

Caracterização do transporte de troncos submersos pelo rio Madeira na catenária do antigo Log Boom UHE Jirau

O monitoramento subaquático do transporte de troncos submersos na região da catenária do Log Boom – UHE Jirau foi feito utilizando o sistema hidroacústico SeeSub®/Venturo acoplado a uma embarcação. As imagens subaquáticas multifrequenciais (250 a 1.300 kHz) foram exportadas em diversos canais de frequência e interpretadas utilizando uma combinação de softwares específicos para tratamento de imagens. Posteriormente foram feitas as contagens e as avaliações temporais e espaciais do transporte de material lenhoso (troncos) na coluna d'água. A análise dos dados do monitoramento no antigo sistema Log Boom – UHE Jirau no período entre abril/2021 - maio/2022 mostra um aumento expressivo da quantidade (ponderado/h) de troncos submersos transportados pelo rio Madeira nos meses de janeiro e fevereiro de 2022 em relação a dezembro de 2021 e os valores totais estimados foram cerca de 38.000 troncos submersos. Considerando todos os troncos detectados pelo monitoramento, montante e jusante simultaneamente da catenária do antigo sistema Log Boom - UHE Jirau, verifica-se o transporte em função da profundidade com distribuição normal (Gaussiana) com mediana de 6,84 m de profundidade. A coluna d'água no ponto de monitoramento apresenta cerca de 20 m, sendo que 55% dos troncos são transportados na faixa da superfície até 7,5 m de profundidade. Quanto à distribuição em função do comprimento dos troncos, observou-se que se trata de uma distribuição normal (Gaussiana), com mediana = 3,10 m. A distribuição mostra que 54% dos troncos transportados estão no intervalo de 1,25 a 3,75 m de comprimento.

Palavras-chave: Log Boom; Transporte de troncos submersos; Rio Madeira; UHE Jirau.

Characterization of submerged log transportation through the madeira river in the catenary region of the old Log Boom system UHE Jirau

The underwater monitoring of the submerged log transportation in the log boom region of the catenary in UHE Jirau was carried out using the SeeSub®/Venturo hydroacoustic system coupled with a watercraft. Multifrequency underwater images (250 to 1,300 kHz) were exported in several frequency channels and interpreted using a combination of specific software for image processing. Subsequently, counts and temporal/spatial evaluations of the transport of ligneous material (logs) in the water column were made. The analysis of monitoring data in the old Log Boom system - UHE Jirau in the period between April/2021 and May/2022 shows a significant increase in the amount (weight/h) of submerged logs transported by the Madeira River in the months of January and February of 2022 compared to December 2021. The total estimated values were around 38,000 submerged logs. Considering all logs detected by monitoring upstream and downstream simultaneously from the catenary of the old Log Boom system - UHE Jirau, transport is verified as a function of depth with a normal distribution (Gaussian) with a median of 6.84 m deep. The water column at the monitoring point is around 20 m, with 55% of the logs being transported in the surface strip up to 7.5 m deep. As for the distribution according to the length of the logs, it was observed a normal distribution pattern (Gaussian), with a median = 3.10 m. The distribution shows that 54% of the transported logs are in the range of 1.25 to 3.75 m in length.

Keywords: Log Boom; Transportation of submerged logs; Madeira River; UHE Jirau.


Topic: **Engenharia de Recursos Hídricos**

Received: **10/12/2022**

Approved: **12/03/2023**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Bruno Rocha
Universidade Estadual Paulista, Brasil
priorrocha@gmail.com

Claudiney Freitas 
Universidade Estadual Paulista, Brasil
<https://orcid.org/0009-0009-6273-816X>
claudiney.freitas@jirauenergia.com.br

Luiz Fabrício Zara
Universidade de Brasília, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0582418434279005>
fabriciozara@gmail.com

Dieverlândio Aparecido da Silva
Universidade Norte do Paraná, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/1726701923550730>
diever.silva@jirauenergia.com.br

Alexandre Santos
Universidade de Brasília, Brasil
alexandresantoscompunb@gmail.com

Caio Rocha
Universidade Estadual Paulista, Brasil
caiopriorrocha98@gmail.com

Matheus Jardim
Universidade Estadual Paulista, Brasil
angeluzzij@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2237-9290.2023.013.0008

Referencing this:

ROCHA, B.; FREITAS, C.; ZARA, L. F.; SILVA, D. A.; SANTOS, A.; ROCHA, C.; JARDIM, M.. Caracterização do transporte de troncos submersos pelo rio Madeira na catenária do antigo Log Boom UHE Jirau. **Natural Resources**, v.13, n.1, p.96-108, 2023. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2023.013.0008>

INTRODUÇÃO

A hidroeletricidade tem sido historicamente a principal fonte de geração do sistema elétrico brasileiro, representando 65% da capacidade instalada de seu parque gerador, e 80% da geração total em 2017. São múltiplos seus atributos: trata-se de uma fonte de geração renovável, economicamente competitiva, traz benefícios ao sistema como sua flexibilidade operativa, sendo uma característica importante para resposta às flutuações de demanda.

O aproveitamento do potencial hidrelétrico da Amazônia é fundamental para a expansão da oferta de energia elétrica a longo prazo, sendo que os biomas Amazônia e cerrado cobrem 64% do território nacional e neles se localizam 70% do potencial hidrelétrico ainda a aproveitar. No esforço para este aproveitamento, citam-se o desenvolvimento de inventários e projetos em diversas bacias da Amazônia, dentre essas a do rio Xingu, Tapajós e seus afluentes Juruena e Teles Pires, Madeira e seu afluente Aripuanã, Jari, Branco, além de revisões de estudos de inventário hidrelétrico do Araguaia e Tibagi.

Projetos importantes foram viabilizados como as usinas de Belo Monte, no rio Xingu (PA), Santo Antônio e Jirau, no rio Madeira (RO), e Teles Pires, São Manoel, Colíder e Sinop, no rio Teles Pires (MT), que juntamente com importantes troncos de transmissão, vêm contribuindo significativamente para a segurança energética do país e a manutenção de uma matriz elétrica de baixa emissão de carbono (BRASIL, 2018).

DISCUSSÃO TEÓRICA

Rio Madeira

A Bacia Hidrográfica do rio Madeira se estende pela Bolívia, Peru e Brasil ocupando aproximadamente 1,3 milhões de km² representando 23% da Bacia Amazônica e suas dimensões em território nacional são 1.475 km de comprimento e 3.100 km de largura. Corresponde 18% da precipitação pluviométrica da região amazônica e 15% do volume total de água do rio Amazonas (BACELLAR et al., 2010). O Rio Madeira é um corpo hídrico internacional com cerca de 3240 km de extensão dos quais 1425 km são em território nacional. É formado pela confluência dos rios Beni e Mamoré na divisa entre Bolívia e Brasil.

O Rio Mamoré nasce na Cordilheira Real dos Andes bolivianos. Seu curso tem 2.200 km de extensão e a bacia de drenagem cobre área de 525.000 km². Penetra em Rondônia pelo extremo sul, entre as cidades de Costa Marques e Guajará Mirim, onde recebe o rio Guaporé. Daí em diante, define a fronteira entre o Brasil e a Bolívia até a confluência com o Rio Beni nas proximidades de Nova Mamoré. O Rio Beni, outro formador do rio Madeira, nasce no Planalto Andino boliviano, nas proximidades de Cochabamba. Seu curso tem extensão de 1.600 km e a bacia de drenagem 172.000 km². Seu principal tributário é o rio Madre de Dios, cujas nascentes se localizam nos Andes peruanos.

O Rio Madeira, Figura 01, apresenta inicialmente sentido Sul-Norte, fazendo a fronteira entre Brasil e Bolívia. Nesse trecho inicial, atravessa a Depressão da Amazônia Meridional e as rochas antigas do Complexo Jamari (metaígneas calcialcalinas), recebendo, pela margem direita, em território brasileiro, os

Rios São Miguel, Cantario e Pacaás. Posteriormente, ao receber o Rio Abunã, afluente da margem esquerda, sofre uma brusca mudança de direção, seguindo no sentido SO-NE, desenvolvendo-se, por um trecho de 250 km até próximo à cidade de Porto Velho. Em toda essa parte inicial, o Rio Madeira apresenta características predominantes de rios de planalto com acentuada declividade e um curso rico em corredeiras, lajeados e cachoeiras. No trecho entre Abunã e Porto Velho, percorre cerca de 300 km e apresenta um desnível em torno de 39 m, correspondendo a um gradiente médio de 13 cm/km (o Rio Amazonas entre Manaus e a sua foz, tem gradiente médio de 1cm/km). Afluente da margem direita do Rio Amazonas, contribui com cerca de 50% da carga total de material suspenso transportado pelo Rio Amazonas, a qual varia de 248 a 600 milhões de toneladas ao ano (BASTOS et al., 2007) (ROCHA, 2017). Em função da grande carga de materiais suspensos, sedimentos e transportados, é classificado como um veículo de transporte e dispersão de poluentes orgânicos e inorgânicos (ROCHA, 2017).

Em geral, os rios amazônicos são reconhecidos pela grande quantidade transportada de troncos e detritos flutuantes e submersos, principalmente no período de cheia. Um dos grandes responsáveis este transporte desses materiais, principalmente troncos provindos dos vales da Cordilheira dos Andes é o rio Madeira.

Devido à grande declividade no seu curso, no rio Madeira foram construídas duas grandes hidrelétricas. A UHE Jirau está em operação desde setembro de 2013 e localiza-se a 136 km de Porto Velho, em Rondônia. Sua capacidade total instalada é de 3750 MW, distribuída em 50 unidades geradoras do tipo Bulbo, o que lhe proporciona área do reservatório reduzida e, conseqüentemente, menor grau de impacto ambiental. A jusante de Jirau está instalada a UHE Santo Antônio Energia, com capacidade instalada de 3568 MW, situada cerca de 10 km de Porto Velho (RO). Entretanto, este empreendimento enfrenta dificuldades na operação e manejo da grande quantidade de troncos transportada pela superfície e submersa pelo rio nos períodos de cheias. As dificuldades enfrentadas em geral estão associadas à pouca eficiência dos sistemas Log Boom, disponíveis no mercado, utilizados para o direcionamento dos troncos ao longo do reservatório até as estruturas vertentes projetadas para o seu descarregamento para jusante da barragem. Conseqüentemente, o transporte e deposição do material lenhoso no piso da bacia de adução e nas grades de proteção das unidades geradoras das casas de força, causam obstruções nas tomadas d'água causando perda de carga e geração de menos energia.



Figura 01: Mapa ilustrativo da localização do Rio Madeira (RO).

Sistema Log Boom

O Log Boom é a principal estrutura do sistema de transposição de troncos. O conjunto de flutuadores é responsável por interceptar troncos e galhos transportados pelo rio Madeira, direcionando-os para que passem pelo vertedouro de troncos da hidrelétrica Jirau, seguindo o caminho natural do rio.

A incidência de troncos e detritos de madeira na bacia de adução da usina hidrelétrica é uma questão importante a ser tratada, a fim de evitar redução de sua própria eficiência. As barreiras de contenção de madeiras, Log Boom, são estruturas flutuantes agrupadas com o intuito de formar obstáculos a montante do barramento da usina e proteger as unidades geradoras, principalmente contra toras de madeira, Figura 02. Devido suas dimensões enormes e o ambiente turbulento no qual operam, entender sua dinâmica é fundamental para alcançar uma melhor performance de projeto e operação (CASTRO, 2023).



Figura 02: Catenária do antigo *Log Boom* instalado a montante do barramento da Usina Hidrelétrica de Jirau, Rio Madeira (RO).

Imagens multifrequenciais

Nos últimos anos houve um notável desenvolvimento da instrumentação para aquisição de imagens aéreas com elevada definição e baixa luminosidade, bem como imagens subaquáticas multifrequenciais utilizando transdutores robustos com diversos comprimentos de onda em um mesmo instrumento. Em paralelo, também houve o desenvolvimento de softwares voltados para o tratamento de imagens fotográficas e obtidas por sistemas multifrequenciais. Assim, as técnicas passaram a ser utilizadas nas mais diversas situações em que a resolução de imagens, rapidez e segurança passam a ser exigidas. Com o rápido desenvolvimento da tecnologia atual, se observa cada vez mais a geração de imagens de maior campo visual e detalhamento, levando assim à necessidade de investir em softwares cada vez mais complexos para o seu adequado tratamento, possibilitando obter informações relevantes para a criação de modelos estatísticos de previsão baseados na quantidade de pixels associados a uma variável de interesse na imagem analisada.

As imagens, independentemente da forma que são obtidas, apresentam alvos na natureza que tendem a mostrar homogeneidade, isto é, alguns pixels apresentam reflectância muito próximas numa determinada taxa. Esta taxa de repetição de pixels representa as variações espaciais de brilho ou de níveis de cinza (SANCHES et al., 2015). Além disso, a taxa de repetição é conhecida estatisticamente como moda, ou seja, é a variação de brilho com uma mesma intensidade em locais espacialmente diferentes.

Entretanto, essa taxa também se refere à frequência, que no domínio espacial, é a rugosidade das variações tonais. A frequência é empregada muitas vezes como sinônimo de moda e quando é considerada alta, apresenta detalhes na imagem numa escala local e, quando baixa, apresenta pouca variação tonal na extensão de muitos pixels, isto é, na escala de grandes áreas (MENESES et al., 2012).

Dessa forma, a filtragem é uma das técnicas de processamento no domínio espacial “pixel a pixel” que visam realçar ou suavizar localmente parte dessas repetições de padrões de brilho. Os filtros são utilizados tanto para a retirada de pequenos detalhes de uma imagem antes da extração de estruturas maiores, como para fazer a conexão de pequenas discontinuidades, em linhas ou curvas. Para tanto, através da máscara de convolução, é possível calcular um novo valor de intensidade para cada pixel baseado nos valores dos pixels vizinhos, resultando no destaque das bordas e dos limites e na minimização da presença de ruídos. Vale ressaltar que o ruído não é completamente removido do pixel, uma vez que o seu percentual é desconhecido (PIAZZA et al., 2013).

Sistema de monitoramento hidro acústico em tempo real

As ondas eletromagnéticas, uma associação entre cargas elétricas e campo magnético, são caracterizadas por uma ampla faixa de frequência, tais como a luz visível, ondas de rádio, raio X, micro-ondas, as quais varrem uma longa faixa do espectro e que podem ser transmitidas em vários meios, inclusive no vácuo. As ondas eletromagnéticas viajam a uma velocidade próxima de 300.000 km/s no vácuo, sendo que em outros meios, como ar e água, sua velocidade é um pouco inferior. Por sua vez, as ondas mecânicas se propagam apenas em meios materiais, e não no vácuo, como é o caso das ondas sonoras que interagem pelo fenômeno de oscilação e perturbação com o meio no qual estão se propagando. A velocidade de uma onda sonora no ar é de 343 m/s a 20° C, aumentando para 1.450 m/s na água.

A aplicação de ondas sonoras para a investigação de ambientes aquáticos (hidro acústica) é explorada desde o início do século passado, sendo que a primeira patente é datada de 1913. O termo SONAR (*Sounding Navigation and Ranging*) foi cunhado em 1942, lembrando que o princípio da técnica é a interpretação da reflexão de ondas (eco) de diversas frequências, sendo que a velocidade do som depende da temperatura e do tipo de fluido utilizado, sendo dada por: $C = (K/\rho)^{1/2}$ onde: K = compressibilidade do fluido; ρ = densidade do fluido numa dada temperatura.

Nos últimos vinte anos houve um desenvolvimento notável da instrumentação de sistemas hidro acústicos quer seja pela miniaturização e robustez nos transdutores de frequência, quer seja pela combinação de diversas frequências em um mesmo instrumento. Assim, a técnica passou a ser utilizada nas mais diversas situações em que a resolução de imagens, rapidez e segurança são exigidas. O uso de instrumentos multifrequenciais permite ampliar ou reduzir a área (cone ou lâmina) de varredura do som, alterando a resolução da imagem obtida não apenas devido às melhorias que foram introduzidas no gerador dessas ondas, mas também nos softwares que trabalham na filtragem e aprimoramento dos ecos recebidos.

No Brasil, existem, atualmente, mais de mil e setecentas hidrelétricas em atividade. No caso da UHE Jirau Energia, devido às características do rio Madeira, é de suma importância monitorar o transporte de troncos submersos para a gestão de geração de energia.

Tecnologia SEESUB[®]/Venturo

A Venturo Consultoria Ambiental explora a interface entre arte e tecnologia hidroacústica (sistema SeeSub[®]/Venturo) por meio de uma constante ampliação de fronteiras possibilitada pela pesquisa e aplicação de novos conhecimentos. Neste sentido, é inerente à metodologia de trabalho da empresa tornar factível, no presente, a aplicação de tecnologias de imageamento com alta resolução tanto na obtenção quanto na extração e pós-produção das imagens de estruturas permanentemente submersas e da movimentação da ictiofauna em tempo real.

A tecnologia hidro acústica para inspeção subaquática desenvolvida pela Venturo gera imagens de alta definição e campo visual ampliado. Isso possibilita a visualização em uma única imagem da totalidade da área inspecionada, tornando a verificação da integridade das estruturas de concreto do vertedouro, toma d'água, canal de fuga, barragem com face de concreto (dentre outras) um processo seguro e altamente confiável. O SeeSub[®]/Venturo é utilizado para estimar a quantidade de material carregado depositado nessas estruturas e ao longo das bacias de adução, dissipação e canais de fuga, permitindo ótimas estimativas das taxas de sedimentação e assoreamento, monitoramento do transporte de troncos submersos, dentre outras aplicações.

Objetivos

Monitoramento do transporte de troncos submersos na região da catenária do antigo sistema Log Boom – UHE Jirau, no período entre abril/2021 - maio/2022. Obter um diagnóstico da quantidade, profundidade e tamanho de troncos (material lenhoso) transportados pelo rio Madeira nesse período.

METODOLOGIA

O sistema SeeSub[®]/Venturo possui campo de visão ampliado permitindo uma imagem subaquática com grande extensão e o diagnóstico qualitativo e semiquantitativo do transporte de troncos submersos. A versatilidade do sistema SeeSub[®]/Venturo possibilita sua instalação em embarcação para aquisição das imagens subaquáticas multifrequenciais, conforme ilustrado na Figura 03.



Figura 03: Embarcação equipada com o Sistema SeeSub[®]/Venturo acoplado na lateral operando a 50 cm da superfície, utilizado para aquisição de imagens subaquáticas multifrequenciais na catenária do antigo Log Boom da UHE Jirau, Rio Madeira (RO).

Monitoramento do transporte de troncos submersos no eixo da catenária do antigo sistema Log Boom UHE JIRAU

Utilizando o Sistema SeeSub[®]/Venturo acoplado à embarcação, as imagens subaquáticas foram obtidas em diversos transectos transversais, com duas embarcações paralelas, distanciadas 30 m, a montante e jusante da linha catenária do antigo sistema Log Boom (Figura 04 a-b), sendo que em cada embarcação foi acoplado um Sistema SeeSub[®]/Venturo para aquisição das imagens subaquáticas multifrequenciais.

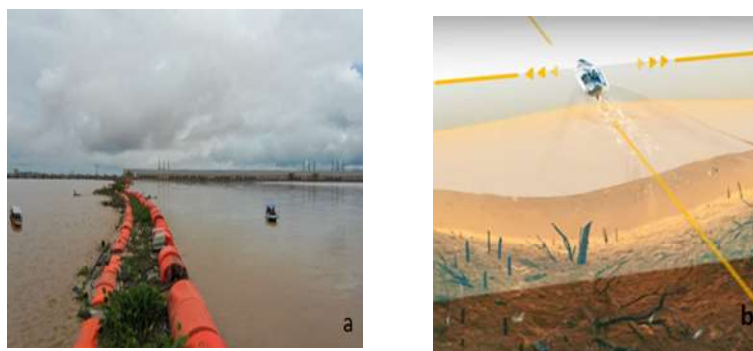


Figura 04: Embarcações equipadas com o Sistema SeeSub[®]/Venturo, sincronizadas a montante e a jusante da catenária do antigo Log Boom – UHE Jirau no Rio Madeira (a) e representação gráfica da visada do Sistema SeeSub[®]/Venturo (b).

A atividade foi desenvolvida no período de abril/2021 a maio/2022 com frequência semanal, possibilitando compreender a influência do antigo Log Boom gradeado no transporte submerso de troncos e o comportamento do material lenhoso na região de aproximação da catenária.

A Figura 05 mostra o abrangente campo de visão possibilitado pela aquisição de imagens subaquáticas utilizando o Sistema SeeSub[®]/Venturo em perfil longitudinal ao antigo sistema Log Boom, evidenciando a área molhada, o relevo submerso, os ancoramentos do sistema, a deposição de material e o transporte submerso de troncos.

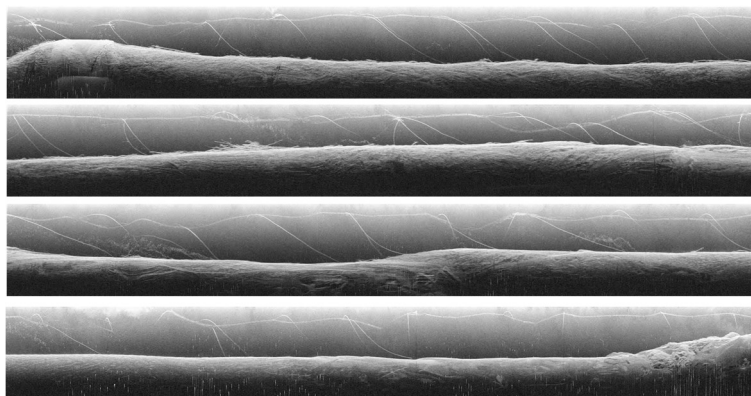


Figura 05: Imagem subaquática transversal à catenária do antigo sistema Log Boom, rio Madeira – UHE Jirau - (Imagem obtida com o Sistema SeeSub[®]/Venturo).

As imagens subaquáticas multifrequenciais (250 a 1.300 KHz) foram exportadas em diversos canais de frequência e interpretadas utilizando uma combinação de softwares específicos para tratamento de imagens, com filtros de ondas sonoras e atenuadores de ruídos. Posteriormente foram feitas as contagens e classificações visuais dos troncos e os dados foram comparados com aqueles obtidos utilizando o

software com compilador Visual Studio Community com linguagem computacional (C-Sharp) e bibliotecas de tratamento de imagens OpenCVSharp para análise quantitativa / classificatória em função do tamanho dos troncos submersos transportados (material lenhoso) na coluna d'água a partir de 1 m de profundidade até a superfície do relevo submerso.

Para calcular a quantidade total de troncos submersos em cada período foi criado um modelo matemático utilizando Árvores de Regressão (BREIMAN et al., 1984), o qual utiliza as amostras existentes para criar um modelo de previsão para todo o domínio da variável, mesmo em locais onde não existam amostras. Para a implementação do modelo, foi utilizado o pacote R (THERNEAU et al., 2023).

RESULTADOS

A análise dos dados do monitoramento do antigo sistema *Log Boom* no período entre abril/2021 a maio/2022 (Figuras 06 e 07) mostra um aumento expressivo da quantidade de troncos submersos transportados (ponderado/h) nos meses de janeiro e fevereiro de 2022 em relação a dezembro de 2021 (Tabela 1).

Tabela 1: Distribuição de troncos submersos transportados (ponderado/h) pelo rio Madeira, região do Log Boom - UHE Jirau, ao longo dos meses de monitoramento (abril/2021 - maio/2022).

Meses	Campanhas	Média	Mediana	Desvio padrão
Abr/21	1-4	3,64	3,75	1,18
Mai/21	5	4,41	4,41	NA
Jun/21	6	2,00	2,00	NA
Out/21	7	7,48	7,48	NA
Dez/21	8-9	3,64	3,64	0,46
Jan/22	10-11	9,93	9,93	5,54
Fev/22	12-13	11,66	11,66	5,64
Mar/22	14-17	7,60	5,00	6,83
Abr/22	18-19	1,60	1,60	1,82
Mai/22	20-23	2,20	2,22	1,01

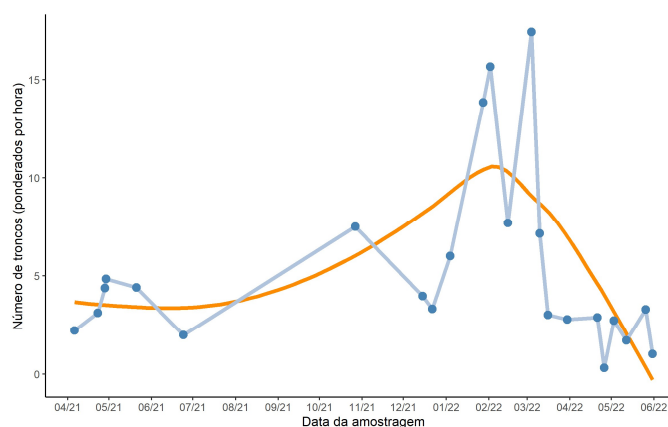


Figura 06: Número de troncos submersos transportados (ponderado/h) no rio Madeira, região do antigo Log Boom - UHE Jirau ao longo do período de monitoramento (abril/2021 - maio/2022).

Para o cálculo da quantidade total de troncos submersos transportados por mês, foi feita uma integração das previsões obtidas pelo modelo matemático utilizando Árvore de Regressão, com período de 30 dias, para todos os meses de monitoramento. A Figura 08 e a Tabela 2 mostram os valores totais estimados de troncos transportados pelo rio Madeira na coluna d'água na região do antigo sistema Log Boom - UHE Jirau, sendo possível estimar o transporte de cerca de 38.000 troncos submersos.

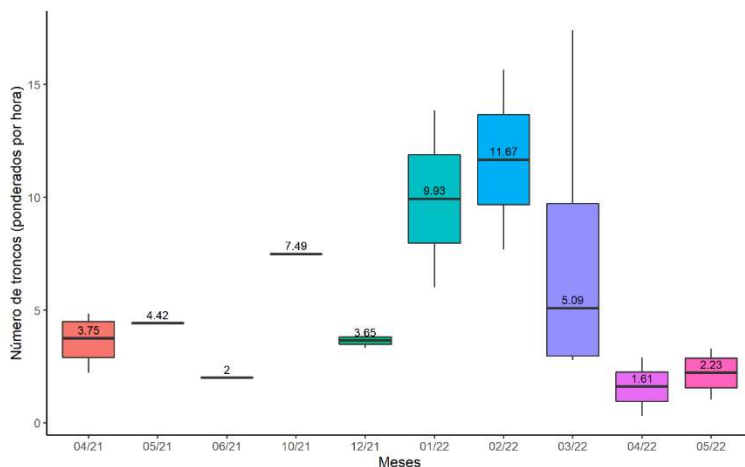


Figura 07: Mediana e distribuição da quantidade de troncos submersos transportados (ponderado/h) no rio Madeira, região do antigo Log Boom - UHE Jirau ao longo dos meses de monitoramento (abril/2021 - maio/2022).

Tabela 2: Estimativa mensal de troncos submersos transportados pelo rio Madeira na região do antigo Log Boom – UHE Jirau, ao longo dos meses de monitoramento (abril/2021 – maio/2022).

Meses	Log Boom
Abr/21	2.091
Mai/21	2.909
Jun/21	2.815
Out/21	3.869
Dez/21	3.869
Jan/22	7.539
Fev/22	7.942
Mar/22	4.418
Abr/22	1.854
Mai/22	1.363

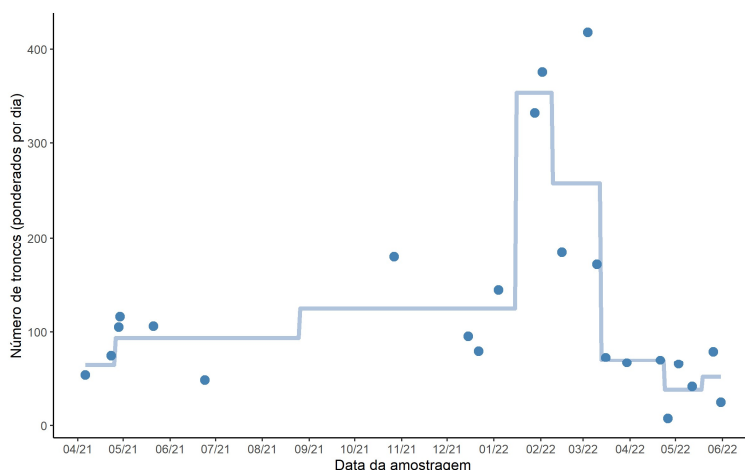


Figura 08: Quantidade de troncos submersos transportados pelo rio Madeira obtida pelo modelo matemático de regressão, ponderados por dia, considerando o conjunto de dados da região do antigo sistema de Log Boom – UHE Jirau.

Caracterização da distribuição de troncos submersos transportados pelo rio Madeira na região do antigo sistema Log Boom – UHE Jirau em função da coluna d’água e do comprimento

Considerando todos os troncos submersos detectados pelo monitoramento, montante e jusante juntos, no período de abril de 2021 a maio de 2022 na região Log Boom – UHE Jirau, a distribuição do número de troncos (N = 811) transportados em função da coluna d’água apresenta distribuição normal (Gaussiana), com mediana de 6,84 m de profundidade (Figura 09). A coluna d’água no ponto de monitoramento apresenta cerca de 20m, sendo que 55% dos troncos são transportados na faixa da

superfície até 7,5 m de profundidade.

A análise estratificada do transporte de troncos monitorados nas regiões a montante e jusante do antigo Log Boom, em função da profundidade, apresenta distribuições normais similares (Figura 10). A análise dos quantitativos a montante (N = 438) e a jusante (N = 373) do sistema de Log Boom sugere que cerca de 14% dos troncos transportados na coluna d'água são retidos no sistema.

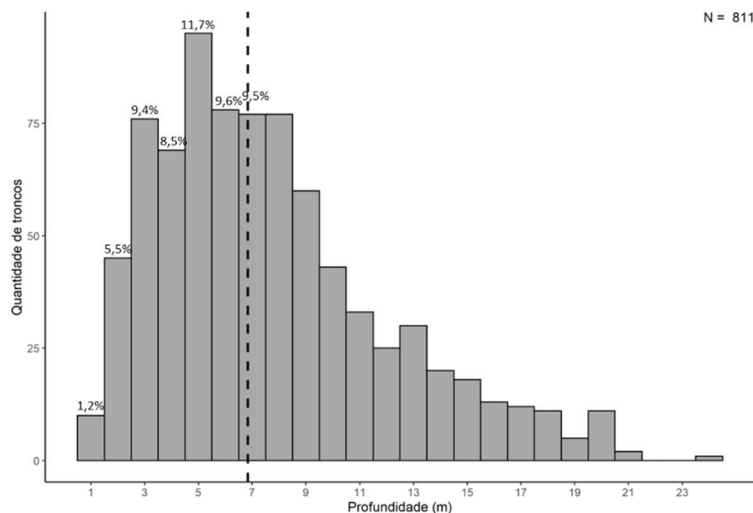


Figura 09: Distribuição da quantidade de troncos submersos transportados pelo rio Madeira, na região do antigo Log Boom – UHE Jirau (montante e jusante juntos) em função da profundidade, no período de abril de 2021 a maio de 2022. A linha tracejada indica a mediana das profundidades em que os troncos foram transportados.

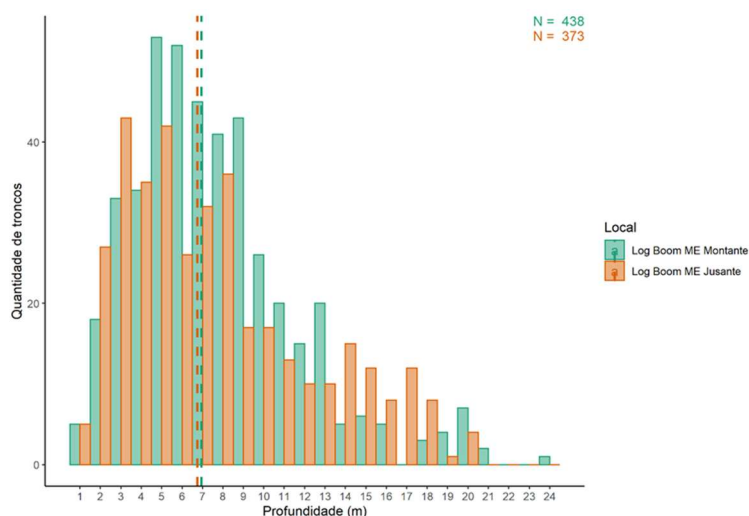


Figura 10: Distribuição da quantidade de troncos submersos transportados pelo rio Madeira, nas regiões a montante e jusante do antigo sistema de Log Boom – UHE Jirau em função da profundidade no período de abril de 2021 a maio de 2022. As linhas tracejadas indicam as medianas das profundidades em que os troncos foram transportados.

A Figura 11 apresenta a distribuição dos troncos submersos (N = 811) transportados pelo rio Madeira, região do sistema Log Boom – UHE Jirau, de acordo com seu comprimento. Observa-se que se trata de uma distribuição normal (Gaussiana), com mediana = 3,10 m. A distribuição mostra que 54% dos troncos transportados estão no intervalo de 1,25 a 3,75 m de comprimento.

A análise estratificada do transporte de troncos monitorados nas regiões a montante e jusante do antigo Log Boom, em função do comprimento, apresenta distribuições normais similares (Figura 12). A análise dos quantitativos a montante (N = 438) e a jusante (N = 373) do sistema sugere similaridade no

comprimento dos troncos submersos transportados na região a montante e a jusante do antigo Log Boom.

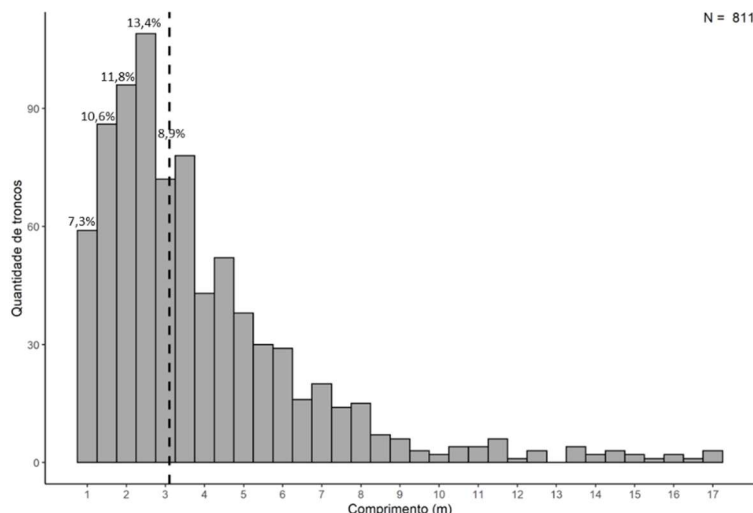


Figura 11: Distribuição da quantidade de troncos submersos transportados pelo rio Madeira, na região antigo Log Boom – UHE Jirau (montante e jusante juntos) em função do comprimento, no período de abril de 2021 a maio de 2022. A linha tracejada indica a mediana dos comprimentos dos troncos transportados.

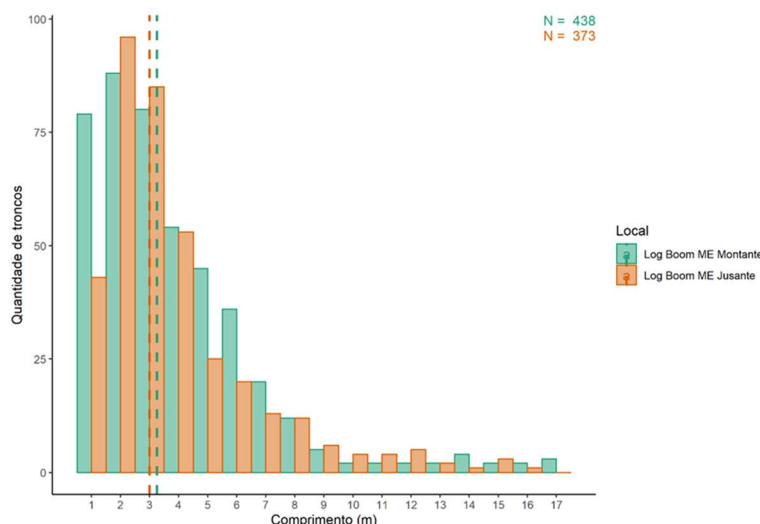


Figura 12: Distribuição da quantidade de troncos submersos transportados pelo rio Madeira, nas regiões a montante e jusante do antigo sistema de Log Boom - UHE Jirau em função do comprimento, no período de abril de 2021 a maio de 2022. As linhas tracejadas indicam as medianas dos comprimentos dos troncos transportados.

CONCLUSÕES

A análise dos dados do monitoramento do antigo sistema Log Boom – UHE Jirau no período entre abril/2021 a maio/2022 mostra um aumento expressivo da quantidade (ponderado/h) de troncos submersos transportados pelo rio Madeira nos meses de janeiro e fevereiro de 2022 em relação a dezembro de 2021.

Após tratamentos estatísticos os valores totais estimados de troncos submersos transportados pelo rio Madeira na coluna d’água na região do antigo sistema Log Boom - UHE Jirau, foi cerca de 38.000 troncos submersos.

Considerando todos os troncos submersos detectados pelo monitoramento, montante e jusante simultaneamente da catenária do antigo sistema Log Boom - UHE Jirau, verifica-se o transporte em função da profundidade com distribuição normal (Gaussiana) com mediana de 6,84 m de profundidade. A coluna

d'água no ponto de monitoramento apresenta cerca de 20 m, sendo que 55% dos troncos são transportados na faixa da superfície até 7,5 m de profundidade.

Quanto à distribuição dos troncos submersos transportados pelo rio Madeira na região do antigo sistema Log Boom – UHE Jirau, em função do comprimento, observou-se que se trata de uma distribuição normal (Gaussiana), com mediana igual a 3,10 m. A distribuição mostra que 54% dos troncos transportados estão no intervalo de 1,25 a 3,75 m de comprimento.

A análise estratificada do transporte de troncos monitorados nas regiões a montante e jusante da catenária do antigo Log Boom, em função do comprimento, apresenta distribuições normais similares. Ou seja, a análise dos quantitativos a montante (N = 438) e a jusante (N = 373) do sistema sugere similaridade no comprimento dos troncos submersos transportados na região a montante e a jusante da catenária do antigo Log Boom.

Diante do final de vida útil deste antigo sistema Log Boom após sete anos de operação, a Jirau Energia desenvolveu e implementou recentemente um novo projeto inovador, baseado nas experiências operacionais, no conhecimento das dinâmicas do rio e na expertise dos parceiros nas engenharias naval, oceânica, civil, mecânica e geológica. Neste contexto, foi desenvolvido um projeto alternativo, caracterizado por utilizar face plana em detrimento aos sistemas tradicionais gradeados, correntes e grandes poitas de ancoragem. Esta linha de proteção retém e desvia os materiais transportados com o próprio fluxo do rio, evitando a mobilização intensiva de recursos e redução significativa dos custos de manutenção e resguardando as condições operacionais.

Logo, o novo Log Boom desviador permitirá alta disponibilidade operacional da UHE Jirau, a mitigação dos impactos na geração de energia e uma significativa redução de custos de manutenção.

Estes resultados são parte de um Projeto P&D ANEEL (“Desenvolvimento de metodologia integrada para o monitoramento do transporte de material lenhoso para a concepção de sistema de manejo de troncos submersos - DMIMMAD” (06631-0014/2020)”) o qual tem como um dos principais objetivos fornecer subsídios para a melhor gestão na geração de energia da UHE Jirau. Resultados referentes a outros eixos dessa Pesquisa estão sendo processados e a curto/médio prazo serão submetidos para publicação.

REFERÊNCIAS

BACELLAR, A. A.; ROCHA, B. R. P.. Wood-fuel biomass from the Madeira River: A sustainable option for electricity production in the Amazon region. *Elsevier*, v.38, n.9, p.5004-5012, 2010.

BASTOS, W. R.; ALMEIDA, R.; DÓREA, J. G.; BARBOSA, A. C.. Annual flooding and fish-mercury bioaccumulation in the environmentally impacted Rio Madeira (Amazon). *Ecotoxicology*, v.16, p.341-346, 2007.

BRASIL. **Considerações sobre expansão hidrelétrica nos estudos de planejamento energético de longo prazo 2018**. Brasília: MME, 2018.

BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J.; STONE, C. J.; OLSHEN, R. A.. **Classification and Regression Trees**. Nova Iorque: Taylor & Francis Group, 1984.

CASTRO, F. S.. **Experimental study of the dynamic behavior of a log boom employed at hydropower plants**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T.; SANTA ROSA, A. N. C.; SANO, E. E.; SOUZA, E. B.; NAPTISTA, G. M. M.; BRITES, R. S.. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: 2012.

PIAZZA, E. M.; MARIANO, L. G.; HUMMEL, R. B.; FELKER, R. M.; COGHETTO, F.; STEFANELLO, M. M.. Análise comparativa de técnicas de filtragem espacial em área rural na região do Médio Alto Uruguai (RS). *REGET*, v.17, n.17, p.3445-3450, 2013.

SANCHES, C. H.; FONTOURA, P. J.; VIERA, P. F.; BATISTA, M. A.. Técnicas de suavização de imagens e eliminação de

ruídos. In: ENCONTRO ANUAL DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E SEMANA ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO, 1. **Anais**. Catalão, 2015.

ROCHA, B. C. P.. **Distribuição e caracterização da labilidade relativa de cobre, chumbo e mercúrio em amostras de sedimentos e substâncias húmicas extraídas de sedimentos**

coletados em mananciais com diferentes tipos de águas da Bacia Amazônica. Tese (Doutorado em Química) - Universidade Estadual Paulista, 2017.

THERNEAU, T. M.. **A package for survival analysis in R**. Atkinson, 2023.

Os **autores** detêm os direitos autorais de sua obra publicada. A **CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03)** detêm os direitos materiais dos trabalhos publicados (obras, artigos etc.). Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas ou digitais sob coordenação da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.