

Universidade Federal de Minas Gerais
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida
Silvestre

Dissertação de Mestrado

**Serviços ecossistêmicos na bacia hidrográfica de um reservatório
hidrelétrico em cenário de escassez de água**

Mestranda: Carolina Rezende Savino Silveira

Orientador: Prof. Dr. Marcos Callisto

Belo Horizonte, março de 2016

Serviços Ecossistêmicos na bacia hidrográfica de um reservatório hidrelétrico em cenário de escassez de água

Carolina Rezende Savino Silveira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ecologia.

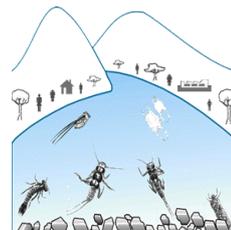
Orientador: Prof. Dr. Marcos Callisto – UFMG

Belo Horizonte, março de 2016.

Financiamento:



Apoios e Colaborações:



Laboratório de Ecologia de Bentos



AGRADECIMENTOS

Fazer o mestrado sempre foi uma realização pessoal, então gostaria de agradecer a todas as pessoas que me apoiaram e estiveram ao meu lado para que isso se concretizasse. Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais José Afonso e Margarida, meus maiores exemplos de vida. Sem dúvida, o que eu sou hoje é em função da forma que eles conduziram minha educação e dos meus irmãos. Agradeço ao meu marido Normando, pelo carinho, amor e apoio incondicional em tudo que eu me proponho na vida. Aos meus irmãos Daniel e Juliana agradeço o apoio ao longo de toda a minha vida. A todos os meus amigos e familiares agradeço a amizade e a compreensão pela ausência nos últimos dois anos. A Gran Viver agradeço por mais este voto de confiança.

Inicialmente não iria agradecer pessoas individualmente, não por julgar que estas não merecessem, mas pelo receio de esquecer alguém, no entanto eu não poderia ter chegado até aqui sem o apoio destas pessoas, então não seria justo não mencionar estes nomes, vamos lá:

Agradeço muito ao meu orientador, Prof. Marcos Callisto por ter aceitado o desafio de orientar uma aluna em uma condição atípica e com um tema relativamente novo em suas linhas de pesquisa. Agradeço a enorme paciência, disponibilidade e sábios conselhos. Agradeço a toda a equipe do Laboratório de Ecologia de Bentos (UFMG), pelo companheirismo e enorme ajuda e apoio nas prévias. Agradeço ao Diego Macedo, Wander e a Bela pela mega super hiper disponibilidade em ajudar em tudo que precisei ao longo do mestrado. Ao geólogo e grande amigo Bebeto agradeço por toda ajuda com os dados relacionados à geologia. Ao Slex, agradeço a ajuda relacionada à instalação de programas e formatação. Agradeço ao Programa de Pós-graduação ECMVS, à equipe do Laboratório de Ictiologia do Professor Paulo Pompeu (UFLA), à Professora Hersilia Santos do CEFET/MG e todos os pesquisadores, professores e alunos membros da Rede de Pesquisas do Projeto IBI-Cemig e Projeto P&D ANEEL-CEMIG GT-487 que contribuíram de alguma forma para concretização deste trabalho.

Por fim, e não menos importante, agradeço à minha filha Luisa por ser minha maior fonte de inspiração, e por me fazer acreditar que tudo vale a pena quando se tem um propósito na vida!

Sumário

Resumo	6
Abstract.....	7
1. Introdução	8
2. Materiais e Métodos.....	13
2.1 Área de estudo	13
2.2 Desenho Amostral.....	13
2.3 Uso e ocupação do solo	15
2.4 Geomorfologia	15
2.5 Métricas de habitats físicos	16
2.6 Caracterização de condições ecológicas nos riachos a montante da bacia hidrográfica do reservatório de Nova Ponte.....	19
2.7 Análises Estatísticas	20
3. Resultados.....	21
3.1 Uso e ocupação do solo	21
3.2 Geomorfologia	21
3.3 Métricas de habitats físicos	23
3.4 Caracterização de condições ecológicas nos riachos a montante da bacia hidrográfica do reservatório de Nova Ponte.....	24
3.5 Análises Estatísticas	26
4. Discussão	28
5. Conclusões	31
6. Perspectivas Futuras	32
7. Referências Bibliográficas.....	33

RESUMO

Serviços ecossistêmicos são processos naturais que garantem a sobrevivência de espécies no planeta e que provêm bens e serviços que satisfaçam as necessidades humanas. O objetivo desta dissertação foi identificar as variáveis que mais contribuem para o serviço ecossistêmico de controle de erosão e sedimentação, além de caracterizar as condições ecológicas da bacia hidrográfica do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Nova Ponte. Foi testada a hipótese de que em trechos de bacia com zona ripária preservada ocorre menor transporte de sedimentos; enquanto que em trechos com zona ripária degradada a erosão e transporte de sedimentos são maiores. Foram analisados três grupos de variáveis: (i) tipos de uso e ocupação do solo, (ii) geomorfologia e (iii) métricas de habitats físicos relacionadas à morfologia do canal, tipos de sedimentos, vegetação ripária e impactos antrópicos, comparando resultados obtidos em 2009 e 2013. Esta comparação permitiu avaliar dois cenários distintos quanto à disponibilidade hídrica, uma vez que 2009/2010 foi um período de pluviosidade média regular, enquanto 2013/2014 houve escassez de chuvas. Com base em alterações devido a atividades antrópicas e características ambientais dos tributários na bacia da UHE Nova Ponte foram elaborados mapas de fragilidade ambiental, caracterizando os riachos quanto ao seu estado de conservação. As métricas de habitat físico foram calculadas após aplicação do Protocolo de Caracterização de Habitats Físicos adaptado da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos em 40 riachos de cabeceira a montante do reservatório de Nova Ponte. Observou-se que a bacia hidrográfica da UHE Nova Ponte apresenta considerável influência antrópica, sendo que metade da área é ocupada por atividades agrícolas. A região tem como geologia dominante o xisto (rocha metamórfica susceptível a erosão), sendo predominantemente composta por latossolo vermelho. Através dos mapas de fragilidade ambiental pode-se observar que houve melhora no estado de conservação da bacia após quatro anos devido ao aumento percentual da cobertura de dossel da vegetação ripária nos riachos. Apenas a variável “mata” (tipos de uso do solo) foi significativamente relacionada à estabilidade do leito dos riachos ($p < 0,05$), comparando os dois períodos amostrais (em 2009, $R^2 = 0,42$; $\beta = 0,30$; $p < 0,05$ e em 2013, $R^2 = 0,11$; $\beta = 0,40$; $p < 0,05$). Os resultados obtidos corroboram com a importância da conservação da zona ripária para manutenção do serviço ecossistêmico de controle de erosão e sedimentação, além de contribuírem para manutenção do ciclo da água e recarga dos aquíferos e conseqüente manutenção dos níveis de água em reservatórios hidrelétricos. Considerando o atual cenário de escassez de chuvas, investimentos na recomposição de zonas ripárias são fundamentais para garantir a continuidade de serviços ecossistêmicos que elas oferecem ao homem.

Palavras-chave: Zona ripária, erosão, bacia hidrográfica, energia elétrica, assoreamento.

ABSTRAT

Ecosystem services are natural processes that ensure the survival of species on the planet and to offer goods and services that satisfy human needs. The purpose of this Master dissertation was to identify the variables that contribute most to the ecosystem service of erosion control and siltation, as well as to characterize the ecological conditions of the river in the Nova Ponte Hydropower Plant (NPHP). The hypothesis was that in sub-basins with riparian zone occurs less sediment transport; while in those degraded riparian zona higher sediment transport occurs. Three groups of variables were evaluated: (i) the land use and soil occupation, (ii) geomorphology and (iii) metrics of physical habitats related to the morphology of the channel, types of sediment, riparian vegetation cover and human impacts. All these data were analyzed by comparing the results obtained in 2009 and 2013. This comparison allowed the evaluation of two different scenarios regarding water availability, since 2009/2010 was a period of regular average rainfall, while 2013/2014 there was a lack of rain. Based on human activities and environmental characteristics of the headwater streams on the NPHP Environmental Fragility maps were constructed, featuring streams as their conservation status. The physical habitat metrics were calculated after applying Protocol of Physical Habitat by the US Environmental Protection Agency in 40 headwater streams upstream of the Nova Ponte Reservoir. The results demonstrate that the watershed of the UHE Nova Ponte presents considerable urbanized, with half of the area is occupied by agricultural activities. The region has the dominant geology schist (metamorphic rock susceptible to erosion), being predominantly made up of schist. Through the Environmental Fragility Maps it is shown that some improvements for the conservation status were applied after four years due to the percentage increase in the riparian vegetation canopy in the streams. Only the variable "forest" was significantly related to the stability of the bed ($p < 0.05$) when comparing the two sampling periods (em 2009, $R^2 = 0,42$; $\beta = 0,30$; $p < 0,05$ e em 2013, $R^2 = 0,11$; $\beta = 0,40$; $p < 0,05$). Obtained results confirm the importance of conservation of riparian forests for the maintenance of ecosystem service of erosion control and siltation, besides contributing to maintenance of the water cycles and recharge of aquifers and consequent maintenance water levels of hydropower reservatories. Considering the current scenario of drought, investments in the restoration of riparian zone are essencial to ensure the continuity of the range of ecosystem services they offered.

Key words: Riparian forest, erosion, watershed, electric power, siltation.

1. INTRODUÇÃO

O conceito de serviços ecossistêmicos foi proposto inicialmente na década de 1970 descrevendo a dependência do homem em relação à natureza (Gomez-Baggethun *et al.*, 2010). Nos vinte anos seguintes esse conceito se popularizou e houve aumento no número de publicações sobre a dependência econômica da sociedade humana em relação à disponibilidade de recursos naturais (Costanza, 1997; Daily, 1997), resultado do aumento da demanda do homem sobre estes recursos, a fim de satisfazer às necessidades de consumo da sociedade moderna.

Entre 2001 e 2005 foi desenvolvido um programa internacional chamado Avaliação Ecosistêmica do Milênio (*Millenium Ecosystem Assessment* - MEA) que teve como objetivo avaliar as consequências de mudanças nos ecossistemas para o bem estar humano (MEA, 2005), considerando a abordagem de bens e serviços ecossistêmicos. Este Programa exerceu papel fundamental na divulgação do conceito de serviços ecossistêmicos e a sua contribuição potencial para o bem estar humano. Além disso, consolidou as bases conceituais de dependência dos serviços prestados pelos ecossistemas, caracterizando de que maneira mudanças no funcionamento ecológico de um ecossistema podem ter efeitos diretos e indiretos na qualidade de vida das pessoas (Pinto *et al.*, 2013). Após o lançamento do MEA a literatura sobre os serviços ecossistêmicos tem aumentado exponencialmente (Fisher *et al.*, 2009). Desde então, diversos autores têm realizado a classificação, avaliação e quantificação de serviços ecossistêmicos em diferentes realidades e climas no planeta (p. ex. De Groot *et al.*, 2002; Turner, 2008; Fischer *et al.*, 2009). Neste contexto, tem ganhado destaque o instrumento econômico de pagamento por serviços ambientais (PSA). Esse instrumento reconhece o valor econômico da proteção de ecossistemas e dos usos sustentáveis e promove um incentivo econômico aos “provedores” de serviços ecossistêmicos (Wunder, 2005).

Os serviços ecossistêmicos podem ser entendidos como processos naturais que garantem a sobrevivência de espécies no planeta e que provem bens e serviços que satisfaçam as necessidades humanas (De Groot *et al.*, 2002). Ou ainda, como aqueles oferecidos pelos ecossistemas naturais e suas espécies garantindo boas condições para a vida humana na Terra (Daily *et al.*, 1997). Em outras palavras, as funções dos ecossistemas são convertidas a serviços ecossistêmicos quando os seres humanos as reconhecem e

valorizam como parte de seu sistema social e de geração de valores (Nasi *et al.*, 2002). Os serviços ecossistêmicos identificados pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio são agrupados em quatro categorias funcionais: serviços de provisão, de regulação, culturais e serviços de suporte. Tais serviços são intimamente relacionados com o bem-estar humano (Figura 1).



Figura 1 - Relação entre as categorias dos serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano (adaptado da MEA, 2005).

Enquadram-se nos serviços de provisão os produtos obtidos diretamente dos ecossistemas, tais como alimentos, água lenha e remédios naturais. Os serviços de regulação se relacionam aos benefícios obtidos a partir da regulação dos processos ecossistêmicos, como regulação hídrica, purificação da água, controle de erosão e sedimentação, mitigação de danos naturais, polinização e controle biológico. Os serviços culturais são os benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas. Incluídos nessa categoria estão as atividades recreativas e ecoturismo. A última categoria é a dos serviços de suporte, que são aqueles serviços necessários para a produção de todos os outros serviços ecossistêmicos. Essa categoria inclui a formação de solo, ciclagem de nutrientes e fornecimento de habitat (MEA, 2005).

No presente projeto de dissertação de mestrado foi estudado o serviço de controle erosão e sedimentação prestado pela zona ripária para a conservação de cursos d'água na bacia hidrográfica de um empreendimento hidrelétrico. A escolha do tema se justifica em função do atual cenário de escassez de chuvas, que resultou na redução dos níveis de água estocada nos reservatórios hidrelétricos no sudeste do Brasil, comprometendo a geração de energia elétrica. Portanto, conhecimentos sobre os bens e serviços ecossistêmicos em reservatórios hidrelétricos são necessários para o entendimento dos processos ecológicos que permitam a continuidade desses serviços, garantindo a geração de energia elétrica, além de fornecer subsídios para a adoção de práticas que visem o uso sustentável de recursos hídricos no país.

Um levantamento realizado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2015) apontou que seis das principais bacias hidrográficas brasileiras enfrentaram problemas com a escassez de chuvas em 2014, afetando 20% da população brasileira. Segundo dados da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional dos Estados Unidos em 2014 as chuvas no Brasil foram 20% menores do que a média histórica (<http://www.brasilemfoco.com.br>). De acordo com os dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2014), os níveis dos reservatórios das usinas hidrelétricas nas regiões norte, sudeste e centro-oeste operaram, em média, com menos de 30% de sua capacidade em 2014. Diante do atual cenário de seca o Brasil voltou a enfrentar problemas na geração de energia elétrica em 2014-2015, assim como ocorreu em 2001 com a Crise do Apagão (Cardoso, 2012).

A matriz energética do Brasil é majoritariamente composta por fontes renováveis sendo que c. 70% da energia gerada é proveniente de hidrelétricas (von Sperling, 2012). Os reservatórios de hidrelétricas cumprem a função de armazenar água no período chuvoso para utilizá-la regularmente durante o ano, inclusive no período de estiagem (Rosenberg, 2012). A água que abastece os reservatórios é proveniente do rio principal e seus afluentes e subafluentes que abastecem sua bacia hidrográfica. A água armazenada em um reservatório hidrelétrico pode também ser utilizada para outras finalidades como recreação, controle de cheias, abastecimento de água, transporte fluvial, ciclagem de nutrientes e produção de alimentos (von Sperling, 2012).

Apesar de sua importância, a construção de reservatórios causa diversos impactos negativos nos recursos naturais, incluindo a inundação de grandes áreas de vegetação ribeirinha, perda de espécies nativas de peixes e alteração na hidrodinâmica do rio (Periotta

& Tundisi, 2013), que por sua vez, provoca modificações no transporte de sedimentos. Estes tendem a depositar-se no fundo da represa, assoreando o reservatório, reduzindo sua capacidade de armazenamento e tempo de vida útil à geração de energia (Carvalho, 2000). O assoreamento de reservatórios pode também levar à degradação de qualidade de água, aumentando os custos para o seu tratamento e distribuição para consumo humano (ANA, 2012).

Os sedimentos presentes nos cursos d'água, são provenientes de processos erosivos no leito do rio e na bacia hidrográfica (Haregeweyn *et al.*, 2012), sendo desencadeados pela ação de energia na superfície do solo devido à chuva e escoamento superficial. O impacto das gotas de chuva na superfície do solo exposto (sem cobertura vegetal) causa a deterioração de sua estrutura em decorrência da destruição dos agregados de solo (Brooks *et al.*, 2003), sendo estas partículas carregadas para os cursos d'água. Quando os processos erosivos assumem valores acima da taxa de tolerância de perdas de solo, os cursos d'água não conseguem mais transportar os sedimentos que, com o passar do tempo, depositam-se em seus leitos, podendo ocasionar o assoreamento de pequenos cursos d'água e nascentes (ANA, 2012). No entanto os processos erosivos podem ser minimizados pela conservação da zona ripária em riachos, uma vez que as raízes ajudam a reter o solo e dependendo da forma e distribuição das copas e do tamanho das árvores, a energia cinética resultante do impacto de chuva no solo pode ser reduzido em até 59% (Geibler *et al.*, 2012).

A zona ripária pode ser caracterizada como sistemas florestais estabelecidos às margens dos cursos d'água, exercendo função de instrumento redutor de assoreamento (Castro *et al.*, 2013, Figura 2). A zona ripária desempenha uma série de serviços ecossistêmicos, contribuindo na recarga de aquíferos, manutenção de qualidade de água, redução das taxas de erosão e assoreamento de rios (Ritchie & Mcarty, 2003), proteção do solo contra erosão através da retenção física de raízes, diminuição do impacto da água sobre o solo pelas folhas e caules e pelo recobrimento do solo por uma camada de serrapilheira, além de contribuir para a infiltração da água no solo, reduzindo o seu escoamento superficial (Hepp & Gonçalves-Jr, 2015). Sendo assim, espera-se que quanto maior for o recobrimento vegetal, menor será a perda de solo por erosão (Sharma & Shaky, 2006). Periotto & Tundisi (2013) identificaram e quantificaram 20 serviços ecossistêmicos na bacia do reservatório da Usina Hidrelétrica Carlos Botelho, em Itirapina, São Paulo e constataram que a garantia de continuidade desses serviços depende da gestão adequada de atividades econômicas regionais e da recuperação da vegetação ripária.

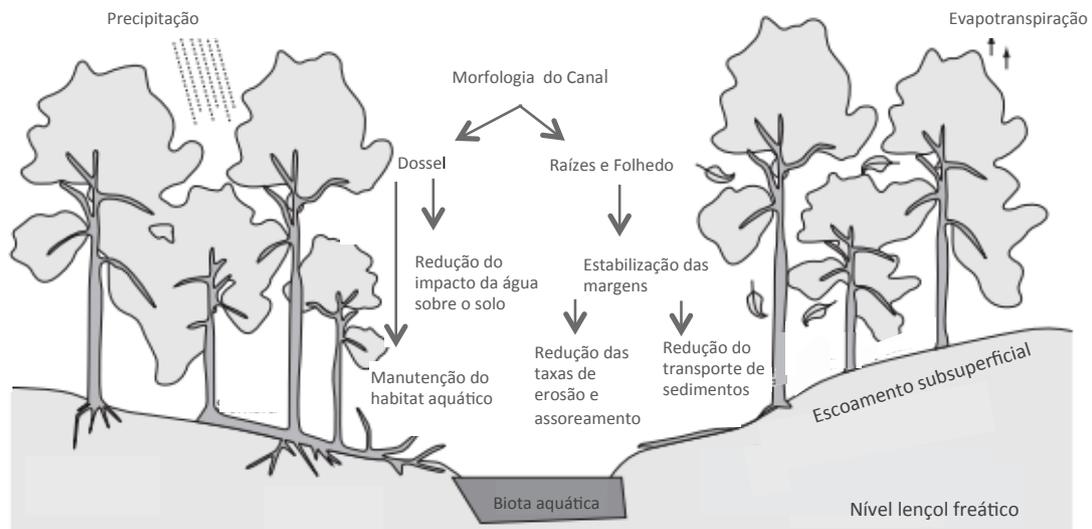


Figura 2: Principais processos influenciados pela manutenção da zona ripária (adaptado de Tundisi & Tundisi, 2010).

Esta dissertação de Mestrado teve como objetivo identificar as variáveis que mais contribuem para o serviço ecossistêmico de controle de erosão e sedimentação, além de caracterizar as condições ecológicas da bacia hidrográfica do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Nova Ponte. A hipótese de trabalho foi de que em trechos de bacia com zona ripária preservada ocorre menor transporte de sedimentos; enquanto que em trechos com zona ripária degradada a erosão e transporte de sedimentos são maiores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O reservatório de Nova Ponte localiza-se no estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil, e foi construído no trecho médio da bacia do rio Araguari (19° 09' 09" S e 47° 40' 29" W) para fins de geração de energia elétrica. Com 120 metros de profundidade próximo à barragem, extensão longitudinal de 115 km e volume de 12,8 bilhões de m³ de água, é o maior reservatório no rio Araguari, (Vono, 2002). É formado por dois braços principais dos rios Araguari e Quebra-Anzol, sendo este o seu principal afluente. Sua usina hidrelétrica possui capacidade de 510 Mw de potência, 3 unidades geradoras e barragem com altura máxima de 141 metros e comprimento de 1600 metros (CEMIG, 2014).

2.2 Desenho Amostral

Para análise do serviço ecossistêmico de controle de erosão e sedimentação foram analisados dados de tipos de uso e ocupação do solo, geomorfologia e métricas de habitat físico referentes à morfologia do canal, tipos de sedimentos, vegetação ripária e impactos antrópicos em 40 sítios amostrais em riachos de cabeceira a montante do reservatório (*et al.*, 2015, Figura 3). Estes dados foram disponibilizados pela Rede de Pesquisas do Projeto IBI-Cemig e Projeto P&D ANEEL-CEMIG GT-487.

A localização do ponto médio dos trechos dos riachos foi feita através do método de amostragem espacialmente balanceada, utilizando a abordagem GRTS (*Generalized Random-Tessellation Stratified*). Método construído através de probabilidades, onde é selecionada uma rede de pontos capaz de refletir o padrão espacial da área de estudo (Macedo, 2015).

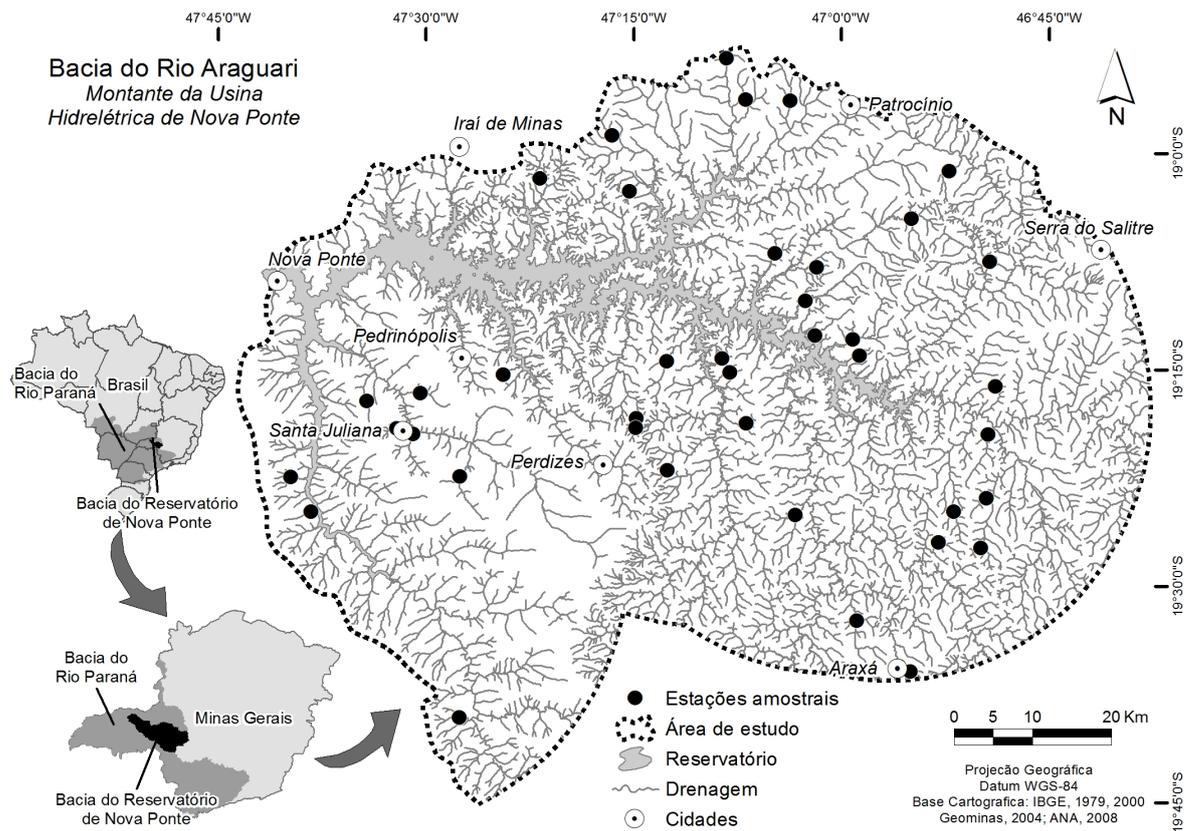


Figura 3. Bacia hidrográfica do reservatório de Nova Ponte, bacia do Rio Araguari, MG.

Todas as variáveis foram analisadas em cada um dos 40 pontos amostrais comparando os resultados obtidos em 2009 e 2013. Esta comparação permitiu avaliar dois cenários distintos quanto à disponibilidade hídrica, uma vez que 2009/2010 foi um período de pluviosidade média regular, enquanto 2013/2014 foram anos de escassez de chuvas (Figura 4).

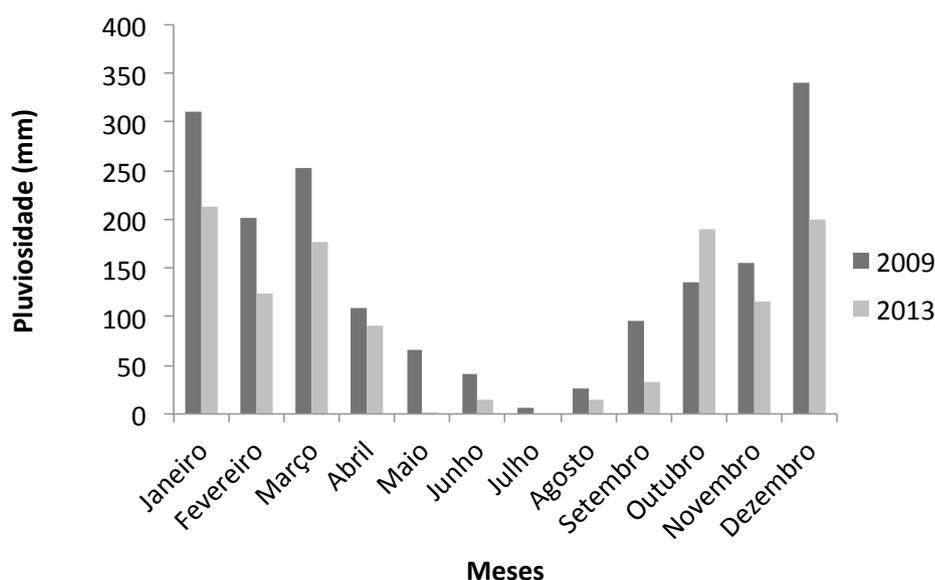


Figura 4: Dados pluviométricos do reservatório de Nova Ponte, bacia do Rio Araguari, MG, nos anos de 2009 e 2013 (CEMIG, 2015).

2.3 Tipos de uso e ocupação do solo (escala regional)

A área de estudo foi caracterizada quanto aos tipos de uso e ocupação do solo, comparando os dados obtidos em dois períodos distintos (2009 e 2013). Para caracterização da área de estudo foi determinado o nível de pressão antrópica exercido na sub-bacia a montante, através da interpretação manual de imagens com resolução fina (0,6 – 5 metros de resolução espacial; imagens do Google Earth; GOOGLE, 2009 e 2013), em conjunto com imagens multiespectrais do sensor TM presente do satélite Landsat 5 (Macedo, 2015). Foram demarcados polígonos na área do entorno em cada um dos 40 sítios amostrais possibilitando determinar a porcentagem de cobertura das categorias identificadas de uso e ocupação do solo (campo, mata, agricultura, pasto e impacto antrópico).

2.4 Geomorfologia (escala regional)

Segundo Carvalho (2000) a produção de sedimentos depende de uma série de fatores naturais tais como precipitação, tipos de solo e relevo. Os tipos de solo influenciam

a velocidade com que a água alcança o leito do rio. A litologia, por sua vez, determina a textura do solo influenciando a capacidade de infiltração, armazenamento de água e predisposição ao intemperismo. A estrutura geológica determina o relevo da bacia, influenciando diretamente os processos de erosão e lixiviação (Frota & Nappo, 2012). Os dados referentes aos tipos de solo e geologia foram extraídos da Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo para cada um dos 40 sítios amostrais (Macedo, 2013).

2.5 Métricas de Habitat Físico (escala local)

Estas métricas foram calculadas após a aplicação do Protocolo de Caracterização de Habitats Físicos proposto pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), modificado e adaptado para utilização no cerrado, como descrito em Callisto et al. (2014). O protocolo foi aplicado nos 40 riachos de cabeceira a montante do reservatório de Nova Ponte nos anos de 2009 e 2013. Cada trecho amostrado correspondeu a 40 vezes sua largura molhada, com comprimento mínimo de 150 metros (Peck *et al.*, 2006). O trecho foi dividido em onze seções transversais igualmente espaçadas (Figura 5). Para a compilação dos dados de habitats físicos obtidos em campo, as métricas foram calculadas de acordo com Kaufmann *et al.* (2008) e foram divididas em quatro grupos detalhados a seguir.

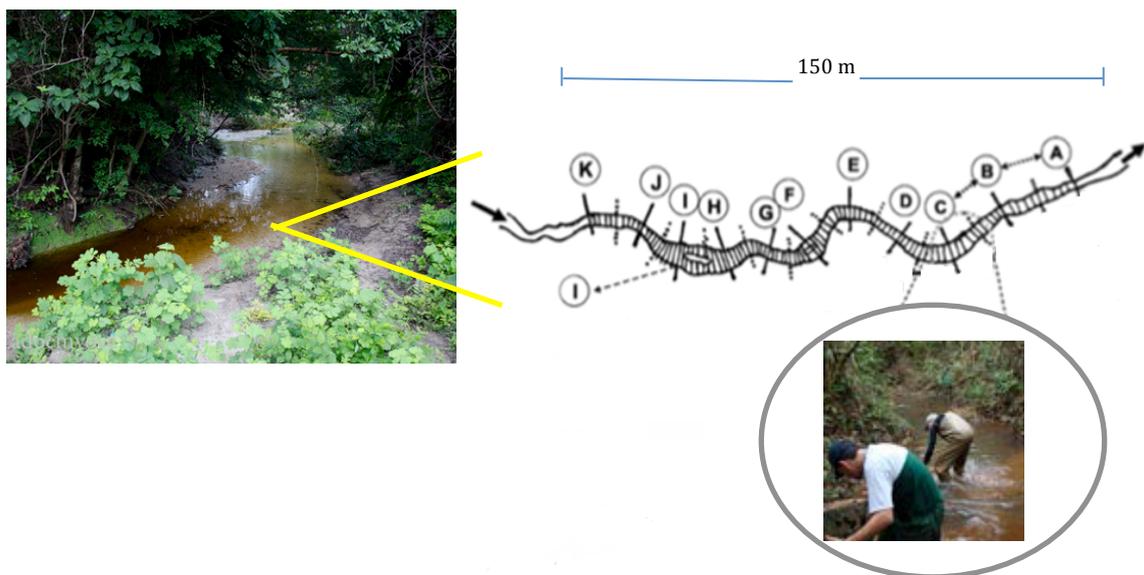


Figura 5: Esquema dos transectos amostrados em cada um dos 40 riachos estudados (adaptado de Macedo *et al.*, 2014).

2.5.1 Características hidrogeomorfológicas

Foram realizadas medidas das características hidrogeomorfológicas que estão diretamente relacionados ao transporte de sedimentos: dimensões do canal, gradiente, declividade, vazão, raio hidráulico do bankfull, tipos e velocidade do fluxo.

A razão largura/profundidade funciona como um índice de forma do canal, indicando trechos rasos e largos quando seu valor é alto e trechos estreitos e profundos quando seu valor é baixo. O assoreamento da calha pode reduzir a sua capacidade de escoamento, aumentando a razão largura/profundidade, que força a invasão da água para as margens do canal, ocasionando processos erosivos na calha do rio (Fisrwg, 1998). Já a declividade do terreno influencia as perdas de solo por erosão hídrica, pois à medida que a declividade aumenta, o volume e a velocidade da enxurrada também aumentam, diminuindo assim a infiltração de água no solo (Bordas & Semmelmann, 2011). Com isso, ocorre um aumento da capacidade de transporte de partículas de solo pela enxurrada, assim como a capacidade de desagregar solo por ação de cisalhamento, principalmente quando concentrada nos sulcos direcionados no sentido da pendente do terreno.

Outro importante parâmetro a ser considerado é o chamado raio hidráulico, obtido pela relação entre a área molhada e o perímetro molhado de uma seção transversal. Quanto maior a área transversal em relação ao perímetro molhado, mais facilmente o escoamento acontece, porque mais distante estão algumas partículas da água em relação a calha que exerce atrito (Santos *et al.*, 2014). Logo, quanto maior o raio hidráulico maior a velocidade da água. A velocidade da água de um rio está diretamente relacionada ao transporte de sedimentos, pois, um aumento da velocidade resulta no aumento da capacidade de transporte para uma determinada potência de rio (Lisle, 1982). No fluxo normal, a velocidade do fluxo decresce nos trechos mais profundos (piscinas) e cresce nos locais em que o leito do rio é relativamente mais alto que a elevação imediatamente a montante ou a jusante (cristas). O formato e o espaçamento de algumas unidades do canal, como cristas e piscinas, são os maiores responsáveis por criar a resistência ao fluxo, permitindo a sedimentação de grãos finos (Lisle, 1982).

2.5.2 Parâmetros Sedimentológicos

Foi realizado um levantamento de substratos presentes no leito do rio e posteriormente foi calculado o índice de estabilidade do leito dos riachos (*LRBS*). Sendo este índice utilizado como indicador do serviço ecossistêmico de controle de erosão e sedimentação, uma vez que este índice permite a avaliação dos efeitos do aporte de sedimentos em corpos hídricos (Santos *et al.*, 2014).

Uma das formas de avaliar a estabilidade da calha de um rio é avaliar o diâmetro médio das partículas presentes em seu leito. Quando estas são mais finas do que o tamanho médio de partículas que o rio é capaz de mover, tem-se um leito instável (Santos *et al.*, 2014). O índice de estabilidade do leito dos riachos, corresponde à razão entre o diâmetro geométrico médio dos sedimentos e o diâmetro crítico do leito sazonal – maior sedimento móvel durante a cheia que completa a calha do rio (Kaufmann *et al.*, 2008).

2.5.3 Impactos antrópicos na margem de riachos

Para avaliar a presença e proximidade de influência humana sobre os cursos d'água foi utilizado o índice de distúrbio próximo ponderado (*WI_hall*) (Kaufmann *et al.*, 1999). Este índice é calculado através da contagem das observações de atividades antrópicas (p. ex. presença de edificações, rodovias, plantações, canais artificiais, lixo), que totalizam 11 classes de distúrbios nas margens em cada sítio amostral. Esta métrica pondera a proximidade de cada um destes impactos, conferindo peso maior quando presente dentro da parcela. O valor final da métrica considera a média ponderada dos impactos e a porcentagem de parcelas com a presença de algum dos 11 tipos de impactos antrópicos avaliados (Kaufmann *et al.*, 2008).

2.5.4 Integridade da vegetação ripária

A integridade da vegetação ripária foi avaliada através de duas metodologias:

-Densiômetro: este instrumento possui um espelho esférico convexo com desenhos de 17 quadrados. A medição consiste em contar quantos vértices dos quadrados são ocupados pela vegetação espelhada atrás do observador. A medição é feita em 6 posições dentro do canal, em cada um das 11 seções em cada trecho de rio amostrado. Estas medidas contribuíram para o cálculo do dossel sobre a calha do rio e nas margens.

-Avaliação visual das condições da vegetação ripária: considerando uma área de 10 x 10 metros a partir de cada margem. Esta avaliação visual teve como objetivo quantificar o porte e o tipo da vegetação de entorno.

2.6 Caracterização de condições ecológicas na bacia hidrográfica do reservatório de Nova Ponte

Para fazer a caracterização das condições ecológicas da bacia hidrográfica, foi preciso analisar o estado de conservação de cada um dos 40 riachos amostrados, considerando de forma simultânea os aspectos geomorfológicos, tipos de uso do solo e cobertura vegetal. Utilizou-se a metodologia proposta por Ross (1994), na qual o grau de fragilidade ambiental de cada riacho é determinado de acordo com os fatores de paisagem natural e pressões antrópicas. Estes valores são convertidos em uma escala crescente de fragilidade (1 a 3), que por sua vez representam o gradiente de conservação de cada trecho amostrado em relação ao serviço ecossistêmicos de controle de sedimentação (Tabela 1).

Tabela 1: Métricas utilizadas e respectivos valores de fragilidade padronizados na bacia hidrográfica do reservatório de Nova Ponte, Rio Araguari, MG (adaptado de Ross, 1994).

Fatores*	Classificação de Fragilidade Ambiental		
	Baixa (1)	Média (2)	Alta (3)
Índice de estabilidade do leito (LRBS)	-1 a 1	-2 ou 2	< -2 ou >2
Declividade (%)	< 6	6 a 50	>50
Geologia	Dacito	Xisto e Filito	Arenito
Solo	Latossolo	Neossolo	Cambissolo
Impacto Antrópico (%)	< 30	30 - 70	>70
Solo Exposto (%)	< 30	30 - 70	>70
Canal + Margens (%)	>70	10 a 70	< 10
Subbosque + rasteira (%)	>70	10 a 70	< 10
Mata (%)	>70	10 a 70	< 10

*A aquisição dos dados foi feita a partir da aplicação do Protocolo de Caracterização de Habitats Físicos, tipos de uso e ocupação do solo e Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo.

A fragilidade ambiental de cada ponto amostral corresponde à somatória dos valores atribuídos a cada parâmetro independentemente, onde valores de 0 a 14 correspondem a trechos preservados, com baixa tendência ao desenvolvimento de processos erosivos; 15 a 17 representam trechos alterados por atividades antrópicas, susceptíveis à formação de processos erosivos; e acima de 18, trechos severamente impactados por atividades antrópicas, com considerável tendência à formação de processos erosivos (adaptado de Callisto *et al.*, 2002).

2.7 Análises Estatísticas

Os três conjuntos de variáveis (tipos de uso e ocupação do solo, geomorfologia e métricas de habitat físico) foram analisados em conjunto. Visando eliminar as métricas com alto índice de correlação ($r > |0,70|$) (Marzin *et al.*, 2013), estas foram submetidas a uma matriz de correlação de Pearson, tendo sido escolhidas aquelas com maior relevância ecológica. Na sequência foi realizado um Teste t pareado para identificar quais variáveis foram significativamente diferentes entre os dois anos. No entanto os dados referentes a geomorfologia não foram submetidos ao Teste t, uma vez que não variam no intervalo de tempo avaliado de 4 anos. Posteriormente foi realizada uma Análise de Componentes Principais para verificar a explicabilidade das variáveis selecionadas. Por fim, foram realizadas regressões lineares simples entre o índice de estabilidade do leito dos riachos (LRBS) e as variáveis analisadas a fim de verificar a sua influência na estabilidade do leito dos riachos. Para essas análises, os dados foram transformados em $\log(x+1)$ e os percentuais em arcoseno da raiz quadrada (Zar, 1999).

3 RESULTADOS

3.1 Tipos de uso e ocupação do solo (escala regional)

A partir da caracterização de uso do solo nas micro-bacias de contribuição dos riachos amostrados constatou-se que a bacia da UHE Nova Ponte apresenta grande influencia antrópica, sendo 50% de sua área ocupada por atividades agrícolas e 14% por pastagens. No entanto 36% da área é coberta por vegetação natural, dos quais 24% correspondem a mata e 12% campo. Dentre todos, apenas as porcentagens de agricultura e campo apresentaram diferenças significativas (Teste t - $p < 0,05$) entre os anos avaliados (Figura 6).

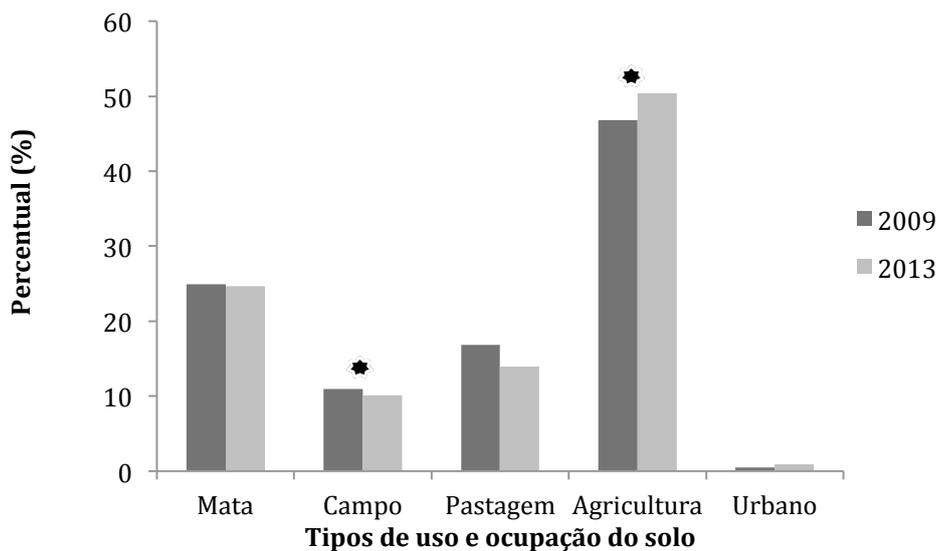


Figura 6: Tipos de uso e ocupação do solo nas micro-bacias de contribuição dos riachos do reservatório de Nova Ponte, bacia do Rio Araguari, MG, comparando os anos 2009 e 2013 (* $p < 0,05$ - Teste t).

3.2 Geomorfologia (escala regional)

A litologia predominante na bacia hidrográfica da UHE Nova Ponte é o xisto, que corresponde a 50% da área da bacia (Figura 7) sendo latossolo o tipo de solo dominante, correspondendo a 83% da área (Figura 8).

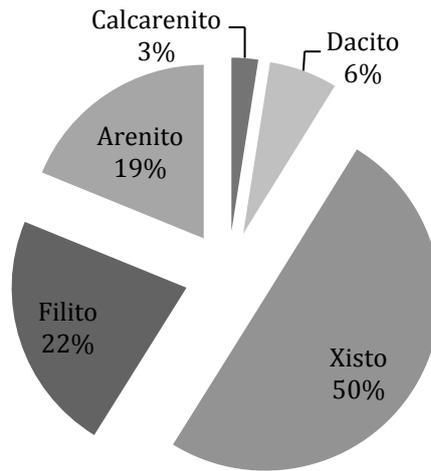


Figura 7: Composição de tipos geológicos na bacia hidrográfica do reservatório de Nova Ponte, bacia do Rio Araguari, MG.

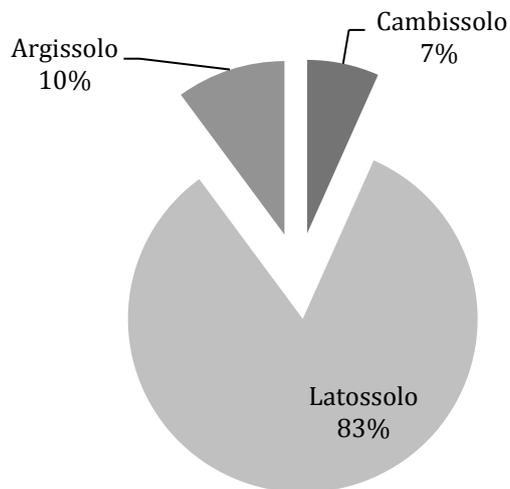


Figura 8: Composição de tipos pedológicos da bacia hidrográfica do reservatório de Nova Ponte, bacia do Rio Araguari, MG.

3.3 Métricas de Habitat Físico (escala local)

Inicialmente foram avaliadas 25 métricas de habitat físico (tabela 2), após a análise de correlação de Pearson foram selecionadas 14 métricas. A variabilidade média das métricas selecionadas é descrita de modo comparativo entre 2009 e 2013 (Tabela 3).

Tabela 2: Relação das métricas de habitat físico avaliadas.

Grupo	Métrica
Características Hidrogeomorfológicas	Largura/ Profundidade
	Sinuosidade trecho
	Raio hidraulico do bankfull
	Quedas + Cascatas + Rápidos + Corredeiras
	Qualquer tipo de piscina
	Declividade
	Vazão
Parâmetros Sedimentológicos	Velocidade
	Silte e Argila
	Areias
	Cascalho fino
	Cascalhos grossos
	Presença de sedimento fino no talvegue
	Diâmetro crítico
	Percentil diâmetro do substrato
Média tamanho substrato	
Integridade da Vegetação Ripária	Estabilidade do leito (LRBS)
	Dossel canal
	Dossel margens
	Subbosque lenhoso
	Subbosque ervas
	Rasteira lenhosa
Impactos Antrópicos	Rasteira ervas
	Solo exposto
Impactos Antrópicos	Impacto Antrópico

Tabela 3: Média dos valores das métricas de habitat físico em 2009 e 2013 na bacia hidrográfica do reservatório de Nova Ponte, bacia do Rio Araguari, MG.

Métricas	2009	2013	p < 0,05 (Teste t)
	Média+-Desvpad	Média+-Desvpad	
Estabilidade do leito	-1,67 +- 0,86	0,08 +- 0,57	*
Dossel no canal	4,92 +- 1,09	5,24 +- 0,70	*
Dossel nas margens	5,14 +- 1,06	5,39 +- 0,63	*
Vegetação rasteira	2,5 +- 0,40	2,29 +- 0,60	
Subbosque	2,18 +- 0,42	2,48 +- 0,57	*
Largura / Profundidade	0,85 +- 0,21	0,79 +- 0,14	
Declividade	0,64 +- 0,17	0,64 +- 0,17	
Impactos antrópicos	0,30 +-0,18	0,29 +- 0,19	
Siltes e argilas	1,92 +- 1,51	2,3 +- 1,76	
Areias	3,01 +-1,31	2,54 +- 1,20	
Cascalhos finos	2,39 +- 1,14	2,37 +- 1,09	
Cascalhos grossos	1,83 +-1,34	1,41 +-1,23	
Seixos	0,77 +-0,75	0,74 +-0,58	
Velocidade	0,07+- 0,05	0,28 +- 0,28	

3.4 Caracterização de condições ecológicas na bacia hidrográfica do reservatório de Nova Ponte

De acordo com as características ambientais da bacia hidrográfica do reservatório de Nova Ponte e das ações antrópicas existentes foi possível construir os mapas de fragilidade ambiental para os dois anos avaliados (Figura 11), com foco no serviço ecossistêmico de controle de erosão e sedimentação.

Os sítios amostrais classificados como em alta fragilidade representaram 17,5% em 2009 e 5% em 2013. Os sítios amostrais classificados como em fragilidade média representam 52,5% em 2009 e 60% em 2013, respectivamente. Por fim, os sítios classificados como baixa fragilidade representaram 30% em 2009 e 35% em 2013.

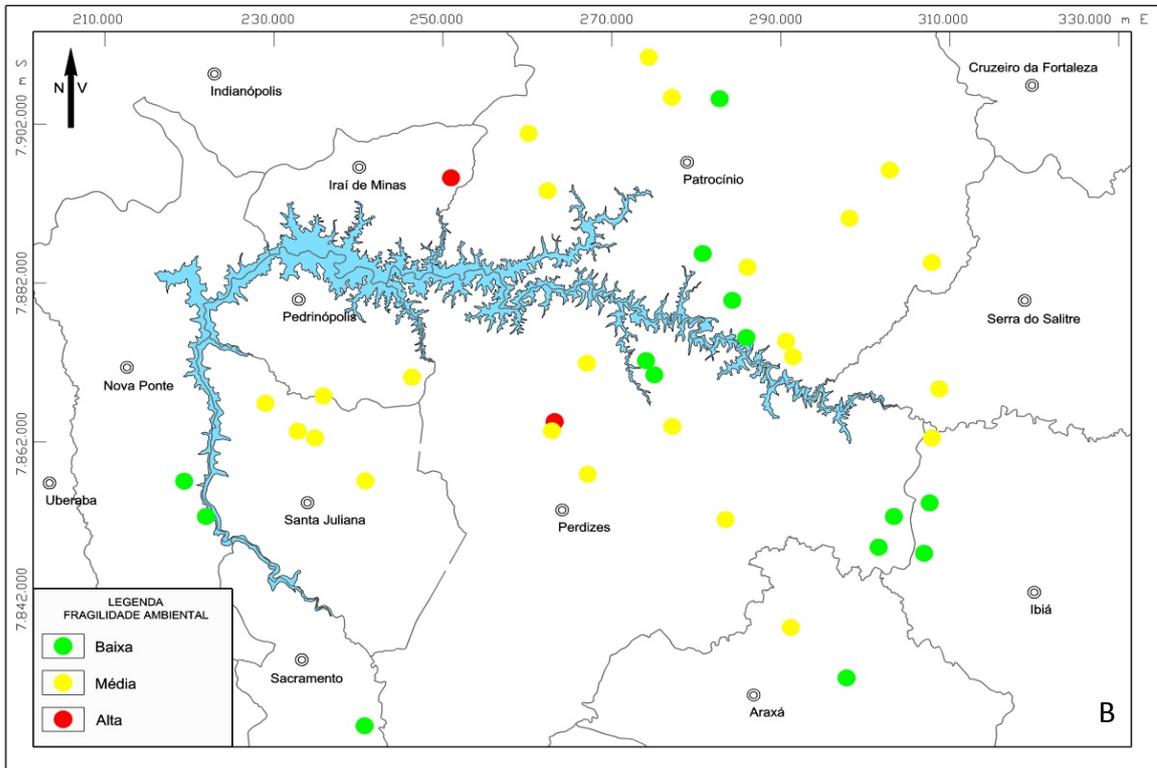
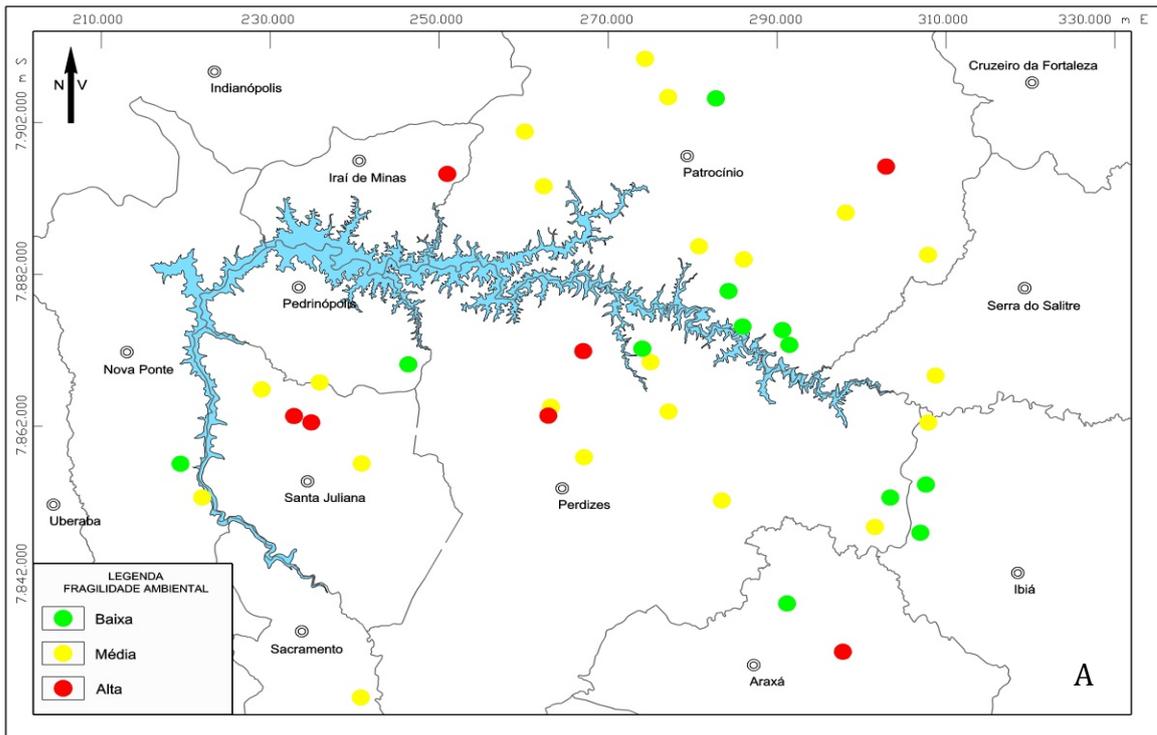


Figura 11: Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do reservatório de Nova Ponte, bacia do Rio Araguari, MG, sob a perspectiva do serviço ecossistêmico de controle de erosão e sedimentação em 2009 (A) 2013 (B).

3.5 Análises Estatísticas

A Análise de Componentes Principais mostrou que as variáveis selecionadas (eixo 1 e 2) explicam 81% da variabilidade dos dados em 2009 e 90% em 2013 (Figuras 9 e 10). As variáveis do eixo 1 que mais contribuem para a dispersão dos dados foram as métricas de habitat físico (em 2009, sedimento fino e LRBS; em 2013, dossel no canal e dossel na margem). Já no eixo 2 a variável foi a mesma para os dois anos, sendo esta uma variável de tipo de uso do solo (Agricultura).

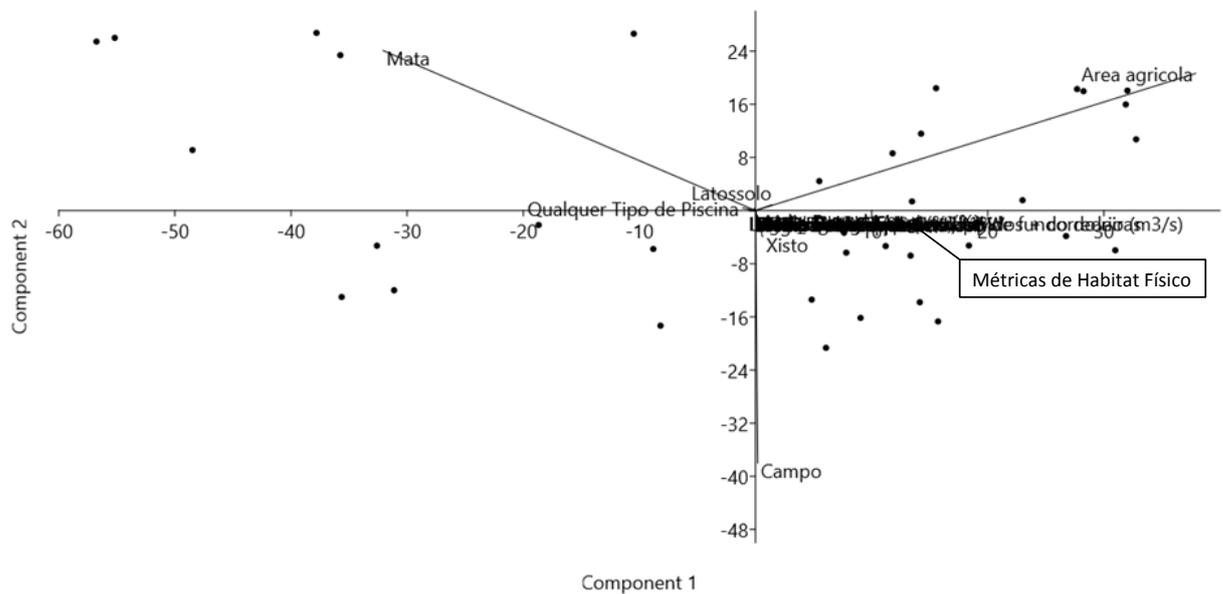


Figura 09: PCA com os agrupamentos das métricas de habitat físico, tipos de uso de solo e geomorfologia nos 40 pontos amostrais da bacia hidrográfica do reservatório Nova Ponte, bacia do Rio Araguari, MG em 2009.

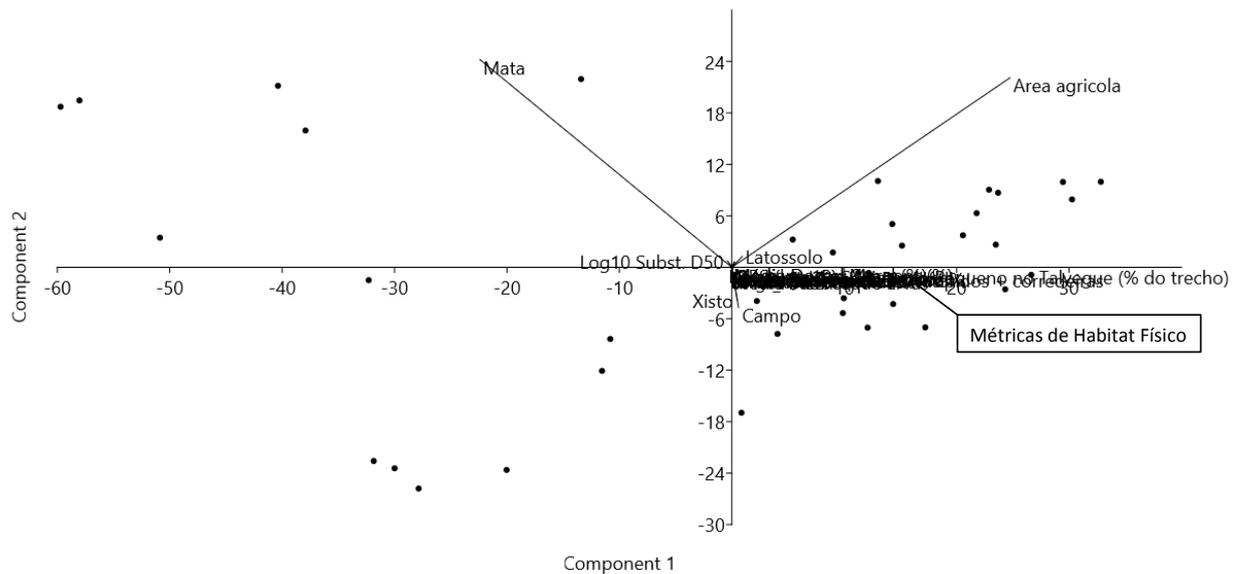


Figura 10: PCA com os agrupamentos das métricas de habitat físico, tipos de uso de solo e geomorfologia nos 40 pontos amostrais da bacia hidrográfica do reservatório Nova Ponte, bacia do Rio Araguari, MG em 2013.

Através do modelo de regressão simples, de todos os conjuntos de variáveis avaliadas, observou-se que apenas a variável “mata” (tipos de uso do solo) foi significativa quando relacionada com a estabilidade do leito ($p < 0,05$), comparando os anos de 2009 e 2013. Sendo esta relação positiva nos dois anos avaliados (em 2009, $R^2 = 0,42$; $\beta = 0,30$; $p < 0,05$ e em 2013, $R^2 = 0,11$; $\beta = 0,40$; $p < 0,05$). A influência da chuva na estabilidade do leito dos riachos foi descartada uma vez que a vazão não foi significativa quando relacionada a estabilidade do leito através das análises de regressão simples em nenhum dos anos avaliados.

4 DISCUSSÃO

A caracterização da bacia hidrográfica do reservatório Nova Ponte realizada em dois momentos (2009 e 2013) permitiu avaliar dois cenários distintos quanto à disponibilidade hídrica, além da influência do uso e ocupação do solo, geomorfologia e métricas de habitat físico na prestação do serviço ecossistêmico de controle de erosão e sedimentação. No decorrer do período amostrado houve um aumento da vegetação ripária (compreendida pelo dossel e subbosque), que apesar de não ter representado um aumento da porcentagem de mata na bacia hidrográfica como um todo, foi representativo para os habitats fluviais em escala local, uma vez que ao que tudo indica foi o principal fator relacionado a redução dos processos erosivos nas margens dos riachos.

A erosão apresenta causas multifatoriais que atuam em diferentes escalas espaciais (Frota, 2012). Em uma escala regional, a existência de solos susceptíveis aos processos de erosão hídrica, altos índices pluviométricos, somados à ocupação humana desordenada exercem influência no aporte de sedimentos para os cursos d'água (Ditt et al., 2010). A bacia hidrográfica do reservatório de Nova Ponte tem como geologia dominante o xisto (rocha metamórfica susceptível à erosão), sendo predominantemente composta por latossolo vermelho que por vez, favorece o desenvolvimento de vegetação e, conseqüentemente, maior estabilidade das margens e evita carreamento de sedimentos nos canais fluviais (Santos *et al.*, 2014). Este é um tipo de solo profundo (normalmente superior a 2 metros), com estrutura granular reduzida, apresentando teores de siltes inferior a 20% e argilas variando entre 15% e 80%, o que conferem alta permeabilidade à água e baixa susceptibilidade à formação de processos erosivos (Reatto *et al.*, 2004).

A região de estudo apresenta considerável influência antrópica, sendo que metade da área é ocupada por atividades agrícolas. Uma das características do latossolo, quando mal manejado (p.ex. retirada de cobertura vegetal nativa e substituição por agricultura ou pasto), é a tendência a formação de crostas superficiais, que se formam devido à flocculação das argilas que passam a comportar-se funcionalmente como siltes e areias finas (Curi, 2008). A degradação da superfície do solo pelas crostas ocorre pelo adensamento e conseqüente obstrução e redução dos poros, que por sua vez, provocam aumento da resistência hidráulica. Essas conseqüências causam a redução da infiltração e da condutividade da água (p. ex. Brandão *et al.*, 2006; Bedaiwy, 2008; Ries & Hirt, 2008) e, conseqüentemente, favorecem a erosão e degradação ambiental.

Apesar de apresentar condições geomorfológicas favoráveis, a bacia hidrográfica do reservatório Nova Ponte está submetida a grande pressão antrópica, que por sua vez pode alterar as características naturais da região, tornando-a susceptível a degradação ambiental, assim como demonstrado no trabalho de Ditt et al., 2010. Ao analisar comparativamente os anos de 2009 e 2013 observa-se uma aumento da zona riparia (compreendida pela dossel e subbosque), diminuição da porcentagem de cascalhos no leito dos riachos e melhora do índice LRBS. De uma forma geral a velocidade média dos riachos amostrados é baixa, o que dificulta o transporte de partículas maiores de sedimentos por longas distâncias, logo estas estão associadas a fontes locais (Brito *et al.*, 2009) tais como erosão das margens. A diminuição da porcentagem de cascalho e estabilização do índice LRBS, indicam menor erosibilidade das margens dos riachos, que pode ter sido ocasionada pelo aumento da vegetação ripária. Tal como sugere os trabalhos de Castro *et al* (2013) e Frota & Nappo (2012), que demonstram a importância da zona riparia para conservação ambiental, seja pela retenção do solo ou seja pela redução do impacto da água no solo.

Os mapas de caracterização das condições ecológicas evidenciam o estado de conservação da bacia do reservatório de Nova Ponte no período de 4 anos. Esta representação gráfica indica os locais que devem ser foco de atenção do ponto de vista de recuperação ambiental, visando a manutenção do serviço ecossistêmico de controle de sedimentação. Apesar de alguns pontos terem apresentado uma diminuição em seu estado de conservação, de uma forma geral, pode-se observar que houve melhora da conservação da bacia neste período. Tal fato pode ser explicado pelo aumento percentual do dossel e subbosque da zona ripária dos sítios amostrados, além da diminuição dos impactos antrópicos na bacia. Por outro lado, a diminuição do estado de conservação ocorreu de forma pontual, em apenas alguns dos sítios e deveu-se basicamente à uma redução da vegetação de subosque e rasteira, ocasionando maior exposição do solo nas margens dos riachos. Apesar do Código Florestal Brasileiro (Lei n 12.651/12) prever a conservação de uma faixa mínima de vegetação ao longo das margens dos cursos d'água (Áreas de Preservação Permanente - APPs), os resultados deste estudo demonstram que isso não tem ocorrido na totalidade da bacia do reservatório de Nova Ponte.

Em uma escala regional, há de se considerar a influência da vegetação no microclima local. Alguns estudos (p. ex. Gash *et al.*, 1996) demonstram o importante papel das formações florestais como fator regulador do clima, ao manter um alto fluxo de vapor

d'água para a atmosfera, via evapotranspiração. Para Correia *et al.* (2007), a contribuição arbórea na ciclagem regional de água (quantidade de água evaporada da superfície terrestre que retorna na forma de chuva) representa considerável porção do balanço de água em uma bacia hidrográfica. Assim, mudanças nos percentuais de cobertura vegetal nativa decorrentes de desflorestamentos que levem à diminuição de evapotranspiração, potencialmente poderão modificar o balanço de água, com potenciais consequências na região e seu entorno. Portanto, mesmo em cenários de seca, microbacias com zonas ripárias preservadas, tal como observado na região de estudo, poderão contribuir para a melhoria do microclima local através da evapotranspiração, além de aumentar a recarga dos aquíferos, através da absorção de água pelas raízes das plantas. Nesse sentido, a conservação dos riachos a montante de reservatórios, assim como da vegetação ripária, são medidas fundamentais para garantir a qualidade e perenidade dos cursos d'água (Hepp & Gonçalves-Jr, 2015), e a manutenção do volume de barramentos hidrelétricos, garantindo a geração de energia para sociedade.

Em tempos de escassez hídrica a vulnerabilidade do setor elétrico pode ser amenizada através da conservação da zona ripária dos riachos a montante de reservatórios hidrelétricos (Tognetti, 2002). Nesta perspectiva os programas de pagamentos por serviços ambientais podem ser uma boa estratégia para conservação. Rosenberg, R., (2012) sugere que as hidrelétricas poderiam pagar aos proprietários rurais a montante de seus empreendimentos para conservarem as microbacias através da conservação da cobertura vegetal e/ou adoção de práticas sustentáveis de manejo e conservação do solo. Desse modo haveria redução de processos erosivos e de assoreamento, aumentando assim a vida útil dos reservatórios, além de reduzir os custos de manutenção. Neste sentido poderiam ser estabelecidos acordos autônomos entre agentes privados onde os compradores e os vendedores voluntariamente realizariam acordos visando à conservação da natureza, assim como o valor dos serviços ecossistêmicos prestados pela conservação da zona ripária (Van Noordwijk *et al.*, 2007). Adicionalmente haveria envolvimento do Estado, por meio de mecanismos de pagamentos públicos, de modo que o Estado financiaria programas de pagamento por meio da receita de tributos (Wunder, 2005). A base legal de pagamento por serviços ambientais é prevista pelo Código Florestal Brasileiro (Lei no. 12.651/2012) e deve, portanto, ser colocada em prática em bacias de empreendimentos hidrelétricos.

5 CONCLUSÃO

A susceptibilidade (ou tendência) a formação de processos erosivos é resultante de interações complexas entre fatores geomorfológicos, tipos de usos e ocupação do solo e métricas de habitat físico. Os primeiros exercem influência de forma regional, enquanto a vegetação ripária, em escala local é o fator que mais interfere na estabilidade de leitos fluviais. Tal como sugere o trabalhos de Lima (2000) e Ditt *et al* (2010), que demonstram que a zona riparia atua como barreira física, regulando os processos de troca entre os ecossistemas terrestres e aquáticos, além de reter as partículas de solo, evitando a erosão, diminuindo assim a probabilidade de assoreamento de reservatórios hidrelétricos.

A perenidade dos recursos hídricos, quando se trata de regime de vazão de cursos d'água, assim como da qualidade de suas águas, decorrem de mecanismos naturais de controle desenvolvidos ao longo de processos evolutivos da paisagem, os quais constituem os serviços ecossistêmicos. Santos (2009) e Correia *et al.* (2007), demonstram a estreita relação existente entre a cobertura florestal e as águas fluviais principalmente no que diz respeito à influência da vegetação no ciclo hidrológico. Como visto, a zona ripária exerce um importante serviço ecossistêmico de controle de erosão e sedimentação, além de contribuir para manutenção do ciclo da água e recarga de aquíferos (Ritchie & Mcarty, 2003). Considerando o atual cenário de seca no sudeste do Brasil, a zona ripária é um elemento estratégico que deve ser conservado, vista a gama de serviços ecossistêmicos por ela oferecida à sociedade humana. Os resultados apresentados corroboram com outros estudos (p. ex. Lima, 2000; Cardoso, 2012; Haregeweyn, 2012; Castro, 2013) no que diz respeito à importância da vegetação ripária para conservação de recursos hídricos sob a perspectiva de serviços ecossistêmicos, além de demonstrar a relação de impacto de atividades antrópicas e dependência de hidrelétricas à manutenção da zona ripária em riachos de cabeceira.

6 PERSPECTIVAS FUTURAS

Sugere-se que sejam feitos estudos adicionais, considerando a largura da zona ripária, assim como a tipologia e composição da vegetação ripária a fim de verificar a relação destes fatores com a estabilidade do leito de riachos de cabeceira. Considerando que o desmatamento causa perdas econômicas relevantes, especialmente para empreendimentos hidrelétricos, estudos de valoração ambiental, quantificando o valor de serviços ecossistêmicos prestado pela zona ripária mostram-se como uma perspectiva estratégica para ampliar e aprofundar a compreensão dos benefícios da conservação de recursos naturais, além de orientar a implementação de políticas públicas em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos no Brasil.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA – Agência Nacional de Águas, 2012. Programa Produtor de Água: manual operativo. Disponível em: http://produtordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/documentos/Manual%20Operativo%20Vers%C3%A3o%202012%20%2001_10_12.pdf - Acesso em 18/04/2014.
- ANA – Agência Nacional de Águas, 2012. Disponível: conjuntura.ana.gov.br/docs/crisehidrica.pdf. Acesso: 18/05/2015.
- Bedaiwy, M. N. A. 2008. Mechanical and hydraulic resistance relations in crust-topped soils. *Catena*, Amsterdam, 72: 279-281.
- Brasil em Foco. Disponível em <http://www.brasilemfoco.com.br/arquivos/manchetes-dos-principais-jornais-do-dia-15-de-abril-2> Acesso em 9 de setembro de 2014.
- Brandão, V.S., Silva, D. D., Ruiz, H. A., Pruski, F. F., Schaefer, C. R. G. R., Martinez, M. A., Menezes, S. J.M.C., 2006. Resistência hidráulica da crosta formada em solos submetidos a chuvas simuladas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 30:13-21.
- Brito, Roney Nonato Reis de; ASP, Nils Edvin; BEASLEY, Colin Robert and SANTOS, Helane Súzia Silva dos., 2009. Características sedimentares fluviais associadas ao grau de reservação da mata Ciliar - Rio Urumajó, Nordeste Paraense. *Acta Amazonica*, 39:1.
- Bordas, M.P., Semmelmann, F.R., 2011. Elementos de engenharia de sedimentos. In: Tucci, C.E.M. “Hidrologia: ciência e aplicação”. 2ed. Porto Alegre: Ed.Universidade/UFRGS; ABRH, 1: 915-43.
- Brooks, K.N., Folliott, P.F., Magne, J.A., 2003. *Hydrology and Management of Watersheds*. Iowa: State Press.
- Cardoso, N. F. S., Menezes, S. J., M C., Lima, C. A., 2012. Importância dos Serviços Ambientais prestados pelas formas de Cobertura Vegetal em Bacias Hidrográficas objetivando a proteção e manutenção dos níveis dos reservatórios de Usinas Hidrelétricas. 2º Congresso Brasileiro de Reflorestamento Ambiental.

- Castro, M. N., Castro, R. M., Souza, P.C., 2013. A importância da mata ciliar no contexto da conservação do solo. *Renefara*, v. 4, n. 4, p. 230-241. Disponível em <http://www.fara.edu.br/sipe/index.php/renefara/article/view/172/156>. Acesso em 01 de novembro de 2015.
- Carvalho, N. O., Júnior, N. P. F.; Santos, P. M. C.; Lima, J. E. F. W., 2000. Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios. Brasília: ANEEL.
- CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais, 2014. Disponível em: http://www.cemig.com.br/pt.br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/Usinas_Hidreletricas.aspx - Acesso em: 16/04/2014.
- CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais, 2015. Séries Histórias de Dados Pluviométricos . Gerência de Planejamento Energético
- Callisto, M. et al (Org.), 2014. Condições Ecológicas em bacias hidrográficas de empreendimentos hidrelétricos – Integridade Biótica. Série Peixe Vivo – Transposição de Peixes.
- Callisto, M., Ferreira, W., Moreno, P., Goulart, M.D.C., Petrucio, M., 2002. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG-RJ). *Acta Limnologica Brasiliensia*, 14: 91-98.
- Correia, F. W. S. et al., 2007. Balanço de umidade na Amazônia e sua sensibilidade às mudanças na cobertura vegetal. *Mudanças climáticas*. São Paulo. *Ciência e Cultura*; 59(3): 39-43.
- Costanza, R., d’Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon B., Limburg, K., Naeem, S., O’Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., van den Belt, M., 1997. The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253–60.
- Curi, N. et al. Solos, geologia, relevo e mineração, 2008. In: Scholforo, J. R. S.; Oliveira, A. D.; Carvalho, L. M. T. (Ed). *Zoneamento ecológico-economico do Estado de Minas Gerais: zoneamento e cenários exploratórios*. Lavras: Editora UFLA, p. 73-88.
- Daily, G. C., S. Alexander, P. R. Ehrlich, L. Goulder, J. Lubchenco, P. A. Matson, H.A. Mooney, S. Postel, S. H. Schneider, D. Tilman, & G. M. Woodwell., 1997. *Ecosystem*

services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology* 2:18-25.

De Groot, R.S., Wilson, M.A. & Boumans, R.M.J., 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41: 393–408.

Ditt, E. H.; Mourato, S.; Ghazoul, J.; Kight, J. Forest conversion and provision of ecosystem services in the Brazilian Atlantic Forest. *Land Degradation & Development* , 2010 (21) 591-603.

Fisher, B., Constanza, R., Turner, K., Morlin, P., 2009. Defining and classifying ecosystem services for decision-making. *Ecological Economics*, 68: 643-653.

Fisrwg, 1998. Stream Corridor Restoration: Principles, Processes and Practices. Federal agencies of the US government, n. 0120-A; SuDocs, 57: 653-661.

Frota, P. V., Nappo, M. E., 2012. Processo erosivo e a retirada da vegetação na bacia hidrográfica do Açude Orós – CE. *Revista Geonorte, Edição Especial*, 4(4): 1472-1481.

Gash, J. H. C., Nobre, C. A., 1996. Climatic effects of Amazonian deforestation: some results from ABRACOS, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78(5): 823 - 830.

Geibler, C., Lang, A. C., Oheimb, G., Hardtle, W., Baruffol, M., Scholten, T., 2012. Impact of tree saplings on the kinetic energy of rainfall - The importance of stand density, species identity and tree architecture in subtropical forests in China. *Agricultural and Forest Metereology*, Ed, 156: 31 – 40.

Gómez-Baggethun, E., De Groot, R., Lomas, P. L., Montes, C., 2010. The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes. *Ecological Economics*, 69: 1209-1218.

Hepp, L. U., Gonçalves, J. F. Jr. 2015. A decomposição de detritos em riachos como serviço ecossistêmico de regulação e suporte prestado pela natureza. In: Lucilia Maria Parron; Junior Ruiz Garcia; Edilson Batista de Oliveira; George Gardner Brown; Rachel

- Bardy Prado. (Org.). Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica. 1ed. Brasília: EMBRAPA, p. 226-233.
- Haregeweyn, N., Melesse, B. Tsunekawa, A., Tsubo, M., Mesehesha, D., Balana, B., 2012. Reservoir sedimentation and its mitigating strategies: a case study of Angareb reservoir (NW Ethiopia). *J Soils Sediments*, 12: 291 – 305.
- Kaufmann, P. R., Levine, E. G., Robison, C.S, Peck, D. V., 1999. Quantifying Physical Habitat in Wadeable Streams, U.S. Environmental Protection Agency, Estados Unidos: Washington, D.C.
- Kaufmann, P. R., Faustini, J. M., Larsen, D.P., Shirazi, M.A., 2008. A Roughness-Corrected Index of Relative Bed Stability for Regional Stream Surveys. *Geomorphology*, 99: 150-170.
- Lima, W.P., Zakia, M.J.B., 2000. Hidrologia de Mata Ciliares. In: Rodrigues, D R.R.; Leitão F. H.F. (Ed.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: EDUSP/FAPESP 7: 33-44.
- Lisle, T. E., 1982. Effects of aggradation and degradation on riffle-pool morphology in natural gravel channels, northwestern California. *Water Resources Research*, 18(6): 1643–1651.
- Macedo, D. R., 2013. Influências ambientais em múltiplas escalas espaciais sobre assembleias aquáticas no Cerrado. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo de Vida Silvestre do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais.
- Macedo, D. R., Hughes, R. M., Ferreira, W. R., Firmiano, K. R., Silva, D. R. O., Ligeiro, R., Kaufmann, P. R., Callisto, M., 2015. Development of a benthic macroinvertebrate multimetric index (MMI) for Neotropical Savanna headwater streams. *Ecological Indicators*, 64 (2016): 132-141.
- Macedo, D. R., Pompeu, P. S., Morais, L., Castro, M., Alves, C. B. M., França, J., Sanches, B., Uchôa, J., Callisto, M. Uso e Ocupação do solo, sorteio de sítios amostrais, reconhecimento em campo e realização de amostragens. In: Marcos Callisto; Míriam

- Aparecida de Castro; João de Magalhães Lopes; Carlos Bernardo Mascarenhas Alves. (Org.). Integridade biótica. 1ed. Belo Horizonte: CEMIG, 2014, 1: 45-66.
- Marzin, A., Verdonschot, M., Pont, D., 2013. The relative influence of catchment, riparian corridor, and reach-scale anthropogenic pressures on fish and macroinvertebrate assemblages in French rivers. *Hydrobiologia* 704: 375–388.
- MEA - Millenium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystem and human well-being: Synthesis. Washington D.C. Island Press, p. 155.
- Nasi, R; Wunder, S, Campos, J., 2002. Servicios de los ecosistemas forestales. Podrian ellos pagar para detener la deforestacion? Turrialba. Costa Rica. Catie, p. 33.
- Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS – Situação dos Principais Reservatórios do Brasil. Disponível em: http://www.ons.org.br/tabela_reservatorios/conteudo.asp. Acesso em 25/08/2014.
- Peck, D., Herlihy, A., Hill, B., Hughes, R., Kaufmann, P., Klemm, D., Lazorchak, J., McCormick, F., Peterson, S., Ringold, P., Magee, T., Cappaert, M., 2006. Environmental Monitoring and Assessment Program-Surface Waters Western Pilot Study: field operations manual for wadeable streams. EPA/620/R-06/003. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Periotto, N.A., Tundisi, J.G., 2013. Ecosystem Services of UHE Carlos Botelho (Lobo-Broa): a new approach for management and planning of daams multiple-uses. *Braz. J. Biol*, 73(3): 471-482..
- Pinto, R., Jonge, V. N., Neto, J. M., Domingos, J. C., Patrício, J., 2013. Towards a DPSIR driven integration of ecological value, water uses and ecosystem services for estuarine systems. *Ocean e Coast Management*, 72: 64-79.
- Ries, J. B., Hirt, U., 2008. Permanence of soil surfasse crusts on abandoned farmland in the Central Ebro Basin/Spain. *Catena*, Amsterdam, 72: 282-296.
- Ritchie, J. C., MCarty, G. W., 2003. Cesium and soil in a small agricultural watershed. *Soil & Tillage Research*, 69(1): 45-51.
- Reatto, A., Martins, E. S., Farias, M. F. R., Silva, A. V., Junior, O. A. C., 2004. Mapa

Pedológico Digital SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.000 e uma síntese do texto explicativo. Embrapa. ISSN 1517 – 5111. Disponível em: http://bbeletronica.cpac.embrapa.br/2004/doc/doc_120.pdf. Acesso em: 23 de junho de 2015.

Ross, J. L. S., 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, 1(8): 63-74.

Rosenberg, R., 2012. Mecanismos Voluntários de Pagamento por Serviços Ambientais: Por que não ocorrem no Brasil? Um estudo focado em empresas de geração de hidrelétrica e de abastecimento público de água. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado em Economia da Universidade de Brasília.

Santos, H.A., Cunha, S. F., Silva, I. T. C. E., Martins, M. I., Siqueira, C. H. I. A., Barbosa, A. S. Análises sedimentológicas a partir do emprego de protocolos de avaliação rápida em cursos d água. In: Marcos Callisto; Míriam Aparecida de Castro; João de Magalhães Lopes; Carlos Bernardo Mascarenhas Alves. (Org.). Integridade biótica. 1ed. Belo Horizonte: CEMIG, 2014, 1: 95-123.

Sharma, R. H., Shakya, N. M., 2006. Hydrological changes and its impact in water resources of Bagmati watershed, Nepal. Journal of Hydrology, 11(5): 315-322.

Tognetti, S.S.; Mendoza, G.; Aylward, B; Southgate, D.; Garcia, L. - Guía para el desarrollo de opciones de pago por servicios ambientales (PSA) de las cuencas hidrológicas. Estudio Realizado para El Departamento de Ambiente del Banco Mundial, con apoyo del Bank- Netherlands Watershed Partnership Program (BNWPP), 100p., 2002

Tundisi, J. G., Matsumura-Tundisi, T.M., 2010. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. Biota Neotropica, 10: 67-76.

Turner, R. K., Daily, G. C., 2008. The ecosystem services framework and natural capital conservation. Environmental and Resources Economics, p. 39.

Van Noordwijk, M., Leimona, B., Emerton, L., Tomich, T. P., Velarde, S. J., Kallesoe, M., Sekher, M., Swallow B., 2007. Criteria and indicators for environmental service compensation and reward mechanisms: realistic, voluntary, conditional and pro-poor: CES Scoping Study Issue. Nairobi, Kenya: World Agroforestry Centre, 2: 37-46.

- Vono, V., 2002. Efeitos de duas barragens sobre a estrutura da comunidade de peixes do rio Araguari (bacia do Alto Paraná, MG). Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. In IMartins, I.S., Sanches, B., Kaufmann, P.R., Hughes, R.M., Santos G.B., Mollozzi, J. e Callisto, M. Avaliação de qualidade ambiental em um reservatório hidrelétrico no sudeste brasileiro. 2014.
- Von Sperling, E., 2012. Hydropower in Brazil: Overview of Positive and Negative Environmental Aspects. *Energy Procedia* 181:10–118.
- Zar, J. H., 1996, *Biostatistical Analysis*. ed.3, editora: Prentice Hall, 663p.
- Wunder, S., 2005. Pagos por servicios ambientales: Principios básicos esenciales. Centro Internacional de Investigacions Forestal – CIFOR. Jacarta. Indonésia.