

BALANÇO HÍDRICO QUALI-QUANTITATIVO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DOS RIOS VACACAÍ VACACAÍ-MIRIM,
NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL - BRASILQUALI-QUANTITATIVE WATER BALANCE OF THE VACACAÍ AND
VACACAÍ-MIRIM RIVER BASIN, RIO GRANDE DO SUL STATE,
BRAZILBALANCE HÍDRICO CUALI-CUANTITATIVO DE LA CUENCA
HIDROGRÁFICA DE LOS RÍOS VACACAÍ Y VACACAÍ-MIRIM, EN EL
ESTADO DE RIO GRANDE DO SUL, BRASIL

// RESUMO

AUTOR

Fernando Comerlato Scottá¹  Sumiré da Silva Hinata¹ 
Raiza Cristovão Schuster¹  Luciano Brasileiro Cardone¹ 
Amanda Wajnberg Fadel²  Alexandre Swarowsky¹ 
Guilherme Schaefer¹ 
Carolina Menegaz¹ 
Aline Kaliski¹ 

FILIAÇÃO INSTITUCIONAL

¹ SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA
DO RIO GRANDE DO SUL
² FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO RIO
GRANDE DO SUL

E-MAIL

fernando-scotta@sema.rs.gov.br sumire-hinata@sema.rs.gov.br
raiza-schuster@sema.rs.gov.br luciano-cardone@sema.rs.gov.br
amanda-fadel@fepam.rs.gov.br aleswar@gmail.com
guilherme.schaefer@hotmail.com
carolina-menegaz@sema.rs.gov.br
aline-kaliski@sema.rs.gov.br

DATA DE SUBMISSÃO: 23/05/23

DATA DE APROVAÇÃO: 29/09/25

DOI: 10.12957/GEOUERJ.2025.75933



E-ISSN 1981-9021

ESTE É UM ARTIGO DE ACESSO ABERTO
DISTRIBUÍDO SOB OS TERMOS DA LICENÇA
CREATIVECOMMONS BY-NC-SA 4.0, QUE
PERMITE USO, DISTRIBUIÇÃO E REPRODUÇÃO
PARA FINS NÃO COMERCIAIS, COM A CITAÇÃO
DOS AUTORES E DA FONTE ORIGINAL E SOB A
MESMA LICENÇA.

O Plano de Recursos Hídricos (PRH) é o instrumento que tem por objetivo orientar e instituir o gerenciamento dos recursos hídricos de uma determinada região ou bacia hidrográfica. O presente artigo apresenta os resultados do balanço quali-quantitativo superficial do diagnóstico (fase A) para a Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí Vacacaí-Mirim (BHVVM). O balanço hídrico quantitativo foi realizado a partir da disponibilidade hídrica descontado pelos usos da água. Inicialmente foi realizada a disponibilidade hídrica a partir de modelagem hidrológica; já a segunda etapa consistiu na estimativa dos usos (retiradas de água) dos cursos hídricos superficiais para diferentes tipos de uso: abastecimento, uso agrícola, criação animal, atividade industrial e mineração. Para o balanço qualitativo, estimativas das fontes poluidoras foram realizadas para os usos: esgotamento sanitário, atividade industrial, produção agrícola e criação animal. O balanço qualitativo considera como água disponível para a diluição dos lançamentos e efluentes a vazão remanescente que resulta do balanço hídrico quantitativo. De maneira geral, o Rio Vacacaí se encontra em melhor situação em relação aos rios Vacacaí-Mirim, São Sepé e Santa Bárbara. O Rio Vacacaí, em quase toda sua extensão, apresenta um baixo índice de estresse hídrico, com valores abaixo de 10% de comprometimento, e maior qualidade em relação aos demais rios.

Palavras-chave: disponibilidade hídrica; qualidade da água; modelagem-quali-quantitativa; gestão de recursos hídricos; Plano de Recursos Hídricos.

// ABSTRACT

The Water Resources Plan is the instrument aimed at guiding and establishing the management of water resources in a specific region or watershed. This article presents the surface qualitative-quantitative balance results of the diagnosis (Phase A) for the Vacacaí Vacacaí-Mirim River Basin. The quantitative water balance was carried out based on water availability discounted by water uses. Initially, water availability was determined through hydrological modeling, while the second stage involved estimating water withdrawals from surface watercourses for different types of uses: water supply, agriculture, livestock farming, industrial activity, and mining. For the qualitative balance, estimates of pollutant sources were made for uses such as sanitation, industrial activity, agricultural production, and livestock farming. The qualitative balance considers the remaining flow resulting from the quantitative water balance as the available water for discharges and effluents dilution. Overall, the Vacacaí River is in a better situation compared to the Vacacaí-Mirim, São Sepé, and Santa Bárbara rivers. The Vacacaí River, along almost its entire length, has a low water stress index, with values below 10% of loss, and higher water quality compared to the other rivers.

Keywords: water availability; water quality; qualitative-quantitative modeling; water resources management; Water Resources Plan.

// RESUMEN

El Plan de Recursos Hídricos (PRH) es el instrumento destinado a orientar y establecer la gestión de los recursos hídricos de una determinada región o cuenca hidrográfica. El presente artículo presenta los resultados del balance cuali-cuantitativo superficial correspondiente al diagnóstico (fase A) de la Cuenca Hidrográfica de los Ríos Vacacaí y Vacacaí-Mirim (BHVVM). El balance hídrico cuantitativo se realizó a partir de la disponibilidad hídrica, descontando los distintos usos del agua. Inicialmente, la disponibilidad hídrica fue estimada mediante modelación hidrológica; en una segunda etapa, se estimaron los usos del agua (extracciones) en los cursos superficiales para diferentes finalidades: abastecimiento, uso agrícola, ganadería, actividad industrial y minería. Para el balance cualitativo, se realizaron estimaciones de las fuentes contaminantes asociadas a los usos de saneamiento básico, actividad industrial, producción agrícola y ganadería. El balance cualitativo considera como agua disponible para la dilución de vertidos y efluentes el caudal remanente resultante del balance hídrico cuantitativo. En términos generales, el río Vacacaí presenta una mejor situación en comparación con los ríos Vacacaí-Mirim, São Sepé y Santa Bárbara. A lo largo de casi toda su extensión, el río Vacacaí presenta un bajo índice de estrés hídrico, con valores de compromiso inferiores al 10 %, y una calidad del agua superior en relación con los demás ríos analizados.

Palabra Clave: disponibilidad hídrica; calidad del agua; modelación cuali-cuantitativa; gestión de recursos hídricos; Plan de Recursos Hídricos;

INTRODUÇÃO

O Plano de Recursos Hídricos (PRH) é o instrumento que tem por objetivo orientar e instituir o gerenciamento dos recursos hídricos de uma determinada região ou bacia hidrográfica. É previsto pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) a nível federal, instituída pela Lei nº 9.433/97 (BRASIL, 1997), e também a nível estadual pela Lei das Águas nº 10.350 (RIO GRANDE DO SUL, 1994).

No Rio Grande do Sul, os PRHs são elaborados em três fases (A, B e C). A Fase A de diagnóstico, apresenta a situação geral da bacia hidrográfica e de suas águas. Na Fase B de prognóstico e enquadramento, o primeiro visa formular cenários possíveis da evolução da bacia hidrográfica. No enquadramento são estabelecidas metas de qualidade em um horizonte de planejamento segundo os usos preponderantes dos corpos hídricos (ANA, 2019). Finalmente, a Fase C contempla o plano de ações, onde são propostas, avaliadas e consolidadas ações necessárias para promover a melhoria quali-quantitativa das águas.

Para as diversas fases de elaboração dos PRHs, frequentemente são realizados balanços hídricos quantitativos e qualitativos, que permitem a estimativa da situação de quantidade e qualidade das águas nos cursos hídricos, bem como possibilitam a avaliação das águas em diversos cenários.

O balanço hídrico quantitativo é uma importante ferramenta para o estudo da situação dos recursos hídricos da bacia hidrografia, e é realizado em três etapas (COLLISCHONN & LOPES, 2009):

1. Determinação da disponibilidade hídrica, através de extrapolação de dados de uma estação fluviométrica próxima, regionalização de vazões, vazão regularizada por reservatório ou outro método adequado;
2. Identificação de todas as demandas existentes na bacia a montante do ponto de demanda, podendo os usuários terem usos autorizados (federais e estaduais) ou seus usos identificados através de planos e estudos;
3. Cálculo de indicadores, determinando qual a porcentagem da disponibilidade hídrica local é comprometida individualmente pelo usuário e qual é o grau de comprometimento total, considerando todos os usuários.

É possível realizar balanço hídrico através de modelos em ambientes de geoprocessamento (*e. g.* VERGARA *et al.*, 2021; PEREIRA *et al.*, 2012), e existem modelos que permitem a realização do balanço qualitativo integrado ao balanço quantitativo realizado (KAYSER & COLLISCHONN, 2013; COSTA, 2016; SILVA, 2017). O modelo qualitativo basicamente consiste no cálculo da diluição e depuração de poluentes na vazão dos cursos hídricos. Esse resultado permite gerar mapas ilustrativos do

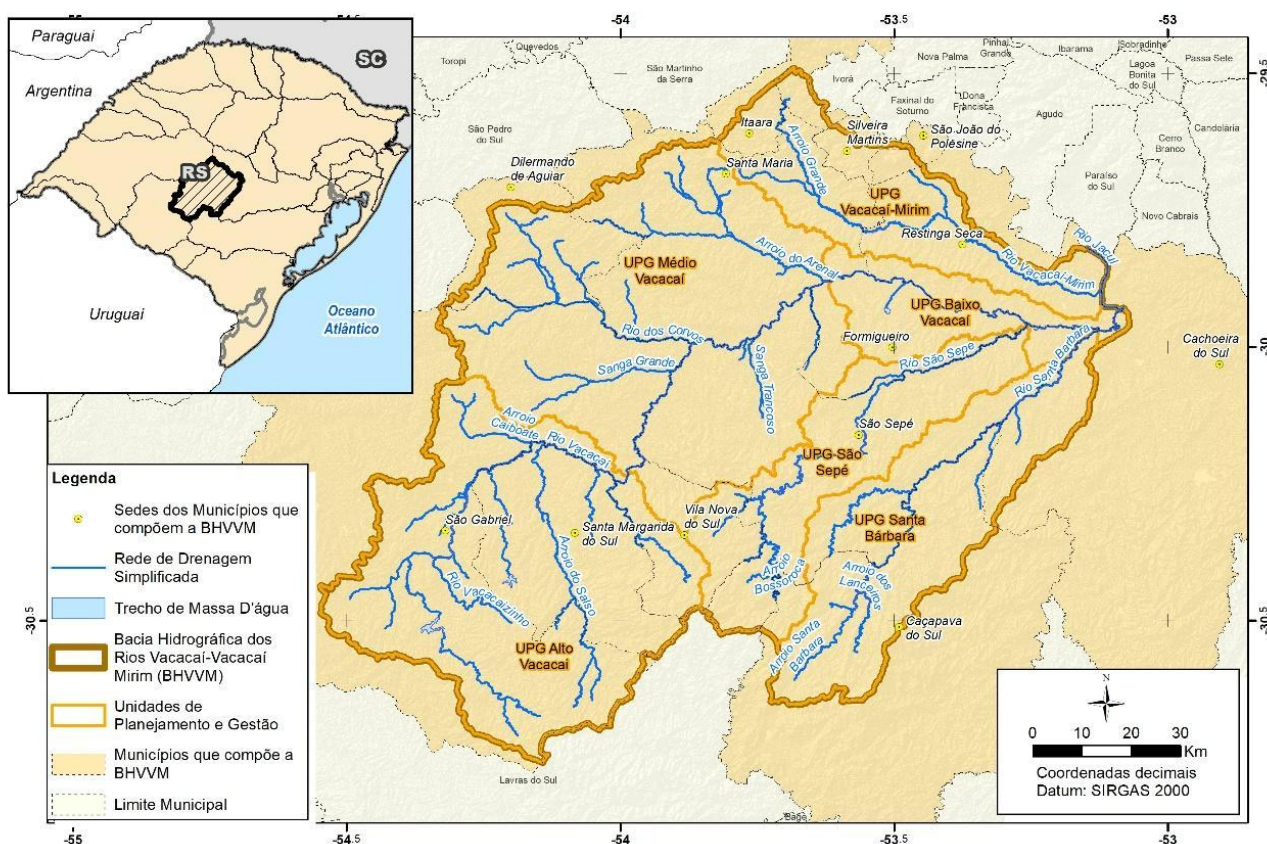
comprometimento da disponibilidade e da qualidade da água e pode ser aplicado em qualquer bacia hidrográfica (COLLISCHONN, 2001).

O presente artigo apresenta os resultados do balanço quali-quantitativo superficial do diagnóstico (fase A) para a Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí Vacacaí-Mirim (BHVVM). Também são apresentados os métodos e resultados detalhados das estimativas de disponibilidade hídrica, demandas e fontes poluidoras.

ÁREA DE ESTUDO

A BHVVM está localizada na porção centro-ocidental do Estado do Rio Grande do Sul, totalizando uma área de drenagem de 11.177 km² (figura 1). Os principais rios são: Rio Vacacaí, Rio Vacacai-Mirim, Rio Santa Bárbara, Rio São Sepé, Rio Vacacaizinho e Rio dos Corvos. Os rios Vacacaí e Vacacaí-Mirim deságuam no Rio Jacuí e compõem a Região Hidrográfica do Guaíba, configurando uma bacia com dois exutórios. As nascentes estão concentradas principalmente nas áreas sul e norte da bacia, onde se registram as maiores altitudes, variando de 350-400 m no Sul e 400-500 m no Norte. A maioria dos rios segue a orientação sudoeste-nordeste, alinhando-se com as estruturas do substrato geológico.

Figura 1. Localização e principais cursos hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Vacacaí – Vacacaí-Mirim.



Fonte: Autores (2023)

A normal climatológica permite enquadrar o clima da BH como pertencente ao Subdomínio Subtropical Úmido, com precipitações pluviométricas em geral bem distribuídas durante o ano (1.362 – 2.791mm). A quantidade de meses secos vai de zero a três, com a maior parte sem estação seca. A Temperatura Média do Mês Mais Frio (TMMMF) tem valores entre 10,0 °C e 14,9 °C. (NOVAIS & MACHADO, 2023).

A estruturação geomorfológica da BHVVM compreende o Planalto Uruguaio-Sul-Rio-Grandense, a Depressão Periférica e o Planalto Meridional. O Planalto Uruguaio-Sul-Rio-Grandense divide-se em dois sub-domínios: o Planalto Residual Canguçu-Caçapava (PRCC) e o Planalto Rebaixado Marginal (PRM). Ambos localizados no sul da BHVVM, o PRCC é caracterizado por amplas colinas e drenagens dendríticas, sustentadas por rochas resistentes ao intemperismo. Já o PRM, apresenta formas variadas como colinas, cristas e cuevas, além de diferentes padrões de drenagem devido à diversidade litológica (JUSTUS *et al.*, 1986).

As áreas sedimentares das bacias do Camaquã e do Paraná, presentes no PRM, têm formas ruiformes e vertentes pronunciadas. A circundesnudação e a reativação de estruturas geológicas

resultaram na Depressão Periférica (SUERTEGARAY, 2010; Dantas *et al.*, 2010), com planícies de inundação e coxilhas de até 100 m (DANTAS *et al.*, 2010).

O Planalto Meridional, situado na metade norte do estado, apresenta as maiores elevações, com transições íngremes definindo a Escarpa da Serra Geral. Este planalto, sustentado por rochas vulcânicas, possui coxilhas suaves e topos planos. A interação com a Serra Geral favorece a recarga dos aquíferos locais devido à presença de fraturas e falhas geológicas.

A BHVVM possui uso predominante agrícola, campos com presença de pastagens e formação florestal, com 43,90% (Soja 23,26%, Outras Lavouras 20,63%), 34,24% e 16,72%¹²⁴, respectivamente. Esses usos totalizam 94,85% da bacia. Outras classes, como infraestrutura urbana, floresta plantada e água também compõem os usos da bacia em menor proporção (MAPBIOMAS; 2020).

Quatorze municípios integram a BHVVM. Os municípios de Formigueiro, Santa Margarida do Sul, São Sepé e Vila Nova do Sul possuem todo seu território na bacia. Municípios de Dilermando de Aguiar, Itaara, Restinga Sêca, Santa Maria, São Gabriel e Silveira Martins possuem mais da metade da área localizada na bacia. Os municípios com menor área dentro da BH são Cachoeira do Sul (8%) e Itaara (3%). A população da BHVVM estimada para 2019 é de 413.660 habitantes, a qual 89% da população é urbana e 11% é rural (SEMA-RS(a), 2021).

Para facilitar o processo de planejamento dos recursos hídricos e apresentação dos resultados, a BHVVM foi segmentada em seis unidades, cada qual com características ambientais e socioeconômicas homogêneas (Figura 1). As unidades, denominadas Unidades de Planejamento e Gestão (UPGs) são as seguintes:

UPG Alto Vacacaí - localizada no sudoeste da BHVVM, com 2.967 km² (26,54% da bacia hidrográfica). É composta por porções dos municípios de São Gabriel, Santa Margarida do Sul e Vila nova do Sul. É a UPG na qual nascem os rios Vacacaí, Vacacaizinho, Arroio do Salso, em regiões com altitudes máximas de 400-450 metros.

UPG Médio Vacacaí - possui terras baixas e planas com uma área de 3.486 km² (31,19% da bacia hidrográfica), sendo a maior UPG da bacia. Está localizada no centro-norte da bacia e possui o maior número de porções de municípios, sendo eles: Dilermando de Aguiar, Formigueiro, Santa Maria, São Gabriel, São Sepé e Vila Nova do Sul. Essa UPG representa a continuação do Rio Vacacaí, o qual recebe contribuições do Rio dos Corvos e do Arroio Arenal.

UPG Baixo Vacacaí - menor UPG da bacia, com uma área de 662 km² (5,92% da bacia hidrográfica). É o final do trecho do Rio Vacacaí, nas terras mais baixas e planas localizadas no nordeste da bacia. A UPG é composta pelos municípios: Cachoeira do Sul, Formigueiro, Restinga Sêca, Santa

Maria e São Sepé. A UPG se estende até a foz da bacia hidrográfica, no nordeste da BHVVM, onde o Rio Vacacaí deságua no Rio Jacuí.

UPG Santa Bárbara - está localizada no sudeste da BHVVM, com 1.606 km² (14,37% da bacia hidrográfica). Essa UPG é composta por porções de apenas três municípios: Caçapava do Sul, Cachoeira do Sul e São Sepé. Possui nascentes no sul da UPG, com altitudes máximas de 350-400 metros. A rede de drenagem possui uma orientação sudoeste para nordeste e os cursos d'água Arroio Santa Bárbara e Rio Santa Bárbara são os principais da UPG. No nordeste da bacia, o Rio Santa Barbara deságua próximo da foz do Rio Vacacaí.

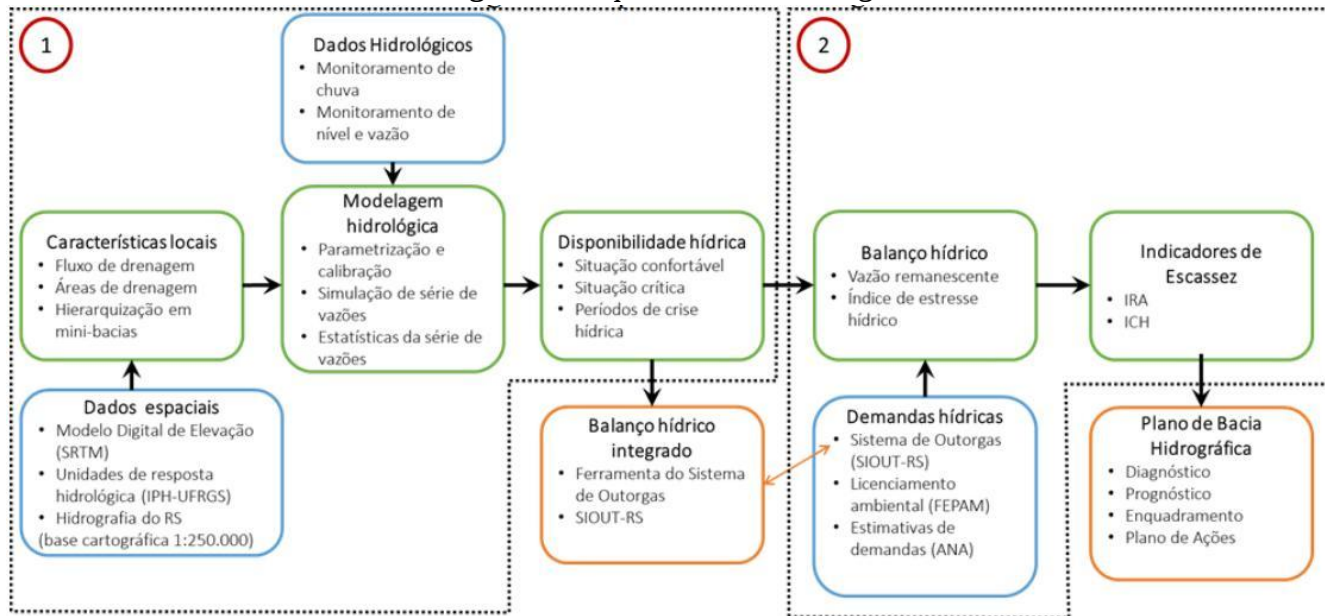
UPG São Sepé - com 1276 km², representando 11,42% da BHVVM. Essa UPG está localizada no centro sudeste da bacia, percorrendo municípios de Caçapava do Sul, Formigueiro, São Sepé e Vila Nova do Sul. De forma semelhante com a UPG Santa Bárbara, essa UPG tem drenagem com orientação sudoeste para nordeste e nascentes no sul da UPG, porém com altitudes máximas de 400-450 metros. O Rio São Sepé, principal da UPG, nasce no sul do município de São Sepé, percorre a margem de sua área urbana e serve de limite municipal deste município com Formigueiro. Também deságua no Rio Vacacaí, no nordeste da bacia.

UPG Vacacaí Mirim - localizada no norte da bacia, com menor área (1181 km², 10,56% da bacia). Está localizada em porções dos municípios de Itaara, Júlio de Castilhos, Restinga Seca, Santa Maria, São João do Polêsine e Silveira Martins. A UPG Vacacaí Mirim possui a faixa transicional dos biomas Mata Atlântica e Pampa, com, 45,34% e 54,66%, respectivamente. A UPG tem as maiores altitudes registradas da bacia, na faixa de 450-500 m. O Rio Vacacaí-Mirim, principal da UPG, tem início no município de Itaara, no noroeste da UPG, percorre a margem da área urbana do município de Santa Maria e cruza o município de Restinga Sêca, onde encontra o Rio Jacuí.

MATERIAL E MÉTODOS

Na figura 2 estão apresentadas as duas etapas para geração da informação necessária para o balanço hídrico. A primeira etapa tem como resultado a disponibilidade hídrica a partir de modelagem hidrológica; já a segunda etapa (principal foco deste artigo), tem como objetivo gerar o balanço hídrico, o qual será posteriormente utilizado para consolidação do diagnóstico, prognóstico e enquadramento da BHVVM.

Figura 2. Esquema da metodologia.



Fonte: Autores (2023)

Disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica

Para a estimativa da disponibilidade hídrica, foram utilizados dados de chuva oriundos de 122 estações pluviométricas localizados na bacia hidrográfica e seu entorno e sete estações fluviométricas para calibração e validação do modelo hidrológico. Os dados das estações em escala diária foram obtidos do sistema Hidroweb (ANA, 2022) para o período de 01/01/1985 a 12/12/2018. A simulação hidrológica foi realizada com o Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH). O período de calibração foi de 01/01/1985 a 31/12/2005, e o período de validação de 01/01/2006 a 12/12/2018.

Foram utilizados os coeficientes de Nash-Sutcliffe (NASH), NASH do logaritmo das vazões (NASHlog) e erro de volume (BIAS) para avaliar o desempenho do modelo. A calibração foi realizada de forma manual com mudanças nos parâmetros calibráveis do modelo a partir de uma discretização espacial da bacia em 742 minibacias. A partir da modelagem foram obtidas séries de vazões de 01/01/1985 a 12/12/2018, para os principais trechos hídricos da bacia hidrográfica, e foram calculadas vazões médias, anuais e mensais, além daquelas referentes às diversas permanências (Q90, Q95, Q98, etc.). A vazão Q90 foi utilizada para o balanço hídrico por ser a vazão de referência do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul (CRH/RS, 2014).

Demandas Hídricas: usos consuntivos

Para o fim de cálculo do balanço quantitativo e qualitativo da BHVVM, foram estimadas apenas as retiradas de água dos cursos hídricos superficiais para diferentes tipos de uso, (abastecimento, criação animal, etc). Esta estimação foi realizada por uma compilação de diferentes fontes de dados.

Retirada de água para abastecimento público

As retiradas de água para o abastecimento público utilizadas no balanço hídrico foram os cadastros de águas superficiais registrados no Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul (SIOUT/RS) para cada município.

Retirada de água para produção agrícola

Dentre as culturas com maior expressividade na bacia hidrográfica, determinou-se, que as culturas irrigadas de soja, arroz, fumo, laranja e tangerina, representam as maiores demandas de água por hectare conforme apresentado na Tabela 1. A definição da demanda média das culturas foi elaborada de acordo com o conhecimento dos produtores rurais da bacia hidrográfica e dos analistas da Divisão de Outorga da SEMA-RS.

Tabela 1. Demanda de água para irrigação das culturas

Cultura	Demanda média por área irrigada (m ³ /ha.mês)											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Soja	600	500	200	0	0	0	0	0	0	0	200	500
Arroz	2.000	2.000	500	0	0	0	0	0	0	0	1.500	2.500
Fumo	833	0	0	0	0	0	0	833	833	833	833	833
Laranja	1.000	1.000	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000
Tangerina	1.000	1.000	0	0	0	0	0	0	1.000	1.000	1.000	1.000

Fonte: Autores (2023)

Considerando que nem todas as áreas de soja na bacia hidrográfica são irrigadas, tomou-se como irrigadas áreas de irrigação de soja licenciadas pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler (FEPAM) e algumas regiões específicas apontadas pelo Comitê de Bacia. A demanda hídrica para a irrigação de arroz foi estimada considerando os pontos de captação e as áreas irrigadas informadas nos cadastros para irrigação desta cultura no SIOUT/RS, corrigindo o volume de captação

para 10.000 m³/hectare por safra. Para as demais culturas, que são menos expressivas na região, considerou-se as informações dos cadastros do SIOUT/RS.

Retirada de água para criação animal

Para a estimativa das retiradas de água dos corpos hídricos superficiais para criação animal foram utilizados dados da Pesquisa Pecuária Municipal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022) do ano de 2018. Considerou-se que a criação animal ocorre de forma extensiva nas áreas da classe “Formação campestre” e parcialmente nas áreas da classe “Mosaico de Agricultura e Pastagem” do mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do projeto MapBiomas, coleção 5 (<https://mapbiomas.org/>) referente a 2018. Foram utilizados os coeficientes de demanda médios de água por cabeça conforme o Manual de Usos Consuntivos de Água no Brasil (ANA, 2019) apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Demanda de água para criação animal

Rebanho	Demanda média por cabeça (l/cab.dia)
Bovino	50
Ovino	10
Galinhas	0,27
Galináceos (exceto galinhas)	0,22
Equino	40
Suíno	18,7
Vacas ordenhadas	127,5
Codornas	0,18
Caprino	10
Bubalino	50

Fonte: Autores (2023)

Retirada de água para uso industrial

As retiradas de água para indústria foram extraídas diretamente do SIOUT/RS, considerando as outorgas de uso da água para a finalidade uso industrial com captação superficial.

Retirada de água para atividades de mineração

Para avaliar os locais e substâncias mineradas na BHVVM foram avaliados dados da Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM, 2023) e os polígonos de mineração da Agência Nacional de Mineração (ANM, 2023). A vazão de retirada de água para as diferentes substâncias foi estimada a partir dos coeficientes do Manual de Usos Consuntivos de Água no Brasil (ANA, 2019). Foram utilizados dois valores de coeficientes de retirada: um de 40 l/tonelada para “extração de pedra, areia e argila”, correspondendo aos materiais areia, arenito, argila, basalto, calcário, gnaiss e saibro; e outro de 6.250 l/tonelada para “extração de minerais não-metálicos – outros”, que compreendeu as rochas ornamentais quartzito e sienito.

Fontes Poluidoras

As fontes poluidoras da BHVVM foram diferenciadas entre pontuais e difusas. As fontes pontuais foram consideradas aquelas provenientes do sistema de esgotamento sanitário da área urbana dos municípios que compõem a bacia hidrográfica, de seus distritos e os resultantes das atividades industriais. Para este tipo de fonte, é necessário definir as concentrações dos parâmetros conforme o tipo de efluente, além das vazões lançadas e os locais de lançamento. Como fontes de poluição difusa, foi estimada a poluição gerada pelas atividades agrícolas e de pecuária, definindo as cargas de cada parâmetro conforme o tipo de efluente. Para o caso das atividades de mineração, não foi considerada a estimativa de poluição em função da inexistência de dados referentes à destinação e caracterização destes efluentes.

Os parâmetros considerados na caracterização dos efluentes de cada uma das fontes utilizadas na simulação da qualidade dos corpos hídricos foram: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO); Coliformes Termotolerantes e Fósforo.

Lançamentos de esgotamento sanitário

Os lançamentos provenientes do esgotamento sanitário são interpretados a partir de quatro possibilidades de encaminhamento dos efluentes: com coleta e com tratamento dos efluentes; com coleta e sem tratamento; sem coleta e sem tratamento (lançamento a céu aberto ou solução individual precária); e solução individual (fossa séptica). As concentrações de cada parâmetro considerado foram estimadas conforme segue:

- Para sistemas de esgotamento sanitário com coleta e com tratamento considerou-se as concentrações de lançamento permitidas conforme estabelecido pelo órgão ambiental do estado (CONSEMA, 2017) para cada estação de tratamento de esgoto (ETE). As ETEs Lorenzi (Santa Maria), Siqueira e Santa Clara (ambas em São Gabriel), foram identificadas com suas respectivas concentrações de efluentes para cada parâmetro (Tabela 3).

- Para os sistemas sem coleta e sem tratamento (lançamento a céu aberto ou solução precária) e com coleta e sem tratamento considerou-se as concentrações de efluente bruto, conforme Von Spearling (2014), que indica 300 mg/L para DBO, 1E+09 NMP/100ml para Coliformes Termotolerantes e 7,0 mg/L para Fósforo Total.
- Para sistemas de solução individual considerou-se a eficiência de um modelo de fossa séptica de 30% de remoção sobre a DBO, 1 unidade logarítmica para Coliformes Termotolerantes e 35% de remoção sobre o Fósforo Total, resultando em concentrações de 210 mg/L de DBO, 1E+08 NMP/100ml de Coliformes Termotolerantes e 4,6 mg/l para Fósforo Total.

As concentrações utilizadas para cada sistema são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Concentrações de efluentes para cada tipo de sistema de esgotamento sanitário.

Parâmetros	DBO (mg/l)	Coli (NMP/100ml)	Pt (mg/l)
COM COLETA E COM TRATAMENTO			
ETE Lorenzi	40	1E+03	1,0
ETE Siqueira	70	1E+05	2,2
ETE Santa Clara	100	1E+05	4,0
COM COLETA E SEM TRATAMENTO			
Efluente bruto	300	1E+09	7,0
SOLUÇÃO INDIVIDUAL			
Fossa séptica	210	1E+08	4,6
SEM COLETA E SEM TRATAMENTO			
Efluente bruto	300	1E+09	7,0

Fonte: Autores (2023)

Para o cálculo da vazão dos efluentes foi utilizado o coeficiente de retorno de 80% sobre a demanda de água. Para o caso do município de Caçapava do Sul (que não capta água na bacia, mas que lança parte de seus efluentes dentro dela), foi utilizada uma parcela da demanda correspondente à proporção de área do município que drena para o interior da bacia hidrográfica.

A vazão de esgoto produzida foi distribuída conforme as diferentes formas de encaminhamento dos efluentes em cada município a partir das informações do Atlas de Esgoto (ANA, 2017), ano de referência 2013.

Para definir a localização dos pontos de lançamento dos efluentes foram utilizados os dados do Atlas de Esgoto (ANA, 2017), os dados de licenciamento das ETEs e a delimitação dos setores censitários (urbano e rural) do Censo de 2010 (IBGE, 2022). Com base nestas informações e com o auxílio do software Google Earth definiu-se a localização dos lançamentos ao longo da bacia. Os sistemas “solução individual” e “sem coleta e sem tratamento”, apesar de serem fontes difusas de efluentes na sua essência,

foram considerados como fontes pontuais de acordo com os respectivos adensamentos urbanos e levantamentos do Atlas de Esgotos.

Lançamentos da atividade industrial

Os dados de lançamento de efluentes para a atividade industrial foram obtidos a partir do banco de dados do Sistema de Automonitoramento de Efluentes Líquidos Industriais (SISAUTO) para o ano de 2018, implementado pela FEPAM como forma de controle e acompanhamento periódico dos sistemas de tratamento de efluentes líquidos industriais licenciados em operação (CONSEMA, 1998).

Poluição difusa da produção agrícola

Para estimar a poluição oriunda da produção agrícola, se utilizou os quantitativos de hectares para as classes de uso do solo na BHVVM referentes à agricultura. As cargas poluidoras por hectares são adaptadas a partir do trabalho de Lima (1998) e são apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Cargas por hectare para cada classe de uso do solo

Classe de uso do solo	Parâmetros		
	DBO (Kg/ha.dia)	Coli (NMP/ha.dia)	Ptotal (Kg/ha.dia)
Soja, Outras lavouras temporárias e Mosaico de agricultura e pastagem	0,048	6,88 x 10 ¹⁰	0,002
Floresta Plantada	0,012	não se aplica	0,001

Fonte: Autores (2023)

Poluição difusa da criação animal

As cargas poluidoras referentes à criação animal foram estimadas a partir da quantificação do número de animais presentes na BHVVM (Tabela 5), informada pela Pesquisa da Pecuária Municipal do IBGE (2018) e dos valores adaptados do Plano da Bacia Hidrográfica do Camaquã (SEMA-RS(b), 2016); Plano da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba (SEMA-RS(b), 2016); Plano de Bacia do Rio Caí (SEMA-RS(c), 2008) e Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (IMASUL, 2023).

Tabela 5. Carga dos parâmetros para as criações animais

Criação animal	Parâmetros		
	DBO (Kg/cab.dia)	Coli (NMP/cab.dia)	Ptotal (Kg/cab.dia)
Bovinos	0,430	$5,4 \times 10^9$	0,033
Bubalinos	0,430	$5,4 \times 10^9$	0,033
Equinos	0,430	$5,4 \times 10^9$	0,033
Ovinos	0,068	$1,8 \times 10^{10}$	0,027
Caprinos	0,068	$1,8 \times 10^{10}$	0,027
Suínos	0,170	$8,9 \times 10^9$	0,006
Galináceos	0,010	$2,4 \times 10^8$	0,000
Codornas	0,010	$2,4 \times 10^8$	0,000

Fonte: Autores (2023)

Balanço hídrico quantitativo

O balanço hídrico quantitativo permite avaliar se a água disponível na bacia hidrográfica é compatível com os usos consuntivos realizados nela. A simulação do balanço hídrico para a BHVVM foi realizada utilizando o modelo Water Resources Management GIS Integrated Tools (WARM-GIS) (KAYSER & COLLISCHONN, 2013), que realiza o balanço entre disponibilidades hídricas nos cursos de água e as retiradas de água superficiais na bacia hidrográfica.

Foi considerada a condição de situação mais crítica na BHVVM: a qual apresenta o resultado do balanço hídrico considerando como disponibilidade a Q90 anual nos cursos d'água e como demandas hídricas as retiradas de água no mês de novembro, mês no qual a maior parte dos irrigantes inicia o enchimento das quadras de arroz.

Os resultados de balanço hídrico quantitativo serão apresentados em termos de estresse hídrico (% de comprometimento da vazão disponível) e em termos de vazão remanescente (m^3/s).

Balanço hídrico qualitativo

Para a elaboração do balanço hídrico qualitativo da BHVVM, também foi utilizado o modelo WARM-GIS, que considera como água disponível para a diluição dos efluentes a vazão remanescente, resultado do balanço hídrico quantitativo na situação de disponibilidade hídrica da Q90. Além disso, foi informado para o modelo os tipos e a localização dos lançamentos de efluentes pontuais e das cargas de efluentes difusas na bacia.

Este modelo realiza a simulação dos processos de decomposição, sedimentação, remoção, aeração, decaimento e transformação dos poluentes dentro dos cursos hídricos. Sendo assim, o modelo simula a

concentração dos poluentes em cada trecho de rio da bacia. O modelo foi comparado com pontos de medição de qualidade existentes na bacia pelo Programa QUALIÁGUA RS (<http://pnqa.ana.gov.br/Qualiagua.aspx>). Os dados e os resultados do modelo foram compatibilizados conforme os intervalos dos valores máximos da Resolução nº 357 (CONAMA, 2005). Pela baixa quantidade de amostras disponíveis, foi utilizada a predominância da classe (moda) como comparação ao resultado do modelo.

RESULTADOS

Calibração do Modelo e Disponibilidade Hídrica

Os parâmetros de validação e calibração são apresentados na tabela 6. Os valores de parâmetro “Nash-log” foram priorizados na calibração devido o maior interesse no acerto de vazões mínimas, que utiliza a vazão Q90 como entrada (disponibilidade hídrica) no modelo de balanço hídrico.

Tabela 6. Métricas de calibração e validação na modelagem hidrológica realizada.

Código da estação	Calibração (1985-2005)			Validação (2006-2018)		
	Nash	Nash-log	Bias	Nash	Nash-log	Bias
85438000	0,427	0,574	-3,559	0,233	0,394	5,614
85470000	0,602	0,599	-18,695	0,675	0,621	1,232
85480000	0,676	0,792	-10,328	0,665	0,754	14,737
85600000	0,55	0,767	-17,704	0,599	0,721	7,228
85610000	0,329	0,465	-14,307	0,355	0,644	1,54
85615000	0,312	0,447	-40,137	-	-	-
85623000	0,672	0,769	-16,799	0,706	0,749	-7,189

Fonte: Autores (2023)

Foram obtidas séries de vazões e foi calculada a vazão de permanência Q90 para o período 01/01/1985 a 12/12/2018 nos principais trechos hídricos da BHVVM. A tabela 7 apresenta a Q90 anual e as mensais calculadas nos trechos hídricos que representam os principais rios da bacia e os exutórios das UPGs. É possível avaliar que nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro as vazões Q90 mensais estão sempre abaixo da anual, e nos demais meses geralmente a vazão mensal é superior à anual. O mês de janeiro foi o que apresentou a menor Q90. As menores vazões nestes meses são causadas pela maior evapotranspiração na bacia nos meses mais quentes. A vazão total da BHVVM é obtida pelo somatório das vazões das UPGs Baixo Vacacaí e Vacacaí-Mirim, portanto a vazão média anual da bacia é de 219,41 m³/s e a Q90 anual é de 29,01 m³/s.

Tabela 7. Área de drenagem, Q90 anual e mensais para os exutórios dos principais cursos hídricos da BHVVM.

UPG	Alto Vacacaí				Médio Vacacaí		Baixo Vacacaí	Santa Bárbara	São Sepé	Vacacaí-Mirim
Curso Hídrico	Rio Vacacaizinho	Arroio do Salso	Rio Vacacaí	Rio dos Corvos	Arroio do Arenal	Rio Vacacaí	Rio Vacacaí	Rio Santa Bárbara	Rio São Sepé	Rio Vacacaí-Mirim
Área de drenagem (km ²)	134	712	3.119	893	854	6.552	10.001	1.606	1.290	1.131
Q90 (m ³ /s)	Anual	0,29	1,38	5,90	2,27	2,19	14,99	24,58	3,61	2,73
	Janeiro	0,15	0,66	2,56	1,17	1,18	7,61	12,71	1,97	1,51
	Fevereiro	0,19	0,84	3,75	1,62	1,44	10,14	16,43	2,23	1,67
	Março	0,21	0,99	4,22	1,57	1,41	9,81	15,28	2,12	1,58
	Abril	0,30	1,28	5,53	2,14	2,00	15,80	24,57	3,63	2,48
	Maio	0,36	1,71	7,40	2,98	2,89	19,74	29,89	4,07	3,22
	Junho	0,46	2,44	10,59	3,77	3,93	25,57	42,12	5,99	4,41
	Julho	0,68	3,48	14,83	5,73	6,10	42,56	67,58	9,47	7,47
	Agosto	0,57	3,09	13,52	4,53	4,63	35,05	55,44	8,08	6,60
	Setembro	0,55	2,97	13,05	4,09	4,25	33,67	56,76	9,01	6,96
	Outubro	0,59	3,07	13,38	3,95	4,38	31,07	52,64	8,16	6,28
	Novembro	0,41	2,01	8,47	3,12	2,90	21,27	33,10	4,64	3,56
	Dezembro	0,24	0,98	4,14	1,48	1,35	10,23	16,76	2,49	1,81

Fonte: Autores (2023)

Retiradas de água

As demandas evidenciam a totalidade de necessidade hídrica para atendimento dos usos das principais finalidades da bacia. Na tabela 8, os usos de agricultura, criação animal, abastecimento e atividades industriais e de mineração estão somados. Percebe-se claramente a diferença na composição de demandas nos diferentes meses, com o aumento da demanda agrícola nos meses de novembro a fevereiro, com o pico da demanda ocorrendo no mês de novembro.

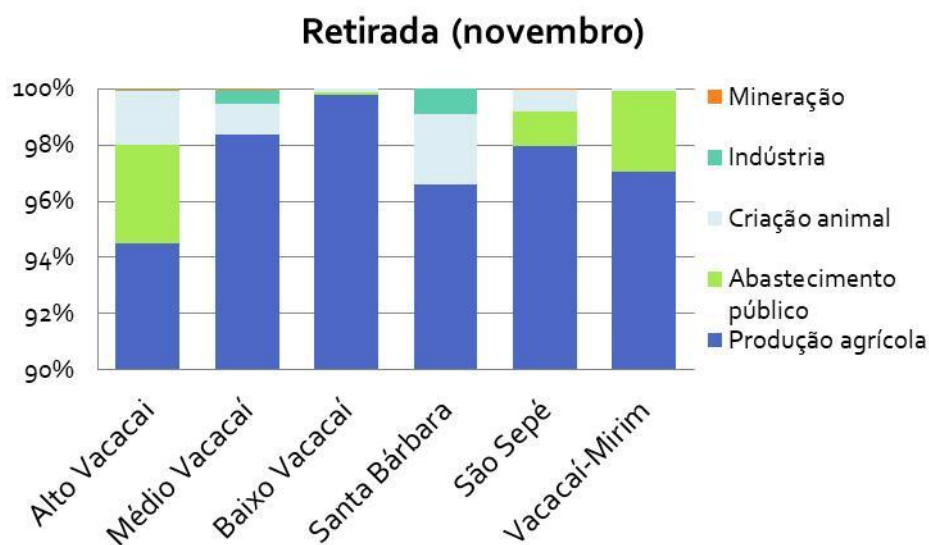
Tabela 8. Comparativo das retiradas de água no mês de novembro na BHVVM por finalidade e situação.

Retiradas (m ³ /s)	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Média Anual
Alto Vacacai	3,38	2,99	0,94	0,53	0,24	0,24	0,24	0,24	0,53	1,77	4,32	3,67	1,59
Médio Vacacaí	5,18	4,81	1,91	0,16	0,16	0,14	0,14	0,16	0,16	1,06	6,62	4,99	2,13
Baixo Vacacaí	10,71	4,69	0,18	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,47	10,19	10,70	3,09
Santa Bárbara	2,34	2,22	0,53	0,12	0,08	0,06	0,06	0,08	0,08	0,34	1,70	2,32	0,83
São Sepé	4,21	3,88	1,29	0,78	0,78	0,12	0,12	0,78	0,78	1,25	4,57	4,27	1,90
Vacacaí-Mirim	12,39	11,60	4,18	1,12	1,04	0,72	0,58	0,66	0,86	3,28	13,26	12,81	5,21
Total	38,21	30,18	9,03	2,73	2,32	1,30	1,16	1,94	2,43	8,16	40,66	38,76	14,74

Fonte: Autores (2023)

Analisando os dados de retiradas para o mês mais crítico (Figura 3), a demanda agrícola está acima de 94% para todas as UPGs e evidencia como este uso produz a maior pressão para recursos hídricos e em condição de sazonalidade. Os demais usos, embora constantes ao longo do ano, possuem uma magnitude pequena comparada à produção agrícola.

Figura 3. Retiradas para o mês mais crítico (novembro).



Fonte: Autores (2023)

Lançamento de efluentes

Os resultados para as vazões de lançamentos (poluição pontual) e cargas de lançamento (poluição difusa) estão apresentados na Tabela 9 e Tabela 10, respectivamente. Para as fontes pontuais, os maiores lançamentos ocorrem nas UPGs Médio Vacacaí e Vacacaí-Mirim, resultado da presença do município de Santa Maria. A UPG Alto Vacacaí também apresenta valores consideráveis pelos efluentes gerados no município de São Gabriel. As UPGs Baixo Vacacaí, Santa Bárbara e São Sepé possuem municípios com menor população e pouco industrializados, o que explica os baixos valores de lançamentos pontuais.

Tabela 9. Resumo dos lançamentos pontuais por UPG conforme parâmetros

UPG	Esgotamento sanitário				Atividade industrial			
	Vazão	DBO	Coliformes	Fósforo	Vazão	DBO	Coliformes	Fósforo
	(m³/s)	(kg/dia)	(NMP/dia)	(kg/dia)	(m³/s)	(kg/dia)	(NMP/dia)	(kg/dia)
Alto Vacacaí	0,1230	41.668	1,01E+15	977	0,0026	51	4,45E+07	2
Médio Vacacaí	0,7674	183.658	4,84E+15	4.220	0,0125	368	2,27E+09	0
Baixo Vacacaí	0,0080	1.120	2,90E+13	26	0,0000	0	0,00E+00	0
Santa Bárbara	0,0203	3.892	1,09E+14	90	0,0001	4	1,38E+07	0
São Sepé	0,0440	3.079	7,98E+13	71	0,0000	0	0,00E+00	0
Vacacaí-Mirim	0,1068	44.847	1,16E+15	1.027	0,0390	977	4,04E+09	0
Total	1,0695	278.264	7,23E+15	6.410	0,0542	1.400	6,37E+09	2

Fonte: Autores (2023)

Para as cargas difusas, resultado das atividades agrícolas e de criação animal, a UPG Médio Vacacaí possui os maiores lançamentos pela maior área e pela intensa atividade agrícola. As UPGs Santa Bárbara e São Sepé, por possuírem maior atividade de criação animal nos campos nativos, possuem os maiores lançamentos para os parâmetros coliformes.

Tabela 10. Resumo dos lançamentos difusos por UPG conforme parâmetros

UPG	Produção agrícola			Criação animal		
	DBO	Coliformes	Fósforo	DBO	Coliformes	Fósforo
	(kg/dia)	(NMP/dia)	(kg/dia)	(kg/dia)	(kg/dia)	(kg/dia)
Alto Vacacaí	4	5,32E+15	203	77	2,00E+15	7
Médio Vacacaí	6	7,99E+15	289	88	1,82E+15	8
Baixo Vacacaí	1	1,63E+15	59	18	3,02E+14	1
Santa Bárbara	2	2,63E+15	96	38	9,17E+14	3
São Sepé	2	3,02E+15	111	36	7,54E+14	3
Vacacaí-Mirim	2	3,00E+15	108	20	3,61E+14	2
Total	17	2,36E+16	866	278	6,15E+15	24

Fonte: Autores (2023)

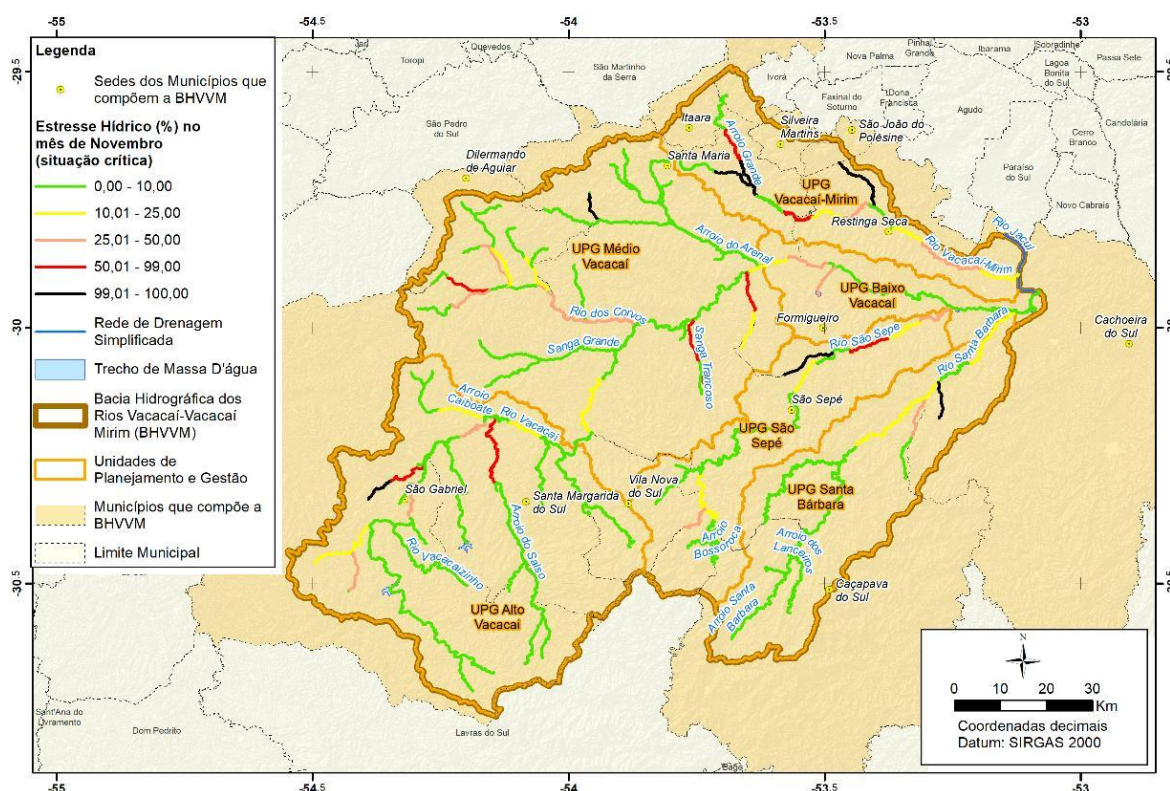
Balanço Hídrico Quantitativo

O balanço hídrico quantitativo representa o comprometimento da disponibilidade superficial (exprimida pela vazão de 90% de permanência – Q90) em relação às demandas efetivadas da BHVVM. Os resultados em termos de estresse hídrico indicam o percentual da vazão disponível que está sendo retirado do rio pelos usos, e serve de subsídio para discutir diretrizes de outorga, como o máximo outorgável.

Na situação mais crítica, no mês de novembro, são registradas as maiores demandas de uso de água, a disponibilidade hídrica dos cursos d'água é em grande parte suficiente para atender aos usos. A predominância dos trechos verdes (na figura 4) mostra que o comprometimento está entre 0-10%, mesmo no mês com as maiores retiradas (novembro). Apesar disso, alguns trechos pontuais passam de 50%, o

que é um sinal comprometimento acima do indicado pela normativa do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul (CRH/RS, 2014). Alguns trechos passam de 99% de retirada, com destaque aos trechos localizados no Rio Vacacaí-Mirim e outro no Arroio Grande, cursos hídricos mais expressivos.

Figura 4. Estresse Hídrico (%) do balanço acumulado.



Fonte: Autores (2023)

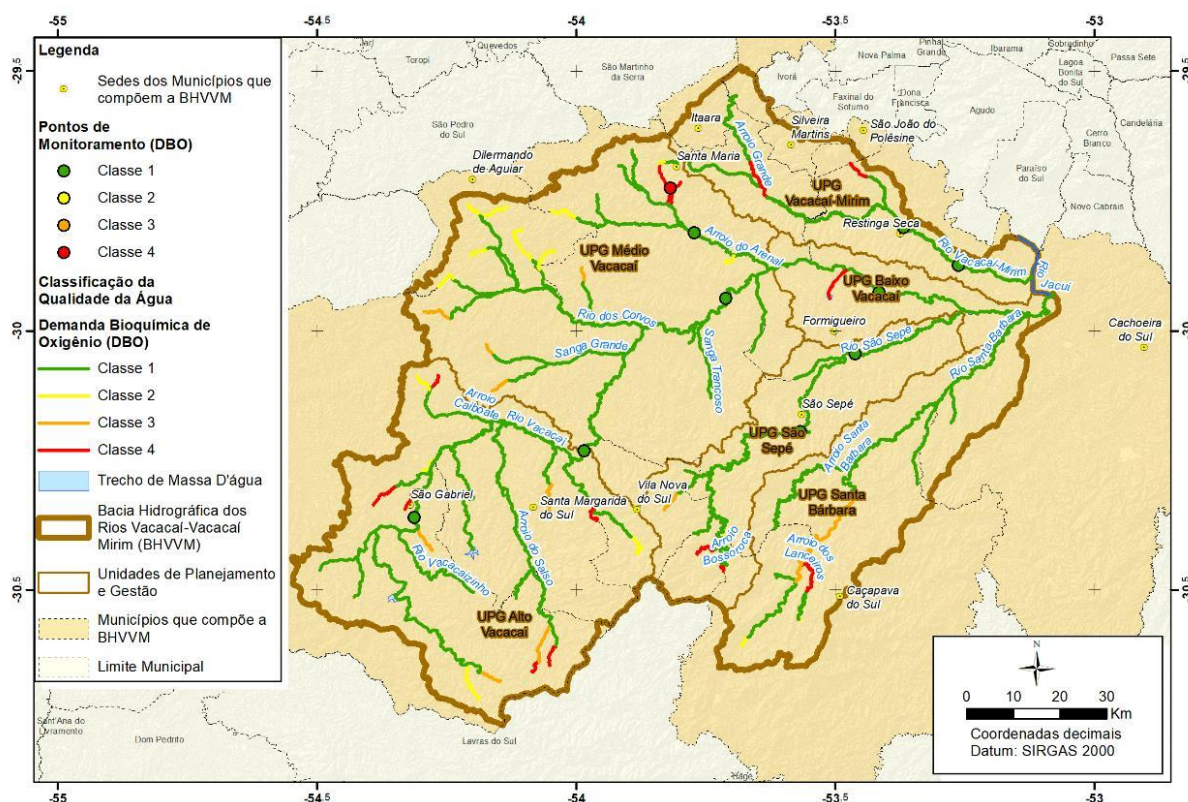
Comparando os rios principais da BHVVM, percebe-se que o rio Vacacaí-Mirim apresenta mais de 50% da extensão de seus cursos de água com estresse acima de 25%. Alguns trechos passam de 99% de retirada, o que configura como o rio com maior comprometimento hídrico. O rio Vacacaí, ao contrário, não possui nenhum trecho com comprometimento acima de 50% e boa parte com comprometimento inferior a 10%.

Balanço Qualitativo

O balanço qualitativo considera como água disponível para a diluição dos lançamentos e efluentes a vazão remanescente que resulta do balanço hídrico quantitativo. Na sequência, estão apresentados os resultados do balanço qualitativo para cada parâmetro analisado.

Em termos de DBO, a classificação atual apontou para Classe 1 em praticamente toda a bacia (Figura 5); porém trechos com qualidade inferior (2 e 3) podem ser observadas nos trechos de cabeceiras, configurando trechos com menor vazão e menor capacidade de diluição das cargas. Todos os pontos de monitoramento presentes na BHVVM foram validados.

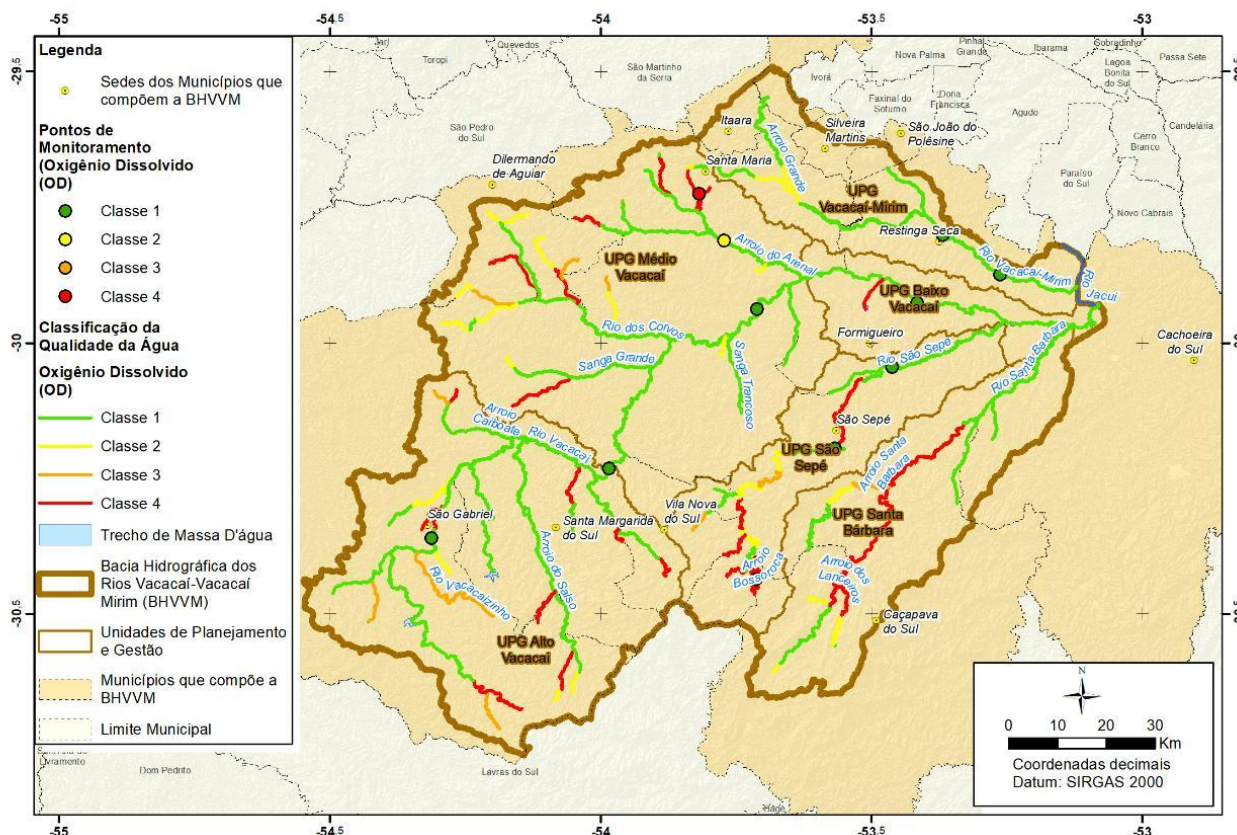
Figura 5. Classificação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), segundo CONAMA nº 357/2005.



Fonte: Autores (2023)

Para o parâmetro OD, há predominância da classe 1 em grande parte da BHVVM (Figura 6). As UPGs São Sepé e Santa Barbara apresentam degradação maiores nos seus rios principais, percorrendo classes 2, 3 e 4 nos seus trechos de iniciais até locais intermediários do rio, a partir de onde apresentam classe 1. Nas UPGs do rio Vacacaí (Alto, Médio e Baixo Vacacaí), o Rio Vacacaí apresentou classe 1 em praticamente todo seu trecho, com exceção de seu trecho de cabeceira, com classe 4. Foi possível validar os resultados do modelo com todos os pontos de monitoramento, exceto nos pontos de monitoramento do Arroio Arenal (UPG Médio Vacacaí), que apresentou classe 1 pelo modelo, porém classe 2 pelos dados diretamente das estações de monitoramento. A possível causa para esta divergência seja a superestimativa dos valores da Q90 no Arroio Arenal e produzir resultados de melhor classe para o modelo.

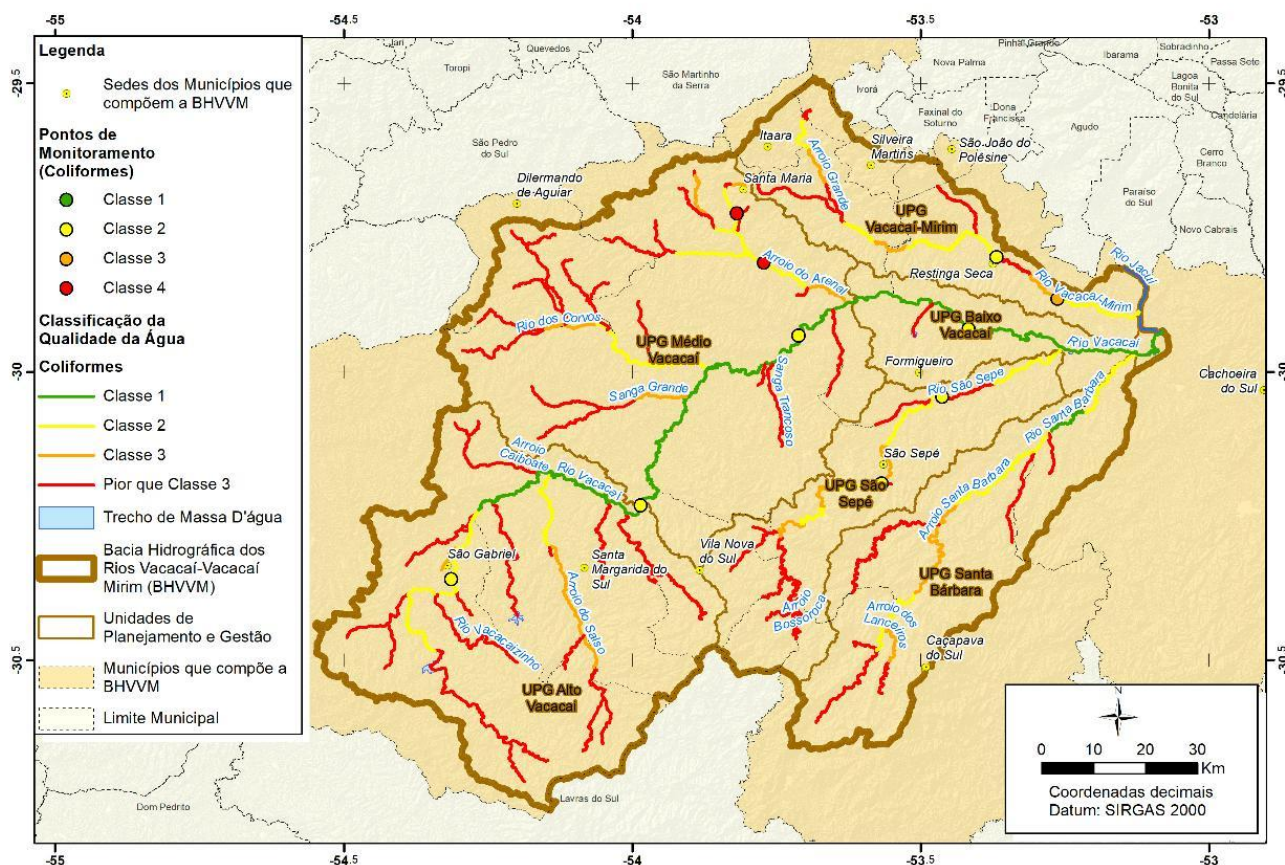
Figura 6. Classificação do Oxigênio Dissolvido (OD) segundo CONAMA n° 357/2005.



Fonte: Autores (2023)

Analisando a figura 7, que representa a classificação da qualidade da água para os Coliformes Termotolerantes percebe-se uma predominância das classes 4, 3 e 2 na maior parte BHVVM, sendo que apenas no trecho da drenagem do Rio Vacacaí a classificação da qualidade da água, segundo os Coliformes Termotolerantes é de Classe 1. O modelo foi validado apenas no trecho do Rio Vacacaí de São Gabriel, enquanto os demais trechos à jusante com classe 1 não foram validados nos pontos de monitoramento, que possuem classe 2 como predominante. Problema na validação também aconteceu no trecho do Arroio Arenal: para o modelo foi registrado classe 2 e para o ponto de monitoramento a classe predominante foi 4. Ressalta-se que este parâmetro pode estar com as cargas com valores superestimados, gerando no modelo resultados de qualidade provavelmente inferior à realidade, principalmente nos trechos de cabeceiras que por sua vez possuem vazões menores.

Figura 7. Classificação dos Coliformes Termotolerantes segundo CONAMA n° 357/2005.

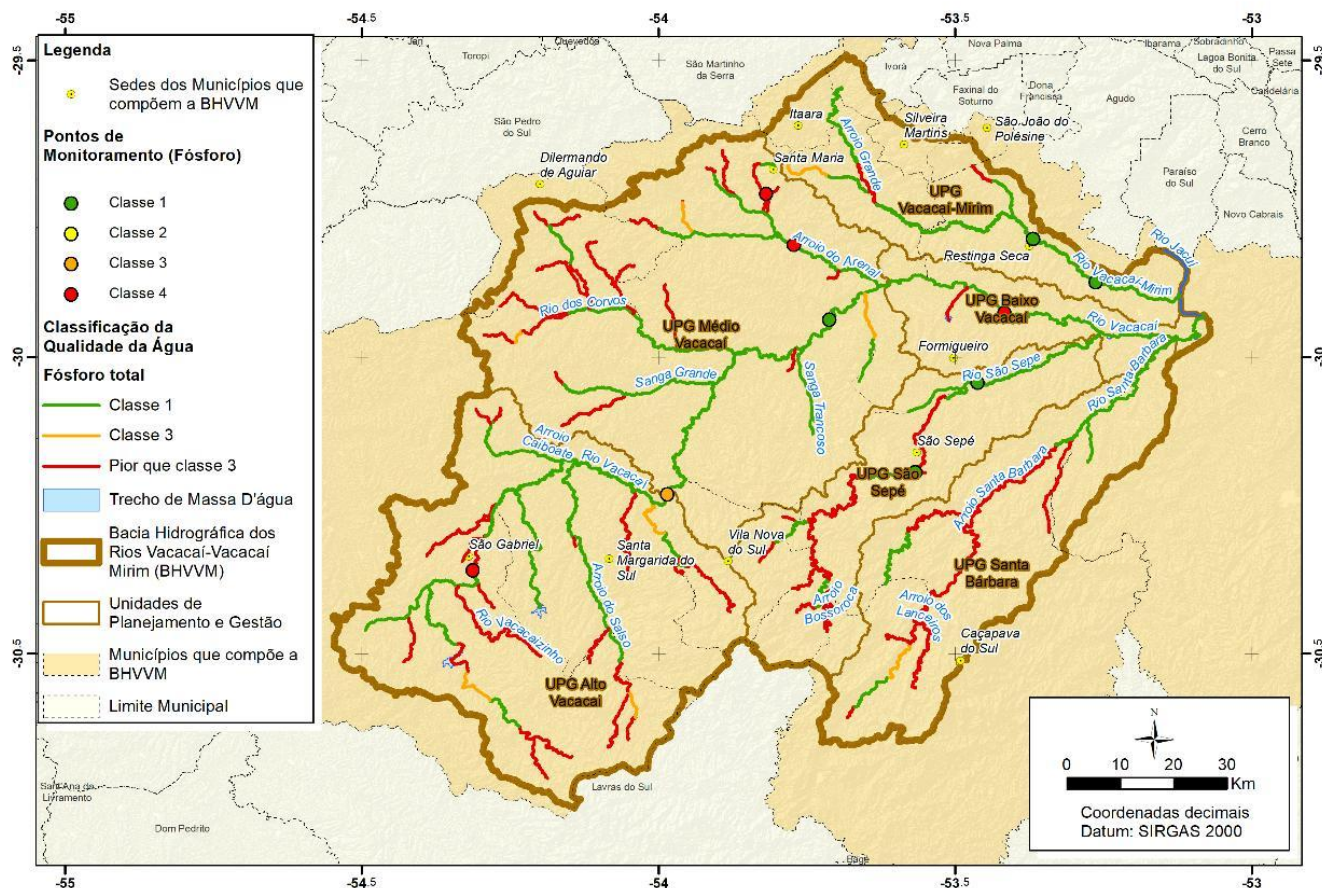


Fonte: Autores (2023)

O parâmetro Fósforo total também apresentou as piores qualidades nos trechos iniciais da drenagem simplificada (Figura 8). Os trechos intermediários dos rios São Sepé e Santa Bárbara apresentaram classe 4. Nos trechos finais, próximos de seus exutórios, apresentam melhora da qualidade para classe 1. O rio Vacacaí-Mirim apresentou classe 3 no seu trecho inicial, no entorno da área urbana de Santa Maria, e classe 1 nos demais trechos desse rio. Esses trechos foram validados com os pontos de monitoramento (classe 1).

Na UPGs do rio Vacacaí, além dos trechos iniciais com classe 4 previamente mencionados, os rios principais tiveram predomínio de classe 1. Os pontos do rio Vacacaí foram validados para dois pontos de monitoramento, à jusante de São Gabriel e próximo ao Arroio Arenal. Os demais pontos de monitoramento não foram validados, com o modelo apresentando melhor qualidade (classe 1) que os dados monitorados (classe 3 e 4). Além disso, o Arroio Arenal apresentou grande discrepância entre o modelo e o ponto de monitoramento, com classes 1 e 4, respectivamente.

Figura 8. Classificação do Fósforo segundo CONAMA n° 357/2005.



Fonte: Autores (2023)

Análise integrada

A seguir são apresentadas informações específicas de alguns cursos hídricos:

> Rios Vacacaí e São Sepé logo a jusante das áreas urbanas de São Gabriel e São Sepé, respectivamente.

O modelo quali-quantitativo se mostrou sensível e acusou piora da qualidade da água para alguns parâmetros, porém os mesmos não foram validados pela falta de dados nesses locais específicos.

> Arroio Arenal (UPG Médio Vacacaí)

Não foi possível validar o resultado do modelo com os dados da estação para os parâmetros OD, Coliformes Termotolerantes e Fósforo total. Os resultados do modelo apresentaram melhor qualidade que o local da estação. A vazão remanescente do balanço hídrico quantitativo foi superestimada devido a falta de cadastros no SIOUT RS para os usos da água, principalmente o uso relacionado à irrigação. Por consequência, a possível causa para esse resultado é a maior disponibilidade de água para diluir as cargas, o que produz classes de melhor qualidade do modelo comparado com os dados da estação. As maiores

discrepâncias entre dados de monitoramento e a modelagem ocorreram nesse ponto. Portanto, os resultados da modelagem em todo esse trecho devem ser avaliados com ressalvas.

> Arroio Cadena, Arroio Ferreira e Sanga Norte (UPG Médio Vacacaí)

Esses cursos hídricos apresentam classes de baixa qualidade, recebem os lançamentos difusos da área urbana de Santa Maria e são tributários do Arroio Arenal. A Sanga Norte também recebe os efluentes tratados da ETE Lorenzi, com classe 4 para todos os parâmetros do modelo e também para os pontos de monitoramento.

> Arroio Santa Bárbara e Arroio dos Lanceiros (UPG Santa Bárbara)

Esses arroios apresentaram condições de degradação (pior qualidade) no seu trecho alto/intermediário. Classe 4 foi registrada para os parâmetros OD e Fósforo Total, classe 3 para DBO e classes 2 e 3 para coliformes. Nenhum trecho desse arroio foi validado pois não há nenhuma estação de monitoramento na UPG. Portanto, é importante a investigação e monitoramento da qualidade desses trechos hídricos para corroborar o modelo e compreender com mais acerto sobre a qualidade do Arroio Santa Bárbara.

> Arroio Grande (UPG Vacacaí-Mirim)

No trecho final, o modelo simulou classes de baixa qualidade. Os parâmetros DBO, Coliformes Termotolerantes e Fósforo total apresentaram classe 4, e para o OD a classe foi 2. Esse trecho também não foi validado e é recomendado o seu monitoramento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O balanço hídrico quali-qualitativo da BHVVM foi realizado para uma condição crítica, permitindo uma investigação detalhada dos locais críticos da bacia hidrográfica. O trabalho também desenvolveu uma metodologia robusta para o cômputo da disponibilidade hídrica e das retiradas de água, que pode ser utilizado em outras bacias hidrográficas.

De uma forma geral, entre os principais rios que compõem a bacia, o Rio Vacacaí se encontra em melhor situação em relação aos rios Vacacaí-Mirim, São Sepé e Santa Bárbara. O Rio Vacacaí apresenta um baixo índice de estresse hídrico, com valores abaixo de 10% em quase toda sua extensão. Também apresentou maior qualidade em relação aos demais rios, com predomínio de classe para todos os parâmetros.

Para melhor entendimento e validação do modelo, sugere-se:

- Desenvolver trabalhos de levantamento de dados primários na UPG Santa Bárbara, a qual possui menos informações da bacia.

- Produzir mais informações e coleta de dados da qualidade das águas dos rios Vacacaí e São Sepé, logo a jusante das áreas urbanas de São Gabriel e São Sepé, respectivamente. O modelo quali-quantitativo se mostrou sensível e acusou piora da qualidade da água para alguns parâmetros, porém os mesmos não foram validados pela falta de dados nesses locais específicos.

- Produzir mais informações e coleta de dados da qualidade das águas nas áreas de cabeceira ou próximo aos trechos iniciais da drenagem simplificada considerada neste diagnóstico. Atenção especial pode ser realizada ao parâmetro Coliformes Termotolerantes, que apresentou baixa qualidade nos resultados do modelo quali-quantitativo.

- De forma semelhante como foi apontado por Libos *et al.* (2023) para os recursos hídricos de Santa Catarina, o programa de monitoramento QUALIÁGUA RS tem a quantidade de pontos de monitoramento praticamente inexpressiva frente a totalidade de trechos de bacia hidrográfica, especialmente nos trechos de rios de menor expressão, como trechos de cabeceiras. Esta situação dificulta a validação da modelagem qualitativa na bacia.

Esses resultados integram o diagnóstico (fase A) e são cruciais para subsídios e definição do enquadramento (fase B) do PRH, fase esta que contempla metas de qualidade futuras para a BHVVM.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradem aos membros do Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rios Vacacaí Vacacaí-Mirim por apoiarem este trabalho.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf/view. Acesso em: 11 de maio de 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília. 88 p.. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicaoodeBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf. Acesso em: 4 de novembro de 2021.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Enquadramento dos Corpos d'água em Classes. Conjuntura dos Recursos Hídricos do Brasil**. Brasília: ANA, 2019. 88p. http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/encarte_enquadramento_conjuntura2019.pdf. Acesso em: 19 de maio de 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Séries Históricas de Estações**. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 11 de novembro de 2022.

ANM. Agência Nacional de Mineração. **SIGMINE – Sistemas de Informações Geográficas de Mineração**. Disponível em: <https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908>. Acesso em: 11 de maio de 2023.

BRASIL. Constituição (2021). Lei nº 14026, de 15 de julho de 2020. **Atualiza O Marco Legal do Saneamento Básico e Altera A Lei Nº 9.984, de 17 de Julho de 2000, Para Atribuir À Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) Competência Para Editar Normas de Referência Sobre O Serviço de Saneamento**. Brasília, 15 jul. 2020. Lei nº 14026, de 15 de julho de 2020. Brasília, 15 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 11 de maio de 2023.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357: 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. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 11 de maio de 2023.

CFEM. **Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais**. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/arrecadacao>. Acesso em: 11 de maio de 2023.

COLLISCHONN, Walter. **Simulação hidrológica de grandes bacias**. 2001. 270f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

COLLISCHONN, Bruno; LOPES, Alan Vaz. Sistema de apoio à decisão para análise de outorga na bacia do Paraná. Sistema de Controle de Balanço Hídrico para apoio à outorga na bacia do São Francisco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18., 2008. Campo Grande. **Anais [...]** Campo Grande: ABRH 2009. P. 1-18.

CONSEMA. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (Estado). Resolução nº 355, de 13 de julho de 2017. **Dispõe Sobre os Critérios e Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos Para as Fontes Geradoras que Lancem Seus Efluentes em Águas Superficiais no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 19 de julho de 2017. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201707/19110149-355-2017-criterios-e-padroes-de-emissao-de-efluentes-liquidos.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2023.

CONSEMA. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (Estado). Resolução nº 01, de 20 de março de 1998. **Considerando a Necessidade de Especificar Novas Condições e Exigências Para O Sistema de Automonitoramento de Atividades Poluidoras Industriais Localizadas no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, RS, 20 de março 1998. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201611/29145717-resolucao-01-98.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2023.

CRH/RS. CONSELHO DE RECURSOS HÍDRICOS DO RIO GRANDE DO SUL. **Institui o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201708/22164454-resolucao-crh-141-2014-institui-plano-estadual-recursos-hidricos-estado-rs-28-03.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2023.

COSTA, Cecília Amélia Miranda. **Aplicabilidade de Modelos Matemáticos Para Elaboração de Cenários de Enquadramentos de Corpos Hídricos: o Caso da Bacia do Ribeirão Taquaruçu, Palmas – TO**. 2019. 150f. Dissertação (Mestrado Profissional) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2016.

DANTAS, Marcelo Eduardo; VIERO, Ana Cláudia; SILVA, Diogo Rodrigues Andrade. Origem das Paisagens. In: VIERO, Ana Cláudia; SILVA, Diogo Rodrigues Andrade (org.). **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2010. 212p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Agrícola Municipal**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 18 de outubro de 2019.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. PPM - **Pesquisa da Pecuária Municipal Brasília**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=destaques>. Acesso em: 22 de dezembro de 2022.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da população**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads>. Acesso em: 19 de maio de 2020.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geociências**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 22 de dezembro de 2022.

IMASUL. **Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. Plano Estadual de Recursos Hídricos de MS**. Disponível em: <https://www.imasul.ms.gov.br/plano-estadual-de-recursos-hidricos-de-ms/>. Acesso em: 11 de maio de 2023.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Brasil 2035: cenários para o desenvolvimento, Associação Nacional dos Servidores da Carreira de Planejamento e Orçamento**. Brasília, 2017. 320 p. ISBN: 978-85-7811-299-8. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/7910>. Acesso em: 11 de maio de 2023.

JUSTUS, J. O.; MACHADO, M. L. A.; FRANCO, M. S. M. Geomorfologia. Projeto RADAMBRASIL, 33. Folha SH-22 – Porto Alegre e parte das folhas SH-21 – Uruguaiana e SI-22 – Lagoa Mirim. Rio de Janeiro: IBGE, p. 313-404, 1986.

KAYSER, Rafael; et al. Comparativo entre o modelo QUAL 2K e uma metodologia simplificada de modelagem da qualidade da água integrada a um ambiente de Sistema de Informações Geográficas: Estudo de Caso na Bacia do Rio Macaé. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Anais [...]** Porto Alegre: ABRH. p. 1–8.

KAYSER, Rafael; COLLISCHONN, Walter. Integrando Sistema de Suporte à Decisão para Gerenciamento de Recursos Hídricos a um SIG de Código Aberto. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais [...]** Porto Alegre: ABRH, 2013. p. 1–8.

LIBOS, Nayla Motta Campos; PINHEIRO, Adílson; GIRARDI, Rubia. Análise Espacial de Dados de Monitoramentos de Qualidade de Água em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 2, p. 672–672, abr. 2023.

- LIMA, Luciana. **Simulação da Qualidade da Água em uma Bacia Hidrográfica: Aplicação a Bacia do Rio Curu (CE)**. 1998. 171f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998
- MAPBIOMAS – **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/download>. Acesso em: 06 de janeiro de 2020.
- PEREIRA, Margarita; KAYSER, Rafael; COLLISCHONN, Walter. Integração do Modelo Hidrológico para Grandes Bacias MGB-IPH e Sistemas de Informação Geográfica para suporte à decisão de outorga de direito de uso da água. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 9, n. 2, p. 21-33, 2012.
- RIO GRANDE DO SUL, 1994. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro. Assembleia Legislativa. **Lei nº 10350, de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, Regulamentando o Artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 01 jan. 1995. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/filerepository/replegis/arquivos/10.350.pdf>. Acesso em: 11 de maio de 2023.
- SEMA-RS(a). Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul. **NOTA TÉCNICA nº 003/2021/DIPLA/DRHS: Cálculo da população das bacias hidrográficas no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: 2022. 23 p. Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/publicacoes-drhs>. Acesso em: 12 de dezembro. 2022.
- SEMA-RS(b). Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul. **Plano da Bacia Hidrográfica do Camaquã, 2016**. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 11 de maio de 2023.
- SEMA-RS(c). Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul. **Plano da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba, 2016**. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 11 de maio de 2023.
- SEMA-RS(d). Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul. **Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Caí, 2008**. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 11 de maio de 2023.
- SILVA, Maytê; FARIA, Sérgio; MOURA, Priscila. Modelagem da qualidade da água na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba (MG). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, vol.22, n.1, p.133-143, 2017.
- SUERTEGARAY, Dirce Maria Antunes. Geomorfologia do Rio Grande do Sul, o saber de Ab'Saber. In: MODENESI-GAUTIERI, May Christine; BARTORELLI, Andrea; MANTESSO-NETO, Virginio; CARNEIRO, Celso Dal Ré; ANDRADE, Matias. (org.). – **A Obra de Aziz Nacib Ab'Saber**, 2010. 353p.
- VERGARA, Fernan; et al. Aplicabilidade do modelo matemático SAD-IPH na análise de processos de outorga: o caso da Bacia do Ribeirão Taquaruçu. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**, v. 21, p. 208-234, 2021.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 1. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 472p.