

Rendimentos operacionais de barco removedor e escavadeira de braço longo no controle de infestações de plantas aquáticas no reservatório Piraquara II, Paraná, Brasil

Operating yields of an aquatic weed harvester and a long-arm hydraulic excavator in aquatic macrophyte control in Piraquara II reservoir, southern Brazil

Maurício Bergamini Scheer, Alexandre Moreno Lisboa e Tamires Marcela Burda

Companhia de Saneamento do Paraná - SANEPAR, APD, CETSA, DMA, Curitiba, PR Brasil

mauriciobs@sanepar.com.br; amlisboa@sanepar.com.br; tamiresburda@gmail.com

Recebido: 17/06/2015- Revisado: 09/09/2015- Aceito: 29/01/2016

RESUMO

A eutrofização de corpos d'água tem causado desequilíbrios ambientais, alterando dinâmicas populacionais, como o crescimento excessivo de macrófitas aquáticas. Havendo necessidade de controle dessas comunidades, os métodos mecânicos são os mais empregados. O presente trabalho teve o objetivo de avaliar o rendimento operacional conjunto e individual, de um barco removedor e de uma escavadeira hidráulica de braço longo, na retirada de plantas aquáticas flutuantes (e seus conteúdos de Nt e Pt) do Reservatório Piraquara II (Piraquara – PR). Os tempos gastos em 100 ciclos operacionais, no trabalho conjunto dos equipamentos (carregamento, transporte e descarregamento de caminhões), entre outras atividades complementares, foram medidos por cronometragem. A escavadeira hidráulica de braço longo apresentou rendimentos satisfatórios na retirada de macrófitas aquáticas do corpo hídrico, quando comparados com outros trabalhos reportados na literatura. No entanto, o apoio do referido barco aumentou consideravelmente o rendimento (ordem de 115%). O rendimento médio foi de $35,57 \pm 0,27 \text{ m}^3/\text{h}$ ou $284,67 \text{ m}^3/\text{dia}$. Aplicando-se relações de área, massa e volume para o caso avaliado, isto equivale a $3273,7 \text{ m}^2/\text{dia}$ (considerando $11,5 \text{ m}^2/\text{m}^3$) ou a $142,28 \text{ t úmidas}/\text{dia}$ (considerando a densidade úmida do material = $0,5 \pm 0,08$; $n = 30$). Foi constatado que, para situações similares, ambos os equipamentos são recomendados para o controle de infestações de plantas aquáticas em corpos hídricos.

Palavras Chave: Manejo. Controle. Macrófitas aquáticas. Plantas daninhas.

ABSTRACT

Eutrophication of water bodies has caused environmental imbalance, changing population dynamics, as the excessive growth of aquatic macrophytes. The mechanical methods are the most used to control these communities. The aim of this study was to evaluate the operational yield of a harvesting boat and a long-arm hydraulic excavator (in group and individually) in the removal of floating aquatic weeds (and their Nt and Pt contents) in Piraquara II Reservoir, in Southern Brazil. The duration of each of the 100 operational cycles (including loading, transport and unloading of trucks), besides other activities were measured through timing. The hydraulic excavator presented right yields in the removal of weeds from the water body as compared to other studies reported in the literature. However, the adding of the harvesting boat led to an increase of productivity (about 115%). The average yield was $35.57 \pm 0.27 \text{ m}^3/\text{h}$ or $284.67 \text{ m}^3/\text{day}$. Applying area, mass and volume relations for the studied site, this is equivalent to $3273.7 \text{ m}^2/\text{day}$ (considering $11.5 \text{ m}^2/\text{m}^3$) or $142.28 \text{ humid tons}/\text{day}$ (humid density of 0.5 ± 0.08 ; $n = 30$). Therefore, for similar situations, both equipment (mainly in a joint operation) are recommended to aquatic weed infestation control.

Keywords: Management. Control. Aquatic Macrophytes. Weeds.

INTRODUÇÃO

Os reservatórios de água, logo após seu enchimento e ao longo dos anos de operação, sofrem profundas alterações ambientais. Após a inundação, as planícies aluviais e/ou outras feições geomórficas das imediações dos leitos dos rios tornam-se permanentemente ambientes lacustres. A sucessão ecológica até a “estabilização” destes novos lagos torna-se complexa, devido a diversos comportamentos nos processos de erosão, sedimentação, balanço de nutrientes, oxigenação (PEGORINI; CARNEIRO; ANDREOLI, 2005) e substituição de grupos ecológicos ao longo do tempo (THOMAZ, 2002). Uma situação preocupante em corpos hídricos, a qual exige pelo menos monitoramento, é o desequilíbrio de populações de plantas (macrófitas) aquáticas, as quais, apesar de apresentarem importantes funções ecológicas (ESTEVES, 1998), quando em infestações, podem causar danos aos usos múltiplos de alguns ambientes (THOMAZ, 2002), resultando em prejuízos econômicos e ambientais.

Questões sobre o adequado manejo, necessidade de controle ou não, ainda devem ser estudadas. A ação direta nas fontes de poluição pontuais e difusas é a mais recomendada para evitar problemas de eutrofização de corpos hídricos. No entanto, o manejo de superpopulações de macrófitas aquáticas, baseado na sua retirada periódica, também pode ser um importante fator de mitigação do problema, exportando-se o excesso de matéria orgânica e nutrientes. A vantagem desse método é a recuperação do ambiente para níveis mais aceitáveis desses elementos. Tendo em vista o seu importante papel ecológico, uma parcela de suas populações deverá sempre ser mantida a fim de preservar os “benefícios ecológicos” decorrentes de sua presença (THOMAZ, 2002). Níveis elevados de nutrientes podem favorecer também, o desenvolvimento de algas, que dependendo de sua concentração, do processo de sucessão e seleção algal e dos fatores ambientais, podem atingir estágios que prejudicam sensivelmente a qualidade da água e também podem conferir certo grau de toxicidade (CARNEIRO; PEGORINI; ANDREOLI, 2005). Considerando que as comunidades de macrófitas geralmente controlam os padrões de ciclagem de nutrientes (ESTEVES, 1998), a retirada parcial dessas plantas de corpos hídricos oligotróficos ou eutróficos, significa a exportação de elementos químicos (LIMA; REISSMANN; TAFFAREL, 2005), como o fósforo, nitrogênio, metais pesados, entre outros. Por outro lado, a retirada dessas plantas pode diminuir sua competição com algas, devendo-se então monitorar tal processo de forma a haver um adequado manejo.

Entre as técnicas de manejo de plantas aquáticas, os controles físicos são os mais utilizados no mundo (MURPHY, 1988). Há alguns trabalhos envolvendo a trituração de plantas com diversos equipamentos no corpo hídrico (e.g. GREENFIELD; BLANKINSHIP; MACNABB, 2006; PADIAL; BINI; THOMAZ, 2008). No entanto, a maioria desses estudos não envolve a retirada dos fragmentos da água, podendo causar problemas com a decomposição, envolvendo a liberação de elementos químicos e o consumo de oxigênio, além do aumento de propágulos, que potencializam novas infestações. Para reservatórios de usinas hidrelétricas no Brasil, devido a condições operacionais e restrições ambientais, o controle mecânico, en-

volvendo a retiradas das plantas dos corpos hídricos, tem sido a alternativa mais utilizada (ANTUNIASSI; VELINI; MARTINS, 2002; BRAVIN et al., 2005).

As comunidades de macrófitas aquáticas começaram a ser estudadas com certo atraso em relação às demais comunidades límnicas, sendo que o aumento gradativo de estudos ocorreu, após constatações de que muitos dos lagos da Terra eram relativamente rasos e tinham as macrófitas como as maiores produtoras de biomassa (ESTEVES, 1998). No Brasil, os estudos sobre a ecologia de macrófitas aquáticas são relativamente escassos e somente após a década de 1990 as pesquisas se tornaram mais frequentes, sendo que a maioria dessas pesquisas é uma abordagem observacional ou descritiva e as restantes são classificadas como tipicamente experimentais (THOMAZ; BINI, 2003). Segundo o levantamento bibliográfico dos autores supracitados (considerando trabalhos até o ano 2000), não tinham sido encontrados estudos brasileiros sobre manejo, principalmente trabalhos com a descrição de resultados da eficiência de algum tipo de controle, em escala real, do crescimento excessivo de plantas aquáticas. Atualmente, ainda pouco se sabe, ou ao menos, pouco se divulga em revistas técnico-científicas, sobre métodos e alternativas de controle mecânico de infestações das diferentes espécies de plantas aquáticas (vide estudos de ANTUNIASSI; VELINI; MARTINS, 2002; BRAVIN et al., 2005; VELINI et al., 2005).

Portanto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar os rendimentos da operação de um barco “C96” e de uma escavadeira hidráulica de braço longo, para a retirada de macrófitas aquáticas na região do Lago dos Ingleses, parte do Reservatório Piraquara II, município de Piraquara, Paraná.

Atendendo o objetivo principal supracitado, o artigo primeiramente apresenta os resultados da produção do conjunto de equipamentos na retirada de plantas aquáticas do corpo hídrico e carregamento dos caminhões, bem como os tempos e distâncias de disposição envolvidos. Secundariamente, apresenta a comparação com dados de estudo prévio, realizados pelos autores, sobre a retirada dessas plantas aquáticas com escavadeira hidráulica similar, no mesmo local em ano anterior, porém sem o uso do barco C96, além de custos de contratação. O trabalho também apresenta o uso do referido barco para a disposição das plantas nas margens, sem o auxílio da escavadeira. Estimativas simples de exportação de nitrogênio e fósforo totais pela retirada de biomassa do corpo hídrico também são apresentadas. Posteriormente, respeitando-se as limitações por escassez de situações similares, o presente estudo apresenta uma breve comparação com diferentes equipamentos e situações de controle mecânico de plantas aquáticas disponíveis na literatura.

Foi possível testar algumas hipóteses: (1) os rendimentos operacionais são maiores do que a maioria de outros sistemas descritos na literatura (vide trabalhos supracitados); (2) acrescentando o barco C96, no trabalho em conjunto com a escavadeira hidráulica de braço longo, é possível duplicar a produção em relação ao uso somente deste último equipamento e; (3) usando unicamente o barco C96, são possíveis rendimentos de mesma magnitude no arraste das populações de macrófitas aquáticas até margens secas onde seja possível o alcance de sua pá carregadeira.

MATERIAL E MÉTODOS

Entre os dias 23 e 26/09/2014, as avaliações de retirada e disposição de macrófitas aquáticas foram realizadas na região do antigo Lago dos Ingleses, braço do reservatório Piraquara II, município de Piraquara, região metropolitana de Curitiba, Paraná, nas coordenadas UTM 693.487 E; 7.177.574 N (Figura 1). O reservatório, com capacidade normal de 20,81 hm³ (CONSÓRCIO PARANASAN, 2000), cota com altitude de 891 m s.n.m., iniciou a operação em 2009 e, juntamente com os demais mananciais do Altíssimo Iguaçu (bacias do Piraquara I, Iraí, Iraizinho, do Meio, Itaquí e Pequeno), correspondem a aproximadamente 62% da água de abastecimento de Curitiba e Região Metropolitana (SANEPAR, 2013). O clima da região, segundo classificação de Koeppen é Cfb, a precipitação anual entre 1450 e 1500 mm e temperatura média anual entre 12 e 20°C (CAVIGLIONE et al., 2000). Um anemômetro foi instalado no local durante a avaliação, com o objetivo de verificar possíveis relações com a produtividade de retirada das plantas do corpo hídrico.

Neste braço do reservatório, a área ocupada pelas plantas aquáticas durante a avaliação, foi estimada em 22 ha (aproximadamente 50% de sua superfície de água). Duas sinúscias vegetacionais eram facilmente observadas e entremeadas. Uma dominada por tiriricas e marrequinhas d'água (*Cyperus luzulae* (L.) Retz. e *Salvinia auriculata* Aubl.) e outra, em menor em área, dominada por *Paspalum exaltatum* J.Presl.

Os equipamentos utilizados para arraste, içamento e

carregamento de macrófitas aquáticas nos caminhões foram: um barco removedor, modelo C96-4 Waterdozer CONVER®, ano 2011 (Figura 2a), e uma escavadeira hidráulica de braço longo com alcance de 15 m, 320 C Caterpillar 17 L/h, com concha vazada de 0,6 m³ (Figura 2b).

O barco C96, através de braço hidráulico equipado com ceifadeira lateral, pode realizar cortes das ilhas flutuantes de macrófitas em fatias de até aproximadamente 1,7 m de largura em diversos comprimentos. No entanto, para a situação em questão, os agrupamentos de plantas eram empurrados através de carregadeira frontal, composta por conjunto de pinças unidas (grade), e da propulsão do próprio barco até o pátio (enrocamento por onde passa estrada rural) na margem do reservatório (média de 50 m de distância), onde a escavadeira de longo alcance fazia a retirada (içamento) das macrófitas da água direto para os caminhões.

O transporte e a disposição da massa vegetal retirada foi por meio de dois a quatro caminhões Mercedes Benz 2423 6 x 4, caçambas de 10 e 14 m³ (carga média considerada de 8 e 11 m³ por viagem, respectivamente). Mais de uma área de disposição foi utilizada visto que as chuvas ocorridas durante a avaliação (aproximadamente 29,2 mm nos quatro dias de avaliação) e o próprio excesso de água transportado junto com a biomassa prejudicavam momentaneamente as condições das estradas de acesso, bem como as áreas de manobra.

Um barco de apoio foi utilizado para a instalação de bóias (galões de 5 L) e cordas para confinar as populações de macrófitas aquáticas próximas a margem (aproximadamente

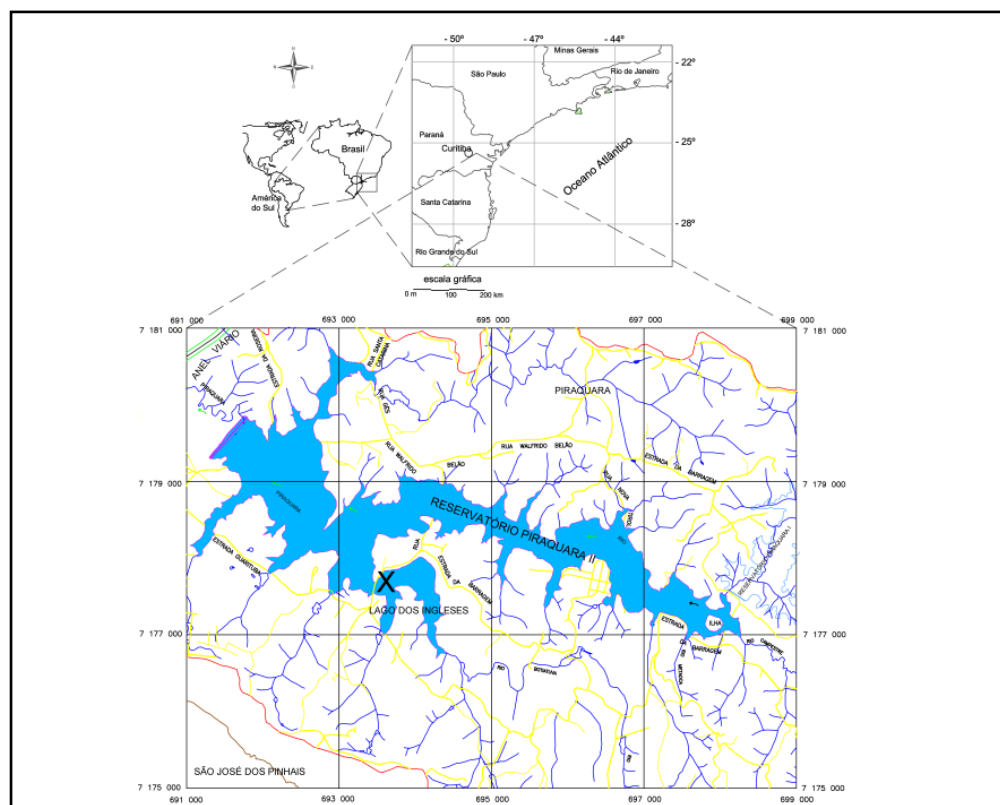


Figura 1 - Localização do Lago dos Ingleses, braço do Reservatório Piraquara II, município de Piraquara, região Metropolitana de Curitiba, Datum SAD 69, Fuso 22S
Adaptado de: Consórcio Paranasan (2000)

100 m), impedindo a dispersão dos agrupamentos de plantas em ocasiões de mudança de vento (ventos contra o fluxo de água do reservatório e ao pátio de trabalho, no enrocamento por onde estrada corta braço do reservatório) aumentando o rendimento operacional.

Ciclo operacional

A medição do ciclo operacional consistiu no tempo para carregamento de cada caminhão (agrupamento de macrófitas parcialmente adensados no próprio meio hídrico pelo barco C96 e retirados pela escavadeira de braço longo), transporte de ida e volta às áreas de disposição, bem como o descarregamento nelas (basculamento).



Figura 2a - Barco C96 Waterdozer CONVER® transferindo as plantas aquáticas de agrupamentos para margens secas do reservatório



Figura 2b - Barco C96 agrupando plantas para a retirada e carregamento pela escavadeira hidráulica de braço longo CAT 320 C

As coletas dos tempos para cada atividade do ciclo

operacional, inclusive as interrupções, foram realizadas através de preenchimento de planilhas pelos próprios operadores dos caminhões e pelo constante acompanhamento e fiscalização dos autores. Foram medidos 100 ciclos operacionais completos. De forma complementar, estes ciclos foram comparados com os de estudo realizado pelos autores no mesmo local, no ano anterior, com a mesma escavadeira, porém sem o trabalho conjunto com o barco C96. Uma análise básica dos custos de contratação também foi apresentada.

De forma a avaliar o potencial de carregamento da escavadeira, independentemente do número de caminhões disponíveis, foram realizadas contagens de “conchadas” e do tempo para carregamento de cada caminhão (considerando cargas efetiva de 8 m³ para um dos caminhões e 11 m³ para os demais). Foram mensurados 42 ciclos de carregamento através desse método.

Uso de barco removedor para disposição nas margens sem escavadeira

A avaliação da operação unicamente pelo barco C96 Waterdozer CONVER®, constitui inicialmente na medição das áreas de pequenas ilhas de plantas flutuantes próximas às margens do reservatório por meio de barco de apoio e trena de 30 m. A operação do barco C96 compreendeu a admissão do material por meio da pá carregadeira frontal, com pequeno arraste de ré, para destacar a carga de macrófitas do restante da ilha, seguido de arraste de vante até içamento e disposição nas margens secas mais próximas. Anotava-se o tempo para a retirada total de cada ilha, bem como o número de carregamentos pela carregadeira e o volume da leira disposta na margem, considerando uma seção trapezoidal. Os volumes de cada conchada do barco C96 foram mensurados e comparados com os volumes das leiras.

Foram medidos os rendimentos para disposição nas margens secas de 10 ilhas de macrófitas aquáticas, variando entre 74 e 387 m² cada, com seus centros geométricos situados entre 3 e 15 m da margem mais próxima.

Relações de área, massa, volume e teores de Nt e Pt

Ao longo da avaliação, foram coletadas dezenas de amostras de macrófitas recém retiradas do reservatório pela escavadeira. Estas foram colocadas em baldes de 8 L, com leve compactação, de forma a simular as cargas dos caminhões. Imediatamente, as massas frescas foram medidas com dinamômetro. Estes dados foram utilizados a fim de estimar a densidade do material. Posteriormente, as amostras foram levadas para laboratório e secadas a 65°C, por aproximadamente 72 h, até terem alcançado peso constante. As massas secas foram mensuradas em balança com precisão de 0,01 g.

As amostras secas foram enviadas para laboratório para análises químicas e estimativa da exportação de nutrientes (n = 10). Os teores de nitrogênio e fósforo totais foram determinados pelo método de digestão ácida – colorimétrico e pelo método de eliminação da matéria orgânica por queima em mufla (EMBRAPA, 2009).

Estudo prévio somente com a escavadeira hidráulica de braço longo

Em 2013, os autores, no mesmo local, realizaram uma breve avaliação da retirada de macrófitas aquáticas pela mesma escavadeira, porém sem o auxílio do barco C96 (dados não publicados). Considerando que a avaliação foi realizada em condições similares, exceto por ser realizada sem o uso do C96, foi possível estimar o ganho em produtividade pelo trabalho em conjunto dos dois equipamentos.

Análises estatísticas

Além de estatísticas descritivas (médias, desvios e erros-padrão, coeficientes de variação), foram realizadas regressões lineares simples com o objetivo de descrever o comportamento dos rendimentos operacionais de cada período testado (manhãs e tardes), bem como considerando todas as horas contratadas para a avaliação. A partir dos coeficientes angulares de cada equação, foi possível verificar quais foram os períodos com as maiores taxas de produção.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Produção de retirada de plantas do corpo hídrico e carregamento dos caminhões ao longo da avaliação

No total de quatro dias de avaliação foram retirados, transportados e dispostos 1067 m³ de macrófitas aquáticas do Lago dos Ingleses. A produtividade de carregamento foi de 1,29 ± 0,08 m³/minuto efetivo (77,48 m³/h efetiva) (Figura 3), com 95% de probabilidade de confiança. Já as regressões lineares representando cada período da avaliação, indicam uma produção real entre 21,3 e 58,8 m³/h (média de 39,42 m³/h ou 0,66 m³/

min) (Tabela 1). O menor valor deve-se, principalmente ao fato do início do trabalho ter sido realizado por operador de escavadeira com menor experiência, em relação ao outro operador.

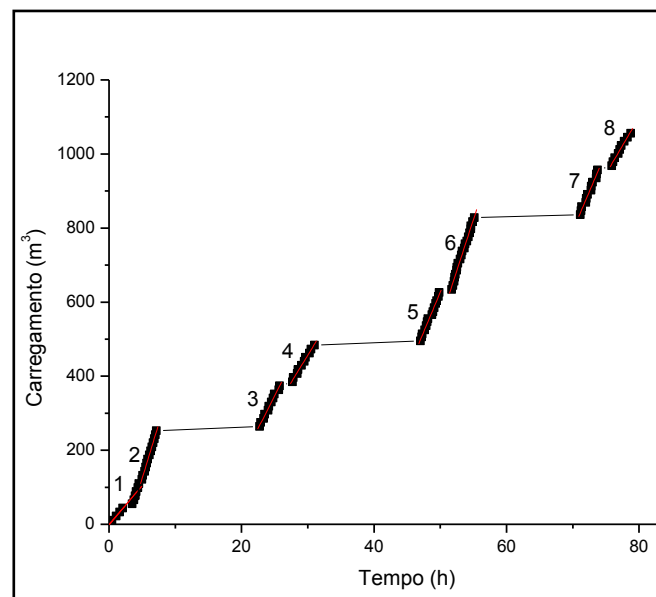


Figura 3 - Rendimentos operacionais ao longo dos 4 dias de avaliação (8 períodos de trabalho de 4 horas cada = segmentos) de retirada de macrófitas aquáticas (içamento do corpo hídrico e carregamento dos caminhões) por escavadeira hidráulica de braço longo em conjunto com barco C96

Produção estimada

Apesar de terem sido realizados 100 ciclos operacionais completos durante os quatro dias de avaliação, foram descartados os cinco primeiros das análises a seguir, devido a mudança de operador da escavadeira. Portanto, foram considerados 3,625 dias para a avaliação.

Tabela 1 - Produção de retirada de macrófitas aquáticas (içamento do corpo hídrico e carregamento dos caminhões) por escavadeira hidráulica de braço longo em conjunto com barco C96, ao longo dos quatro dias de avaliação

Segmento Figura 3	Dia	Período	nº de observações	nº de caminhões	Taxa de produção (m ³ /h) ⁺	R ²	Incerteza
1	23/09/2014	manhã*	11	2	21,274	0,99**	±1,83
2	23/09/2014	tarde	13	2	58,771	0,99**	±0,99
3	24/09/2014	manhã	11	2	35,320	0,99**	±1,26
4	24/09/2014	tarde	10	2	29,314	0,99**	±0,95
5	25/09/2014	manhã	14	3	42,799	0,98**	±1,31
6	25/09/2014	tarde	20	4	55,120	0,99**	±1,13
7	26/09/2014	manhã	12	3	42,184	0,98**	±1,91
8	26/09/2014	tarde	9	3	30,589	0,99**	±1,47
MÉDIA	-	-	13	2,5	39,421	-	-

*Operador de escavadeira com menor experiência (5 primeiros carregamentos)

⁺Taxas = coeficientes angulares (a, em m³/h) com base em ajustes de regressões lineares (y = ax + b)

A produtividade de retirada e carregamento, calculada através da razão do volume retirado e do tempo efetivo de trabalho, foi estimada em 1,16 m³/min. A eficiência operacional, dada pela razão entre o tempo de trabalho efetivo (descontando-se os intervalos de almoço, interrupções e pernoites) e o tempo total (tempo contratado de 8 horas diárias, considerando o tempo efetivo de trabalho, interrupções e deslocamentos das máquinas do local de pernoite até pátio de trabalho) foi de 49,94%.

Portanto, a produção real de retirada e carregamento de macrófitas aquáticas por meio de escavadeira hidráulica de braço longo e auxílio do barco C96, calculada através da multiplicação da produtividade pela eficiência operacional, foi de 0,58 m³/minuto contratado (34,9 m³/h ou 279,2 m³/dia). Aplicando-se as relações de área, massa e volume, isto equivale a 3210,8 m²/dia (considerando 11,5 m²/m³ ou 0,09 m³/m²; ver tabela 6 adiante) ou a 139,6 t úmidas/dia (considerando a densidade úmida do material = 0,5 ± 0,08; n = 30).

Considerando as oito horas diárias contratadas, incluindo a eficiência operacional, obteve-se a seguinte função (y = 35,567*tempo + 15,864; n = 96, R² = 0,99; Figura 4). Portanto, calculando-se desta forma, a produção (rendimento médio) durante a avaliação foi de 35,57 ± 0,27 m³/h ou 284,67 m³/dia. Aplicando-se as mesmas relações de área, massa e volume, isto equivale a 3273,7 m²/dia (considerando 11,5 m²/m³) ou a 142,28 t úmidas/dia (considerando a densidade úmida do material = 0,5 ± 0,08; n = 30).

Apesar dos dois períodos com maior produção de retirada de plantas coincidirem com a direção do vento a favor ao pátio de trabalho da escavadeira (Azimute de 130°), provavelmente a ação do barco C96 e do confinamento da corda de contenção minimizaram esse efeito numa possível alteração da produtividade.

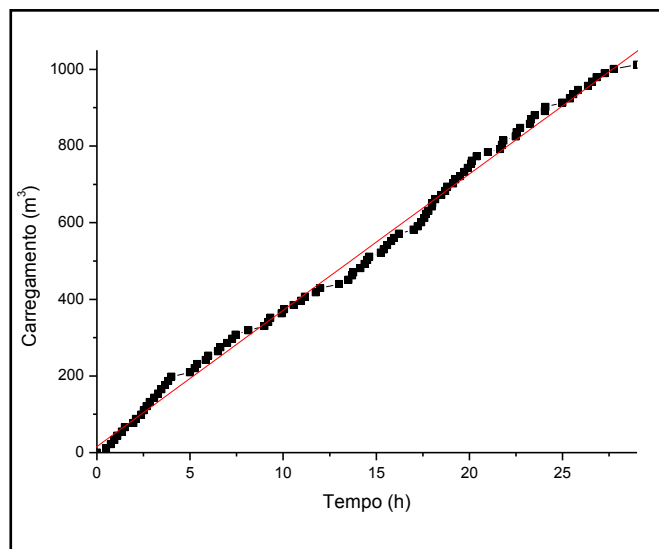


Figura 4 - Produção de retirada de macrófitas aquáticas (içamento do corpo hídrico e carregamento dos caminhões) por escavadeira hidráulica de braço longo em conjunto com barco C96 ao longo dos 3,625 dias de avaliação considerando-se apenas os horários de expediente (8 horas contratadas por dia). A linha corresponde a função $y = 35,567 \cdot \text{tempo} + 15,864$; n = 96, R² = 0,99

Tempo e distância de disposição

Considerando que os trechos da presente avaliação são estradas rurais não pavimentadas e envolvem curvas acentuadas e manobras para passar em porteiças de propriedades, notou-se que, aumentando a distância do percurso, houve um aumento na velocidade média dos caminhões, devido a menor influência das desacelerações. No entanto, a partir dos 5 km de percurso, a velocidade tendeu a se estabilizar próximo dos 22,5 ± 5,5 km/h.

Basculamento

Para o tempo médio para basculamento, com base nas planilhas de medição foi adotado o valor de 1'30". Alguns valores muito acima do supracitado foram desconsiderados, devido a problemas com a tampa da caçamba de um dos caminhões.

Ciclo operacional por caminhão

De forma a calcular o tempo para cada ciclo operacional (Tabela 2), considerando cada carga efetiva de 11 m³ e distância de disposição de 5 km, optou-se por considerar velocidades médias de ida e volta de 22,5 km/h.

Tabela 2 - Tempos médios para a realização de cada ciclo operacional de içamento/carregamento nos caminhões (transporte de ida, basculamento e retorno) considerando uma distância de disposição de 5 km

Ciclo Operacional	Tempo
Carregamento	18'55"
Ida	13'20"
Basculamento	1'30"
Retorno	13'20"
Total	47'05"

Potencial de carregamento dos caminhões pela escavadeira com auxílio do barco ceifador

Considerando a avaliação de retirada e carregamento de macrófitas aquáticas por meio da contagem de conchadas e do tempo de carregamento, pode-se verificar que produtividade

Tabela 3 - Potencial de carregamento de caminhões basculantes (capacidade de 14 m³; carga considerada de 11 m³) com macrófitas aquáticas por meio de escavadeira hidráulica com concha vazada com capacidade de 0,6 m³. Material adensado (confinado) pelo auxílio do barco C96 (n = 42; CV = coeficiente de variação; EP = erro padrão da estimativa). Obs: não foi estimada a eficiência operacional dessa atividade

Rendimento	Média	CV (%)	EP
nº conchadas por caminhão	19,53	16,33	0,61
Tempo efetivo	7'19"	21,10	-
conchadas/min	2,86	13,05	0,06
m ³ /min	1,72	13,05	0,03
m ³ /h	103,14	13,05	2,08

obtida durante os 3,625 dias de avaliação (1,16 m³/min) tem o potencial de ser aumentada em (48,3%), ou seja, para 1,72 m³/min (ou 103,14 m³/h) (Tabela 3). Esses valores dependem da direção e velocidade do vento, do dimensionamento do número de caminhões e capacidades, e das distâncias e qualidade dos trajetos até os locais de disposição. Aplicando-se a eficiência operacional de 49,94%, com o conjunto de equipamentos, tem-se um potencial de 51,51 m³/h, valor próximo aos maiores obtidos durante a avaliação.

Comparações com estudo prévio com escavadeira hidráulica de braço longo sem o uso de barco ceifador

Em observações efetuadas no reservatório pelos autores no mesmo local e no ano anterior (2013), porém sem o auxílio do barco C96, cada carregamento (em média de 11 m³) durou aproximadamente 26,34 minutos ($\pm 0,94$; CV = 22,9%, n = 41), sendo que estes variaram entre 10 e 35 minutos em condições de funcionamento efetivo da escavadeira. Já os tempos de carregamento da escavadeira com o auxílio do barco C96 (cargas também de 11 m³) foram da ordem de 9,67 minutos ($\pm 0,38$; CV = 36,3%, n = 84), sendo 2,72 vezes mais rápidos. Diferente da operação em conjunto com barco C96, as variações devem-se às condições de acúmulo de plantas na margem do reservatório (próximas ao pátio no enrocamento), as quais dependeram mais da direção e velocidade dos ventos, bem como do confinamento e arraste com ajuda de barco simples de apoio e cordas e ganchos. Os melhores resultados durante os testes sem o barco C96 alcançaram 15 cargas de 11 m³ por dia (usando dois caminhões basculantes). No entanto, nessa breve avaliação, houve certa dificuldade no confinamento das plantas e muita variação na eficiência entre os tempos de carregamento. Portanto, para essa situação, avaliada em 2013, adotou-se uma média de 12 cargas de 11 m³ por dia, totalizando a remoção de 0,1518 ha/dia (considerando 11,5 m²/m³), 132 m³/dia ou 66 t úmidas/dia (considerando a densidade úmida do material = 0,5 $\pm 0,08$; n = 30).

Comparando-se ao melhor resultado da presente avaliação (dia 23/09/2014, no período da tarde, com 2 caminhões; Tabela 1), o rendimento foi de 58,78 m³/h ou a 470,2 m³/dia

(ou 5406,9 m²/dia ou 235,08 t úmidas/dia), sendo 2,85 vezes superior ao máximo observado em 2013 (185%; Tabela 4). Considerando a produção média de 35,57 m³/h (ou 284,67 m³/dia ou 3273,7 m²/dia ou a 142,28 t úmidas/dia), o rendimento seria, pelo menos 2,15 vezes (115%) superior.

Custos básicos de contratação

Atualizando os custos de contratação para o presente, pode-se fazer uma análise básica comparativa das duas situações apresentadas, a da presente avaliação, ocorrida em 2014 e a da avaliação de 2013.

Observa-se que, mesmo incluindo dois caminhões no conjunto de equipamentos, o auxílio do barco à escavadeira de braço longo, além do potencial de ter aumentado a produção significativamente (ordem de 115%), apresentou um menor custo por metro cúbico de plantas retiradas (Tabelas 5 e 6).

Com o intuito de apenas realizar uma breve comparação com a fragmentação, retirada e disposição de plantas aquáticas em densidade de 0,3 m³/m², (GREENFIELD; BLANKINSHIP; MACNABB, 2006), o custo de US\$ 11,66/m³ (corrigido para 2014 US\$ 13,69/m³, através da mudança anual calculada pela “Consumer Price Index”), foi de mesma magnitude do presente estudo (US\$ 15,19; considerando cotação do dólar americano de R\$ 2,45 em setembro de 2014) porém um pouco mais baixo (Tabela 6).

Uso de barco removedor para disposição nas margens sem escavadeira

A produtividade média para desmonte de ilhas de plantas, arraste e disposição nas margens mais próximas foi 149,6 m³/dia ou 1722,9 m²/dia. No entanto, não foi possível calcular a eficiência operacional para este teste, visto que foram mensuradas 10 operações efetivas sem medir os intervalos entre elas. Contudo, considerando uma eficiência de pelo menos 50% (equivalente à dos testes anteriores com a escavadeira), obtêm-se uma produção de aproximadamente 74,8 m³/dia e 861,4 m²/dia (Tabela 7).

Tabela 4 - Potencial de carregamento de caminhões basculantes (capacidade de 14 m³; carga considerada de 11 m³) com macrófitas aquáticas por meio de escavadeira hidráulica com concha vazada com capacidade de 0,6 m³ (experimento prévio de 2013) e por meio da mesma escavadeira juntamente com o barco C96 (presente experimento; 2014)

Rendimento	Rend. Médio (m ³ /dia)	Rend. Máximo observado (m ³ /dia)
Escavadeira Hidráulica CAT 320 C braço Longo	132*	165
Escavadeira Hidráulica CAT 320 C braço Longo + Barco C96	284,67	470,2
Ganho estimado com o acréscimo do Barco C96	2,15 vezes (115%)	2,85 vezes (185%)

*valor considerado para comparação; considerando condições similares. Considerando 2 caminhões basculantes em ambos os casos

Tabela 5 - Estimativas gerais e custos básicos da contratação da composição de equipamentos para a retirada e disposição de plantas por meio de escavadeira hidráulica de braço longo em 2013

Equipamentos	R\$/hmaq	Diária (R\$)	rend. (m³/dia)	rend. (ha/dia) *	rend. (t/dia) **	rend. M.S. (t/dia) ***	exp. Nt (kg/dia) teor (20g/kg)	exp. Pt (kg/dia) teor (1g/kg)	R\$/m³ Retirado e disposto	R\$/ha Retirado e disposto
Escavadeira Hidráulica CAT 320 C braço Longo	300,00	2.400,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Caminhão basc.	150,00	1200,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Caminhão basc.	150,00	1200,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Barco de apoio	100,00	800,00	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		5.600,00	132	0,1518	66	3,3	66	3,3	42,42	36.886,73

*Preços cotados em setembro de 2013 *considerando 11,5 m³/m³ ou 869,56 m³/ha **considerando 0,5t/m³ ***considerando 5% de sólidos Retirado e disposto (ida e volta = 9,3 km); M.S. = massa seca; Exp. = exportação do nutriente; Nt = nitrogênio total; Pt = fósforo total

Tabela 6 - Estimativas gerais e custos básicos da contratação da composição de equipamentos para a retirada e disposição de plantas por meio da operação conjunta de escavadeira hidráulica de braço longo e barco C96, em 2014

Equipamentos	R\$/hmaq	Diária (R\$)	rend (m³/dia)	rend (ha/dia)	rend (t/dia) **	rend M.S. (t/dia) ***	exp. Nt (kg/dia) teor (20g/kg)	exp. Pt (kg/dia) teor (1g/kg)	R\$/m³ Retirado e disposto	R\$/ha Retirado e disposto
Escavadeira Hidráulica CAT 320 C braço Longo	300,00	2.400,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Caminhão basc.	150,00	1200,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Caminhão basc.	150,00	1200,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Caminhão basc.	150,00	1200,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Caminhão basc.	150,00	1200,00	-	-	-	-	-	-	-	-
Barco C96	425,00	3.400,00	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL		10.600,00	284,67	0,3273	142,28	7,11	142,3	7,11	37,23	32.373,71

*Preços cotados em setembro de 2014; índices de inflação entre set/2013 e set/2014 em torno de 7% *considerando 11,5 m³/m³ ou 869,56 m³/ha **considerando 0,5t/m³ ***considerando 5% de sólidos. Retirado e disposto (ida e volta = 9,3 km) M.S. = massa seca Exp. = exportação do nutriente; Nt = nitrogênio total; Pt = fósforo total

Tabela 7 - Produtividade do Barco C96 para fragmentação de ilhas de macrófitas, arraste e disposição em margens secas do Reservatório Piraquara II

	Área (m²)	Volume leira (m³)	Área/vol. (m²/m³)	Vol./área (m³/m²)	Vol./área (m³/ha)	Tempo (min)	Rend. (conchadas/min)	Rend. m³ conchadas/hora	Rend. m³ leira/hora	Rend. m² plantas/hora
	287	25,9	11,1	0,09	900	116'	0,76	19,66	13,40	154,10
	190	9,5	20,1	0,05	500	46'	0,70	18,03	12,33	141,80
	194	19,8	9,8	0,10	1000	80'	0,51	13,28	14,82	170,43
	293	54,0	5,4	0,19	1900	120'	0,69	17,93	27,00	310,50
	74	11,1	6,7	0,15	1500	30'	0,73	19,01	22,20	255,30
	160	11,6	13,9	0,07	700	30'	0,80	20,74	23,10	265,65
	37	5,4	6,9	0,14	1400	9'	0,78	20,16	36,00	414,00
	88	7,2	12,2	0,08	800	27'	0,85	22,08	16,00	184,00
	387	25,0	15,5	0,06	600	128'	0,83	21,47	11,70	134,55
	244	17,9	13,7	0,07	700	100'	0,91	23,59	10,71	123,17
Media	195,4	18,7	11,5	0,09	1000	68,6'	0,8	19,6	18,7	215,35
Desvio	-	-	4,5	0,05	455	-	0,1	2,8	8,2	94,18
Erro Padrão	-	-	1,44	-	-	-	0,03	0,90	2,59	29,78

Nota: Para 95% de confiabilidade; valor de t tabelado para (G.L. 9 = 2,262).

Comparações com outros estudos em situações diferentes

Considerando a estimativa diária de 284,67 m³/dia e multiplicando por 21 dias trabalhados por mês, obtém-se valor médio de 5978,07 m³/mês, estando próximo do valor médio (6260,29 m³/mês) para 14 meses relatados por Antuniassi, Velini e Martins (2002), embora a umidade do material transportado deva ter sido menor, visto que o procedimento relatado por esses autores incluía o armazenamento deste material antes do descarte. A área mensal controlada estimada em 6,8748 ha, está acima da reportada por Antuniassi, Velini e Martins (2002) (3,37 ha/mês). Ressalta-se que, esses autores encontraram grande variação no volume de biomassa fresca por metro quadrado de área trabalhada (*Eichornia crassipes* (Mart.) Solms e *Brachiaria arrecta* (Hack.) Stent), obtendo-se uma média ponderada de 0,25 m³/m², sendo consideravelmente superior ao índice do presente estudo de 0,09 m³/m² para *S. auriculata* e *P. exaltatum*. Deve-se considerar que estas comparações referem-se apenas a magnitudes dos resultados encontrados para um mesmo objetivo, visto que os equipamentos, os procedimentos e as espécies controladas são diferentes. Os custos de controle também estão em magnitudes próximas as dos autores citados acima.

Comparando com o estudo de Bravin et al. (2005), que avaliou uma embarcação que encaminhava plantas aquáticas emersas para uma esteira de margem e um picador, em situações similares de área, massa e volume, o presente estudo apresentou rendimentos operacionais significativamente maiores (ordem de 4,6 vezes) com o uso da escavadeira e do barco ceifado C96.

Pesquisa envolvendo o controle de plantas submersas com colhedora (VELINI et al., 2005), indicou valores mais altos de rendimento por unidade de área do que os observados no presente estudo, embora as relações massa/volume das plantas nos corpos hídricos tenham sido muito menores.

CONCLUSÕES

Foram avaliados os rendimentos operacionais (em conjunto e individual), de um barco removedor e de uma escavadeira hidráulica de braço longo, na retirada de plantas aquáticas flutuantes no Reservatório Piraquara II (Piraquara – PR). Os tempos gastos em 100 ciclos operacionais, no trabalho conjunto dos equipamentos (carregamento, transporte e descarregamento de caminhões), entre outras atividades complementares, foram medidos por cronometragem.

Os resultados indicam um grande potencial no uso de ambos os equipamentos avaliados para situações onde se faz necessário o controle de macrófitas aquáticas flutuantes, visto os rendimentos operacionais satisfatórios, quando comparado aos demais encontrados na literatura, embora para situações diferentes. Para o presente estudo, o apoio do barco removedor à escavadeira duplicou a produtividade e a um custo sensivelmente menor.

Os rendimentos do referido barco são satisfatórios também em situações de trabalho sem auxílio de outros equipamentos.

Além das espécies e seus hábitos, os diferentes procedimentos operacionais impossibilitam comparações mais aprofundadas com estudos supracitados, entre outros, indicando a necessidade de pesquisadores reportarem a avaliação de mais casos de controle mecânico de plantas aquáticas.

Além de equipamentos adaptados ou específicos para o controle de plantas aquáticas, como balsas, colhedoras, barcos próprios, escavadeiras, há a necessidade de se avaliar escavadeiras anfíbias e com diferentes tipos de conchas, como por exemplo do tipo “Clam shell”, visto o seu potencial para diferentes situações.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio dos funcionários das empresas prestadoras dos serviços para esta pesquisa, em especial à Augusto Bronhara e Frederico Martins. Aos colegas da Assessoria de Pesquisa e Desenvolvimento da Sanepar, aos vigilantes do reservatório, às unidades da Sanepar de Produção de Água - USPD, de Recursos Hídricos – USHI, Regional de Curitiba Leste - URCT-L e da Diretoria de Operações – DO.

REFERÊNCIAS

- ANTUNIASSI, U. R.; VELINI, E. D.; MARTINS, D. Remoção mecânica de plantas aquáticas: análise econômica e operacional. *Planta Daninha*, v. 20, p. 35-43, 2002. Número especial. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582002000400004&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 28 jan. 2016.
- BRAVIN, L. F. N.; VELINI, E. D.; REIGOTTA, C.; NEGRISOLI, E.; CORRÊA, M. R.; CARBONARI, C. A. Desenvolvimento de equipamento para controle mecânico de plantas aquáticas na UHE de Americana-SP. *Planta Daninha*, v. 23, n. 2, p. 263-267, abr./jun. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582005000200013&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 28 jan. 2016.
- CARNEIRO, C.; PEGORINI, E. S.; ANDREOLI, C. V. Introdução. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. (Ed.). *Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados*. Curitiba: Sanepar, 2005. cap. 1, p. 27-44.
- CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. *Cartas climáticas do Paraná*. Londrina: IAPAR, 2000.
- CONSÓRCIO PARANASAN - Engevix-CKC-ETC-BVI-EETEP-ESTEIO-RDR. *Estudo de impacto ambiental: Barragem Piraquara II*. Curitiba: Projeto de Saneamento Ambiental do Paraná - PARANASAN/UGP PARANASAN –SANEPAR, 2000. 3v.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. 2. ed. Brasília, DF: Informação Tecnológica, 2009.

ESTEVEES, F. *Fundamentos de Limnologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

GREENFIELD, B. K.; BLANKINSHIP, M.; MACNABB, T. J. Control costs, operation, and permitting issues for non-chemical plant control: case studies in the San Francisco Bay-Delta Region, California. *J. Aquat. Plant. Manage.*, v. 44, p. 40-49, 2006. Disponível em: <http://aquatics.com/images/SEFI_Article.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2016.

LIMA, M. R.; REISSMANN, C. B.; TAFFAREL, A. D. Fitorremediação com macrófitas aquáticas flutuantes. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. (Ed.). *Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados*. Curitiba: Sanepar, 2005. cap. 11, p. 391-408.

MURPHY, K. J. Aquatic weed problems and their management: a review. II. Physical control measures. *Crop Protec.*, v. 7, p. 283-302, Oct. 1988. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/258366407_Murphy_KJ_1988_Aquatic_weed_problems_and_their_management_a_review_II_Physical_control_measures_Crop_Protection_7_283_-_302>. Acesso em: 28 jan. 2016.

PADIAL, A. A.; BINI, L. M.; THOMAZ, S. M. The study of aquatic macrophytes in Neotropics: a scientometrical view of the main trends and gaps. *Braz. J. Biol.*, v. 68, n. 4, p. 1051-1059, Nov. 2008. Supplement. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-69842008000500012&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 jan. 2016.

PEGORINI, E.; CARNEIRO, C.; ANDREOLI, C. V. Mananciais de Abastecimento Público. In: ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. (Ed.). *Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados*. Curitiba: Sanepar, 2005. cap. 2, p. 45-81.

SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná. *Plano Diretor SAIC: Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana*. Curitiba: Sanepar, 2013.

THOMAZ, S. M. Fatores ecológicos associados à colonização e ao desenvolvimento de macrófitas aquáticas e desafios de manejo. *Planta Daninha*, v. 20, p. 21-33, 2002. Número especial. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582002000400003&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 jan. 2016.

THOMAZ, S. M.; BINI, L. M. *Ecologia e manejo de macrófitas aquáticas*. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2003.

VELINI, E. D.; CORRÊA, M. R.; TANAKA, R. H.; BRAVIN, L. F.; ANTUNIASSI, U. R.; CARVALHO, F. T.; GALO, M. L. B. T. Avaliação operacional do controle mecânico de plantas aquáticas imersas no reservatório de Jupia. *Planta Daninha*, v. 23, n. 2, p. 277-285, abr./jun. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-83582005000200015&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 28 jan. 2016.

pt&nrm=iso>. Acesso em: 28 jan. 2016.

Contribuição dos autores:

Maurício Bergamini Scheer: Planejamento da pesquisa, contratação de equipamentos e serviços, orientações e medições de campo, análises e elaboração do manuscrito.

Alexandre Moreno Lisboa: Planejamento da Pesquisa, especificações para a contratação de equipamentos e serviços orientações e medições de campo, suporte logístico, análises, contribuições e revisões no manuscrito.

Tamires Marcela Burda: Orientações e medições de campo, análises, tabulação dos dados, contribuições e revisões no manuscrito.