ANÁLISE DA VIABILIDADE OPERACIONAL DE ESCAVADEIRAS HIDRÁULICAS PARA DRAGAGEM MECÂNICA DA HIDROVIA DO RIO TAQUARI

ANALYSIS OF THE OPERATIONAL FEASIBILITY OF HYDRAULIC EXCAVATORS FOR MECHANICAL DREDGING OF THE TAQUARI RIVER WATERWAY

Augusto Ayub - augusto.ayub@dnit.gov.br -https://orcid.org/0009-0007-8272-8634

Ariela da Silva Torres - ariela.torres@dnit.gov.br - https://orcid.org/0000-0003-4686-9759

Paula Martins Machado - paula.machado@dnit.gov.br - https://orcid.org/0009-0007-2020-3840

RESUMO: O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é o responsável pela operação de dragagem em um trecho de 25 km do Rio Taquari, no estado do Rio Grande do Sul. Essa operação permite um canal de navegação com largura de 30 metros. Para garantir a segurança da navegação para embarcações com calado de até 2,5 m, a profundidade do canal deve ser de 3,5 m a partir do nível de redução. A região possui períodos de chuvas intensas, que determinam as cheias do rio e o aumento significativo, em poucas horas, do nível d'água. Em função das características fluviométricas, este estudo teve como objetivo analisar a potencialidade do uso de diferentes equipamentos, do tipo escavadeira, para utilização no Rio Taquari, comparando as profundidades máximas e mínimas do rio com as características físicas dos equipamentos. Além disso, o estudo estabeleceu um comparativo com o equipamento que está determinado na composição de custo do SICRO e utilizado no Termo de Referência do contrato de dragagem. Concluiu-se que a utilização de escavadeira com capacidade de escavação até 7,36 m em fundo nivelado é adequada e que o uso de um equipamento de menor porte, similar ao adotado na composição do SICRO, se demonstrou ineficiente. Por fim, demonstrou-se que é necessária revisão do fator de eficiência adotado no SICRO para dragagem no Rio Taquari.

PALAVRAS-CHAVE: dragagem mecânica; Rio Taquari; escavadeira hidráulica.

ABSTRACT: *The Brazilian National Department of Transport Infrastructure (DNIT) is responsible for the dredging operation in a 25 km stretch of the Taquari River, in the state of Rio Grande do Sul. This operation allows a navigation channel with a width of 30 meters. To ensure navigation safety for vessels with 2.5 m draft, the channel depth, considering the reference plane, totals 3 m, adding 50 cm of tolerance, reaching 3.5 m of final channel depth considering the reference plane. The region has a typical rainy season, which determines the flooding of the river and the significant increase, in a few hours, of the water level. Due to the fluviometric characteristics, this study aimed to analyze the potential use of different types of excavators for Taquari River dredging, comparing the maximum and minimum depths of the river with the physical characteristics of the equipment. In addition, the SICRO dredging equipment and the equipment defined by the Reference Term was compared. It was concluded that the use of an excavator with a digging capacity of up to 7.36 m on a leveled bottom is adequate and that*

Submetido em 26/05/2023 e aceito em 24/08/2023.

https://doi.org/10.70859/2764-9539.v2.n2.47

smaller equipment, similar to that adopted in the composition of the SICRO, proved to be inefficient. Finally, it was demonstrated that there is a need to review the efficiency factor adopted in SICRO for dredging in the Taquari River.

KEYWORDS: *mechanical dredging; Taquari River; hydraulic excavator.*

1 INTRODUÇÃO

O Rio Taquari faz parte da bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas, que possui área de 26.430 km² (SEMA/RS, 2023). A porção navegável do rio vai desde sua foz, no Rio Jacuí, até o Porto de Estrela, totalizando 86,5 km de hidrovia navegável. Bombassaro e Robaina (2010, p. 85) descreveram os frequentes eventos de cheia do rio:

> O comportamento topográfico da bacia, com uma amplitude máximas em torno 1000 metros, declividade superiores a 15%, em praticamente 90% da bacia, associados com solo pouco desenvolvido favorecem o escoamento superficial e a ocorrência de significativos eventos de inundações, especialmente no vale do rio Taquari, predominantes nos períodos de inverno e primavera.
>
> [...]
>
> Quando ocorrem períodos de chuvas intensas no alto curso forma-se uma onda de cheia, que tem resposta no canal principal, no vale do Taquarí, de dois a três dias.

De acordo com Collischonn *et al.* (2020), a vazão do rio Taquari pode ultrapassar 12.000 m³/s e o nível da água pode subir até 15 metros em pouco mais de um dia. Além disso, em função das características da bacia hidrográfica (grande declividade e predominância de rochas basálticas), a velocidade de ascensão do hidrograma é extremamente alta. Conforme apontado por Eckhardt *et al.* (2009), a partir do nível de 19 m, inicia o estado de inundação das cidades ao redor do rio Taquari. Em julho de 2020, uma grande inundação atingiu as cidades da região, atingindo a marca de 27,39 m no linígrafo automático do Sistema de Alerta de Eventos Críticos (SACE, 2020), instalado no Porto Fluvial de Estrela e mantido pela Agência Nacional das Águas (ANA) e pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM). A inundação de 09 de julho de 2020 é a quarta maior desde o início da série histórica e a maior nos últimos 64 anos, com tempo de retorno aproximado de 30 anos de acordo com os dados observados por Moraes (2015).

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) executa a dragagem de manutenção da hidrovia do Rio Taquari em um segmento contínuo de 25 km, compreendido entre os km 96 e km 121. A dragagem possibilita a navegação para embarcações com calado de até 2,50 metros no canal de navegação com 30 metros de largura.

A calha do Rio Taquari possui cascalho de grande diâmetro, ultrapassando 10 cm, conforme demonstrado na Figura 1, o que impede a realização de dragagem hidráulica com draga de sucção e recalque ou draga Hopper. Historicamente, a dragagem do rio foi realizada com utilização de draga de alcatruzes, também conhecida como *bucket dredge*, guindaste com *clamshell* ou escavadeira hidráulica sobre plataforma flutuante, sempre com apoio de batelão para transporte do material dragado. A solução atualmente utilizada para dragagem é a escavadeira hidráulica sobre plataforma flutuante.

A utilização de escavadeira hidráulica, que possui alcance de escavação limitado pelo comprimento da lança e do braço, torna a continuidade da operação suscetível às constantes variações de nível do rio. Por esse motivo, a escolha de equipamento adequado é crucial para o sucesso do empreendimento.

Figura 1 – Material oriundo da dragagem do Rio Taquari

Fonte: Elaboração própria

De acordo com Goes Filho (1979), a escolha das dragas e dos equipamentos de dragagem é complexa e determinada pelas condições fisiográficas da área que requer a intervenção. Os principais tópicos a serem analisados, quando da escolha dos equipamentos, são os seguintes:

- características físicas do material a ser dragado;
- volume do material a ser dragado;
- distância da área de despejo do material;
- condições ambientais da área a ser dragada e da área de despejo;
- agitação do nível d'água;
- nível de contaminação dos sedimentos a serem dragados;
- método do despejo do material dragado;
- produção estimada dos equipamentos empregados;
- tipo de equipamentos disponíveis.

Dentre os equipamentos utilizados em atividades de desassoreamento e dragagem de arroios urbanos, o mais comumente encontrado é a draga escavadeira de braço longo.

A escavadeira de braço longo, também conhecida por escavadeira *long reach*, é ideal para limpeza de rios, açudes, canais, córregos e dragagens que necessitam de maior alcance e escavações profundas. É um equipamento que permite o trabalho de escavações de até 12 metros de profundidade com total agilidade e segurança, além de ser extremamente versátil, fácil de transportar e, principalmente, de grande produtividade (LF Ambiental, 2023).

Dentre os benefícios do uso de escavadeiras de braço longo para uma obra cita-se o maior alcance nas escavações, devido ao tamanho do braço da escavadeira, que possibilita atingir maiores distâncias; a escavação de maiores profundidades, em maior escala ou escavações mais largas; maior estabilidade da escavadeira de braço longo em terrenos inclinados, escorregadios e irregulares; e robustez e força, pois as escavadeiras braço longo aguentam mais peso por mais tempo.

Porém, o uso de escavadeiras de braço longo deve ser previsto de acordo com o local da dragagem, levando em consideração as características do canal de navegação e as questões fluviométricas da região, para se eleger um equipamento com maior eficácia.

2 OBJETIVO

A presente análise busca verificar a viabilidade operacional de diversos modelos de escavadeiras hidráulicas para dragagem

mecânica no Rio Taquari. A análise se limita a verificar o alcance das escavadeiras considerando o histórico de níveis do rio nos últimos 20 anos.

3 METODOLOGIA

Este estudo iniciou com a análise do projeto de dragagem do canal da hidrovia e a avaliação da metodologia de execução atualmente utilizada. Os dados da geometria do canal, níveis de redução e forma de execução foram obtidos dos contratos firmados pelo DNIT para execução dos serviços, uma vez que não há projeto formal da hidrovia.

Também foi analisada a composição de custo fornecida no Termo de Referência (TR) do contrato de dragagem do Rio Taquari, baseada no Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO), utilizado pelo DNIT para elaboração do cronograma financeiro do contrato.

Os dados fluviométricos do rio foram obtidos no sistema HIDROWEB, da Agência Nacional de Águas (ANA). A análise se limitou à estação 86895000 – Porto Mariante, localizada próxima ao meio do segmento de 25 km de dragagem. Foram analisadas medições de nível médias diárias de 01/11/2002 até 31/10/2022, totalizando 20 anos de dados. Os dados faltantes foram preenchidos por interpolação linear utilizando os dados disponíveis do dia anterior e posterior. A utilização da interpolação linear se justifica em razão do fato de que as variações de nível no Rio Taquari ocorrem no período de alguns dias, não sendo observados picos com retorno ao nível inicial no mesmo dia. Observou-se 23 medições diárias faltantes em um universo de 7.305 medições diárias, que representam 0,32 % do total.

As informações dos equipamentos do tipo escavadeiras hidráulicas para dragagem foram obtidas nos cadernos de especificações técnicas dos produtos de uma empresa que comercializa esse tipo de equipamentos. Todas as escavadeiras indicadas como médias e grandes foram analisadas, totalizando 13 equipamentos distintos. Em todos os casos, foram utilizadas as configurações padrão indicadas nos cadernos de especificações.

A análise da viabilidade operacional dos equipamentos levou em consideração o projeto de dragagem, os dados fluviométricos e a especificação dos equipamentos, sendo avaliada a viabilidade de utilização de cada um dos equipamentos em função do seu alcance para escavação.

Para a verificação da viabilidade da utilização do equipamento em função do nível do rio, foram adotadas as seguintes considerações:

- a altura do pontão acima do nível d'agua é de 80 cm;
- a escavação é realizada até o final da tolerância, resultando em uma profundidade de escavação de 3,50 m abaixo do nível de redução;
- o nível de redução junto à estação Porto Mariante é 80 cm;
- o alcance do equipamento é definido pela profundidade máxima de escavação com fundo nivelado de 2,44 m. A utilização da profundidade máxima de escavação como critério de alcance não se mostra viável, uma vez que esta exigiria o reposicionamento constante do comboio de dragagem.

Os resultados foram apresentados em percentual do tempo em que o equipamento teria condições de operar, obtendo-se resultados anuais e mensais, de forma a possibilitar o planejamento das campanhas de dragagem nos meses mais favoráveis.

4 RESULTADOS

Inicialmente, avaliou-se o projeto de dragagem e os dados fluviométricos e, em

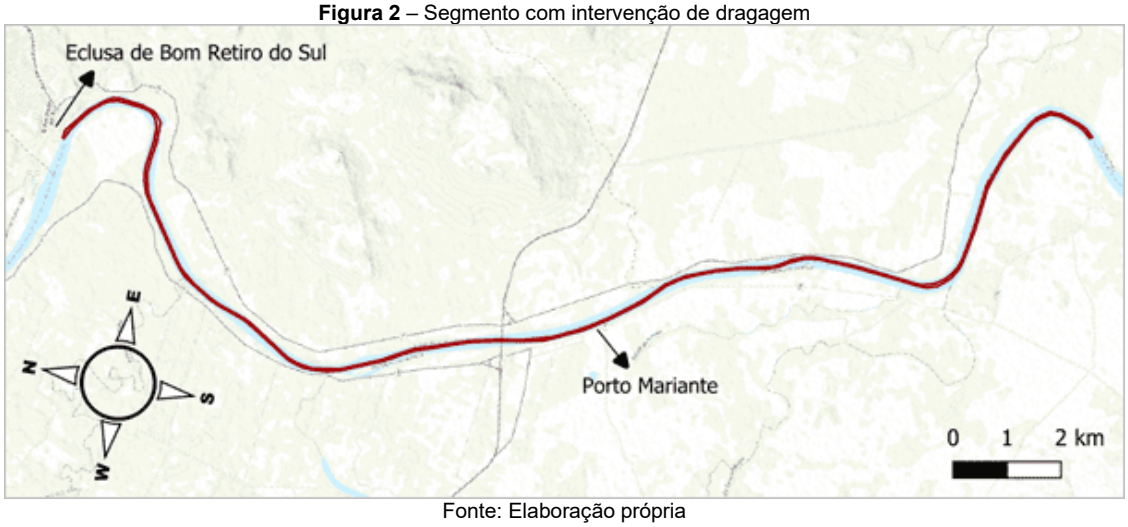
seguida, ocorreu a avaliação da viabilidade dos equipamentos que poderiam ser utilizados para dragagem do Rio Taquari.

4.1 O PROJETO DE DRAGAGEM

O segmento de 25 km da hidrovia do Rio Taquari, no Estado do Rio Grande do Sul, onde é realizada a operação de dragagem, se inicia próximo à cidade de Taquari, no km 96, e termina na Eclusa de Bom Retiro do Sul, no km 121. A Figura 2 indica o local dos serviços.

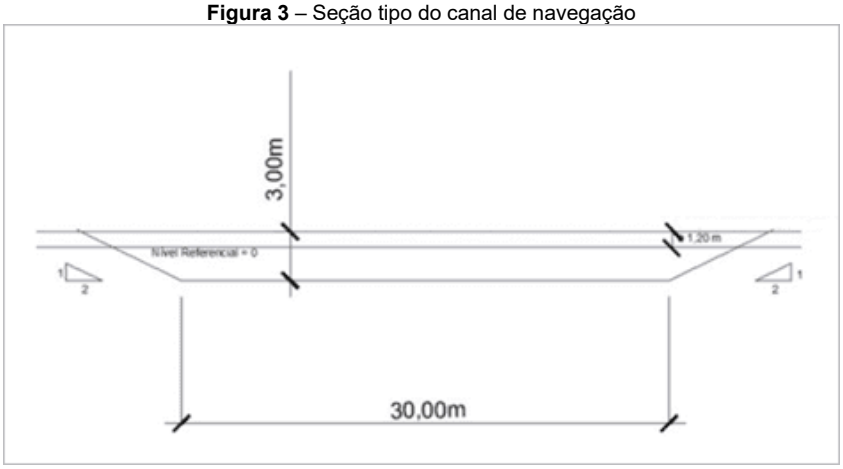
O canal de navegação possui largura de 30 m e taludes com inclinação de 1:2, conforme detalhado na Figura 3. Para garantir a navegação de embarcações com calado de 2,5 m, a profundidade do canal, a partir do nível de redução da hidrovia, totaliza 3 metros, já inclusa a folga (pé de piloto) de 50 cm. Adicionalmente, é permitida a tolerância de mais 50 cm. Nessa condição, a profundidade escavada a partir do nível de redução totaliza 3,5 m.

Figura 2 – Segmento com intervenção de dragagem



Fonte: Elaboração própria

Figura 3 – Seção tipo do canal de navegação



Fonte: Termo de Referência do Edital Pregão Eletrônico n° 0375/2020-10

O nível de redução do canal de navegação varia de 1,20 m, no km 121, até 0,50 m, no km 96. Na localidade da estação fluviométrica de Porto Mariante, objeto desta análise, o nível de redução é 0,80 m.

Conforme consta no caderno técnico de dragagem do DNIT (2022), a atividade de dragagem com escavadeira hidráulica sobre plataforma flutuante envolve a utilização dos seguintes equipamentos: escavadeira hidráulica,

plataforma flutuante, batelão sem propulsão e rebocador.

A composição de custo equivalente no SICRO, código 1901608, para o Estado do Rio Grande do Sul, representada na Figura 4, denominada “Dragagem de material de 1ª categoria com escavadeira hidráulica sobre pontão flutuante - capacidade da caçamba de 1,56 m³ - transporte com batelão sem propulsão com capacidade de 100 t - DMT 300 a 600 m”, especifica a escavadeira código E9515 (Figura 5), descrita como “Escavadeira hidráulica sobre esteiras com caçamba com capacidade de 1,5 m³ - 110 kW”. Todas as demais composições de custos para essa solução utilizam os mesmos equipamentos, havendo variação apenas na distância média de transporte (DMT) para descarga do material dragado.

Figura 4 – Composição de custo 1901608

CGCIT DNIT

SISTEMA DE CUSTOS REFERENCIAIS DE OBRAS - SICRO — Rio Grande do Sul
Custo Unitário de Referência — Janeiro/2023 — Produção da equipe 84,24 m³
1901608 Dragagem de material de 1ª categoria com escavadeira hidráulica sobre pontão flutuante - capacidade da caçamba de 1,56 m³ - transporte com batelão sem propulsão com capacidade de 100 t - DMT 300 a 600 m — Valores em reais (R$)

A - EQUIPAMENTOS	Quantidade	Utilização		Custo Horário		Custo Horário Total
		Operativa	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	
E9057 Batelão sem propulsão com capacidade de 66 m³	2,00000	0,94	0,06	30,2816	27,1845	60,1915
E9009 Embarcação rebocadora - 268 kW	2,00000	0,94	0,06	436,3785	145,7509	837,8817
E9515 Escavadeira hidráulica sobre esteiras com caçamba com capacidade de 1,56 m³ - 118 kW	1,00000	1,00	0,00	324,9592	148,4464	324,9592
E9058 Plataforma flutuante de 12 x 24 x 1,8 m com capacidade de 150 t	1,00000	1,00	0,00	42,8101	33,5471	42,8101
				Custo horário total de equipamentos		1.265,8425

B - MÃO DE OBRA	Quantidade	Unidade	Custo Horário	Custo Horário Total
			Custo horário total de mão de obra	
			Custo horário total de execução	1.265,8425
			Custo unitário de execução	15,0266
			Custo do FIC	-
			Custo do FIT	-

C - MATERIAL	Quantidade	Unidade	Preço Unitário	Custo Unitário
			Custo unitário total de material	

D - ATIVIDADES AUXILIARES	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário
			Custo total de atividades auxiliares	
			Subtotal	15,0266

E - TEMPO FIXO	Código	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Custo Unitário
				Custo unitário total de tempo fixo	

F - MOMENTO DE TRANSPORTE	Quantidade	Unidade	DMT			Custo Unitário
			LN	RP	P	
				Custo unitário total de transporte		
				Custo unitário direto total		15,03

Obs:

Fonte: SICRO (2023)

Figura 5 – E9515 - Escavadeira hidráulica sobre esteira com caçamba com capacidade de1,5 m³ - 110 kW

Finalidade: Escavação de material em obras de terraplenagem ou de saneamento

Dados:

- Capacidade (m³): 1,50
- Largura (m): 2,98
- Comprimento (m): 9,46
- Altura (m): 3,28
- Peso (kg): 24.000,00
- Vida Útil (anos): 5,00
- HTA (h/ano): 2.000,00
- Potência (kW): 110,00
- Valor Residual (%): 30,00
- Coeficiente de Manutenção (K): 0,70
- Coeficiente de Combustível (l/kWh): 0,18
- Tipo de Combustível: Diesel
- Seguro (%): -
- IPVA (%): -
- Operação:
  - 1 Operador de equipamento pesado

Referência: 323 D L - Caterpillar

Fonte: Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes Volume 03 - Equipamentos

A metodologia de execução consiste na remoção do material submerso pela escavadeira posicionada sobre a plataforma flutuante. Simultaneamente à remoção do material, é realizada a carga no batelão. Após o término da carga, o batelão é deslocado pela embarcação rebocadora até o local de descarga, próximo à margem do rio. A descarga é realizada através da

abertura das portas de fundo do batelão. Para garantir a continuidade da operação durante a atividade de descarga, é prevista a utilização de 2 batelões simultaneamente.

4.2 DADOS FLUVIOMÉTRICOS – ESTAÇÃO PORTO MARIANTE

Foram analisados os dados de nível na estação Porto Mariante obtidos no sistema HIDROWEB da ANA. O período analisado foi de 01/11/2002 até 31/10/2022, totalizando 20 anos de dados. Os dados obtidos são apresentados com duas medições diárias, às 07:00 e às 17:00, e como média diária. Na presente análise foram utilizados os dados de média diária.

A Tabela 1 apresenta o resumo dos dados analisados. Foram compilados os níveis médios para cada mês nos 20 anos analisados, assim como os níveis máximos e mínimo medidos. A coluna de quantidade de medições indica o número de dados obtidos para cada mês. A Figura 6 apresenta, graficamente, os valores médios de máximos e mínimos, onde nota-se que o período de agosto a outubro apresentou os maiores picos.

Tabela 1 – Dados fluviométricos (níveis em cm)

Mês	Máximo	Mínimo	Média	Quantidade de medições
Janeiro	1.380,00	61,00	216,22	620
Fevereiro	1.251,00	53,00	196,84	565
Março	1.126,00	63,00	210,75	620
Abril	1.033,00	80,00	210,64	600
Maio	1.282,00	83,00	267,14	620
Junho	1.391,00	108,00	322,32	600
Julho	1.334,00	111,00	372,93	620
Agosto	1.418,00	101,00	308,49	620
Setembro	1.419,00	102,00	361,61	600
Outubro	1.473,00	116,00	363,83	620
Novembro	1.310,00	82,00	296,56	600
Dezembro	1.178,00	65,00	228,04	620
Total Geral	**1.473,00**	**53,00**	**280,04**	**7.305**

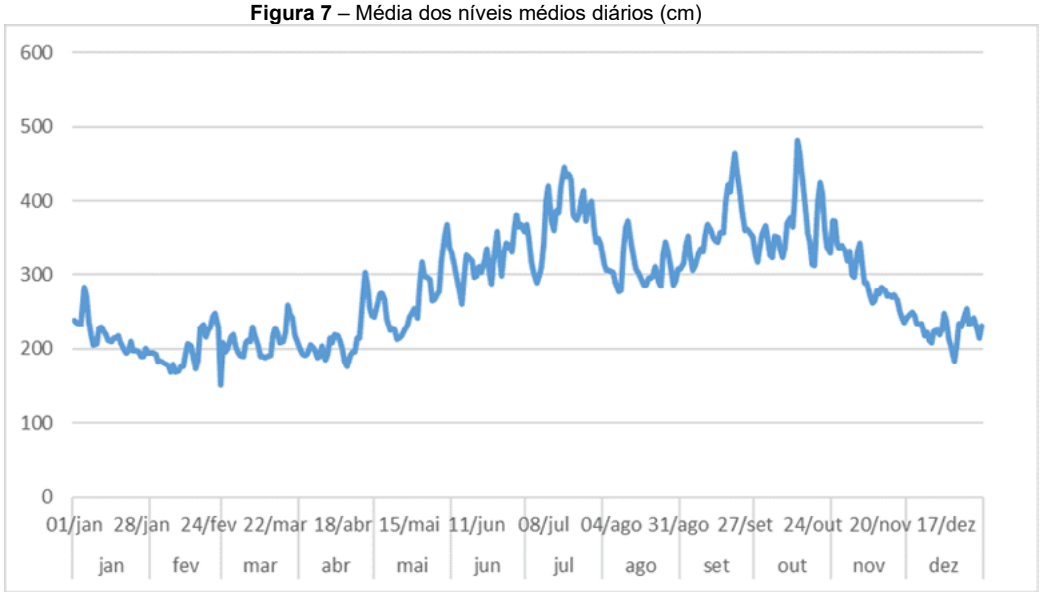
Fonte: Elaboração própria

Figura 6 – Média de Máximos e Mínimos (cm)

Fonte: Elaboração própria

Na Figura 7 foi plotado, com resolução diária, o nível médio para cada dia do ano. É possível observar que os níveis médios começam a se elevar no mês de maio, se mantendo altos durante o inverno e parte da primavera. A tendência de baixa começa no mês de novembro.

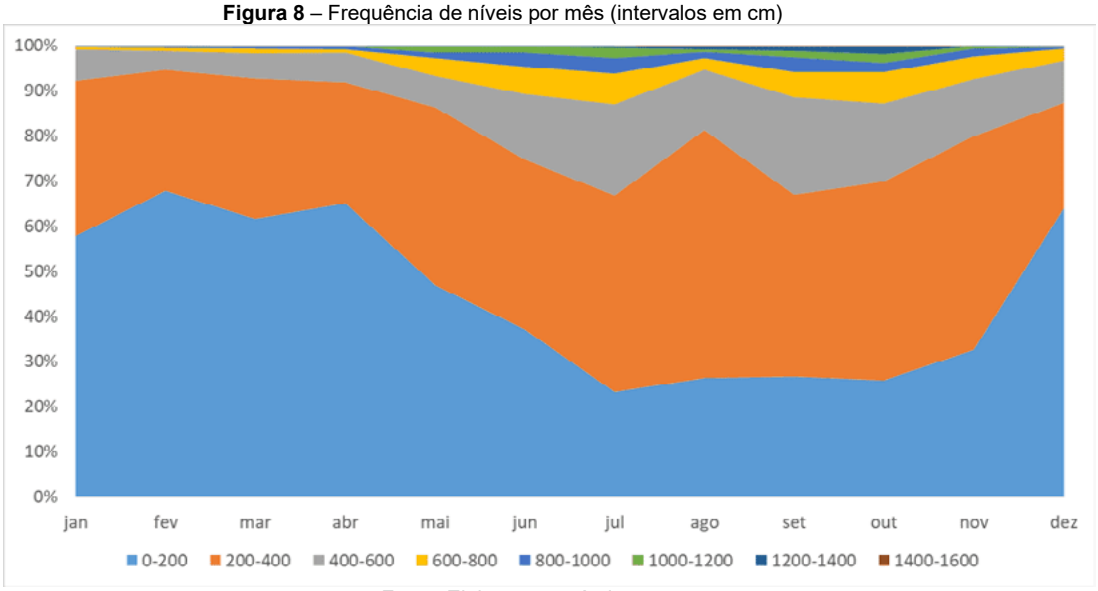
Figura 7 – Média dos níveis médios diários (cm)



Fonte: Elaboração própria

Essa conclusão é confirmada pela Figura 8, que demonstra a frequência dos níveis na estação para cada mês, nos anos analisados. Os níveis foram divididos em faixas de frequência de 200 cm, representadas pelas diferentes cores.

Figura 8 – Frequência de níveis por mês (intervalos em cm)



Fonte: Elaboração própria

4.3 EQUIPAMENTOS ANALISADOS

A amostra contou com 13 escavadeiras, de porte médio e grande, fabricadas pela mesma empresa. As informações foram obtidas dos cadernos técnicos disponibilizados pelo fabricante, sendo sempre adotadas as configurações padrão indicadas. A potência dos equipamentos varia de 107 kW a 404 kW e o peso operacional varia de 20,3 t a 94,1 t.

O resumo dos equipamentos analisados e suas principais especificações constam na Tabela 2, sendo as duas últimas colunas: a profundidade máxima de alcance da escavadeira (Prof. Máx. Esc.) e a profundidade máxima de escavação com fundo nivelado de 2,44 m (Prof. Máx Fund. Niv.).

Tabela 2 – Resumo dos equipamentos analisados

Modelo	**Potência Líquida** (kW)	**Vel. De Giro** (rpm)	**Peso Operacional** (kg)	**Lança** (m)	**Braço** (m)	**Caçamba** (m³)	**Prof. Máx. Esc.** (m)	**Prof. Máx. Fund. Niv. 2,44m** (m)
320 GC	107,00	11,30	20.300,00	5,70	2,90	1,00	6,63	6,46
320 Tier 3	117,00	11,25	21.300,00	5,70	2,90	1,19	6,72	6,55
323 Tier 3	117,00	11,25	24.600,00	5,70	2,90	1,30	6,73	6,56
326	158,00	10,50	25.700,00	9,50	2,95	1,54	6,82	6,65
330 GC	157,80	11,50	28.000,00	6,15	3,20	1,60	7,26	7,10
330 Tier 3	195,00	11,50	31.400,00	6,15	3,20	1,80	7,25	7,09
336	232,00	8,75	35.900,00	6,50	3,20	1,88	7,52	7,36
345 GC	258,00	8,27	42.200,00	6,90	2,90	2,41	7,20	7,04
349	302,00	8,44	47.500,00	6,90	3,35	2,41	7,70	6,95
350	309,00	7,94	47.600,00	6,90	3,35	2,70	7,69	7,55
352	302,20	8,30	49.900,00	6,55	3,00	3,21	7,27	7,12
374 Tier 3	358,00	6,50	74.000,00	7,00	2,87	4,40	7,66	7,08
395 Tier 3	404,00	6,30	94.100,00	7,25	2,92	6,50	7,19	7,05

Fonte: Elaboração própria

Verifica-se que a escavadeira especificada no SICRO possui potência e peso operacional similar aos modelos 320 Tier 3 e 323 Tier 3. Porém, a caçamba de1,5 m³, no modelo do SICRO, é superior em volume aos modelos de equipamentos analisados. Essa diferença no volume da caçamba prejudica a produtividade da operação de dragagem, não sendo adequado para atingir as metas estipuladas no TR. Já o modelo 326 tem peso e caçamba aproximados aos da composição do SICRO, porém, com potência bem superior (158 kW).

4.4 VIABILIDADE DOS EQUIPAMENTOS

Após cruzamento dos dados fluviométricos com as especificações dos equipamentos, foi elaborada a Tabela 3, que indica o percentual de dias, nos 20 anos analisados, nos quais seria viável a execução de dragagem em função do nível do rio. Os dados estão demonstrados por equipamento, para o ano inteiro e para cada mês.

A análise dos dados mostrou que a escavadeira modelo 350 possui a maior disponibilidade em função do alcance para escavação, sendo possível produzir em 82,44% dos dias do ano, chegando a 94,69% dos dias de fevereiro. Porém, trata-se de escavadeira de grande porte, com potência de 309 kW, peso operacional de47,6 t e caçamba de 2,7 m³, muito superior à escavadeira indicada no SICRO.

O segundo equipamento com melhor aproveitamento é o modelo 336, que permite produção em 80,45 % dos dias do ano. Esse equipamento tem potência de 232 kW, peso operacional 35,9 t e caçamba de 1,88 m³, mais próximo ao equipamento indicado no SICRO. Portanto, trata-se de boa alternativa de equipamento para dragagem mecânica do Rio Taquari.

Tabela 3 – Percentual dos dias viáveis para dragagem por equipamento

Modelo	% dos dias operacionais Ano inteiro	jan.	fev.	mar.	abr.	mai.	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.
320 GC	67,73%	78,55%	86,37%	82,26%	82,50%	70,48%	62,00%	44,68%	61,94%	52,00%	51,61%	63,17%	78,55%
320 Tier 3	69,21%	80,48%	87,26%	83,71%	83,00%	72,26%	62,83%	46,13%	63,71%	54,50%	53,06%	65,17%	79,68%
323 Tier 3	69,34%	80,48%	87,43%	83,71%	83,00%	72,26%	62,83%	46,45%	64,19%	54,50%	53,23%	65,33%	79,84%
326	70,64%	81,45%	88,14%	84,68%	83,83%	73,71%	64,50%	48,55%	66,45%	55,50%	54,68%	67,17%	80,16%
330 GC	77,40%	88,55%	92,57%	89,68%	89,17%	81,45%	69,83%	59,84%	74,68%	61,33%	63,39%	75,00%	84,19%
330 Tier 3	77,17%	88,39%	92,57%	89,68%	89,17%	81,29%	69,67%	59,35%	74,52%	61,33%	62,90%	74,17%	83,87%
336	80,45%	91,45%	93,81%	91,45%	90,83%	84,84%	72,17%	64,84%	78,87%	65,00%	67,90%	78,67%	86,29%
345 GC	76,43%	87,74%	91,68%	89,19%	88,83%	80,81%	69,17%	58,06%	73,23%	60,17%	62,26%	73,33%	83,55%
349	75,35%	86,29%	91,33%	87,90%	88,17%	79,35%	67,83%	56,77%	72,58%	59,83%	60,81%	71,33%	82,90%
350	82,44%	92,58%	94,69%	92,74%	91,83%	86,61%	75,17%	67,42%	82,26%	67,83%	70,48%	80,67%	87,58%
352	77,75%	88,87%	92,57%	89,84%	89,50%	81,61%	70,17%	60,48%	75,65%	61,67%	63,39%	75,83%	84,35%
374 Tier 3	77,07%	88,39%	92,57%	89,52%	89,17%	81,29%	69,67%	59,19%	74,35%	61,17%	62,90%	73,83%	83,71%
395 Tier 3	76,61%	87,90%	91,86%	89,35%	88,83%	81,13%	69,50%	58,06%	73,87%	60,50%	62,26%	73,33%	83,55%

Fonte: Elaboração própria

O equipamento indicado na composição do SICRO, similar aos modelos 320 Tier 3 e 323 Tier 3, possui aproveitamento em apenas 69% dos dias do ano. Desta forma, o equipamento não é o mais adequado para esta atividade. O modelo 326 apresentou 70,64% de aproveitamento, sendo o período entre junho a novembro o mais crítico. Portanto, estes 3 modelos (320 Tier 3, 323 Tier 3 e 326) têm baixa produtividade, visto que os 5 meses do ano anteriormente referenciados apresentam os maiores picos da água, o que impossibilita a operação de dragagem pelo tipo de equipamento escolhido.

4.5 FATOR DE EFICIÊNCIA DO COMBOIO DE DRAGAGEM

A metodologia de cálculo da produtividade da atividade é definida pelo DNIT (2022) no Caderno Técnico de Dragagem do SICRO. Este indica que o fator de eficiência da escavadeira hidráulica sobre plataforma flutuante é igual a 0,75, utilizado em todas as composições deste tipo de serviço.

O fator de eficiência é definido no SICRO como sendo a "relação entre o tempo de produção efetiva e o tempo de produção nominal de determinado equipamento". Esse fator contempla os tempos em que o equipamento não está efetivamente produzindo, como quando há deslocamento das equipes, preparação das máquinas, atividades de manutenção, entre outros.

Ocorre que, conforme verificado neste estudo, levando em consideração apenas a indisponibilidade das atividades em função do nível do rio, para o equipamento referencial da composição de custo, o tempo disponível para dragagem é em torno de 69%, sendo que os meses mais críticos de julho, setembro e outubro apresentam tempo útil abaixo de 55%. Deve-se considerar, ainda, os tempos de deslocamento entre pontos críticos, posicionamento do comboio, manutenção dos equipamentos e outros fatores similares, o que reduziria o fator de eficiência ainda mais, mas resultaria em um fator de eficiência mais coerente com a operação que está sendo realizada.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou que, para o caso específico da dragagem com escavadeira do Rio

Taquari, a utilização de escavadeira com capacidade de escavação até 7,36 m em fundo nivelado é adequada. A utilização de equipamento de menor porte, similar ao adotado na composição do SICRO, se demonstrou ineficiente devido ao elevado número de dias nos quais não seria possível a execução dos serviços.

Adicionalmente, verificou-se que o fator de eficiência adotado no SICRO (0,75) está superestimado, o que resulta em produtividade superior àquela que poderá ser obtida em campo e, consequentemente, custos estimados inferiores aos reais. Essa consequência é ainda mais relevante se considerado o equipamento de menor porte adotado por padrão na composição do SICRO. Dessa forma, conclui-se que é necessária a alteração do fator de eficiência do comboio de dragagem para adequação às condições específicas do Rio Taquari, sendo também necessário verificar a eficiência do serviço em função do tamanho da caçamba.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Sistema Hidroweb v3.2.7.** Site ANA. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas. Acesso em: 02 maio 2023.

BOMBASSARO, M.; ROBAINA, L. E. de S. **Contribuição Geográfica para o Estudo das Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS**. Revista Geografias. Belo Horizonte - MG, 2010.

COLLISCHONN, W.; FAN, F. M.; FLEISCHMANN, A. S.; MORAES, S. R.; GIACOMELLI, L. V. Z.; SIQUEIRA, V. A. **ANÁLISE DA ANTECEDÊNCIA MÍNIMA NECESSÁRIA PARA PREVISÕES DE INUNDAÇÕES EM LAJEADO NO RIO TAQUARI (RS).** In: II Encontro Nacional de Desastres (II END), 2020, Rio de Janeiro. Anais do II Encontro Nacional de Desastres (II END). Porto Alegre - RS: ABRHidro, 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT (2022). **Sistema de Custos Referenciais de Obras – SICRO. Caderno Técnico Dragagem**. Site DNIT. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/ planejamento-e-pesquisa/custos-e-pagamentos/custos-e-pagamentos-dnit/sistemas-de-custos/sicro/cadernos-tecnicos/g19-dragagem-1.zip. Acesso em: 01 maio 2023.

ECKHARDT, R. R. HAETINGER, C. SALDANHA, D. L. FERREIRA, E. R. FAVA E SILVA, J. DIEFRICH, V. L. **Previsão e Mapeamento da Área Urbana Inundável na Cidade de Lajeado - RS – Brasil**. In: *VI International Conference on Engineering and Computer Education* (ICECE), Buenos Aires, Argentina, 2009.

GOES FILHO, H. A. **Planejamento de Dragagem**. In: Boletim Técnico da Associação Latino-Americana de Dragagem, n. 2, p. 9-20, dez. 1979.

LF AMBIENTAL. **Escavadeiras Braço Longo**. In: LF Ambiental. Disponível em: https://www.lfambiental.com.br/ locacao/escavadeiras-braco-longo. Acesso em: 23 maio 2023.

MORAES, S. R. **Mapeamento das áreas e edificações atingidas pelas inundações do Rio Taquari na área urbana do município de Lajeado/RS**. 2015. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, Rio Grande do Sul, 2015.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – SEMA/RS. **Dados Gerais das Bacias - G040 - Rio Taquari-Antas**. Disponível em: https://www.sema.rs.gov.br/g040-bh-taquari-antas. Acesso em: 01 maio 2023.