de maior vazão. Além disso, ocorre o aumento na concentração de STD no período seco, onde a perenidade do Rio Muzambo é mantida pelo escoamento de base (TABELAS 1 e 2).

Os resultados obtidos para nitrato (NO_3^-) e sulfato (SO_4^{2-}) sugerem que o Rio Muzambo se enquadra na Classe 2 das Resoluções CONAMA n° 357 de 2005 e n° 410 de 2009, porém, em termos de fósforo total (P), a maioria das amostras apresenta valores maiores que o permitido para a Classe 2 (máximo de 0,050 mg/L). O local de amostragem no Rio Muzambo é próximo ao remanso do Reservatório da Hidrelétrica de Furnas, com isso, segundo CONAMA (2005), em ambientes intermediários, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lântico a concentração máxima permitida para fósforo total (P) é de até 0,050 mg/L.

No mês de maio foram encontrados os maiores valores de nitrato (4,40 mg/L), fosfato (0,68 mg/L) e sulfato (2,0 mg/L), podendo estas altas concentrações serem atribuídas às cargas pontuais e/ou difusas. Esses elementos tiveram um comportamento semelhante a sólidos totais dissolvidos, condutividade e pH, ou seja, aumento na época de seca provavelmente pelo menor efeito da diluição (TABELA 2). A oxidação da amônia e o aumento das concentrações de nitrato, podem causar uma diminuição do pH da água (GRÁFICO 1C). Além disso, os íons nitrato e fosfato podem ter se originado principalmente da aplicação de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, bem como de áreas de pastagem (esterco animal), conforme (GRÁFICO 1D).

Gráfico 1 – Correlação dos principais parâmetros físicos e químicos analisados nas águas do Rio Muzambo



Legenda: (A) Relação dos dados de vazão (m^3/s) e turbidez (NTU).
 (B) Relação dos dados de sólidos totais suspensos (mg/L) e vazão (m^3/s).
 (C) Relação dos dados de nitrito (mg/L) e pH.
 (D) Relação dos dados de fosfato (mg/L) e nitrito (mg/L)

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Transporte anual de Sedimentos e nutrientes

Os resultados das médias ponderadas pela vazão, conforme a Tabela 3, indicam que sólidos totais em suspensão são as maiores concentrações analisadas ($45,84 mg/L$), seguida por sólidos totais dissolvidos ($39,51 mg/L$), nitrito ($2,28 mg/L$), sulfato ($0,49 mg/L$), fosfato ($0,17 mg/L$) e fósforo total ($0,06 mg/L$). A carga anual é de aproximadamente $17 \times 10^3 t$ de STS, $14 \times 10^3 t$ de STD, $846 t$ de NO_3^- , $182 t$ de SO_4^{2-} , $17 t$ de PO_4^{3-} e $0,06 t$ de P que são anualmente carregados e transportados ao Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas pelo Rio Muzambo (TABELA 3).

Tabela 3 – Média ponderada, carga anual e transporte específico de sedimentos e nutrientes do Rio Muzambo

	¹ STD	² STS	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	P
Média ponderada pela vazão	39,51	45,84	2,28	0,17	0,49	0,06
Carga anual	14695,49	17051,08	846,46	64,27	182,72	20,96
Transporte específico	11,12	12,90	0,64	0,05	0,14	0,02

Legenda: ¹STD = sólidos totais dissolvidos. ²STS = sólidos totais em suspensão.
 Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

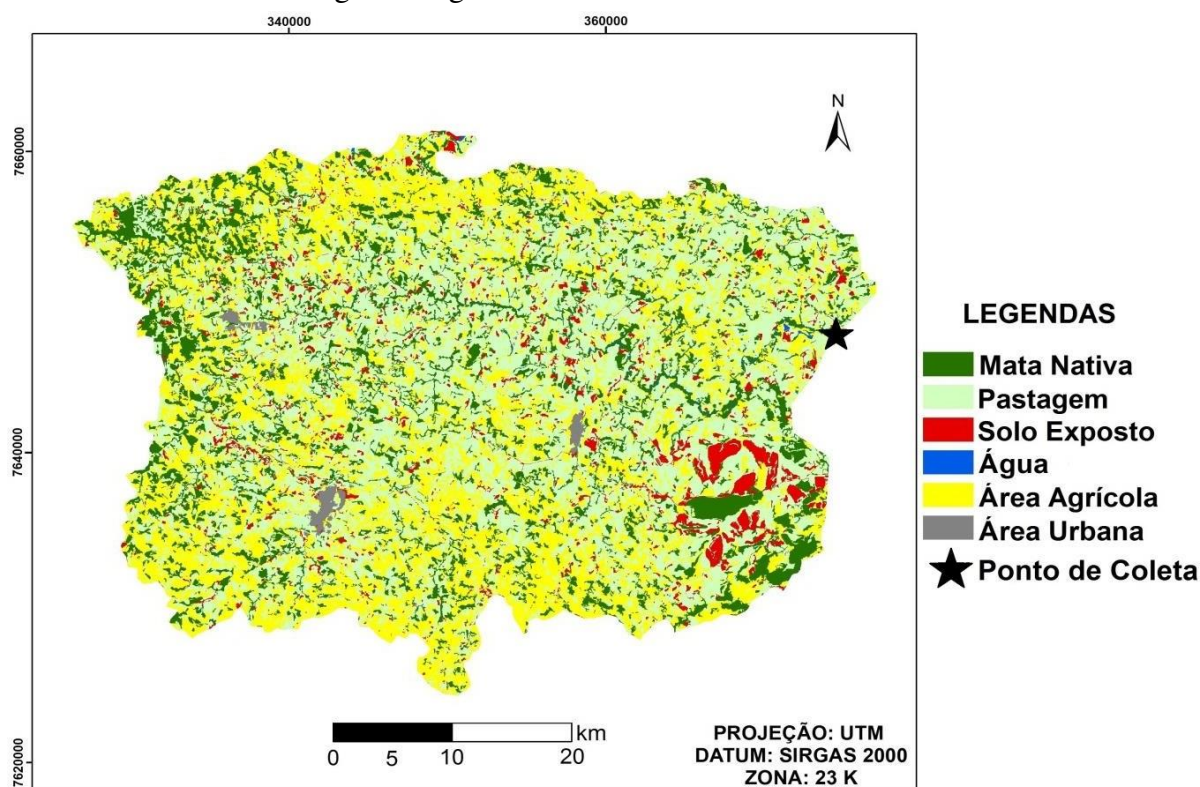
Considerando a média ponderada pela vazão, área de drenagem do ponto de amostragem (1322 km²) e a carga anual transportada (t/ano), foi calculado o transporte específico (t/km²/ano) da bacia do Rio Muzambo. Na bacia, a área urbana ocupa aproximadamente 0,6% (8 km²), sendo 45% (593 km²) ocupados por pastagens, 33% (430 km²) por áreas agrícolas, 4,5% (59 km²) por solo exposto, sendo o restante ocupado por mata nativa e cursos d'água (MAPA 3). Neste sentido, a quantidade de material transportado por unidade de área (12,90 t/km²/ano de STS, 11,12 t/km²/ano de STD, 0,64 t/km²/ano de NO₃⁻, 0,14 t/km²/ano de SO₄²⁻, 0,05 t/km²/ano PO₄³⁻ e 0,02 t/km²/ano de P) pode estar relacionado com o uso da terra, pois na bacia não aforam rochas com grandes quantidades de minerais que possuam NO₃⁻, SO₄²⁻ e/ou PO₄³⁻ em sua composição.

Segundo, Machado e Vettorazzi (2003) os processos hidrológicos associados ao manejo do solo, claramente exercem um papel na produção e transporte de sedimento. Em estudo no Rio São Francisco, Carvalho (1995) verificou que o aumento da produção de sedimento está associado à urbanização, mineração e aumento das áreas agrícolas, aliado a fortes chuvas. Segundo Tundisi (2005), os ambientes lóticos são atingidos por modificações, entre elas: poluição orgânica e inorgânica a partir de fontes agrícolas; uso intensivo do solo que acarreta o aumento de material em suspensão; alteração das várzeas; remoção da vegetação ripária e urbanização.

Com isso, o uso da terra pode influenciar no transporte de sedimentos e consequentemente no assoreamento, que é um dos principais problemas que afetam os reservatórios implicando na diminuição do volume de água utilizável, e reduzindo a

quantidade de energia gerada. Já os valores de fosfato e nitrato, devem ser considerados como fatores desencadeadores do processo de eutrofização, provocando o crescimento exagerado dos organismos aquáticos autotróficos, podendo provocar dificuldade na navegação de barcos e consumo de grande quantidade de oxigênio. Além disso, alguns tipos de algas são tóxicas e também podem provocar sabor e mau cheiro na água.

Mapa 3 – Uso e ocupação da terra abrangendo a área de influência até o ponto de amostragem de água na bacia do Rio Muzambo



Fonte: INPE (2018)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A bacia do Rio Muzambo apresenta um regime de vazão bastante irregular durante todo o período estudado, principalmente devido à produção de 90% de água no período das chuvas. A temperatura da água tem uma variação média de aproximadamente 10°C entre o inverno e verão e a maioria dos valores de pH estão dentro da faixa recomendada para rios de classe 2. Conforme observado para turbidez, os valores de sólidos totais em suspensão (STS) aumentam com a vazão ao contrário de sólidos totais dissolvidos (STD) com aumento no período seco, onde a perenidade do Rio Muzambo é mantida pelo escoamento de base. Os

resultados de nitrato (NO_3^-) e sulfato (SO_4^{2-}) sugerem que o Rio Muzambo se enquadra na classe 2, porém, em termos de fósforo total (P), a maioria das amostras apresenta valores maiores que o permitido.

O transporte específico de sedimentos e nutrientes do Rio Muzambo, quando calculados por unidade de área e levando em consideração a área de drenagem até o ponto de amostragem 1322 km^2 , apresentam $12,90 \text{ t/km}^2/\text{ano}$ de STS, $11,12 \text{ t/km}^2/\text{ano}$ de STD, $0,64 \text{ t/km}^2/\text{ano}$ de NO_3^- , $0,14 \text{ t/km}^2/\text{ano}$ de SO_4^{2-} , $0,05 \text{ t/km}^2/\text{ano}$ PO_4^{3-} e $0,02 \text{ t/km}^2/\text{ano}$ de P. As características geológicas e pedológicas da área de estudo podem causar alterações naturais na qualidade da água e conseqüentemente no transporte específico, no entanto, estas características não são favoráveis para os elementos NO_3^- , SO_4^{2-} e/ou PO_4^{3-} e podem ter relação com o uso da terra, $0,6\%$ (8 km^2) de área urbana, 45% (593 km^2) pastagens, 33% (430 km^2) áreas agrícolas e $4,5\%$ (59 km^2) solo exposto.

Neste sentido, sugere-se que amostragens em pontos definidos desde a nascente até o exutório do Rio Muzambo devam ser realizadas com o objetivo de identificar os locais de possíveis alterações na qualidade das águas da bacia. Além disso, o monitoramento temporal através de imagens de satélite, em conjunto com as taxas de materiais transportados e depositados no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas, pode contribuir com medidas de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos desta importante bacia hidrográfica, utilizada para a regularização da vazão para a geração de energia elétrica, abastecimento, piscicultura e turismo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a seção de publicações da Revista Mineira de Recursos Hídricos (RMRH) e os revisores anônimos que contribuíram para a melhora deste manuscrito.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Séries históricas de estações**. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf. Acesso em: 28 nov. 2018.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: American Public Health Association, 2012. 1935 p.

ARAÚJO, D.R.; MENDONÇA, A.S.F.; REIS, J.A.T. Análise de variação e comparação de índices de estado trófico: reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos de Rio Bonito e Suíça. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v.23, n.1, 55-62, 2018.

CARLSON, R.E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, Waco, v.22, n. 2, p. 361-369, 1977.

CARNEIRO, C.D.R.; GONÇALVES, P.W., LOPES, O.R. O ciclo das rochas na natureza. **Terrae Didactica**, Campinas, v. 5, n. 1, p. 50-62, 2009.

CARVALHO N. Erosão crescente na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia**, Caderno de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, v. 13, n. 2, p. 5-19, 1995.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Projeto Sapucaí: relatório final**. Escala 1:250.000. São Paulo: Editora do Departamento Nacional de Produção Mineral, 1979. 289 p. 5 v.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA nº 357/2005 de 18 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2005. p. 58-63.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução CONAMA nº 410/2009, de 4 e maio de 2009. Prorroga o prazo para complementação das condições e padrões de lançamento de efluentes, previsto no art. 44 da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, e no Art. 3º da Resolução nº 397, de 3 de abril de 2008. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2009. p. 106,

CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C.; LAMPARELLI, M.C. A trophic state index for tropical/subtropical reservoirs (TSI_{tsr}). **Ecological Engineering**. Amsterdã, v. 60, p. 126-134, 2013.

DORFMAN, R. Papel do estado na gestão dos recursos hídricos. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 2, p. 19-27, 1993.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826 p.

FIA, R. *et al.* O. Estado trófico da água na bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, RS, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 4, n. 1, p.132-141, 2009.

GUSTAVO, H.; JEAN, P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais : um desafio atual para a sobrevivência futura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 3, n.4 p. 33-38, 2002.

HACH COMPANY. **DR/890 colorimeter**: procedures manual. Loveland, CO: Hach Company, 2013. 616 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. **Relatório parcial 2**: prognóstico das demandas hídricas. Belo Horizonte: Igam, 2013. 130 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (Brasil). Divisão de Geração de Imagens. **Catálogo de imagens – SG15**. São José dos Campos: INPE, 2018. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Acesso em: 29 maio 2018.

LAMPARELLI, M.C. **Graus de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo**: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. 235 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2004.

MACHADO R.E.; VETTORAZZI C.A. Simulação da produção de sedimentos para a micro bacia hidrográfica do Ribeirão dos Martins-SP. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 735-741, 2003.

MEADE, R.H. *et al.* Transporte de sedimentos no Rio Amazonas. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 9, n. 3, p. 529-547, 1979.

PEREIRA, D.; SIEGLE, E.; MIRANDA, L. B. DE. Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: estuário de Caravelas (BA). **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 3, p. 427-444, 2010.

PEREIRA, P.S.; VEIGA, B.V.; DZIEDZIC, M. Avaliação da influência do fósforo e do nitrogênio no processo de eutrofização de grandes reservatórios: estudo de Caso Usina Hidrelétrica Foz do Areia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 43-52, 2013.

SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (Minas Gerais). **Infraestrutura de dados espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IDE Sisema**. Belo Horizonte, 2018.

Disponível em: <http://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/>. Acesso em: 10 maio 2018.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2005. 247 p.