

Influência de projetos de reflorestamento de matas ciliares no controle/mitigação da erosão por ondas em reservatórios

Influence of riparian forest revegetation projects on the control/mitigation of wave erosion in reservoirs

Paola de Oliveira Silva¹ , Mariangela Garcia Praça Leite^{1,2} , Adivane Terezinha Costa² ,
Maria Augusta Gonçalves Fujaco² 

¹Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP, Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal e Recursos Naturais. Morro do Cruzeiro, s/n., CEP 35400-000, Campus Universitário, Ouro Preto, MG, BR (pa.oliveiras@hotmail.com; mgpleite@gmail.com)

²UFOP, Departamento de Geologia, Ouro Preto, MG, BR (adivane@ufop.edu.br; augustabr@gmail.com).

Recebido em 19 de novembro de 2019; aceito em 22 de julho de 2021

Resumo

A erosão por ondas em reservatórios está entre os processos que mais remodelam suas margens e promovem seu assoreamento. A continuidade destes processos causa inúmeros problemas não só ambientais, mas também econômicos. Infelizmente, poucos são os trabalhos e modelos que tratam do assunto e a maioria deles usa um número restrito de parâmetros em suas análises. Uma das variáveis menos utilizada é a presença/tipo de vegetação, provavelmente pela dificuldade em se estimar seu impacto direto. Para se avaliar a influência da existência de matas ciliares em diferentes estágios sucessionais sobre a erosão por ondas em reservatórios, quatro áreas com diferentes usos e idades de reflorestamento tiveram ventos e ondas monitorados durante um ano e meio, incluindo feições erosivas e recuos de margens medidos, além de solos e sedimentos caracterizados. Os dados obtidos apontaram para um processo complexo, com muitas variáveis correlacionadas. Os resultados mostraram que a área com projeto de revegetação mais antigo (29 anos), cuja mata ciliar já se encontra bem estabelecida, apresenta características de solo e erosão semelhantes à área com vegetação nativa preservada, o que ajudou a preservar suas margens da ação erosiva das ondas. Já a área com projeto de revegetação recente (19 anos), ainda sem uma mata ciliar plenamente desenvolvida, se assemelha às áreas de pastagem, apenas com gramíneas, com intensa perda de material das margens para o reservatório. Esforços devem ser feitos no sentido de modificar legislações e ampliar o número de projetos de reflorestamento no intuito de reduzir os problemas causados pela erosão por ondas em reservatórios e, desta forma, melhorar a qualidade de suas águas e aumentar seu tempo de vida útil.

Palavra-chave: Reabilitação; Processos erosivos marginais; Matas ciliares; Corredores de aceleração de ventos.

Abstract

Wave erosion in reservoirs is one of the processes that most reshape banks and promote their siltation. The continuity of these processes causes numerous problems, not only environmental but also economic. Unfortunately, there are few research and models that deal with the subject and most of them use a limited number of parameters in their analyses. One of the least used variables is the presence/type of vegetation, probably due to the difficulty in estimating its direct impact. To assess the influence of the presence of riparian forests in different successional stages on the impact of wave erosion in reservoirs, four areas with different land uses and ages of reforestation had their winds and waves monitored for a year and a half, including erosive features and measured marginal erosions, as well as characterized soils and sediments. The data obtained pointed to a complex process, with many correlated variables. The results showed that the area with the oldest revegetation project (29 years old), whose riparian forest is already well established, presents characteristics of soil and erosion similar to the area with preserved native vegetation, which helped preserving its margins from erosive actions. The area with a recent revegetation project (19 years old), still without a fully developed riparian forest, resembles pasture areas, with only grasses, with intense transport of sediment from the margins into the reservoir. Efforts must be made to modify legislation and increase the number of reforestation projects in order to reduce the problems caused by wave erosion in reservoirs and, thus, improve the quality of its waters and increase its useful life time.

Keywords: Rehabilitation; Bank erosion; Riparian forest; fetch.

INTRODUÇÃO

A realização de estudos e análises de ondas geradas pelo vento em corpos d'água é relativamente nova, sendo as principais pesquisas existentes relacionadas a águas oceânicas (Marques e Guetter, 2011). Apesar disso, as ondas são o principal agente modelador de margens de reservatórios, principalmente nos de grandes dimensões (Furnas Centrais Elétricas S. A., 2004). As ondas promovem desgaste abrasivo e desagregação do solo ou do material rochoso devido ao constante embate nas margens, retirando o material de sua base, promovendo desestabilização, queda do material da porção superior (Müller, 1995; D'Armada, 2012) e o carreamento desse material pelo fluxo oscilatório (O'Sullivan e Reynolds, 2005) com subsequente deposição no interior do reservatório (Chaudhuri, 2017). A ocorrência sistemática desse processo de sedimentação promove uma redução drástica no potencial hídrico do reservatório, com diminuição do seu volume útil, queda na capacidade de armazenamento e redução do fornecimento de água e energia (Costa, 2009).

O transporte de sedimentos e as mudanças morfológicas resultantes da erosão por ondas envolvem a representação de complexos processos físicos, que podem ser simulados com diferentes técnicas de modelagem. A maior parte dos modelos de predição da erosão por ondas foi desenvolvida para aplicação em águas oceânicas, poucos tratam de erosão em lagos e quase nenhum da erosão de margens de reservatórios. No caso da erosão por ondas em praias e encostas oceânicas, os modelos precisam ser capazes de representar dois diferentes tipos de processos (Rajawat et al., 2015; Bracs et al., 2016; Ramakrishnan et al., 2018): os processos episódicos, que são rápidos, mas causam grandes perdas (tempestades, tsunamis), e os lentos, mas contínuos (ondas, correntes). Destes, os primeiros têm pouca ou nenhuma importância para reservatórios (Nicolodi, 2007). Nesses modelos, a geração de ondas é descrita como uma função da velocidade e duração do vento e do tamanho do corredor de aceleração de ventos ou *fetch* (Kazeminezhad et al., 2005; Akpinar e Kaygusuz, 2012). No glossário do *Journal of Integrated Coastal Zone Management* (2017), *fetch* é definido como a superfície d'água onde os ventos atuam sem obstáculos. Devido ao pequeno tamanho dos reservatórios, em comparação aos oceanos, suas ondas são geralmente limitadas pelo *fetch* e não pela duração dos períodos de vento (Kirk et al., 2000). Para Nicolodi (2007), porém, esses modelos só podem ser utilizados em situações com *fetch* inferior a 100 km e ventos uniformes e com velocidades constantes; nos demais casos, devem ser utilizados modelos numéricos. Dentre os modelos numéricos mais adotados estão os chamados Modelos de Previsão Numérica de Ondas (PNO), baseados nos princípios físicos de conservação de energia. Infelizmente, a maioria apresenta deficiências para retratar águas rasas (Akpinar e Kaygusuz, 2012),

à exceção do modelo *Simulating Waves Nearshore* (SWAN — Booij et al., 1999), que foi desenvolvido especialmente para simular ondas em áreas costeiras, lagos e estuários, utilizando dados de vento, batimetria e correntes. No caso de reservatórios, as características hidrológicas, biológicas e geológicas da zona de perturbação do reservatório a tornam ecologicamente frágil (New e Xie, 2008; Yang et al., 2012; Bao et al., 2015; Su et al., 2017). Os modelos utilizados para erosão de praias oceânicas e ressuspensão de sedimento de fundo não são capazes de reproduzir toda a complexidade do processo de erosão por ondas das margens dos reservatórios. Um modelo, para tal, deve reunir tanto parâmetros que caracterizem as margens (geomorfologia, vegetação e características do solo) como o reservatório (flutuação do nível da água, velocidade e periodicidade das ondas, direção e constância dos ventos e batimetria). No caso das características do solo, parâmetros que ajudem a definir sua erodibilidade. Até o momento, esse modelo ainda não foi proposto e/ou testado.

A supressão da cobertura vegetal das áreas de entorno dos reservatórios é ponto crucial na determinação do aumento da fragilidade das margens diante dos processos erosivos derivados do embate das ondas, promovendo como consequência a entrada de material sedimentar e possíveis contaminantes no curso d'água, tendo como sequelas problemas ambientais, sociais e econômicos preocupantes (Holanda et al., 2005; D'Armada et al., 2011). As atividades humanas de uso e ocupação do solo são inquestionavelmente os aspectos mais atuantes na intensificação e aceleração dos processos erosivos (Carneiro, 2007). Alterações no relevo e desgaste dos solos são consequências diretas de atividades como agricultura, pecuária ou ainda ocupação antrópica, que promovem uma redução das estruturas de sustentação e equilíbrio dos solos, expondo-os ainda mais às ações erosivas (Santos, 2007; Holanda et al., 2009; Macêdo, 2009; Silva e Santos, 2009; Menezes, 2010; Solera, 2010; Bonini et al., 2013). Para Rubio (2014), a nova dinâmica erosiva instalada pode, inclusive, ser chamada de tecnogênica.

Como a nova linha de costa, formada com o barramento da água e a construção de hidrelétricas, não está preparada geologicamente e biologicamente para a nova situação, instalam-se processos erosivos, quer seja por erosão laminar ou erosão por ondas (Müller, 1995; D'Armada, 2012). Vários autores ressaltam que com a estabilização do solo, a cobertura vegetal tende a se desenvolver, dando início ao processo de sucessão ecológica, que por sua vez fortalece o solo, melhorando as condições da vertente e restando possíveis movimentações de terra derivadas de processos erosivos (Gray e Sotir, 1996; Schietz e Stern, 1996; Durlo e Sutili, 2005; Gomes, 2005; Schmeier, 2013). A ação estabilizadora do solo promovida pela vegetação, devido ao emaranhado de raízes que evita a perda por erosão, facilita a absorção e movimentação da água e protege dessa forma

as partes mais baixas do terreno, evitando sua desagregação (Skorupa, 2003). Ainda nesse sentido, a massa de raízes favorece a infiltração das águas da chuva, alimentando o lençol freático, reduzindo o escoamento superficial excessivo assim como o carregamento de partículas do solo. Além disso, a vegetação atua também na redução física do potencial erosivo das ondas, que ao passarem pela massa vegetal têm sua energia dissipada, sofrendo uma diminuição de sua altura e intensidade, sendo que ao impactar as margens, seu potencial de provocar desgaste, abrasão e transporte de material torna-se menor (D'Armada, 2012). Nesse contexto, o presente trabalho buscou, com o monitoramento de ventos e ondas e a determinação das características de solos e sedimentos da margem de um reservatório, determinar a importância dos projetos de reflorestamento no controle/mitigação dos processos erosivos provocados pela ação de ondas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A pesquisa foi realizada no reservatório da Hidroelétrica de Volta Grande MG/SP (Figura 1), localizado na bacia hidrográfica do rio Grande, sub-bacia do rio Paraná, ocupando uma

área de aproximadamente 198 km². O reservatório possui volumes total e útil de $2,3 \times 10^7$ e $7,0 \times 10^6$ m³, respectivamente, e perímetro de 80 km (CEMIG, 2005). Trata-se de um reservatório do tipo fio d'água, gerando energia com o próprio fluxo do rio, sem armazenamento. As operações da usina hidrelétrica (UHE) de Volta Grande tiveram início em 1974. Problemas erosivos e a obrigatoriedade legal de preservação das margens do reservatório obrigaram a implementação de um programa de reflorestamento de matas ciliares (Programa Mata Ciliar), com duas fases: a primeira em 1992 (29 anos) e a segunda em 2001/2002 (19 anos). Predomina na região o clima do tipo Aw de Köppen (Peel et al., 2007), megatérmico, com chuvas concentradas no verão (outubro a março) e estação seca no inverno (Rosa et al., 1991; Del Grossi, 1993). A pluviosidade média anual é de cerca de 1,500 mm, umidade relativa do ar de 64% e temperatura média anual de 22°. O reservatório encontra-se sobre solos e rochas da Formação Serra Geral (lavas basálticas toleíticas, de textura afanítica e cor cinza escuro a preta). Predominam os latossolos vermelhos (Rossi, 2017), ricos em óxidos/hidróxidos de ferro e alumínio (Wangen, 2012). Trata-se de solos argilosos a muito argilosos, caracterizados por um horizonte A pouco espesso e composto basicamente por matéria orgânica e um horizonte B latossólico profundo, bem drenado e bastante poroso, sendo a diferenciação dos horizontes pouco nítida (Pavelhão, 2010). Atualmente, o

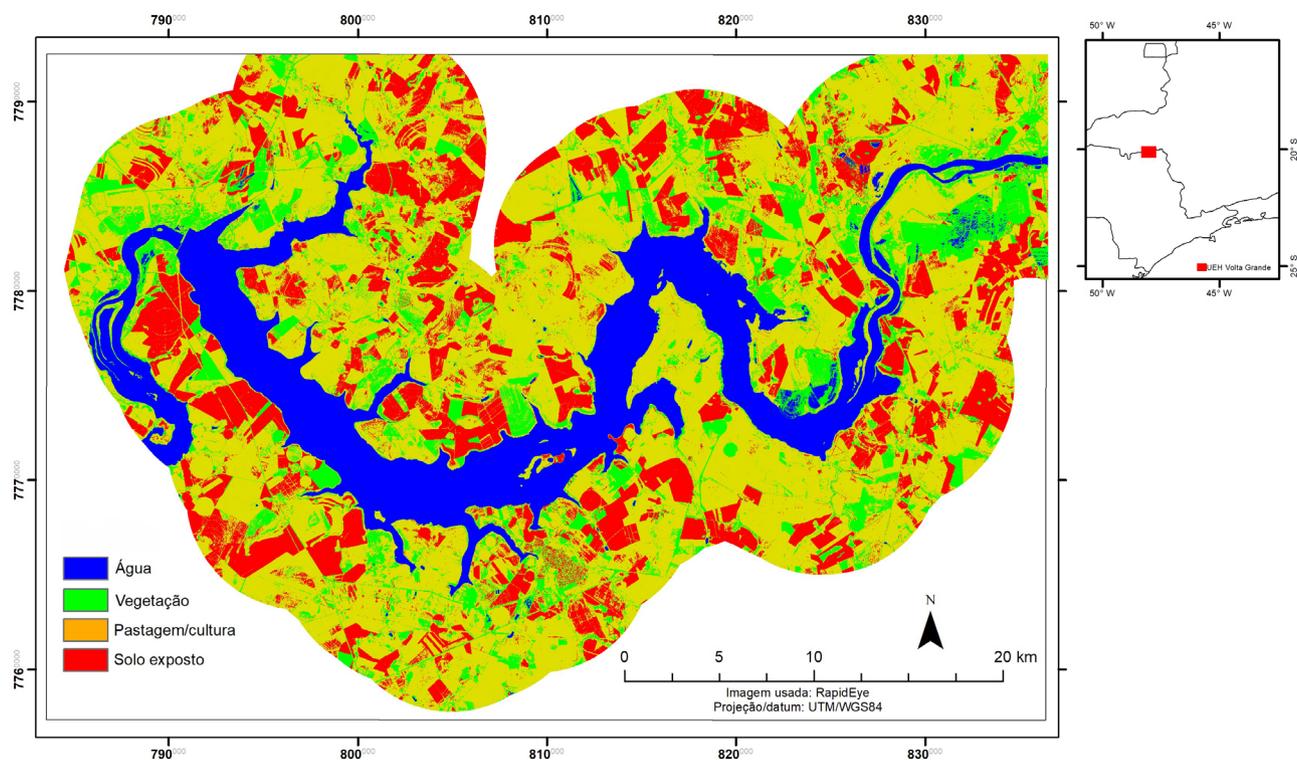


Figura 1. Mapa de uso e ocupação do solo no entorno do reservatório da Hidroelétrica Volta Grande, Brasil.

entorno do reservatório é ocupado por diversas atividades: agricultura (em especial o cultivo de cana), pecuária, indústrias e áreas urbanas (Figura 1).

Monitoramento

No presente estudo, foram caracterizadas e monitoradas quatro áreas com distintos usos e ocupação do solo (Figura 2):

- Área 1: denominada Nativa, foi escolhida como área controle, cuja mata ciliar encontra-se preservada;
- Área 2: denominada Noboro, teve sua vegetação ciliar suprimida, porém passou por um projeto de reflorestamento na primeira fase do Programa Mata Ciliar (plantio com 29 anos), que incluiu o plantio de mudas de espécies arbóreas, muitas frutíferas, em uma faixa de 30 m de largura. A área apresenta vegetação em estado sucessional avançado, com riqueza de espécies e densidade de árvores comparáveis a outras matas ciliares no bioma cerrado (Messias et al., 2016);
- Área 3: denominada Santa Bárbara, também teve sua vegetação ciliar suprimida, passou por reflorestamento na segunda fase do Programa Mata Ciliar (plantio com 19 anos), que também incluiu o plantio de mudas de espécies arbóreas, muitas frutíferas, em uma faixa de 30 m de largura. A área encontra-se em um estado sucessional menos avançado, com menor densidade de árvores (Messias et al., 2016). Além disso, foi realizado o

plantio de capim elefante (*Pennisetum purpureum*) em alguns pontos das margens, com o objetivo específico de ser uma barreira mecânica contra o embate das ondas e reduzir a erosão;

- Área 4: denominada Pasto, é utilizada para pastagem de gado. Nessa área, a cobertura vegetal ciliar foi totalmente suprimida e substituída por gramíneas forrageiras (*Brachiaria decumbens*) e, em alguns locais, o solo encontra-se exposto.

Nas áreas selecionadas, foi delimitada uma extensão de 400 m (dividida em linhas paralelas distando 25 m uma da outra) para que fossem monitorados os ventos e ondas, a topografia e realizadas as coletas de amostras. Os ventos tiveram sua velocidade e direção monitorados enquanto as ondas foram caracterizadas por sua direção, altura e período. Os dados foram coletados mensalmente através de anemômetro, bússola, trena e cronômetro.

Tais medições foram realizadas em três pontos por área, localizados nas linhas correspondentes a 0, 200 e 400 m. O *fetch* correspondente ao vento dominante em cada uma das áreas monitoradas foi determinado com o auxílio do *software* Arcgis 10.4.1, definido como sendo a maior distância entre as margens. A fim de se avaliar a evolução das feições erosivas, resultantes da ação do embate das ondas, foram realizados quatro levantamentos topográficos ao longo de um ano e meio, nas 19 linhas de cada área. Para tal, foi



Figura 2. Localização das áreas de monitoramento na região do reservatório Volta Grande (MG/SP).

utilizado um nível digital (CST/BERGERSAL32X), mira, trena e bússola. O ponto controle de cada linha foi definido a aproximadamente cinco metros da linha d'água do reservatório, onde foi fixada uma estaca. Todos os perfis partiram dessa estaca, e o levantamento foi feito até se alcançarem os dez primeiros metros dentro do reservatório, sendo realizadas leituras a cada metro.

Caracterização dos solos e sedimentos

Para a caracterização pedológica das áreas estudadas, foram coletadas amostras de solo, das margens expostas nas áreas de Santa Bárbara e do Pasto e em trincheiras cavadas para coleta nas áreas Nativa e Noboro. Foram levantados três perfis por área, nas linhas correspondentes a 0, 200 e 400 m, sendo coletadas amostras de 10 em 10 cm, até 50 cm nas áreas Nativa e na Noboro, 80 cm no Pasto e 100 cm em Santa Bárbara. As amostras, com cerca de 500 g, foram secas, desagregadas, homogeneizadas e quarteadas. Um dos quartis obtidos seguiu para análise do tamanho dos grãos por peneiramento via seca, utilizando-se a classificação de Wentworth (1922). De um segundo quartil, retirou-se 50 g de solo para realização do ensaio de estabilidade de agregados, com peneiramento via úmida, utilizando-se uma sequência de peneiras de aberturas de 2,00, 1,00, 0,50 e 0,25 mm. Inicialmente, o conjunto de peneiras e solo foi submerso por quatro minutos, em seguida, realizada a agitação sob água, com 32 oscilações por minuto com amplitude de variação de 4 cm, durante quatro minutos. Finalmente, o volume retido em cada peneira foi coletado, seco e pesado para cálculo do percentual de agregados estáveis em cada peneira, relativos à massa total. Um terceiro quartil foi encaminhado ao laboratório para determinação do teor de matéria orgânica (perda por calcinação) e percentual de óxidos de Fe e Al (determinação via leitura em ICP-OES após digestão parcial). Para avaliação dos sedimentos, foram

coletadas amostras no início e no final do monitoramento, também nas linhas correspondentes a 0, 200 e 400 m, a cerca de um metro da margem. Foi amostrada a camada de movimento de partículas, os 5 cm superficiais, sendo obtidos aproximadamente 500 g por ponto. As amostras passaram pelos mesmos procedimentos realizados com os solos para a análise de tamanho de grãos.

Análise dos dados

Para fins de análises estatísticas, foram determinados de cada perfil topográfico os valores de declividade da encosta, altura da feição erosiva e declividade da praia do reservatório. Já com os resultados das análises de tamanho de grãos, foi determinado o diâmetro médio das amostras de solo e sedimentos. Esses dados, somados aos resultados de velocidade dos ventos, direção, altura e período das ondas e o diâmetro médio ponderado obtido a partir da análise de estabilidade de agregados, foram analisados inicialmente através de uma Análise de Componentes Principais (PCA) e, posteriormente, através de Análises de Variância (ANOVA). Finalmente, foram testados Modelos de Regressão Linear Múltipla. Para se determinar se existiam diferenças significativas desses parâmetros entre as áreas estudadas, foi adotado um intervalo de confiança de 5% ($p < 0,05$) (Ferreira e Patino, 2015).

RESULTADOS

As direções, frequência e velocidade dos ventos monitorados estão apresentados na Figura 3. As velocidades das áreas Nativa e Noboro não diferiram entre si, mas diferiram significativamente da área Santa Bárbara ($p = 0,006$), com valores médios menores; o Pasto não difere significativamente de nenhuma das demais áreas.

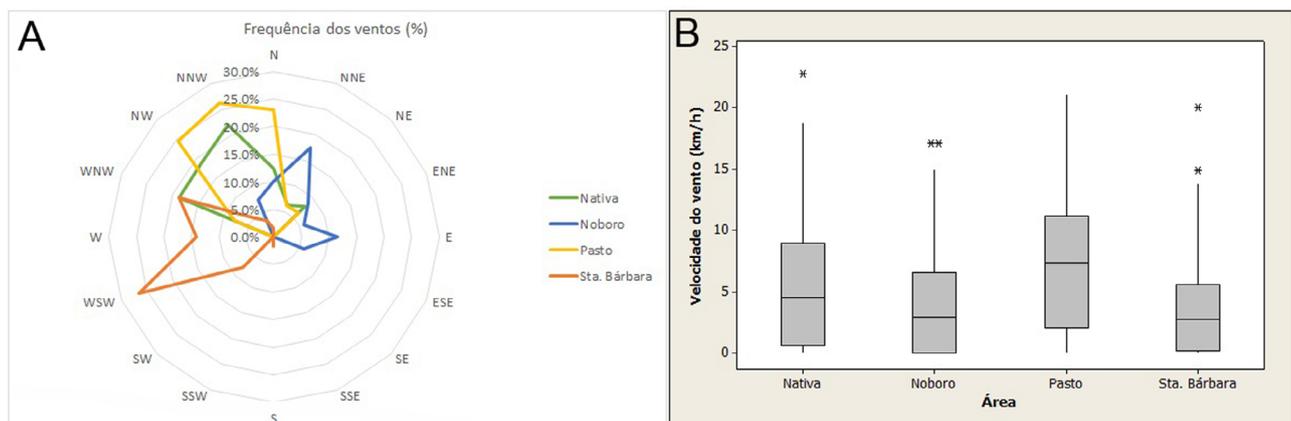


Figura 3. Gráficos com: (A) direção e frequência; (B) velocidade dos ventos nas quatro áreas monitoradas.

A Figura 4 traz os dados de altura e período das ondas monitoradas. Como se pode observar, a Noboro foi a área que apresentou menores alturas de ondas, bem como as menores variações de altura das ondas. As maiores ondas foram monitoradas nas áreas Nativa e Pasto, que também apresentaram as maiores velocidades médias dos ventos. Apenas as ondas da área Santa Bárbara diferiram significativamente em altura das demais ($p = 0,014$). Não houve diferença significativa para o período de frente das ondas entre as áreas.

Solos

A Figura 5 traz um resumo dos resultados da granulometria (diâmetro médio) e estabilidade de grãos das amostras de solos coletadas.

Enquanto nas áreas Nativa e Noboro os solos são mais grosseiros, em Santa Bárbara e no Pasto predominam partículas em frações de areia e silte/argila (Figuras 5 e 6). Os ensaios de estabilidade de agregados mostram uma estabilidade decrescente da área Nativa, seguida pela Noboro, Santa Bárbara e os solos mais instáveis na área Pasto, estes dois últimos com valores muito semelhantes (Figura 5). No caso da área Pasto, a linha 0 m, próxima à área Nativa, sofre grande influência desta. Vale destaque para os valores próximos a 0,5 mm do diâmetro médio ponderado e os baixos valores de estabilidade de agregados obtidos nas amostras mais próximas à base das margens das áreas Santa Bárbara e Pasto (últimos 20 cm), zona de influência das ondas, evidenciando sua maior fragilidade.

Os resultados dos ensaios granulométricos apresentam importante diferenciação na textura dos solos, com as áreas Nativa e Noboro tendo predomínio de seixos e grânulos (cerca de 70 e 45%, respectivamente — Figura 6). A área Nativa chega a apresentar cerca de 37% de seixos, diferindo significativamente das demais áreas, assim como

a área Santa Bárbara ($p = 0,000$; Figura 5); já Noboro e Pasto não diferem significativamente entre si para essa fração granulométrica. No caso do Pasto e de Sta. Bárbara, o perfil mostra um predomínio de partículas da fração areia (Figura 6). A área Sta. Bárbara apresenta os maiores percentuais de silte + argila, quase 30%, diferindo significativamente das demais áreas ($p = 0,000$, Figura 5). O teor de matéria orgânica nas áreas estudadas não variou significativamente. Nativa e Noboro possuem os maiores percentuais, com médias de 11,8 e 12,5%, respectivamente, seguidos de Santa Bárbara (média de 11,2%) e Pasto (média de 10,2%). No que diz respeito aos óxidos, as concentrações de óxidos de ferro variaram de 75,95 mg/Kg (Pasto) a 398,83 mg/Kg (Nativa). Apenas as áreas Nativa (média = 183,43 mg/Kg) e Pasto (média = 144,32 mg/Kg) são significativamente diferentes ($p = 0,048$) entre si para os valores de óxidos de ferro (Figura 7A). As concentrações de óxidos de alumínio variaram de 32,80 mg/Kg (Nativa) a 89,56 mg/Kg (Noboro). A área Santa Bárbara (média = 75,13 mg/Kg) difere significativamente ($p = 0,000$) das áreas Nativa (média = 58,25 mg/Kg) e Pasto (média = 60,86 mg/Kg) para os valores de óxidos de alumínio (Figura 7B).

Topografia e erosões

A Figura 8 apresenta a evolução da topografia em alguns dos perfis monitorados. Pode-se observar a clara manutenção do perfil topográfico das margens nas áreas Nativa (Figura 8A) e Noboro (Figura 8B), cujas feições apresentaram pouca ou nenhuma alteração no período estudado. Em contrapartida, observa-se que as margens das áreas Santa Bárbara (Figuras 8C e 8D) e Pasto (Figuras 8E e 8F) foram intensamente afetadas pela ação das ondas. Em relação à Santa Bárbara, é clara a influência da presença do capim elefante (*Pennisetum purpureum*), que agiu como uma barreira física em parte da margem (Figura 8D), reduzindo o

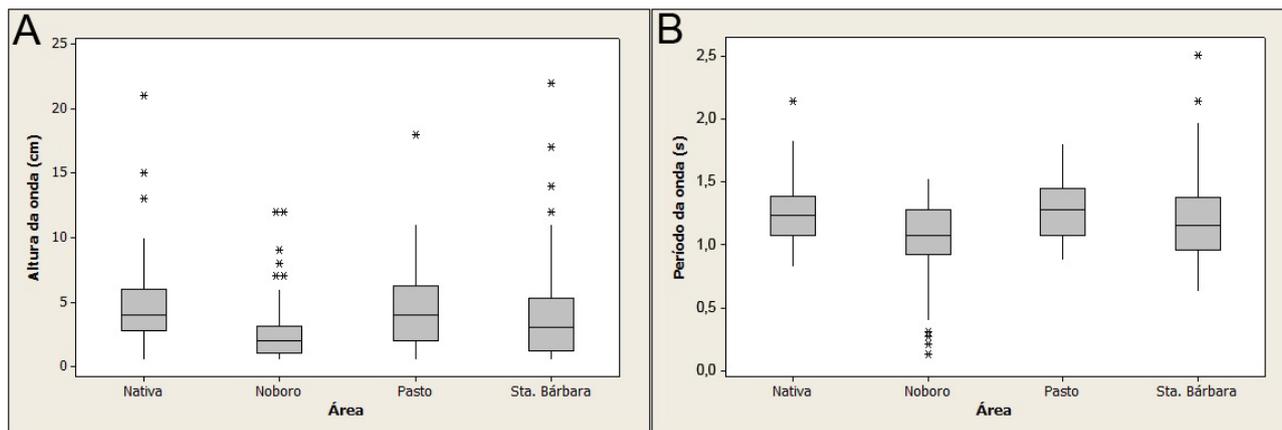


Figura 4. Gráficos com: (A) alturas; (B) período das ondas nas quatro áreas monitoradas.

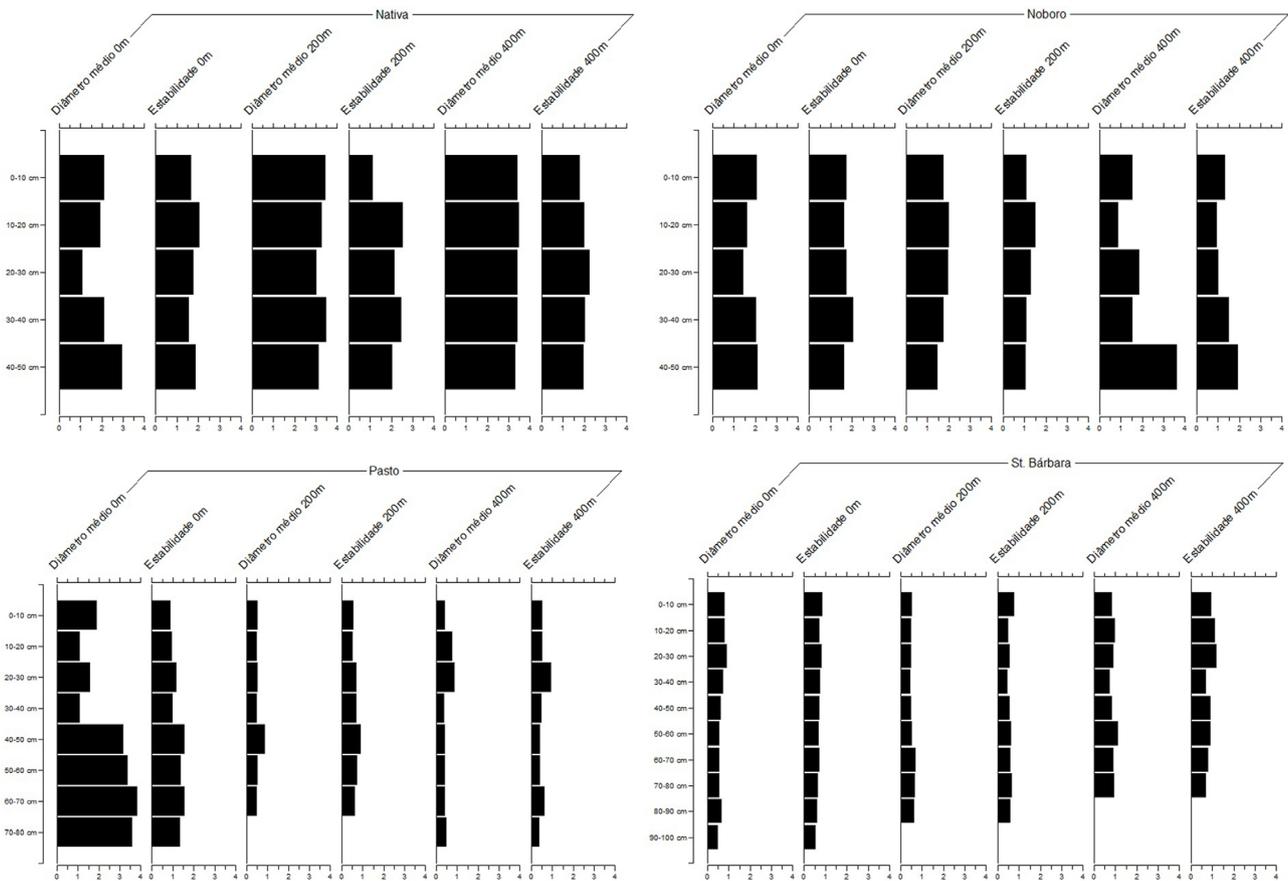


Figura 5. Gráficos com a variação do diâmetro médio e a estabilidade de agregados ao longo dos três perfis em cada área estudada.

efeito do embate direto das ondas (Figura 8C). Nas partes da margem sem a gramínea, ocorreram recuos de até 90 cm durante o estudo (Figuras 8C, 8D e 9A). Já no Pasto, praticamente toda a margem sofreu erosão, com recuos de até 1 m (Figuras 8E e 8F). O processo de solapamento das margens e recuo da linha de costa, com o carregamento de grandes volumes de solo para o interior do reservatório foi identificado em alguns pontos, como destaca a Figura 9B.

Praias e sedimentos

O monitoramento da batimetria do reservatório mostrou praias reflexivas nas áreas Nativa e Noboro com médias de 9,84 e 10,44%, respectivamente, enquanto Pasto e Santa Bárbara, de menor declividade, médias de 6,24 e 5,99%, apresentam praias dissipativas (Figura 10A). Os dados de diâmetro médio dos sedimentos das praias monitoradas refletem, em grande parte, a textura dos solos analisados (Figuras 5 e 10). Fica evidente o maior tamanho das partículas nas áreas Nativa e Noboro, com o Pasto apresentando

a maior variedade textural (reflexo da linha 0m, mais próxima da área Nativa) e Santa Bárbara com as partículas mais finas dentre todas elas (Figura 10B). A área Nativa difere significativamente de todas as áreas ($p = 0,000$). Já Pasto não difere de Noboro nem Santa Bárbara, enquanto a área Noboro difere significativamente da área Santa Bárbara.

DISCUSSÃO

Para Paterlini (2009), a junção dos trabalhos desenvolvidos por Phillips (1957) e Miles (1960) formaram a base para a compreensão acerca da formação de ondas devido à ação dos ventos. Grosso modo, a formação de ondas seria determinada por três fatores: intensidade e duração dos ventos e extensão da área pela qual eles atuam. Analisando-se os dados obtidos através do monitoramento, pôde-se comprovar as já esperadas regressões significativas entre velocidade dos ventos, comprimento do *fetch* e altura das ondas ($p = 0,018$). As ondas com maiores alturas

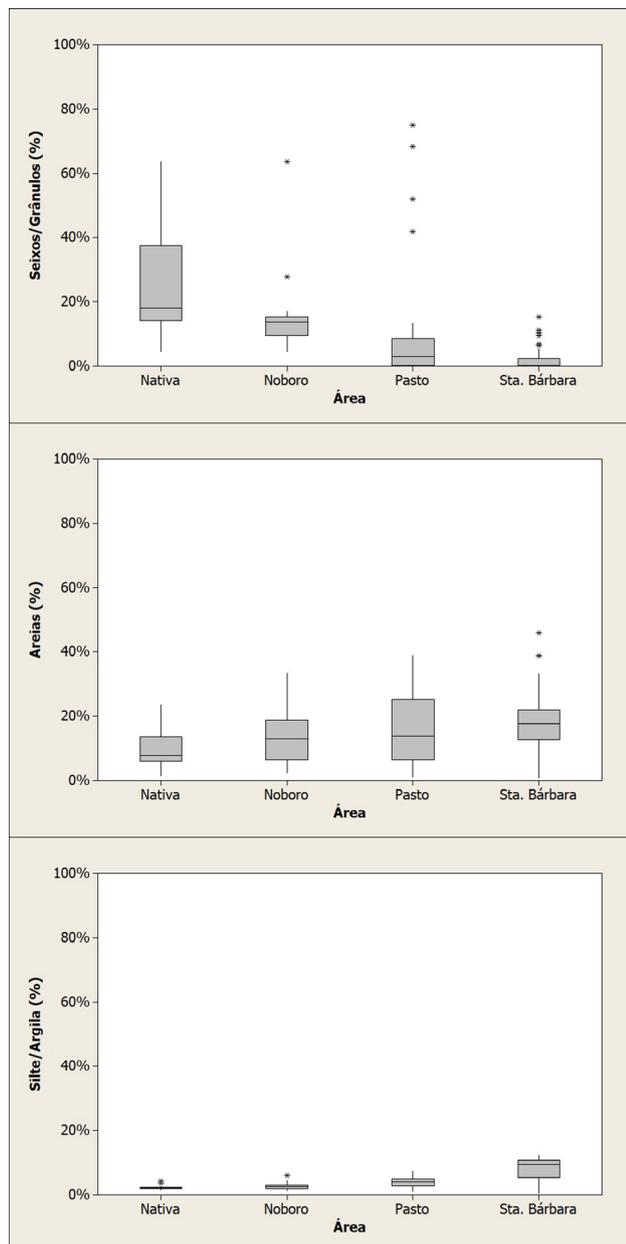


Figura 6. Gráficos com os percentuais das diferentes classes granulométricas dos solos.

foram geradas pelos ventos com maiores velocidades e nos *fetchs* com maiores comprimentos efetivos. Ou seja, quanto maiores forem as velocidades do vento, atuando em maiores pistas, maiores tendem a ser as ondas geradas e consequentemente maiores serão os períodos de frente de onda. Apesar de terem sido encontradas relações há muito comprovadas por trabalhos de erosão por ondas, os dados de ventos, ondas e *fetches* não foram capazes de determinar sozinho a capacidade do sistema de promover erosão, como seria de se esperar com base nos modelos matemáticos de

previsão da erosão por ondas. Os resultados apontam para a grande diferença existente entre os processos erosivos por ação de ondas em mares/oceanos e em lagos/reservatórios. Como visto, nos primeiros, o entendimento dos processos de erosão se baseia principalmente nos fatores responsáveis pela energia de geração de ondas (altura e periodicidade), ou seja: velocidade e duração do vento, tamanho dos *fetches*, batimetria e perfil da praia (Kazeminezhad et al., 2005; Akpinar e Kaygusuz, 2012). Devido ao pequeno tamanho dos reservatórios, a energia de suas ondas é limitada pelo tamanho do *fetch* (Kirk et al., 2000). As análises pedológicas realizadas ajudaram a determinar as características do solo que implicam em sua capacidade de resistir ao embate das ondas. Os resultados dos ensaios granulométricos e estabilidade dos solos apresentam importante diferenciação entre as áreas. Os resultados mostram a grande semelhança entre os solos das áreas Nativa e Noboro, com quase todas as frações granulométricas não apresentando diferenças significativas (Figuras 5 e 6) assim como entre as áreas Pasto e Santa Bárbara (Figuras 5 e 6). O mesmo ocorre em relação à estabilidade de agregados, especialmente no intervalo de embate das ondas nas margens (Figuras 5). O papel da textura de um solo é inquestionável no que tange sua susceptibilidade à erosão. Partículas como seixos e grânulos que possuem grande tamanho, e consequentemente peso, são resistentes ao transporte devido à maior força necessária para vencer sua inércia e colocá-los em movimento (Morgan, 2005). Ou seja, sua resistência ao transporte não tem como ser vencida pela energia das pequenas ondas registradas (Komar, 1976). O mesmo acontece com as argilas, extremamente resistentes à desagregação devido à sua coesão (Evans, 1980) e ao poder de combinarem-se com a matéria orgânica para formar agregados ou torrões no solo, aumentando a estabilidade destes. Já as areias tendem a ser mais facilmente carregadas devido ao seu peso reduzido e à falta de coesão das argilas. Como observado nos resultados dos perfis das áreas (Figura 6), as áreas Nativa e a Noboro apresentam percentuais mais elevados de partículas grosseiras, menor incidência de erosão por ondas e um menor número de degraus erosivos, e estes quando ocorrem são pequenos. Já os resultados químicos não mostraram padrões para as concentrações de matéria orgânica, óxidos de ferro e óxidos de alumínio que pudessem separar claramente as áreas estudadas. O material removido das margens pela ação das ondas tende a se depositar no reservatório, remodelando seu perfil batimétrico, inclusive com a formação de praias (Nordstrom et al., 2011). Apesar do tamanho dos sedimentos na praia (Figura 10B), reflexo do material dos solos, permitir o desenvolvimento de praias reflexivas (Figura 10A), o reduzido tamanho das ondas (Calliari et al., 2003), e consequentemente de sua energia, não é capaz de promover o desgaste das margens. O mesmo não ocorre com as áreas Pasto e Santa Bárbara,

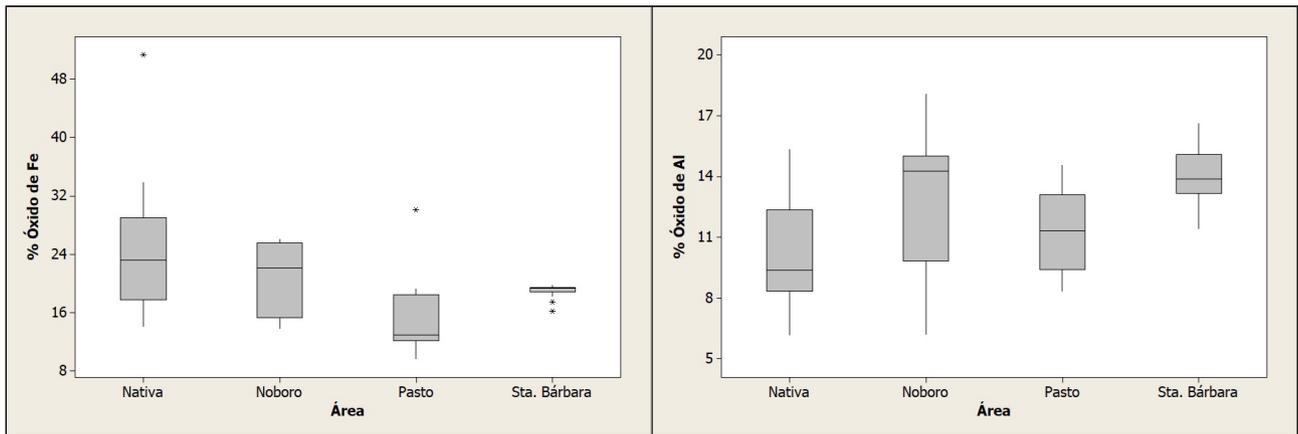


Figura 7. Gráficos com: (A) percentual de óxidos de Ferro; (B) percentual de óxidos de alumínio nos solos analisados.

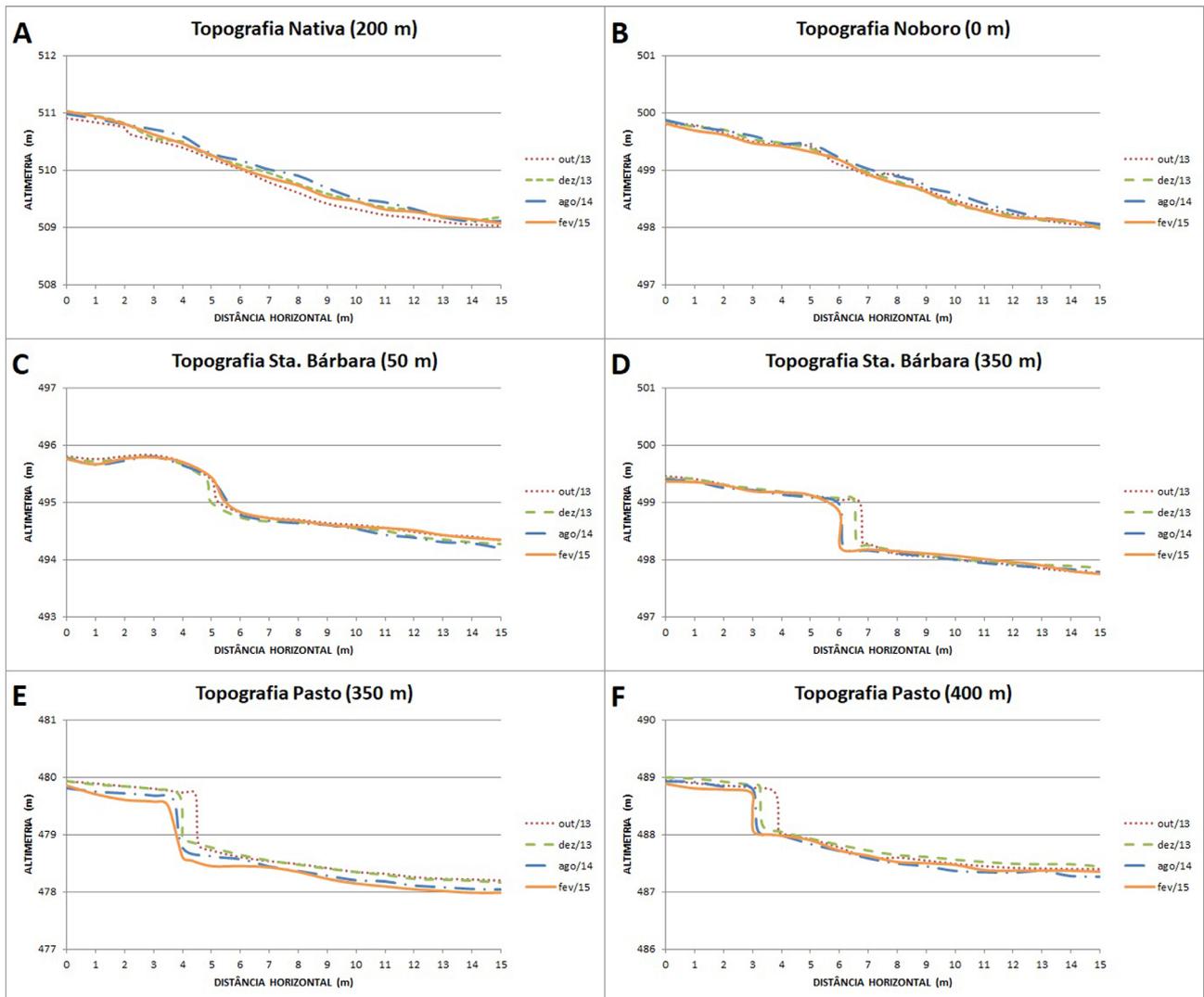


Figura 8. Perfis mostrando a evolução da topografia durante o período monitorado.



Figura 9. Fotos representativas do processo de erosão por ondas no Reservatório de Volta Grande: (A) recuo do degrau na linha topográfica de 350 m da área Santa Bárbara, onde não há presença do *Pennisetum purpureum*; (B) margem da área Pasto com desestruturação da margem, erosão de sua base e posterior queda.

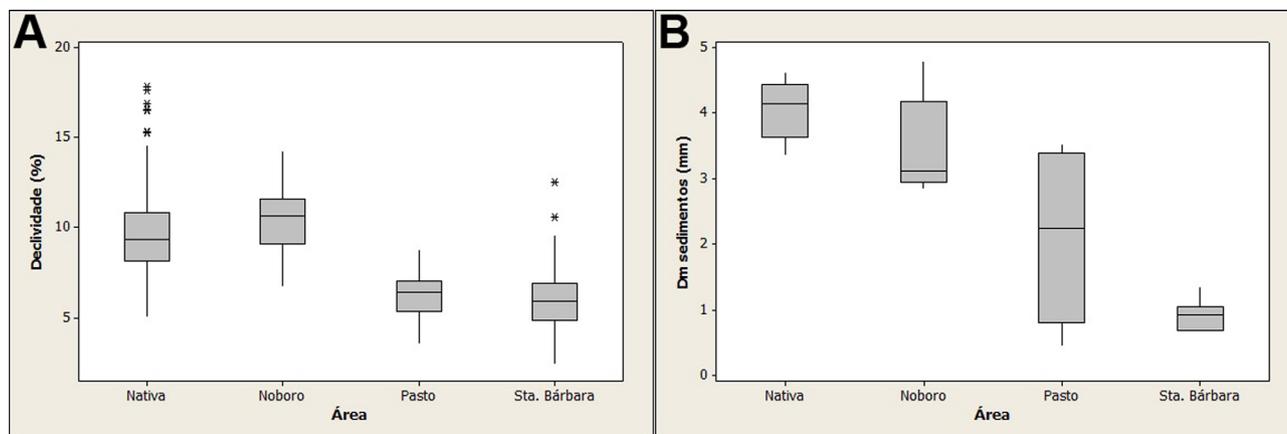


Figura 10. Gráficos com: (A) declividade; (B) diâmetro médio dos sedimentos das praias.

cujos solos siltoarenosos favorecem a erosão. O tamanho das partículas do solo também se reflete na constituição do sedimento das praias (Figuras 6 e 10), estas dissipativas (Calliari et al., 2003). Nesse caso a energia das ondas consegue vencer a inércia das partículas, erodindo a base das margens, que perdem estruturação e colapsam levando o material para o interior do reservatório (Ji et al., 2019; Figura 9B). Apesar das ondas tenderem a quebrar mais próximas às margens das áreas Nativa e Noboro, devido às suas praias reflectivas, este também parece não ser o aspecto determinante no processo erosivo promovido pelas ondas. Essa observação é corroborada pelos resultados nas áreas Pasto e Santa Bárbara, que apresentaram as vertentes mais afetadas pelo embate das ondas, apesar de apresentarem

praias dissipativas. Ou seja, outros fatores influenciam esse processo. A migração de sedimentos predominante nas áreas Nativa e Noboro apenas promove a variação da topografia da praia, tornando-as mais ou menos reflectivas. Porém, não há erosão considerada importante nas suas margens, apesar das características de suas praias, que tendem a permitir a quebra das ondas mais próxima às margens. No caso da área Nativa, a maior energia dos ventos e consequentemente das ondas e sua quebra direta nas vertentes não interfere na erosão marginal, sendo essa a área que apresenta melhor preservação de sua linha de costa, com menos feições erosivas observadas. Na área Noboro, apesar da topografia favorecer a quebra de ondas diretamente nas margens, a menor energia dos ventos e, consequentemente, de suas ondas geram

pouca energia erosiva, o que permite a maior preservação de suas margens. Mesmo em margens com degraus, estas não evoluíram (linha de 400 m). Já a avaliação dos perfis topográficos das áreas do Pasto e de Santa Bárbara mostrou, em geral, um claro recuo na linha de costa, com avanço dos degraus, evidenciando processos erosivos mais intensos de desgaste das margens e carreamento dos sedimentos para o interior do reservatório. No caso da área Pasto, todas as linhas apresentaram recuos das linhas de costa, enquanto algumas, como a de 200 m, apresentaram pequeno recuo do degrau, cerca de 40 ou 50 cm. Já outras linhas, como as de 100, 350 e 400 m, apresentaram recuo considerável de cerca de 1m, evidenciando forte ação erosiva do embate das ondas (Figura 8), sendo que nas duas últimas foram inclusive registrados processos de solapamento das margens (Figura 9B). O menor recuo registrado foi de 2 cm e o maior de 98 cm (média de 33,94 cm).

Controles da erosão por ondas no reservatório da Hidroelétrica Volta Grande

Após a análise dos diferentes parâmetros monitorados e analisados, ficou claro a inexistência de uma resposta simples para se analisar os processos de erosão por onda nas margens do reservatório de Volta Grande. Aparentemente, a resposta está nas análises multivariadas, que reúnem as diferentes variáveis medidas e monitoradas. Assim, na busca de um melhor entendimento do fenômeno, foram rodadas diferentes PCA. A primeira, apenas com dados usados na maioria dos modelos de erosão por onda: inclinação batimétrica (%); velocidade do vento (m/s); altura da onda (cm) e tamanho do *Fetch* (km). O resultado encontra-se nos gráficos da Figura 11. Os dois componentes explicam 71% dos dados. Pode-se observar que apesar da área Pasto ter sido individualizada, as demais não se separam. A individualização do

Pasto é decorrência dos valores mais elevados de velocidade dos ventos. Cabe lembrar que esta é a única área sem mata ciliar, o que deve ter refletido nos dados do anemômetro.

A segunda análise multivariada, apenas com dados que caracterizam os solos das margens: diâmetro médio (mm), estabilidade de agregados (mm), teor de matéria orgânica, MO (%) e soma dos óxidos de Fe e Al (mg/Kg). O resultado encontra-se nos gráficos da Figura 12. Os dois componentes explicam 87% dos dados.

Pode-se observar que no caso dessa segunda PCA, as áreas Pasto e Santa Bárbara se separam claramente das áreas Nativa e Noboro. A separação ocorre principalmente em função do primeiro componente, cujas variáveis com mais peso são as físicas (diâmetro médio e estabilidade de agregados). As áreas Pasto e Santa Bárbara não se separam, sendo o único ponto da área Pasto afastado o correspondente à linha 0 m (notadamente diferente das demais). Já as áreas Nativa e Noboro podem ser individualizadas, mas seus campos ficam muito próximos. Essa separação dos dois conjuntos de áreas é um reflexo direto do desenvolvimento e estruturação propiciados pelos projetos de reflorestamento, com a área Noboro (29 anos de plantio) em estágio sucessional avançado, o que a aproxima da área Nativa, e a área Santa Bárbara (19 anos de plantio), no início de sua sucessão, ainda mais próxima da área Pasto. A terceira análise multivariada utilizou todos os parâmetros: inclinação batimétrica (%); velocidade do vento (m/s); altura da onda (cm), tamanho do *fetch* (km), diâmetro médio (mm), estabilidade de agregados (mm), teor de matéria orgânica (MO %) e soma dos óxidos de Fe e Al (mg/Kg). O resultado encontra-se nos gráficos da Figura 13. Os dois componentes explicam 60% dos dados.

Pode-se observar que no caso dessa terceira PCA, todas as áreas se separam. Mostrando a vantagem de se utilizarem todos as variáveis para o entendimento do processo erosivo.

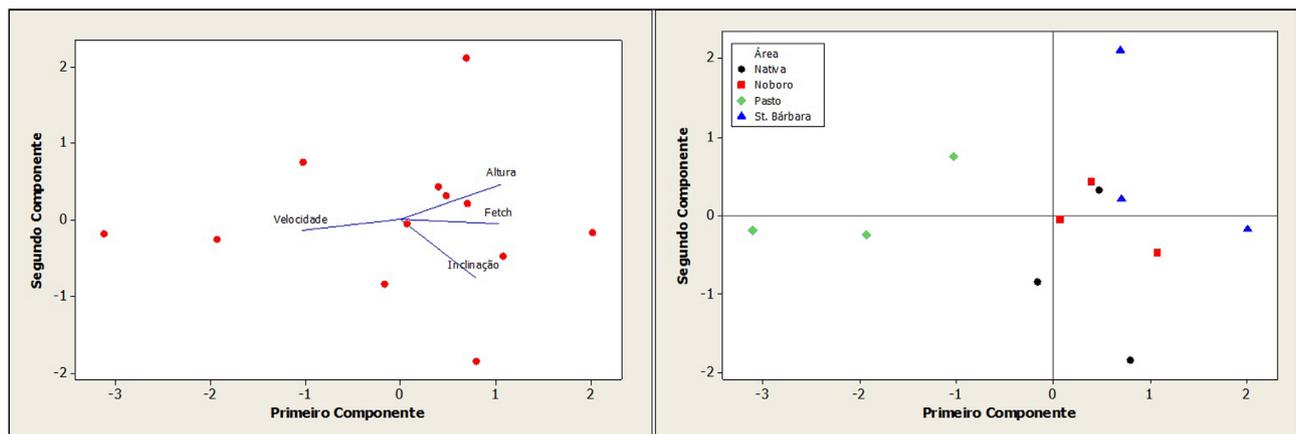


Figura 11. Gráficos Biplot e Score Plot com os dados: inclinação batimétrica (%); velocidade do vento (m/s); altura da onda (cm) e tamanho do *Fetch* (km).

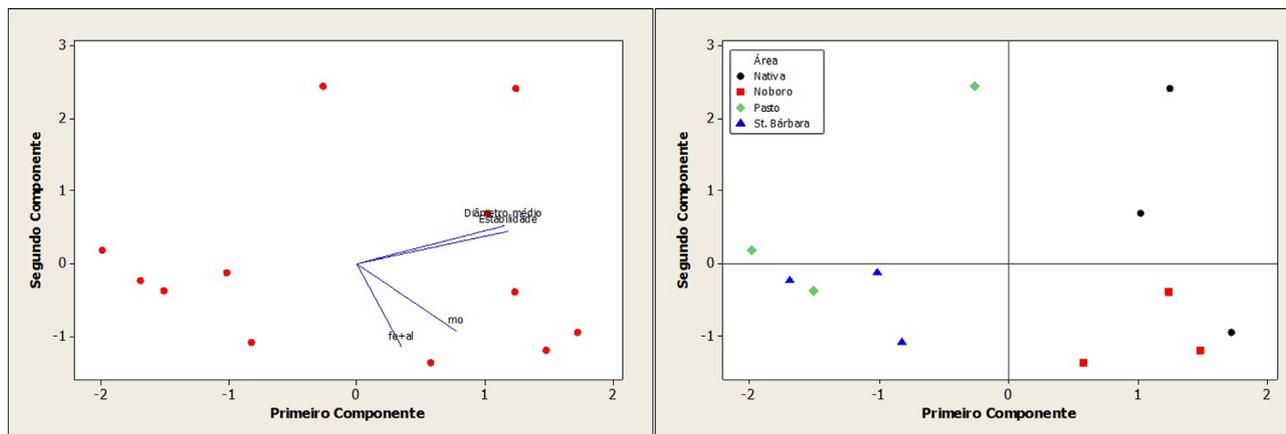


Figura 12. Gráficos Biplot e Score Plot com os dados: diâmetro médio (mm), estabilidade de agregados (mm), teor de matéria orgânica, MO, (%) e soma dos óxidos de Fe e Al (mg/Kg).

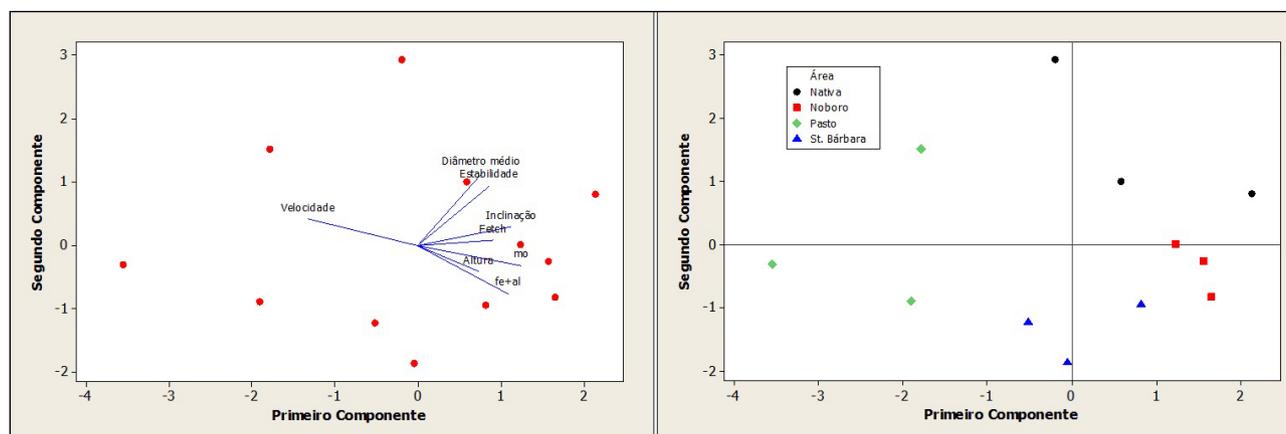


Figura 13. Gráficos Biplot e Score Plot com os dados: diâmetro médio (mm), estabilidade de agregados (mm), teor de matéria orgânica, MO, (%) e soma dos óxidos de Fe e Al (mg/Kg).

Modelos gerais de regressão, considerando-se o recuo das margens como o resultado, retornaram as Equações 1 a 3:

- Dados de vento e onda (Equação 1; $r^2 = 55,15$):

$$\text{recuo} = -0,46 - 5,6 \text{ Inclinação} + 7,7 \text{ Velocidade} + 1,4 \text{ Altura} + 0,0002 \text{ Fetch} \quad (1)$$

- Dados dos solos (Equação 2; $r^2 = 49,63$):

$$\text{recuo} = 24,06 - 8,3 \text{ Diâmetro} - 29,7 \text{ Estabilidade} + 8,7 \text{ MO} + 0,0003 \text{ Óxidos de fe+al} \quad (2)$$

- Todos os dados (Equação 3; $r^2 = 88,77$):

$$\text{recuo} = -71,9 - 3,3 \text{ Diâmetro médio} - 11,0 \text{ Estabilidade} - 5,8 \text{ Inclinação} + 10,2 \text{ Velocidade} + 1,4 \text{ Altura} + 0,0002 \text{ Fetch} + 3,9 \text{ MO} + 0,0002 \text{ Óxidos de fe+al} \quad (3)$$

Os valores r^2 mostram que o modelo com todas as variáveis é o que melhor representa o recuo das margens. Como os parâmetros relacionados aos solos estão diretamente relacionados com o histórico de uso e ocupação das áreas, fica clara a importância dos projetos de reflorestamento das matas ciliares para o controle ou, pelo menos, a mitigação dos processos erosivos por ondas em reservatórios. Diversos autores como Müller (1995) e Skrupa (2003) já afirmaram em seus estudos a importância da vegetação ciliar na contenção da erosão marginal em corpos hídricos, reiterando sua importância na estruturação dos solos e na própria proteção física contra o embate das ondas nas margens. No reservatório Volta Grande, essa atuação da vegetação ficou evidenciada. Áreas com vegetação natural (Nativa) ou mais próxima dessa condição (Noboro) apresentaram solos mais estruturados e melhores condições para o controle da erosão de suas margens. Como afirma D'Armada et al. (2011), vegetações mais bem estabelecidas,

com maior idade de sucessão ecológica e com vegetação típica do local, tendem a atuar de forma mais concreta nesse controle erosivo. Na área Noboro, o replantio com 29 anos de sucessão tem papel notável na preservação da margem. Enquanto na área de Santa Bárbara, com um replantio mais novo (19 anos), a vegetação não tão bem estabelecida teve menor capacidade de proteger suas margens. Exceção às partes com a presença de capim elefante (Figura 8C); para Morais e Maciel (2008), fundos e margens vegetados de águas interiores geram uma dissipação da energia das ondas que se propagam, havendo redução da altura da onda quando esta passa por esses obstáculos naturais, e assim seu poder erosivo fica enfraquecido. Já a área Pasto, cuja cobertura vegetal se dá por pequenas gramineas ou foi totalmente retirada, foi a área que apresentou uma erosão constante de suas margens.

CONCLUSÕES

Apesar do reservatório da Hidroelétrica de Volta Grande já contar com mais de 45 anos, suas margens ainda sofrem com os processos erosivos provocados por ondas. Os resultados mostraram que somente o uso de dados relativos aos regimes de ventos e ondas locais, base da maioria dos modelos utilizados para a previsão de erosão costeira em mares e oceanos, não foram suficientes para se determinar a intensidade dos processos erosivos e maior ou menor fragilidade das margens do reservatório. A incapacidade desse grupo de fatores explicar completamente o processo mostra a necessidade de utilização de uma nova visão, mais holística, dos fatores que determinam o potencial das margens em resistir ou não ao embate das ondas.

Análises de regressão com os dados obtidos mostraram que para um modelo erosivo representar realisticamente a ação das ondas sobre as margens de reservatórios este precisa levar em consideração todos os dados relativos às áreas estudadas, incluindo tanto as variáveis que influem na erodibilidade das margens (textura, mineralogia e geoquímica dos solos, bem como presença e estágio sucessional das matas ciliares) como as relativas à dinâmica de ventos e ondas.

Os dados obtidos durante o presente estudo mostram que a presença de matas ciliares tem papel fundamental na estruturação dos solos e, conseqüentemente, na redução da erosão das margens por ondas. Matas ciliares mais antigas, naturais ou derivadas de projetos de reflorestamento, estabelecidas sobre solos mais bem estruturados, com maiores teores de matéria orgânica e a presença de óxidos de Fe e Al, têm maior capacidade de resistência aos embates de ondas, sem mencionar a própria proteção física promovida pela vegetação. Confirma-se, portanto, a importância dos projetos de reflorestamento de matas ciliares de reservatórios de hidroelétricas, capazes de contribuir não só para a

manutenção da qualidade de suas águas, como também para reduzir seu assoreamento.

AGRADECIMENTOS

As autoras gostariam de agradecer à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais) e à CEMIG (Companhia Elétrica de Minas Gerais) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- Akpınar, A., Kaygusuz, K. (2012). RETRACTED: Regional sustainable water and energy development projects: A case of Southeastern Anatolia Project (GAP) in Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1146-1156. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.015>
- Bao, Y. H., Tang, Q., He, X. B., Hu, Y. H., Zhang, X. B. (2015). Soil erosion in the riparian zone of the Three Gorges Reservoir, China. *Hydrology Research*, 46(2), 212-221. <https://doi.org/10.2166/nh.2013.291>
- Bonini, I., Daltro, R. F., Ribeiro, R. Q. (2013). A influência da supressão vegetal na dinâmica de processos erosivos: Um estudo comparativo em Campo Verde, Mato Grosso. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, 9(16), 2122-2135. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3518>. Acesso em: 22 jul. 2021.
- Booij, N., Ris, R. C., Holthuijsen, L. H. (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, 104(C4), 7649-7666. <https://doi.org/10.1029/98JC02622>
- Bracs, M. A., Turner, I. L., Splinter, K. D., Short, A. D., Mortlock, T. R. (2016). Synchronised patterns of erosion and deposition observed at two beaches. *Marine Geology*, 380, 196-204. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2016.04.016>
- Calliari, L. J., Muehe, D., Hoefel, F. G., Toldo Jr., E. (2003). Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, 51, 63-78. <https://doi.org/10.1590/S1413-77392003000100007>
- Carneiro, G. T. (2007). *Susceptibilidade à erosão laminar na área do reservatório da usina hidrelétrica de Cana Brava, Minaçu, Goiás: impactos ambientais e saúde*. Dissertação (Mestrado). Goiânia: Ciências da Saúde, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 74 p. Disponível em: <http://tede2.pucgoias.edu.br:8080/handle/tede/3076>. Acesso em: 22 jul. 2021.

- Chaudhuri, D. (2017). Empirical approaches in prediction of reservoir sediment distribution: an experience of 57 reservoirs in the USA and India. *International Journal of Sediment Research*, 32(2), 260-276. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2017.04.001>
- Companhia Elétrica de Minas Gerais (CEMIG). (2005). *Relatório controle ambiental/plano de controle ambiental*. Belo Horizonte: Companhia Elétrica de Minas Gerais.
- Costa, I. G. D. D. (2009). *Análise do assoreamento no reservatório de Três Irmãos – SP. utilizando dados topobatimétricos, hidrológicos e técnicas de geoprocessamento*. Dissertação (Mestrado). São Carlos: Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 155p.
- D'Armada, J. C. R. (2012). *Como as ondas geradas pelo vento e as características sa vegetação ciliar influenciam erosões em margens de reservatórios: uhe porto colômbia, um estudo de caso*. Dissertação (Mestrado). Itajubá: Pós-Graduação em Engenharia de Energia – Universidade Federal de Itajubá. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/991>. Acesso em: 22 jul. 2021.
- D'Armada, J. C. R., Assireu A. T., Viana A. N. C., Rodrigues A. A. (2011). Erosões em margens de reservatórios – influências das ondas geradas pela ação do vento e da vegetação de proteção ciliar. *XXVIII Seminário Nacional de Grandes Barragens*. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens.
- Del Grossi, S. R. A. (1993). Dinâmica climática atual de Uberlândia e suas Implicações geomorfológicas. *Sociedade e Natureza*, 5(9-10), 115-120. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/61005/31604>. Acesso em: 22 jul. 2021.
- Durlo, M. A., Sutili, F. J. (2005). *Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos de água*. Porto Alegre: EST Edições, 189 p.
- Evans, R. (1980). Mechanics of water erosion and their spatial and temporal controls: an empirical viewpoint. In: M. J. Kirkby, R. P. C. Morgan (eds.). *Soil erosion*, p. 109-128. Chichester: Wiley.
- Ferreira, J. C., Patino, C. M. (2015). O que realmente significa o valor p. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 41(5), 485-485. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/SWk5XsCsXTW7GBZq8n7mVMJ/?lang=pt>. Acesso em: 2 ago. 2021. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-37132015000000215>
- Furnas Centrais Elétricas S.A. (2004). *Usina hidrelétrica de Porto Colômbia: diagnóstico ambiental*. Arquivo Técnico. Rio de Janeiro: Furnas Centrais Elétricas S.A.
- Gomes, L. G. N. (2005). *A bioengenharia como ferramenta para restauração ambiental das margens do rio São Francisco*. Dissertação (Mestrado). São Cristóvão: Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – UFSE.
- Gray, D. H., Sotir, R. B. (1996). *Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control*. Nova York: Wiley. Disponível em: <https://www.wiley.com/en-us/Biotechnical+and+Soil+Bioengineering+Slope+Stabilization%3A+A+Practical+Guide+for+Erosion+Control-p-9780471049784>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- Holanda, F. S. R., Bandeira, A. A., Rocha, I. P., Araújo Filho, R. N., Ribeiro, L. F., Ennes, M. A. (2009). Controle da erosão em margens de cursos d'água: das soluções empíricas à técnica da bioengenharia de solos. *RA'EGA*, 17, 93-101. <https://doi.org/10.5380/raega.v17i0.12404>
- Holanda, F. S. R., Santos, L. G. C., Santos, C. M. S., Casado, A. P. B., Pedrotti, A. (2005). Riparian Fragments Affected by Bank Erosion in the Lower São Francisco River, Northeastern Brazil. *Revista Árvore*, 29(2), 148-152. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000200016>
- Ji, F., Liu, C., Shi, Y., Feng, W., Wang, D. (2019). Characteristics and parameters of bank collapse in coarse grained material reservoirs based on back analysis and long sequence monitoring. *Geomorphology*, 333(15), 92-104. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.02.018>
- Journal of Integrated Coastal Zone Management. (2017). Glossário. Journal of Integrated Coastal Zone Management. Disponível em: <https://www.aprh.pt/rgci/glossario/fetch.html>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- Kazeminezhad, M. H., Etemad-Shahidi, A., Mousavi, S. J. (2005). Application of fuzzy inference system in the prediction of wave parameters. *Ocean Engineering*, 32(14-15), 1709-1725. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2005.02.001>
- Kirk, R. M., Komar, P. D., Allan, J. C., Stephenson, W. J. (2000). Shoreline erosion on Lake Hawea, New Zealand, caused by high lake levels and storm-wave runoff. *Journal of Coastal Research*, 16(2), 346-356. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4300043>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- Komar, P. D. (1976). *Beach processes and sedimentation*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 429 p.

- Macêdo, I. L. (2009). *Estudo de modelos em ambiente de geoprocessamento para a previsão de erosão e assoreamento de reservatórios: o caso da Bacia do Rio Indaiá – UHE Três Marias, MG*. Tese (Doutorado). Brasília: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília, 340 f.
- Marques, M., Guetter, A. K. (2011). Estimativa com modelo paramétrico dos campos de ondas geradas por ventos severos no reservatório de Itaipu. *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Maceió: ABRH. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81/c62390d4785dc793321350103d8b9ffc_8880c07916eb7e15ff332512f1bebfcf.pdf. Acesso em: 2 ago. 2021.
- Menezes, P. H. B. J. (2010). *Avaliação do efeito das ações antrópicas no processo de escoamento superficial e assoreamento na bacia do Lago Paranoá*. Dissertação (Mestrado). Brasília: Instituto de Geociências – Universidade de Brasília, 133 f.
- Messias, M. C. T. B., Antonini, Y., Kozovits, A. R. (2016). Indicadores de sucessão: como medir o sucesso de um programa de restauração ambiental. In: CEMIG (ed.). *Restauração e Conservação de Matas Ciliares em Reservatórios Hidroelétricos*. Belo Horizonte: CEMIG, parte 2/9, p. 101-114. Disponível em: https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2020/07/livro_484_Restauracaoconservacaodematas.pdf. Acesso em: 2 ago. 2021.
- Miles, J. W. (1960). On the generation of surface waves by turbulent shear flows. *Journal of Fluid Mechanics*, 7(3), 469-478. <https://doi.org/10.1017/S0022112060000220>
- Morais, V. S., Maciel, G. F. (2008). Sistema automatizado de previsão de ondas geradas por ventos em águas interiores e sua alteração devido à influência de vegetação aquática. *III Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande.
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation*. 3^a ed. Hoboken: Blackwell, 304 p.
- Müller, A. C. (1995). *Hidrelétricas, meio ambiente e desenvolvimento*. São Paulo: Makron Books.
- Nicolodi, J. L. (2007). *O padrão de ondas no lago guaíba e sua influência nos processos de sedimentação*. Tese (Doutorado). Porto Alegre: Programa de Pós-graduação em Geociências – UFRGS.
- New, T., Xie, Z. Q. (2008). Impacts of large dams on riparian vegetation: applying global experience to the case of China's three gorges dam. *Biodiversity and Conservation*, 17, 3149-3163. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-008-9416-2>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- Nordstrom, K. F., Jackson, N. L., Korotky, K. H. (2011). Aeolian sediment transport across beach wrack. *Journal of Coastal Research*, 2011(10059), 211-217. <https://doi.org/10.2112/SI59-022.1>
- O'Sullivan, P. E., Reynolds, C. S. (2005). *The Lakes handbook: lake restoration and rehabilitation*. Nova Jersey: Wiley-Blackwell, v. 2, p. 572.
- Paterlini, A. Z. (2009). *Reconstituição da agitação marítima no litoral do espírito santo: caso de junho de 2006*. Monografia de Graduação. Vitória: Departamento de Oceanografia e Ecologia – Universidade Federal do Espírito Santo.
- Pavelhão, T. R. (2010). *Caracterização dos solos na área de assentamento: Banco da Terra (Fazenda Akolá)*. Dissertação (Mestrado). Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 135 p.
- Peel, M. C., Finlayson, B. L., McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, 1633-1644. <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
- Phillips, O. M. (1957). On the generation of waves by turbulent wind. *Journal of Fluid Mechanics*, 2(5), 417-445. <https://doi.org/10.1017/S0022112057000233>
- Rajawat, A. S., Chauhan, H. B., Ratheesh, R., Rode, S., Bhandari, R. J., Mahapatra, M., Mohit Kumar, Yadav, R., Abraham, S. P., Singh, S. S., Keshri, K. N., Ajai. (2015). Assessment of coastal erosion along the Indian coast on 1:25,000 scale using satellite data of 1989-91- and 2004-06-time frames. *Current Science*, 109(2), 347-3543. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/24905862>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- Ramakrishnan, R., Agrawal, R., Remya, P. G., NagaKumar, K. Ch. V., Demudu, G., Rajawat, A. S., Nair, B., Rao, K. N. (2018). Modelling coastal erosion: A case study of Yarada beach near Visakhapatnam, east coast of India. *Ocean & Coastal Management*, 156, 239-248. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.08.013>
- Rosa, R., Lima, S. C., Assunção, W. L. (1991). Abordagem preliminar das condições climáticas de Uberlândia. *Sociedade & Natureza*, 3(5-6), 91-108. <https://doi.org/10.14393/SN-v3-1991-60693>

- Rossi, M. (2017). *Mapa pedológico do estado de São Paulo*. São Paulo: Instituto Florestal, 118 p. v. 1. Disponível em: https://smastr16.blob.core.windows.net/iflorestal/2017/11/Livro_Solos1.pdf. Acesso em: 2 ago. 2021.
- Rubio, M. P. (2014). *Gênese e dinâmica de erosões em margens de reservatório: pesquisa & desenvolvimento no estudo de caso da UHEs Chavantes e Rosana (rio Paranapanema, SP, PR)*. Tese (Doutorado). São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia – USP. <https://doi.org/10.11606/T.8.2015.tde-29062015-155336>
- Santos, J. D. (2007). *Alterações das propriedades físicas e químicas do solo em função de diferentes sistemas agrícolas – São José da Lapa/MG*. Dissertação (Mestrado). Belo Horizonte: Departamento de Geografia – Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/MPBB-79MEX5>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- Schietz, H. M., Stern, R. (1996). *Ground bioengineering techniques: for slope protection and erosion control*. Austrália: Blackwell Science, 146 p.
- Schmeier, N. P. (2013). Bioengenharia de solos: uma alternativa à recuperação de áreas degradadas. *Destques Acadêmicos*, 5(4), 127-130. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/332>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- Silva, R. M., Santos, C. A. G. (2009). Influência da cobertura vegetal nos processos hidrosedimentológicos no semiárido do Nordeste, Brasil. *Perspectiva Geográfica*, 5(1-2), 113-125. Disponível em: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/pgeografica/article/view/1855>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- Skorupa, L. A. (2003). *Áreas de preservação permanente e desenvolvimento sustentável*. Jaguariúna: Embrapa, 4 p. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Skorupa_areasID-GFiPs3p4lp.pdf. Acesso em: 2 ago. 2021.
- Solera, M. L. (2010). *Avaliação de técnicas de bioengenharia de solos para proteção de taludes: estudo de caso para aplicação nas encostas do reservatório da barragem da UHE Eng. Sergio Motta, Rio Paraná, SP/MS*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Tecnologia Ambiental, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 71 f.
- Su, X., Nilsson, C., Pilotto, F., Liu, S., Shi, S., Zeng, B. (2017). Soil erosion and deposition in the new shorelines of the Three Gorges Reservoir. *Science of the Total Environment*, 599-600, 1485-1492. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.001>
- Wangen, D. R. B. (2012). *Caracterização pedológica de saprolitos de gnaisse e de basalto, e implicações para o desenvolvimento de plantas*. Tese (Doutorado). Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 149 p. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/12068>. Acesso em: 2 ago. 2021.
- Wentworth, C. K. A. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Sedimentary Petrology*, 30(5), 377-392. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/30063207>. Acesso em: 2 ago. 2021. <https://doi.org/10.1086/622910>
- Yang, F., Liu, W. W., Wang, J., Liao, L., Wang, Y. (2012). Riparian vegetation's responses to the new hydrological regimes from the three gorges project: clues to revegetation in reservoir water-level-fluctuation zone. *Acta Ecologica Sinica*, 32(2), 89-98. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2012.02.004>