



Aspectos da cunha salina e estruturas de contenção: Barragem-Eclusa e o Canal São Gonçalo

Aspects of the salt wedge and containment structures: Lock-Dam and the São Gonçalo Channel

A. Fehrenbach^{1*}; C. M. Viana²; L. S. Lima²; N. B. Riquetti²; G. L. Collares²;
F. Schwanck¹

¹Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 91501-970, Porto Alegre-Rio Grande do Sul, Brasil

²Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Hidrometria e Sedimentos para o Manejo de Bacias Hidrográficas, Universidade Federal de Pelotas, 96010-610, Pelotas-Rio Grande do Sul, Brasil

*arlenefehrenbach@outlook.com

(Recebido em 30 de julho de 2025; aceito em 04 de outubro de 2025)

O Canal São Gonçalo conecta a Laguna dos Patos à Lagoa Mirim, configurando-se como um corpo hídrico de grande relevância no extremo sul do Brasil, cujas águas são utilizadas para múltiplos fins, como abastecimento público, irrigação, navegação e recreação. Para garantir a manutenção das características de água doce e evitar a intrusão salina proveniente do Oceano Atlântico, foi construída, em 1977, a Barragem e Eclusa do Canal São Gonçalo (BECSG). Diante dos quase cinquenta anos de operação ininterrupta, desprovida de intervenções de revitalização e modernização, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficácia da BECSG na contenção da intrusão salina na porção sul do canal e na Lagoa Mirim. Para isso, foram utilizados dados de qualidade da água da Agência para o Desenvolvimento da Lagoa Mirim, além de dados obtidos em campanha de campo realizada em 2023, com uso de perfilador de Condutividade-Temperatura-Densidade (CTD), em contexto de ocorrência de intrusão salina. As medições foram realizadas abrangendo duas seções transversais a jusante e montante da barragem, permitindo a análise de sua eficiência. Os dados utilizados correspondem a profundidade e condutividade, posteriormente convertida em salinidade. O processamento ocorreu em Python, com scripts específicos. Os resultados indicam que a BECSG apresenta eficiência superior a 90% na contenção do avanço da salinidade para a porção a montante, assegurando a manutenção dos usos múltiplos da água e contribuindo para a segurança hídrica e o desenvolvimento socioeconômico da região.

Palavras-chave: recursos hídricos, salinidade, gestão de bacias hidrográficas.

The São Gonçalo Channel connects the Patos Lagoon to the Mirim Lagoon, constituting a highly significant water body in southernmost Brazil. Its waters are used for multiple purposes, including public supply, irrigation, navigation, and recreation. To maintain freshwater conditions and prevent saltwater intrusion from the Atlantic Ocean, the São Gonçalo Channel Lock-Dam (SGCLD) was built in 1977. After nearly fifty years of continuous operation without revitalization or modernization interventions, this study aimed to evaluate the effectiveness of the SGCLD in containing saltwater intrusion in the southern portion of the channel and in the Mirim Lagoon. To this end, water quality data from the Development Agency for the Mirim Lagoon were analysed, along with data collected during a field campaign conducted in 2023 using a Conductivity-Temperature-Depth (CTD) profiler under conditions of saltwater intrusion. The measurements were carried out across two cross-sections downstream and upstream of the dam, allowing for an assessment of its efficiency. The data used correspond to depth and conductivity, which were subsequently converted into salinity. Processing was performed in Python using specific scripts. The results indicate that the SGCLD achieves over 90% efficiency in preventing the upstream advancement of salinity, ensuring the maintenance of multiple water uses, and contributing to water security and the region's socioeconomic development.

Keywords: water resources, salinity, watershed management.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional tem impulsionado o aumento da demanda por recursos naturais, com destaque para a água, cuja importância se evidencia por sua multiplicidade de usos. Entre as principais finalidades estão a irrigação, o abastecimento público, a dessedentação animal, a navegação, os usos industriais, a diluição de efluentes, a geração de energia, a conservação dos

ecossistemas aquáticos, dentre outros [1]. Nesse contexto, torna-se essencial a implementação de uma gestão adequada dos recursos hídricos no âmbito das bacias hidrográficas, o que requer a formulação e implementação de políticas de gerenciamento que atendam às demandas sociais, articuladas com o ordenamento territorial e ambiental. O planejamento dos recursos hídricos fomenta a elaboração de planos de desenvolvimento econômico, integrando o uso e ocupação do solo à disponibilidade hídrica [2, 3].

A bacia hidrográfica é reconhecida como a unidade territorial para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, conforme estabelecido pela Lei Federal nº 9.433/1997 [4], que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), visando desenvolver políticas públicas para a melhoria na oferta de água. Desta forma, a bacia hidrográfica é a unidade fundamental para a análise dos processos que compõem o ciclo hidrológico e para o planejamento, ao integrar os sistemas ecológicos e hidrológicos, além de contemplar as transformações nos padrões de uso e ocupação do solo, bem como suas respectivas implicações [3, 5].

O presente estudo aborda a Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo (BHMSG), uma bacia transfronteiriça localizada no extremo sul do Brasil e leste do Uruguai. O principal corpo de água da BHMSG é a Lagoa Mirim (LM), que se encontra conectada à Laguna dos Patos (LP) através do Canal São Gonçalo (CSG), compondo, desta forma, o maior sistema lagunar da América do Sul [6]. No contexto econômico, uma das principais atividades desenvolvidas é o cultivo do arroz irrigado, que exige volume de água considerável, sendo a LM a principal fonte de reserva hídrica para este fim [7].

A LM é particularmente suscetível à intrusão salina, devido a conexão que a LP possui com o Oceano Atlântico. A intrusão salina é facilitada devido à complexidade do fluxo de escoamento da água do CSG que, predominantemente, flui do sentido da LM para a LP. No entanto, em períodos de estiagem e/ou ventos por períodos prolongados no sentido Nordeste, pode ocorrer a inversão de fluxo, ou seja, passando a escoar do sentido da LP para a LM [8]. Ademais, observam-se outros efeitos associados à redução da precipitação, como a influência dos ventos sobre os níveis d'água do canal como um fator relevante. Tal dinâmica pode resultar na ocorrência de fluxos bidirecionais ou, em determinadas situações, na ausência de escoamento, o que provoca o represamento das águas [9, 10].

Para impedir o avanço da salinidade no sistema em períodos de estiagem, foi construída a Barragem e Eclusa do Canal São Gonçalo (BECSG), inaugurada em 1977. Com a implementação do sistema de barramento, durante os períodos de intrusão salina, as águas a montante mantêm as características de água doce, enquanto as situadas a jusante ficam suscetíveis à salinização, comprometendo os seus usos múltiplos. Cabe destacar que manter o padrão de água doce é essencial para a região, na medida que as águas são utilizadas para diversos fins, como para a irrigação e abastecimento público. Logo, a construção da BECSG possibilitou o fornecimento de água de qualidade ao município de Rio Grande, sendo o CSG o principal manancial para o abastecimento público desde 1980, além de contribuir para a ampliação de 50% da distribuição de água na cidade de Pelotas [11]. Contudo, a implementação da BECSG viabilizou os usos múltiplos da água da LM e CSG, assegurando a segurança hídrica para as lavouras, ampliando a área agrícola cultivada e garantindo o abastecimento de água potável aos municípios da região, contribuindo significativamente para o desenvolvimento econômico regional.

Diante dos quase 50 anos de operação ininterruptos da obra, desprovida de práticas de revitalização e modernização, em que foram realizados apenas reparos corretivos e paliativos, questiona-se a eficácia da obra em conter a intrusão salina, bem como a movimentação de entrada de sal na porção a montante durante as ações de eclusagem. Desta forma, para averiguar tal eficácia, foram utilizados dados obtidos através de uma campanha realizada com um perfilador CTD, no ano de 2023, em um momento que havia intrusão salina no CSG. Também foram utilizados dados do Laboratório de águas e Efluentes da Agência para o Desenvolvimento da Lagoa Mirim (ALM), que realiza um monitoramento contínuo da qualidade das águas na BHMSG em território brasileiro, com análises mensais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo está inserida na BHMSG, que é uma região complexa devido a sua importância política, por ser uma bacia binacional, bem como pelas atividades desenvolvidas no âmbito agrícola, industrial e pecuário [6]. Ademais, devido a comunicação muito limitada para o exterior através do CSG, a bacia se constitui num sistema fechado. O aporte de água dos afluentes da LM é muito maior que a saída para a LP, comprovando que a LM opera como um grande reservatório de água doce [7]. Ainda de acordo com [7], a inversão de fluxos e a conexão com a LP são considerados elementos de fragilidade para os recursos hídricos da LM.

Situada no extremo sul do Brasil e leste do Uruguai, a bacia possui extensão de 62.250 km², destes, 33.000 km² abrangem o território uruguai e 29.250 km² o território brasileiro, conforme ilustrado na Figura 1 [7]. Na Figura 1 também estão dispostos os pontos de monitoramento da qualidade da água realizado pelo Laboratório de Águas e Efluentes da ALM no CSG, sendo dois pontos situados a jusante da BECSG (Barra e Anglo) e dois a montante (Eclusa-Montante e Santa Isabel).

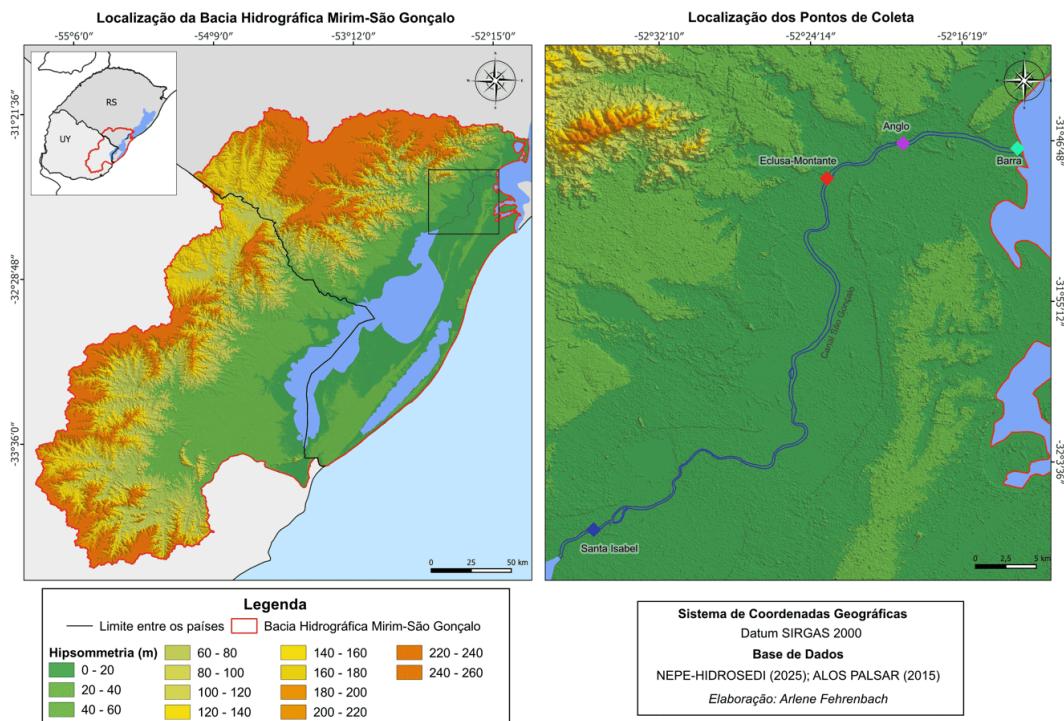


Figura 1 – Localização da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo e dos Pontos de Coleta do Laboratório de Águas e Efluentes da ALM.

Para a campanha realizada com um perfilador CTD (*Conductivity, Temperature, and Depth*) o recorte espacial corresponde a duas transversais obtidas a 575 metros a jusante e 800 metros a montante da BECSG, conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 2 – Trajeto da campanha realizada com o Perfilador CTD.

2.2 Dados Utilizados

Foram utilizados dados de condutividade, salinidade, sólidos totais e turbidez fornecidos pelo Laboratório de Águas e Efluentes da Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim (ALM) para os quatro pontos de monitoramento (Figura 1). Esses parâmetros são cruciais para a análise da salinidade no corpo hídrico, dados que se apresentam de forma correlacionada. Os dados abrangem o período de janeiro a dezembro de 2023, permitindo a análise de diferentes fases do ciclo hidrológico e, consequentemente, distintos processos que ocorrem no canal. Vale ressaltar que o laboratório segue as normas descritas no *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater* para a coleta, transporte, preservação, armazenamento e análise das amostras, garantindo a qualidade dos dados.

Além do mais, foi conduzida, em 8 de março de 2023, uma campanha de medições com o perfilador CTD (*Conductivity, Temperature, and Depth*) versão Logger, no CSG, com o objetivo de obter o perfil de salinidade ao longo de duas seções transversais. A campanha foi realizada pelo Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Hidrometria e Sedimentos para o Manejo de Bacias Hidrográficas (NEPE-HIDROSEDI) em parceria com a Universidade Federal de Rio Grande (FURG). Embora o CTD seja capaz de medir múltiplos parâmetros (temperatura, condutividade, profundidade, clorofila, turbidez e oxigênio dissolvido), para o presente estudo, foram utilizados os dados de profundidade e condutividade, que foram convertidos em salinidade.

Os dados obtidos na campanha foram processados através de *script* [12], implementado em linguagem de programação interpretada em Python [13]. Foram utilizadas as seguintes bibliotecas do Python: NumPy, Matplotlib, Pickle, Datetime e SciPy. Foi utilizado o módulo *JFE_Rinko_tools*, que implementa um conjunto de funções projetadas para lidar com instrumentos da marca JFE ADVANTECH (marca do equipamento utilizado), especificamente para processar dados de perfis de CTD obtidos de arquivos CSV (*Comma-separated values*) gerados durante as campanhas de campo. As bibliotecas supracitadas trabalham em conjunto com ambiente de desenvolvimento Jupyter Notebook [14].

Na Figura 3 encontra-se representada a quantidade de pontos gerados em cada uma das seções transversais. Durante o trabalho de campo, o CTD foi ligado em cada uma das seções, sendo repetidamente submerso e retirado da água enquanto o barco se deslocava de uma margem à outra

do canal. Esse procedimento gerava diversos pontos de medição a cada imersão, desde a superfície até o fundo do canal, e novamente no retorno à superfície, podendo o procedimento ser claramente visto pelo gráfico plotado na Figura 3, onde o eixo das abcissas representa o deslocamento de uma margem até outra, enquanto o eixo das ordenadas representa a profundidade do canal.

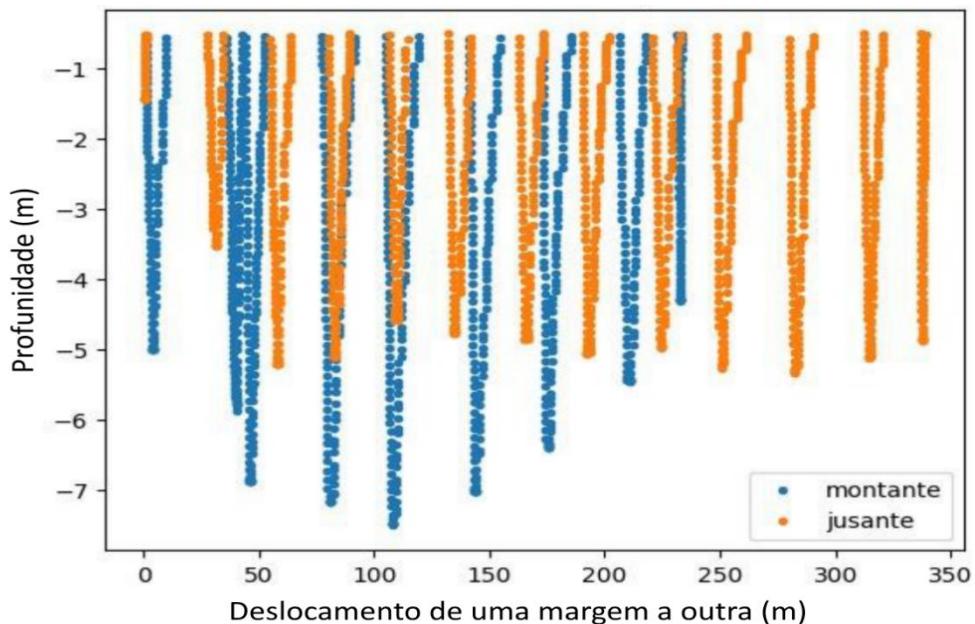


Figura 3 – Pontos amostrados nas duas seções transversais.

Neste estudo, não foram realizadas análises estatísticas nem comparações diretas entre os dados provenientes do Laboratório de Águas e Efluentes da ALM e aqueles obtidos por meio do perfilador CTD, optando-se por apresentar os resultados de forma essencialmente descritiva e demonstrativa. Essa abordagem reflete o caráter inicial da pesquisa, voltada principalmente para a caracterização preliminar do comportamento da intrusão salina no CSG. Pretende-se aprofundar posteriormente a investigação por meio de análises estatísticas e integrar as informações com variáveis hidrometeorológicas, como precipitação, nível d'água, direção e velocidade do vento e vazão, de modo a compreender com maior robustez os processos que contribuem para a intrusão salina na região.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados apresentados na Figura 4 ilustram os resultados dos parâmetros analisados nos quatro pontos de monitoramento, sendo possível perceber a ocorrência de intrusão salina nos pontos da Barra e Anglo, tendo em vista a proximidade desses locais com a LP, que se conecta diretamente com o Oceano Atlântico. Este fenômeno é característico da interface continente-oceano, onde a diminuição do fluxo de água doce vindo do continente permite o avanço das águas marinhas. Conforme discutido por Souza et al. (2011) [15], a redução na descarga de água doce para a zona costeira, seja por fatores climáticos ou pela presença de barragens, é um dos principais fatores que intensificam a intrusão salina. No ponto da Barra, a concentração de salinidade atingiu seu pico em março, registrando 16 g/kg. Esse valor permaneceu acima do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 [16] para águas doces até agosto, quando houve uma redução significativa para 0,06 g/kg, indicando o restabelecimento de uma maior vazão de água doce no canal. Similarmente, no ponto Anglo, a concentração máxima de salinidade foi observada em abril, quando atingiu o patamar de 12,6 g/kg.

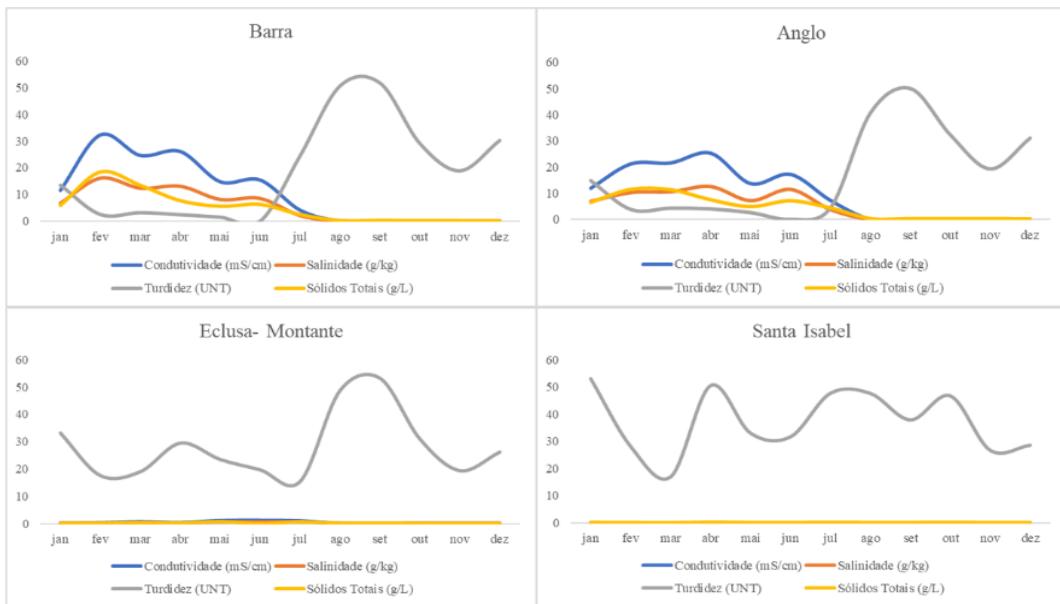


Figura 4 – Resultados dos parâmetros da água analisados nos distintos pontos de monitoramento.

A relação inversa entre a salinidade e a turbidez, observada nos momentos de intrusão salina, é um fenômeno físico-químico característico de ambientes estuarinos. A presença de íons na água do mar promove processos de floculação e coagulação das partículas coloidais e da matéria orgânica que se encontram em suspensão. Isso acelera a velocidade de sedimentação, fazendo com que essas partículas se depositem no leito do canal e resultem em uma coluna de água com menor turbidez [15].

Em contrapartida, a turbidez também possui uma correlação direta com os períodos de maior vazão do canal. Eventos de precipitação elevada na bacia hidrográfica aumentam a descarga fluvial, o que intensifica a energia para o transporte de sedimentos, elevando a turbidez [17]. Ao mesmo tempo, essa maior vazão atua como uma barreira hidrográfica que empurra a cunha salina em direção à foz. Estudos demonstram que a manutenção de uma vazão mínima é fundamental para conter o avanço da intrusão salina, enquanto vazões reduzidas permitem que ela avance por dezenas de quilômetros [18]. Dessa forma, os períodos em que a água do canal se encontra doce estão diretamente associados a maiores vazões e, consequentemente, a uma maior turbidez [17, 18].

Nos pontos a montante (Eclusa-Montante e Santa Isabel) não é percebida a intrusão salina, na medida que a presença da BECSG é fundamental para impedir o avanço da salinidade no trecho a jusante. Consequentemente, os gráficos correspondentes não exibem, de forma geral, valores expressivos para salinidade, condutividade e sólidos totais, mantendo as características de água doce do sistema. Adicionalmente, observou-se valores altos para turbidez, uma vez que com a ausência de íons de sal, a tendência à floculação e sedimentação de partículas diminui, de modo que o material particulado permanece mais tempo em suspensão, elevando as leituras de turbidez [15].

Entretanto, uma análise mais detalhada revela as nuances operacionais da estrutura. No ponto Eclusa-Montante, foram identificados em maio e junho valores de salinidade (0,54 e 0,57 g/kg) levemente acima do limite para águas doces [16]. Essa ocorrência se deve à proximidade do ponto de amostragem com a câmara da eclusa, que, durante as operações para passagem de embarcações, permite a entrada de uma quantidade limitada de água salgada no trecho a montante. A construção de barragens e seu regime de operação alteram a pulsação natural do fluxo de água, sendo um impacto conhecido em sistemas fluviais [15].

Em contraste, o ponto Santa Isabel, mais distante da barragem, apresenta valores de salinidade consistentemente baixos, na ordem de 0,05 a 0,08 g/kg, servindo como uma real representação da preservação da qualidade da água proporcionada pela barragem. A manutenção de um fluxo de água doce, garantida pela barragem, é a estratégia mais eficiente para conter a intrusão, conforme

apontado em outros estuários brasileiros onde a regularização da vazão se mostrou essencial para controlar o avanço da cunha salina [18].

A Figura 5 ilustra o perfil espacial da salinidade nas duas seções transversais, abrangendo as seções a jusante e a montante da BECSG. No gráfico, o eixo das abscissas representa o deslocamento transversal no canal, em metros, enquanto o eixo das ordenadas indica a profundidade, também em metros. O gradiente de salinidade é visualizado por meio de uma escala cromática, que varia do azul, indicando menores concentrações salinas, ao vermelho, que denota as maiores concentrações. É importante notar que a escala entre as duas seções difere, tendo em vista que a concentração de salinidade a jusante é significativamente maior que a montante. Vale ressaltar que os dados foram coletados durante um período de intrusão salina no canal, o que é claramente perceptível nas representações gráficas. A análise comparativa entre as seções revela que, a montante da BECSG, a concentração de sal é significativamente inferior em relação à seção a jusante.

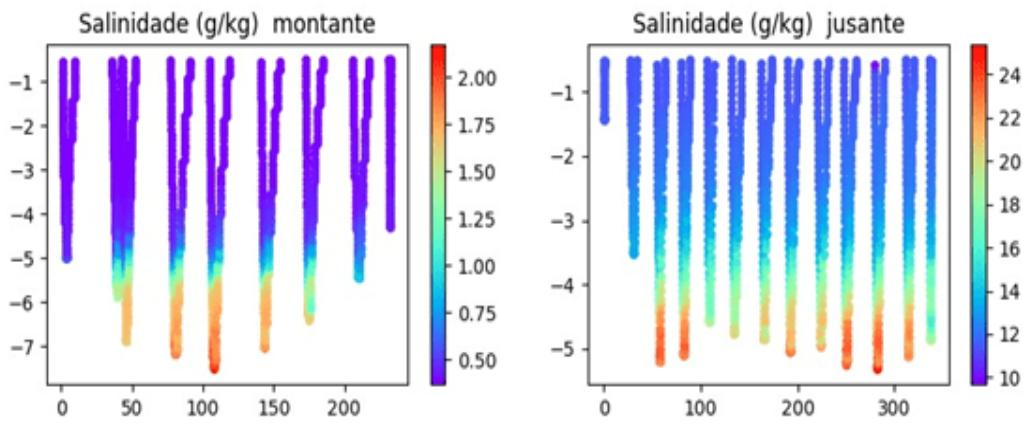


Figura 5 – Concentração de salinidade detectada nas duas seções transversais.

Esse contraste abrupto evidencia a eficácia da barragem como barreira física. Em sistemas estuarinos sem essa estrutura de controle, o avanço da salinidade é um processo muito mais dinâmico e extenso. Em um estudo no Rio Pindaré (MA), por exemplo, observou-se que a intrusão salina, impulsionada principalmente pelas marés de sizigia durante a estação seca, pode estender a influência marinha por pelo menos 60 km rio adentro [19]. A BECSG, portanto, impede um avanço de magnitude semelhante no sistema Mirim-São Gonçalo.

Nota-se que há uma maior concentração de salinidade em profundidade, tanto a montante quanto a jusante da BECSG. A montante, no local de maior profundidade amostrado, a concentração atingiu aproximadamente 2 g/kg. A jusante, a salinidade máxima também foi registrada nas maiores profundidades, alcançando cerca de 24 g/kg. O maior grau de salinidade encontrado em profundidade é justificado diretamente pela maior densidade da água salgada em relação à água doce. Por ser mais densa, a água com maior teor de sal tende a ocupar as camadas mais profundas do canal, fluindo por baixo da camada de água doce superficial [20]. Souza et al. (2016) [21] também identificaram em seus estudos sobre a variação de salinidade nas Baías Norte e Sul de Santa Catarina que, a salinidade encontrada em amostras de profundidades de 1,5 m foi inferior àquelas de profundidades de 3 m.

Este padrão de estratificação vertical é um fenômeno clássico em ambientes estuarinos e ocorre devido à diferença de densidade entre as massas de água. Esse processo forma o que é conhecido como "cunha salina", uma camada de água de maior salinidade que se estabelece no fundo da calha do rio. A interface entre essas duas camadas, denominada "zona de mescla", pode ser mais ou menos difusa dependendo da energia de mistura gerada pelas marés e pela vazão fluvial [18, 22].

A formação de uma nítida cunha salina, é um comportamento típico de estuários sob baixa descarga fluvial e em outros sistemas estuarinos brasileiros, como o Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim

(ES), demonstram que a dinâmica da estratificação é altamente controlada pela interação entre as marés e o aporte fluvial. Neves et al. (2021) [23], por exemplo, observaram que durante marés de quadratura – caracterizadas por correntes mais fracas – havia tendência à estratificação, enquanto nas marés de sizígia, com correntes mais intensas, a coluna d’água apresentava mistura mais completa. Esse padrão dinâmico contrasta com o comportamento observado no trecho a jusante da BECSG, onde a presença da barragem impõe uma barreira física permanente, transformando um ambiente que, sob condições naturais, seria estuarino e dinâmico, em um sistema artificialmente dulcícola, estável e desestratificado.

Além dos aspectos hidrodinâmicos, os riscos ecológicos e de gestão associados à salinidade residual a montante da barragem também merecem atenção. Carvalho e Rodrigues (2024) [24], ao analisarem os impactos da intrusão salina sobre a Bacia Hidrográfica do Itaqui, no Maranhão, destacaram que a salinização das águas subterrâneas representa um risco potencial para o abastecimento humano, a produção agrícola e a biodiversidade costeira. No contexto da BECSG, a persistência da salinidade em períodos de maré elevada e vazão fluvial reduzida reforça a importância da reavaliação das práticas operacionais da eclusa, bem como do monitoramento contínuo da qualidade da água. Estratégias integradas de gestão, como a modulação sazonal da operação da barragem e a conservação de ecossistemas tampão, podem ser fundamentais para mitigar os efeitos da intrusão salina em áreas críticas do sistema.

Quanto ao enquadramento, a porção jusante se enquadra em águas salobras [16], tendo em vista que em superfície, onde se encontram as menores medidas de salinidade, a concentração foi de 10 g/kg. A montante, a concentração em superfície foi de 0,5 g/kg, o que se enquadra como água doce, porém, como já mencionado, em profundidade a concentração chegou até 2 g/kg, o que já se enquadraria como água salobra. Esta concentração de salinidade encontrada a montante pode ser justificada por conta das operações da câmara de eclusagem, pois as comportas são abertas para permitir a passagens de embarcações, fazendo com que adentre água salobra na porção a montante. Porém, é uma concentração muito baixa quando comparada àquela encontrada a jusante, o que atesta a efetividade da BECSG.

Os fenômenos e processos que ocorrem no CSG possibilitam o avanço da salinidade no sistema (Figura 6). Como já mencionado anteriormente, a hidrodinâmica do Canal é complexa, dado o seu regime de escoamento, que predominantemente é da LM para a LP, mas que pode vir a se inverter ou ser bidirecional. A inversão do sentido de fluxo propicia a entrada da salinidade advinda do Oceano Atlântico. Além do mais, a velocidade e a direção do vento influenciam fortemente o deslocamento da cunha salina em direção à montante. Simultaneamente, baixos índices de precipitação na região da LM reduzem os níveis d’água a montante e as vazões no sistema, o que também favorece a intrusão salina no CSG.

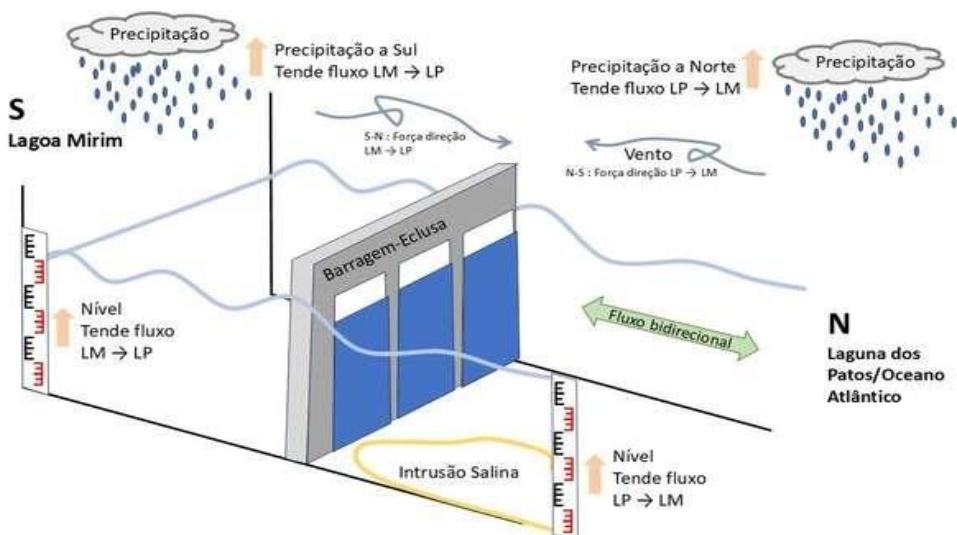


Figura 6 – Fenômenos envolvidos na dinâmica da intrusão salina no CSG. LP- Laguna dos Patos; LM – Lagoa Mirim.

4. CONCLUSÃO

O presente estudo demonstrou, por meio da análise integrada de dados de monitoramento contínuo e de perfilagem hidrográfica de alta resolução, a elevada funcionalidade da BECSG no controle da intrusão salina, mesmo após quase cinco décadas de operação. A estrutura se mostrou eficaz em criar dois sistemas hidrodinâmicos distintos, com uma redução de mais de 90% na salinidade de fundo entre os trechos de jusante e montante, preservando o grande reservatório de água doce da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo.

A principal contribuição deste trabalho foi a identificação e quantificação da operação da eclusa como o principal vetor para a entrada de sal no trecho a montante. Embora essa transferência de sal seja de baixa magnitude e localizada, representa um ponto crítico para o monitoramento e a gestão de longo prazo da qualidade da água. Diante de um cenário de mudanças climáticas e elevação do nível do mar, que tende a agravar a pressão salina sobre os sistemas costeiros, a BECSG se consolida não apenas como uma obra de infraestrutura essencial para os usos múltiplos da água na região, mas também como uma ferramenta estratégica para a adaptação e resiliência hídrica regional.

É recomendada a condução de pesquisas futuras sobre os mecanismos que condicionam o avanço da salinidade na região. Para isso, sugere-se a aplicação de análises estatísticas multivariadas e de modelagem integrada, incorporando variáveis hidrometeorológicas como precipitação, nível d'água, direção e velocidade do vento e vazão. A integração desses fatores permitirá compreender com maior robustez os processos que controlam a intrusão salina e aprimorar a capacidade de previsão e gestão adaptativa frente a cenários de mudanças climáticas.

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP Nº. 951420/2023. Agradecemos ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento e ao Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Hidrometria e Sedimentos para o Manejo de Bacias Hidrográficas – NEPE-HIDROSEDI, da Universidade Federal de Pelotas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Tucci CEM. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre (RS): Editora da UFRGS; 2009.
2. Leal AC. Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento para o gerenciamento dos recursos hídricos. Entre-lugar. 2012 dez;3(6):65-84.
3. Silva FL, Fushita AT, Cunha-Santino MB, Bianchini Júnior I, Veneziani Júnior JCT. Gestão de recursos hídricos e manejo de bacias hidrográficas no Brasil: elementos básicos, histórico e estratégias. Rev Bras Geogr Fís. 2021 jul;14(13):1626-53. doi: 10.26848/rbgf.v14.3.p1626-1653
4. Brasil. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, (...). Brasília (DF): Diário Oficial da União; 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm.
5. Cutts BB, Greenlee AJ, Prochaska NK, Chantrill CV, Contractor AB, Wilholt JM, et al. Is a clean river fun for all? Recognizing social vulnerability in watershed planning. PLoS One. 2018;13(5):e0196416. doi: 10.1371/journal.pone.0196416
6. Oliveira HA, Fernandes EHL, Möller OO, Collares GL. Processos hidrológicos e hidrodinâmicos da Lagoa Mirim. Rev Bras Recur Hídricos. 2015 jan/mar;20:34-45. doi: 10.21168/rbrh.v20n1.p34-45
7. Fernandes FM, Collares GL, Corteletti R. A água como elemento de integração transfronteiriça: o caso da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo. Estud Av. 2021 mar/ago;35(102):59-77. doi: 10.1590/s0103-4014.2021.35102.004
8. Hartman C, Harkot PFC. Influência do canal São Gonçalo no aporte de sedimentos para o estuário da Laguna dos Patos, RS. Rev Bras Geociênc. 1990;20(1-4):329-32.

9. Costi J, Marques WC, Kirinus EP, Duarte RF, Arigony-Neto J. Water level variability of the Mirim–São Gonçalo system, a large, subtropical, semi-enclosed coastal complex. *Adv Water Resour.* 2018 Jul;117:75-86. doi: 10.1016/j.advwatres.2018.05.008
10. Oliveira H, Fernandes E, Möller Jr O, García-Rodríguez F. Relationships between wind effect, hydrodynamics and water level in the world's largest coastal lagoonal system. *Water.* 2019;11(11):2209. doi: 10.3390/w11112209
11. Universidade Federal de Pelotas, Coordenação de Comunicação Social. Barragem Eclusa completa 45 anos [Internet]. Pelotas; 2022 mar 18 [citado 5 fev 2026]. Disponível em: <https://ccs2.ufpel.edu.br/wp/2022/03/18/barragem-eclusa-completa-45-anos>.
12. Schettini G. *Ocean-Data-Analysis-Python* [Internet]. GitHub; 2025 [citado 5 fev 2026]. Disponível em: <https://github.com/GutoSchettini/Ocean-Data-Analysis-Python>.
13. Python Software Foundation. Python Language [software]. Disponível em: <https://www.python.org/>.
14. Jupyter Project. Jupyter Notebook [software]. Disponível em: <https://jupyter.org/>.
15. Souza WFL, Medeiros PRP, Brandini N, Knoppers B. Impactos de barragens sobre os fluxos de materiais na interface continente-oceano. *Rev Virtual Quim.* 2011;3(2):116-28. doi: 10.5935/1984-6835.20110016
16. Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília (DF): Diário Oficial da União; 2005. Disponível em: <https://share.google/dWUU6EiWvISSysOBf>.
17. Peixoto RAO, Pereira CE, Salla MR, Alamy Filho JE, Nishimura A. Determinação da relação entre vazões líquida e sólida e análise de fatores que influenciam a dinâmica do transporte de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Jordão (UPGRH-PN 1). *Rev Eng Sanit Ambient.* 2020 nov/dez;25(6):921-31. doi: 10.1590/S1413-4152202020180137
18. Cotta AJB, Jesus HC. Impactos, extensão e proposta de mitigação da intrusão salina no Rio São Mateus, Espírito Santo. *Pesqui Geociênc.* 2021;48(4):e107238. doi: 10.22456/1807-9806.107238
19. Yauri WLM, Barbieri R. Intrusão salina em um sistema rio–planície de inundação tropical influenciado por macromarés – Rio Pindaré (MA). *Oecol Australis.* 2022;26(2):271-85. doi: 10.4257/oeco.2022.2602.14
20. Pereira RC, Soares-Gomes A. Biologia marinha. Rio de Janeiro: Interciência; 2002.
21. Souza RV, Novaes ALT, Garbossa LHP, Rupp GSV. Variações de salinidade nas Baías Norte e Sul da Ilha de Santa Catarina: implicações para o cultivo de moluscos bivalves. *Agropec Catarinense.* 2016 Set/Dez;29(3):45-8. doi: 10.52945/rac.v29i3.147
22. Almeida GM, Silva Junior GC. Fatores hidrogeológicos no estudo da intrusão salina em aquíferos costeiros da região litorânea do município de Maricá - RJ. *Anu Inst Geociênc UFRJ.* 2007;30(2):104-17.
23. Neves RC, Quaresma VS, Gonçalves ASS, Nascimento FPS, Alves RT, Bastos AC. Aspectos da hidrodinâmica do sistema estuarino Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim, sudeste do Brasil. *Quat Environ Geosci.* 2021;12(2):40-54. doi: 10.5380/abequa.v12i2.74022
24. Carvalho ACC, Rodrigues TCS. Impactos das mudanças climáticas na Bacia Hidrográfica do Itaqui: avaliação do aumento do nível do mar. *IOSR J Bus Manag.* 2024 out;26(10):36-43. doi: 10.9790/487X-2610113643