



Estimativa do custo de implantação de barragem de saneamento e sistema de adução: uma previsão para o abastecimento público de Caxias do Sul, RS

**Gabrieli Rasteli Policena¹, Rossano Belladona², Stefano Ballardin³,
Volnei Dal Bosco⁴, Tiago De Vargas⁵**

¹ Universidade de Caxias do Sul (grpolicena@ucs.br)

² Serviço Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul (rbelladona@samaecaxias.com.br)

³ Universidade de Caxias do Sul (sballardin@ucs.br)

⁴ Serviço Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul (vdalbosco@samaecaxias.com.br)

⁵ Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH-UFRGS) Porto Alegre (tiago.devargas@ufrgs.br)

Resumo

O conhecimento prévio dos custos de obras nos mananciais é fundamental para o planejamento do abastecimento público urbano. Em regiões onde não existem rios caudalosos, o barramento de pequenos córregos tem sido uma solução para a regularização das vazões. Este estudo tem por objetivo apresentar um método para estimar os custos de capital para a implantação de barragem de saneamento e sistema de adução. Para tanto, foram utilizadas equações para estimação de custos de construção de barragem de terra, de concreto compactado a rolo (CCR) e de concreto convencional vibrado (CCV), bem como modelo bibliográfico para a estimativa do custo de estação de bombeamento, de rede adutora até a estação de tratamento de água e do custo de desapropriação de áreas para a implantação do lago formado por barramento. Os resultados mostraram que a obra em CCR pode ser até 46,9% mais custosa que em terra, enquanto que em CCV essa diferença aumenta para 132,7%. A estimativa dos custos sociais, ambientais e outros custos econômicos ainda é uma lacuna que necessita ser preenchida e merece mais estudo.

Palavras-chave: Barragem de terra. Barragem de CCR. Barragem de CCV.

Área Temática: Recursos hídricos.

Cost estimate for the construction of water supply dams and pipeline: a prevision for the public supply of Caxias do Sul, RS

Abstract

Previously knowing construction cost in water sources is essential for an appropriate urban supply planning. Regions lacking big rivers require the damming of small streams to regulate flows. This study presents an approach to estimate the capital costs for the implementation of a water supply dam and the pipeline system. In order to accomplish this objective, equations were used to estimate the construction costs of earth dams, roller compacted concrete (RCC) and conventional vibrated concrete (CVC). A bibliographic model was used to estimate the cost of the pumping station, the pipeline until the water treatment plant and the cost of expropriating areas for the implementation of the lake formed by the damming of the creek. The results showed that the construction in RCC can be up to 46.9% more expensive than the one in earth, while in CVC this difference increases to 132.7%. The estimation of social, environmental and other economic costs is still a gap that needs to be filled and deserves further studies.

Keywords: Earth dam. RCC dam. CVC dam.

Theme Area: Water resources.



1. Introdução

A água tem importância fundamental para a sustentabilidade de todos os ecossistemas, sendo essa um direito do homem, essencial para a vida (UN, 2010). Portanto, garantir à população o acesso à água com qualidade e quantidade suficiente é um requisito básico. Para tal, uma unidade político-administrativa tem o desafio de planejar e gerir os recursos hídricos disponíveis (UN Water, 2020) e que são utilizados para o abastecimento público, uma vez que a redução da disponibilidade hídrica, associada principalmente às mudanças climáticas e projeções crescentes de consumo, é esperada no futuro (Pereira et al., 2020).

Diante de uma situação de aumento na demanda da água, deve-se investir, entre outras coisas, em estratégias que possibilitem o aumento na exploração dos mananciais existentes ou criação de um novo manancial, como por exemplo, a construção de um novo reservatório por meio de barramento de cursos d'água. A captação da água bruta pode ser realizada através de mananciais superficiais (córregos, ribeirões, rios ou lagos) ou em mananciais subterrâneos (aquíferos) (Tsutiya, 2006). As curvas cota-área-volume exercem um papel muito importante na seleção e na tomada de decisões desses empreendimentos, pois constituem instrumentos que permitem definir a altura das barragens e estimar a área dos reservatórios (Silveira e Cruz, 2005). Essas curvas ainda permitem estabelecer as regras operacionais dos reservatórios que, por sua vez, nem sempre estão em escala adequada (Filho et al., 2003).

A implementação de obras para ajustara oferta de água às crescentes demandas, gerará custos consideráveis ao órgão gestor. A construção de uma nova barragem para abastecimento público, além das alterações no meio ambiente, é uma obra onerosa, podendo impor um grande esforço administrativo em conseguir os financiamentos para sua execução. Portanto, previamente ao início de tais obras adaptativas no abastecimento, é fundamental a quantificação dos custos, o que tende a ser um grande desafio para o tomador de decisão.

Diante deste cenário e considerando a dificuldade de identificar referencial bibliográfico neste âmbito, o presente estudo tem por objetivo apresentar um método para contribuir na obtenção de uma estimativa de custos de capital para obra de barramento em arroio, considerando todos os custos para captação da água bruta (não incluindo tratamento). Ainda, objetiva-se elaborar a curva cota-área-volume para o lago do barramento estimado. Para ilustrar a aplicação do método, um estudo de caso foi elaborado na bacia hidrográfica do arroio Piaí, pertencente ao município de Caxias do Sul, RS, local caracterizado por uma geomorfologia que não permite a existência de rios caudalosos.

2. Área de estudo

Nos últimos anos o município de Caxias do Sul (Figura 1b), RS, vem crescendo, passando de 435.564 habitantes em 2010 (IBGE, 2010) para 503.068 em 2022 (IBGE, 2022), aumentando a demanda por água potável e fazendo com que seja necessária a avaliação da expansão da oferta para garantir o abastecimento. As bacias hidrográficas cuja água está prevista para o abastecimento público do município estão definidas em legislação (Caxias do Sul, 2005), onde são mapeadas nove bacias. As maiores dessas bacias hidrográficas estão localizadas em área rural do município e drenam pequenas linhas d'água (Belladonna e De Vargas, 2017).

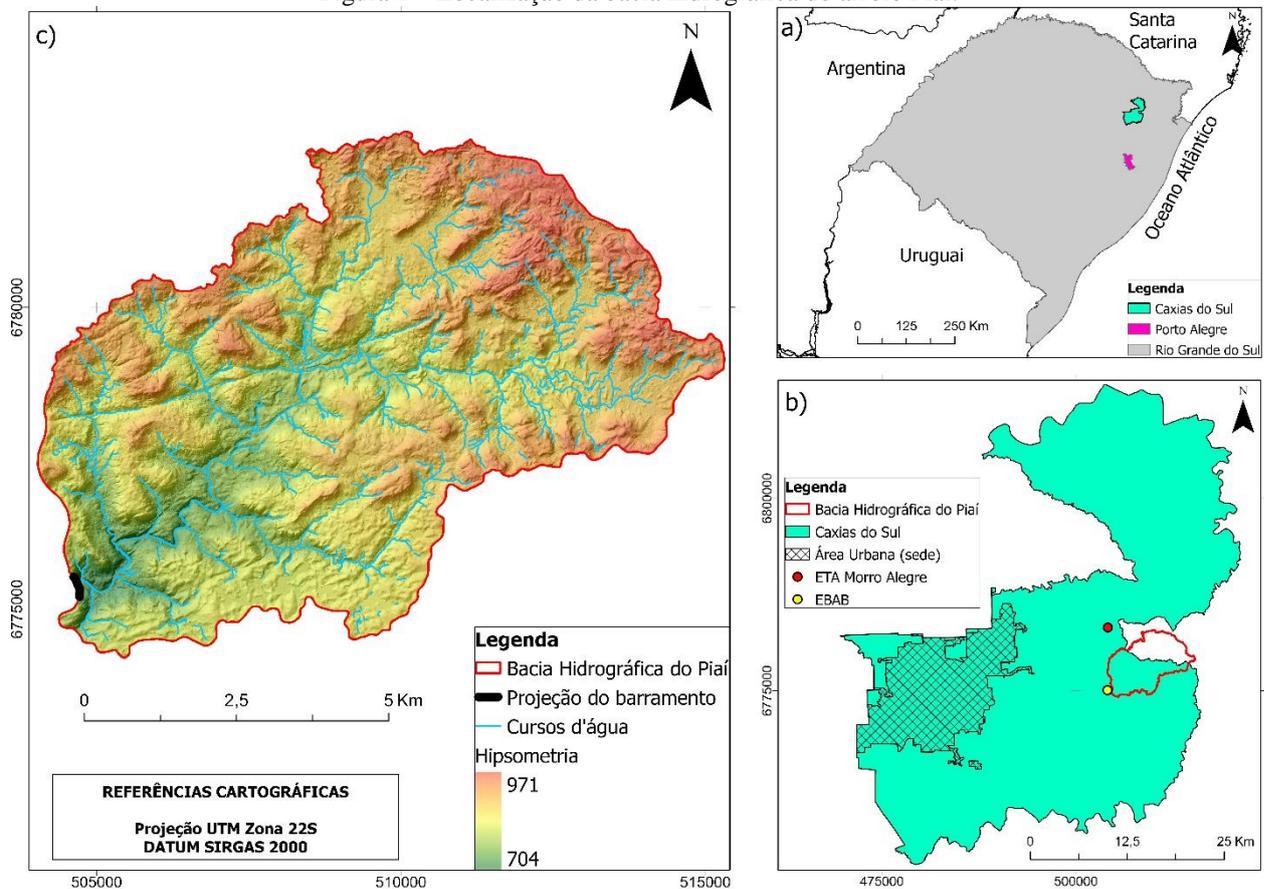
Dentre estas nove bacias, três (Piaí, Sepultura e Mulada) constam como reserva hídrica, visando a segurança hídrica para o abastecimento de Caxias do Sul, porém não possuem barramento ou ponto de captação. Muito embora a legislação preveja a localização dos respectivos barramentos, não há uma estimativa do custo de implantação da barragem no arroio Piaí, do respectivo sistema de adução da água bruta até uma estação de tratamento de água e dos valores



referentes às desapropriações de áreas que seriam comprometidas com o lago formado pelo barramento.

A bacia hidrográfica do arroio Piaí se encontra na Região Geomorfológica Planalto das Araucárias, nas Unidades Geomorfológicas Planalto dos Campos Gerais e da Serra Geral (IBGE, 1986), situando-se parte sobre o município de São Francisco de Paula e parte sobre o município de Caxias do Sul, onde está seu exutório (Figuras 1b e 1c). A altimetria máxima da bacia é observada no divisor de águas, apresentando cota próxima aos 970 metros de altitude, enquanto que a mínima é verificada no exutório em 704 metros, resultando em uma declividade de 23,6 m/km. A bacia tem uma área de 58,55 km² e o perímetro de 39,20 km. De acordo com a classificação automática feita a partir de imagem de satélite (Sentinel-2) para o ano 2022, o uso e ocupação do solo da área consiste em 45% de campo, 35% de mata, 18% de agricultura, 1,75% de urbanização e 0,25% de açudes.

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do arroio Piaí.



Fonte: Os autores (2023).

3. Material e métodos

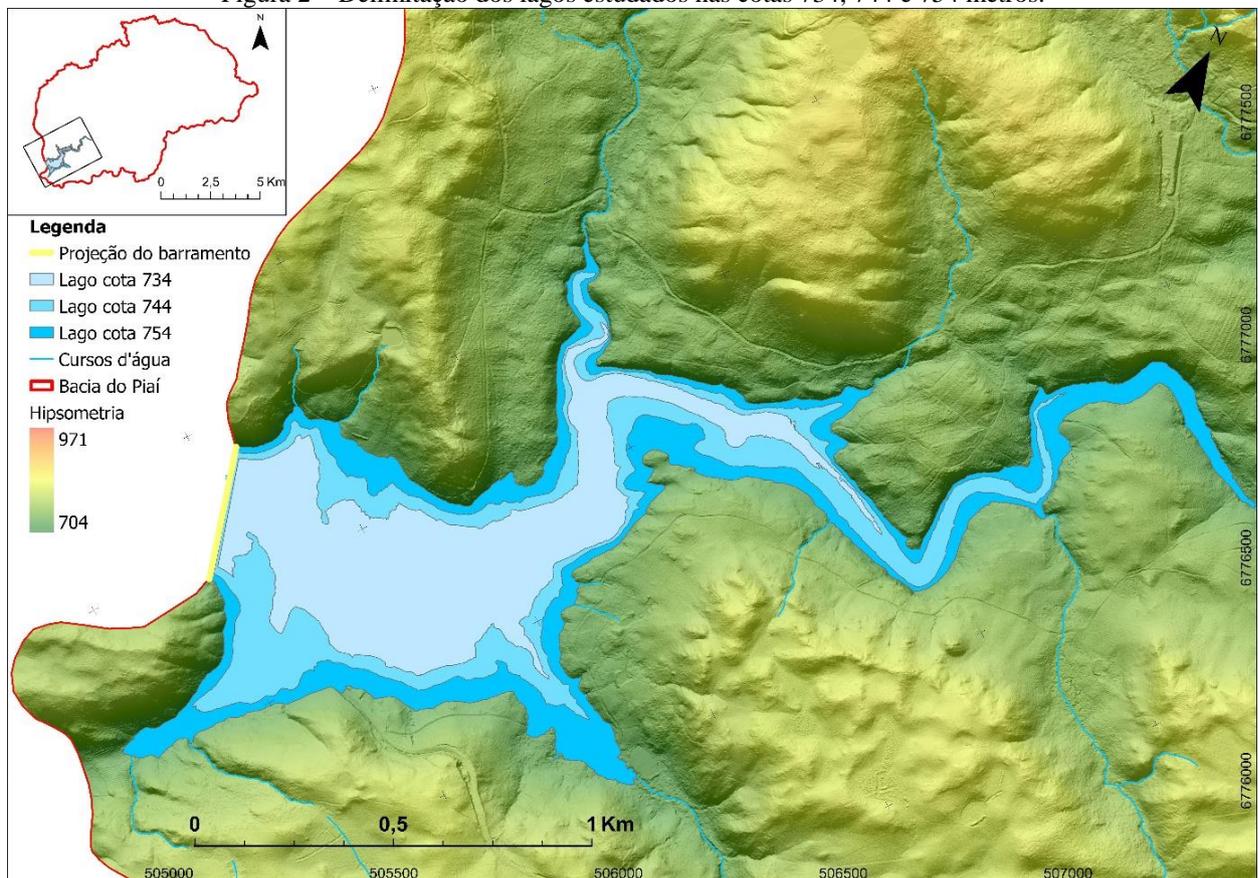
A análise geoespacial da bacia foi o primeiro passo para o trabalho. Para compor o método de estimação do custo de implantação de três tipos distintos de barramento, utilizou-se o Modelo Digital de Elevação (MDE) da bacia hidrográfica do arroio Piaí, cujos dados foram coletados por Light Detection And Ranging (LiDAR) obtido pelo Sistema Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE), de Caxias do Sul, no ano de 2022. Levando em consideração as características geomorfológicas da bacia, foram simuladas três cotas de alague (734, 744 e 754 metros), que delimitam três lagos (Figura 2). Para barrar o arroio ao seu respectivo nível de alague, este estudo simulou uma barragem com cinco metros de borda livre e uma escavação de cinco metros abaixo da cota do exutório (704 m), originando alturas dos maciços de 40, 50 e 60 metros de altura.



Para definir a largura da crista das barragens formadas por cada uma das cotas de alague simuladas, foi considerado o perfil transversal do terreno (Figura 3) no local do exutório, junto ao limite da bacia. Através do ArcGIS Pro foram geradas curvas de nível com a ferramenta *Contour*. Conforme a cota de alague, usou-se a ferramenta *Surface Volume* para definir os valores de área e de volume, gerando-se, assim, a respectiva curva cota-área-volume.

Para a quantificação dos valores do custo de capital das barragens em cada cota, foram considerados três tipos de material de construção: (1) terra, (2) concreto compactado a rolo (CCR) e (3) concreto convencional vibrado (CCV). O custo da propriedade, em eventual desapropriação, foi considerado para todas as áreas de alague e respectivos 100 metros a partir da margem dos reservatórios, correspondendo às futuras áreas de preservação permanente (APPs). Por fim, os custos com a construção da estação de bombeamento da água bruta (EBAB) e do sistema de adução até a Estação de Tratamento de Água (ETA) Morro Alegre são também estimados. A ETA Morro Alegre, que integra o sistema existente de abastecimento de Caxias do Sul, trata água do arroio Marrecas e possui espaço para receber água bruta de outro manancial.

Figura 2 – Delimitação dos lagos estudados nas cotas 734, 744 e 754 metros.



Fonte: Os autores (2023).

3.1. Estimativa do custo dos maciços

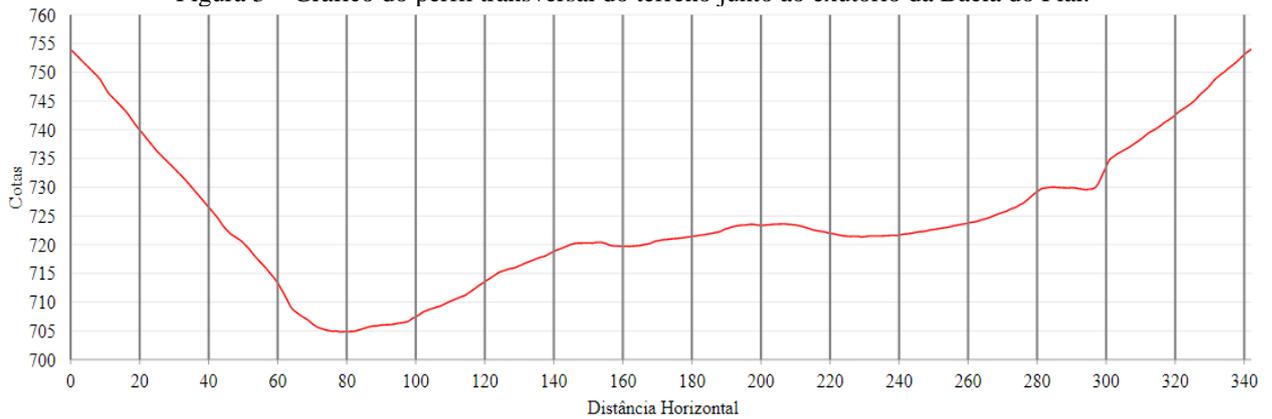
Barragens de terra e de concreto são barragens convencionais amplamente utilizadas, cujo mecanismo é de amplo conhecimento na literatura especializada (Costa, 2012). Devido a isso, os custos foram estimados para barramentos de terra, CCR e CCV. Para estimar o custo dos maciços dos barramentos, foram utilizados as Equações 1 (Terra), 2 (CCR) e 3 (CCV), conforme proposto por (Silveira e Cruz, 2005).



7º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 9 a 11 de maio de 2023

Figura 3 – Gráfico do perfil transversal do terreno junto ao exutório da Bacia do Piaí.



Fonte: Os autores (2023)

$$C = 0,4417 \times H^{1,12} \quad (1)$$

$$C = 0,104 \times H^{1,655} \quad (2)$$

$$C = 0,1398 \times H^{1,703} \quad (3)$$

Onde, C = custo (x 1.000 USD, cotação de 1997) por metro de crista e H = altura média do maciço (m). A altura média foi obtida pela média aritmética das alturas medidas a partir do terreno, equidistantes de 20 metros, até a cota de alague. Os custos foram todos corrigidos para 2022 pela inflação do dólar americano no período de 1997 a 2022 (BLS, 2023).

3.2. Estimativa do custo da EBAB

Para estimação do custo da EBAB, utilizou-se como base a metodologia proposta por (Marzouk e Omar, 2011). O método baseia-se na técnica de agrupamento *fuzzy*, onde os principais componentes do custo são identificados utilizando regressão por etapas, sendo os dados calibrados e posteriormente submetidos a uma análise de sensibilidade. A Tabela 1 resume os valores estimados pelo método e demonstra os custos de EBABs para distintas capacidades de recalque.

Tabela 1 – Valores estimados previstos para EBABs de diferentes capacidades.

População (x1000)	Capacidade (L.s ⁻¹)	Custo (Milhões USD)
65	1.500	1,75
179	2.400	4,61
303	4.167	5,01
525	900	2,95
750	4.167	6,88
8	602	1,58
303	4.167	2,90
304	2.100	3,01
242	160	1,01

Valores corrigidos para 2022 pela inflação do dólar americano no período de 2011 a 2022 (BLS, 2023).

Fonte: Modificado de Marzouk & Omar (2011).

Como não há estudo hidrológico detalhado para quantificar a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica formada a montante do local designado para os barramentos, considerou-se 635 L.s⁻¹ (ou 54600 m³.d⁻¹) como a vazão a ser recalçada. Essa vazão corresponde à Q₅₀ (Pozzebon et



al., 2021) da bacia do Piaí. A estimativa do custo da EBAB foi realizada a partir da média da capacidade e do custo (Tabela 1).

3.3. Estimativa do custo da tubulação de adução

Para estimar o custo da rede de adução, considerou-se a distância entre a EBAB e a ETA Morro Alegre (Figura 1b). O traçado da adutora foi considerado sob as vias existentes que ligam os dois locais, resultando em 12,15 km. EMBASA (2017) foi utilizada como referência para a estimação dos custos de uma adutora DN1000. Optou-se por considerar DN1000 devido à similaridade com o sistema Marrecas (Caxias do Sul, 2005), em operação no município desde 2013, cuja adutora é DN1000. Agregou-se ao preço da tubulação o Benefícios e Despesas Indiretas (BDI), também obtido de EMBASA (2017), com acréscimo de 18,81% no valor dos tubos. A tubulação considerada foi a do modelo TK9 JGS PB FoFo de 374 kg. O metro da tubulação com BDI era de R\$ 2.847,52 em 2017 (EMBASA, 2017). Atualizando o valor de acordo com a calculadora do cidadão (BCB, 2023) para o ano de 2022 obteve-se o valor de R\$ 3.742,38.

3.4. Estimativa do custo da desapropriação de áreas

A estimação do custo total da compra de glebas para a formação do lago partiu da premissa de que deverá ser, minimamente, adquirida toda a área alagada e sua respectiva APP. No caso do município de Caxias do Sul, os reservatórios públicos de acumulação, devem possuir uma APP de 100 metros (Caxias do Sul, 2005).

Usando a ferramenta *buffer* do ArcMap 10.8.1 é possível verificar a área alagada na cota desejada e também a extensão de sua APP. Com os dados da área necessária para a implantação do projeto, podemos calcular o valor do terreno que seria comprado para cada cota alagada. O valor de referência para terra nua (VTN) para áreas rurais (Caxias do Sul, 2022) foi utilizado para a quantificação do custo de desapropriação. O VTN considerado foi de R\$ 27.500,00 por hectare, que corresponde às glebas de boa aptidão para o cultivo agrícola.

4. Resultados e discussão

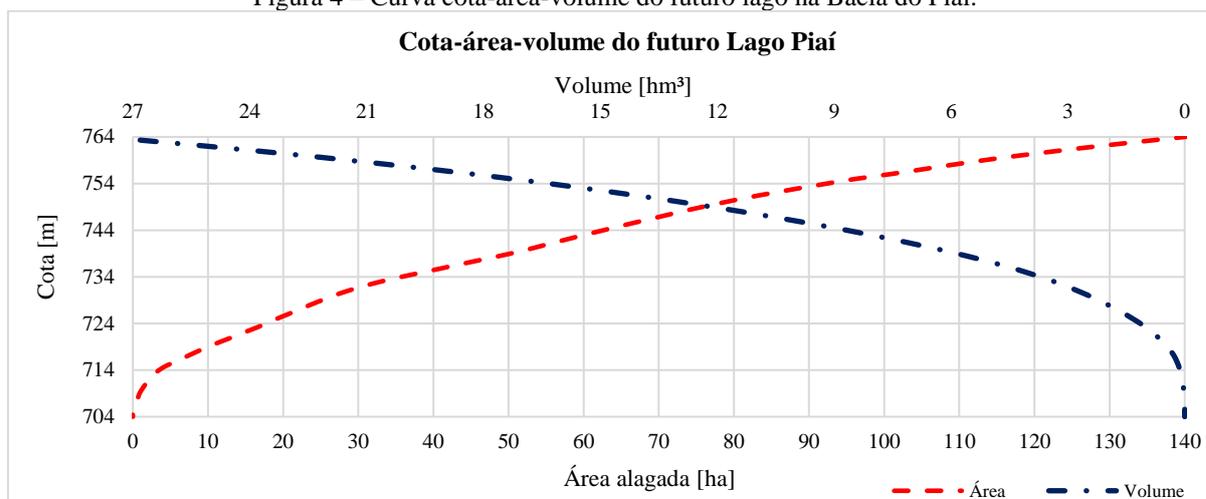
4.1. Curva cota-área-volume

A Figura 4 demonstra o comportamento do volume e da área a ser alagada pelo futuro reservatório no local apresentado na Figura 2, na Bacia do Piaí. As condições geomorfológicas do entorno do local condicionam o lago nas cotas mais próximas do fundo. Nos primeiros 20 metros, o reservatório acumula um volume muito pequeno (1,14 hm³), fato que pode desestimular o tomador de decisão em executar a obra até esta cota. Entretanto, entre as cotas 734 e 754 metros, o futuro reservatório passa de 3,71 para 16,32 hm³. Estas últimas cotas são aquelas que podem atrair a execução da obra. Por outro lado, cotas acima disto, fazem com que a área de alagade aumente consideravelmente.

A área de alagade, até os 20 metros iniciais de altura do maciço atinge 17,77 ha. Entre as cotas 734 e 754 m, a área passa de 35,75 ha para 92,38 ha, respectivamente. Nos últimos 10 metros que integram este estudo (cota 764 m), a área de alagade passa de 92,38 ha para 140 ha (Figura 4). Este aumento de aproximadamente 34% nestes últimos 10 metros pode ser outra variável a desestimular o tomador de decisão a construir uma barragem que alagade toda essa área, pois além do custo de desapropriação aumentar, as compensações ambientais também crescem.



Figura 4 – Curva cota-área-volume do futuro lago na Bacia do Piaí.



Fonte: Os autores (2023)

4.2. Custos estimados

Os custos parciais estimados são demonstrados na Tabela 2 e estão apresentados em função da cota de alague, muito embora a altura dos maciços avança cinco metros acima dessa cota e cinco metros abaixo da cota de fundo (704 metros). A Tabela 3 resume o custo total para cada tipo de barragem, abrangendo o custo do maciço, da EBAB, o sistema de adução DN1000 e as desapropriações de glebas para a implantação do projeto.

Tabela 2 – Custos parciais em função das características do local estudado e da obra.

Variável avaliada	Cota de alague		
	734 (m)	744 (m)	754 (m)
Cota de fundo (m)	704	704	704
Cota da crista dos maciços (m)	739	749	759
Altura dos maciços (m)	44	54	64
Profundidade máxima (m)	30	40	50
Comprimento da crista (m)	280	313	342
Área de alague (ha)	35,7	62,6	92,4
Volume do reservatório (hm³)	3,7	8,7	16,3
Área de alague + 100 m de APP (ha)	55,4	98,1	148,3
Custo do barramento de terra (USD)	8,78	12,72	19,86
Custo do barramento de CCR (USD)	11,16	18,52	29,17
Custo do barramento de CCV (USD)	17,46	29,31	46,22
Custo de desapropriação de áreas (USD)	2,82	5,01	7,56
Custo da EBAB (USD)	0,93	0,93	0,93
Custo de rede de adução (USD)	8,43	8,43	8,43

Custos expressos em milhões de dólares americanos (USD).

Fonte: Os autores (2023).

Os resultados apresentados na Tabela 3 evidenciam que a obra avaliada neste estudo é mais onerosa quanto opta-se por um maciço de CCV. Em comparação com um sistema onde se utilizava o modelo de maciço de terra, que apresenta os menores custos, o projeto em CCV é de 47,8% a 71,7% mais caro. Isso se deve ao fato de que somente o custo do barramento de CCV é de 98,9% a 132,7% mais elevado do que o de terra. Ao avaliar o projeto com um maciço em CCR, a obra é 27,1% a 46,9% mais custosa do que com a opção de barragem de terra.



7º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 9 a 11 de maio de 2023

Tabela 3 – Custos totais da obra em função do tipo de barragem.

Variável avaliada	Altura do maciço		
	44 (m)	54 (m)	64 (m)
Barragem de terra	18,14	27,09	36,78
Barragem de CCR	20,52	32,89	46,09
Barragem de CCV	26,82	43,68	63,14

A composição do custo total considerada o valor dos maciços, da EBAB, da rede adutora e as desapropriações.

Custos expressos em milhões de dólares americanos (USD).

Fonte: Os autores (2023).

5. Conclusões

O presente estudo apresentou um método para estimar os custos de capital para obra de barragem de saneamento, considerando o custo do barramento, da estação de bombeamento da água bruta, da rede adutora e os custos com as compras de áreas. O custo da estação de tratamento de água não foi considerado e não integra este artigo. O método foi testado em bacia hidrográfica designada como reserva hídrica para o abastecimento público futuro do Município de Caxias do Sul, denominada Bacia do arroio Piaí. Também foi elaborada a respectiva curva cota-área-volume.

Considerando as estimativas dos custos elaboradas neste estudo, as obras em barragem de terra são menos onerosas que as barragens de concreto, tanto em CCR quanto em CCV.

Este estudo é puramente focado na estimativa dos custos financeiros que estão relacionados ao manancial e recalque, não levando em consideração os custos sociais, ambientais e outros custos econômicos. Diante disso, recomenda-se a realização de quantificação prévia dos demais custos para que a tomada de decisão seja mais precisa. Além disso, quando de posse do projeto básico para a obra, os orçamentos poderão refinar os valores apresentados neste estudo.

6. Referências

- BCB, (Banco Central do Brasil), 2023. Calculadora do Cidadão, Correção de Valores [WWW Document]. URL <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADA0/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores> (accessed 1.23.23).
- Belladonna, R., De Vargas, T., 2017. Space-time Precipitation Distribution and the Relevance of the Orography of Caxias do Sul, Brazil. *Rev. Bras. Cartogr.* 69/3, 607–620.
- BLS, (Bureau of Labor Statistics), 2023. CPI inflation calculator [WWW Document]. URL <https://www.bls.gov/> (accessed 1.18.23).
- Caxias do Sul, 2022. Valor de Terra Nua Para Caxias do Sul, RS [WWW Document]. URL <https://caxias.rs.gov.br/servicos/receita/valor-da-terra-nua> (accessed 1.5.23).
- Caxias do Sul, 2005. Lei Complementar nº 246, de 6 de dezembro de 2005.
- Costa, W.D., 2012. Geologia de barragens. Oficina de Textos, São Paulo.
- EMBASA, (Empresa Baiana de Águas e Saneamento), 2017. Tabela de preços para materiais de expansão [WWW Document]. URL chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://www.embasa.ba.gov.br/images/Servicos/Fornecedores/tabeladeprecos/2017/Desonerada/tabeladeprecos/20180806_TAB_DesoneradaMateriaisR0.pdf (accessed 1.13.23).
- Filho, C.R.R.C., Albertin, L.L., Mauad, F.F., 2003. Determinação dos polinômios cota x área x volume utilizando a sonda acoustic Doppler Profiler no reservatório de Barra Bonita, SP. *Minerva* 2, 79–90.



7º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente

Bento Gonçalves – RS, Brasil, 9 a 11 de maio de 2023

IBGE, (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2022. Prévia da população dos municípios com base nos dados do Censo Demográfico 2022 [WWW Document]. URL <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/saude/22827-censo-demografico-2022.html?=&t=resultados> (accessed 1.31.23).

IBGE, (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2010. Censo brasileiro de 2010 [WWW Document]. URL <https://censo2010.ibge.gov.br/> (accessed 1.31.23).

IBGE, (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 1986. Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Proj. Radambras. Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI. 22 33, 791 p.

Marzouk, M., Omar, M., 2011. Conceptual cost estimation of pump stations projects using fuzzy clustering, in: 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. Seoul, Korea. <https://doi.org/10.22260/ISARC2011/0054>

Pereira, V.R., Rodriguez, D.A., Coutinho, S.M. V., Santos, D. V., Marengo, J.A., 2020. Oportunidades de adaptação para a segurança hídrica no Brasil. *Sustain. Debate* v. 11, n.3, 106–121.

Pozzebon, G.R., Belladonna, R., Bortolin, T.A., Vargas, T. De, 2021. Utilização do modelo hierárquico para obtenção de curvas de permanência e Qmlp: o caso das bacias de captação do município de Caxias do Sul-RS. XXIV SBRH - Simpósio Bras. Recur. Hídricos 1–10.

Silveira, G.L. da, Cruz, J.C., 2005. Seleção ambiental de barragens: análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica. Editora UFSM, Santa Maria.

Tsutiya, M.T., 2006. Abastecimento de água, 2ª. ed. São Paulo.

UN, (United Nations), 2010. The human right to water and sanitation [WWW Document]. Gen. Assem. Resolut. 64/292.

UN Water, 2020. Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2020: água e mudança climática. UNESCO World Water Assess. Program. 11 p.