



ORGANIZADOR

DILTON DE CASTRO

PORTO ALEGRE, 2019.

REALIZAÇÃO



PATROCÍNIO



EDITORA



RS 484, nº 780 - Costa do Céu Maquiné/RS CEP 95530-000 - F: 51 3628 1415 www.onganama.org.br www.taramandahy.org.br

CONSELHO EDITORIAL

Dr. Clódis de Oliveira Andrades Filho (UERGS)

Dra. Marlise Amália Reinehr Dal Forno (UFRGS)

Dr. Ricardo Silva Pereira Mello (UERGS)

Dr. Roberto Verdum (UFRGS)

BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL

Ketlen Stueber CRB 10/2221

REVISÃO ORTOGRÁFICA

Valesca Sierakowski Kuhn

FOTOGRAFIA DA CAPA

Dilton de Castro

CAPA E PROJETO GRÁFICO

Luana H. Faustini

PREPARAÇÃO E EDIÇÃO

Via Sapiens

Dados internacionais de publicação:

C355c Castro, Dilton de.

Ciclo das águas na bacia hidrográfica do Rio Tramandaí Organizado por Dilton de Castro.

Porto Alegre, RS: Via Sapiens, 2019. 176 p.

Inclui bibliografia ISBN 978-85-61941-15-4

- 1. Hidrologia. 2. Gestão de recursos hídricos.
- 3. Rio Tramandaí. I. Título.

CDU: 556.5(816.5)

para não dizer que não falei de água

Uma gota de chuva é gênese e essência da vida Faz brotar a semente do trigo É o ponto de equilíbrio da massa do pão E no entardecer anuncia uma nova estação.

Uma gota de chuva será gota de orvalho sobre as flores Princípio de amores quase perfeitos É a lágrima da mãe ao ver o filho distante da sua gente. Uma gota de chuva inicia uma enchente Faz surgir a nascente Faz correr os rios. Uma gota de chuva apaga a fagulha no chão Muda a cor do clarão E aos poucos vai escondendo teus rastros na imensidão.

Uma gota de chuva inicia uma revolução Faz sangrar a ferida naquele que busca a guerra Sacia a sede do retirante que foge do sertão E na diferença nos torna mais iguais no rumo da evolução.

Uma gota de chuva é uma nuvem vinda do céu E quando a noiva está no altar é a primeira lágrima a molhar o seu véu.

Uma gota de chuva no telhado entoa uma canção de ninar

Embala os sonhos no livre desejo de voar

E nas asas da liberdade volta ao leito sagrado da terra para um dia descansar.

Uma gota de chuva desce a montanha Alaga a planície Muda o rio de lugar E seguirá seu destino sem medo de ser o mar.

Uma gota de chuva roda o moinho Não deixa o homem caminhar sozinho Indica o horizonte Solubiliza os sabores da fonte E quando evapora multiplica a paixão daquele que sonha.

Uma gota de chuva, outra gota de chuva faz girar o mundo em correnteza Aos poucos assenta o pó E na cabeça dos homens de boa fé haverá a certeza Um dia o "mundo será um só".

JOÃO VARGAS DE SOUZA

Presidente do Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí

organizador

Dilton de Castro

autores

Cacinele Mariana da Rocha

Química industrial (UNISC), Dra. em Oceanografia Física, Química e Geológica (FURG), química do CECLIMAR/UFRGS

Danrlei de Menezes

Engenheiro sanitarista e ambiental (UFSM), mestrando do PPGRHSA/IPH/UFRGS

Dilton de Castro

Ecólogo (UNESP), esp.em Ecologia (UFRGS), MSc. em Geografia (UFRGS), associado da ANAMA, coordenador geral do Projeto Taramandahy

Franciele Maria Vanelli

Engenheira ambiental (UCS), MSc. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (UFRGS), doutoranda do PPGRHSA/IPH/UFRGS

Gabriel Collares Poester

Biólogo (UFRGS), mestrando em Desenvolvimento Regional (UFRGS), associado da Anama

Gabriela Böhm Milani

Química (UFSC) do Laboratório de Análises de Águas e Sedimentos do CECLIMAR/UFRGS, responsável pelas análises de qualidade de Água do projeto Taramandahy; mestranda em química ambiental (FURG)

Guilherme Frainer

Biólogo, Mestre e Doutor em Biologia Animal (UFRGS). Pesquisador voluntário do Projeto Botos da Barra (CE-CLIMAR/UFRGS)

Ignacio Benites Moreno

Biólogo (UFRGS), Mestre em Biociências (PUCRS) e Doutor em Biociências (PUCRS e Otago University). Professor Associado do Departamento Interdisciplinar/ UFRGS e Coordenador do Projeto Botos da Barra (CE-CLIMAR/UFRGS)

João Vicente Zancan Godoy

Engenheiro hídrico (UFRGS), mestrando do PPGRHSA/IPH/UFRGS

Kevin Christmann

Graduando em Biologia Marinha (Uergs/UFRGS), estagiário do Projeto Botos da Barra (CECLIMAR/UFRGS)

Luana Lavagnoli Moreira

Engenheira ambiental (UFES), MSc. em Engenharia Ambiental (UFES), doutoranda do PPGRHSA/IPH/UFR-GS

Lucimar de Fátima dos Santos Vieira

Bióloga (UPF) e geógrafa, Mestre, Doutora e Pós-doutora em Geografia pela UFRGS. Professora do Depar-

tamento Interdisciplinar (UFRGS/Campus Litoral) e pesquisadora do Grupo de Pesquisa Pagus - Laboratório da Paisagem/UFRGS

Marcia Berreta

Geógrafa (UFRGS), Mestrado e Doutorado em Geografia (UFRGS), Professora Adjunta de Recursos Hídricos do Curso de Gestão Ambiental e do Mestrado Ambiente e Sustentabilidade (Uergs)

Masato Kobiyama

Ciências Especiais (Kyoto Educational University), Msc. em Ciência Florestal (Tokyo University of Agriculture and Technology), Dr. em Engenharia Florestal (UFPR), professor titular do IPH/UFRGS

Otávio Gutierrez e Silva

Graduando em Ciências Biológicas: Ênfases Biologia Marinha e Costeira, e Gestão Ambiental Marinha e Costeira, UFRGS

Rodrigo Gastal de Magalhães

Biólogo (UFRGS), mestre em Botânica (UFRGS), associado da Anama

Tiago Lucas Correa

Turismólogo (PUCRS), especialista em Planejamento e Gestão Ambiental (UNICNEC)

anama e o t taramandahy

A organização não governamental Ação Nascente Maquiné – **ANAMA**, atua no Rio Grande do Sul desde 1997 com a missão de promover estratégias saudáveis de desenvolvimento socioambiental nos biomas Mata Atlântica e Pampa, tendo como princípios o cuidado com o planeta, direitos humanos, ética, paz, cidadania, democracia e outros valores universais.

A corresponsabilidade na busca de soluções socioambientais é um aspecto central da atuação da ANAMA. Nesta perspectiva, acreditamos que estamos contribuindo com a valorização do conhecimento tradicional e equidade social quando participamos de fóruns coletivos para construção de políticas públicas (como a Rede de Educação Ambiental do Litoral Norte, a Rede Juçara, Cadeia das Frutas Nativas e a Rede de Agroecologia Ecovida). A gestão dos recursos naturais e os conflitos socioambientais encontram nos colegiados formados pela sociedade civil e governo os espacos legítimos para governança ambiental, como o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí e os Conselhos Municipais de Defesa do Meio Ambiente e da Defesa Civil de Maquiné. A ANAMA ainda participa de diversos Conselhos de Unidades de Conservação da região nordeste do Estado do RS. Devido ao seu trabalho multidisciplinar, articulado com diferentes atores sociais, a ANAMA, em 2007, foi nacionalmente reconhecida pelo Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica com o Prêmio Muriqui. A valorização e fortalecimento da autonomia local,

equidade social, compartilhamento de conhecimento e responsabilidade técnica fazem parte dos objetivos da entidade.

A gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Tramandaí é prioridade do **Proieto Taramandah**y desde sua Fase 1 (2011-2013), sendo patrocinado pela Petrobras, por meio do Programa Petrobras Socioambiental. Suas metas incluem o monitoramento da qualidade da água, ações integradas para conservação de solo-água-floresta, fortalecimento do Comitê de Gerenciamento da Bacia, educação ambiental, alimentar e nutricional, prevenção à desastres naturais e apoio às comunidades regionais m'byá guarani. Além do apoio da comunidade regional, o projeto conta com parcerias institucionais que proporcionam uma capilaridade para sua atuação: Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica Tramandaí; Conselhos Municipais de Meio Ambiente e Defesa Civil de Maquiné: Sindicatos dos Trabalhadores Rurais de Maquiné e Osório; Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Centro de estudos Costeiro, Limnológico e Marinho/Ceclimar, Núcleo de Estudos em Desenvolvimento Rural Sustentável e Mata Atlântica/DESMA, Programa de Pós-Graduação em Geografia e Laboratório de Ictiologia; Departamento Interdisciplinar/Campus Litoral Norte); Universidade Estadual do Rio Grande do Sul; Reservas Biológicas da Serra Geral e Mata Paludosa/SEMA; Centro Ecológico; Cooperativa Mista de Agricultores Familiares de Itati/Coomafit: 11ª Coordenadoria Regional de Educação – Osório; Clube Anhangava de Voo Livre de Osório e Jamboo – Agência de Viagem e Turismo. Este rol de parcerias fornece apoio técnico, logístico, de materiais e para mobilização que permitem o desenvolvimento das diversas atividades do projeto na região de atuação.

equipe do t projeto

Dilton de Castro Natavie de Cesaro Kaemmerer Anaiara Ventura **Gustavo Martins** Rodriao Gastal de Magalhães Valéria Aparecida de Bastos Mariana Oliveira Ramos Gabriel Collares Poester Letícia Troian Rafael Gerhke Grasiéli Schwaab Ritter Evandro Mateus Moura Davenir Manoel da Rosa Mateus Francisco Staudt Ana Maria da Silva Quiles Oliveira Samuel Guedes Júlia Nozari da Silva Vitória Aita Farias Laurène Brun Berger Gabriela Rech Soares Isabella de Oliveira Alves Angela Wermann Foschiera Juliane Salapata Duarte Giuliano Luis Zanette Ramos Kaluan Colini Vieira Natasha Nonemacher Magni Tiago Lucas Corrêa João Gustavo Goularte Rupp

Gabriela Böhm Milani



Coordenadora Administrativo-Financeiro Assessora de Comunicação Assessor Técnico - Agroecologia Assessor Técnico - Biologia Assessora Técnica - Educação Ambiental Assessora Técnica - Educação Nutricional Assessor Técnico - Indigenismo Assessora Técnica - Meliponicultura Assessor Técnico - Meliponicultura Assistente Administrativo-Financeiro Assistente Técnico - Extensão Rural Auxiliar de Serviços Gerais Auxiliar de Serviços Gerais Auxiliar de Serviços Gerais Designer Gráfico Estagiária Nível Médio - Técnico em Meio Ambiente Estagiária Nível Médio - Técnico em Meio Ambiente Estagiária Nível Superior - Agronomia Estagiária Nível Superior - Administrativo Estagiária Nível Superior - Administrativo Estagiária Nível Superior - Agroecologia Estagiária Nível Superior - Agroecologia Estagiário Nível Superior - Biologia Estagiário Nível Superior - Biologia Estagiária Nível Superior - Biologia Secretário Executivo do Comitê Tramandaí Técnico Agropecuário

Técnica Monitoramento das Águas

agradecimentos

O PROJETO TARAMANDAHY AGRADECE

ao patrocinador Petrobras que, por meio do Programa Petrobras Socioambiental (PPSA), tem permitido ao longo de quase uma década o desenvolvimento de diversas ações em prol das águas da bacia hidrográfica do rio Tramandaí;

à gestora do projeto no PPSA, sra. Carolina Leão, pela qualidade da parceria e orientações sempre pró-ativas; ??

ao Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, pelo acompanhamento e avaliação constante;

à ampla e diversa comunidade regional, pelo engajamento nas ações do projeto e retorno positivos que nos estimula a resistir e persistir no objetivo de garantir o direito à água com qualidade para todos.



NÃO É O BÁRBARO QUE NOS AMEAÇA, É A CIVILIZAÇÃO QUE NOS APAVORA.

"

EUCLIDES DA CUNHA Os Sertões (1902)

Em 22 de março de 1992 a Organização das Nações Unidas (ONU) instituiu o "Dia Mundial da Água", publicando o documento intitulado "Declaração Universal dos Direitos da Água", apresentado ao lado.

DECLARAÇÃO UNIVERSAL DOS DIREITOS DA ÁGUA

A presente Declaração Universal dos Direitos da Água foi proclamada tendo como objetivo atingir todos os indivíduos, todos os povos e todas as nações, para que todos os seres humanos, tendo esta Declaração constantemente presente no espírito, se esforcem, através da educação e do ensino, em desenvolver o respeito aos direitos e obrigações nela anunciados e assim, com medidas progressivas de ordem nacional e internacional, o seu reconhecimento e sua aplicação efetiva.

A água faz parte do patrimônio do planeta. Cada continente, cada povo, cada nação, cada região, cada cidade, cada cidadão é plenamente responsável aos olhos de todos.

A água é a seiva de nosso planeta. Ela é condição essencial de vida de todo vegetal, animal ou ser humano. Sem ela, não poderíamos conceber como são a atmosfera, o clima, a vegetação, a cultura ou a agricultura.

Os recursos naturais de transformação da água em água potável são lentos, frágeis e muito limitados. Assim sendo, a água deve ser manipulada com racionalidade, precaução e parcimônia.

O equilíbrio e o futuro de nosso planeta dependem da preservação da água e de seus ciclos. Estes devem permanecer intactos e funcionando normalmente para garantir a continuidade da vida sobre a Terra. Esse equilíbrio depende em particular da preservação dos mares e oceanos, por onde os ciclos começam.

A água não é somente herança de nossos predecessores; ela é, sobretudo, um empréstimo aos nossos sucessores. Sua proteção constitui uma necessidade vital, assim como a obrigação moral do homem para com as gerações presentes e futuras.

A água não é uma doação gratuita da natureza; ela tem um valor econômico: precisa-se saber que ela é, algumas vezes, rara e dispendiosa e que pode muito bem escassear em qualquer região do mundo.

A água não deve ser desperdiçada nem poluída, nem envenenada. De maneira geral, sua utilização deve ser feita com consciência e discernimento para que não se chegue a uma situação de esgotamento ou de deterioração da qualidade das reservas atualmente disponíveis.

A utilização da água implica respeito à lei. Sua proteção constitui uma obrigação jurídica para todo homem ou grupo social que a utiliza. Essa questão não deve ser ignorada nem pelo homem nem pelo Estado.

A gestão da água impõe um equilíbrio entre os imperativos de sua proteção e as necessidades de ordem econômica, sanitária e social.

O planejamento da gestão da água deve levar em conta a solidariedade e o consenso em razão de sua distribuição desigual sobre a Terra.

prefácio

Os ciclos das águas dizem respeito ao que somos e nos mantem vivos. Este é um tema necessário, complexo, central e transversal em muitos debates, compondo os mais elevados consensos éticos da humanidade (ex. Declaração Universal dos Direitos da Água e dos Direitos Humanos -ONU), os terríveis impactos negativos e conflitos de interesses das pessoas e sociedades, bem como os principais desafios de governança (Metas de Aichipara a Conservação de Biodiversidade COP10 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável do Milênio- ODS- ONU). Portanto, é também um tema político, onde o desenvolvimento de conhecimentos e difusão de informações aliados ao senso de pertencimento são fundamentais para o esclarecimento e empoderamento das pessoas, bem como a tomada de melhores decisões. Vale ressaltar que participamos das decisões ou decidirão por nós.

É neste âmbito que este livro tratando dos Ciclos das Águas na Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí apresenta textos ricos em informações atualizadas e contextualizadas, de forma bem ilustrada, trazendo em linguagem acessível múltiplos olhares para as tantas dimensões que nele são alcançadas. Fundamentalmente contribui para aproximar as pessoas e instituições dos ciclos das águas e seus significados vitais vinculados aos diversos contextos das águas nesta Bacia Hidrográfica.

É um presente para as pessoas que vislumbram ou vislumbrarão a relevância do tema abordado, indo além da própria Bacia do Rio Tramandaí. Tem o mérito de reunir temáticas pertinentes e enriquecidas pelas trajetórias de seus autores e instituições, verdadeiras forças vivas que a muito tratam disso.

Também este livro é fruto de um sujeito histórico, o Projeto Taramandahy, que vem desenvolvendo diversas atividades para o aprimoramento da Gestão das Águas na Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Neste sentido, na sua Fase inicial, pelos idos de 2012 e 2013, participei como Coordenador Técnico do Projeto. Entre tantas atividades, relato alguns aprendizados advindos das oficinas para a "qualificação técnica-experiencial-participativa" dos membros do Comitê Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Realizamos expedições a campo para vários setores geográficos da Bacia levando junto referenciais científicos essenciais, porém, dispersos e, por vezes, pontuais, mas principalmente contamos com preciosos saberes locais.

Algumas constatações: muitos dos membros do Comitê expressaram que estavam conhecendo pela primeira vez diversas localidades, contextos e especificidades socioecológicas regionais da Bacia. Cito que, de nossas caminhadas e reflexões durante as expedições, das zonas de nascentes, no Planalto e suas Escarpas, às águas dos arroios, rios, banhados, lagoas e estuário, vimos surgir em cada um dos participantes a curiosidade aguçada de querer saber melhor sobre cada trecho e processos relacionados e, sobretudo, partilhamos de um sentimento comum que envolvia o encantamento com a beleza, reverência e responsabilidade perante as águas. Simples, é necessário persistentemente conhecer bem aquilo que importa para nós, o que realmente tem significado. Assim, tudo, todas e todos que contribuem para isto são muito valiosos.

Este é o papel deste livro, que ao promover uma visão crítica para a transformação do contexto vivido, nos faz reconhecer que sempre que houver pessoas, sempre há o que aprender e o que ensinar sobre as águas, parafraseando Paulo Freire, maravilhoso mestre da Educação para a evolução da Humanidade. Desta forma, espero que seja lido e relido, olhado, pensado, difundido e, assim, cumprirá o seu destino de ser promotor de indagações, desafios e transformações positivas na sociedade. Ao Dilton de Castro (organizador), aos autores e autoras, às Instituições envolvidas, à ONG ANAMA e ao Programa Petrobras Socioambiental, meus sinceros agradecimentos por nos oferecer este Livro, uma obra essencial, tão necessária para o aprimoramento dos Conhecimentos e Gestão das Águas, principalmente, mas não apenas, na Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí.

RICARDO SILVA PEREIRA MELLO

Prof. Curso de Mestrado em Ambiente e Sustentabilidade, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

1. INTRODUÇÃO	14
por Dilton de Castro	
2. A BACIA DO RIO TRAMANDAÍ	20
por Dilton de Castro	
2.1. LOCALIZAÇÃO E PAISAGEM	20
2.2. SUBSISTEMAS DA BACIA	30
3. O CICLO HIDROLÓGICO NA BACIA DO RIO TRAMANDAÍ	48
por Lucimar de Fátima dos Santos Vieira e Márcia Berreta	
3.1. À ÁGUA NO PLANETA TERRA	48
3.2. DE ONDE VEM E QUANTA ÁGUA HÁ NA TERRA?	50
3.3. AS ÁGUAS SÓLIDAS, LÍQUIDAS E GASOSAS	53
3.4. POR QUE AS ÁGUAS SÃO DOCES, SALOBRAS OU SALGADAS?	54
3.5. O CICLO DAS ÁGUAS	57
3.6. O CICLO DAS ÁGUAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ	61
3.7. CONSEGUIMOS SABER O QUE VAI ACONTECER COM O TEMPO "LENDO" AS NUVENS?	75
3.8. RIOS VOADORES	82
3.9. A CONSTRUÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	84
por Cacinele Mariana da Rocha	

4. GERENCIAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS	102
4.1. OS USOS DA ÁGUA NA BACIA	102
<i>por</i> Dilton de Castro	
4.2. A QUALIDADE DA ÁGUA	111
por Gabriela Böhm Milani	
4.3. PROJEÇÃO DA QUALIDADE DE ÁGUA DOS CORPOS HÍDRICOS	123
<i>por</i> Cacinele Mariana da Rocha	
4.4. A INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO SOBRE BIOMASSA	132
E COMPRIMENTO DE PEIXES DA BACIA DO RIO TRAMANDAÍ	
por Otávio Gutierrez e Silva	
4.5. BOTOS E PESCADORES DA BARRA DO RIO TRAMANDAÍ	133
por Ignacio Benites Moreno, Nathalia Serpa, Guilherme Frainer,	
Yuri Camargo, Elisa Ilha, Kevin Christmann, Keila Menger e Jade Fontana	
4.6. APLICAÇÃO DE HIDROLOGIA NA GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES HIDROLÓGICOS	135
por Masato Kobiyama, Franciele Maria Vanelli, Luana Lavagnoli Moreira,	
Danrlei de Menezes e João Vicente Zancan Godoy	
4.7. O PAPEL DO COMITÊ DA BACIA E O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO	
DE RECURSOS HÍDRICOS	142
por Tiago Lucas Correa	
4.8. AÇÕES RESTAURADORAS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA	151
por Rodrigo Gastal de Magalhães, Gabriel Collares Poester e Dilton de Castro	

introdução

A água é elemento essencial à vida e que propiciou a grande diversidade de espécies vivas nesse planeta, sendo usada nas mais diversas atividades humanas, a começar pela mais essencial: saciar a sede, algo que cerca de 1 bilhão de pessoas não consegue ter com uma qualidade de potabilidade. A época atual é de mudanças climáticas, com períodos de enchentes e estiagem prolongadas, com a população humana crescendo e demandando mais água, comida e energia, e, assim, a pressão sobre a disponibilidade de água doce é preocupante. Com a contaminação diária e consequente redução da quantidade de água boa, a situação é de insustentabilidade num período próximo, com os custos de tratamento cada vez mais altos levando a uma maior desigualdade social nesse quesito também. Os grupos sociais mais vulneráveis vivem em áreas mais vulneráveis, sujeitos a diversos riscos hidrológicos e de saúde e, quando não tem acesso a esse direito universal, sua liberdade é tolhida. Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, previstos na Agenda 2030 pela Organização das

Nações Unidas, assinala a preocupação com a água potável e saneamento para todos em seu Objetivo 6 (ONU, 2015): 2,5 bilhões de pessoas não têm acesso a serviços de saneamento básico, como banheiros ou latrinas; diariamente, uma média de cinco mil crianças morrem de doenças evitáveis relacionadas à água e saneamento; a energia hidrelétrica é a fonte de energia renovável mais importante e mais amplamente usada; aproximadamente 70% de toda água disponível é usada para irrigação e as enchentes são a causa de 15% de todas as mortes relacionadas a desastres naturais.

Onde tem água, civilizações se desenvolvem e onde ela é escassa ou onde os usos não são equitativos, ocorrem conflitos. O desenvolvimento de estruturas sobre corpos hídricos que atravessam mais de um país é apontado como um vetor de conflitos hidropolítcos para as próximas décadas, em regiões como Sudeste Asiático, Sul da Ásia, América Central, parte norte do continente sul-americano, nos Balcãs meridionais, justamente onde há projetos ou implantações de infra-estrutura hídricas. Além disso, a falta de acordos transfronteiricos formalizados podem acirrar esses conflitos; por outro lado, onde os tratados são acordados entre as partes, como na bacia do rio Columbia entre EUA e Canadá, a resiliência é maior. O cenário é mais grave ainda ao entrarmos na dimensão da biodiversidade, onde as ameaças aos recursos hídricos e riscos de extinção de espécies é global e atinge mais de 70% das bacias hidrográficas transfronteiriças (Stefano et all, 2017). A história nos mostra que a política da boa vizinhança pode mini-

1.

mizar os conflito, através de transparência, inclusão social integrativa, equitativa e ética.

As mudanças climáticas também atingem o Brasil, sendo perceptível especialmente para as populações mais pobres e vulneráveis através do ciclo da água: chuvas intensas, secas, enxurradas, enchentes. Os padrões estão mudando em consequência do aumento da temperatura na superfície da Terra e do balanço de radiação, causando variação na frequência e na média dos eventos hidrológicos, para mais ou para menos (ANA, 2016). As incertezas que existem é sobre como e onde esses padrões estão mudando, porém países como o Brasil, que não disponibiliza recursos para prevenção e remediação, com atividades econômicas que dependem do clima, como a agropecuária e, com baixo índice de desenvolvimento humano que limitam as respostas das comunidades são os mais afetados. Nesse sentido, aí encontra-se o direcionamento para enfrentar as mudanças climáticas: promover o desenvolvimento que reconhece as limitações e oportunidades naturais e que aumente a resiliência das comunidades vulneráveis.

Essas adaptações envolvem também mudanças na cultura institucional, com a presença de uma pluralidade de atores nas instâncias legítimas de participação. A Lei 9433, ou Lei das Águas (Brasil, 1997), já previa esse mecanismo de participação social através dos parlamentos das águas, como são reconhecidos os Comitês de Gerenciamento de Bacias Hidrográficas. Esta lei reconhece que:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

A Política Federal de Saneamento (Brasil, 2007) e a Política Nacional de Defesa Civil (Brasil, 2012) fortalecem o arcabouço jurídico para proteção das águas e a prevenção ou adaptação às mudanças climáticas. Entretanto, enquanto a fiscalização e seu cumprimento ainda são precários, a perda da qualidade e quantidade de água e o sofrimento da população mais vulnerável continuam aumentando.

O estado do Rio Grande do Sul criou seu Sistema Estadual de Recursos Hídricos (RS, 1994), anteriormente ao do Brasil, Também tem por base para o gerenciamento das águas as bacias hidrográficas e os Comitês de Bacias, os Planos de Bacia, o enquadramento, a outorga de uso, o sistema de informação, as agências de regiões hidrográficas e a cobrança pelo uso. Até o momento nenhuma Agência foi criada e nem a cobrança instituída. Isto significa que a água não está sendo tratada como um bem de domínio público e tampouco se reconhece na prática que a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico.

Na bacia hidrográfica do rio Tramandaí vivem cerca de 300.000 pessoas que, durante o veraneio, é multiplicado em várias vezes, chegando a atingir dois milhões de pessoas no Natal e Carnaval. O principal uso segue a regra mundial, a irrigação, sendo que nesta bacia atinge o volume de 90% de todos os usos. A contaminação por nitrogênio e fósforo, oriundos das atividades agrícolas e falta de tratamento de esgoto é evidenciada nos blooms

de algas, como consequência de processo de eutrofização (Castro e Rocha, 2016). É preocupante a contaminação com agrotóxicos, metais pesados, hormônios, antibióticos e microplásticos, o que além de alterar as condições dos ecossistemas, pode comprometer a disponibilidade da água para os usos que se tem na bacia, entre eles, o de lazer, turismo e pesca, além do abastecimento e irrigação. Somando-se a essas ações antrópicas, a urbanização e seus processos de impermeabilização tem sido apontada como uma das causas de alterações no ciclo hidrológico (Assumpção et al., 2017). Na bacia do rio Tramandaí, a alteração causada pelo crescimento das cidades deixa suas marcas na paisagem, ao converter áreas naturais de dunas e banhados em espacos construídos. Esta bacia tem características paisagísticas únicas: é costeira, possuindo um sistema de lagoas de água doce interligadas por canais, parte abastecida por rios que descem do planalto, parte por águas da chuva e partes por águas subterrâneas que chegam a brotar próximas ao mar. Esta abundância de água de boa qualidade e facilmente acessível é aparente: são lagoas rasas, cujo volume pode variar em até 7% entre um período seco, como os anos de La Niña, e outro chuvoso, como nos períodos de El Niño (Castro, 2017).

Nesse sentido, a compreensão sistêmica dos processos que afetam a paisagem (geológico, geo-morfológico, ecológico, socioeconômico, cultural e político), o amadurecimento e efetivo controle social das instâncias de governança que afetam ou são afetadas pelos recursos hídricos e disseminação de tecnologias ecoeficientes para a gestão das águas e sua apropriacão social, são fatores que podem contribuir positivamente para a necessária adaptação às mudanças climáticas em curso e minimizar os impactos hidrológicos.

referências bibliográficas

ANA. Mudanças climáticas e recursos hídricos – avaliações e diretrizes para adaptação. Brasília: ANA, GGES. 2016.

ASSUMPÇÃO, R. F., SÉGUIN, E.; KLIGERMAN, D. C.; COHEN, S. C. Possíveis contribuições da integração das políticas públicas brasileiras à redução de desastres. Saúde Debate: RIO DE JANEIRO, V. 41, N. Especial, P. 39-49, JUN 2017.

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. Diário Oficial [da] União, Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em: http://www3.ana.gov.br/ portal/ANA/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/alocacao-de-agua/ oficina-escassez-hidrica/ legislacao-sobre-escassez--hidrica/uniao/lei-no-9433-1997-pnrh/view. Acesso em: 03 jun.2019.

CASTRO, D. Paisagens em transformação na bacia hidrográfica do rio Tramandaí: tendências, desafios e contribuições para a aestão ambiental. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduacão em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção de Título de Mestre em Geografia. Porto Alegre. 2017. Disponível em: https://lume.ufras.br/handle/10183/172193. Acesso em: 03 jun.2019.

DE STEFANO, L.; PETERSEN-PERLMAN, J.D.; SPROLES, E.A.; EYNARD, J.; LOBO, A.T. Assessment of transboundary river basins for potential hydro-political tensions. Global Enviromental Change. Volume 45, July 2017, Pages 35-46. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095937801730537X?via%-3Dihub. Acesso em: 28 mai. 2019.

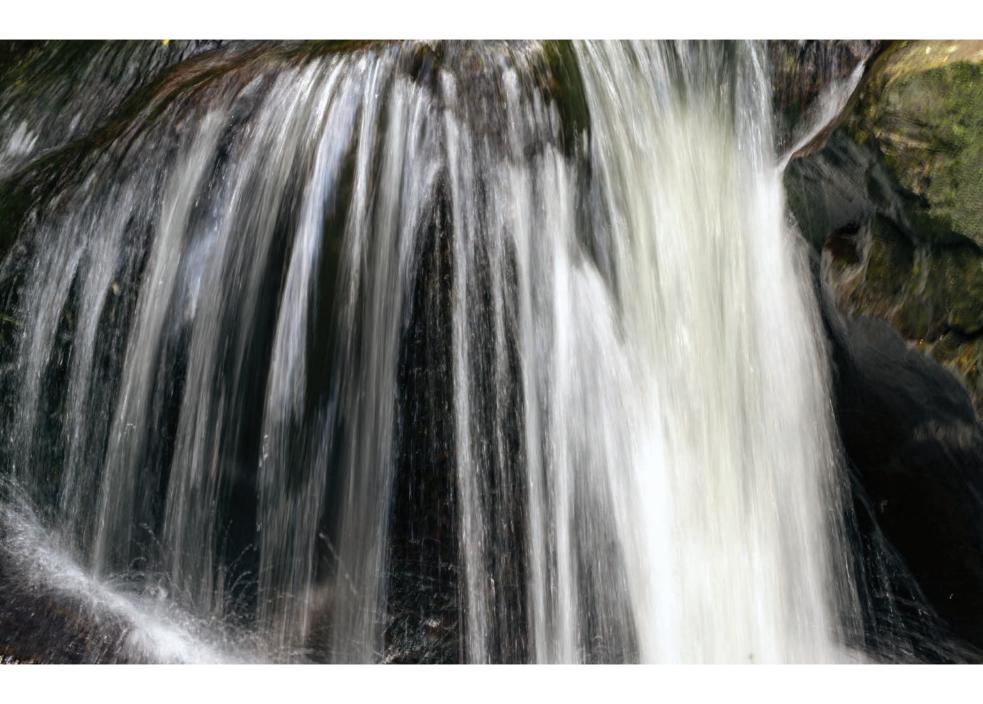
CASTRO, D., ROCHA, C. M. Qualidade das águas na bacia hidrográfica do rio Tramandaí. Porto Alegre: Via Sapiens, 2016.

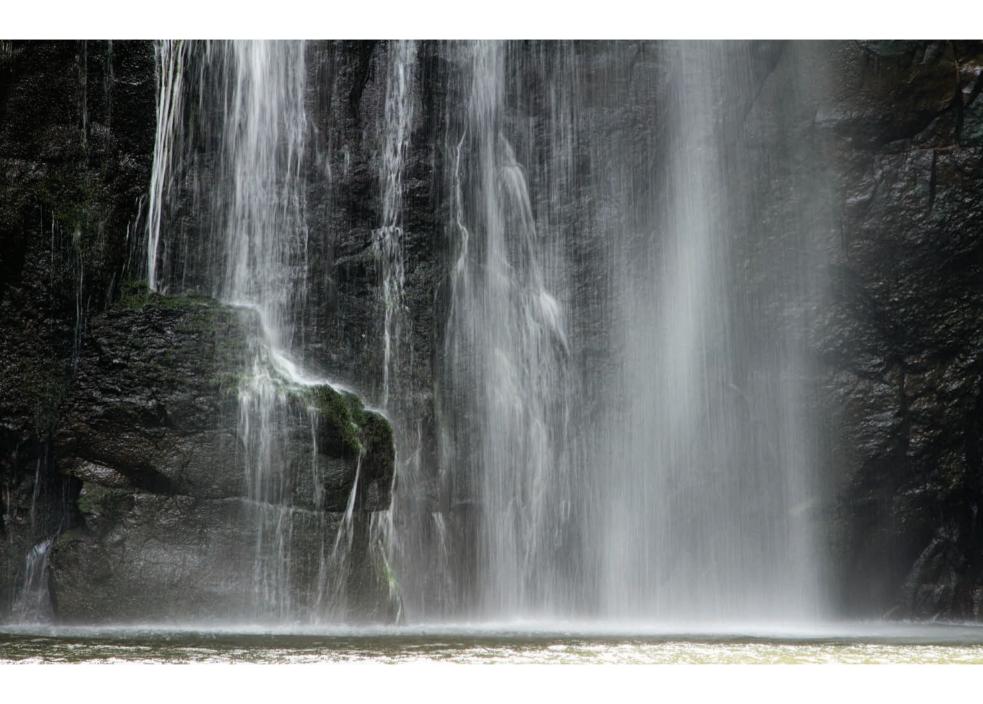
RS. Lei 10.350 - Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos. Porto Alegre. 1994. Disponível em: http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/10.350.pdf. Acesso em: 03 jun.2019.

ONU. **Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. 2015. Disponível em: https://nacoesunidas.org/wp-content/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf Acesso em: 28 mai. 2019.

____Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Diário Oficial [da] União, Brasília, DF, 5 jan. 2007 Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. Acesso em: 03 jun.2019.

____Lei no 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Diário Oficial [da] União, Brasília, DF, 10 abr. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12608.htm. Acesso em: 03 jun.2019.





2.1. LOCALIZAÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Tramandaí situa-se na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, com um relevo de diversidade marcante em suas formas e estruturas, representadas pelo Planalto Meridional e Planície Costeira, e que condicionam os possíveis usos da terra e da água. Esta bacia está inserida, em escala nacional, na região hidrográfica do Atlântico Sul (figura 1) e, dentro do Rio Grande do Sul, na região hidrográfica do litoral (figura 2). A localização da bacia (figura 3), com limite na orla marítima, propicia que seja muito frequentada, especialmente no verão, o que tem implicado em apropriações de espaço e demanda crescente por água e esgoto.

2.



^ figura 1

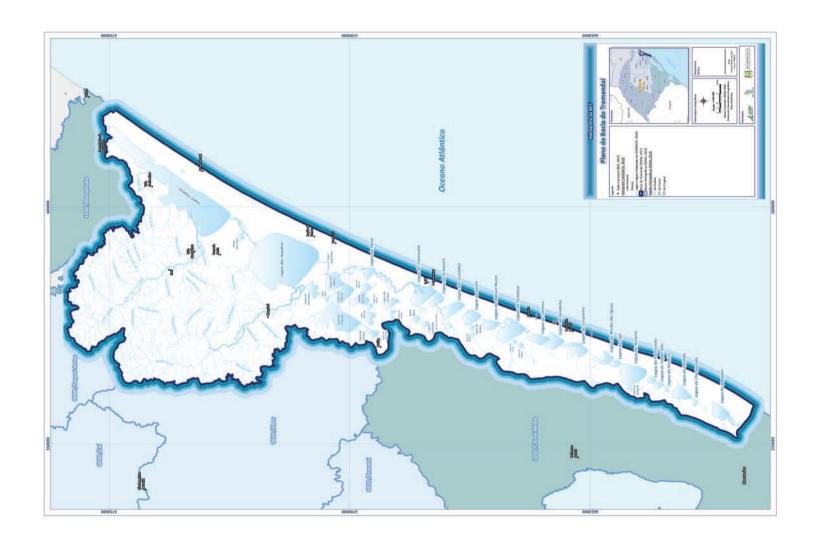
Regiões hidrográficas do Brasil. Fonte: https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/divisoeshidrograficas. 2019.

^ figura 2

Regiões hidrográficas do RS. Fonte: http://www.fepam.rs.gov.br/qualidade/regiões hidro.asp. 2019.

figura 3 V

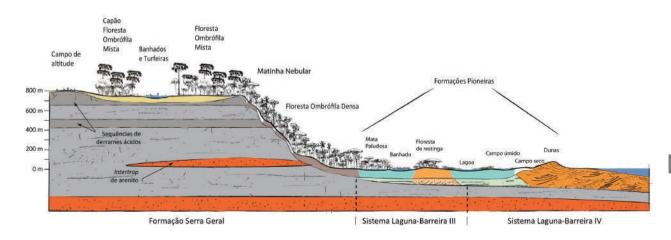
Bacia Tramandaí - localização e hidrografia. Fonte: STE (2019).



Esta bacia tem área de drenagem de 2.978,11 km² e cerca de 150km de orla marítima, sendo dividida em 5 sub-bacias: 1) rio Maquiné; 2) rio Três Forquilhas; 3) arroio da Sanga Funda; 4) arroio Cardoso e 5) Complexo Lagunar (figura 5). Distingue-se das demais bacias do estado do Rio Grande do Sul pela quantidade de lagoas e corpos d'água, que ocupam cerca de 17% bacia, pela existência de área de dunas, que totalizam 7%, pela presença dos principais remanescentes de Mata Atlântica do estado (32% da área da bacia) e também pela singularidade no fluxo da água com dois subsistemas principais: Subsistema Norte, cujas águas fluem do norte para a foz do rio Tramandaí e Subsistema Sul, cujas águas fluem desde o extremo sul na lagoa Bacopari até a foz do rio Tramandaí, no estuário formado pelas lagunas Armazém e Tramandaí.

O sopro incessante do vento, o movimento das

areias, o forte brilho e escassa vegetação próxima ao mar são marcas percebidas pelos naturalistas desde o século XIX. O contraste das matas em contato próximo ao campo é típico na fisionomia da paisagem regional do sul do Brasil (Lindman e Ferri, 1974). Na primeira metade do século XX, o zoneamento natural é percebido a partir do oceano: a zona de ressaca, a zona das areias movediças, a zona das dunas vegetadas, a zona dos olhos d'água, a zona dos campos, a zona dos lagos e a zona das serras (Rambo, 1994). A figura 4 apresenta um perfil dos ecossistemas e a paisagem, com sua estrutura litológica, de relevo, cobertura vegetal, clima (cfa e cfb) e solo, para o subsistema norte, onde o Planalto Meridional e suas escarpas ocorrem; o subsistema sul situa-se apenas na Planície Costeira. Nesta configuração, o Subsistema Norte representa aproximadamente 80% do total da área de contribuição da Bacia.

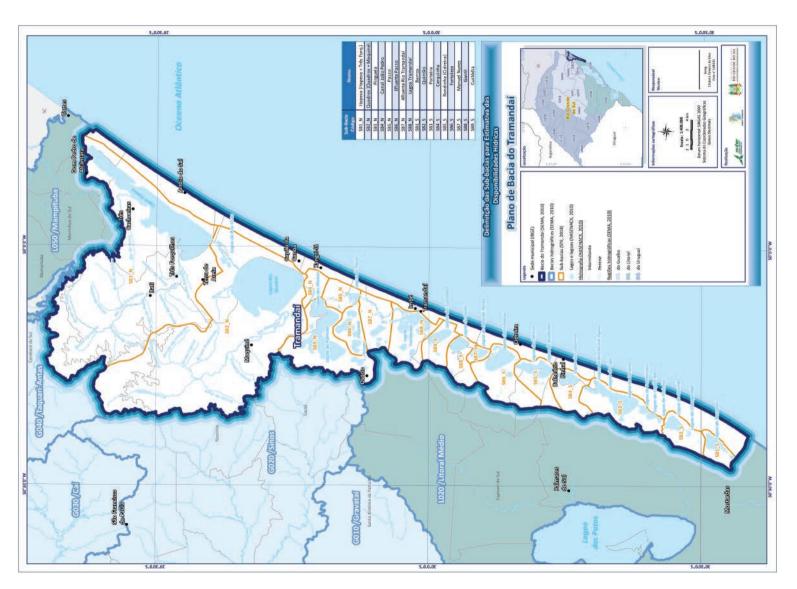


< figura 4

Perfil esquemático dos ecossistemas do litoral norte do RS. Fonte: Poester *et al*. 2019. in: Castro, D. & Mello, R. S. P.

figura 5 V

Sub-bacias Tramandaí. Fonte: STE (2019).



A paisagem da bacia do rio Tramandaí vem se alterando rapidamente. Em 2005 as áreas naturais da bacia do rio Tramandaí, composta pela vegetação remanescente (florestas, campos, banhados, restingas), dunas e corpos hídricos ocupavam 78% da área total; em 2015, essa cobertura caiu para 76% (CASTRO, 2017). Ao considerar apenas áreas naturais com a vegetação nativa na bacia hidrográfica, há uma perda registrada para 2015 na ordem de 9.000 ha ou 5,23% de sua cobertura em relação à 2005 e outros 1.200 ha de dunas, equivalentes a 4,83% da área que essa classe ocupava em 2005 (tabela 1), ou seja, cerca de 10% de áreas naturais perdidas em uma década. As novas funções dessa dinâmica ocorreram pela expansão de áreas urbanizadas (cerca de 3.000 ha) e áreas agrícolas, com cultivos ou solos expostos para cultivos (cerca de 4.000ha).

USO DA TERRA	2005	2015	DIFERENÇA	
	ÁREA (ha)	ÁREA (ha)	ÁREA (ha)	%
VEGETAÇÃO REMANESCENTE	167.390,85	158.634,95	-8.755,90	-5,23
CULTIVOS	53.888,55	42.916,23	-10.972,32	-20,36
SOLO EXPOSTO	863,99	15.175,27	+14.312,27	+1.656,53
DUNAS	23.189,97	22.071,41	-1.118,56	-4,83
ÁREAS URBANAS	11.805,16	14.812,80	+3.007,64	+25,48
CORPOS D'ÁGUA	48.007,14	48.007,14 51.535,09 +3		+7,35
TOTAL	305.145,66	305.145,75		

Observa-se também uma diferença nas áreas ocupadas pelos corpos d'água de cerca de 3.500ha, explicável pela diferença de pluviometria entre os dois anos: enquanto o ano de 2004 acumulou 1.497mm e janeiro de 2005 apenas 37mm, entre janeiro e setembro de 2015, já havia chovido 1920mm, registrados na Estação Meteorológica da extinta Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO.

< tabela 1

Alterações no uso da terra na bacia hidrográfica do rio Tramandaí entre 2005 e 2015: diferença relativa entre os dois anos (área e percentual). Fonte: Castro (2015).

figura 6

Área de preservação comprometida na margem do rio Maquiné. Maquiné, 2018.

Observa-se o aumento de solo exposto e diminuição de cultivos, provavelmente devido ao período das imagens: enquanto a de 2005 é de fevereiro, em plena época de cultivos hortigranjeiros e arroz, a de 2015 é de setembro, época de preparo da terra. Considerando essas duas classes em conjunto, de 54.752,54 ha cultivados ou em preparo, houve um aumento de 3.339 ha na área utilizada para produção agrícola ou cerca de 6% em relação a 2005. Os efeitos da estiagem de 2004-2005 e do El Niño de 2015 tornam-se evidentes com o aumento da área dos corpos d'água ao longo da bacia, em um acréscimo de 498 ha, ou 4,5% a mais sobre a cobertura de 2005. O resultado na paisagem é mais notório nas margens das lagoas, onde áreas de transição do ecossistema aquático para o terrestre, com juncais e banhados, dão lugar à massa de água. Na lagoa dos Quadros, essa diferença pode chegar a 240m de margem, ou seja mais que o dobro de sua área de preservação permanente (APP) de 100m (figura 6). Esses dados apontam que uma APP que efetivamente considere a função ecológica e as variações climáticas pode ser maior que aquela estabelecida pela Lei de Proteção à Vegetação Nativa.



Além disso, o mesmo autor identifica inconformidades legais, através dos diversos cultivos agrícolas que ocupavam 22% da APP em 2015 e 32% em 2005, enquanto os solos expostos somam 15% da APP para os dois anos. Também se reconhece os diferentes cultivos agrícolas praticados na área, sendo os principais a banana, o arroz e policultivos, tipicamente convencionais, com uso de fertilizantes químicos e agrotóxicos, sendo assim, fonte difusa de contaminação das águas da lagoa dos Quadros (Profill, 2005; Perotto, 2007; Castro e Rocha, 2016). A figura 7 ilustra o comprometimento das APP no entorno dos corpos hídricos, destacando-se negativamente o rio Maquiné (foto 1), a lagoa da Cerquinha, o rio Três Forquilhas e o estuário do Tramandaí (STE, 2019).

figura 7 V

Dinâmica hídrica na APP da Lagoa dos Quadros, em período de estiagem (2005) e de cheia (2015). Fonte: Castro (2017).

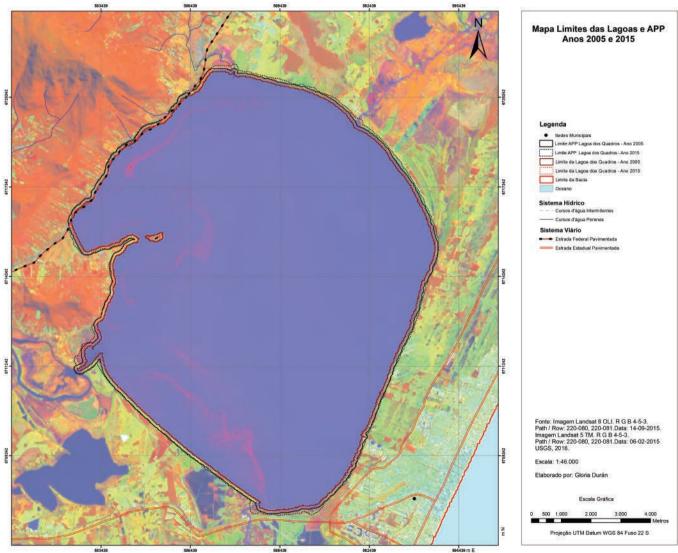
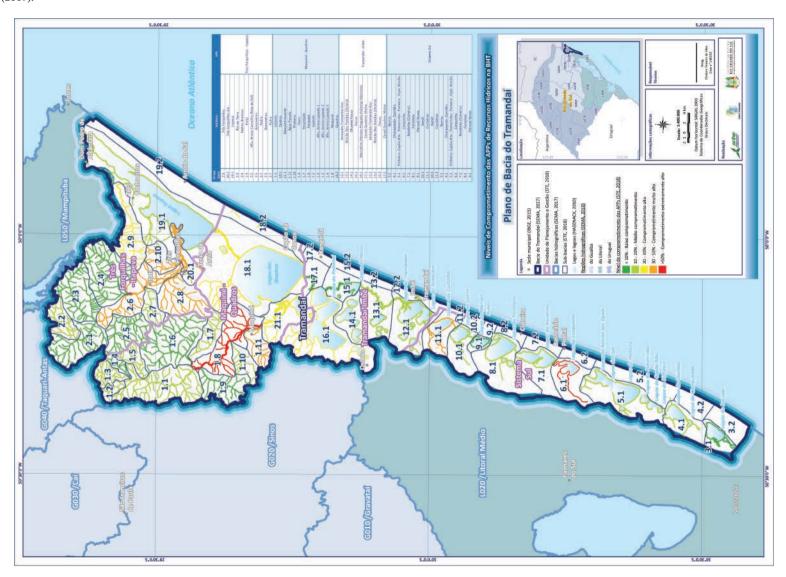


figura 8 V

Comprometimento das áreas de preservação permanente no entorno dos corpos hídricos. Fonte: STE (2019).



Esta situação é potencialmente conflitante com o uso prioritário do recurso hídrico, o abastecimento público, uma vez que esta lagoa é fonte de captação de água por parte da CORSAN para abastecer os municípios de Capão da Canoa e Xangri-lá, dois dos mais visitados pelos gaúchos na época do ve-

raneio. A perda da vegetação protetora, seja nos rios ou nas áreas úmidas marginais das lagoas, significa que serviços ecossistêmicos, como recarga aquífera e retenção de sedimentos e poluentes, são perdidos, com reflexos não somente ecológicos mas econômicos também.



A transformação de áreas naturais em agrícolas e urbanas traz outro significado na ecologia da paisagem (Quadro 1). A fragmentação de habitats em curso na bacia se caracteriza pela redução do tamanho da área original com sua divisão em duas ou mais áreas menores e separadas por um novo ambiente diferente do original. (Wilcove et al. 1986). Seus efeitos incluem a redução na extensão de habitat original, o aumento no número de fragmentos de habitat, a diminuição no tamanho dos fragmentos e o aumento no isolamento dos fragmentos (Fahrig, 2003). A tendência desse processo tem consequências desastrosas, perturbando os processos naturais de regeneração e controle (Ricklefs, 2016).

< figura 9

Mosaico vegetacional e fragmentação de habitats próximo à lagoa dos Quadros. Maquiné (2018).

O mosaico vegetacional na encosta do Planalto, próximo à lagoa dos Quadros (foto 2), ilustra o processo de fragmentação em curso na bacia. Dessa maneira, o processo vigente de conversão de áreas úmidas em arrozais, de matas de restinga ou paludosas em campos ou agricultura, da floresta ombrófila densa em bananais, além da expansão urbana sobre dunas e outros ambientes originais, significa barreiras que a transformação da paisagem traz para a dinâmica das espé-

cies, limitando sua dispersão, colonização e fluxo gênico.

∨ quadro 1

Transformações e tendências de usos na paisagem na bacia do rio Tramandaí. Fonte: Castro (2017).

1° UNIDADE DE PAISAGEM RELEVO	2° UNIDADE DE PAISAGEM ECOSSISTEMA ORIGINAL	UNIDADE DE PAISAGENS ATUAIS	
TOPO PLANALTO	CAMPOS DE ALTITUDE, FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, BANHADOS	CAMPOS DE ALTITUDE, FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, BANHADOS, CULTIVOS AGRÍCOLAS	
ESCARPAS	MATA NEBULAR, FLORESTA OMBRÓFILA DENSA MONTANA	MATA NEBULAR, FLORESTA OMBRÓFILA DENSA MONTANA, CULTIVOS AGRÍCOLAS, CULTIVOS DE BANANA	
RAMPA DE COLÚVIO	floresta ombrófila densa Sub-montana	FLORESTA OMBRÓFILA DENSA SUB-MONTANA, CULTIVOS AGRÍCOLAS, CULTIVOS DE BANANA, PECUÁRIA, AGROFLORESTAS	
PLANÍCIE COSTEIRA INTERNA	FLORESTA OMBRÓFILA DENSA TERRAS BAIXAS	FLORESTA OMBRÓFILA DENSA TERRAS BAIXAS, CULTIVOS AGRÍCOLAS, CULTIVOS DE ARROZ, PECUÁRIA, AGROFLORESTAS	
PLANÍCIE COSTEIRA EXTERNA	FLORESTA OMBRÓFILA DENSA TERRAS BAIXAS, FLORESTA ARENOSA, BANHADO, CAMPO SECO, DUNAS, ESTUÁRIO, LAGOAS, PAMPA	FLORESTA OMBRÓFILA DENSA TERRAS BAIXAS, FLORESTA ARENOSA, BANHADO, CAMPO ÚMIDO, CAMPO SECO, DUNAS, ESTUÁRIO, LAGOAS, PAMPA, CULTIVOS AGRÍCOLAS, CULTIVO DE ARROZ, PECUÁRIA, URBANIZAÇÃO	

2.2. SUBSISTEMAS NA BACIA

A bacia é dividida naturalmente em 2 subsistemas, decorrentes dos fluxos da água. No Subsistema Norte, por conta da influência orográfica das escarpas do Planalto Meridional e da área de contribuição para as lagoas (quadro 2), a disponibilidade hídrica é maior e as lagoas são mais dependentes das águas que descem dos rios Maquiné, Três Forquilhas, Sanga Funda e Cardoso. O resultado é marcado na paisagem através das diversas fitofisionomias, desde as restingas, campos úmidos e florestas de terras baixas na planície costeira, passando pelas florestas de encosta e mata nebular até chegar nas florestas ombrófilas mistas e nos campos de cima da serra (foto 3), no Planalto Meridional.



Feição típica do susbsistema norte, com as escarpas do Planalto Meridional e lagoas. costeiras. (2016).

quadro 2 >

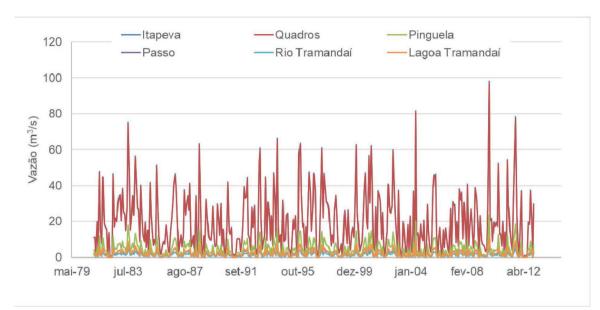
Área de contribuição das sub-bacias no sistema Norte. Fonte: STE (2018).



SUB-BACIA	SISTEMA LAGUNAR	Área (km²) bacia + lagoa		Área (km²) bacia	
		Subsistema Norte			
SB1_N	Itapeva (lagoa + Três Forquilhas)	718,9	122,7	596,2	
SB2_N	Quadros (lagoa + Maquiné)	708,5	119,9	588,6	
SB3_N	Pinguela	151,0	54,8	96,2	
SB4_N	Canal João Pedro	25,0	0,0	25,0	
SB5_N	Passo	36,0	19,1	16,9	
SB6_N	Afluente Passo	44,0	15,0	29,0	
SB7_N	Afluente Rio Tramandaí	54,0	5,8	58,2	
SB8_N	Lagoa Tramandaí	82,0	18,3	63,7	

gráfico 1 ^v

Vazão histórica no Subsistema Norte.



Nesse subsistema, a maior vazão (gráfico 1) impõe uma maior resiliência do sistema a eventos de entrada de água salgada, sendo que os episódios de intrusão salina a montante da lagoa dos Passos são pouco frequentes. Por outro lado, em algumas situações obtidas a partir da curva de permanência e a vazão média de longo período, episódios de déficit hídrico são observados (quadro 3).

	Vazão nas Sub-bacias (m³/s)*					
Q-Perm.	SB1_N	SB2_N	SB3_N	SB4_N+SB5_N +SB6_N	SB7_N	SB8_N
50%	15,60	15,37	3,59	1,66	0,99	1,82
85%	3,67	3,63	0,54	0,33	0,25	0,38
90%	2,57	2,54	0,25	0,20	0,18	0,25
95%	1,38	1,38	-0,34	0,02	0,12	0,08
99%	-0,44	-0,40	-0,80	-0,19	0,02	-0,13
Média (Q _{lp})	19,62	19,35	4,45	2,07	1,24	2,27

< quadro 3

Variáveis hidrológicas para o Subsistema Norte. *valores negativos indicam déficit hídrico. Fonte: STE (2018).

A sub-bacia do **rio Maquiné** (figura 12) tem suas cabeceiras a cerca de 900m de altitude, em pequenos banhados localizados nos campos de cima da serra em São Francisco de Paula, e suas águas drenam para a lagoa dos Quadros, a 5m de altitude, após percorrer uma distância de cerca de 45km. Neste setor de nascentes, os campos têm sido convertidos em plantações de base química (figura 11); essas águas escorrem pelas escarpas da Serra Geral, zona encachoeirada e de rápido escoamento, constituindo-se em área sucetível à movimentos de massa (queda de blocos, escorregamentos) e enxurradas repentinas (figura 12). Essa zona de declive abrupto é uma importante área em regeneração da Mata Atlântica, prioritária para a conservação da biodiversidade (Castro & Mello, 2016). No setor médio do rio (figura 13), apresenta uma várzea fértil, ocupada intensamente por cultivo de hortalica, o que potencializa os processos erosivos e deposicionais típicos dessa porção fluvial, além da contaminação por agrotóxicos e fertilizantes químicos (Castro & Rocha, 2016).





^ figura 11

Mudança no uso do solo, onde os campos nativos são convertidos em plantios agrícolas. São Francisco de Paula (2011).

< figura 12

Cicatrizes de deslizamento de terra, nas escarpas da Serra Geral. Maquiné (2011).

^ figura 13

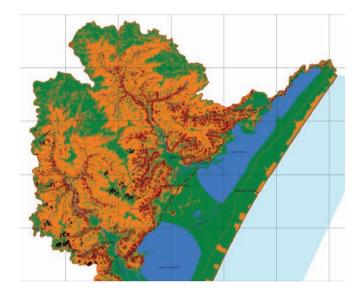
Aspecto do médio vale do rio Maquiné, com sua planície de inundação intensamente utillizada pela olericultura. Maquiné (2011).

figura 14 >

Vale do rio Três Forquilhas próximo a sua foz na lagoa Itapeva. Três Forquilhas/Terra de Areia (2016).

figura 15 >

Potencial erosivo na sub-bacia de Três Forquilhas e Maquiné. Fonte: Profill (2005).





A sub-bacia do rio Três Forquilhas tem características semelhantes à do Maquiné, com suas cabeceiras no Planalto Meridional e foz na Planície Costeira, especificamente na lagoa Itapeva, entre os municípios de Terra de Areia e Três Forquilhas (figura 14), apresentando grande potencial erosivo (figura 15). Suas nascentes são formadas a partir de banhados que formam pequenos arroios antes de despencarem pelas encostas íngremes e, pouco a pouco, estão sendo drenados para conversão em plantações de batata, olericulturas e soja. Este vale apresenta 3 importantes unidades de conservação estadual: Área de Proteção Ambiental Rota do Sol, Estação Ecológica da Aratinga e Reserva Biológica Mata Paludosa. O uso da terra no entorno do rio também é semelhante ao do Maquiné: escarpas florestadas e planície aluvial com olericultura.

Estes dois rios são hábitats de espécies de peixes ameaçados de extinção (Malabarba, 2013), como o lambari-listrado (Hollandichthys multifasciatus), lambari sorriso (Odontoeschus lethostigmus) e o lambari da sombra (Mimagoniates rheocaris). A mudança da qualidade da água e a perda da vegetação ribeirinha estão entre as principais ameaças a perpetuação dessas espécies.

A sub-bacia do rio Cardoso apresenta características semelhantes àquelas sub-bacias cujos rios principais nascem em altitudes próximas de 900m e têm foz na Planície Costeira: grande desnível em pouca distância, o que confere um alto poder de transporte de matacões, cascalhos e sedimentos. Nas localidades próximas às nascentes e fundo de vale, no município de Três Cachoeiras, é conhecido localmente por Rio do Terra (figura 16) e onde situam-se as águas de melhor qualidade; sua foz é na Lagoa Itapeva, em áreas úmidas, ora com plantações de arroz, ora com campos úmidos e banhados.



A **sub-bacia do arroio Sanga Funda** situa-se no município de Terra de Areia e tem suas nascentes protegidas pela Reserva Biológica da Serra Geral (figura 18), a cerca de 900m de altitude, em áreas cobertas por densa floresta. A foz do arroio ocorre na Lagoa dos Quadros (figura 17), já na Planície Costeira a cerca de 4m de altitude, onde suas águas são intensamente utilizadas em lavoura de arroz.





< figura 16

Vale do Rio Cardoso, delimitado pelas encostas cobertas de floresta, capoeiras e bananais, no município de Três Cachoeiras (2013).

< figura 17

Foz do Arroio Sanga Funda na Lagoa dos Quadros. Na foto, destaca-se a mancha amarelada, correspondente à plantação de arroz na margem do arroio (2013).

< figura 18

Cabeceiras do Arroio Sanga Funda em áreas da Reserva Biológica Serra Geral. Estas áreas são recobertas por densas florestas, contato da Floresta Ombrófila Densa Alto Montana e da Floresta Ombrófila Mista.

figura 19 ^

Vista geral da lagoa Itapeva tendo ao fundo as escarpas do Planalto Meridional. Arroio do Sal (2013).

Duas das maiores lagoas, em área e volume, encontram-se no subsistema Norte: a lagoa Itapeva e lagoa dos Quadros. A lagoa Itapeva (figura 19) tem sua área nos municípios de Torres, Arroio do Sal, Terra de Areia, Três Forquilhas, Três Cachoeiras e Dom Pedro de Alcântara, sendo a lagoa mais setentrional da bacia. É abastecida superficialmente pelo rio Três Forquilhas, cuja foz é considerada prioritária para conservação da biodiversidade (Castro & Mello, 2016), além de receber as águas dos arroios Cardoso e Chimarrão. Rodeada de juncais e áreas úmidas, com funções ecológicas para manutenção do nível da água e habitat de espécies aquáticas, é área de pesca muito antiga, com diversos sítios arqueológicos (sambaquis) e sendo até hoje utilizada pela pesca artesanal. Episódios de floração de algas, típicos dos processos de eutrofização como consequência do excesso de nutrientes (nitrogênio e fósforo) têm sido frequentemente observados nos últimos anos.

Em toda planície costeira, entre as lagoas e os campos adjacentes há uma transição de ecossistemas, constituído de juncais, taboas, palha e outras plantas aquáticas: os banhados. Essa transição ecológica é conhecida por ecótono e, neste caso, representa um ambiente que funciona como uma esponja, armazenando e liberando água. São áreas especiais para os anfíbios e sua drenagem constitui uma grave ameaça, além de ser ilegal; no Rio Grande do Sul, os banhados são protegidos legalmente pelo Código Estadual do Meio Ambiente.

A lagoa dos Quadros é uma das dezenas de lagoas interligadas com outras lagoas através de canais naturais no litoral norte gaúcho. Em termos de abastecimento humano é o manancial onde a Companhia Riograndense de Saneamento capta água para a população residente e temporária de Capão da Canoa e Xangri-lá, fornece grande quantidade de água para irrigação de arroz, é sustento para a população tradicional de pescadores artesanais com suas colônias na Barra do João Pedro em Capão da Canoa, para a conservação da biodiversidade e lazer. Esta lagoa recebe as águas da lagoa Itapeva e do rio Maquiné, cuja foz é considerada de importância muito alta para a conservação da



biodiversidade (Castro & e Mello, 2016), por abrigar habitats de espécies ameaçadas de extinção, especialmente peixes (Malabarba, 2013).

Neste sentido, a lagoa dos Quadros constitui-se em importante manancial regional, cuja contaminação ou diminuição de volume através dos processos sociais e econômicos, afeta negativamente a bacia hidrográfica. A exemplo da lagoa Itapeva, a descarga difusa originária da agricultura de base química tem gerado frequente episódios de explosão de algas (figura 20). Segundo o Zoneamento Ecológico-econômico, as zonas de lagoas tem como meta manter as características dos ecossistemas, garantindo a preservação da sua dinâmica natural e da paisagem característica e controlar a ocupação urbana e as atividades agropecuárias, adequando-as às restrições ambientais (FEPAM, 2000).

As águas da lagoa escoam pelo canal João Pedro até a lagoa das Malvas, que por sua vez, flui para o rio Tramandaí. Ao longo desse caminho até a foz no oceano Atlântico, essas águas abastecem outras comunidades como, por exemplo, dos balneários de Rainha do Mar e Atlântida Sul, nos municípios de Xangri-lá e Osório, respectivamente. Este setor da bacia, conhecido como "Áreas Úmidas ao norte do rio Tramandaí", também é prioritário para conservação da biodiversidade, de importância muito alta (figura 21).



< figura 20

Manchas de algas na margem oeste da lagoa dos Quadros. Maquiné (2016).

figura 21 ^

Conjunto de lagoas no município de Osório. Osório (2018).

figura 22 >

Curvas do rio Tramandaí a partir da lagoa das Malvas. Osório (2016).



Lagoas como a do Passo, dos Veados e Emboaba são mananciais nesse setor, cujas águas abastecem Tramandaí, Imbé, Xangri-lá e parte de Osório; apesar dessa importância prioritária em termos de uso dos recursos hídricos, a lagoa mais a montante nesse setor, a Marcelino, recebe esgoto bruto do município de Osório. Nesse setor do subsistema Norte, o rio Tramandaí "origina-se" a partir da lagoa das Malvas, sendo conhecido também por rio dos Postes. A biodiversidade nesta área é favorecida pela heterogeneidade de habitats – banhados, restingas, campos e lagoas, e está expressa na abundância de indivíduos e riqueza de espécies de aves, o que torna essa região apta para o turismo de observação de fauna.

O **estuário do Tramandaí** "separa" os subsistemas Norte e Sul, sendo formado pelas lagunas Tramandaí e Armazém. É o ambiente onde as águas da bacia se encontram com as do oceano Atlântico (figura 23) em processos fluviomarinhos fundamentais para estrutura e funcionamento ecológico da zona costeira. Nesse sentido, a integração das políticas de gerenciamento de recursos hídricos com a da zona costeira torna-se evidente.

O vai e vem das águas, entrando água salgada e saindo água doce da bacia, condiciona a disponibi-

lidade hídrica, uma vez que as cotas de fundo nos canais estão, muitas vezes, abaixo da cota de fundo das lagoas, e ambas se encontram abaixo do nível médio do mar. Como o desnível do fundo das lagoas é mínimo em relação ao mar para escoar as águas, o fluxo para encher e esvaziar as lagoas se dá pela diferença dos níveis d'água a montante e pela maré, a jusante. Se por um lado pode ocorrer intrusão salina, por outro a maré impõe uma regularização dos níveis no sistema, importante para a manutenção dos volumes e disponibilidade hídrica nas lagoas (STE, 2019).





A intensa pressão da ocupação urbana é o principal fator de risco para a qualidade da água nesse setor da bacia, sendo que diversas espécies de peixes e crustáceos de importância econômica e ecológica aí se encontram. Endêmicas desse ambiente subtropical são as marismas, pântanos salobros e equivalentes ecológicos aos mangues das regiões tropicais. Por conta da intensa urbanização elas foram aterradas e restam poucas áreas representativas desse rico ecossistema (figura 24). O estuário também é funda-

mental para a sobrevivência das comunidades tradicionais de pescadores artesanais, que chegaram a desenvolver uma cultura interespecífica com os botos (*Tursiops truncatus*), para a pesca cooperativa da tainha e que resulta em maior eficiência na pesca, com menor esforço e maior captura.

Por ser o destino de águas e sedimentos contaminados da bacia, substâncias como indícios de metais pesados já são encontradas no sedimento e peixes (Rocha, in Castro & Mello, 2019).

< figura 23

Foz do rio Tramandaí no oceano Atlântico. Tramandaí/Imbé (2016).

^ figura 24

No Subsistema Sul, a disponibilidade hídrica é menos da metade da encontrada no Subsistema Norte e o refluxo é mais proeminente em razão das menores vazões. Este subsistema está localizado ao sul do estuário do rio Tramandaí, tendo seus limites na lagoa Bacopari, no município de Mostardas. Nesse trecho, a Comporta da Lagoa da Fortaleza impõe um controle importante para a intrusão salina e para a regularização do nível para as captações a montante. As lagoas ao sul possuem menores áreas de contribuição e, portanto, possuem menor influência da bacia contribuinte (quadro 4 e 5). As lagoas mais austrais não possuem ligação perene entre elas e, assim, as contribuições hídricas subterrâneas e a precipitação direta são preponderantes para recarga hídrica nessas unidades (figura 25).

SB1_S	Barros	29,0	9,1	19,9
SB2_S	Quintão	46,0	8,9	37,1
SB3_S	Porteira	103,0	32,5	70,5
SB4_S	Cerquinha	46,0	7,5	38,5
SB5_S	Rondinha Cidreira	62,0	15,3	46,7
SB6_S	Fortaleza	93,0	24,7	68,3
SB7_S	Manuel Nunes	11,0	3,7	7,3
SB8_S	Gentil	46,0	9,0	37,0
SB9_S	Custódia	42,0	9,6	32,4



^ figura 25

Feição típica do susbsistema sul, com suas dunas e lagoas na planície costeira, em primeiro plano, o estuário do rio Tramandaí. Tramandaí (2016).

< quadro 4

Área de contribuição das sub-bacias no subsistema Sul Fonte: STE, 2018.

figura 26 >

Lagoa Rondinha, margeada por banhados e campos úmidos Balneário Pinhal (2012).

	Vazão nas Sub-bacias (m³/s)*								
Q-Perm.	SB1_S	SB2_S	SB3_S	SB4_S	SB5_S	SB6_S	SB7_S	SB8_S	SB9_S
50%	0,68	0,76	0,16	1,56	0,40	0,92	1,39	0,76	0,43
85%	0,03	0,06	-0,01	0,04	-0,13	0,13	-0,11	0,07	-0,02
90%	-0,04	-0,01	-0,04	-0,15	-0,22	0,05	-0,35	-0,01	-0,09
95%	-0,15	-0,13	-0,07	-0,40	-0,34	-0,07	-0,62	-0,12	-0,17
99%	-0,24	-0,22	-0,11	-0,65	-0,49	-0,15	-0,92	-0,21	-0,25
Média (Q _{lp})	0,84	0,94	0,21	1,96	0,53	1,11	1,82	0,94	0,56

quadro 5

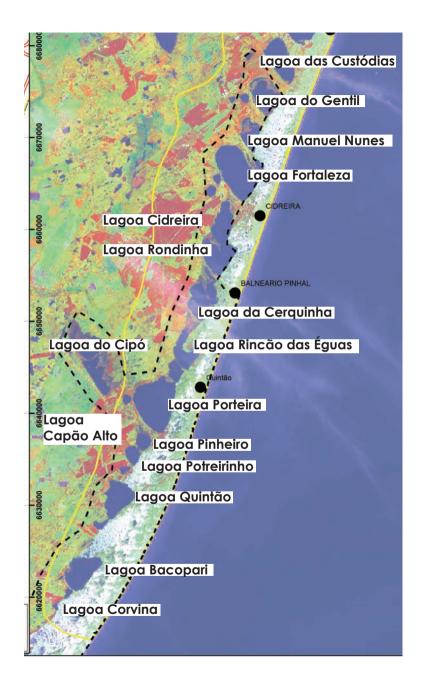
Variáveis hidrológicas para o Subsistema Norte * valores negativos indicam déficit hídrico Fonte: STE (2018).

Na Planície Costeira, as áreas úmidas, tão características no entorno das lagoas do RS (figura 26), desempenham importantes serviços ecossistêmicos como o "efeito esponja" de absorver e liberar umidade no solo, sendo fundamentais para a reprodução de anfíbios, crustáceos, moluscos, peixes e habitats para diversas espécies de aves palustres. Para as comunidades de pescadores artesanais, que vivenciam cotidianamente esses conflitos, essas transformações significam o comprometimento da estrutura social, pondo em cheque sua própria sobrevivência (Castro, 2015).



No **Subsistema Sul**, a disponibilidade hídrica é menos da metade da encontrada no Subsistema Norte e o refluxo é mais proeminente em razão das menores vazões. Este subsistema está localizado ao sul do estuário do rio Tramandaí, tendo seus limites na lagoa Bacopari, no município de Mostardas. Nesse trecho, a Comporta da Lagoa da Fortaleza impõe um controle importante para a intrusão salina e para a regularização do nível para as captações a montante. As lagoas ao sul possuem menores áreas de contribuição e, portanto, possuem menor influência da bacia contribuinte (quadro 4 e 5). As lagoas mais austrais não possuem ligação perene entre elas e, assim, as contribuições hídricas subterrâneas e a precipitação direta são preponderantes para recarga hídrica nessas unidades.

Este susbsistema corresponde a duas importantes Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade (figura 27): as Dunas de Cidreira e ao Campo de Dunas e Lagoas do Litoral Médio (Castro e Mello, 2016). Estas áreas abrigam espécies características do ambiente costeiro do Sul do Brasil (Schäfer et al., 2014), incluindo as ameaçadas de extinção, raras e ou endêmicas, e ainda aquelas consideradas de valor econômico atual ou potencial, como as "Plantas do Futuro" (MMA, 2011). Entre as espécies ameacadas encontra-se o sapinho-de-barriga-vermelha (Melanophryniscus dorsalis), endêmica da Planície Costeira do RS e Centro-Sul do Estado de Santa Catarina e mundialmente ameaçada de extinção, sendo no RS considerada "Em Perigo" (Decreto Estadual 51.797/2014) e também o tuco-tuco branco (Ctenomys flamarioni, Travi 1981), com uma distribuição geográfica restrita, nas Dunas Frontais Móveis.



Esta área é caracterizada por extensas dunas (figura 28), praias arenosas dissipativas, lagoas costeiras interligadas por canais, banhados, restingas, campos do pampa e muitos sangradouros, pequenos corpos d'água que saem das dunas em direção ao mar (figura 29). Também características das lagoas da bacia do rio Tramandaí são suas águas doces próximas ao mar e interligadas entre si por canais, constituindo-se em um sistema único no planeta.

< figura 27

Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade – Dunas de Cidreira e Campo de Dunas e Lagoas do Litoral Médio. Fonte: Castro e Mello (2016).

figura 28 ¬

Dunas quaternárias com suas áreas úmidas nas depressões. Cidreira (2015).

figura 29 >

Sangradouros de água doce originados nas dunas e desaguando na praia. Cidreira (2011).



das rasas, com profundidades que variam de 1,4m a 9,3m e, em função desse fator, a luz penetra em boa parte do corpo hídrico, exercendo assim um papel determinante na fotossíntese e, consequentemente, na ecologia aquática. A origem dessas lagoas está associada às alterações climáticas que provocaram 4 grandes eventos de transgressão e regressão marinha, nos últimos quatrocentos mil anos, e que moldaram a costa sulriograndense com suas lagoas e lagunas, rios, canais de ligação entre lagoas, pântanos e turfeiras.

As lagoas da bacia do Tramandaí estão mais diretamente associadas ao evento conhecido como Sistema Laguna Barreira IV, cuja transgressão ocorreu há 5.100 anos atrás, com a formação da atual linha de costa e as lagoas costeiras (Reginato e Ahlert, 2014). O subsistema sul conserva em seu território paisagem (figura 30) composta de praias, campos de dunas, lagoas, restingas e campos pampeanos e, pelos usos antrópicos, representados pelas monoculturas de pinus, eucaliptos e arroz.

A força do vento Nordeste, a circulação da água na lagoa e os processos de erosão e sedimentação são responsáveis pela tendência de segmentação das lagoas, como se observa nas lagoas Cidreira-Rondinha (figura 31), da Cerquinha ou do Gentil, onde a avançada sedimentação resulta em baixa profundidade e grande quantidade de macrófitas. O contínuo aporte de areia e da matéria orgânica é acumulado no leito das lagoas, levando a sua eutrofização, ou enriquecimento de nutrientes, característico do envelhecimento desses corpos hídricos. Esse processo é milenar e, portanto, distinto da eutrofização que vem sendo causada pelos aportes da agricultura convencional e do esgoto doméstico não tratado. Dessa maneira, a profusão de água superficial é mera aparência pois as lagoas são rasas e, paulatinamente, estão sendo contaminadas pelos produtos oriundos da agricultura convencional, pelo esgoto não tratado, por microplásticos e desreguladores endócrinos.

figura 30 $\,^{\vee}$

Linha de costa e lagoas no extremo sul da bacia. Palmares do Sul/Mostardas (2012).

∨ figura 31

Lagoa da Cidreira e Rondinha, processo de segmentação em andamento. Cidreira (2012).



referências bibliográficas

CASTRO, D. Paisagens em transformação na bacia hidrográfica do rio Tramandaí: tendências, desafios e contribuições para a gestão ambiental. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal do rio Grande do Sul, para obtenção de título de Mestre em Geografia. Porto Alegre. 2017.

CASTRO, D.; MELLO, R.S.P. Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade da bacia do rio Tramandaí. Via Sapiens: Porto Alegre. 2016.

CASTRO, D.; MELLO, R.S.P. Atlas Ambiental da Bacia do Rio Tramandaí. Via Sapiens: Porto Alegre. 2ª ed. 2019.

CASTRO, D.; ROCHA,C.M. Qualidade das águas da bacia hidrográfica do rio Tramandaí. Porto Alegre: Via Sapiens, 172p. 2016.

DECRETO N.º 51.797, DE 8 DE SE-TEMBRO DE 2014. (publicado no DOE n.º 173, de 09 de setembro de 2014) Declara as Espécies da Fauna Silvestre Ameaçadas de Extinção no Estado do Rio Grande do Sul.

FAHRIG, L. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. Annu. Rev. Ecol. Syst., 34: 487-515. 2003.

FEPAM. Diretrizes ambientais para os municípios do litoral norte e proposta de enquadramento dos recursos hídricos – ZEE/SEMA. Cadernos de planejamento e gestão ambiental, nº1. 2000. Disponível em: http://www.fepam.rs.gov.br/programas/zee. Acessado em 02/08/2019.

LINDMAN, C.A.M.; FERRI, M.G. A vegetação do Rio Grande do Sul. Belo Horizonte: Editora Itatiaia. 392p. 1974.

MALABARBA, L.R. et al. **Guia de** identificação de peixes da bacia hidrográfica do rio Tramandaí. Ed. Via Sapiens. Porto Alegre. 140p. 2013.

PEROTTO, M. A. A influência da legislação ambiental no uso e conservação da bacia hidrográfica do rio Maquiné (RS), no período de 1964 a 2004. Dissertação (Mestrado em Geografia). Curso de Pós-Graduação em Geografia, área de concentração utilização e conservação dos recursos naturais, do Centro de Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007. Disponível em: http://www.onganama.org.br/pesquisas.htm . Acessado em 01/08/2019.

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. **Plano de Gerenciamen-** to dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Tramandaí. SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente: Porto Alegre, 2005.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul: ensaio de monografia natural.** 3ª ed.
São Leopoldo: Ed. Unisinos. 1994. 485p.

REGINATO, P.A.; AHLERT, S. **Geologia**. In SCHÄFER, A.; LANZER, R.; SCUR, L. (Org.). **Atlas Socioambiental dos Municípios de Cidreira, Balneário Pinhal, Palmares do Sul.** Caxias do Sul, RS: EDUCS, 2013. 354 p. il.

ROCHA, C.M. **Qualidade das águas na BH Tramandaí.** *In* Atlas Ambiental da Bacia do Rio Tramandaí. Via Sapiens: Porto Alegre. 2° ed. 2019.

RICKLEFS,R. **A economia da natureza.** 7ºed. – Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2016.

SCHÄFER, A.; LANZER, R.; SCUR, L. (Org.). Atlas Socioambiental dos Municípios de Cidreira, Balneário Pinhal, Palmares do Sul. Caxias do Sul, RS: EDUCS, 2013. 354 p.

STE S.A. Diagnóstico consolidado da bacia hidrográfica do rio Tramandaí – relatório técnico 3 do Plano da bacia. Canoas, RS. 2019

WILCOVE, D.S.; MCLELLAN, C.H. & DOBSON, A.P. Habitat fragmentationin the temperate zone. Pp. 237-256. In: Soulé, M. E. (ed.), Conservation Biology The Science of Scarcity and Diversity. Sinauer Associates Inc., Sunderland. 1986.





3.1. ÁGUA NO PLANETA TERRA

O cosmonauta russo Yuri Alekseievitch Gagarin foi o primeiro ser humano a chegar ao espaço sideral. A bordo da nave Vostok 1, em 12 de abril de 1961, se emocionou ao completar uma órbita terrestre em torno da Terra pela primeira vez, a cerca de 320 km de altitude. Chorou emocionado ao dizer a frase "A Terra é Azul! Como é maravilhosa, incrível!". A história da humanidade nunca mais foi a mesma.



Realmente, quando visto do espaço a cor que mais se destaca no nosso planeta é o azul (figura 1). Isso ocorre porque mais de 71% da superfície da Terra é coberta por oceanos onde as moléculas de água absorvem com mais facilidade as outras cores da radiação solar, que não o azul, refletindo as ondas correspondentes a essa cor.

Sem água a vida na Terra seria impossível! Ela é o componente fundamental da dinâmica da natureza, impulsiona todos os ciclos, sustenta a vida e é o solvente universal. A água é uma das riquezas naturais mais importantes que temos, pois participa e



promove todos os ciclos ecológicos e biogeoquímicos, responsáveis pela diversidade biológica e geológica do nosso planeta. No contexto biológico é importante reconhecermos seu papel, pois cerca de 60% do nosso corpo é composto por este elemento.

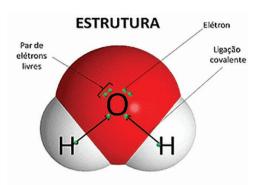
A água está presente em todos os aspectos da vida na Terra. Assim como o ar que respiramos, ela é indispensável para a vida humana, animal e vegetal, fornecendo serviços essenciais, como meio de subsistência e bem-estar, contribuindo para a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e terrestres.

A palavra água tem sua origem no latim *aqua*, mas em grego é conhecida como *hydros*, daí hidrologia, hídrica. É um elemento líquido em condições padronizadas, de temperatura e pressão ambiente, compõe-se em sua forma pura moléculas que associam dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio na forma H2O (H-O-H).

∧ figura 1

A Terra Azul. Fonte: https://visibleearth.nasa.gov/view.php?id=57723

No entanto, é impossível encontrar uma fonte de água completamente pura, ou seja, formada apenas por H2O devido a sua principal propriedade, que é

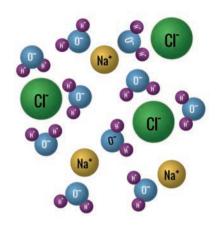


a capacidade de dissolver uma grande variedade de substâncias. Isso permite ela dissolver e carregar, ao mesmo tempo, uma variada quantidade de substâncias residuais e nutritivas nos sistemas biológicos, além de facilitar o intemperismo químico das rochas e o transporte de substância em solução. Assim, em toda água encontrada naturalmente existem outras substâncias dissolvidas.

Podemos afirmar que a composição química da água está diretamente relacionada com o trajeto percorrido por ela, na superfície e subsuperfície do solo ou nas fraturas das rochas que afloram. Assim, sua constituição depende da riqueza química dos minerais e rochas e de fatores pedogenéticos.

Kabatapedias e Pendias (2001), quando se referem aos oligoelementos (também conhecidos como microminerais que desempenham diversas funções metabólicas no organismo humano) informam que estes estão presentes em águas naturais e suas fontes estão associados a processos naturais, por meio do intemperismo químico das rochas e lixiviação do solo. Mas podem também estar associados a atividades econômicas, principalmente à mineração de carvão e

minérios, industriais e águas residuais urbanas. A maioria dos oligoelementos, especialmente os metais pesados, não existem em formas solúveis por muito tempo em águas. Eles estão presentes principalmente como coloides suspensos ou são fixados por substâncias orgânicas e minerais.



Os oceanos apresentam 96,7% de água (H₂0) e os outros 3,3% são compostos por sais dissolvidos. O que diferencia uma água do rio para o mar é, principalmente, a salinidade. A água salgada apresenta grande quantidade de sais quando comparada à água doce. Uma água pura (destilada) só é conseguida em laboratório por intermédio de uma técnica especial conhecida como destilação.

Sendo assim, devemos ter em mente que, ao ingerirmos água ou mergulhamos no mar ou nos rios, não estamos tendo contato apenas com átomos de hidrogênio e oxigênio. Além da molécula de água, estão presentes diversas outras substâncias minerais como o cálcio, magnésio, sódio, potássio, carbonatos e bicarbonatos, cloretos e nitratos. Há também traços de manganês, ferro, zinco, cobalto e chumbo. As substâncias orgânicas estão em forma dissolvida (pesticidas, solventes etc.) ou em suspensão (resíduos vegetais).

3.2. DE ONDE VEM E QUANTA ÁGUA HÁ NA TERRA?

Atualmente existem duas teorias que tentam explicar a quantidade atual de água na Terra, mas a história de como formaram-se os grandes acúmulos de água na superfície ainda é um mistério que os cientistas procuram desvendar.

A primeira teoria relata que há cerca de 4,6 bilhões de anos, após a formação do Sol, alguns de seus componentes, incluindo água ou H₂O, foram expelidos no Sistema Solar onde começaram a se concentrar e se tornaram mais densos até se tornarem planetas.

Por isso, no início, a Terra era um corpo celeste extremamente quente, com uma atividade vulcânica muito alta que emitia vapor de água para a atmosfera primitiva (figura 2).

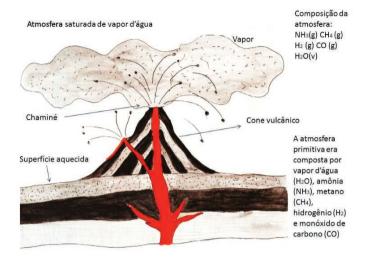
Por volta de 1 bilhão de anos após a formação do planeta esse vapor de água começou a esfriar e a condensar. É assim que se supõe que se formaram os oceanos primitivos, onde a primeira forma de vida aquática surgiu milhões de anos depois.

A outra teoria explica que a entrada de água no planeta envolve os asteroides e cometas. Como eles vêm de áreas distantes do Sistema Solar ricas em água, a Terra, no início de sua formação, sofreu inúmeros impactos de um grande número desses corpos que carregavam moléculas de H2O. A teoria dos cometas como provável origem da água em nosso planeta, por exemplo, decorre de sua composição: água congelada em torno de um núcleo sólido.

O mais importante, no entanto, é entendermos

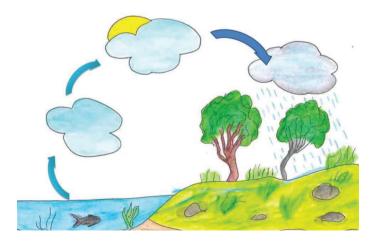
∨ figura 2

Atmosfera primitiva Desenho: Ismael Jesus Klein (2019).



∨ figura 2.1

Desenho: Ismael Jesus Klein (2019).



que desde a sua origem, o resultado líquido da entrada e saída de água é um equilíbrio em termos de quantidade, ou seja, é sempre o mesmo volume que circula constantemente entre os oceanos, os continentes e a atmosfera, num compartimento dinâmico que conhecemos como

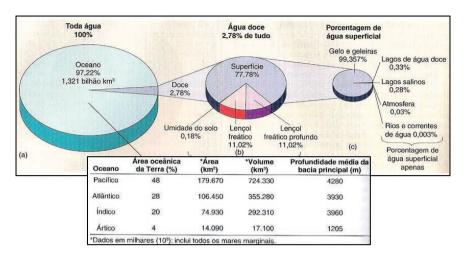
Estimativa de quantidade de água no planeta. Fonte: E. von Sperling (2006), adaptado.

Hidrosfera. De acordo com Christopherson (2012, p. 177) "perde-se água quando ela se dissocia em hidrogênio e oxigênio e o hidrogênio escapa da gravidade terrestre para o espaço, ou quando ele se quebra e forma novos compostos com outros elementos". A água que emerge da crosta terrestre, substitui a água perdida no sistema.

A Hidrosfera corresponde a toda água do nosso planeta. Inclui a água da superfície, a subterrânea, a que circula no ar como o vapor de água, as chuvas e a que se acumula nas geleiras. Calcula-se que na Hidrosfera o volume estimado de água é de 1,38 bilhão de km³. E. von Sperling (2006), a fim de apresentar o volume da distribuição de água nos diversos compartimentos hídricos do planeta, apontou as principais informações (quadro 1) relativas à quantidade total de água (salgada e doce) no planeta:

Estimativa de quantidade de água no planeta Terra	Autor (es)
1,4585102 bilhões de km³	Lvovitch, 1974 apud Schwoerbel, 1979
1,385967 bilhões de km³	Shiklomanov, 1990 apud Williams, 1998
1,3859 bilhões de km³	Schönborn, 2003
1,36 bilhões de km³	JWQPRA, 1995
1,3588 bilhões de km³	J ó rgensen e Vollenweider, 1998
1,321 bilhões de km³	Christopherson, 2012

Considerando o volume total de 1.321 bilhões de km³, a distribuição do volume de água entre os compartimentos oceano, superfície terrestre e atmosfera, não é igual. A maior parte fica acumulada nos oceanos (cerca de 97%), em seguida, nas geleiras e nas partes subterrâneas dos continentes. Apenas uma pequena parcela fica disponível diretamente aos seres vivos, em rios, lagos e lagoas (águas superficiais). Do total de água no planeta, apenas 0,001% está na atmosfera, principalmente em suas camadas mais baixas, e é medida por uma grandeza conhecida como umidade relativa do ar, como podemos observar na Figura 3 e na tabela 1.



Localização	Quantidade (km³)	Porcentagem de água doce	Porcentagem de água total
Água Superficial			as agea ioia.
Mantos de gelos e geleiras	29.180.000	77,14	2,146
Lagos de água doce	125.000	0,33	0,009
Lagos salinos e mares interiores	104.000	0,28	0,008
Atmosfera	13.000	0,03	0,001
Rios e correntes de água	1.250	0,003	0,0001
Total de água superficial	29.423.250	77,78	2,164
Água Subsuperficial			
Lençol freático-superfície a			
762 m de profundidade	4.170.000	11,02	0,306
Lençol freático - 762 a 3962 m			
de profundidade	4.170.000	11,02	0,009
Armazenamento de umidade			
no solo	67.000	0,18	0,005
Total de água subsuperficial	8.407.000	22,22	0,617
Total de água doce (arredond.)	37.800.000	100,00%	2,78%

No entanto esse volume de água não está dividido igualmente, varia muito em função das condições climáticas ocorrentes nas diferentes regiões do planeta, dos níveis de evapotranspiração e precipitação.

E. von Sperling (2006) ressalta a natureza imprecisa destes dados, obtidos de um tratamento estatístico de estimativas também pouco exatas, podendo os valores estar sujeitos a um incontornável problema de propagação de erros. No entanto, estes números talvez sejam aqueles que, atualmente, mais se aproximem de uma ainda inescrutável realidade.

∇ gráfico 1

Distribuição de água no Planeta e nos Oceanos. Onde a) Toda a água; b) água doce incluindo água subterrânea; c) água superficial. Fonte: Robert W. Christopherson, 2012. p. 178

< tabela 1

Distribuição de água doce na Terra. Fonte: Robert W. Christopherson, 2012. p. 178

figuras 3, 4 e 5 >

Fonte: http://www.scottsmithonline.com/interests/medicalschool/biology/110a/Midterm1 Materials/Notes/graphics/figure%2002-15.jpg

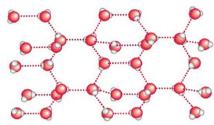
3.3. ÁGUAS SÓLIDAS, LÍQUIDAS E GASOSAS

Para além do volume, é imprescindível verificar que, conforme o ambiente, a água se apresenta num determinado estado físico. A água é o único composto natural que existe na forma sólida, líquida e gasosa. Com a ação combinada com calor, da energia solar e da pressão atmosférica a água muda de estado, liberando ou absorvendo energia térmica. Essas mudanças de estado ocorrem pela quebra das ligações de hidrogênio que unem as moléculas de água.

A água fica em *estado sólido* (figura 3) quando a temperatura for menor ou igual a 0° Celsius, com a disposição das moléculas em uma estrutura cristalina. Como exemplos, temos o **gelo**, que é o congelamento da água, formado a 0° Celsius; a **neve**, que é um minúsculo cristal de gelo de estrelas; os flocos que são formados pela aglomeração destes cristais; a **geada**, congelamento do nevoeiro; e a **geleira**, resultado do assentamento da neve acumulada.

Quando as temperaturas variam de 0 ° a 100° Celsius, à pressão normal, a água fica no *estado líquido* (figura 4). Isso ocorre porque as moléculas estão fora de ordem, são mais compactas do que no estado sólido, o que explica por que um litro de água ocupa mais de um litro quando congela. Como exemplos da água no estado líquido temos as **nuvens**, formadas pelo acúmulo de gotículas de água; a **chuva**, que consiste nas gotículas de água liberadas pelas nuvens; e o **nevoeiro**, que consiste em gotículas de água suspensas no ar, porque são nuvens em contato com o solo.

A água no *estado gasoso* ou estado de vapor (figura 5) a 100° Celsius, à pressão normal, ou mesmo em temperatura mais baixa, durante a evaporação da água dos oceanos. O estado gasoso significa a desordem máxima das moléculas e, é invisível; conseguimos visualizar apenas a sua transformação, quando por exemplo visualizamos o vapor da água em uma parede fria que se condensou e se transformou em água.



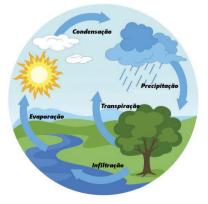




O ciclo hidrológico passa por três estados físicos da matéria: sólido (gelo, neve, granizo), líquido (rios, lagos, lagoas, lagunas e áreas úmidas) e gasoso (evaporação, ao misturar-se com a atmosfera). Estes três estados físicos passam por mudanças (fases), tais como: fusão, solidificação, vaporização (evaporação e ebulição), condensação ou liquefação, sublimação e solidificação.

A continuidade do ciclo varia no tempo ou no espaço, ou seja, ele não ocorre de uma forma permanente e com uma taxa constante. Fatores como a evapotranspiração, a precipitação, o escoamento superficial, a infiltração, a percolação profunda, a drenagem e a vazão influenciam significativamente.

A circulação de água durante seu ciclo (figura 7) pode ser esquematicamente descrita como uma espécie de "viagem de ida e volta" entre oceanos, continentes e atmosfera. A evaporação das águas oceânicas (especialmente na região intertropical) é a principal fonte de água. Esta água, transportada pelos ventos, condensa-se e cai como precipitação no próprio oceano (4/5) e sobre os continentes (1/5).



3.4. POR QUE AS ÁGUAS SÃO DOCES, SALOBRAS OU SALGADAS?

Além dos conhecidos estados físicos em que a água se apresenta na hidrosfera, as formas sólida, líquida e gasosa, também variam com a pressão e a temperatura, além disso, temos que levar em conta que as classificações tem relação com a quantidade de sais que as compõem. Conforme o grau de salinidade que as massas apresentam, são reconhecidos três tipos distintos de água, que são: doce, salgada e salobra. A salinidade é medida em partes por mil (‰), ou seja, a quantidade de sal por litro de água. Se um corpo d'agua tiver 35 ‰ de salinidade significa que tem 35 gramas de sal num litro de água naquele lugar.

De certo modo é muito difícil encontramos água em seu estado puro na superfície. Os oceanos, citando, apresentam em média 96,5% da água pura e 3,5% de sais. Conforme Millero (2006), nessa proporção de sais, 55% dos íons dissolvidos nas águas oceânicas são Cloreto (Cl-) e 30,1% Sódio (Na+), ou seja, o Cloreto de Sódio é responsável por 81% da composição da água marinha.

Nessa medida, a água dos oceanos da Terra tem uma salinidade média aproximada de 35‰, ou seja, 35 gramas de sal por mil gramas de água. A água salo-

< figura 6

Ciclo da água resumido. Fonte: https://brasilescola.uol.com. br/biologia/ciclo-agua.html bra tem salinidades entre 0,5% e 3,0% e a água doce pode ter uma salinidade entre 0 e 0,5%.

É importante entendermos que a quantidade total de sais dissolvidos na água do mar varia entre diferentes regiões geográficas e profundidades na coluna de água, mas que esses sais mantêm suas proporções aproximadamente constantes em todos os oceanos. Em regiões costeiras, por exemplo, a salinidade varia muito devido à descarga da água doce de rios.

Por essa maneira de classificação, podemos afirmar que a maior parte (96,5%) da água no planeta Terra é **salgada** e se encontra nos mares e oceanos. Os sais minerais dissolvidos nela se originam do contato da água terrestre com as rochas, que diluem os minerais e os arrastam para o litoral até chegar nas grandes massas d'água e, mais tarde são encontradas nos mares, oceanos e algumas lagoas.

Apesar de ser a mais abundante no planeta, essa água não é própria para consumo. Em alguns locais, onde a água doce é muito escassa como nos Emirados Árabes, ocorre um processo chamado de dessalinização da água do mar, no qual o sal é retirado tornando-a apta ao consumo.

A água **salobra** é uma "mistura" de água salgada e água doce em termos de quantidade de sais minerais. Geralmente é encontrada em áreas onde o mar se encontra com os rios ou com as lagunas. Quando a água do mar entra nas lagunas as características salinas nesses corpos hídricos vai depender essencialmente do afluxo fluvial de água e das trocas hídricas com o oceano, bem como das características

climáticas, visto que a precipitação intensa ou a aridez climática podem modificar a quantidade de sais na água. As águas salobras podem ter uma aparência turva e não devem também ser consumidas pelos seres humanos e animais.

O restante da água existente (3,5%) é **doce**, e embora o nome possa remeter ao açúcar, o termo se refere apenas à ausência ou baixa concentração de sal. Esse é o tipo de água apropriado para o consumo humano, a agricultura, a pecuária, a indústria, contudo, para ser consumida precisa passar por um processo de tratamento.

A grande problemática do depósito de água doce no planeta está na sua disponibilidade física, pois cerca de 70% está presa em geleiras e somente 0,07% do total, ou cerca de 1 milhão de km3, está acessível nas águas superficiais ou subterrâneas.

Geralmente retiramos as águas doces dos rios e de poços para o nosso uso doméstico ou econômico. Por isso, as águas ainda podem ser classificadas de acordo com o local onde podem ser encontradas. As **superficiais** são aquelas que se acumulam na superfície em rios, arroios, lagoas, mares, lagos, lagunas, etc. Seu acesso é mais fácil, por isso são a principal fonte de abastecimento da população.

Quando o fluxo hídrico consegue se infiltrar no subsolo, nos espaços vazios entre as rochas, temos as águas **subterrâneas**. Elas representam uma importante fatia da água doce do planeta e estão presentes, principalmente, nos aquíferos. Seu uso é mais difícil e caro pois é necessário perfurar para fazer os poços, que são às vezes profundos.



Na Laguna de Tramandaí é possível encontrar os três tipos de água. Observe a figura 8: a água salgada está no oceano Atlântico, que dependendo do movimento da maré entra no canal da Barra para encontrar as águas doces vindas do rio Tramandaí, tornando-se nessa mistura, água salobra. Todo esse complexo lagunar tornou-se com isso, na interação com diferentes tipos de águas, uma área de berçário de espécies de importância ecológica, econômica, e cultural.

figura 7 ^

As águas no canal da Barra. Fonte: Dilton de Castro.

Em muitos locais, onde não existe rede de distribuição de água, a única alternativa para a população local é escavar pequenos poços artesianos. Em outros, onde a qualidade ou quantidade das águas superficiais estão comprometidas, são utilizados os aquíferos como única alternativa socioeconômica.

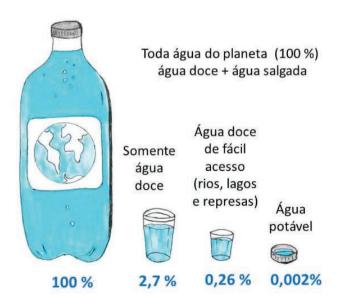
De toda água doce que existe, boa parte está dividida entre dois estados físicos: sólido e líquido. Nas geleiras estão acumulados 68,7% das águas doces, equivalente a 1,74% do manancial hídrico do planeta. As geleiras, ou glaciares, são imensas massas de gelo formadas pelo acúmulo de neve. Para que elas se formem é necessário que a produção de neve seja maior que a velocidade do degelo. Elas podem ser encontradas, por exemplo, na Antártica, no Ártico, na Groenlândia, na Patagônia, no Himalaia, no norte da Rússia, etc.

Em estado líquido (31,9%), acessível a população e aos demais seres vivos, temos as águas superficiais (4%) e as subterrâneas (96%). Essa quantidade das águas superficiais não é pouca, ao contrário, estamos falando de uma quantidade muito grande.

Para ilustrar a situação sobre a quantidade e distribuição das águas na superfície do nosso planeta sugerimos a figura 9. Imagine se colocássemos toda a água doce e salina numa garrafa de 1 litro. *Quanto dessa água poderíamos beber?* Hipoteticamente teríamos um copo de água doce! Mas se levássemos em consideração as condições do estado líquido e da potabilidade em função da poluição, ao final, teríamos a nosso dispor apenas o volume possível de ser coloca-

do na tampinha da garrafa. Seria suficiente para matar a sede?

Além de pouco disponível em relação ao total de água doce existente no planeta, a sua distribuição superficial é muito desigual. Ou seja, em alguns locais há muita água disponível e em outros é escasso, dependendo das condições climáticas que influenciam regionalmente o ciclo hidrológico, ou seja, o resultado da quantidade de água que entra e sai do sistema em um determinado intervalo de tempo (balanço hídrico). Nas regiões tropicais, onde se situam os grandes desertos, o balaço hídrico é negativo, devido a elevada evaporação e escassez de precipitação. Nas regiões temperadas e intertropicais, o balanço geralmente é positivo, elas são portanto privilegiadas na disponibilidade de água (BOUROTTE, 2014).



3.5. O CICLO DA ÁGUA

O Ciclo da Água ou Ciclo Hidrológico é um fenômeno global de circulação fechada e contínua de água entre a superfície terrestre e a atmosfera.

Os fatores que impulsionam o Ciclo são a energia térmica solar; a força dos ventos que transportam vapor d'água para os continentes; e a força da gravidade responsável pelos fenômenos de precipitação, da interceptação, da infiltração e do deslocamento das massas de ar. A energia solar é a fonte da energia térmica necessária para a passagem da água entre as fases líquida, gasosa e sólida; é também a responsável pela origem das circulações atmosféricas que transportam vapor de água e deslocam as nuvens. A atração gravítica promove a precipitação e o escoamento sobre a superfície continental.

O Ciclo Hidrológico é um agente modelador da crosta terrestre devido à erosão, ao transporte e deposição de sedimentos por via hidráulica, além de condicionar a cobertura vegetal e, de modo mais genérico, impulsionar "a vida na Terra".

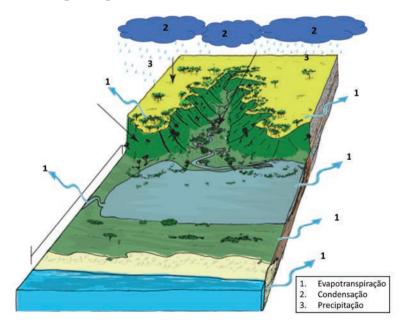
Essa circulação da água (figura 10) representa a maior movimentação de uma substância química na superfície do nosso planeta, que ocorre devido a três fenômenos principais: **evaporação** para a atmosfera, **condensação** em forma de nuvens e **precipitação**, mais frequentemente em forma de chuva, neve ou

< figura 8

Ilustração da quantidade de água no planeta. Desenho: Ismael Jesus Klein (2019). granizo, sobre a superfície terrestre. Dependendo da superfície que recebe essa água, continental ou oceânica, ela pode escoar, infiltrar ou evaporar, continuando o movimento.

Embora o ciclo hidrológico possa parecer um ciclo contínuo, com a água se movendo de uma forma permanente e com uma taxa constante, é na realidade bastante diferente, pois o movimento que a água faz em cada uma das fases do ciclo ocorre de forma bastante aleatória, variando tanto no espaço, como no tempo.

A velocidade com que a água circula nas diferentes fases do ciclo hidrológico são influenciadas por diversos fatores como, por exemplo, a cobertura vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e a geologia.



A coexistência destas fases implica que existam transferências contínuas de água de um estado para outro; esta sequência fechada de fenômenos pelos quais a água passa do globo terrestre para a atmosfera chama-se ciclo hidrológico.

Este processo de movimento (circulação) da água entre a superfície e atmosfera ocorre por meio das mudanças dos seus estados físicos, no qual a água evapora continuamente e, passa por condensação formando as nuvens , retornando a superfície na forma liquida (chuva), principalmente, mas também sólida (neve/gelo). A velocidade dessas transferências varia em função das características intrínsecas de cada reservatório, pois depende do seu tamanho e dos fluxos de entrada e saída (BOUROTTE, 2014).

Regionalmente o ciclo hidrológico sofre variações, criando desequilíbrios que, dependendo do clima, podem causar precipitação excessiva em uma área e insuficiência em outra.

Em regiões semiáridas, por exemplo, existe uma deficiência hídrica ocasionada pela associação de baixa pluviosidade e elevada evapotranspiração potencial. Áreas com coberturas florestais tendem a ter um aumento da umidade do ar, pois o vegetal retira umidade do solo, por meio das raízes e manda para

< figura 9

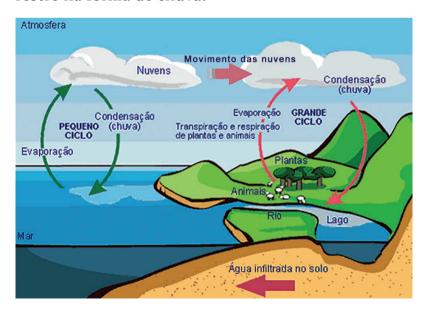
Ciclo da água. Fonte: Adaptado de Castro e Melo (2013, p. 45).

figura 10 >

Ciclo curto e longo da água. Fonte: https://www.10emtudo.com.br/_img/ upload/aula/ 1909 6.gif a troposfera, pela evapotranspiração. Outras, que têm barreiras naturais, como encostas de planalto ou morros elevados, quando uma massa de ar úmido a encontra, ela ganha altitude, podendo causar a queda de temperatura e a condensação do vapor, ocorrendo chuvas localmente.

Toda essa dinâmica do Ciclo da Água serve para mantê-la presente nas nossas vidas de forma constante e renovável para que o nosso planeta permaneça vivo. Esse Ciclo pode ser considerado em dois aspectos: **Ciclo Curto** e **Ciclo Longo** (figura 11).

O **Ciclo Curto** é aquele em que a água dos oceanos, lagoas, rios, geleiras e até mesmo do solo evapora, passando à forma gasosa. Nas camadas mais altas da atmosfera, o vapor d'água condensa-se e origina nuvens, a partir das quais retorna à crosta terrestre na forma de chuva.



O **Grande Ciclo** é aquele do qual participam os seres vivos. A água além de ser solvente e reagente de inúmeras reações químicas intracelulares, é uma das matérias primas da fotossíntese. Os seres vivos também perdem, continuamente água por transpiração, na respiração, na urina e nas fezes. Parte da água que as plantas e os animais absorvem é utilizada na síntese de outras substâncias, ficando incorporada nos tecidos animais e vegetais até sua morte, quando é devolvida ao ambiente pela ação dos decompositores.

Para descrever o sistema de transporte de águas entre os sistemas podemos começar por qualquer elemento, mas optou-se pelos oceanos por ser o maior detentor de água no planeta e, portanto, o local onde mais ocorre o maior volume de evaporação e a precipitação, como podemos observar na figura 12.

1 - Nos oceanos a água evapora 86% e nos continentes 14%, pela evaporação e transpiração. Desse total de umidade evaporada que se eleva dos oceanos, 66% juntamente com 12% da advecção (transmissão do calor pelo deslocamento de massa atmosférica no sentido horizontal) atmosférica do vapor da água dos continentes, produz 78% de toda a precipitação que retorna aos oceanos.

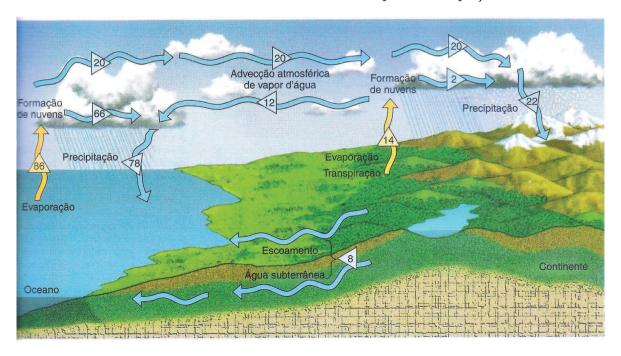
Com o calor do sol, a água evapora e sobe para a atmosfera. Estima-se que 1.000 km3 de água oceânica sejam transformados em vapor diariamente e, assim, ascendem à atmosfera. Este vapor contém calor. Mais cedo ou mais tarde, a ação do frio encontrado na altitude condensa esta água: nuvens se formam e ocorre a precipitação.

- 2 Os 20% remanescentes da água evaporada dos oceanos se integram a 2% de toda a umidade derivada dos continentes, totalizando 22% da precipitação nos continentes.
- 3 A precipitação quando atinge a superfície terrestre segue dois caminhos: **3A** ela escoa (escoamento) e **3B** infiltra (infiltração) por meio da interceptação, infiltração e percolação. Na interceptação a precipitação atinge a vegetação (escoa pelas folhas e pelo caule) e/ou diretamente para o solo e para a rocha. A infiltração é quando as gotas de água penetram na superfície do solo. A percolação é quando a água permeia o solo ou a rocha, pelo movimento descendente.

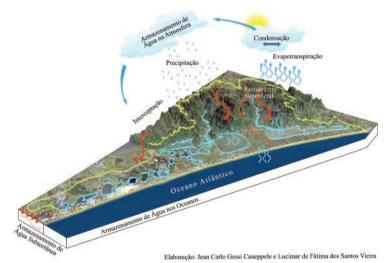
Cerca de 95% do escoamento vem das águas superficiais que fluem pelas superfícies dos continentes como o escoamento superficial e águas fluviais. Sendo que 5% do escoamento percola lentamente na subsuperfície como água subterrânea.

A água da precipitação que se infiltra e percola alimenta a água subterrânea: ela é acumulada no solo e pode emergir na rede de superfície na forma de fontes (nascente, olho d'água etc.), ressurgir ou alimentar os rios.

Além dos recursos de água do mundo serem renovados por um ciclo contínuo de evaporação, precipitação e escoamento, o Ciclo de Água também determina a distribuição e disponibilidade desses recursos no tempo e no espaço.



3.6. A CONTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS



A bacia hidrográfica tem se tornado uma referência para a gestão territorial e na de paisagem, ultrapassando barreiras políticas, tais como municípios, Estados e países. A bacia tem sido uma unidade de pesquisa, planejamento, gerenciamento, intervenção, manejo e desenvolvimento econômico, social e ecológico.

A bacia hidrográfica, também chamada de bacia fluvial ou de drenagem, é uma unidade espacial ou um conjunto de superfícies de vertentes, delimitado por um divisor de águas, formado por nascentes e

< figura 11

Ciclo Hidrológico.

Fonte: Robert W. Christopherson, 2012. p. 245.

figura 12 $^{\wedge}$

Diagrama da evaporação, condensação e precipitação. Fonte: Jean Carlo Jessi Caneppele e Lucimar F. S. Vieira. por rede de drenagem formada por cursos d'água que transportam sedimentos e materiais dissolvidos, até um leito único ou exutório (foz).

As águas na bacia hidrográfica do rio Tramandaí se movimentam, circulam e se transformam formando um ciclo de água regional, contínuo, dentro de um sistema global. Como é um ciclo, podemos explicar por qualquer etapa. Portanto, podemos explicar o Ciclo Hidrológico na bacia (figura 13) a partir da força da gravidade e pela energia solar que provocam a evaporação das águas do Oceano Atlântico e do continente. Quando o vapor d'água é resfriado até o seu ponto de orvalho, se condensa e forma pequenas gotas visíveis, constituindo as nuvens, as quais se avolumam e sob ação da gravidade essas gotículas precipitam na forma de granizo, chuva, orvalho, geada, neblina ou garoa.

Essa água que precipitou pode percorrer vários caminhos no sistema hídrico: infiltrar e percolar o subsolo, as fissuras nas rochas, para formar os aquíferos ou lençóis d'água, ressurgindo, depois, na superfície terrestre na forma de nascentes, fontes, banhados; ou ainda pode escoar pela superfície terrestre, contribuindo também para a formação e na dinâmica dos rios, lagunas e lagoas; outra possibilidade é que parte da água pode evaporar e retornar para a atmosfera; como também poder ser absorvida pelos vegetais, que liberam novamente pela transpiração. O importante é entendermos que toda essa água que evapora e mais tarde precipita, retorna aos mares de modo superficial, subsuperficial, aérea ou subterrânea.

PRINCIPAIS ETAPAS DO CICLO

A) EVAPOTRANSPIRAÇÃO (EVAPORAÇÃO + TRANSPIRAÇÃO)

A maior parte da quantidade de água das chuvas sobre a superfície terrestre retorna à atmosfera por evaporação e pela transpiração das plantas. Este processo de circulação da água entre a superfície terrestre e a atmosfera é impulsionado pela energia incidente recebida do sol, forças do vento e associado a gravidade terrestre. Portanto, **evapotranspiração (Figuras 14 e 15)** nada mais é que a soma destes dois fenômenos (EV = T+E).

EVAPORAÇÃO

As águas dos rios, dos córregos, das lagoas e do solo da bacia passam do estado líquido para o estado gasoso em razão da energia incidente recebida do sol. As águas dos reservatórios, das águas das chuvas e do orvalho também sofrem evaporação.

A água recebe calor solar e aquece até que atinge seu ponto de ebulição. Este calor age como calor latente de vaporização e converte a água do estado líquido para o gasoso. Este vapor d'água, se liberta do líquido e passa a compor a atmosfera, situando-se nas camadas mais próximas da superfície.

TRANSPIRAÇÃO

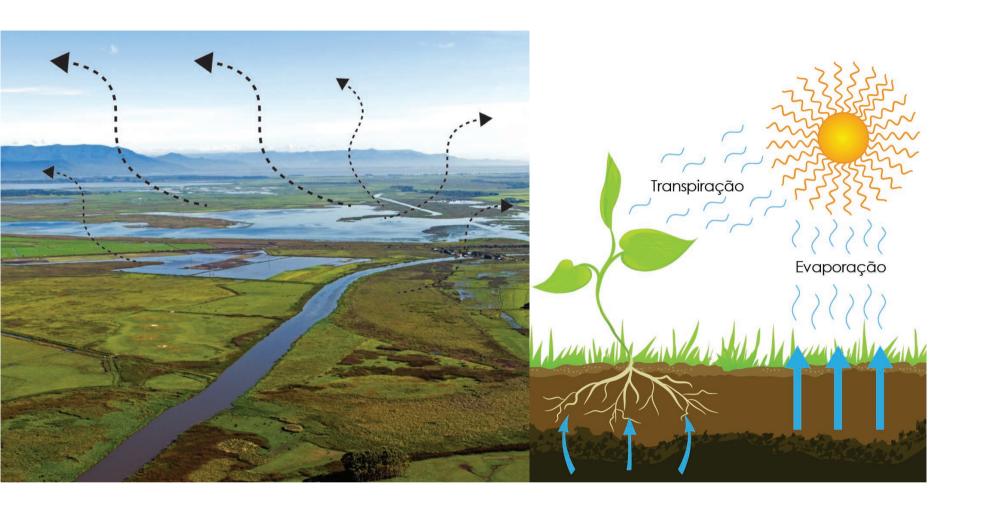
É a evaporação da água que foi utilizada nos processos biológicos metabólicos imprescindíveis ao crescimento e ao desenvolvimento dos vegetais. Esta água é liberada pelos estômatos presentes nas superfícies das folhas e caules, sob a forma de vapor.

Em solos com cobertura vegetal é praticamente impossível separar o vapor d'água proveniente da evaporação do solo daquele originado da transpiração das plantas.

Os estágios de crescimento da planta, os tipos de folha, a porcentagem de cobertura vegetal do solo, a radiação solar, a umidade, a temperatura, a pressão, a concentração de CO₂, o vento e a disponibilidade de água no solo são os fatores que influenciam nas taxas de evapotranspiração. As modificações no uso e cobertura da terra implicam em mudanças no fluxo do vapor de água para a atmosfera, alterando também o ciclo hidrológico.

Como exemplo, a evapotranspiração nas encostas da bacia com a Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica, *strictu sensu*) é maior do que nas planícies com cultivos, assim como nas áreas do topo do Planalto, com a Floresta Ombrófila Mista.

O desmatamento diminui a quantidade de água na bacia e consequentemente a redução do volume de chuvas. As queimadas e incêndios interferem nos mecanismos de formação de nuvens dificultando a ocorrência de chuvas.



Em estudos de monitoramento das taxas de evaporação nas estações de Maquiné, Imbé, Osório e Torres, situados dentro da bacia do Tramandaí, observou-se a variabilidade de valores maiores no verão em relação ao inverno, em função da temperatura.

r figura 13

Representação da evapotranspiração na bacia. Fonte: Adaptado de Castro e Rocha 2016, p. 102

^ figura 14

Ilustração da evapotranspiração. Fonte: https://www.mycoffeepot.org/howmuch-water-does-my-lawn-need.html

B) CONDENSAÇÃO

A condensação ocorre quando a água que está no estado gasoso (vapor de água) contido na atmosfera é transformada novamente em estado líquido. Este processo inicia com a formação das nuvens (figura 15) e dos nevoeiros (nuvens em contato com o solo) que ficam suspensos na atmosfera.

A condensação resulta do resfriamento do ar úmido (ar que contém o vapor de água), do aumento do vapor de água e do encontro de massas de ar de temperaturas menores.

As gotículas das nuvens ficam sujeitas a força gravitacional, ao empuxo e ação das correntes ascendentes de ar. Quando a força gravitacional predomina, as gotículas descendem na atmosfera dando origem à precipitação (TUBELIS; NASCIMENTO, 1984).



< figura 15

Planície costeira interna. Foz do Rio Maquiné na Lagoa dos Quadros (2011). Fonte: CASTRO e MELLO 2013, p. 44.

figura 16 >

Orvalho nas plantas. Fotografia de Luciane Magalhães Braz

C) PRECIPITAÇÃO

A precipitação ocorre quando o vapor de água (estado gasoso) na atmosfera retorna à superfície do planeta, no estado líquido ou sólido.

As formas de precipitação (quadro 2) na bacia podem ser: orvalho (figura 16), geada, garoa, neblina, chuva e granizo.

A quantidade de chuva que cai num determinado local e num determinado tempo, é medida pelo pluviômetro e registrada pelo pluviógrafo.

Embora a umidade atmosférica seja o elemento indispensável para a ocorrência da precipitação, ela não responde sozinha por sua formação, que está intimamente ligada a ascensão das massas de ar.

Quando ocorre esse movimento vertical o ar é transportado para níveis mais altos, seja por convecção, pelo relevo ou ação frontal das massas.

Há uma expansão devido a diminuição da pressão e com a temperatura reduzida, devido a energia térmica ter sido utilizada em seu processo de expansão. Com o resfriamento, a massa de ar pode atingir seu ponto de saturação com a consequente condensação do vapor em gotículas (nuvens); sua precipitação dependerá da formação de núcleo higroscópicos para que atinjam peso suficiente para vencer as forças de sustentação.

A precipitação é caracterizada por sua duração (entre o início e o término) e por sua intensidade (quantidade de água precipitada pelo tempo (geralmente mm/h).

O ar está cheio de partículas minúsculas em suspensão, como por exemplo: sulfato de cálcio e de sódio, cloreto de sódio, hidrocarbonetos, fosfatos, carbonatos, óxidos de enxofre, fibras têxteis, células epidérmicas, grãos de pólen, argila, bactérias, vírus, amoníaco, poeira, fumaça, etc. Estas partículas favorecem a condensação e estimulam a formação de gotas de água ao seu redor. E são denominadas de **núcleos de condensação** ou **núcleos higroscópicos**.

As **partículas de sal** existentes nos oceanos também são núcleos higroscópicos, fazendo com que a condensação ocorra antes que a umidade relativa do ar alcance 100% (MACHADO; TORRES, 2012).



Orvalho	Ocorre quando o vapor da água presente na atmosfera passa para o estado líquido. Ocorre a condensação em superfícies, especialmente na vegetação; Precipitação de 0,1 a 1,0mm por noite com aporte de água pequeno.
Geada	Ocorre quando o vapor da água presente na atmosfera (fase gasosa) passa para a forma de gelo (fase sólida) sobre a vegetação e sobre os objetos que se encontram no solo. Processo denominado de sublimação. Existem formas diferentes de se classificar as geadas, seja a partir do que as formam (de advecção, de radiação e mista), ou dos resultados visíveis da sua formação (branca ou negra).
Gota de Neblina	Depositada na vegetação e outras superfícies. O aporte de água pode ser significativo em climas com muito nevoeiro.
Garoa (névoa)	Gotas de água, numerosas e uniformes. Precipitação leve: 0,3mm/h; moderada: 0,3-0,5mm/h; densa: maior que 0,5mm/h; chuva: acima de 1,0mm/h.
Granizo	Aglomerados irregulares e/ou esféricos de gelo com mais de 5mm de diâmetro. Gerado por nuvens convectivas, quase sempre <i>Cumulonimbus</i> .
Chuva	Gotas de água maiores que 5 mm de diâmetro ou gotas amplamente distribuídas podem ser menores. Precipitação leve: menor que 0,25cm/h; moderada: 0,26 – 0,76cm/h; pesada: maior que 0,76cm/h.
Flocos de Neve*	Aglomerados de cristais de gelo ou um cristal simples que cai das nuvens; um aglomerado pode exceder a 6 cm de diâmetro. *Neve poderá ocorrer apenas nas nascentes no município de São Francisco de Paula.
Grãos de Neve (água-neve)	Grãos pequenos de gelo, achatados, opacos, planos e pequenos.
Pelotas de Neve (granizo macio)	Pelotas opacas de gelo, aproximadamente arredondadas, com 2 a 5 mm de diâmetro que caem em chuvaradas; normalmente antes ou ao mesmo tempo que a neve.
Pelotas de Gelo	Gelo transparente, encapsulando um floco aglomerado de cristais de neve; pelotas transparentes de gelo com mais ou menos de 5mm de diâmetro.

A **chuva** é a precipitação de partículas de água líquida sob a forma de gotas de diâmetro superior a 0,5mm. Quando for menor que 0,5mm é denominado de **chuvisco** (precipitação bastante uniforme, composta por finas gotas de água bem próximas umas das outras, com precipitação líquida inferior a 1mm/hora, ao qual provém de nuvem estratiformes, cuja espessura não excede algumas centenas de metros). O granizo é um fenômeno de escala local e se precipita em coluna, dentro de nuvens Cumulosnimbus. É a precipitação de pequenas bolas de gelo. Ocorre quando a solidificação é muito rápida, ou seja, ocorre a passagem da água do estado gasoso diretamente para o estado sólido (sublimação), ou quando se produz em um meio com gotas super-resfriadas com resfriamento muito rápido (abaixo de -12°Celsius até -40°Celsius) (Machado; Torres, 2012, p. 90).

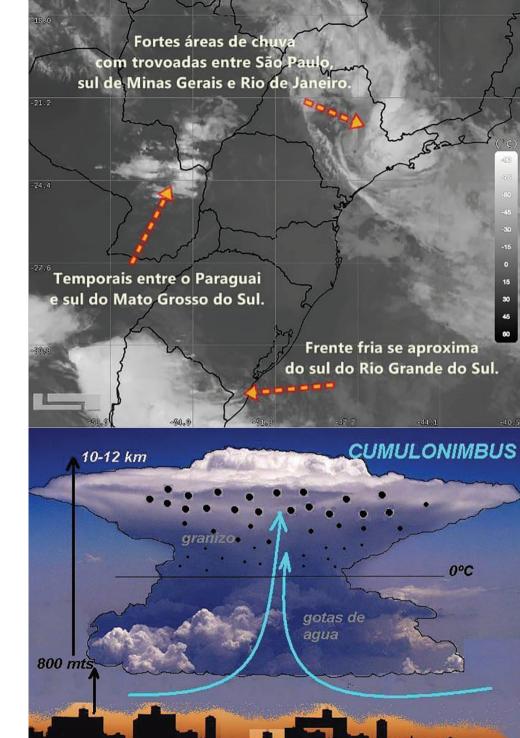
Os tipos de chuvas que ocorrem na bacia são as Orográficas, as Frontais e as Convectivas.

figura 17 >

Fonte: https://paranaportal.uol.com.br/cidades/instituto-alerta-para-a-formacao-de-tempestades-e-granizo-nesta-terca-feira/

figura 18 >

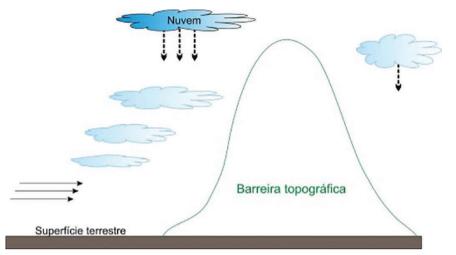
Fonte: http://geocuriosos.blogspot.com/2012/06/granizo.html



As **chuvas orográficas** (chuvas orogênicas ou de relevo) se originam quando uma massa de ar úmido se desloca e ao encontrar uma barreira topográfica (serra, encosta, escarpas ou morro) é forçada a elevar-se, ocorrendo assim, a queda de temperatura e em seguida ocorre a condensação do vapor d'água e como consequência, a formação das nuvens, como podemos observar nas figuras 19, 20, 21 e 22.

As vertentes (encostas) voltadas para o vento (barlavento) ficam cobertas de nuvens das quais cai a chuva. Do outro lado da encosta (sotavento) o ar é seco e frio (geralmente).







^ figura 19

Chuva orográfica. Fonte: https://www.infoescola.com/meteorologia/ tipos-de-chuvas/

^ figura 21

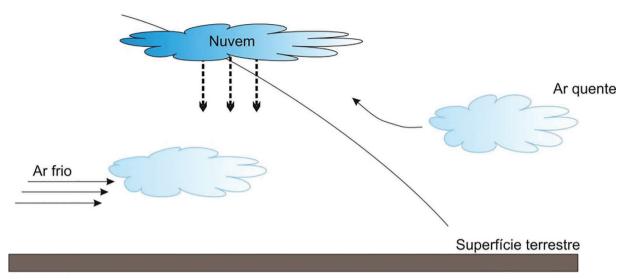
Ilustração da chuva orográfica. Fonte: Adaptado de Castro e Melo 2013, p. 35

< figura 20 e 22

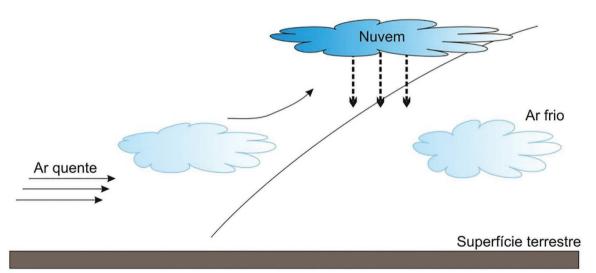
Chuva orográfica.

As chuvas ciclônicas ou frontais (figura 23) ocorrem quando massas de ar frio se encontram com massas de ar quente. São caracterizadas por serem contínuas, por vários dias e de intensidade baixa a moderada. Ocorrem geralmente no inverno.

Machado & Torres (2012) explicam que com o lento resfriamento do ar, ocorre a saturação e posterior condensação do vapor de água, e portanto, as chuvas frontais.



Frente fria

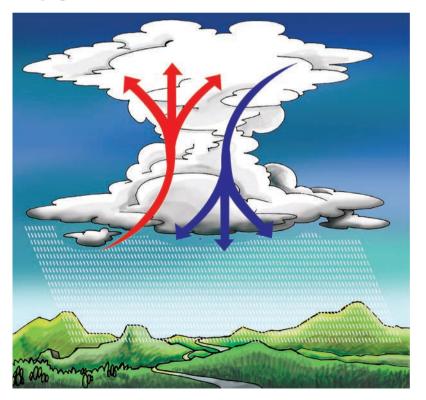


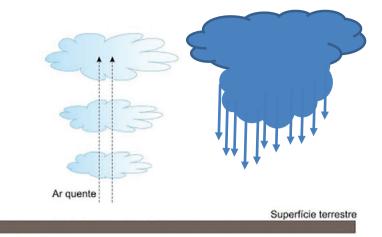
Frente quente

figura 23 >

Ilustração das chuvas ciclônicas ou frontais. Fonte: https://www.infoescola.com/meteorologia/ tipos-de-chuvas As **chuvas convectivas** (figuras 24 e 25) são originadas a partir de nuvens do tipo grandes Cúmulos ou Cumulonimbus e ocorrem quando as massas de ar úmidas e quentes sobem e se condensam. São de curta duração e de alta intensidade em pequenas áreas.

De acordo com Machado & Torres (2012, p. 92) nas áreas tropicais, estas chuvas são comuns no verão, à tarde ou no início da noite, quando a temperatura máxima do dia foi atingida, quando "despencam como um forte aguaceiro". São acompanhadas de relâmpagos, raios e trovões.





Frente quente

^ figura 24

Chuvas convectivas. Fonte: https://www.infoescola.com/ meteorologia/tipos-de-chuvas

< figura 25

Chuvas convectivas. Fonte: Robert W. Christopherson, 2012. p 178

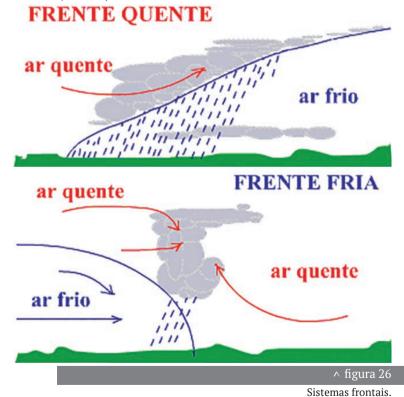
As **massas de ar** podem ser definidas como células de ar com temperatura uniforme e umidade relativa, de milhares de quilômetros de diâmetro situadas na troposfera. A região onde uma massa de ar adquire as suas propriedades e características de temperatura e umidade é chamada de região de origem. As áreas mais comuns de origens são as grandes massas líquidas, regiões geladas, polares, e as grandes extensões continentais.

A Massa Polar Atlântica (mPa) origina -se na zona subantártica (NIMER,1966) e caracteriza-se por ser um sistema de alta pressão e geradora de estabilidade atmosférica, exceto na zona frontal. No verão, sua participação é pouco frequente na bacia. É no inverno que ela avança até o litoral do Rio Grande do Sul, associando-se com a Massa Tropical Atlântica (mTa) (gênese no oceano Atlântico) que atua em grandes extensões do litoral brasileiro. O encontro dessas massas de ar com propriedades distintas, composto classicamente por uma frente fria e uma frente quente, forma o **sistema frontal** (figura 26), muito comum na região da bacia do Tramandaí. E são estes sistemas frontais são os responsáveis pela maior parte das precipitações na bacia hidrográfica do rio Tramandaí, associados ao relevo abrupto da região (encosta do planalto) que levam também a ocorrência de chuvas orográficas, o que aumenta em muito a umidade (ROSSATO, 2011).

FRENTE FRIA > A extremidade principal de uma massa de ar fria que avança deslocando o ar quente de seu caminho. Geralmente, com a passagem de uma frente fria, a temperatura e a umidade diminuem, a pressão sobe e o vento muda de direção. Precipitação geralmente antecede ou sucede a frente fria e, de forma muito rápida, uma linha de tormenta pode antecipar a frente.

MASSA POLAR > Massa de ar que tem sua origem na região polar. Provoca queda de temperatura em quase todas as regiões do País e geadas nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, durante o inverno.

FRENTE QUENTE > Extremidade principal de uma massa de ar quente que, ao avançar, substitui uma massa de ar relativamente fria que está indo embora. Geralmente, com a passagem de uma frente quente, a temperatura e a umidade aumentam, a pressão atmosférica sobe e, embora os ventos troquem de direção, a passagem de uma frente quente não é tão pronunciada quanto a passagem de uma frente fria. Precipitação em forma de chuva ou garoa, geralmente antecedem a frente na superfície, assim como chuvas convectivas e temporais.



Fonte: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Frente quente.gif

Fonte: http://www.inmet.gov.br

< definições

D) INTERCEPÇÃO OU RETENÇÃO SUPERFICIAL

Uma porção significativa da precipitação evapora e não atinge a superfície terrestre porque ela fica retida na copa da vegetação ou outra forma de obstrução ao escoamento. O volume retido é perdido por evaporação, retornando à atmosfera.

Exemplos onde ocorre a interceptação são nas encostas e nas áreas de topo do planalto, com a presença da Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Mista, preservadas.

A interceptação vegetal (figura 27) depende da intensidade e do volume da precipitação, além do tipo

de densidade da vegetação (principalmente o tipo da superfície da folha) e do período do ano.

Quanto mais densa for a vegetação, maior será sua importância no processo de interceptação, protegendo assim o solo e diminuindo os problemas de erosão e transporte de sedimentos.

A presença da vegetação além de ser importante para o processo de interceptação, exerce papel importantíssimo na regulação de fluxo de água, controla o escoamento superficial, diminui a erosão, diminui a perda de solos, diminui o assoreamento (transporte de sedimentos para dentro dos cursos de água), além de proporcionar a recarga dos aquíferos.



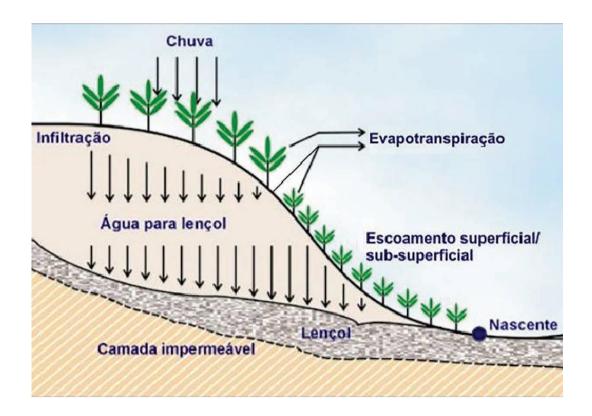
Interceptação ou Retenção superficial. Fonte: Adaptado de Castro e Rocha 2016. p. 55



E) INFILTRAÇÃO

A infiltração ocorre quando a água penetra nas camadas dos solos, sob a ação da gravidade, escoando pelos poros (canalículos) e pelas fissuras das rochas.

Nos solos com compactação (onde ocorre o tráfego constante de pessoas, animais e veículos) são praticamente impermeáveis a infiltração da água. Por outro lado, a permeabilidade é facilitada por "escavações feitas por animais e insetos, pela decomposição das raízes dos vegetais, ações da geada e do sol, aradura e cultivo da terra" (MACHADO; TORRES, 2012, p. 121).



Machado e Torres (2012) citam que os fatores que influenciam a infiltração da água nos solos são desmatamento, alteração das rochas superficiais, umidade do solo, estágio de desenvolvimento dos vegetais, atividade dos animais, temperatura, características do subsolo, do relevo do terreno e as variações no decorrer da própria precipitação. Exemplificam que nos meses mais frios diminuem as taxas de infiltração, em comparação com os meses mais quentes.

Quando cessa a infiltração no solo (figura 28), parte da água propaga-se para as camadas mais profundas e parte é transferida para a atmosfera por evaporação direta ou por transpiração dos vegetais, fazendo com que o solo recupere a sua aptidão de infiltração.

< figura 28

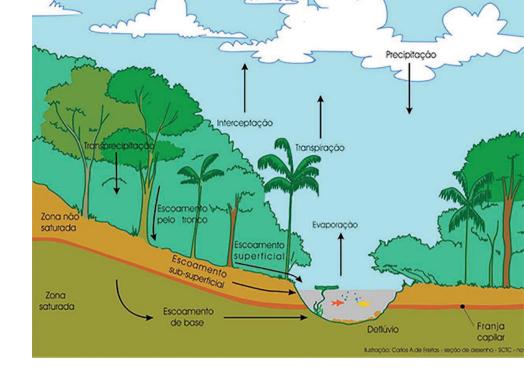
Infiltração Fonte: Fonte: http://geoconceicao.blogspot. com/2014/05/agua-grande-questao-emdebate.html

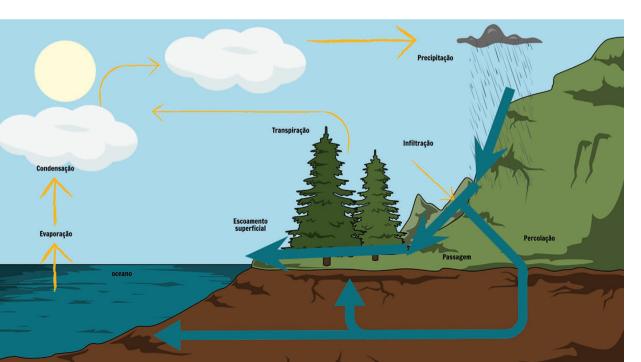
F) ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial (figura 29) refere-se à ocorrência de precipitações com a movimentação da água em solos saturados de umidade, escoando pela sua superfície, formando as enxurradas ou torrentes, córregos, ribeirões, rios, arroios e lagos ou reservatórios de acumulação.

Também existem outros tipos de escoamentos: o escoamento subsuperficial (hipodérmico), definido quando o fluxo se dá nas raízes da cobertura vegetal; o escoamento subterrâneo é o fluxo que contribui para o aquífero (figura 30).

O escoamento superficial "forma uma película laminar que aumenta de espessura à medida em que a





< figura 29

Escoamento superficial.
Fonte: https://www.storyboardthat.com/pt/
storyboards/pt-examples/o-diagrama-dociclo-da-agua

∧ figura 30

Escoamento superficial e subsuperficial. Ilustração da pesquisa realizada por Maurício Ranzini. Fonte: https://www. infraestruturameioambiente.sp.gov.br precipitação prossegue até atingir um estado de equilíbrio" (MACHADO; TORRES, 2012, p. 141).

Os fatores que influenciam no escoamento superficial são climáticos (intensidade, a duração da precipitação e se houve anteriormente, outra precipitação) e fisiográficos (área, forma, permeabilidade, capacidade de infiltração e a topografia da bacia).

No sistema do Ciclo Hidrológico da bacia do Tramandaí, precipitação e temperatura são primordiais para entendermos o fluxo de entrada e saída de água. Esses dois fatores são muito importantes para outras fases do movimento das águas, tal como a evaporação e evapotranspiração. No entanto, as características ambientais da área da bacia também devem ser levadas em consideração, como a declividade do terreno, a cobertura e uso da terra. Nas encostas da bacia, por exemplo, a evapotranspiração na Floresta Ombrófila Densa preservada é maior do que nas planícies com cultivos ou dunas, assim como nas áreas do topo do Planalto, com a Floresta Ombrófila Mista e os campos de altitude.

O desmatamento diminui a quantidade de água na bacia (interfere na evapotranspiração, escoamento e infiltração) e consequentemente a redução do volume de chuvas. As queimadas e incêndios interferem nos mecanismos de formação de nuvens dificultando a ocorrência de chuvas.

3.7. CONSEGUIMOS SABER O QUE VAI ACONTECER COM O TEMPO METEOROLÓGICO "LENDO" AS NU-VENS?

Sim, conseguimos, pois as nuvens são indicadores das condições gerais do tempo meteorológico. Elas se formam à medida que o ar se torna saturado com água.

Christopherson (2012, p. 191) explica que a nuvem é uma "agregação de minúsculas gotículas de umidade e de cristais de gelo que estão suspensos no ar, com volume e concentração suficientes para serem visíveis".

O autor cita também, que no "início, as nuvens são uma grande massa de gotículas de umidade, invisíveis a sua ampliação". À medida que a parcela de ar sobe, ela pode resfriar até a temperatura de ponto de orvalho e 100% de umidade relativa. Quanto mais ascensão da parcela de ar, mais ela se resfria produzindo a condensação de vapor de água. Para ocorrer a condensação é preciso ter núcleos de condensação de nuvem, ou seja, partículas microscópicas que sempre estão presentes na atmosfera.

A condensação ocorre quando temos o ar saturado, a disponibilidade de núcleos de condensação de nuvem e a presença de mecanismos de resfriamento (ascensão na atmosfera).

Alguns exemplos de núcleos de condensação de nuvem: fuligem, aerossóis de sulfato, pó comum, cinza de vulcões e de florestas queimadas, partículas da queima de combustível, sais marinhos, etc.

ALGUMAS NUVENS ENCONTRADAS NA BACIA DO RIO TRAMANDAÍ

O primeiro pesquisador a estabelecer uma classificação para as nuvens, foi o biólogo Lucke Howard. Elas são classificadas de acordo com as suas formas (planas, flocos ou filamentosas) e a altitude (baixas, médias, altas e com desenvolvimento vertical), como podemos observar no quadro 3 (CHRISTOPHERSON, Robert W., 2012, adaptado pelas autoras).

Classe	Altitude/Composição em Altitudes Médias	Tipo	Símbolo	Descrição
Nuvens baixas (C _L)	Água	Stratus (St)	1	Camada nebulosa, cinzenta, de base uniforme e bem definida; como nevoeiro alto; são constituídas por gotículas de água e quando espessas, podem conter gotículas de chuvisco; podem ser tênues, que permitem distinguir, nitidamente o contorno do Sol e da Lua; a precipitação ocorre na forma de chuvisco; podem se formar perto do solo, produzindo restrição da visibilidade horizontal semelhante a um nevoeiro denso.
		Stratuscumulus (Sc)	-	Camada de nuvens cinzentas ou esbranquiçadas; geralmente com porções escuras; constituídas por massas em mosaico, glóbulos ou rolos; aspecto não fibroso; mantém o céu cinza nublado, com chuvas fracas e contínuas; massas globulares em linhas; grupos ou ondas; rolos pesados; padrões nublado irregulares; são formadas quando há uma forte circulação marítima (ventos vindos do Oceano ou de sudeste/leste).
		Cumulus (Cu)**		
Nuvens médias (C _M)	Água e gelo	Altostratus (As)	_	Camada de nuvens acinzentadas ou brancas azuladas; aspecto estriado, fibroso e uniforme; cobrem parcialmente ou inteiramente o céu; deixam passar os raios solares, pelo menos vagamente (aspecto de vidro fosco); as condições do tempo são associadas as frentes de tempestades com chuvas.
		Altocumulus (Ac)	٨	Camada de nuvens lenticulares, brancas ou acinzenta- das, ou ambas; dispostas em linhas ou em grupos; as- pectos de glóbulos ou rolos, fribrosos; permitem que a luz do Sol passe; raramente produzem chuvas.

		Nimbustratus** (Ns)		
Nuvens altas (C _H)	6000m a 13000m Gelo	Cirrus (Ci)	_	Nuvens isoladas; cor branca; formato de filamentos delicados ou faixas estreitas; aspecto fibroso como fio de cabelo ou "rabo de galo"; constituído por cristais de gelo; aparecem antes de uma frente fria chegar; indica tempo estável com aproximação de áreas de instabilidade.
		Cirrustratus (Cs)		Massas de nuvens, como véus transparentes e esbranquiçados; aspecto fibroso como cabelos lisos; cobrindo totalmente ou imparcialmente o céu; produzem os halos solares e lunares; indicam que a precipitação pode ocorrer em um prazo de 12h a 24h; precipitação; indicadora de tempo bom até as próximas 12hs.
		Cirruscumulus (Cc)	2	Nuvens delgadas compostas de elementos pequenos em forma de grânulos e rugas; com uma textura de efeito ondulado, com a aparência de escamas de peixes; cria um 'céu escamado"; formadas por cristais de gelo; indicadores de tempo estável com aproximação de áreas de instabilidade; as nuvens confundem-se com as Altocumulus, mas distinguem-se destas porque possuem uma massa individual menor e não possuem sombras, evidenciando que estão em altitudes muito elevadas.
Nuvens com desen- volvimento vertical	Próximo à superfície até 13.000m Água abaixo e gelo acima	Cúmulus (Cu)		Nuvens isoladas; contornos nítidos; base geralmente cinza e o topo branco e brilhante; desenvolvem-se verticalmente em forma de torres, como um amontoado de algodão ou de uma couve-flor; as porções mais altas são constituídas por gotículas de água e cristais de gelo, onde a temperatura é inferior a 0° C; Cumulus bem desenvolvidos produzem pancadas de chuvas ou "aguaceiros"; Cumulus pequenos, que parecem flocos de algodão, são indicativos de tempo bom.
		Nimbustratus (Ns)		Nuvens com aspecto amorfo; as bases são baixas e difusas; muito espessa; cor escura ou acinzentada; produz chuva intermitente e mais ou menos intensa; geralmente ocultam o Sol.

- Altitudes altas com aspecto tênue e fibroso: prefixo Cirrus (cachos de cabelo ou rabos de cavalo);
 - Altitudes médias: prefixo Alto;
 - Com extensão horizontal: prefixo Stratus (camada);
 - Com extensão vertical: Cumulus (pilhas);
 - Produzem precipitação: Nimbus (tempestuoso).

Fontes (ordem horária):
http://geofisica.fc.ul.pt/informacoes/curiosidades/nuvens.htm
https://twitter.com/metsul/
Diego Rhamon http://tempojoaopessoa.jimdo.com/nuvens/
cirrostratus
http://geofisica.fc.ul.pt/informacoes/curiosidades/nuvens.htm







altitudes, onde essas partículas são mais abundantes.

< fotos >

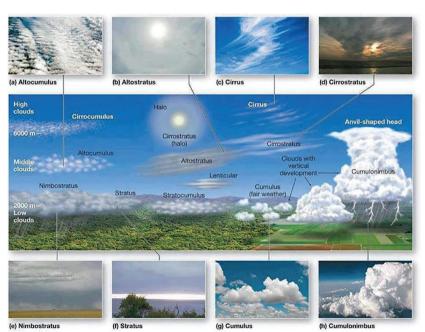
Fonte: Fotografias de Dilton de Castro, Projeto Taramandahy (2018).

figura 31 V

Fonte: http://sobrevoar.com.br/wp-content/uploads/2018/09/nuvens-1-e1543795803930.jpg

NEVOEIRO OU NUVENS?

Internacionalmente, nevoeiro é uma camada de nuvens no solo, com visibilidade restrita a menos de 1km, pois significa que a temperatura do ar e a temperatura do ponto de orvalho no nível do solo são praticamente idênticas, indicando condições saturadas.





Para o planejamento territorial e ambiental é importante sabermos a forma da bacia. Uma bacia arredondada permite que as águas da enxurrada e de chuvas fortes se concentrem mais na sua saída (exutório, foz). Bacias pequenas, menores que 500 km², com precipitações convectivas de alta intensidade, de pequena duração podem provocar grandes enchentes. Nas bacias maiores, ocorrem na presença de chuvas frontais. Outros fatores importantes que devem ser considerados sobre o major ou menor escoamento superficial são a cobertura vegetal, a permeabilidade do solo, obras hidráulicas construídas na bacia (como barragens e retificação de canais), o relevo (quanto maior a declividade, menor será a taxa de infiltração e maior será o escoamento superficial (MACHADO; TORRES, 2012).

3.8. RIOS VOADORES

Você sabia que uma boa parte das chuvas que precipitam no sul do país vem da Floresta Amazônica? Você já ouviu falar nos chamados Rios Voadores?

Pode até parecer estranho, mas Rios Voadores são uma massa de vapor de água, com três quilômetros de altura, algumas centenas de quilômetros de largura e milhares de extensão, como se fosse um grande rio,



que atravessa os céus do Brasil e ninguém o vê. Ele nasce sob o oceano Atlântico próximo à linha do Equador, ganha corpo sobre a Floresta Amazônica e segue para oeste até os Andes, onde encontra com essa muralha rochosa que o faz desviar para o sul (figura 32). Dali esse imenso volume de água flutua sobre a Bolívia, o Paraguai e os estados brasileiros de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo. Às vezes, alcança Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul antes de retornar para o oceano (ZORZETTO, 2009).

Apesar de invisíveis, os Rios Voadores afetam diretamente a nossa vida aqui na Bacia do Tramandaí, pois essa grande massa aérea de água é responsável por parte das chuvas que ocorrem pelo Brasil. Isso porque boa parte do vapor que forma esse rio invisível vem da própria floresta. É que, ao passar sobre a maior floresta tropical do planeta, impulsionada pelos ventos que sopram no sentido leste a oeste, ele incorpora a água que evapora diretamente do solo e também aquela retirada pelas

< figura 32

https://envolverde.cartacapital.com.br/wp-content/ uploads/rios-voadores-especia.png plantas da terra e lançadas na forma de vapor na atmosfera. É uma parte da água da Amazônia que chega ao sul do país e possivelmente vira chuva.

Marengo e Souza Junior (2018) apontam que estudos científicos realizados no Brasil, com colaboração internacional desde a década de 1980, mostram que a Floresta Amazônica desempenha um papel muito importante no sistema climático, contribuindo para direcionar a circulação atmosférica nos trópicos ao absorver energia e reciclar aproximadamente metade das chuvas que precipitam na região.



figura 33 >

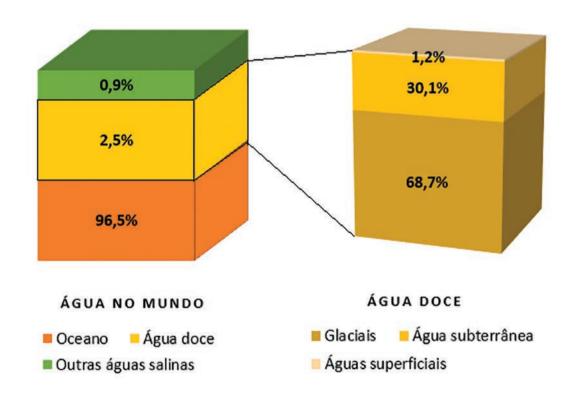
A contribição das chuvas da Floresta Amazônica na formação dos Rios Voadores.

Fonte: Luis, 2014.

3.9. A CONTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

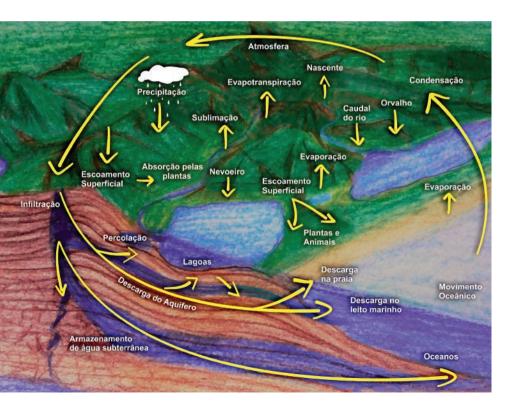
Você vê a água ao seu redor todos os dias sob a forma de lagoas, rios, chuva e até neve. Entretanto, há grandes quantidades de água que não são vistas - a água existente no solo e que é chamada de **ÁGUA SUBTER-RÂNEA**. E embora não percebamos, ela está se movendo abaixo dos nossos pés agora. A todo instante. Como parte do ciclo da água, a água subterrânea é um dos principais contribuintes para a formação das nascentes, assim como para o fluxo de córregos e rios. E essa contribuição tem forte influência nos habitats hídricos e terras úmidas tanto para plantas, quanto para animais.

Embora a maior parte da água do mundo seja salgada, boa parte da água que é realmente doce está reservada no subsolo sob a forma de água subterrânea, respondendo por aproximadamente 30,1% (gráfico 2) e que vai contribuir para sustentar a vida humana, vegetal e animal.



O homem usa a água subterrânea há milhares de anos, principalmente como fonte potável para abastecimento e, expressivamente, na irrigação de culturas dos mais variados tipos. E a vida na Terra depende tanto das águas subterrâneas quanto das águas superficiais.

Embora saibamos dessa parcela oriunda do subterrâneo, ainda é difícil compreender o ciclo das águas no que diz respeito àquelas reservadas sob o solo. O esquema do ciclo hidrológico em suas últimas atualizações esclarece as conexões e interações do manancial subterrâneo e superficial (figura 34).



E como você visualiza a água no subsolo?

Algumas pessoas acreditam que a água subterrânea se acumula em grandes bolsões ou lagos subterrâneos ou flui em rios subterrâneos. Na verdade, a água subterrânea é simplesmente a água que percola e satura o solo, se distribuindo e ocupando completamente os espaços entre os grânulos por meio dos poros, fraturas e cavidades dos solos e rochas, conforme ilustrado pela figura 35.

Esta água alcança o subsolo e forma a água subterrânea pelo processo de **RECARGA DE ÁGUA SUBTERRÂNEA** (RAS), que é a infiltração de águas



< gráfico 2

Distribuição da água no mundo com destaque para a composição da água, subdividida em glaciais, água superficial e subterrânea.

Fonte: adaptado de Shiklomanov (1993).

< figura 34

Esquema do ciclo hidrológico evidenciando as conexões e interações do compartimento superficial com o compartimento subterrâneo Fonte: Pierozan, 2019.

^ figura 35

A água subterrânea ocorre nas aberturas de A. poros em regiões arenosas; B. Fraturas no granito e C. Cavidades no calcário, formados ao mesmo tempo ou após a formação da rocha (USGS, 2019).

do compartimento superficial, sob a forma de chuvas, escoamento, infiltração de lagoas e rios, até o compartimento subterrâneo. Este acúmulo de águas forma os aquíferos, que são enormes depósitos de água capazes de fornecer água suficiente para suprir os mais variados usos. O abastecimento de um aquífero se dá naturalmente por infiltração e, dependendo do clima e geologia locais, esta é distribuída de forma desigual tanto em quantidade, como em qualidade.

Quando a chuva cai ou a neve derrete, partes dessa água evaporam, algumas são transpiradas pelas plantas, algumas fluem por terra e se acumulam nos córregos, e algumas se infiltram. A primeira água que entra no solo substitui a água que foi evaporada ou usada pelas plantas durante um período seco anterior.

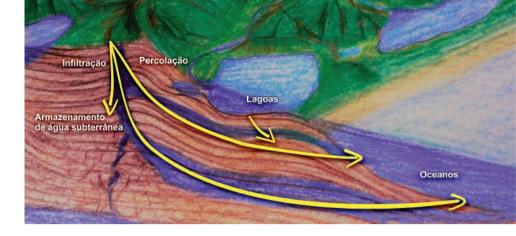
A infiltração ocorre através de zonas porosas, cavidades ou fraturas (USGS, 2003), como os campos de dunas e regiões não isoladas pela pavimentação.

Uma vez no solo, por causa da gravidade, grande parte dela continua afundando terra adentro. Se a água encontra o lençol freático (abaixo do qual o solo está saturado), ele pode se mover tanto na vertical quanto na horizontal, como ilustrado pelo esquema da figura 36.

Entre a superfície da terra e o aquífero, a água ocupa uma zona conhecida como zona insaturada ou não saturada. Nesta zona insaturada, geralmente há

figura 36 ¹

Esquema detalhado da recarga de água subterrânea no contexto do ciclo de águas aplicável a todas as regiões. Fonte: Pierozan, 2019.



pelo menos um pouco de água, principalmente em aberturas menores do solo e da rocha, enquanto as aberturas maiores geralmente são preenchidas por ar em vez de água.

Embora muito desta água subsuperficial possa estar presente na zona não saturada, este volume não pode ser bombeado por poços porque é retida pelas forças capilares que a mantém. A parte superior da zona não saturada é a zona onde a água é mantida ali por atração molecular e não fluirá para baixo, garantindo a umidade desta fração do solo mais superficial. Esta zona do solo é entrecruzada por raízes, aberturas deixadas por raízes em decomposição e por tocas de animais e invertebrados, que permitem que a precipitação se infiltre no solo.

A água no solo é usada pelas plantas nas funções da vida e na transpiração foliar, mas também pode evaporar diretamente para a atmosfera. Trata-se de uma área bastante dinâmica sendo que depois de uma chuva significativa, esta zona pode estar quase saturada de água, do mesmo modo, após um longo período de seca, poderá estar quase seca.

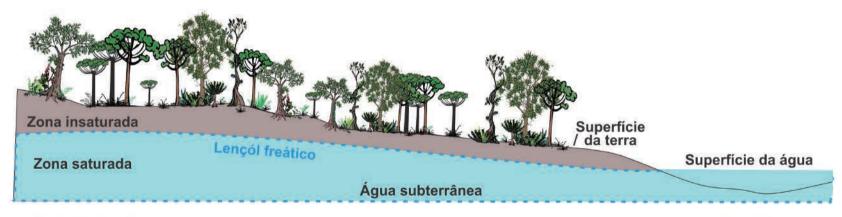
Abaixo dessa camada está a zona saturada, onde todos os poros, rachaduras e espaços entre as partículas da rocha estão saturados de água. O topo da superfície onde ocorre a água subterrânea é chamado de lençol freático. No diagrama da figura 37 você pode observar como o solo abaixo do lençol d'água está saturado com água (a zona saturada).

O reabastecimento natural de aquíferos profundos é um processo lento porque a água subterrânea se move lentamente através das zonas não saturada e saturada, além de estar condicionado a muitos fatores geológicos, meteorológicos, topográficos e humanos que vão determinar a extensão e a taxa de recarga desse aquífero. Ainda, as rochas têm diferentes características de porosidade e permeabilidade, o que significa que a água não se move da mesma maneira em todas as rochas, variando desta forma, para todo o mundo.

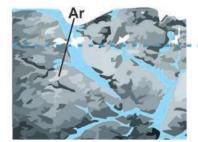
∨figura 37

Esquema da distribuição da água em subsuperfície, onde o limite das zonas saturada e insaturada é indicado pela linha pontilhada, reconhecido como lençol freático. Detalhe da distribuição para rochas fraturadas e cascalho.

Fonte: adaptado de USGS (2019).



Rocha fraturada

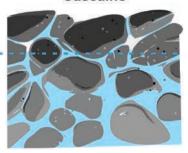


Água (não subterrânea) presa por atração molecular no entorno da superfície das partículas de rocha.

Nível aproximado do lençól freático

Todas as aberturas abaixo do nível do lençól freático preenchidas de água subterrânea.

Cascalho

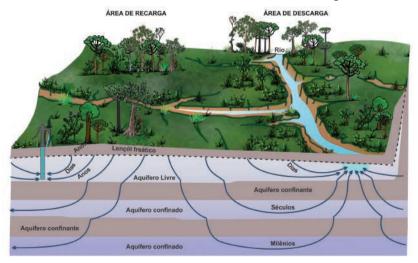


Essa taxa de recarga é um fator relevante na hidrodinâmica já que em muitos casos, se esvaziado, um aquífero levaria alguns séculos para ser reabastecido. Em contraste, aquíferos rasos em áreas de precipitação substancial, como na planície costeira gaúcha, podem ser reabastecidos quase imediatamente.

A água que se desloca para baixo no processo de recarga também pode encontrar rochas e solos não porosos mais densos e resistentes à água, o que faz com que a água subterrânea flua de uma forma mais horizontal, geralmente em direção a ribeiros ou ao oceano, sendo de forma geral, a resultante no sentido continente para o mar.

O diagrama da figura 6 mostra a movimentação das águas subterrâneas onde a direção e a velocidade do movimento são determinadas pelas várias características de cada aquífero e das camadas confinantes no solo.

Estas camadas confinantes acabam por isolar



Uma nascente é o resultado de um aquífero cheio até o ponto em que a água transborda para a superfície da terra. Eles variam em tamanho, desde aqueles de vazamentos intermitentes, que fluem apenas depois de muita chuva, até aquelas enormes piscinas que fluem centenas de milhões de litros ao dia.

aquíferos e normalmente são formadas majoritariamente por silte e argila, partículas finas que dificultam ou restringem completamente a passagem da água.

A mobilidade da água abaixo do solo depende da permeabilidade (quão fácil ou difícil é a água se mover) e da porosidade (a quantidade de espaço aberto no material) do solo e da rocha.

Se a rocha tem características que permitem que a água se mova de forma relativamente livre através dela, então a água subterrânea pode mover-se por distâncias significativas em um pequeno número de dias.

figura 38 >

Representação esquemática da estruturação em subsuperfície dos aquíferos confinados, com pressão artesiana e isolados por camadas impermeáveis, e aquíferos livres, hidrostáticos, recobertos por camadas permeáveis.

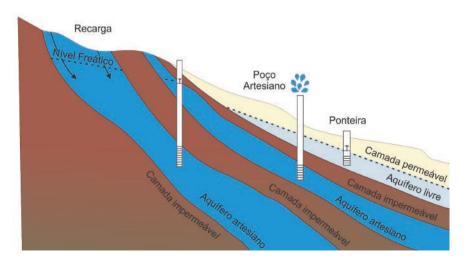
< figura 39

Representação esquemática da movimentação das águas subterrâneas entre os diferentes acamadamentos e compartimentos, sejam eles livres ou confinados. Fonte: adaptado de USGS (2019). A água subterrânea também pode afundar em aquíferos profundos, de onde pode levar milhares de anos para retornar ao meio ambiente, ou mesmo entrar em um depósito subterrâneo profundo, onde pode ficar por períodos muito longos.

Os diferentes depósitos em que as águas subterrâneas podem ficar reservadas são de 2 tipos, ilustrados na figura 38, classificados de acordo com a pressão atuante:

- aquífero livre, também chamado freático, que é aquele cuja superfície superior é o nível freático, onde todos os pontos estão sob pressão atmosférica, onde a água simplesmente se infiltrou da superfície e saturou o material subsuperficial. Poços perfurados nestas regiões precisam de suporte de uma bomba para extrair a água para a superfície em vista da ausência de pressão;

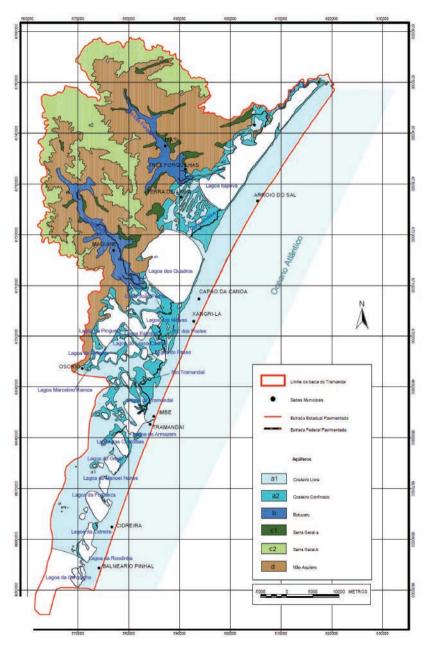
- aquífero confinado ou sob pressão artesiana, que é aquele no qual a pressão no topo do aquífero é



maior do que a pressão atmosférica, possuindo camadas de rocha acima e abaixo dele que não são muito permeáveis à água. Essa pressão natural normalmente é suficiente para empurrar a água acima da superfície da terra, não necessitando de bomba para extrair a água.

Na região costeira do RS, a Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí apresenta diferentes tipos de compartimentos como ilustrado e descrito pelo mapa hidrogeológico da figura 39 (Profill, 2005). A área mais externa ao continente e que representa amplamente a região litorânea revela aquíferos costeiros livres (a1), intergranulares contínuos e relacionados a depósitos arenosos de dunas, das barreiras marinhas e cristas de praia, de baixa pressão. Na região interlagunar até a encosta da Serra Geral estabelecem-se aquíferos costeiros confinados (a2), intergranulares multicamadas, de característica confinada a semi-confinada, relacionados a depósitos arenosos intercalados por argilas e siltes de origem lagunar, com maiores pressões. Na região da encosta, restrito ao entorno dos rios, encontram-se aquíferos Botucatu (b), intergranulares livres, de baixa pressão e que alimentam os rios locais. Outros aquíferos, como o Serra Geral (c1, c2), apresentam-se na região da encosta, mas predominantemente nos Campos de Cima da Serra e estão associados a zonas fraturadas.

Em função destas peculiaridades, a abordagem de exploração do manancial também é diferenciada, exigindo a confecção de poços mais ou menos profundos, suporte ou não de bombas, resultando também uma maior ou menor produtividade.



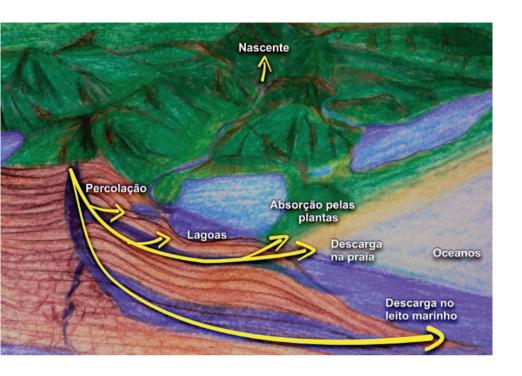
A água subterrânea é importante no contexto do ciclo hidrológico uma vez que não está totalmente estática e nem mesmo permanece em subsuperfície. Parte da água subterrânea viaja, conforme o aquífero, perto da superfície da terra e emerge como descarga.

Esse processo de movimentação da água subterrânea para a superfície é conhecido como **DES-CARGA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS** (DAS). A descarga também ocorre através dos poros, fraturas e cavidades, em diversos pontos do continente, formando as nascentes ou fontes. Além destes, a descarga de água subterrânea também ocorre nos leitos de rio, nas margens e fundo lagunar ou mesmo na faixa de praia e leito marinho, como apresentado no esquema da figura 40.

Com estes dois processos, de recarga e descarga de águas subterrâneas, fica comprovada a comunicação quase que irrestrita entre os compartimentos superficial e subterrâneo, sendo fator relevante já que significa troca de efeitos e impactos entre estes dois ambientes.

Um dos principais impactos associados é justamente na hidrologia. Em termos de descarga de água subterrânea, são grandes os volumes que contribuem para garantir a manutenção dos mananciais e a ciclagem (Charette et al., 2013; Lee et al., 2009; Santos et al., 2009a; Weinstein et al., 2011; Windom et al., 2007).

Ainda são restritos os estudos que esclarecem qual é a real participação da água subterrânea nos volumes dos corpos hídricos superficiais, como rios, lagoas e mar.



< figura 40

Mapa hidrogeológico da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí (parcial), elencando os diferentes aquíferos estabelecidos. Fonte: Profill, 2005.

figura 41 ^

Esquema detalhado da descarga de água subterrânea no contexto do ciclo de águas aplicável a todas as regiões. Fonte: Pierozan. 2019.

tabela 2 >

Taxas de advecção de água subterrânea para os referidos rios e lagoas do Litoral Norte do RS.

Fontes: aPaiva (2011); bRocha (2014); cGuimarães (2009).

Para região do Litoral Norte, foram desenvolvidos dois estudos nas lagoas, córregos e rios a fim de elucidar tal informação e compreender os possíveis efeitos (Paiva, 2011; Rocha, 2014). Os resultados deste processo, também conhecido como advecção de água subterrânea, revelaram que milhões de metros cúbicos ao ano chegam aos rios e lagoas locais, como pode ser observado de acordo com os dados da tabela 2.

Para estimar a participação da água subterrânea na composição dos volumes totais dos corpos hídricos superficiais é feito o balanço hidrológico onde se contabilizam as entradas e saídas de água, conforme exemplificado pela figura 41. Nas entradas são considerados os volumes advindos dos tributários ou rios, a precipitação e o aporte de água subterrânea. Como saída, consideram-se a evaporação, a retirada

Lagoas	Taxa de Advecção (m³ d⁻¹)	Rios	Taxa de Advecção (m³ d⁻¹)
Itapeva	34.714.740 ^{b,c}	Cardoso	11.620 ^b
Quadros	24.228.250 ^{b,c}	Três Forquilhas	25.814 ^b
Pinguela	5.036.900 ^{b,c}	Maquiné	18.505 ^b
Peixoto	34.210 ^{a,c}	Arroio Bécker	12.186 ^b
Barros	768.800 ^b	Córrego Pinguela	11.330 ^b
Fortaleza	189.500 ^{a,c}	Cascata Barros	9.504 ^b
Rondinha	133.640 ^{a,c}	Córrego Barros	2.415 ^b
Porteira	205.700 ^{a,c}		

para usos, a infiltração e o escoamento via rios e canais.

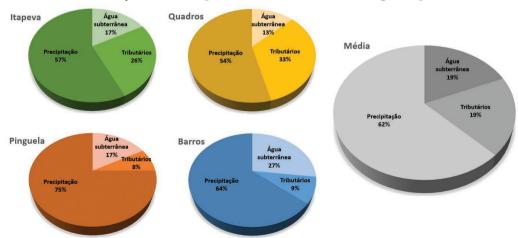
O balanço hidrológico para cada uma das lagoas resultou em desequilíbrio entre entradas e saídas de águas, indicando a possibilidade de que estes resultados sejam parciais, possibilitando que o aporte de águas subterrâneas seja ainda maior.

Com base nisso, foi possível observar que em média, 43% do volume dos rios é de origem subterrânea e para as lagoas monitoradas o percentual está na faixa de 13 a 27% (Rocha, 2014; Rocha et al., 2015), conforme gráfico 3.

É desejável o monitoramento dessa interação aquífero-lagoa já que a intensidade e continuidade podem se alterar conforme os diferentes fatores já mencionados. Em larga escala, isso pode afetar os níveis das lagoas pelo efeito de tamponamento hidráulico, que é a relação de equilíbrio entre o manancial subterrâneo e as lagoas, ainda pouco conhecido. Além disso, consequentemente, a qualidade e os estoques dos aquíferos podem ser comprometidos.

As diferenças nos aportes de águas também vão determinar outra característica muito importante que é o tempo de residência das águas nos corpos hídricos. Isto está vinculado também à interligação do corpo hídrico e pode contribuir para ciclos mais curtos, de poucos dias, como é o caso da Lagoa Pinguela, até ciclos de vários meses, como é o caso da Lagoa dos Barros, detalhado na tabela 3.

A diferença nos tempos de residência das águas pode influen-



Balanço hidrológico - Lagoa da Itapeva Rio Três Forquilhas Rio Cardoso 22,1 x 10⁶ m³ Precipitação ENTRADAS 236 x 10⁶ m³ 2,9 x 10⁶ m³ DAS SAÍDAS 71.5 x 10⁶ m⁵ Rio Cornélios 587 x 10⁶ m³ Área: 194 Km² olume: 121,6 x 10° m Evaporação Infiltração 158 x 10⁶ m³ 113 x 10⁶ m³

^ figura 42

Representação do modelo do balanço hidrológico da Lagoa Itapeva, especificando volumes anuais de entradas e saídas de água, volume e área do corpo hídrico (Rocha, 2014).

< gráfico 3

Representação percentual das diferentes fontes hídricas que compõem os sistemas lacustres das lagoas Itapeva, Quadros, Pinguela e Barros, bem como a média, evidenciando a relevância da participação das águas subterrâneas.

tabela 3 >

Tempo de residência para as lagoas avaliadas no Litoral Norte do RS e a classificação dos tipos de ambiente conforme o tempo de residência (Rocha et al., 2015). ciar na ciclagem e na capacidade de autodepuração do corpo hídrico, especialmente quando este recebe uma carga poluidora elevada ou mesmo quando tem retiradas excessivas de água.

Em alguns casos, a descarga de água subterrânea pode se equiparar as descargas de águas superficiais (Corbett et al., 1999).

Entretanto, além dos reflexos hidrológicos desta interação, há também o efeito ecológico associado, muito relevante. Isso porque o íntimo contato da água subterrânea com a formação geológica por longos períodos, ou seja, grande tempo de residência, lhes garante uma água rica em macro e micronutrientes ou mesmo contaminantes devido à intensa troca (Andrade, 2010; Attisano, 2012; Lima, 2014; Niencheski et al., 2007; Paiva, 2014, 2011; Rocha, 2018, 2014; Souza, 2015; Windom et al., 2006). Em alguns casos, a fonte subterrânea pode ser a fonte principal de nutrientes para alguns sistemas mais empobrecidos nutricionalmente, sendo ainda mais relevante (Rodellas et al., 2015; Santos et al., 2009b), o que garante suporte à produção primária.

É importante ressaltar que a comunicação entre compartimentos superficial e subterrâneo acontece por todo continente, sendo bastante expressivo na faixa

Lagoas	Tempo de residência (dias)	Tipo de Ambiente	Tempo de residência (dias)
Itapeva	105	Lótico	< 2
Quadros	66	Intermediário	2 a 40
Pinguela	19	Lêntico	> 40
Barros	847		

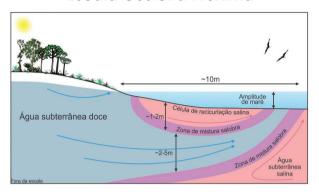
de praia estendendo-se até a plataforma costeira adjacente. Nesta região limítrofe, o processo de mistura subterrâneo/superfície traz à tona um novo conceito de estuário, o **ESTUÁRIO SUBTERRÂNEO** (Moore, 1999). Assim como um estuário superficial, um estuário subterrâneo é definido por ser uma região em que ocorre o processo de mistura de águas doces, que escoam do continente via subterrâneo, e salgadas, oriundas dos oceanos.

Trata-se de um ambiente ainda pouco conhecido, extremamente diverso e dinâmico, e que vem sendo fortemente estudado nestes últimos 20 anos (Anderson and Emanuel, 2010; Bejannin et al., 2017; Bishop et al., 2015; Burnett et al., 2007; Lee et al., 2009; McCormack et al., 2014; Russoniello et al., 2016; Sugimoto et al., 2016; Tovar-Sánchez et al., 2014; Viso et al., 2010). Entretanto, o que já se sabe é que este processo pode se dar em diferentes escalas como ilustrado pelas imagens da figura 43, estendendo por uma área bastante ampla e com efeitos pouco conhecidos.

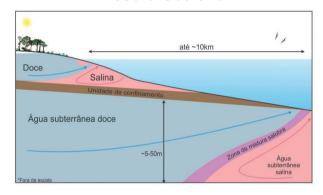
Igualmente são muitas as forças envolvidas neste processo, como a ação das chuvas no continente, marés e ondas, bem como a geologia e sua arquitetura deposicional, o gradiente hidráulico, entre outros. Os efeitos hidrológicos e ecológicos são bastante expressivos, contribuindo significativamente para a produção primária e zonação na plataforma costeira adjacente, bem como da faixa de praia como evidenciam diversos trabalhos.

A visualização do afloramento da águas, ou mesmo da acumulação dos nutrientes por ela carreados, e posterior desenvolvimento de organismos, pode ser

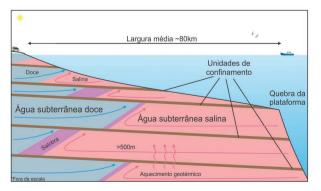
Escala Costeira Próxima



Escala Costeira



Escala de Plataforma



< figura 43

Perfil de praia apresentando o processo de descarga de água subterrânea em escala costeira próxima, costeira e de plataforma. Fonte: adaptado de Bratton (2010).

∨ figura 44

Processo de advecção de águas subterrâneas evidenciado pelo (a,b) afloramento espontâneo nas margens lagunares ou (c) na faixa de praia, com a (d) deposição e oxidação de diversos elementos às margens da Lagoa dos Patos, assim como (e) às margens do Oceano Atlântico, favorecendo o desenvolvimento de florações de algas, visíveis sob a forma de manchas na zona de surf (f,g), ou mesmo na faixa de praia (h,i), depositadas pelas ondas ou desenvolvidas em associação aos sedimentos. Fonte: Niencheski, L F H.

figura 45 >

Esquema do sistema (adaptado de Cable et al., 1997) e registro de aplicação na Lagoa do Barros do seepage meter, empregado na avaliação dos movimentos de água entre superfície e subsuperfície.

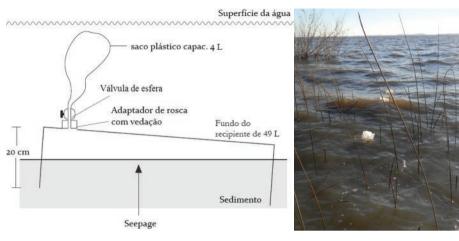


observada nas imagens da figura 44.

Uma das maiores dúvidas está ligada a forma de detectar tal comunicação entre os compartimentos, uma vez que visualmente tem-se restrição. Já há algumas décadas, estudiosos vem desenvolvendo técnicas para compreender e quantificar esse processo, sendo atualmente caracterizada como uma detecção diversificada, podendo-se citar a ferramenta *seepage meter* (Lee, 1977; Rocha, 2014) ilustrado pela figura 45, os traçadores isotópicos, como rádio (223Ra, 224Ra, 226Ra e 228Ra) (Breier and Edmonds, 2007; Kim et al., 2008; Moore, 1996) e radônio (222Rn) (Peterson et al., 2010; Santos et al., 2008; Wu et al., 2004) ou mesmo nutrientes (Paiva, 2014, 2011; Rocha, 2018, 2014).

Segundo alguns pesquisadores (Burnett et al., 2003), essas descargas de águas provindas do subterrâneo oscilam muito, sendo variáveis com o tempo, desiguais e difusas em vista de múltiplas forças. Assim, quanto maior o número de técnicas aplicadas, melhor a qualidade das informações. Em vista disso, vários estudos se seguiram na região do Litoral Norte de forma a esclarecer melhor este aspecto. Na faixa de praia foram aplicados os traçadores rádio e radônio que comprovaram a descarga média de mais de 660 mil m³/d referentes à costa entre Torres e Dunas Altas/RS, o que equivale a não menos que 10% do fluxo de água que escoa pelo Estuário do Rio Tramandaí (Motta, 1965).

A interação facilitada entre recurso hídrico superficial e subterrâneo pode criar condições também facilitadas de troca de componentes, inclusive contaminantes. Esse é um dos pontos negativos e que carece de maior atenção, especialmente pela crença do isola-



mento do manancial subterrâneo.

A maioria dos contaminantes da água, inclusive os pesticidas, entra no sistema hidrológico a partir de fontes pontuais e não pontuais. As fontes não pontuais são as dominantes, sendo difusas e amplamente dispersas, oportunizando a contaminação (i) de rios, córregos e lençóis freáticos pelo escoamento de terras agrícolas e urbanas, (ii) a infiltração na água subterrânea em áreas onde os pesticidas são usados e a (iii) deposição de pesticidas da atmosfera (Gilliom et al., 2006).

Tanto para contaminantes como metais pesados, nutrientes e agroquímicos, uma vez que entram no sistema hidrológico, eles e seus degradados (novos compostos formados pela transformação de um elemento/componente por reações químicas e biológicas), tem potencial de atingirem a atmosfera, rios, lagoas ou águas subterrâneas, movendo-se através do ar, água ou partículas, dependendo da atividade química e propriedades físicas dos compostos (Gilliom et al., 2006), atingindo inevitavelmente a fauna, dentre ela o homem.

referências bibliográficas

CAPÍTULO 3

BOUROTTE, C. L. M. O ciclo da água. In: Geologia[S.l: s.n.], 2014.

CONTI, J. B. Clima e Meio Ambiente. São Paulo: Atual, 1998.

CHRISTOPHERSON, Robert W. Geossistemas: Uma Introdução à Geografia Física. Tradução: Francisco Eliseu Aquino, Jeferson Cardia Simões, Ulisses Franz Bremmer. 7ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

CASTRO, D.; ROCHA, C. Qualidade das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Porto Alegre: Via Sapiens, 2016.

CASTRO, D.; MELLO, R.S. P. **Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí – Atlas Ambiental**. Porto Alegre:
Via Sapiens, 2013.

FERRARO, L.W.; HASENACK, H. Clima. *In* Ecossistemas e biodiversidade do litoral norte do RS. Porto Alegre: Editora Nova Prova. 288p. 2009.

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2013.

IPCC. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, United Kingdom and New York, NY: Cambridge University Press, 2014.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 3a ed. Boca Raton, CRC Press, 2001. 413p.

KÖPPEN,W. **Climatologia**. México: Fondo de Cultura Económica. 2º edição, 1931.

LUIS, V. Saiba o que são rios voadores e como interferem no clima do Brasil. Site GreenClick. 2014. Disponivel em: http:// www.greenclick.com.br/saiba-o-que-sao-rios-voadores-e--como-interferem-clima-brasil/. Acessado em: 21 de setembro de 2019.

MACHADO, P. J. de O.; TORRES, F. T. P. Introdução à Hidrogeografia. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MARENGO, J. A.; SOUZA JR., C. Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia. São Paulo. 2018.

MENDONÇA, F.; Danni-Oliveira,

I. M. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: oficina de texto, 2007.

MILLERO, F. J. Chemical Oceanography. 3a ed., CRC Press: Boca Raton, 2006. NIMER, E. Circulação atmosférica do Brasil. Revista Brasileira de Geografia. 28:232-250, 1966.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geografia. Porto Alegre: UFR-GS, 2011.

TUCCI, C. E. M. (org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: UFRGS/USP/ABRM, 1993.

TUBELIS; A. NASCIMENTO, F.J.L. **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras.** São Paulo: Nobel, 1984.

VON SPERLING, E. **Afinal, Quanta Água Temos no Planeta?** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 11 n.4 Out/Dez 2006, 189-199.

ZORZETTO, R. Um rio que flui pelo ar. Ventos da Região Norte aumentam umidade no Sudeste e no Sul do país. Revista Pesquisa FAPESP, no 158, abril de 2009.P 62 e 63

http://www.inmet.gov.br/
http://www.septiemecontinent.com/pedagogie/lesson/vie-leaude-lamont-laval/
http://www.eau-seine-normandie.fr/les-cycles-de-l-eau/le-petit-cycle-de-l-eau
http://www.septiemecontinent.com/pedagogie/lesson/eau-liquide-solide-gazeuse/
https://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml
http://meteosinotica.blogspot.com/p/cirros-

tratus.html http://geofisica.fc.ul.pt/ http://sobrevogr.com.br/wp-content/uploads/2018/09/nuvens--1-e1543795803930.ipa http://aeocuriosos.bloaspot. com/2012/06/aranizo.html https://www.10emtudo.com. br/ ima/upload/aula/ 1909 6. gifhttps://paranaportal.uol.com. br/cidades/instituto-alerta-para--a-formacao-de-tempestades-e--aranizo-nesta-terca-feira https://www.mycoffeepot.org/ how-much-water-does-mv-lawn--need.html http://geoconceicao.blogspot. com/2014/05/agua-grande-guestao-em-debate.html

SUBCAPÍTULO 3.9.

Anderson, W.P., Emanuel, R.E., 2010. Effect of interannual climate oscillations on rates of submarine groundwater discharge. Water Resources. Res. 46, 1–13. https://doi.org/10.1029/2009WR008212

Andrade, C.F.F., 2010. Conexões e interações entre a água superficial e subterrânea na região costeira do extremo Sul do Brasil. Tese, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, Brasil.

Attisano, K.K., 2012. Aporte subterrâneo: uma fonte comple-

mentar de nutrientes para a Costa Sul do Brasil e plataforma adjacente. Tese, Universidade Federal do Rio Grande. https://argo.furg.br/bin/bdtd/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=10163, Rio Grande, Brasil.

Bejannin, S., van Beek, P., Stieglitz, T., Souhaut, M., Tamborski, J., 2017. Combining airborne thermal infrared images and radium isotopes to study submarine groundwater discharge along the French Mediterranean coastline. J. Hydrol. Reg. Stud. 13. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.08.001

Bishop, J.M., Glenn, C.R., Amato, D.W., Dulai, H., 2015. Effect of land use and groundwater flow path on submarine groundwater discharge nutrient flux. J. Hydrol. Reg. Stud. 11, 194–218. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.10.008

Bratton, J.F., 2010. The Three Scales of Submarine Groundwater Flow and Discharge across Passive Continental Margins. J. Geol. 118, 565–575. https://doi.org/10.1086/655114

Breier, J. a. A., Edmonds, H.N.N., 2007. **High 226Ra and**

228Ra activities in Nueces
Bay, Texas indicate large submarine saline discharges.
Mar. Chem. 103, 131–145. https://doi.org/10.1016/j.marchem.2006.06.015

Burnett, W.C., Bokuniewicz, H., Huettel, M., Moore, W.S., Taniguchi, M., 2003. **Groundwater and pore water inputs to the coastal zone**. Biogeochemistry 66, 3–33. https://doi.org/10.1023/B:-BIOG.0000006066.21240.53

Burnett, W.C., Wattayakorn, G., Taniguchi, M., Dulaiova, H., So-jisuporn, P., Rungsupa, S., Ishitobi, T., 2007. **Groundwater-derived nutrient inputs to the Upper Gulf of Thailand**. Cont. Shelf Res. 27, 176–190. https://doi.org/10.1016/j.csr.2006.09.006

Cable, J.E., Burnett, W.C., Chanton, J.P., Corbett, D.R., Cable, P.H., 1997. Field Evaluation of Seepage Meters in the Coastal Marine Environment. Estuar. Coast. Shelf Sci. 45, 367–375. https://doi.org/10.1006/ecss.1996.0191

Charette, M.A., Henderson, P.B., Breier, C.F., Liu, Q., 2013. Submarine groundwater discharge in a river-dominated

Florida estuary. Mar. Chem. https://doi.org/10.1016/j.marchem.2013.04.001

Corbett, D.R., Chanton, J., Burnett, W., Dillon, K., Rutkowski, C., Fourqurean, J.W., 1999. Patterns of groundwater discharge into Florida Bay. Limnol. Oceanogr. 44, 1045–1055. https://doi.org/10.4319/lo.1999.44.4.1045

Gilliom, R.J., Barbash, J.E., Crawford, C.G., Hamilton, P. a., Martin, J.D., Nakagaki, N., Nowell, L.H., Scott, J.C., Stackelberg, P.E., Thelin, G.P., Wolock, D.M., 2006. The Quality of Our nation's Waters-Pesticides in the Nation's Streams and Groundwater, 1992–2001, U.S. Geological Survey Circular 1291.

Guimarães, T. de F.R., 2009. Conectividade e padrões de riqueza e diversidade de espécies de peixes nas lagoas do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Kim, G., Ryu, J.-W., Hwang, D.-W., 2008. **Radium tracing**

of submarine groundwater discharge (SGD) and associated nutrient fluxes in a highly-permeable bed coastal zone, Korea. Mar. Chem. 109, 307–317. https://doi.org/10.1016/j.marchem.2007.07.002

Lee, D.R., 1977. A device for measuring seepage flux in lakes and estuaries. Limnol. Oceanogr. 22, 140–147.

Lee, Y.-W., Hwang, D.-W., Kim, G., Lee, W.-C., Oh, H.-T., 2009. Nutrient inputs from submarine groundwater discharge (SGD) in Masan Bay, an embayment surrounded by heavily industrialized cities, Korea. Sci. Total Environ. 407, 3181–8. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.04.013

Lima, K.C.D.E., 2014. Estimativa de descarga de água subterrânea para a região costeira do município de Mostardas (RS). Monograph, Universidade do Rio Grande, Rio Grande, Brasil.

McCormack, T., Gill, L.W., Naughton, O., Johnston, P.M., 2014. Quantification of submarine/intertidal groundwater discharge and nutrient loading from a lowland karst catchment.

J. Hydrol. 519. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.086

Moore, W.S., 1999. The subterranean estuary: A reaction zone of ground water and sea water. Mar. Chem. 65, 111–125. https://doi.org/10.1016/S0304-4203(99)00014-6

Moore, W.S., 1996. Using the radium quartet for evaluating groundwater input and water exchange in salt marshes. Geochim. Cosmochim. Acta 60, 4645–4652. https://doi.org/10.1016/S0016-7037(96)-00289-X

Motta, V.F., 1965. Relatório geral sobre o estudo em modelo reduzido para regularização da embocadura do Rio Tramandaí. Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS, Porto Alegre.

Niencheski, L.F.H., Windom, H.L., Moore, W.S., Jahnke, R.A., 2007. Submarine groundwater discharge of nutrients to the ocean along a coastal lagoon barrier, Southern Brazil. Mar. Chem. 106, 546–561. https://doi.org/10.1016/j.marchem.2007.06.004

Paiva, M.L., 2014. Sistemas aquíferos Serra Geral e Guarani: relação com a oceanografia. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande. https://argo.furg.br/bin/bdtd/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=11375, Rio Grande, Brasil.

Paiva, M.L., 2011. **Sistema** aquífero Guarani: fonte de nutrientes e elementos traços para a zona costeira. Monografia, Universidade Federal do Rio Grande.

Peterson, R.N., Santos, I.R., Burnett, W.C., 2010. Evaluating groundwater discharge to tidal rivers based on a Rn-222 time-series approach. Estuar. Coast. Shelf Sci. 86, 165–178. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.10.022

Profill, E. e A., 2005. 10 Etapa do Plano da Bacia do Rio Tramandaí - Relatório da Fase A -Consolidação do Diagnóstico e Balanço Hídrico.

Rocha, C.M., 2018. Conexões e interações entre a água superficial e subterrânea na Costa Norte do RS (CNRS), Brasil. Universidade Federal de Rio Grande, Rio Grande, Brasil. Rocha, C.M., 2014. Advecção de água subterrânea para as lagoas costeiras do Litoral Norte do RS, Brasil. Dissertação, Universidade Federal do Rio Grande. https://argo.furg.br/bin/bdtd/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=11383, Rio Grande, Brasil.

Rocha, C.M., Andrade, C.F.F., Niencheski, L.F.H., 2015. Descarga de água subterrânea para as lagoas costeiras do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. Brazilian J. Aquat. Sci. Technol. 19, 76–84. https://doi.org/10.14210/bjast.v19n2.

Rodellas, V., Garcia-Orellana, J., Masqué, P., Feldman, M., Weinstein, Y., 2015. Submarine groundwater discharge as a major source of nutrients to the Mediterranean Sea. PNAS 112, 3926–3930. https://doi.org/10.1073/pnas.1419049112

Russoniello, C.J., Konikow, L.F., Kroeger, K.D., Fernandez, C., Andres, A.S., Michael, H.A., 2016. **Hydrogeologic controls on** groundwater discharge and nitrogen loads in a coastal watershed. J. Hydrol. 538, 783–793. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.013

Santos, I.R., Burnett, W.C., Chanton, J., Dimova, N., Peterson, R.N., 2009a. Land or ocean?: Assessing the driving forces of submarine groundwater discharge at a coastal site in the Gulf of Mexico. J. Geophys. Res. 114, C04012. https://doi.org/10.1029/2008JC005038

Santos, I.R., Burnett, W.C., Godoy, J.M., 2008. Radionuclides as tracers of coastal processes in Brazil: review, synthesis, and perspectives. Brazilian J. Oceanogr. 56, 115–131.

Santos, I.R., Dimova, N., Peterson, R.N., Mwashote, B., Chanton, J., Burnett, W.C., 2009b. Extended time series measurements of submarine groundwater discharge tracers (222Rn and CH4) at a coastal site in Florida. Mar. Chem. 113, 137–147. https://doi.org/10.1016/j.marchem.2009.01.009

Shiklomanov, I., 1993. **World fresh water resources**, in: Gleick, P.H. (Ed.), Water in Crisis: A

Guide to the World's Fresh Water Resources.

Souza, G.K. de, 2015. Hidro-química dos aquíferos costeiros e seu potencial de contribuição no aporte de nutrientes via descarga de água subterrânea - SGD (RS-Brasil). Dissertation, Federal University of Rio Grande. https://argo.furg.br/bin/bdtd/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=11324, Rio Grande, Brasil.

Sugimoto, R., Honda, H., Kobayashi, S., Takao, Y., Tahara, D., Tominaga, O., Taniguchi, M., 2016. Seasonal changes in submarine groundwater discharge and associated nutrient transport into a tideless semi-enclosed embayment (Obama Bay, Japan). Estuaries and Coasts 39, 13–26. https://doi.org/10.1007/s12237-015-9986-7

Tovar-Sánchez, A., Baster-retxea, G., Rodellas, V., Sánchez-Quiles, D., García-Orellana, J., Masqué, P., Jordi, A., López, J.M., Garcia-Solsona, E., 2014. Contribution of ground-water discharge to the coastal dissolved nutrients and trace metal concentrations in Majorca Island: karstic vs detrital

systems. Environ. Sci. Technol. 48, 11819–11827. https://doi. org/10.1021/es502958t

USGS - United States Geological Survey - Barlow, P.M., 2003.
Ground Water in Freshwater-Saltwater Environments of the Atlantic Coast, USGS Circular. Reston, VA.

USGS - United States Geological Survey , 2019. **Groundwater Information by Topic**. Disponível em: https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/groundwater-information-topic?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects . Acesso em abril/2019.

Viso, R., McCoy, C., Gayes, P., Quafisi, D., 2010. Geological controls on submarine groundwater discharge in Long Bay, South Carolina (USA). Cont. Shelf Res. 30, 335–341. https://doi.org/10.1016/j.csr.2009.11.014

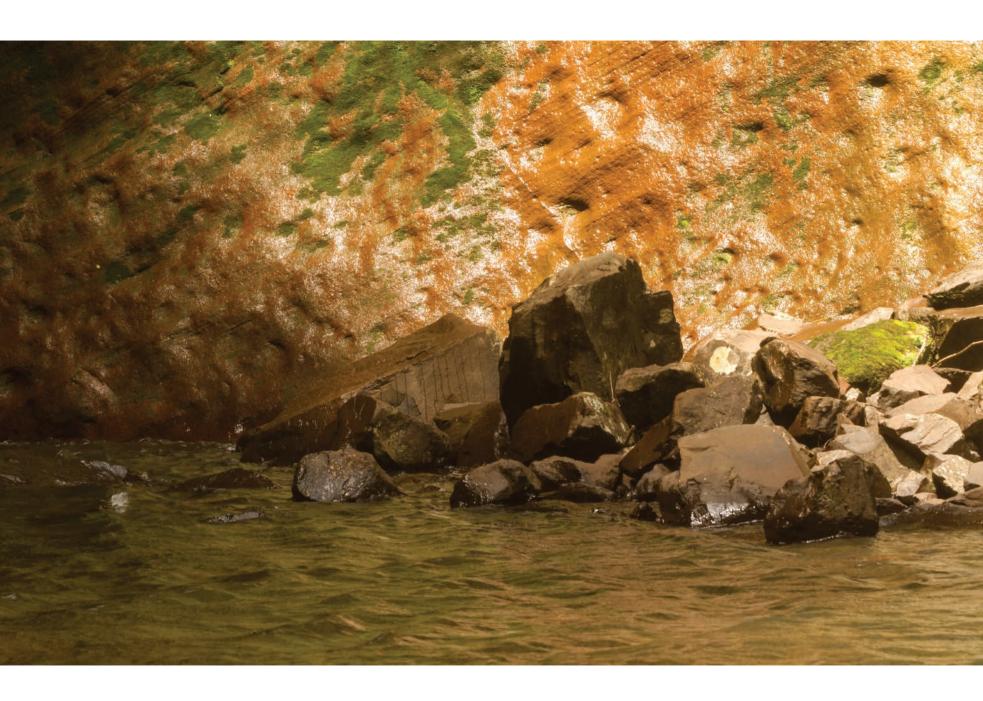
Weinstein, Y., Yechieli, Y., Shalem, Y., Burnett, W.C., Swarzenski, P.W., Herut, B., 2011. What is the role of fresh groundwater and recirculated seawater in conveying nutrients to

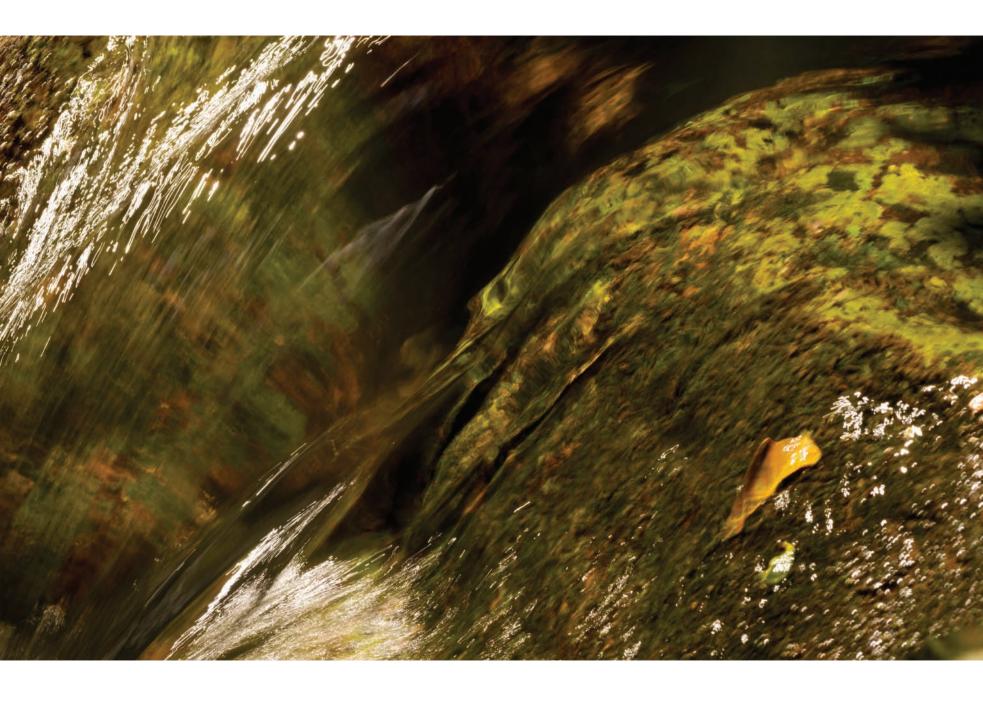
the coastal ocean? Environ. Sci. Technol. 45, 5195–5200. https://doi.org/10.1021/es104394r

Windom, H.L., Moore, W.S., Niencheski, L.F.H., 2007. Influence of groundwater discharge through a coastal sandy barrier in southern Brazil an seawater metal chemistry. pp. 180–189.

Windom, H.L., Moore, W.S., Niencheski, L.F.H., Jahnke, R.A., 2006. Submarine groundwater discharge: A large, previously unrecognized source of dissolved iron to the South Atlantic Ocean. Mar. Chem. 102, 252–266. https://doi.org/10.1016/j.marchem.2006.06.016

Wu, Y., Wen, X., Zhang, Y., 2004. Analysis of the exchange of groundwater and river water by using Radon-222 in the middle Heihe Basin of northwestern China. Environ. Geol. 45, 647–653. https://doi.org/10.1007/s00254-003-0914-y





4.1. OS USOS DA ÁGUA NA BACIA

Distingue-se os usos da água entre aqueles cujos volumes são possíveis de serem medidos e impactam nos cálculos de demanda e balanco hídrico, os chamados consuntivos, e aqueles em que não há retirada de volume de água, mas podem afetar sua qualidade, conhecidos como não consuntivos. Na bacia do rio Tramandaí o uso consuntivo é oriundo da irrigação, abastecimento público, criação de animais e abastecimento industrial e somam 127.000.000 (cento e vinte e sete milhões) m³/ano (gráfico 1), enquanto os não consuntivos são encontrados na pesca, lazer, recreação, turismo, mineração, navegação, preservação e lançamento de efluentes.

∨ gráfico 1

Distribuição de demanda anual entre os setores usuários. Fonte: STE 2019

figura 1 >

Arrozal na margem da Lagoa dos Quadros. Maquiné (2018).

figura 2 >

Canal de transposição de águas para o litoral médio. Lagoa da Fortaleza. Cidreira (2016).

figura 3 >

Olericultura no vale do rio Maquiné. Maquiné (2013).

demanda: milhões m³/ano



4.

O setor de produção agrícola é responsável pelo maior consumo, na ordem de 100 milhões de m³/ano, atingindo 79% do volume total, conforme Diagnóstico Consolidado (STE, 2019), ainda que ocupe apenas cerca de 65 km², ou 2% da área da bacia. O maior volume consumido origina-se da produção do arroz irrigado (73 milhões m³/ano, ou 73% de toda irrigação), localizado no setor da planície costeira: nas margens da Lagoa dos Quadros (figura 1), do Passo, da Fortaleza, Porteira e na foz do rio Maguiné, ou seja, em zonas originalmente úmidas de várzeas e banhados (Castro e Mello, 2016); a transposição de água para a bacia do Litoral Médio (figura 2), com finalidade de irrigar as culturas de arroz, responde por cerca de 20% do total da irrigação (19,7 milhões de m³/ ano) e, os 7% restantes da irrigação são demandados pela **olericultura**, praticada principalmente no vale do rio Maquiné (figura 3), na ordem de 6,6 milhões de

m³/ano. Este uso da terra tem origem na conversão dos ecossistemas originais, campos úmidos e banhados. Essa conversão implica em perda de resiliência para o ecossistema, seja no meio físico ou no biótico: essas áreas têm função importante na regulação do nível hidrológico, liberando ou retendo umidade, e são habitats para reprodução, alimentação, abrigo e descanso para diversos grupos de fauna, incluindo peixes de importância comercial, o que acaba por afetar outro uso ancestral na bacia, a pesca artesanal (Saint-Hilaire, 1999).

Para **abastecimento humano** são consumidos anualmente cerca de 25 milhões de m³/ano, ou cerca de 20% do total da bacia, o que o coloca em segundo lugar em termos de volume demandado e representa um aumento percentual em comparação com 2005, quando esse uso era de 15% do volume do total (Profill, 2005). Esse volume sacia a sede e demandas do-



mésticas de cerca de 18 municípios que estão integral ou parcialmente dentro da bacia, o que corresponde a cerca de 330.000 (trezentos e trinta mil) moradores fixos e mais aquela população flutuante que se desloca nos meses de verão. De fato, há uma diferença substancial entre as demandas de inverno (1,8m³/mês) para os meses de verão (2,9m³/mês). Esse serviço é em grande parte realizado pela Corsan ao atender 14 municípios; apenas as prefeituras de Maquiné, Itati, Três Forquilhas e Dom Pedro de Alcântara realizam o abastecimento para suas populações. A figura 5 apresenta os locais de captação, destacando-se, em termos de volume retirado, as lagoas dos Quadros (figura 4), Itapeva, Emboaba e Veados.

No período de veraneio (dezembro a fevereiro) a demanda para abastecimento público aumenta em decorrência do acréscimo populacional: enquanto a demanda da população residente é de 1,8 milhões m³/mês), em dezembro atinge 2,9 milhões m³/

mês (STE, 2019). No período de maior consumo para abastecimento humano, considerado prioritário no Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, também é aquele que mais demanda para a irrigação do arroz. Assim, nesses quatros meses, de novembro a fevereiro, o consumo de água representa 84% de todo volume anual (gráfico 2).

< figura 4

Estação de Tratamento de Água da Corsan. Margem da Lagoa dos Quadros. Capão da Canoa (2013).

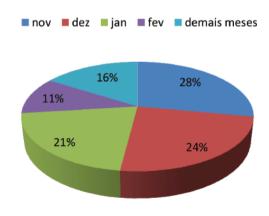
figura 5 >

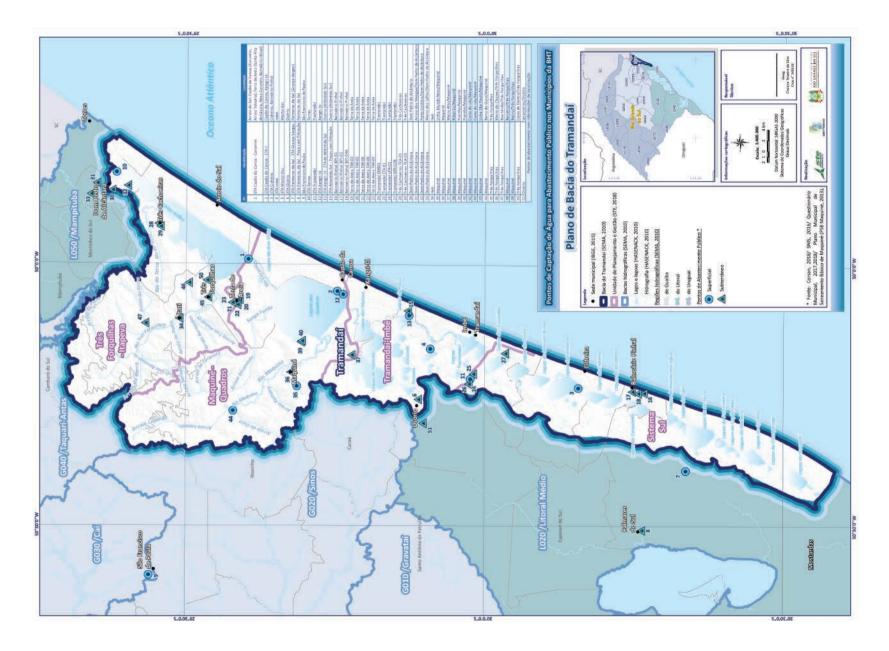
Locais de captação de água para abastecimento público. Fonte: STE, 2019.

∨ quadro 2

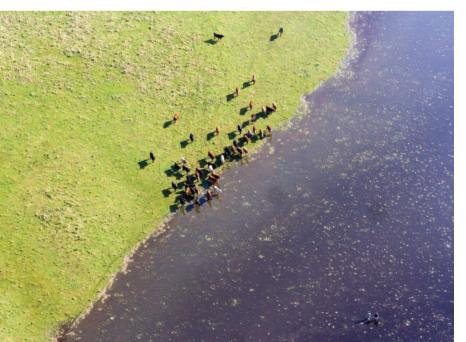
Demanda mensal por água na bacia do rio Tramandaí. Fonte: STE 2019, adaptado por Castro, D.

demanda mensal





A Comporta da Lagoa da Fortaleza (figura 6) é uma estrutura rudimentar construída em 1983, no canal artificial que liga a lagoa da Fortaleza à Manoel Nunes, com o objetivo de controlar o fluxo de água e garantir a irrigação das lavouras de arroz. Com a barragem foi gerado um conflito pelo uso do recurso, especialmente para pescadores que reclamam do impacto negativo sobre sua atividade. Por outro lado, a manutenção do nível na lagoa da Fortaleza possibilita também a captação de água realizada pela Corsan para abastecimento público de Balneário Pinhal e Cidreira, bem como a dessedentação de animais e irrigação de arroz na região mais ao sul. Desde 2007 esse conflito é gerenciado pelo Comitê de Bacia, que ao avaliar o nível da água, tanto para reservar quanto para liberar, autoriza a abertura e fechamento da comporta. A situação da comporta é precária e o Comitê da Bacia, temeroso pelo risco de





rompimento, solicita providências para que o Estado resolva a situação da obra, impasse ainda não resolvido.

Outras duas demandas hídricas somam cerca de 2% do total da bacia: a) criação animal (bovinos de corte e de leite, equinos, suínos, ovinos, galinhas, galos e frangos), cujo consumo é da ordem de 1,6 milhão m³/ano (figura 7) e b) **indústria** (madeira, móveis, serrarias, construção, asfalto, entre outras), cuja contribuição é mínima economicamente, com apenas 42 empreendimentos licenciados, e consumo de água da ordem de 1,130 milhão de m³/ano (STE, 2019. Como a maioria dos municípios da bacia não apresenta outorga para captação de água superficial para abastecimento industrial, esses dados podem conter distorções, seja pela falta de dados no Sistema de Outorga, seja por ter atividades industriais atendidas pela rede pública de abastecimento ou, ainda, pela utilização da água subterrânea.

Dentre os **usos não consuntivos**, de importância na qualidade da água, estão a pesca, lazer, recreação, turismo, mineração, navegação, preservação e lançamento de efluentes.

A atividade turística remonta ao século passado e foi o principal fator de desenvolvimento no litoral norte gaúcho, recorte regional que tem grande coincidência com a área da bacia do rio Tramandaí. Os servicos ligados ao turismo, hospedagem, transporte e refeições propulsionaram a expansão de núcleos de veraneio e originaram a estruturação urbana. A partir de três setores da paisagem, orla marítima, cordão lagunar e planalto, pode-se diferenciar os segmentos turísticos, respectivamente: turismo de massa entre dezembro e fevereiro, com lazer relacionada à praia (figura 8); usos de contato primário e secundário como banho, esportes náuticos, pesca e de potencial ambientalmente sustentável; turismo rural, ecológico e de aventura (figura 9), tendo como atrativos as trilhas, cascatas, paredões e cultura colonial (Corrêa, 2019). Esta atividade tem papel importante social. econômica e ecologicamente, tendo impacto direto no verão, quando a população atinge mais de um milhão de pessoas, com reflexo no aumento do consumo de água e pelo aumento da carga de esgoto, cujo tratamento ainda é precário e não universalizado.

< figura 6

Comporta da Fortaleza. Lagoa da Fortaleza. Cidreira (2018).

< figura 7

Área de dessedentação de animais na margem do canal Cornélios. Terra de Areia (2018).

└ figura 8

Atividade de veraneio – turismo de massa, no litoral. Tramandaí (2013).

∨ figura 9

Turismo de massa em área com aptidão para ecoturismo. Maquiné (2017).



A **pesca** tem importância histórica e cabe destacar a comunidade tradicional de pescadores artesanais, com sete colônias nos municípios Balneário Pinhal, Imbé, Palmares do Sul, Terra de Areia, Torres, Tramandaí e Xangri-lá, totalizando 1.966 pescadores, além de três sindicatos, 20 associações e 18 comunidades. No que diz respeito à quantidade de pescados capturada na BHT, o Diagnóstico Consolidado do Plano da Bacia não aponta valores oficiais e nem estimativas confiáveis (STE, 2019), mas reconhece a tainha e o bagre como as espécies mais capturadas. Destaca-se que a pesca do bagre é proibida de 15 de dezembro a 31 de março, conforme disposto no art. 14 da IN MMA nº17/2004, sendo que o bagre-branco (Genidens barbus) e o bagre-natal (Genidens planifrons) são consideradas espécies ameaçadas de extinção, tendo a pesca proibida em todo o território estadual. Cabe destacar a pesca colaborativa na foz do rio Tramandaí, um relação ecológica e social

entre botos, pescadores e tainha (figura 10).

Quanto à **navegação**, se no século passado foi possível fazer o percurso de Torres até Osório, especialmente para escoar a produção agrícola, hoje está limitada a rebocadores e barcos de apoio na foz do rio Tramandaí e nas atividades de pesca, de turismo e lazer. Apesar de considerado um uso de menor significado quanto a seu impacto na água, mas por ocorrer justamente no único local de atividade do boto (*Tursiops truncatus*), a navegação na foz do rio Tramandaí pode por em risco a pequena população desses mamíferos marinhos.

< figura 10

Área de pesca e navegação na foz do rio Tramandaí. Imbé/Tramandaí (2019).

figura 11 >

Mineração de areia. Osório (2016).

figura 12 >

Lagoa do Marcelino, corpo receptor do esgoto doméstico de Osório. (2018).

figura 13 (pág 110) >>

Reserva Biológica da Serra Geral, com mais de 70 nascentes, uma verdadeira caixa d'água. Maquiné (2009).

figura 14 (pág 110) >>

Área de Proteção Ambiental da Rota do Sol e Estação Ecológica da Aratinga. São Francisco de Paula/Itati (2013).

A área total de mineração com extração (concessão de lavra, licenciamento e registro de extração) corresponde a 35 processos com 264 hectares, sendo que ainda tramitam outros 127 no DNPM em 2018. Metade dos processos são para extração de saibro e basalto, mas em termos de áreas, as minerações mais importantes são areia (44%, figura 11) e basalto (28%). Apenas um empreendimento licenciado junto à Fepam situa-se em recurso hídrico com o objetivo de lavra de areia e um outro para exploração de água mineral. A atualização do Diagnóstico do Plano da Bacia identifica 10 localidades com indícios de mineração clandestinas, ao considerar áreas externas aos polígonos do DNPM em fase de licenciamento, registro de extração mineral ou concessão de lavra (STE, 2019).

A carga oriunda do **esgoto doméstico** (figura 12) afeta negativamente a qualidade dos corpos hídricos, sendo que menos de 18% dos domicílios ur-

banos da Bacia destinam seus efluentes às redes de coleta. O sistema de disposição mais comum nos municípios da Bacia é a fossa (séptica ou rudimentar), utilizada por cerca de 81% da população urbana. O índice de atendimento com tratamento de efluentes domésticos nos municípios é baixo, variando entre 2% e 4% no Inverno e entre 1% e 7% no verão. Estima-se que sejam geradas na BHT cerca de 384 ton/ mês de carga orgânica (DBO) nos meses de inverno, das quais 188 ton/mês podem atingir os corpos hídricos e, mais de 1.960 ton/mês são geradas nos meses de verão, com potencial de 1.077 ton/mês impactar os corpos hídricos. Apenas Capão da Canoa, Cidreira, Tramandaí e Torres destinam parte de seus efluentes para Estações de Tratamento de Esgoto. Osório tem uma Estação em fase de licenciamento e não operante, mas com previsão de lançar seus efluentes na lagoa dos Barros, na Bacia do Litoral Médio.





A carga poluente originada na **pecuária** é oriunda de fonte difusa, sendo que nem toda carga gerada pela criação de animais alcança os corpos d'água. As cargas estimadas correspondem às cargas brutas: 23 kg/km2/dia de DBO, 6 kg/km2/dia de Nitrogênio, 1,5 kg/km2/dia de Fósforo e 2,2x1011 NMP/km2/dia de Coliformes Fecais. Para os efluentes industriais. cerca de 28%, após tratamento, atinge algum recurso hídrico, tendo sua origem nas indústrias alimentícias, abatedouros, madeireiras, de vidros e cristais. Estima--se que são geradas 24 ton DBO/ano com potencial de alcançar os recursos hídricos; e cargas de DOO, Cromo, Ferro e Níquel são inferiores a 1 Kg/ano. Os **sistemas** de drenagem apresentam deficiências, baixa cobertura da rede coletora pluvial, sendo que pelo menos 50% são de caráter misto e um percentual indefinido de lançamentos clandestinos. Na orla marítima encontram-se sistemas de drenagem pluvial, composto por canais abertos, valos e tubulações que conduzem as águas ao Oceano Atlântico e, ainda, para as lagoas, em alguns municípios; somente em Imbé e Tramandaí foram identificados 45 possíveis pontos de lançamentos de efluentes no estuário. Os resíduos sólidos de 9

municípios são destinados para os aterros sanitários de Tramandaí, Capão da Canoa e Osório; e outros 9 para aterros fora da Bacia Içara/SC; São Leopoldo e Minas do Leão. O aterro de Tramandaí foi desativado em 2018 e atualmente há uma situação de indefinição quanto ao destino dos resíduos daqueles municípios que para lá os enviava.

Ainda cabe destacar o papel na conservação ambiental (figura 13 e 14), através das diversas áreas legalmente protegidas: Unidades de Conservação, Terras Indígenas, Territórios Quilombolas, Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade, Áreas Importantes para Aves e as Áreas de Preservação Permanente (MMA, 2007; Castro e Mello, 2016). O papel das florestas tropicais no ciclo hidrológico está bastante documentado, sendo vital para recarga superficial e da água subterrânea, com "produção" de água de cerca de 70% da precipitação em áreas florestais na Serra do Mar (Cico, 2009; Arcova, 1996). Apesar da importância social e ecológica dessas áreas, o não cumprimento das leis ambientais e o uso indevido do solo em áreas de preservação permanente ainda fazem parte do cotidiano.



4.2. A QUALIDADE DA ÁGUA

Ouando falamos em qualidade de água não nos referimos apenas ao estado de pureza da mesma, mas sim às características físicas, químicas e biológicas e, a partir delas, são determinados diversos dos seus usos. A qualidade em um determinado corpo hídrico é avaliada a partir das substâncias presentes ali, por isso denominamos como parâmetros de qualidade da água. Tais elementos caracterizam as condições em que o recurso se encontra, para os mais variados destinos, inclusive para sua preservação no ambiente. Os usos múltiplos dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas acarretam grandes variações das características físicas, químicas e bacteriológicas ao longo de seu percurso e as ações antropogênicas são as que possuem maior impacto devido aos lançamentos de cargas poluentes nos sistemas hídricos. A definição da qualidade de água e seu enquadramento dentro de classes é importante, e é possível a partir da verificação dos níveis de poluição presente.

4.2.1. Índice de Qualidade de Água (IQA)

O monitoramento da qualidade das águas superficiais são fatores primordiais para a adequada gestão dos recursos hídricos, permitindo a caracterização e a análise de tendências em bacias hidrográficas, sendo essenciais para várias atividades de gestão, tais como: planejamento, outorga, cobrança e enquadramento dos cursos de água (ANA, 2019). O monitoramento também é efetivo para indicar mudanças na qualidade da água em função do uso e ocupação do solo.

Em 1970, a National Sanitation Foundation dos EUA criou o Índice de Qualidade de Água (IQA). No Brasil, esse índice começou a ser usado em 1975 pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, a CETESB. Em sequência, outros estados brasileiros começaram a usar. O foco principal deste índice



figura 15 >

Coleta de água com auxílio de uma garrafa de Van Dorn. Fotografia de Alina Souza/Correio do Povo. é avaliar a qualidade de águas relacionadas ao abastecimento público, como efeito do despejo de esgoto em corpos d'água. Para isso, são utilizados parâmetros que estão intrinsicamente relacionados a esse problema. No entanto, o IQA acaba não sendo satisfatório no que diz respeito a outros parâmetros de qualidade de água importantes para o consumo humano, como análise de metais pesados e quantidade de organismos possivelmente patológicos.

Os cálculos do IQA são obtidos do produtório ponderado dos nove parâmetros que envolvem o índice, ou seja, a qualidade da água que corresponde às variáveis, expresso pelas notas individuais de cada parâmetro elevada aos respectivos pesos, conforme abaixo:

Onde **IQA:** Índice de Qualidade das Águas; **q**_i: qualidade do i-é-simo fator, que será um número entre 0 e 100, obtido a partir da curva de variação de qualidade conforme resultado verificado para o parâmetro; **wi:** peso correspondente ao i-ésimo fator, sendo este um número entre 0 e 1, dado em função da importância do fator para a qualidade, conforme tabela 1; **n:** número de fatores que entram no cálculo do IQA.

$$IQA = \prod_{i=1}^{n} q_i^{wi}$$

Parâmetro	Peso (q _i)
Coliformes Termotolerantes	0,15
Potencial Hidrogeniônico (pH)	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio	0,10
Nitrogênio Total	0,10
Fósforo Total	0,10
Diferença de Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Resíduos Totais	0,08
Oxigênio Dissolvido	0,17

∧ tabela 1

Parâmetros de qualidade da águas do IQA e seus respectivos pesos. Fonte: Adaptado do portal da qualidade das águas - ANA

figura 18 >

Coleta em frasco de Winckler para análise de OD. Fotografia de Alina Souza/Correio do Povo.

figura 19 >

Análise titulométrica de DBO.

figura 17 >

Procedimento colorimétrico para análise de fósforo.

figura 16 >

Medição de pH em campo.

Potencial hidrogeniônico (pH): representa o equilíbrio entre íons H+ e íons OH; varia de 7 a 14; indica se uma água é ácida (pH inferior a 7), neutra (pH igual a 7) ou alcalina (pH maior do que 7); o pH da água depende de sua origem e características naturais, mas pode ser alterado pela introdução de resíduos; pH baixo torna a água corrosiva; águas com pH elevado tendem a formar incrustações nas tubulações; para a preservação e sobrevivência da vida aquática, recomenda-se a faixa de pH entre 6 e 9.

Fósforo Total: é essencial para o crescimento de algas mas, em excesso, causa a eutrofização. É encontrado na água nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico e suas principais fontes são: dissolução de compostos do solo; decomposição da matéria orgânica, esgotos domésticos e industriais, fertilizantes, detergentes e excrementos de animais.

Oxigênio Dissolvido: é indispensável aos organismos aeróbios; a água, em condições normais, contém oxigênio dissolvido, cujo teor de saturação depende da altitude e da temperatura; águas com baixos teores de oxigênio dissolvido indicam que receberam matéria orgânica; a decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbias é, geralmente, acompanhada pelo consumo e redução do oxigênio dissolvido da água; dependendo da capacidade de autodepuração do manancial, o teor de oxigênio dissolvido pode alcançar valores muito baixos, ou zero, extinguindo-se os organismos aquáticos aeróbios.

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio: é a quantidade de oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica por ação de bactérias aeróbias. Re-



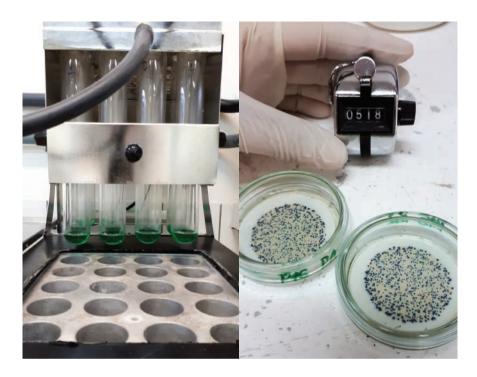


figura 20 ^

Bloco digestor de nitrogênio total.

figura 21 ^

Contagem de coliformes termotolerantes da foz do Rio Maquiné em out/2018.

figura 22 >

Medição de temperatura em campo.

figura 23 >

Cápsulas sendo colocadas na estufa para análise de resíduos totais.

figura 24 >

Análise da turbidez através do espectrofotômetro UV/VIS.

presenta, portanto, a quantidade de oxigênio que seria necessário fornecer às bactérias aeróbias para consumirem a matéria orgânica presente em um líquido (água ou esgoto). A DBO é determinada em laboratório, observando-se o oxigênio consumido em amostras do líquido, durante 5 dias, à temperatura de 20 °C.

Nitrogênio Total: pode estar presente na água sob várias formas e é um elemento indispensável ao crescimento de algas, mas, em excesso, pode ocasionar um exagerado desenvolvimento desses organismos, fenômeno chamado de eutrofização. O nitrato na água pode causar a metemoglobinemia e a amônia é tóxica para os peixes, por exemplo. As causas de aumento do nitrogênio na água são esgotos domésticos e industriais, fertilizantes, excrementos de animais, entre outros.

Coliformes Termotolerantes: é um parâmetro bacteriológico básico na caracterização e na avaliação da qualidade das águas em geral, e ocorrem no trato intestinal de seres de sangue quente e quando encontrados na água, significa que a mesma recebeu esgotos domésticos e/ou recebeu carga através da lixiviação, podendo conter microrganismos causadores de doenças. Eles não são patogênicos, mas sua presença em grande número indica a possibilidade da existência de micro-organismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica como, por exemplo, disenteria bacilar, febre tifoide e cólera.

Temperatura da água: todos os corpos d'água apresentam variações de temperatura ao longo do dia e das estações do ano. No entanto, o lançamento de efluentes com altas temperaturas pode causar impacto significativo nos corpos d'água. A medida da intensidade de calor é um parâmetro importante, pois influi em algumas propriedades da água como densidade, viscosidade e oxigênio dissolvido, com reflexos sobre a vida aquática.

Resíduos totais: é a matéria que permanece após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra de água durante um determinado tempo e temperatura. Intemperismo natural, mineração, resíduos industriais, esgoto e agricultura são algumas das principais fontes de sólidos. Altos níveis de sólidos dissolvidos totais tornam a água menos adequada para beber e irrigar.

Turbidez: é a medida da dificuldade de um feixe de luz atravessar uma certa quantidade de água, conferindo uma aparência turva à mesma. A alta turbidez afeta a preservação dos organismos aquáticos, o uso industrial e as atividades de recreação. A erosão dos solos, atividades de mineração, assim como o lançamento de esgotos e de efluentes industriais são fontes importantes que causam elevação da turbidez nas águas.

Com o cálculo do IQA, pode-se classificar a qualidade das águas brutas de uma amostra de água de um corpo hídrico, variando uma nota de 0 a 100 conforme apresentado na tabela 2.



Valor do IQA Estados: AP, MG, MT, PR	Valor do IQA Estados: BA, GO, ES, MS, SP	Qualidade da Água	Cor
91 - 100	91 - 100	Ótima	
71 - 90	71 - 90	Boa	
51 - 70	51 - 70	Aceitável	
26 - 50	26 - 50	Ruim	
0 - 25	0 - 25	Péssima	

Com dados obtidos entre 2014 e 2018 pelo Laboratório de Análises de Águas e Sedimentos - LAS do CECLIMAR/UFRGS (ROCHA et al, 2019), através do Projeto Taramandahy (CASTRO, D.; ROCHA, C. M., 2016) foi possível montar a tabela X, a qual demonstra em porcentagem quantas vezes determinado corpo hídrico teve suas águas classificadas como ótima, boa ou aceitável. De forma geral, considerando todos os corpos hídricos amostrados, o índice de qualidade de água esteve em apenas 10% dos episódios classificado como ótima, sendo classificado em 81% das amostras como boa, e 9% aceitável. Nenhuma amostragem foi classificada como ruim ou péssima. Entre todas as lagoas, a Bacopari foi a que demonstrou maior qualidade de água, com 61% da amostragem classificada como ótima. Em contrapartida, as lagoas do Passo, Caconde e Tramandaí não tiverem IQA ótimo em nenhuma das amostragens, sendo a Tramandaí a que apresentou qualidade inferior, com 67% das amostras classificadas como boas e 33% como aceitáveis. Isso pode estar ligado ao fato de este corpo hídrico receber águas dos demais, já que é o ponto de encontro entre as sub-bacias sul, norte e mar, recebendo carga de nutrientes proveniente de todos os corpos hídricos da Bacia e também, ser a lagoa com seu entorno mais antropizado.

Com base nos dados obtidos sobre os rios, em nenhum momento foram classificados com qualidade ótima para suas águas, sendo 74% das amostras boas e 26% aceitáveis. Válido ressaltar a nascente do Rio Maquiné, que em 45% da amostragem foi classificada como aceitável; o que corroborou essa classificação foram episódios de coliformes termotolerantes altíssimos associados a oxigênio e pH baixos.

Identificação	Óŧima	% Boa	Aceitável
Lagoa Itapeva	12	80	8
Lagoa dos Quadros	10	90	0
Lagoa do Passo	0	97	3
Laguna de Tramandaí	0	67	33
Lagoa do Gentil	8	93	0
Lagoa da Fortaleza	17	80	3
Lagoa de Cidreira	20	80	0
Lagoa da Rondinha	20	77	3
Laguna Bacopari	61	39	0
Lagoa do Caconde	0	100	0
Lagoa da Porteira	25	75	0
Nascente do Rio Três Forquilhas	0	70	30
Foz do Rio Três Forquilhas	0	100	0
Nascente do Rio Maquiné	0	52	48
Foz do Rio Maquiné	0	75	25
Balneário Maquiné	0	83	17

4.2.2. Enquadramento CONAMA

No Brasil, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 (BRASIL, 2005), estabeleceu condições de qualidade para o enquadramento dos corpos hídricos em território nacional, de acordo com os seus usos preponderantes, e para o lançamento de efluentes. Essa resolução fixou limites superiores ou inferiores para diversas variáveis em sistemas de água doce, salobra e salina, com classes especiais 1, 2, 3 ou 4, sendo esta última a que indica pior qualidade de água e uso menos exigente, como por exemplo, navegação.

Para as amostras coletadas entre 2014 e 2018 dos corpos hídricos da Bacia hidrográfica do Rio Tramandaí (BHRT) foram considerados para classificação do enquadramento os seguintes parâmetros: clorofila α, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), fósforo total, pH, nitrito, nitrogênio total, sólidos totais, sulfato, turbidez e coliformes termotolerantes. Baseado nesses dados, foi possível

observar a classificação máxima, média e a classe aprovada de enquadramento na resolução do Conselho de Recursos Hídricos (CRH) do Rio Grande do Sul (CRH/RS, 2008), obtendo como resultado o gráfico 3.

O que se pode observar é que, embora a proposição de enquadramento seja classe 1 para maioria dos corpos hídricos, com exceção da Lagoa Itapeva que é classe 2, nossas águas não refletem esta qualidade. Como exemplo, as Lagoas Tramandaí, Passo e Quadros foram enquadradas como classe 1 apenas 20, 23 e 28% das vezes, respectivamente, e a nascente do Rio Três Forquilhas apenas 30%. Em geral, 57% das amostragens foram classificadas fora do enquadramento aprovado, o que preocupa muito, já que a qualidade das águas não está indo ao encontro das classes do enquadramento.

Dos 16 pontos analisados, em 9 deles existiram episódios em que a classe 4 foi atingida, sendo eles: Itapeva, Quadros, Passo, Fortaleza, Cidreira, Rondinha, Bacopari, Foz do Rio Maquiné e Balneário Maquiné. Para as lagoas Tramandaí e Gentil o má-

< tabela 2

Classificação dos valores do Índice de Qualidade das Águas nos estados brasileiros. Fonte: Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil - Agência Nacional de Águas (2005).

< tabela 3

Classificação do IQA (%) por corpo hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí e a classificação geral. Fonte: Milani, 2019.

gráfico 3 >

Variação do enquadramento médio e máximo no período de 2014 a 2018 e o enquadramento aprovado pelo CRH do Rio Grande do Sul (CRH/RS, 2008). Fonte: Milani, 2019.

ximo foi 3, porém, para águas salobras a classificação máxima descrita na CONAMA é a 3. Dentre todos corpos hídricos analisados, apenas Itapeva e a Foz do Rio Três Forquilhas tiveram suas médias conforme enquadramento, os demais ficaram acima, o que configura um caminho contrário ao que se espera quanto a qualidade dos tributários da Bacia.

A lagoa do Bacopari por muito tempo foi exemplo de qualidade de água na Bacia do Rio Tramandaí, porém com essa análise, sua média ficou em classe 2, e em alguns episódios chegou alcançar classe 4, o que é alarmante.

Considerando todos os dados de enquadramento obtidos entre 2014 e 2018, de forma geral, obtivemos 57% das amostragens classificadas fora do enquadramento proposto conforme seus usos. Com os resultados obtidos, de uma forma geral, as lagoas ultrapassam a classificação proposta pelo enquadramento no plano de bacia e evidenciam uma involução da qualidade das águas que estão associadas aos efeitos antrópicos, seja de ocupação urbana ou mesmo atividade agrícola.

tabela 4 >

Demonstrativo da quantidade (%) de episódios que determinado corpo hídrico esteve dentro ou fora do enquadramento aprovado pelo CRH do Rio Grande do Sul (CRH/RS, 2008) com base em dados de 2014 a 2018. Fonte: Milani, 2019.

foto 25 e 26 >

Monoculturas de base química, fonte de contaminação do solo, água e alimentos.

Corpo Hídrico	Dentro do enquadramento proposto (%)	Fora do enquadramento proposto (%)
Lagoa Itapeva	77	23
Lagoa dos Quadros	28	72
Lagoa do Passo	23	77
Laguna de Tramandaí	20	80
Lagoa do Gentil	40	60
Lagoa da Fortaleza	50	50
Lagoa de Cidreira	52	48
Lagoa da Rondinha	42	58
Laguna Bacopari	62	38
Lagoa do Caconde	39	61
Lagoa da Porteira	75	25
Nascente do Rio Três Forquilhas	30	70
Foz do Rio Três Forquilhas	75	25
Nascente do Rio Maquiné	39	61
Foz do Rio Maquiné	75	25
Balneário Maquiné	39	61

4.2.3. Contaminação por agrotóxicos nas águas da BHRT

Os corpos hídricos estão constantemente sendo contaminadas por agrotóxicos (figura 26) e perdem apenas, em termos de quantidade, para a contaminação gerada por esgotos domésticos (IBGE, 2011). No tocante da contaminação causada por agrotóxicos, o uso desses produtos é recebido por rios e lagoas a partir de lançamentos e/ou por escoamento superficial de locais onde estes compostos são aplicados. De acordo com a Lei Nº 7.802 de junho de 1989, que regulamentou o uso do termo "agrotóxico" como a no-

menclatura correta a ser utilizada, os agrotóxicos são utilizados nos setores de produção, armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, pastagens, florestas nativas ou plantadas, e de outros ecossistemas e ambientes urbanos, hídricos e industriais, sendo produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos.

Essas substâncias têm a função de alterar os componentes florísticos ou faunísticos com a finalidade de protegê-los de seres nocivos à agricultura. Os produtos utilizados na lavoura com o intuito de desfolhar, dessecar, estimular e inibir crescimento, também são considerados como agrotóxicos (BRASIL, 1989).

A exposição aos agrotóxicos é considerada grave pelo Ministério da Saúde, entre os efeitos nocivos estão a puberdade precoce, aleitamento alterado, di-

minuição da fertilidade feminina e na qualidade do sêmen; além de alergias, distúrbios gastrintestinais, respiratórios, endócrinos, neurológicos e neoplasias.

Considerando que o sistema de tratamento convencional não é capaz de remover os agrotóxicos da água, o esforço deve ser na prevenção. Ações de controle e prevenção só podem ser tomadas quando os resultados de testes ultrapassam o máximo permitido em lei, e isso é um grande problema: o Brasil não tem um limite fixado para regular a mistura dessas substâncias, e seus limites são muito altos quando comparados com limites da União Européia, que determina que o Valor Máximo Permitido (VMP) para qualquer composto em água para consumo humano não deve ultrapassar 0,1 µg/L, sendo que a soma de todos os compostos presentes não pode ultrapassar 0,5 µg/L por exemplo.



A Portaria RS/SES N° 320 de 24/04/2014, foi estabelecida no Rio Grande do Sul pela Secretaria de Estado da Saúde e estabelece parâmetros adicionais e específicos de agrotóxicos a fim de aumentar a rigidez no controle e vigilância para água de consumo humano no RS, determinando que os serviços de abastecimento de água passem a analisar a presença dos agrotóxicos mais usados nas lavouras gaúchas, além dos que já constam na Portaria da consolidação N°5 de 2017, do Ministério da Saúde.

Os dados sobre contaminantes deste tipo na bacia são escassos, porém alguns estudos prévios realizados pelo projeto "Desenvolvimento de métodos para análise de agrotóxicos e antiparasitários em filé de peixe, água e sedimento por LC-DAD e GC-MS", parceria entre o Laboratório de Análise de Águas e Sedimentos (LAS) da UFRGS e o Laboratório de Análise de Resíduos e Contaminantes (LARCO) da FURG, já mostram a presença deles. Em amostras de águas (BÜHLER, 2018) de lagoas da bacia coletadas de agosto 2017 à janeiro 2018 foram encontrados Aletrina, Fenpropatrina, Bifentrina e Tetrametrina, como mostra a tabela abaixo. Bifentrina com concentração abaixo do estipulado pela Portaria 320/2014, as demais não estão na legislação brasileira, porém, todas

acima dos limites da União Européia.

Aletrina foi encontrada em 4 pontos distintos: Tramandaí, Gentil, Rondinha e Bacopari. Aletrina também não possui VMP, contudo a concentração encontrada está muito acima do recomendado pela União Européia, principalmente para a Laguna Tramandaí em janeiro/18. Aletrina é o ingrediente ativo de inseticidas domésticos e sua distribuição em diferentes pontos pode estar ligada ao seu uso contínuo.

Tetrametrina é usada como inseticida, não possui valor máximo permitido na legislação brasileira, porém sua concentração está acima do recomendado pela União Européia nas lagoas Itapeva, Gentil e Rondinha.

A **fenpropatrina** foi encontrada nas lagoas Quadros, Tramandaí, Cidreira e Bacopari. Segundo a ANVISA, fenpropatrina é um composto que pode ser usado para diversas culturas, o que pode contribuir para sua distribuição em diferentes pontos. Fenpropatrina não possui valor máximo permitido contemplado pelas legislações do Brasil, porém a concentração encontrada foi mais alta do que o recomendado pala União Européia em todos os pontos em que foi detectada.

Bifentrina pode ser aplicada em arroz, ceva-

Composto	Itapeva	Quadros	Tramandaí	Gentil	Cidreira	Rondinha	Bacopari
Aletrina							
Fenpropatrina							
Bifentrina							
Tetramentrina							

da, feijão, milho e trigo armazenados e na cultura da banana (saco para proteção do cacho) e foi detectada nas lagoas Itapeva e Tramandaí, com concentração abaixo do estipulado pela Portaria 320/2014, porém, acima dos limites da União Européia.

Estudo para análise de piretróides em peixes (OLIVEIRA, 2019), com coleta de cinco amostras de peixes da Laguna Tramandaí, onde três delas eram Tainhas (A, B e C) e duas Traíras (X e Y), resíduos de bifentrina foram detectados nos indivíduos A, B e X, sendo neste último detectado concentração acima do limite permitido pela legislação brasileira. E fenpropatrina foi detectada no individuo C, também acima do limite permitido. Os resíduos de piretróides nestas amostras podem estar relacionados com o cultivo de arroz, banana e vegetais que são muito comuns na região da bacia.

Com base em dados do Sisagua (SISAGUA, 2018), o Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água do Ministério da Saúde, agrotóxicos foram detectados na água que abastece mais de 2.300 cidades do Brasil de 2014 a 2017. Nesse período, as empresas de abastecimento testaram todos os 27 pesticidas que são obrigados por lei a testar. Desses, 16 são classificados pela ANVISA como extremamente ou altamente tóxicos e 11 estão associados ao desenvolvimento de doenças crônicas.

Analisando as cidades pertencentes à bacia e que têm seu abastecimento público oriundo de manancial da mesma, obteve-se a tabela 5, que demonstra em quais cidades foram realizados os testes e em quais foram detectados esses poluentes. Das 15 cidades com abastecimento por manancial da BHRT, 8 delas nunca foram testadas e em 4 nunca foram detectados. Como pode-se observar, nas cidades de Dom Pedro de Alcântara, Imbé e Tramandaí foram detectados 2, 16 e 27 contaminantes, respectivamente.

Todos os poluentes encontrados estão abaixo dos limites estabelecidos pela legislação brasileira, porém, alguns detectados acima dos limites da União Européia. Nas cidades de Imbé e Tramandaí observou-se a presença de DDT, que é proibido no Brasil desde 2009, o que configura uso ilegal e/ou sua característica de Poluente Orgânico Persistente (POP), ficando por muitos e muitos anos no ambiente. É evidente a necessidade de um monitoramento contínuo para esses contaminantes, visto que grande parte da água disponível na bacia tem seu uso para agricultura.

< tabela 5

Compostos orgânicos detectados nas amostras de águas das lagoas da Bacia do Rio Tramandaí em amostragens realizadas de agosto de 2017 à janeiro de 2018. Fonte: Adaptado de Bühler (2018).

tabela 6 >>

Municípios com abastecimento público por manancial da BHRT, tipo de captação e presença de agrotóxicos em testes realizados pelas companhias de abastecimento. Fonte: Adaptação do Relatório Técnico 3 do Plano de Bacia (STE, 2018) e dados do Ministério da Saúde (SISAGUA, 2018).

<u>Município</u>	Operador	Tipo de Captação	Manancial	Agrotóxicos
Arroio do Sal	Corsan	Superficial	Rio Cornélios	Nunca testado.
Balneário Pinhal	Corsan	Superficial e Subterrâneo	Lagoa da Fortaleza /Aquífero	Nunca testado.
Capão da Canoa	Corsan	Superficial	Lagoa dos Quadros /Rio Cornélios	Nunca testado.
Cidreira	Corsan	Superficial	Lagoa da Fortaleza	Nenhum encontrado.
Imbé	Corsan	Superficial	Lagoa dos Veados	Alaclor, Atrazina, Clordano, DDT+DDD+DDE, Glifosato, Lindano, Permetrina, Trifularina, 2, 4D + 2, 4, 5 T, Aldrin, Endossulfan, Endrin, Metolacloro, Molinato, Pendimentalina, Simazina.
Itati	Prefeitura Municipal	Subterrâneo	Aquífero	Nunca testado.
Maquiné	Prefeitura Municipal	Superficial e Subterrâneo	Rio Maquiné/ Arroio Escangalhado /Aquífero	Nunca testado.
Osório	Corsan	Superficial e Subterrâneo	Aquífero /Lagoa do Passo	Nenhum encontrado.
Terra de Areia	Corsan	Superficial e Subterrâneo	Rio Cornélios	Nunca testado.
Tramandaí	Corsan	Superficial e Subterrâneo	Lagoa Emboaba /Aquífero	Alaclor, Atrazina, Carbendazim, Clordano, DDT+DDD+DDE, Diuron, Glifosato, Lindano, Mancozebe, Permetrina*, Trifularina*, Aldicarbe, Aldrin, Carbofurano, Clorpirifós, Endossulfan, Endrin, Metamidofós, Metolacloro, Molinato, Parationa Metílica, Pendimentalina*, Profeno- fós, Simazina, Tebuconazol, Terbufós.
Três Cachoeiras	Corsan	Subterrâneo	Aquíferos	Nenhum encontrado.
Três Forquilhas	Prefeitura Municipal	Subterrâneo	Aquíferos	Nunca testado.
Xangri-lá	Corsan	Superficial	Lagoa dos Quadros	Nunca testado.
Torres	Corsan	Superficial	Lagoa Itapeva	Nenhum encontrado.
Dom Pedro de Alcântara	Soc. Fornecedora de Água	Subterrâneo	Aquífero	Atrazina*, Glifosato.

^{*}Concentrações acima do limite permitido na União Européia.

4.3. PROJEÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DOS CORPOS HÍDRICOS

Monitoramentos ambientais de longo período são importantes para compreensão de padrões cíclicos, relações de dependência e tendências a médio e longo prazo. A aquisição de dados de múltiplos ciclos, anuais e sazonais, garante maior robustez para inferir como isso se projeta no futuro. Entretanto, em regiões onde há a ocorrência de fenômenos climáticos expressivos, como por exemplo, as oscilações *El Niño* (ENSO) e *La Niña* (LNSO) no sul do Brasil (INPE/CPTEC, 2019), são necessários repetidos períodos de cada fenômeno ou mesmo de neutralidade para compreender suas influências e como o ambiente oscila entre tais períodos.

O monitoramento de qualidade de água dos corpos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí (BHRT), executado pelo Laboratório de Águas e Sedimentos do Ceclimar/UFRGS, uma das bases mais longas, completas e com frequência mensal, se estende desde 2009 aos dias atuais. Neste período, de

acordo com o INPE/CPTEC (2019), ocorreram 2 períodos de *El Niño* (moderado em 2009-10 e forte em 2015-16) e outros 2 períodos de *La Niña* (ambos moderados em 2010-11 e 2017-18). A ausência dos fenômenos é caracterizada como neutralidade, sendo eles registrados em 2011-12, 2012-13, 2013-14, 2014-15, 2016-17. O gráfico 4 revela o registro histórico das taxas de precipitação mensais de 2009 a 2019.

Tais oscilações, que são reflexo de variações na temperatura média da superfície no Oceano Pacífico, refletem na pluviosidade regional.

Com base nestes e em dados analíticos determinados em laboratório, foram avaliadas as tendências dos últimos 10 anos, ponderando sobre as mudanças já observadas, bem como projetando estimativas para os próximos 10, 20 e 30 anos, consideradas alterações de curto e médio prazo. Avaliando os principais parâmetros analisados é possível perceber certa involução na qualidade de água, especialmente para descritores como nutrientes, oxigênio dissolvido e bactérias.



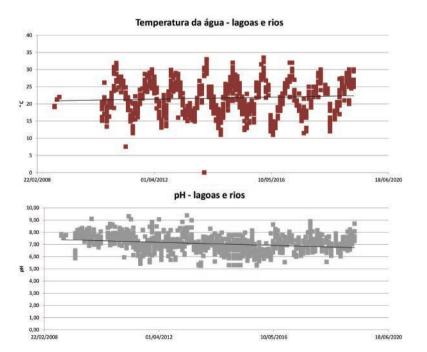
< gráfico 4

Registro mensal da pluviosidade acumulada (mm/mês) para a estação de Torres/RS do Instituto Nacional de Meteorologia, entre 2009 e 2019, com indicação dos períodos de *El Niño*, *La Niña* e neutralidade conforme INPE/CPTEC (2019).

Período 2009-2019

Sob o aspecto geral dos dados, considerando amostragens feitas entre abril/2009 e abril/2019 em lagoas e rios da região já mencionados anteriormente, pode-se perceber alterações expressivas no período, podendo-se citar o aumento de aproximadamente 7 % na temperatura média das águas; redução de cerca de 11% nos valores médios de pH, redução dos teores de oxigênio dissolvido (OD) da ordem de 1,1 mg/L; aumento da faixa não detectável para, aproximadamente, 0,03 mg/L de nitrogênio amoniacal, além de um incremento de 4,5 vezes na ocorrência da bactéria *Escherichia coli* nas águas.

Os dados de temperatura da água evidenciam



os ciclos sazonais com médias, em 2009, de 21,6°C (mín 13,4°C, máx 31,9°C) as quais passaram para 23,1°C (mín 20,0°C, máx 30,0°C) em 2019, como demonstra o gráfico 5. Tais ciclos são considerados normais e, embora pareçam elevados, esses aumentos alinham-se com os aumentos verificados em função do aquecimento global.

Já os resultados de pH passaram de, aproximadamente, 6,31 para 5,58 (gráfico 6). Este decréscimo expressivo coloca as águas como fora de classe, uma vez que a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece que estas devam estar entre pH 6 a 9. Tais reduções de pH são bastante expressivas e alertam para mudanças ambientais, tanto de fauna, quando de flora, em função da resistência de alguns organismos quando alteradas as faixas ideais de sobrevivência.

A restrição dos organismos a alguns ambientes também é definido pelo teor de oxigênio disponível, quando muito baixos podem tornar-se "zonas mortas". O decréscimo nos teores de OD observado no período monitorado evidencia piora na qualidade nestes últimos anos passando de cerca de 6,78 para 5,69 mg/L como ilustrado pelo gráfico 7.

< gráfico 5

Evolução da temperatura média das águas de corpos hídricos da BHRT entre 2009 e 2019.

< gráfico 6

Evolução do pH médio das águas de corpos hídricos da BHRT entre 2009 e 2019.

gráfico 7 >

Evolução dos teores de oxigênio dissolvido médio das águas de corpos hídricos da BHRT entre 2009 e 2019.

gráfico 8 >

Evolução, em escala logarítmica, da ocorrência média da bactéria Escherichia coli nas águas de corpos hídricos da BHRT entre 2009 e 2019. Os resultados de nitrogênio amoniacal, antes não detectáveis, hoje passam a média de 0,03 mg/L, sendo este reconhecido nutriente vinculado ao não adequado esgotamento sanitário, entre outras fontes. Entretanto outro componente que é carreado por esgotos domésticos, o fósforo mostrou redução. Os teores de fósforo total passaram de, aproximadamente, 0,05 para 0,02 mg/L. Tais resultados indicam que o nitrogênio possa ser oriundo de outra fonte já que não se observa o mesmo comportamento para o fósforo, sendo o mais plausível para região, a inserção de fertilizantes nitrogenados que chegam aos cursos de rios facilmente. Inclusive, porque a região tem histórico de aplicações intensas e repetitivas em vista da atividade agrícola que se desenvolve ali.

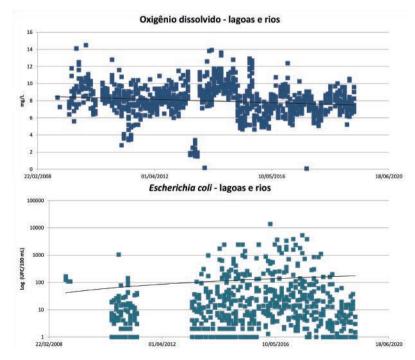
A criação de animais, outra atividade observada na região, pode ter contribuído para os dados microbiológicos. Estes demonstraram aumento da ocorrência da bactéria *Escherichia coli*, indicador de contaminação fecal das águas, de 35 para 162 UFC/100 ml (gráfico 8).

Quando observados os dados de rios em separado dos dados de lagoas, neste período, destacam-se as seguintes tendências para os rios: aumento da concentração média de nitrogênio amoniacal de 0,07 para 0,14 mg/L, em média, e de temperatura de 19,3 para 20,1° C; redução de pH de 7,01 para 6,65, enquanto o OD passou de 9,85 para 8,75 mg/L. Esse maior incremento de nitrogênio observado para os rios, reforça a ideia de fonte vinculada a produtos agrícolas, já que os rios são regiões dominadas pela agricultura, especialmente de curtos ciclos, como hortalicas.

Já para as lagoas costeiras, o destaque está no

aumento da temperatura das águas de 22,1 para 23,9° C e também das colônias de *E. coli* antes próximas do zero aos atuais 130 UFC/100 mL; e na redução de pH de 6,00 ao patamar de, aproximadamente, 5,27, enquanto o OD passou de 7,69 aos 6,60 mg/L.

Tanto para as lagoas doces quanto para as salobras, a salinidade mostrou-se reduzida no período amostrado, evoluindo de, aproximadamente, 0,26 para 0,19 nas lagoas doces e de 6,25 para 4,79 nas salobras. Embora a tendência de chuvas para o período seja estável (média 140 mm/mês), entre os anos de 2009 e 2019 houve um aumento na pluviosidade de 30%, que pode explicar a redução de salinidade tanto nos corpos lagunares doces ou salobros.



Especificamente sobre a Laguna de Tramandaí, representante do ambiente estuarino, destaca-se o aumento da já elevada ocorrência de $E.\ coli$, passando de cerca de 25.000 UFC/100 mL para mais de 26.500 UFC/100 mL. Também o aumento das concentrações de nitrogênio amoniacal $(0,02 \rightarrow 0,04\ mg/L)$ e de fósforo total $(0,21 \rightarrow 0,22\ mg/L)$, em contraponto da redução de oxigênio dissolvido $(7,02 \rightarrow 5,56\ mg/L)$.

Se o estuário é fim de curso das águas que circulam pela BHRT e alcançam o oceano, estando sob efeito antrópico cumulativo, a Lagoa do Bacopari está no cenário oposto, sendo ainda uma das lagoas mais isoladas da região. Quando o monitoramento de águas se iniciou, poucos moradores e visitantes eram registrados, mas assim como a qualidade das águas teve piora expressiva, hoje o número de moradores e visitantes está em muito ampliado. Aumento nas concentrações de nitrogênio amoniacal (ND → 0,03 mg/L) e de Escherichia coli $(0,2 \rightarrow 13,0 \text{ UFC}/100 \text{ mL})$, somado a redução do pH $(8,04 \rightarrow 7,68)$ e dos teores de oxigênio dissolvido nas águas $(8,22 \rightarrow 6,39 \text{ mg/L})$, mostram que o comprometimento da qualidade das águas não é exclusiva de áreas consolidadas, mas que ao mínimo sinal de uso/ocupação, já observa-se impacto.

Período 2019-2049

Nesta seção, vamos abordar os resultados de qualidade de água previstos para os próximos 10, 20 e 30 anos, baseados nas tendências observadas no período monitorado de 2009 a 2019.

Rios e Lagoas

A involução observada na maioria dos descritores ambientais se intensifica, sendo que de forma geral os dados de temperatura média das águas da BHRT evidenciam os ciclos sazonais com tendência linear ao aumento da ordem de 0,0004°C/dia, como demonstra a figura F, alcançando médias de 24,5°C em 2029; 26,0°C em 2039 e, aproximadamente, 27,5°C em 2049.

Já os resultados de pH, resultam em uma tendência ao decréscimo de 0,0002/dia, como demonstra a figura G. Trata-se de um decréscimo expressivo que, inclusive, mantém as águas fora da faixa definida pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que seria de 6 a 9. Mantida esta tendência, teríamos pH médio em 10 anos de, aproximadamente, 4,85, considerado ambientalmente baixo.

As projeções de oxigênio dissolvido também são mais baixas, sendo 4,59; 3,50 e 2,40 mg/L para o próximos 10, 20 e 30 anos, respectivamente, justificados por uma tendência de redução de 0,0003 mg/L ao dia. Caso confirmada, trata-se de uma queda acentuada que, em poucos mais de 10 anos, enquadraria essas águas como Classe 4, a pior classe prevista, onde as águas se destinam apenas à navegação e harmonia paisagística. A figura H evidencia este comportamento.

Quanto aos nutrientes fósforo e nitrogênio, o primeiro alcançaria níveis não detectáveis em menos de 10 anos por conta da tendência linear a decréscimo que é prevista, enquanto para o segundo essa tendência é positiva da ordem de 1x10-5 mg/L ao dia e

que em 2029 alcançaria, em média, 0,06 mg/L; 0,10 mg/L em 2039 e 0,14 mg/L em 2049. Considerando as normativas vigentes, tratam-se ainda de teores baixos, distantes dos limites estabelecidos, mas que combinados com outros fatores resultam na perda de qualidade.

Os resultados de *E. coli* mostram aumento da ordem de 0,0348 UFC/100 mL por dia (figura I), alcançando, aproximadamente, 289; 416 e 543 UFC/100 mL nos anos 2029, 2039 e 2049, respectivamente.

Quando observados de forma mais específica cada um dos grupos, como de lagoas e rios, ou mesmo o estuário, os resultados apresentam variações em suas tendências, detalhadas na tabela 7.

gráfico 9 >

Estimativa de evolução até 2049, baseado em dados de monitoramento 2009-2019, da temperatura média das águas de corpos hídricos da BHRT.

gráfico 10 >

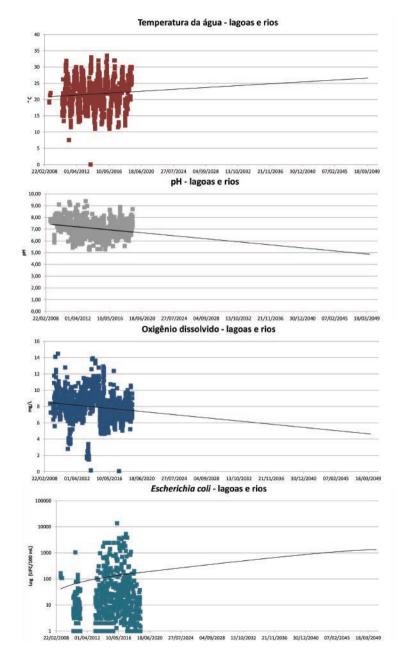
Estimativa de evolução até 2049, baseado em dados de monitoramento 2009-2019, do pH médio das águas de corpos hídricos da BHRT.

gráfico 11 >

Estimativa de evolução até 2049, baseado em dados de monitoramento 2009-2019, da concentração média de oxigênio dissolvido nas águas de corpos hídricos da BHRT.

gráfico 12 >

Estimativa de evolução até 2049, , baseado em dados de monitoramento 2009-2019, em escala logarítmica, da ocorrência média de *Escherichia coli* nas águas de corpos hídricos da BHRT.



Corpo Hídrico	Descritores	2019	2029	2039	2049
		Medido		Projetado	
Rios e Lagoas	N. amoniacal (mg/L)	0,03	0,06	0,10	0,14
THOS C LUGOUS	E. coli (UFC/100 mL)	161,88	288,90	415,92	542,94
	Oxigênio dissolvido (mg/L)	5,69	4,59	3,50	2,40
	Fósforo total (mg/L)	0,02	ND	ND	ND
	pH	5,58	4,85	4,12	3,39
	Temperatura (°C)	23,07	24,53	25,99	27,45
Rios	N. amoniacal (mg/L)	0,14	0,21	0,29	0,36
	E. coli (UFC/100 mL)	255,81	32,07	ND	ND
	Oxigênio dissolvido (mg/L)	8,75	7,66	6,56	5,47
	Fósforo total (mg/L)	ND	ND	ND	ND
	рН	6,65	6,28	5,92	5,55
	Temperatura (°C)	20,08	20,81	21,54	22,27
Lagoas	N. amoniacal (mg/L)	0,02	0,06	0,09	0,12
	E. coli (UFC/100 mL)	130,00	274,91	419,81	564,72
	Oxigênio dissolvido (mg/L)	6,60	5,50	4,41	3,31
	Fósforo total (mg/L)	0,04	0,02	ND	ND
	pH	5,27	4,54	3,81	3,08
	Temperatura (°C)	23,91	25,73	27,56	29,38
Lagoas doces	N. amoniacal (mg/L)	0,03	0,06	0,09	0,13
O	E. coli (UFC/100 mL)	34,03	51,55	69,07	86,59
	Oxigênio dissolvido (mg/L)	6,46	5,36	4,27	3,17
	Fósforo total (mg/L)	0,01	ND	ND	ND
	pH	5,36	4,63	3,90	3,17
	Salinidade	0,19	0,12	0,05	ND
	Temperatura (°C)	22,77	24,23	25,69	27,15
Lagoas salobras	N. amoniacal (mg/L)	0,02	0,06	0,10	0,13
O	E. coli (UFC/100 mL)	565,12	1274,32	1983,51	2692,71
	Oxigênio dissolvido (mg/L)	7,15	6,06	4,96	3,87
	Fósforo total (mg/L)	0,06	0,06	0,05	0,05
	рН	8,95	8,58	8,22	7,85
	Salinidade	4,79	3,33	1,87	0,41
	Temperatura (°C)	23,64	26,56	29,48	32,40
Laguna	N. amoniacal (mg/L)	0,04	0,05	0,07	0,08
Tramandaí	E. coli (UFC/100 mL)	26553,06	27714,85	28876,65	30038,44
Haillallual	Oxigênio dissolvido (mg/L)	5,56	4,10	2,64	1,18
	Fósforo total (mg/L)	0,22	0,23	0,23	9,24
	рН	8,96	8,59	8,23	7,86
	Salinidade	6,69	5,59	4,50	3,40
	Temperatura (°C)	23,50	27,15	30,80	34,45
Lagoa do	N. amoniacal (mg/L)	0,03	0,06	0,09	0,13
Bacopari	E. coli (UFC/100 mL)	13,00	25,78	38,55	51,33
Dacopali	Oxigênio dissolvido (mg/L)	6,39	4,57	2,74	0,92
	pН	7,68	7,31	6,85	6,58

< tabela 7

Prospecção de dados físicos, químicos e microbiológicos para os corpos hídricos da BHRT para 2029, 2039 e 2049 baseado nas tendências estabelecidas com base em dados do período 2009 – 2019.

gráfico 13 >

Estimativa de evolução até 2049, baseado em dados de monitoramento 2009-2019, da temperatura média das águas de rios da BHRT.

gráfico 14 >

Estimativa de evolução até 2049, baseado em dados de monitoramento 2009-2019, da concentração média de oxigênio dissolvido das águas de rios da BHRT.

gráfico 15 >

Estimativa de evolução até 2049, baseado em dados de monitoramento 2009-2019, do pH médio das águas de lagoas da BHRT.

gráfico 16 >

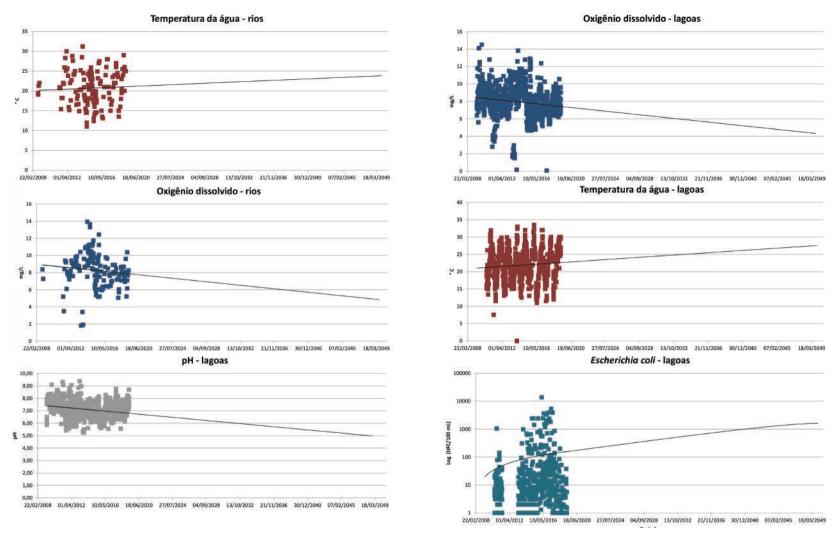
Estimativa de evolução até 2049, baseado em dados de monitoramento 2009-2019, da concentração média de oxigênio dissolvida nas águas de lagoas da BHRT.

gráfico 17 >

Estimativa de evolução até 2049, baseado em dados de monitoramento 2009-2019, da temperatura média das águas de lagoas da BHRT.

gráfico 18 >

Estimativa de evolução até 2049, baseado em dados de monitoramento 2009-2019, da ocorrência de *Escherichia coli* nas águas de lagoas da BHRT.



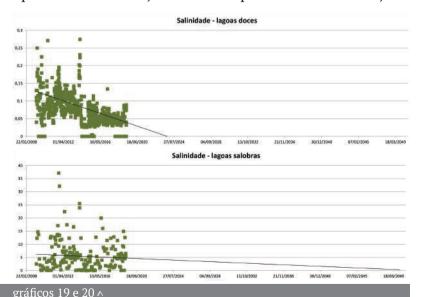
Nos rios também ficam reduzidas as colônias de *E. coli*, assim como são prospectadas reduções de pH, ficando abaixo do limite de pH 6 já nos próximos 15 anos. Vale ressaltar que reduções de pH contribuem para maior lixiviação das rochas, oportunizando a liberação de elementos a elas associadas, como metais, além de possíveis efeitos à biota, ainda que a redução esteja na faixa de 5% a cada década.

Aumentos progressivos na temperatura das águas são prospectados, aproximadamente 4% a cada período

de 10 anos, como ilustrado pela figura J, o que pode contribuir para as observadas reduções de oxigênio dissolvido, além de outros impactos à biota. Esta redução é ainda mais expressiva, uma média de 13% a cada período de 10 anos, fazendo com que o OD se reduza a menos de 7 mg/L em, aproximadamente, 15 anos (gráfico 14).

Lagoas

Ainda que as projeções para as concentrações de nitrogênio amoniacal nas lagoas costeiras sejam menos expressivas do que aquelas esperadas para os rios, isso é compensado negativamente por alterações em outros descritores. Um destes é o pH, ilustrado no gráfico 15, com prospecção de redução acelerada de, aproximadamente, 14% a cada período de 10 anos, se-



Estimativa de evolução até 2049, baseado em dados de monitoramento 2009-2019, da salinidade média nas águas de lagoas a) doces e b) salobras da BHRT.

melhante ao observado para os teores de OD, redução de 17% a cada década, passando da atual Classe 2 para Classe 3 nos próximos 15 anos e Classe 4 em menos de 25 anos (gráfico 16).

A temperatura média das lagoas também tende a aumentar duas vezes mais rápido do que o observado para os rios (gráfico 17), o que é explicado pelo aquecimento atmosférico combinado com maior tempo de residência, menor fluxo de águas e menor coluna de água. A tendência de incremento de *E. coli* nas lagoas diverge do visto para os rios e, nas lagoas, trata-se de um aumento expressivo de mais de 100% nos primeiros 10 anos e outros 50% na próxima década (gráfico 18).

Lagoas doces e salobras

Três descritores mostraram-se diferentes quando o grupo de lagoas foi avaliado em separado por lagoas doces e salobras, *E. coli*, pH e salinidade. Os registros de *Escherichia coli* demonstram um processo de contaminação diferenciado nos dias atuais, sendo uma ordem de grandeza maior nas lagoas salobras quando comparadas às doces, e uma previsão de evolução igualmente mais acelerada nas salobras, com 125% de aumento até 2029, mais 55% até 2039 e outros 35% até 2049. Para as lagoas doces esse aumento é da ordem de 51, 34 e 25%, respectivamente.

Os dados de pH tem redução mais expressiva para as lagoas doces, reduzindo-se em 40% em 30 anos, enquanto para as salobras este valor é de menos 13% no mesmo período.

Já a evolução da salinidade mostra-se mais expressiva nas lagoas salobras, inclusive mudando sua categorização da lagoa salobra (salinidade 4,79) nos dias atuais para lagoa doce (salinidade 0,41) em 30

anos (gráficos 19 e 20). Vale salientar que estes dados são médias obtidas a partir de amostragens mensais, indicando pequenas "fotografias" do ambiente. Inevitavelmente a conexão com o mar garantirá a inserção de sais no estuário e, possivelmente, nas lagoas adjacentes, mas outros fatores contribuem para um menor teor de salinidade nestes ambientes, como os processos de ampliação de descargas de águas doces, característicos, por exemplo, de invernos e períodos de influência do fenômeno *El Niño*, onde as taxas de pluviosidade ampliam-se (INPE, 2019).

Laguna Tramandaí

Além da redução na salinidade, a Laguna de Tramandaí apresenta tendência leve de aumento nas concentrações de nitrogênio amoniacal e fósforo total, cerca de 0,01 mg/L a cada década, e um aumento mais expressivo da temperatura média das águas de, aproximadamente, 3,6° C para cada período de dez anos. Possivelmente isto se reflita nas concentrações de oxigênio que mostram tendência ao decréscimo de forma acelerada, passando em média dos atuais 5,56 mg/L para 4,10 mg/L em 2029, 2,64 mg/L em 2039 e 1,18 mg/L em 2049.

Assim como o observado para o grupo das lagoas salobras, o perfil de evolução dos dados de contaminação por *E. coli* na Laguna de Tramandaí também evidencia aumento, aproximadamente 4% a cada período de 10 anos. Embora seja um crescimento mais tênue, os números atuais já encontram-se na faixa de 26.550 UFC/100 mL, muitíssimo além do desejado para este manancial tão importante para a região, sendo inclusive categorizados como a pior classe para corpos de águas salobros, recomendadas apenas para navegação.

Lagoa do Bacopari

Embora em menor escala, efeitos negativos já são prospectados para esta lagoa que é uma das mais bonitas e procuradas na BHRT.

Concentrações de nitrogênio amoniacal mostram tendência a dobrar nos próximos 10 anos, assim como o observado para a contaminação por *E. coli*. Reduções de pH e oxigênio dissolvido também são prospectadas, sendo respectivamente, média de 5% e 30% até 2029, piorando gradativamente até alcançar, aproximadamente, pH 6,95 e OD 2,74 mg/L, caso sejam mantidas as tendências observadas nesta última década.

Desta forma, fica evidente que, tanto numa avaliação geral, quanto pontual dos corpos hídricos da BHRT, observa-se o comprometimento da qualidade das águas. Praticamente todos os descritores discutidos nesta seção projetam um cenário pouco satisfatório. Ainda que controlar, por exemplo, a temperatura das águas seja impossível, descritores que se alteram por influência ou efeito de atividades econômicas devem ser reconsiderados.

Ações que reconheçam e discutam esta involução, especialmente pelo curto período decorrido, são necessárias. Caso se confirmem, as alterações prospectadas restringirão significativamente atividades e usos do recurso hídrico, além de exigirem melhores tratamentos para garantir a destinação ao abastecimento, isso sem mencionar os poluentes emergentes já registrados em nossos mananciais e que nem são considerados nestas projeções. Além disso, a comunicação do manancial superficial com o subterrâneo pode oportunizar a migração de contaminantes ao subterrâneo, comprometendo um compartimento inúmeras vezes maior e de longo alcance.

4.4. INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO SOBRE BIOMASSA E COMPRIMENTO DE PEIXES DA BACIA DO RIO TRAMANDAÍ

Lagoas costeiras são ecossistemas dinâmicos que fornecem serviços ecossistêmicos de grande importância, sendo fonte de água doce, pescado, áreas de lazer para pessoas e habitat para muitas espécies de animais e plantas. Com aumento populacional, cresce a demanda por recursos que comprometem esses ambientes e seus serviços. Sabemos que a urbanização ao entorno das lagoas acarreta consequências para os peixes, podendo estar envolvidos três fatores: maior pressão de pesca (mais próxima da cidade, mais pescadores pescando por mais tempo; mais poluição orgânica (esgoto) e maior poluição em geral (escoamento superficial, óleo) e mais ocupações urbanas nas margens de lagoas, que podem comprometer habitats usados como berçários para alevinos e outros peixes menores. A pesca pode afetar o tamanho e a estrutura populacional, já a poluição orgânica pode afetar os peixes de acordo com o hábito alimentar de cada espécie.

Dessa forma, existe a necessidade de compreender como as comunidades biológicas respondem aos impactos antrópicos. Esse estudo tem como objetivo avaliar e correlacionar a biomassa e o comprimento dos peixes com a influência antrópica. A área de estudo compreende 39 lagoas da bacia do rio Tramandaí. Utilizamos uma imagem de satélite representando a luz noturna como *proxy* de urbani-

zação e para cada lagoa extraímos a intensidade de luz noturna em um buffer de 5km ao redor de cada lagoa. Os dados de ictiofauna foram obtidos junto ao banco de dados de monitoramento das lagoas costeiras do laboratório de Ecologia de Populações e Comunidades do Departamento de Ecologia da UFRGS. Foram realizadas 22 expedições entre os anos de 2009 a 2012. As amostragens foram realizadas com rede de arrasto (10m de comprimento e 1,5m de altura, malha 15mm) com esforço amostral de 3 arrastos por ponto. Para quantificar a biomassa está sendo utilizada uma balança de precisão. Para a obtenção do tamanho (comprimento padrão) e biomassa, foram escolhidas cinco espécies de peixes mais frequentes nas amostragens: Diapoma alburnus, Geophagus brasiliensis, Gymnogeophagus lacustris, Hyphessobrycon luetkenii e Jenynsia multidentata.

Até o momento, obteve-se informações de 10 lagoas (Lessa Sul, Negra, Ramalhete, Lessa Norte, Malvas, Caieira, Quadros, Cerquinha Norte, Passo e Peixoto). O índice de urbanização variou entre 0.7% e 40.4% de luz noturna ao redor dessas lagoas. Resultados preliminares mostram que as espécies apresentam diferentes respostas ao índice de urbanização. *Diapoma alburnus* não apresentou tendência de alteração do tamanho corpóreo com gradiente de urbanização, mas a biomassa tende a diminuir. *Hyphessobrycon luetkenii* apresentou a tendência no aumento de comprimento e biomassa com o aumento da urbanização. *Geophagus brasiliensis* tende a diminuir tamanho corpóreo e

biomassa e Jenynsia multidentata e Gymnogeophagus lacustris não apresentaram nenhuma tendência para tamanho corpóreo e biomassa. Com a adição dos dados de mais lagoas, espera-se resultados mais consistentes sobre essas tendências. Assim, é necessário obter dados de maior número de lagoas para entender como as espécies respondem às alterações ambientais e quais estratégias de mitigação de impactos poderão ser propostas.

4.5. BOTOS E PESCADORES DA BARRA DO RIO TRAMANDAÍ

Na foz do rio Tramandaí, no local conhecido popularmente por "barra", existe uma interação singular entre pescadores artesanais de tarrafa e botos da espécie Tursiops gephyreus. Nessa área, pescadores e botos trabalham juntos na pesca da tainha, em uma relação na qual ambos se beneficiam. A interação tem características únicas e é denominada de pesca cooperativa. Acredita-se que essa pesca ritualizada, desempenhada por botos do gênero *Tursiops*, ocorra sistematicamente em apenas duas localidades no mundo: no estuário do município de Laguna (SC) e na barra do rio Tramandaí. Em ambos os locais, os pescadores dão nomes aos botos pois os reconhecem, principalmente, por seu "jeitão" e sua forma de pescar. Na barra do rio Tramandaí, a prática remonta a década de 60, quando a pesca cooperativa parece ter iniciado na região. O conhecimento necessário para que essa interação aconteça de forma efetiva é passado de

geração em geração, tanto entre os botos quanto entre os pescadores, que aprendem a como se entender e cooperar para obter melhores resultados na pesca. Atualmente, 17 botos são conhecidos por frequentarem a barra, sendo que 11 deles o fazem de forma bem frequente. Segundo os pescadores, os 11 botos que interagem com eles são descendentes de duas fêmeas que provavelmente já faleceram: a Galhamol (mãe do Bagrinho) e a Manchada (mãe da Catatau, da Geraldona e do Coquinho). Cinco destes botos que hoje frequentam a barra são filhotes da Geraldona, uma fêmea que pesca na região, pelo

∨ figura 27

Boto-da-Barra jogando uma tainha no ar em um comportamento típico da espécie durante a captura de peixes. Crédito: Projeto Botos da Barra/UFRGS LITORAL



menos, desde o início da década de 90 e tem no mínimo 29 anos de idade. A Rubinha é a sua filhote mais velha, e nasceu há cerca de 26 anos. O mais recente filhote da Geraldona nasceu entre o final de 2018 e inicio de 2019 e recentemente foi batizado pelos pescadores artesanais de tarrafa com o nome de Furação. A pesca cooperativa ajuda a sustentar economicamente os pescadores artesanais de tarrafa que são reconhecidos como uma comunidade tradicional e tem sua profissão e saberes protegidos por lei. O rápido e acentuado aumento da população humana de forma desordenada provocou diversas mudanças na paisagem do Litoral Norte, trazendo diversos problemas ambientais e ampliando o cenário urbano. Esses impactos negativos afetam a pesca cooperativa atingindo tainhas,



botos e pescadores artesanais de tarrafa de forma direta ou indireta, ameaçando também o ecossistema onde a interação acontece. Além das consequências desses impactos que afetam as áreas costeiras e a diversidade de seres vivos que habitam esses ecossistemas, elas também causam uma série de riscos para os próprios cidadãos moradores e turistas que, frequentemente, consomem alimentos de origem marinha e utilizam as águas do estuário para recreação. Os estuários são alguns dos ecossistemas mais produtivos do mundo, destacando-se como importantes áreas para a reprodução, alimentação e desenvolvimento de várias espécies. Por essa razão, costumam ser considerados fundamentais para a manutenção da biodiversidade das áreas costeiras e marinhas. Por essas características tão peculiares, os estuários são também ecossistemas muito frágeis e algumas atividades humanas podem repercutir de forma muito negativa na diversidade ali encontrada. Na barra do rio Tramandaí a situação não é diferente, pois a qualidade da água é crucial para que a pesca cooperativa ocorra. Sem uma água de qualidade, os peixes tendem a desaparecer e tanto botos como pescadores perdem o seu sustento. A bacia Hidrográfica do rio Tramandaí é bastante complexa, ela tem suas nascentes nos rios Três Forquilhas, Maquiné e Cardoso, estendendo-se até o norte da Lagoa Itapeva, no mu-

< figura 28

Pescador Amigo do Boto esperando o sinal dos botos para o momento certo de jogar a tarrafa na água. Crédito: Projeto Botos da Barra/UFRGS LITORAL

nicípio de Torres e atingindo ao sul, a porção norte do município de Mostardas. Essa bacia é formada por um conjunto de rios e lagoas, interligadas ou isoladas. A conexão desse sistema de lagoas e rios com o mar ocorre, somente, através do estuário do rio Tramandaí, a partir das Lagoas Tramandaí e Armazém. Portanto, todos os impactos ambientais negativos que ocorrem ao longo da bacia Hidrográfica chegam de uma forma ou outra na barra do rio Tramandaí. As águas salobras dos estuários sofrem a influência de marés, sendo as porções de água mais doce ligadas à cabeceira e mais salgada ligadas à desembocadura. Essa variação (chamada de gradiente de salinidade) contribui para a elevada biodiversidade nos estuários, visto que as espécies que ocorrem na cabeceira e na desembocadura requerem condições ambientais diferentes para sobreviver. Infelizmente, a urbanização desordenada já está impactando de forma negativa os principais atores da pesca cooperativa e, por consequência, os pescadores e moradores locais. Alguns estudos têm relacionado atividades humanas negativas no sistema lagunar (descarga de esgoto não tratado e a consequente poluição biológica e química) como uma ameaça para tainhas e para os botos. O uso de agrotóxicos e de fertilizantes químicos de forma indiscriminada nas plantações de arroz e de outros cultivos na bacia hidrográfica também são uma ameaça aos seres vivos que encontram na barra do rio Tramandaí o seu habitat ideal para a sobrevivência. Ainda, o uso inadequado das águas estuarinas para o turismo com o uso de lanchas, kitesurf e jet sky têm impactado de forma negativa a pesca cooperativa na região uma vez que afugentam os botos. Além disso, existe ainda impacto negativo proveniente das atividades humanas realizadas no ambiente marinho, como a sobrepesca e o descarte irregular de petrechos de pesca, bem como o transporte e extração de petróleo e seus derivados que podem influenciar negativamente as águas interiores. Outro grande problema em ambientes aquáticos é a poluição por resíduos plásticos que, com o tempo, tendem a se converter em pequenas partículas plásticas (microplástico) e se acumular na cadeia trófica, implicando em prejuízos ainda incalculáveis para a fauna e a comunidade local. A interação singular entre botos e seres humanos tem poucos registros na história, e por suas peculiaridades pode ser considerado um patrimônio da humanidade. Assegurar a qualidade das águas da bacia do rio Tramandaí é um dos principais fatores para que as gerações atuais e futuras possam conhecer e contemplar a pesca cooperativa.

4.6. APLICAÇÃO DE HIDROLOGIA NA GESTÃO DE RISCOS E DE DESASTRES HIDROLÓGICOS

4.6.1. Desastres naturais e fenômenos naturais

No século XXI, apesar do grande avanço tecnológico e científico, ainda ocorrem muitos desastres naturais no Brasil e no mundo. Historicamente esses eventos são comuns e vem aumentando ao longo dos anos, portanto, sempre que possível deve ser uma prioridade reduzí-los. "Desastres acontecem quando um perigo encontra uma vulnerabilidade". A vulnerabilidade representa a sensibilidade da sociedade para lidar com o desastre, devido suas condições sociais (nível de escolaridade, conhecimento sobre inundações, ou eventos climáticos por exemplo), econômicas (renda, condições de moradia, etc.) e institucionais (planos de prevenção de desastres, gestão de riscos).

O perigo representa um fenômeno natural que ocorre em um dado local durante um período, por exemplo: tremores de terra, vulcanismo, deslizamentos, tsunamis, secas e inundações). O desastre natural pode ser sintetizado como o resultado da ocorrência de fenômenos naturais em locais com a presença do ser humano (diagrama 1). Caso ocorra um perigo

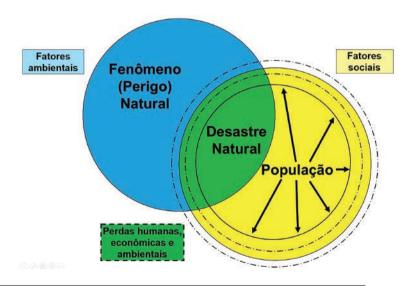


diagrama 1 ^

Relação entre fenômenos naturais e sociedade resultando na ocorrência dos desastres naturais.

natural e não houver vulnerabilidade no lugar (por exemplo, ninguém mora na área onde o fenômeno aconteceu), não há ocorrência de desastre natural. Se não há atividade humana no ambiente, os fenômenos naturais são meros fenômenos, ninguém está susceptível ao dano, logo jamais haverá desastre.

4.6.2. Hidrologia

Segundo a UNESCO, a hidrologia é definida como: "a ciência que lida com a água da Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição no planeta, suas propriedades físicas e químicas e sua interação com o ambiente físico e biológico, incluindo suas respostas para a atividade humana. A hidrologia é o campo que cobre a inteira história do ciclo da água na Terra". Na fase VIII do International Hydrological Programm (IHP), a UNESCO enfoca na segurança hídrica e entre seus temas trata dos desastres relacionados à dinâmica da água e da educação sobre água.

A hidrologia é relevante na gestão de desastres naturais devido a três fatores: I - os desastres hidrológicos são os mais problemáticos no mundo e no Brasil; II - todos os tipos de desastres naturais possuem relação com a água; e III - as vítimas precisam de água potável para beber (sobreviver) independente do tipo de desastre.

Atualmente, a comunidade internacional da hidrologia enfatiza a integração entre a hidrologia e a sociologia, ou seja, uma expansão da hidrologia à direção das ciências sociais (socio-hidrologia). Assim, respeitando a reciprocidade entre os seres humanos e a água, as ciências sociais também devem se expandir

na direção das ciências naturais, como a hidrologia. Isso permite concluir que esta área se desenvolve em paralelo a evolução do ser humano e da sociedade.

4.6.3. Desastres hidrológicos

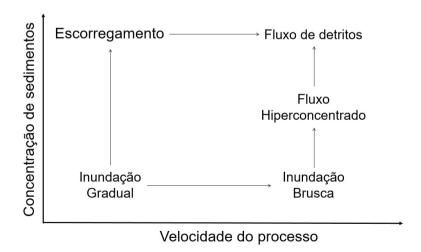
Desastres hidrológicos são aqueles desastres que ocorrem com chuvas intensas e/ou acúmulos de chuva elevados. Consistem em dois tipos: inundações e movimentos de massas.

Atualmente no Brasil, o Formulário de Informações do Desastre (FIDE) classifica as inundações em três tipos: inundação, enxurrada e alagamento. Os termos "inundação" e "enxurrada" também podem ser denominados, respectivamente, como "inundação gradual" e "inundação brusca". A primeira pode ser definida como aquela que ocorre lentamente e, em geral, com ocorrência sazonal. Enquanto a inundação brusca ocorre repentinamente e com poder destrutivo bastante elevado. Ambos os tipos ocorrem na bacia do rio Maquiné.

Os movimentos de massa são diferentes dos processos de erosão superficial cujas partículas se deslocam individualmente. Existem diversas tentativas de classificação dos movimentos de massa. No Brasil, em geral, são classificados em: rastejamento, escorregamento translacional, escorregamento rotacional, queda de bloco e fluxo de detritos. Entre eles, escorregamentos e fluxo de detritos podem ser considerados os mais problemáticos no Brasil.

Quando ocorre uma chuva intensa, podem ocorrer diversos desastres hidrológicos, o que pode dificultar a identificação do tipo, já que os desastres possuem um caráter transitório. Então, na figura 2 são demonstrados os tipos dos desastres hidrológicos em relação à velocidade do processo e à concentração de sedimentos.

As características geográficas físicas da porção leste do Brasil favorecem a ocorrência de deslizamento e inundação brusca, causando inclusive perdas humanas. A complexidade dos desastres hidrológicos ocorridos em bacias costeiras é ainda maior em decorrência dos mecanismos envolvidos e pela alta densidade populacional. Os municípios caracterizados por montanhas, como Maquiné, precisam estabelecer medidas preventivas, especialmente contra fluxos de detritos, pois este fenômeno é extremamente severo e os cidadãos brasileiros e os órgãos públicos não estão bem preparados.



^ diagrama 2

Classificação conceitual dos tipos de desastres hidrológicos.

4.6.4. Gestão integrada para redução de riscos e desastres

O conjunto de ações destinadas à redução dos desastres pode ser denominado de Ciclo de Gestão de Desastres Naturais. Este ciclo é composto por diversas etapas (prevenção, mitigação, preparação, alerta, resposta, reabilitação e recuperação), entretanto podendo ser agrupadas em: pré-evento, evento e pós-evento. Existem ações específicas de cada etapa e outras comuns a todas as etapas. Essas ações podem ser classificadas em medidas estruturais e medidas não estruturais. As medidas estruturais são obras de engenharia (construção de barragens, diques, entre outros), em geral, demandando investimentos elevados. Enquanto que as medidas não estruturais requerem menores custos, porém maior participação da comunidade. Exemplos de medidas não estruturais que podem ser empregadas nas etapas do ciclo de gestão de desastres são exemplificadas na Tabela 1.

As principais metas da Gestão de Riscos e de Desastres (GRD) devem ser: I - aumentar a resiliência da sociedade contra fenômenos naturais severos; II - melhorar a saúde e o bem estar da sociedade; e III - entender os processos que desencadeiam os fenômenos naturais.

4.6.5. Bacias-escola e ciência cidadã

As medidas estruturais e não-estruturais necessitam direta ou indiretamente de dados hidrológicos (vazão de rio, precipitação, temperatura do ar, velocidade do vento, etc.) e suas análises estatísticas. Os locais onde esses dados podem ser gerados são as

bacias hidrográficas. Justamente devido à função dessas unidades territoriais, surgiu a necessidade de utilizar a bacia-escola que pode ser definida como uma bacia experimental que serve para pesquisas científicas e atividades de educação ambiental. Além disso, sugeriram que todas as práticas sociais devem ser executadas com base nos dados obtidos em bacias-escola. Portanto, a bacia-escola é o fundamento na gestão de recursos hídricos, de bacias hidrográficas e de desastres naturais.

A socio-hidrologia está se tornando cada vez mais importante na redução de desastres que ocorrem pela combinação entre fatores ambientais e sociais. A socio-hidrologia, além de estudar as interações entre atividades sociais e os processos hidrológicos, possui a função de envolver a comunidade local em atividades científicas da hidrologia. Nesse sentido, se destaca o papel da ciência cidadã, ou seja, o envolvimento da comunidade na geração de novos conhecimentos sobre o ambiente natural. No entanto, é necessário fornecer conhecimentos básicos sobre o tema.

Especialmente para reduzir os desastres naturais nas regiões montanhosas, é ainda mais necessário aumentar o monitoramento dos fenômenos ambientais e hidrológicos. A comunidade pode contribuir para o monitoramento e aumento nos registros, tornando-se indispensável a ciência cidadã. O diagrama 3 mostra as diferenças e semelhanças entre a hidrologia e a socio-hidrologia quanto à obtenção de dados.

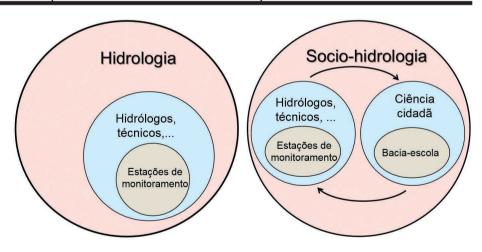
A bacia-escola pode ser uma ferramenta para aumentar o envolvimento da comunidade, instigando os cidadãos a aprender ciências ao mesmo tempo em

Etapa	Governamental	Sociedade Civil	Individual
Pré evento (Prevenção, Mitigação, e Preparação)	 - Mapear áreas de perigos e riscos de desastres. - Criar leis. - Implantar sistema de monitoramento e alerta. - Promover educação. - Preparar a população. - Divulgar informações. 	- Buscar informações Criar órgão voluntário de defesa contra desastres (OVD) e/ou fortalecer os já existentes Apoiar a criação e formação de bacias-escola.	 - Buscar informações. - Auxiliar na divulgação das informações. - Participar no OVD. - Participar das atividades de capacitação.
Evento (Alerta e Resposta)	 Registrar danos. Divulgar dados. Mobilizar população a ser retirada. Distribuição justa dos auxílios às comunidades afetadas. 	 Divulgar alerta. Aplicar as medidas preventivas da OVD. Identificar a necessidade das comunidades. Promover a cultura de registro dos eventos. 	- Esperar pelo resgate ou procurar abrigo. - Ajudar os vizinhos. - Em segurança, registrar o evento.
Pós-evento (Reabilitação e Recuperação)	- Identificar a situação das vítimas. - Analisar as despesas.	- Auxílio às vítimas. - Fornecer os dados registrados do evento.	- Reconstruir as residências des- truídas.

tabela 8 ^

Várias ações nas três etapas no ciclo de gestão de desastres.

que recebem educação ambiental e treinamento profissional. A longo prazo, as pessoas envolvidas podem ter maior facilidade em identificar uma situação de perigo iminente. A exemplo disso, cita-se o episódio ocorrido em 2004 em uma praia tailandesa. A menina inglesa Tilly Smith identificou a formação de um tsunami com base nos conhecimentos obtidos durante uma aula na escola e conseguiu alertar e salvar mais de 100 turistas. Portanto, a educação e treinamento são fundamentais no GRD dentre as medidas preventivas.



^ diagrama 3

Comparação entre a hidrologia e a socio-hidrologia com ênfase em ciência cidadã e bacia-escola.

A hidrologia exerce importante papel na gestão de desastres naturais. A dinâmica da água pode resultar em desastres hidrológicos (inundação e movimento de massa) que predominam no Brasil e no mundo. Além disso, após a ocorrência de qualquer desastre natural, a água potável é um recurso essencial para a sobrevivência dos afetados.

Para aplicar a hidrologia no gerenciamento integrado de desastres naturais e de recursos hídricos, as palavras-chave devem ser: bacias-escola, ciência cidadã, e socio-hidrologia (diagrama 4).

Construindo bacias-escola, realizando estudos de socio-hidrologia e difundindo a ciência cidadã nas comunidades locais, a população na bacia do rio Tramandaí pode auxiliar na redução dos desastres naturais, especialmente, hidrológicos.

Socio-hidrologia

Bacia-escola

Gerenciamento Integrado Recursos Hídricos e Desastres Naturais

Ciência cidadã

^ diagrama 4

Interação entre socio-hidrologia, bacia-escola e ciência cidadão para apoiar o gerenciamento integrado de recursos hídricos e desastres naturais.



4.7. O PAPEL DO COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA E O FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE GERENCIA-MENTO DE RECURSOS HÍDRICOS

Em 1934 o Brasil criou sua primeira legislação especifica para as águas - o chamado "Código das Águas". Apesar do foco legal ser o de regulamentar os diversos usos e a propriedade das águas no país, o código foi criado com intuito principal de promover a soberania nacional no uso das águas para a produção elétrica (ANA, 2019). Antes deste regramento as águas brasileiras seguiam um caminho de forma indireta e acessória a outros interesses e seu uso era determinado por normas de caráter econômico e sanitário ou relativas ao direito de propriedade.

Posteriormente, em 1988, a Constituição Federal incumbiu a União de criar um sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso, conforme inciso XIX do artigo 21. A água deixou de ser propriedade privada e passou a ser de propriedade do Estado, sendo reconhecido seu aspecto estratégico para preservação ambiental.

A Constituição Federal serviu como base para as Constituições Estaduais, as quais também incluíram o tema recursos hídricos em seu escopo. A partir daí buscou-se no país uma gestão das águas mais abrangente e participativa, integrando os recursos hídricos ao meio ambiente efetivamente, garantindo o desenvolvimento sustentável.

Após quase 10 anos de Constituição federal foi criada então a "Lei das Águas" – Lei Nº 9433/97, esta-

belecendo-se a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH).

Os fundamentos da Lei nº 9433/97 são:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

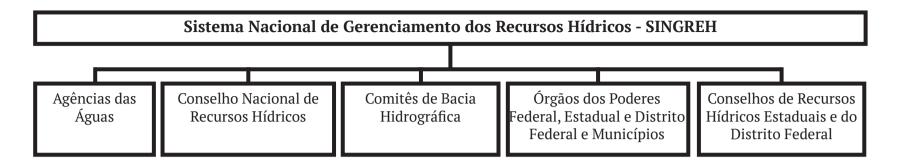
IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

O SINGREH tem o papel principal de gerenciar os usos da água de forma democrática e participativa. Seus objetivos são: administrar os conflitos pelos usos dos Recursos hídricos, **implementar a PNRH**, planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos e promover a cobrança pelo uso.

Os objetivos da PNRH são de garantir a disponibilidade de água à atual e às futuras gerações, promover a utilização de forma racional e integrada de recursos hídricos, prevenir eventos hidrológicos e promover o aproveitamento de águas pluviais (este último incluído em 2017).



Para cumprir com seus objetivos a lei instituiu os instrumentos da PNRH sendo de extrema importância conhecermos para compreendê-los pois na prática são estes instrumentos que irão nortear as ações de gestão. São eles:

I - os Planos de Recursos Hídricos;

II - o enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes da água;

III - a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;

IV - a cobrança pelo uso de recursos hídricos;

V - a compensação a municípios;

VI - o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

O Plano Nacional de Recursos Hídricos é um dos instrumentos de orientação para a gestão das águas no Brasil, sendo que o conjunto de diretrizes, metas e programas que constituíram o plano foi construído através da mobilização e participação social possibilitando uma gestão democrática.

Essa é a base da Legislação federal norteadora da gestão das águas no Brasil e de acordo com ANA (2013) deve estar em consonância com outros instrumentos de gestão como o plano de gerenciamento costeiro, gestão de uso do solo, planos setoriais, gestão ambiental, sistemas estaduais de recursos hídricos, entre outros. Além disso, conforme Resolução nº 32/03 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, o território brasileiro é dividido em doze regiões hidrográficas.

No Rio Grande do Sul a Lei Nº 8735 de 1988 estabeleceu os princípios e normas básicas para a proteção dos recursos hídricos do Estado instituindo, dentre outros, o Plano Estadual de Recursos Hídricos. A Criação do Sistema Estadual de Recursos Hídricos porém, ocorreu somente em 1989, pelo Art. 171 da constituição do Rio Grande do Sul, integrando este ente federado ao SINGREH. Neste contexto as bacias hidrográficas foram então adotadas como unidades básicas de planejamento e gestão, observados os aspectos de uso e ocupação do solo, com vista a promover a melhoria da qualidade dos recursos hídricos do Estado, regular abastecimento de água às populações

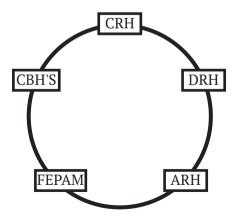
urbanas e rurais, às indústrias e aos estabelecimentos agrícolas.

O Sistema Estadual de Recursos Hídricos do RS seguiu o modelo francês, descentralizado, com participação da sociedade organizada em comitês de bacia definidos por bacia hidrográfica ou com pequenos ajustes territoriais entre subbacias. (Juliana Hogetop, Luciana Dalsasso, 2012).

A "Lei das Águas" no estado do Rio Grande do Sul é a lei nº 10350 de 1994 e regulamenta o artigo 171 da constituição estadual. Ela estabelece os princípios e diretrizes para a gestão das águas estaduais, institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos SERH e define as três regiões hidrográficas do estado – GUAIBA, URUGUAI E LITORAL.

Sistema de Recursos Hídricos do RS – **SERH** - é composto pelo Conselho de Recursos Hídricos – **CRH**, o Departamento de Recursos Hídricos - **DRH**, os Comitês de Gerenciamento de Bacia Hidrográfica – **CBH'S**, as Agências de Região Hidrográfica - **ARH**, juntamente com o órgão de execução da política ambiental do Estado – **FEPAM**;

Sistema Estadual de Recursos Hídricos



Objetivos do SERH conforme lei 10350/94

I - a execução e atualização da PolíticaEstadual de Recursos Hídricos;

II - a proposição, execução e atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos;
III - a proposição, execução e atualização dos Planos de Bacias Hidrográficas;
IV - a instituição de mecanismos de coordenação e integração do planejamento e da execução das atividades públicas e privadas no setor hídrico;

V - a compatibilização da Política Estadual com a Política Federal sobre a utilização e proteção dos recursos hídricos no Estado.

Na lei 10350/94 do Rio grande do sul os Instrumentos legais são:

- Outorga do Uso dos Recursos Hídricos;
- Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos;
- Rateio de Custo de Obras de Uso e Proteção dos Recursos Hídricos.

A legislação federal e estadual não são iguais, por isso é necessário essa compatibilização das políticas. Inclusive, alguns conceitos intrínsecos na gestão dos recursos hídricos por vezes confundem-se com os instrumentos legais.

figura 30 >

Divisões das regiões hidrográficas do Rio Grande do Sul.



Quais os instrumentos de planejamento dos recursos hídricos?

- Plano de Recursos Hídricos: é um dos principais instrumentos de planejamento de uma bacia. Através dele é possível definir as ações necessárias para a implementação da política de gerenciamento de recursos hídricos nos três níveis de planejamento: Federal - Plano Nacional de Recursos Hídricos, Estadual - Planos Estaduais de Recursos Hídricos e por bacia hidrográfica - Planos de Bacia Hidrográfica.

A sua elaboração deve ter em vista os cenários possíveis de usos do território e das águas conforme as perspectivas de desenvolvimento de sua área de abrangência. O plano ultrapassa os limites da política de recursos hídricos. Desta forma pressupõem-se a interlocução com outros planos e ações que tem implicações sobre a quantidade e qualidade das águas, tais como: tratamento de esgotos, reflorestamento, proteção de nascentes, controle de erosão e poluição, preservação de áreas de recarga de aquíferos, obras de infraestrutura hídrica, etc.

- Enquadramento dos corpos de águas em classes: significa estabelecer quais os usos da água que os cidadãos desejam para a bacia através de uma qualificação dos corpos hídricos.

O enquadramento dos corpos de água representa o estabelecimento da meta de qualidade da água a ser alcançada, ou mantida, em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos pretendidos, segundo a Resolução do CONAMA nº 357 de 17 de Março de 2005.

Quais são os instrumentos de gestão de recursos hídricos?

Outorga: é um dos instrumentos pelo qual o Departamento de Recursos Hídricos autoriza o usuário, sob condições preestabelecidas, a utilizar interferências hidráulicas nos recursos hídricos necessárias à sua atividade, garantindo o direito de acesso a esses recursos, dado que a água é um bem de domínio público.

Cobrança: é um instrumento de gestão que tem a finalidade de induzir o usuário da água a uma utilização mais racional deste recurso. A cobrança permite, além da racionalização dos usos, o aumento da eficiência no uso da água e a geração de recursos financeiros para aplicar em ações voltadas à gestão das águas da bacia hidrográfica onde estes recursos são arrecadados. Os valores e as formas de aplicação da cobrança são definidos pelo Comitê de Bacia.

LICOC DAC ÁCHAC DOC	CLASSES DE ENQUADRAMENTO DOS CORPOS D'ÁGUA						
USOS DAS ÁGUAS DOCES		ESPECIAL	1	2	3	4	
PRESERVAÇÃO DO EQUILÍBRIO NATURAL DAS COMUNIDADES AQUÁTICAS	15	Mandatório em UC de Proteção Integral					
PROTEÇÃO DAS COMUNIDADES AQUÁTICAS	-		Mandatório em Terras Indígenas				
RECREAÇÃO DE CONTATO PRIMÁRIO							
AQUICULTURA							
ABASTECIMENTO PARA CONSUMO HUMANO	8	Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratame convencion			
RECREAÇÃO DE CONTATO SECUNDÁRIO	*						
PESCA	1						
IRRIGAÇÃO	1		Hotaliças consumidas cruas ou frutas ingeridas com película	parques, jardii	ns e cerealíferas	s e	
DESSEDENTAÇÃO DE ANIMAIS	1						
NAVEGAÇÃO	76						
HARMONIA PAISAGÍSTICA	0						
USOS DAS ÁGUAS SALOBRAS		CLASS ESPECIAL	ES DE ENQUA	DRAMENTO DOS CORPOS D'AGUA			
PRESERVAÇÃO DO EQUILÍBRIO NATURAL DAS COMUNIDADES AQUÁTICAS	15	Mandatório em UC de Proteção Integra	i				
PROTEÇÃO DAS COMUNIDADES AQUÁTICAS							
RECREAÇÃO DE CONTATO PRIMÁRIO	Æ						
AQUICULTURA							
ABASTECIMENTO PARA CONSUMO HUMANO	8		Após tratam convencional ou	avançado			
IRRIGAÇÃO	1		Hortaliças, fru parques, jardi campos de es	utas, ins e porte			
RECREAÇÃO DE CONTATO SECUNDÁRIO	<u>*</u>						
PESCA							
NAVEGAÇÃO	26						
HARMONIA PAISAGÍSTICA	0						

< tabela 9

Classes de enquadramento dos corpos de água segundo as categorias de usos (fonte Resolução CONAMA nº 357/2005). Fonte: ANA (2013).

< tabela 10

Classes de enquadramento dos corpos de água segundo as categorias de usos, em águas salobras (fonte Resolução CONAMA nº 357/2005). Fonte: ANA (2013). Sistema de Informações: é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão. São princípios básicos para o funcionamento do sistema de informações sobre Recursos Hídricos: I descentralização da obtenção e produção de dados e informações; II coordenação unificada do sistema; e III acesso aos dados e informações garantido à toda sociedade.

Comitê de Bacia Hidrográfica: Comitês de Bacias são espaços colegiados, formados por representantes dos usuários da água, da população da bacia e órgãos do poder público. Realiza o gerenciamento das águas da bacia de forma descentralizada. Por isso, são considerados "parlamentos das águas".

O Gerenciamento dos recursos hídricos é realizado por bacia hidrográfica justamente pelo fato de que a água é fluida, sendo necessário um entendimento e respeito mútuo sobre os impactos que o mau uso deste recurso a montante pode causar a jusante, independente das fronteiras municipais. Os comitês devem utilizar os instrumentos de planejamento e gestão de forma a antever soluções e oportunidades para o desenvolvimento regional garantindo a sustentabilidade. Para isso a integração regional é fundamental.

Os instrumentos legais de gestão estaduais e federal se complementam conceitualmente, com um objetivo comum de proteger e recuperar os recursos hídricos. Para que ocorra a implantação desses instrumentos de **planejamento e gestão**, fazem-se necessárias articulações técnicas, politicas e institucionais. Neste contexto os Comitês de Bacia, seus representantes e as categorias representadas tem um papel fundamental.

Nesta perspectiva legal e operacional de planejamento e gestão por Bacia Hidrográfica é que surgiu em 28 de julho de 1999, através do Decreto Estadual nº 39.637, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí – **CBHT**, sendo o boto escolhido como símbolo deste comitê.

A criação do CBHT foi potencializada através de um amplo processo de discussões regionais ocorridos em 1997 sobre o cenário futuro desejado pela sociedade do Litoral Norte, enfocando três assuntos: Zoneamento Ecológico-econômico - **ZEE**, o enquadramento dos recursos hídricos e a formação do Comitê.



^ figura 31

Logotipo do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí.

Como resultado dessas discussões foram publicadas as "Diretrizes Ambientais para o Desenvolvimento dos Municípios do Litoral Norte" alavancando a necessidade do enquadramento dos recursos hídricos e da formação de um Comitê de Bacia (Profil, 2005). Em 1998, foi então criada uma comissão provisória de formação do Comitê de bacia. Na sua primeira formação, foram definidas 35 vagas. Em 2004, através do Decreto no 43.283, sua composição foi aumentada para 45 vagas. Em 2019 um novo ajuste pautado na resolução 338/2019 atualizou o Comitê Tramandaí com 40 vagas.

Primeira composição conforme decreto de criação em 1999

I - representantes dos usuários da água (40%): a) cinco membros do setor de abastecimento público; b) três membros do setor agropecuário; c) dois membros do setor de diluição de despejos e drenagem urbana; d) dois membros do setor de turismo e lazer; e) um membro do setor de mineração; f) um membro do setor de pesca. II - representantes da população da Bacia (40%): a) quatro membros dos Legislativos Municipais; b) dois membros de organizações ambientalistas; c) quatro membros de organizações comunitárias, clubes de serviço e organizações sindicais de trabalhadores; d) dois membros de instituições de ensino superior e pesquisa; e) dois membros de associações técnico-científicas. III - sete membros representantes da Administração Direta Federal e Estadual (20%), a serem indicados entre os órgãos públicos atuantes na Região e que estejam relacionados com os recursos hídricos, sendo seis membros de órgãos públicos estaduais e um membro de órgão público federal.

Segunda Composição conforme decreto de alteração em 2004

I - representantes dos usuários da água (40%): a) cinco membros do setor de abastecimento público; b) um do setor de esgotamento sanitário e resíduos sólidos; c) um do setor de drenagem; d) três do setor de produção rural; e) um do setor de indústria; f) um do setor de mineração; g) dois do setor de lazer e turismo; h) dois do setor de pesca; i) dois do setor de categoria especial de gestão urbana e ambiental municipal. II - representantes da população da Bacia (40%): a) quatro do setor legislativo estadual e municipal; b) dois do setor de associações comunitárias; c) dois de clubes de serviços comunitários; d) três do setor de instituições de ensino, pesquisa e extensão; e) dois do setor de organizações ambientalistas; f) dois do setor de associações de profissionais; g) dois do setor de organizações sindicais; h) um do setor de comunicação. III - nove membros representantes da Administração Direta Federal e Estadual (20%), a serem indicados entre os órgãos públicos atuantes na Região e que estejam relacionados com os recursos hídricos, sendo seis membros de órgãos públicos estaduais e três membros de órgão público federal."

Terceira Composição conforme resolução nº 338/2019 CRH

I - representantes dos usuários da água (40%): a) dois membros do setor de abastecimento público; b) dois do setor de esgotamento sanitário e resíduos sólidos; c) dois do setor de resíduos sólidos; d) três de produção rural uma do setor de drenagem; e) dois do setor de indústria; f) um do setor de mineração; g) dois do setor de lazer e turismo; h) um do setor de pesca. II - representantes da população da Bacia (40%): a) um do legislativo estadual e municipal; b) um do setor de associações comunitárias; c) um do clubes de serviços comunitários; d) três do setor de instituições de ensino, pesquisa e extensão; e) dois do setor de organizações ambientalistas; f) dois do setor de associações de profissionais; g) dois do setor de organizações sindicais; h) um do setor de comunicação; i) um do setor de associações de municípios; j) dois do setor das comunidades tradicionais. III - nove membros representantes da Administração Direta Federal e Estadual (20%), a serem indicados entre os órgãos públicos atuantes na Região e que estejam relacionados com os recursos hídricos, sendo seis membros de órgãos públicos estaduais e três membros de órgão público federal."

GALERIA DAS DIRETORIAS DO COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TRAMANDAÍ

- 1998 Coordenador da Comissão Provisória Milton Haack
- 1999 1º Presidente Milton Haack/Vice Gilberto Lessa/Sec. Executivo Sergio Lange e Antonio Augusto Ungaretti
- 2002 Presidente Milton Haack / Vice Gilberto Lessa / Sec. Executivo Antonio Augusto Ungaretti
- 2004 Presidente Vilmar Furini / Vice- Gilberto Lessa/ Sec. Executivo Antonio Augusto Ungaretti
- 2005 Presidente Interino Gilberto Lessa / Sec. Executivo Antonio Augusto Ungaretti
- 2006 Presidente Gilberto Lessa/ Vice José Feltrin/ Sec. Executivo Antonio Augusto Ungaretti
- 2008 Presidente Luciana Dalsasso/ Vice- Leda Famer/ Sec. Executivo Antonio Augusto Ungaretti
- 2009 Presidente Interina Leda Famer/ Sec. Executivo Antonio Augusto Ungaretti.
- 2010 Presidente Leda Famer/ Vice- Edson Ricardo de Souza/ Sec. Executivo Tiago Lucas Corrêa
- 2012 Presidente Dilton de Castro/ Vice João Vargas de Souza / Sec. Executivo Tiago Lucas Corrêa
- 2014 Presidente Dilton de Castro/ Vice- João Vargas de Souza/ Sec. Executivo Tiago Lucas Corrêa
- 2016 Presidente João Vargas de Souza/ Vice Edson Ricardo de Souza/ Sec. Executivo Tiago Lucas Corrêa

^{*}A diretoria eleita em 2016 teve seu mandato estendido até 2019 devido a realização da fase C do plano de Bacia, conforme orientação do CRH.



Milton Haack



Edson R. de Souza



Gilberto Lessa



Leda Famer



Vilmar Furini



Tiago Corrêa



Antônio Ungaretti



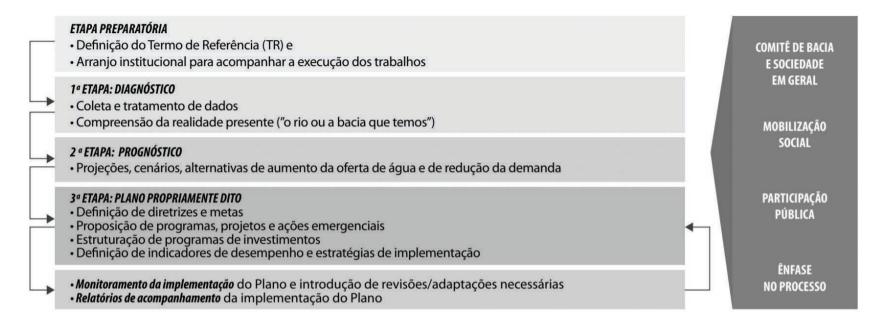
João Vargas de Souza



Luciana Delsasso



Dilton de Castro



A integração das políticas e ações é um processo que não se encerra pois a realidade vai sendo alterada e novas estratégias necessitam ser traçadas. Por este motivo o plano de bacia deve ser atualizado a cada 4 anos.

O CBHT teve a 1ª e 2ª etapas realizadas em 2004 e 2005 pela Empresa Profill. Em 2017 e 2018 seu diagnóstico foi atualizado através da consultoria da empresa STE Engenharia. A realização da 3ª Etapa - Fase C - do plano de Bacia está em andamento (2019) e quando finalizada trará a definição das ações necessárias para o alcance do enquadramento consolidado em 2008 através da Resolução do CRH N° 50/2008 e ampliado em 2009 pela resolução CRH N° 54/2009.

No âmbito da gestão o Comitê apresenta alguns desafios de integração com os municípios e com ou-

tras políticas setoriais como o Gerenciamento Costeiro, Fórum da Pesca, entre outros, e que apesar dos representantes por vezes participarem em ambas as instâncias, os planos efetivamente ainda não estão integrados.

A fragilidade do próprio SISGREH enfraquece os comitês e a gestão. Os recursos oriundos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos não são aplicados na manutenção dos Comitês periodicamente e um dos pilares do Sistema, as Agências de Região Hidrográfica, ainda não foram criadas.

Atualmente o Comitê Tramandaí encontra-se sem recursos de manutenção (4 anos), inviabilizando

^ tabela 11

a estrutura organizacional que possibilite uma gestão mais enérgica. Mesmo assim, o Comitê tem trabalhado arranjos institucionais como é o caso do Conselho Regional de Desenvolvimento – COREDE/LN, a Rede de Educação Ambiental do Litoral Norte e a Ong ANA-MA com o Projeto Taramandahy em todas as suas fases. Estes arranjos são de extrema importância e tem possibilitado a realização de algumas ações para a gestão, mas que ainda não são suficientes.

Para participar da gestão da Bacia Hidrográfica, o cidadão ou instituição pode participar das Reuniões Ordinárias e Extraordinárias do comitê, sendo que só possui direito de voto nestas reuniões as entidades cadastradas e eleitas. O processo eleitoral do Comitê Tramandaí ocorre de dois em dois anos, tanto para as entidades, com situação mínima de um ano dentro da bacia, como para o Presidente, Vice-Presidente e Secretário Executivo.

Principais problemas de qualidade e quantidade de água na Bacia do Tramandaí

Natureza dos Problemas	Descritores
Qualidade de Água Superficial	Falta de Esgotamento Sanitário Urbano Falta de Saneamento Rural
Quantidade de Água Superficial	Frequente Salinização do Rio Tramandaí Transposição de Bacia ao sul
Alterações na Morfologia Fluvial	Retificação no Rio Tramandaí Desbarrancamento de Margens de rios e canais Assoreamento dos rios e lagoas Obstrução das calhas dos rios
Uso do solo inadequado	Déficit de Matas Ciliares Cultivos sem conservação do solo Uso excessivo de agrotóxicos

4.8. AÇÕES RESTAURADORAS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA

4.8.1. Restauração Ecológica

As matas ciliares são faixas de vegetação florestal adjacentes aos corpos hídricos, ao longo dos quais podem ocupar dezenas de metros a partir das margens e apresentar variações na composição florística e na estrutura da comunidade biótica, dependendo das interações que se estabelecem entre o ecossistema aquático e sua vizinhança (exemplo: extensão e intensidade de inundações), conforme Oliveira Filho (1994 in Castro et al, 2012). As matas ciliares são localmente diversificadas, apresentando gradações de tipos de solos, especialmente na umidade do solo. São caracterizadas pela heterogeneidade florística e pela dinâmica sucessional de suas formações, promovidas por perturbações naturais principalmente em relação aos processos de dinâmica da água e sua distribuição no solo (Rodrigues & Shepherd 2000; Rodrigues 2000). A vegetação difere nas depressões, com espécies vegetais que toleram longos períodos de alagamento, daquela em sítios mais altos com espécies de ambientes bem drenados (Arizpe et al. 2008). Para a manutenção da saúde ambiental de uma microbacia hidrográfica submetida à produção agrícola, as zonas ripárias, áreas com saturação hídrica temporária ou permanente encontradas tanto ao longo das margens da rede de drenagem, quanto em pontos mais elevados da encosta, exercem importante função do ponto de vista hidrológico, ecológico e geomorfológico (Naiman & Décamps 1997, Zakia et al. 2006). A zona ripária ocupa uma das áreas mais dinâmicas da paisagem, onde a distribuição e composição das comunidades de plantas refletem a história da inundação (Gregory et al. 1991; Hupp & e Osterkamp 1996; Kobiyama 2003; Arizpe et al. 2008).

As Matas Ciliares são importantes por apresentarem um conjunto de funções ecológicas extremamente relevantes para a qualidade de vida especialmente das populações humanas locais e da bacia hidrográfica. As matas ciliares são fundamentais para a conservação da diversidade de animais e plantas

figura 32 V

Forte erosão causada pelo desmatamento da mata ciliar do Rio Maquiné. Maquiné (2009).

figura 33 V

Trecho do Rio Maquiné com a mata ciliar preservada. Maquiné (2009). nativas da região, tanto terrestres como aquáticos. As Matas Ciliares influenciam a qualidade da água, regulação do regime hídrico, estabilização de margens do rio, redução do assoreamento da calha do rio e são influenciadas pelas inundações, aporte de nutrientes e pelos ecossistemas aquáticos que elas margeiam. A justificativa fundamental para a manutenção das florestas, conforme Carpanezzi (2000), é que elas permitem elevadas infiltrações e armazenamento temporário da água no solo e no subsolo. Com isto, controlam a erosão, conservando os solos, e regulam a vazão dos rios, reduzindo as intensidades dos extremos de estiagem ou de enchentes.

As Matas Ciliares são de extrema importância para a manutenção dos ecossistemas aquáticos (Lima & Zakia, 2004), pois em resumo:

- são reguladoras do fluxo de água, influenciando na manutenção da vazão dos cursos hídricos, pois retém



a água da chuva, aumentando a infiltração das águas do escoamento superficial no solo e liberando-a gradativamente para o lençol freático e o corpo d'água; - mantêm a qualidade da água, reduzindo o impacto direto da chuva no solo, minimizando processos erosivos e dificultando o escoamento superficial de partículas e sedimentos que causam poluição e assoreiam os recursos hídricos; assim, elas agem como filtros, reduzindo a entrada de fertilizantes e agrotóxicos para o rio, promovendo a absorção de nutrientes, contribuindo para a manutenção da qualidade da água nas bacias hidrográficas;

- protegem as margens do rio contra a erosão pelo desenvolvimento e manutenção de um emaranhado de raízes, contendo as enxurradas e reduzindo o assoreamento da calha do rio;
- servem de abrigo e alimento para grande parte da fauna aquática, mantendo, assim, habitats adequados, por exemplo, para os peixes;
- fornecem sombra, mantendo a estabilidade térmica da água. Assim, ao prevenir o aumento da sua temperatura, elas mantêm mais alta a quantidade de oxigênio disponível no meio e, portanto, auxiliam para melhorar a sua qualidade.

O vale do Rio Maquiné

A Sub-bacia hidrográfica do Rio Maquiné, localiza-se nas encostas da Serra Geral, na porção nordeste do estado do Rio Grande do Sul. Está situada no bioma Mata Atlântica, próxima ao seu limite austral. Exceto nas zonas mais altas, onde a vegetação é formada pela floresta ombrófila mista e campos de altitude e na foz, onde encontram-se formações pioneiras, a maior parte da vegetação original da sub-bacia é formada pela Floresta Ombrófila Densa, a Mata Atlântica strictu sensu.

A paisagem atual, que de forma geral, apresenta uma matriz florestal nas encostas e uma agricultura intensiva nas várzeas (figura 32), é resultado de uma profunda transformação no sistema agrário ocorrida a partir da década de 60. Esta mudança teve sua principal causa nos processos que culminaram na Revolução Verde, com a mecanização da agricultura. Até as décadas de 60 e 70 a agricultura concentrava-se principalmente nas encostas, com práticas tradicionais de queimada e pousio. As várzeas eram utilizadas principalmente para a criação de gado e as beiras do rio eram, em geral, preservadas. Com o exaurimento dos solos, a baixa dos preços dos produtos agrícolas, o alto êxodo rural, apenas os agricultores mais capitalizados tiveram condições de se mecanizar e passaram a cultivar as áreas mais planas das várzeas. A impossibilidade de concorrência fez com que, cada vez mais, a agricultura nas encostas fosse sendo abandonada, aumentando o êxodo rural e a concentração de terra. Com este deslocamento geográfico da agricultura, somado ao aumento da fiscalização dos órgãos de proteção ambiental, a floresta se regenerou de forma significativa nas encostas. Porém, nas várzeas, as matas ciliares do Rio Maquiné vêm sendo reduzidas drasticamente, principalmente no médio e baixo curso, onde o relevo é mais propício para a agricultura mecanizada.



Ações de recuperação de Mata Ciliar

Desde 2010 a ANAMA vem desenvolvendo, através dos Projetos de Recuperação de Áreas Degradadas na Sub-bacia do Rio Maquiné, Taramandahy (Fase I, II e III), ações de recuperação de áreas de mata ciliar degradadas na sub –bacia do Rio Maquiné. Para isso vem se utilizando práticas de restauração ecológica associadas à modelos de sistemas agroflorestais. Até o momento foram recuperadas cerca de 17 hectares em 37 propriedades rurais com o plantio de mais de 36.000 mudas de espécies florestais nativas, como se observa na figura 33 e na tabela 12.

Além do plantio de mudas nativas, como descrito em detalhe em Castro et al (2012), foram utilizadas técnicas de restauração ecológica, como recuperação de solo através da adubação verde, implantação de poleiros para atrair a avifauna dispersora de sementes, a transposição de serapilheira para introdução de micro-organismos e sementes no sistema e o enleiramento de galharias, afim de criar hábitats e microclimas ideais para o abrigo de pequenos animais e para a germinação de sementes.

Em áreas de mata ciliar com um processo de regeneração já iniciado, porém com baixa diversidade, utilizou-se a técnica de **enriquecimento de capoeira**. Neste método se faz o plantio de mudas de espécies de estágios finais da sucessão (secundárias tardias e climácicas) bem como espécies de interesse

econômico (no caso das Matas Ciliares, não-madeireiro) como palmeira-juçara, a erva mate, espécies frutíferas e medicinais.

Associadas às práticas de restauração ecológica buscou-se utilizar princípios dos sistemas agroflorestais, com o plantio de espécies frutíferas não nativas em consórcio com nativas. Os Sistemas Agroflorestais proporcionam uma diversidade de recursos e mantêm as principais dinâmicas e funções dos ecossistemas (Martins et al. 2011). Sistemas Agroflorestais são sistemas agrícolas baseados na sucessão ecológica, análogos aos ecossistemas naturais, em que árvores são manejadas em associação com culturas agrícolas, trepadeiras, forrageiras, arbustivas em uma mesma unidade produtiva, de acordo com o arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações entre elas. Os recursos são produzidos permanentemente em diversos estratos. Para Engel (1999), o objetivo principal dos SAFs é otimizar o uso da terra, conciliando a conservação florestal com a produção de alimentos, conservando o solo e diminuindo a pressão pelo uso da terra para a produção agrícola; portanto, ótima alternativa para a restauração ou manutenção das matas ciliares.

Localidade	Área (ha)	Quantidade de Mudas	Ano de Plantio	Localidade	Área (ha)	Quantidade de Mudas	Ano de Plantio
Fagundes (F1)	0,95	1536	2010/2012	Solidão (S)	0,70	4950	2011/2014
Fagundes (F2)	0,55	856	2010/2014	Mundo Novo (M2)	0,20	230	2012
Cachoeira (C1)	0,30	540	2011	Gruta (G12)	0,6	630	2012
Mundo Novo (M1)	0,25	560	2011	Pinheiro (P1)	0,3	700	2012
Gruta (G1)	0,2	200	2011	Cachoeira (C6)	2,90	1880	2012/2014
Gruta (G2)	0,2	280	2011	Centro (Ce1)	0,50	4080	2012/2014
Gruta (G3)	0,2	220	2011	Mundo Novo (M3)	0,50	735	2012/2014
Gruta (G4)	0,2	1292	2011	Cachoeira (C7)	0,50	3392	2012/2014
Gruta (G5)	0,5	510	2011	Cachoeira (C8)	0,1	1880	2012/2014
Gruta (G6)	0,4	985	2011	Mundo Novo (M4)	0,90	1100	2012/2015
Gruta (G7)	0,2	270	2011	Centro (Ce2)	1,00	943	2014
Gruta (G8)	0,4	1415	2011	Pinheiro (P2)	0,75	942	2014
Cachoeira (C2)	0,5	150	2011	Mundo Novo (M5)	0,25	500	2015
Cachoeira (C3)	0,4	1200	2011	Mundo Novo (M6)	0,20	320	2015
Cachoeira (C4)	0,3	1074	2011	Pedra Amolar (PA1)	0,20	440	2015
Gruta (G9)	0,5	470	2011	Pedra Amolar (PA2)	0,20	130	2015
Gruta (G10)	0,5	700	2011	Pedra Amolar (PA3)	0,10	110	2015
Gruta (G11)	0,15	715	2011	Pedra Amolar (PA4)	0,20	80	2015
Cachoeira (C5)	0,3	450	2011		17,1 ha	36.465 mudas	

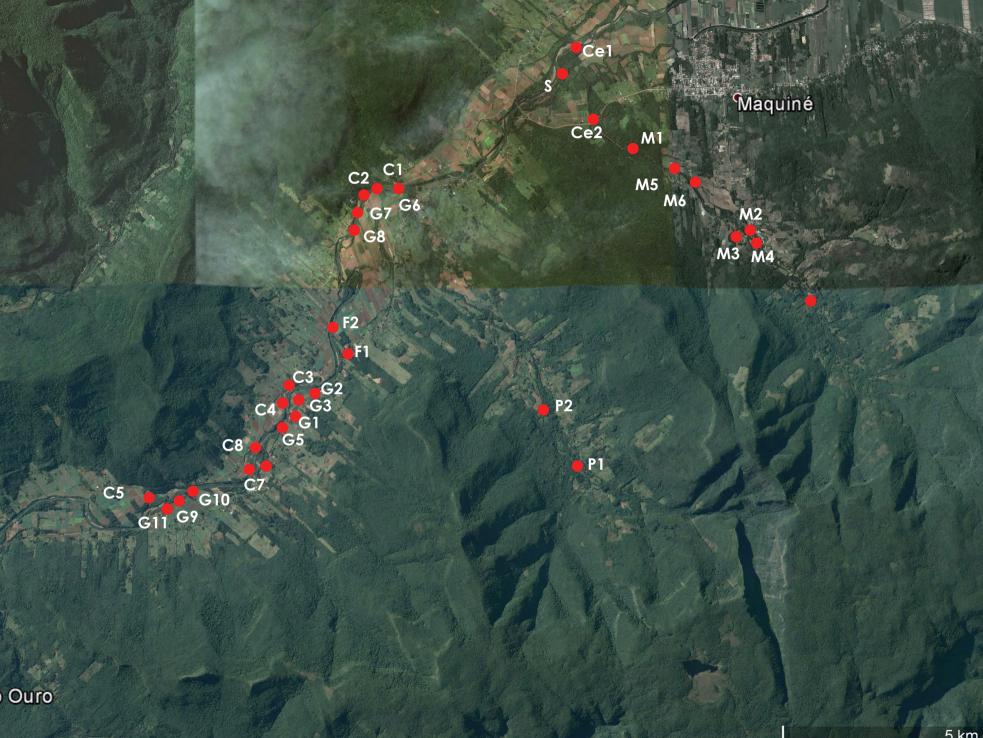
PA3 PA2 PA1 Google earth Barra do © 2015 Google lmage © 2015 DigitalGlobe

<< tabela 12

Locais de recuperação de áreas degradadas em matas ciliares na Bacia Hidrográfica do Rio Maquiné, Maquiné, RS.

figura 34 >

Imagem de satélite da Sub-bacia do Rio Maquiné indicando os pontos de recuperação de Mata Ciliar.



Produção de Mudas de espécies florestais para a recuperação das áreas de mata ciliar

As atividades de recuperação ecológica são possibilitadas através da produção de mudas florestais nativas a partir da coleta de sementes nas florestas da região da Bacia (figura 37). O processo é realizado no viveiro do Centro de Referências Ambientais do Projeto Taramandahy (figura 38).

As atividades necessárias para a produção de mudas de espécies nativas são a manutenção dos espaços das sementeiras e dos viveiros, as saídas a campo para a coleta de frutos e sementes, seu beneficiamento (figura 35) e, a semeadura nas estufas das sementeiras (figura 36).

< figura 35

Limpeza das sementes coletadas.

∨ figura 36

Plantio das sementes em sementeiras aéreas no viveiro.

∨ figura 37

Coleta de sementes de espécies arbóreas nativas do Estado.

∨ figura <u>38</u>

Viveiro do Centro de Referências Ambientais.

figura 39 >

Técnicos da ANAMA fazendo o Monitoramento nas áreas de recuperação (2019).



Monitoramento das áreas de recuperação de matas ciliares

O monitoramento das áreas de matas ciliares reflorestadas nas diferentes etapas do Projeto foi realizado visando subsidiar o Objetivo de implementar um programa de conservação integrada dos recursos hídricos, solos e florestas na Bacia do Tramandaí através da proteção dos cursos de água da região.

Através desse monitoramento, foram avaliadas as práticas e espécies que obtiveram sucesso na implantação das parcelas bem como os diferentes impactos e dificuldades encontrados ao longo do tempo.

Este monitoramento teve como objetivo verificar a sobrevivência e crescimento das mudas plantadas bem como outros indicadores de recuperação das áreas, como a cobertura de solo, a presença de regeneração natural e de fauna associada.

Foram visitadas 38 áreas de recuperação de matas ciliares, no município de Maquiné, em um total de 17,1 hectares. Com auxilio de GPS coordenadas geo-referenciadas foram tiradas em cada área e foi estimada a altura e a sobrevivência das mudas plantadas pelo Projeto em cada área de recuperação.

Para a execução do monitoramento, foi elaborada pela equipe técnica um formulário que foi aplicado durante a visita às áreas de recuperação.

Parâmetros para o monitoramento das áreas reflorestadas:

- Altura média da vegetação /dossel;
- Presença de serrapilheira/cobertura da copa e/ou do solo (0%/25%/50%/75%/100%);
- Riqueza na regeneração/recrutamento;
- Estratos da vegetação presentes (Herbáceo, Arbustivo, Lianas, Arbóreo, Epífitas);
- Riqueza florística (método caminhamento)/avaliação da sobrevivência das espécies;
- Presença de vestígios/registros da fauna ;
- Presença de espécies vegetais invasoras/exóticas;
- Relatório fotográfico comparativo com a implantação;
- Impactos detectados na área reflorestada.

O monitoramento (figura 39) possibilitou identificar o sucesso da recuperação na maioria das áreas (89%), onde os espécimes plantados apresentam boa sobrevivência e desenvolvimento, se percebe em simultâneo a regeneração natural da flora e a re-ocupação natural da fauna.





As espécies com maior sobrevivência e desenvolvimento encontradas foram os ingás, *Inga semialata* e *Inga sessilis*, *Citharexylum myrianthum* (Tucaneira ou tarumã-branco) (figura 40) e a aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius*). Muitos desses espécimes atingiram de 7 a 8 metros de altura, após 7 anos de plantio.

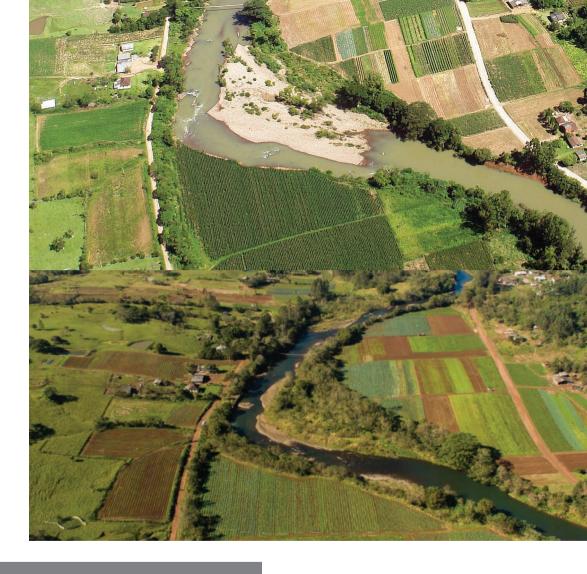
No entanto também puderam ser identificados impactos pontuais em determinadas áreas reflorestadas e mesmo a perda de parcelas pela continuidade da erosão do rio como observado em parte da mata recuperada no CTG Devotos da Tradição.

Nas áreas em que a recuperação não ocorreu, a principal causa foi a continuidade da fonte de impacto sobre a vegetação, seja esta a pecuária, onde o gado não foi isolado (como havia sido combinado) e comeu

ou pisoteou as mudas plantadas, seja a agricultura, onde as mudas foram destruídas ou roçadas mecânicas ou manualmente.

A partir do sucesso das práticas de recuperação realizadas e das diretrizes elencadas por entes como o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí, que explicita a recuperação das matas ciliares como atividade prioritária na recuperação da qualidade da água da Bacia, se postula a continuidade de ações dessa natureza nos próximos anos.

Para tanto são condições inequívocas: o diagnóstico das áreas sob risco na Bacia, a sensibilização e o convencimento dos proprietários da necessidade de intervenção, o apoio dos Órgãos ambientais municipais e estaduais, a produção de mudas de essências florestais nativas e o conhecimento técnico-científico para a execução das atividades de recuperação.



< figura 40

Área de recuperação da mata ciliar com crescimento dos espécimes plantados e regeneração da vegetação nativa.

figura 41 ^

Imagem aérea de 2009 mostrando plantio de hortaliças sobre área de mata ciliar.

figura 42 ^

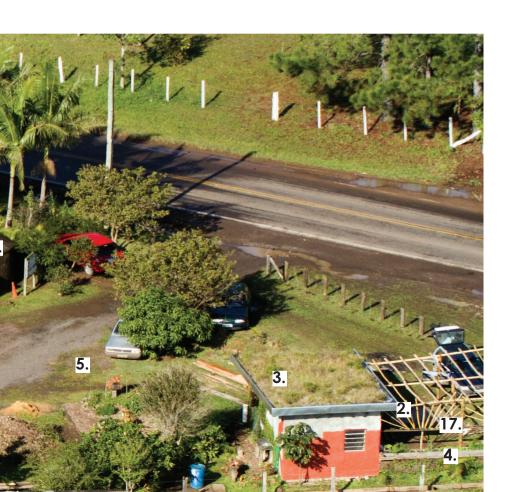
Imagem aérea de 2019 da mesma área da foto anterior mostrando faixa de mata ciliar recuperada pela ANAMA.

4.8.2. Centro de Informações Ambientais Taramandahy

O Centro de Referência Ambientais é a base do Projeto Taramandahy, tendo sido planejado e construído com um design permacultural. Desta maneira, o espaço foi construído ecologicamente para otimizar o uso dos recursos naturais, que são: a orientação solar que favorece a iluminação natural, a geração de energia solar através de painéis fotovoltaicos; sistema de retenção de ar quente para o inverno e exaustão para verão, amplas janelas com ventilação cruzada e telhas de barro para melhorar o conforto térmico; o uso de materiais da região como a terra e madeira oriunda de plantio; captação de água de chuva e armazenamento em cisternas de ferrocimento; tratamento de efluentes (águas negras e cinzas) que transforma dejetos em paisagismo produtivo; paisagismo comestível e medicinal, em bordas, canteiros verticais, pergolados e quintal agroflorestal; telhado vivo; e viveiro de produção de mudas para restauração da Mata Atlântica e enriquecimento de agroflorestas.



Este espaço, além de local de trabalho e sede da Anama, representa uma amostra pedagógica das ações que a entidade e o projeto Taramandahy desenvolvem, propiciando cursos e oficinas nas temáticas de restauração ecológica, bioconstrução, paisagismo produtivo, agroecologia, alimentação saudável e gestão dos recursos hídricos entre outros. Também recebe estudantes de todos níveis de instrução, onde esses temas são apresentados em um caminhada orientada trazendo à reflexão sobre a viabilidade em se difundir e implantar as diversas iniciativas ecotecnológicas disponíveis no Centro.



- 1. Cisterna de ferrocimento 1 16.000l
- 2. Pergolado/cobertura de carros
- 3. Telhado vivo do galpão
- 4. Canteiros elevados
- 5. Horta mandala/buraco de fechadura
- 6. Bioconstrução: paredes de pau a pique
- 7. Geração de energia solar fotovoltaica
- 8. Criação de abelhas nativas sem ferrão
- 9. Canteiro de borda
- 10. Cisterna de ferrocimento 2 16.000l
- 11. Bioconstrução: Parede de solo-cimento
- 12. Zona úmida 1
- 13. Banheiro seco
- 14. Fossas sépticas e leito de evapotranspiração
- 15. Estufa de produção de mudas agroflorestais e da mata atlântica
- 16. Zona úmida 2
- 17. Quintal agroflorestal

${\bf 4.8.3. Sistemas\, demonstrativos\, de\, Saneamento}\\ Ecol\'ogico$

A falta de saneamento básico ainda é um dos principais problemas para a qualidade das águas da bacia do Rio Tramandaí. Pensando nisso a ANAMA vêm contribuindo para a difusão de tecnologias sociais de baixo custo que visam minimizar esse impacto. Desde 2013 vem implantando sistemas de conservação das águas em propriedades rurais com o objetivo de estabelecer unidades de referências na captação de água, destinação adequada de efluentes e difundir tecnologias sociais para manejo de efluentes como resíduos domésticos e agrícolas no meio rural e em comunidades indígenas.

Para a problemática dos efluentes domésticos, vem se buscando um sistema que trate as águas servidas no local, e permita o aproveitamento dos poluentes destas águas na forma de insumos para a produção vegetal devolvendo-as purificadas para o ciclo hidrológico pela evapotranspiração e infiltração no solo. Certamente, é mais sustentável que a maioria das soluções hoje adotadas (ERCOLE, 2003).

Para isso, tem se utilizado o **Sistema Modular de tratamento de esgoto com Separação das Águas** (para maiores detalhes ver Ercole, 2003). Este é um sistema biológico que **trata** e **reutiliza** as águas residuárias residenciais separando-as, conforme suas origens: cinzas e negras.

As **águas negras** são resultantes dos vasos sanitários. Estas possuem elevada contaminação de origem orgânica e patógenos. O tratamento em separado destas águas torna-se mais eficiente, pois não

é afetado pelos produtos químicos e nem prejudicado pela elevada quantidade de sólidos, normalmente carreados pelas águas cinzas. As águas negras passam por dois módulos diferentes, os decanto-digestores e os filtros anaeróbicos.

As **águas cinzas** são resultantes do uso em pias, chuveiros, tanques, máquinas de lavar, etc. Estas não têm os elevados índices de poluição das águas negras, permitindo tratamentos mais simplificados e econômicos. A águas cinzas contêm muitos sólidos em suspensão (terra, poeira, fibras orgânicas e sintéticas dos tecidos, fios de cabelo e outros). Também apresentam gorduras, graxas e óleos. A decantação adequada irá remover, principalmente, os sólidos em suspensão, tornando estas águas mais adequadas para o tratamento a ser feito no leito de evapotranspiração e infiltração (ERCOLE, 2003)

Ao separar as águas, permite-se que se utilize sistemas diferentes de tratamento para cada tipo de contaminante e evita-se que os bactericidas e fungicidas encontrados nas águas cinzas (sabão, detergente, água sanitária, etc.) prejudiquem a decomposição da matéria orgânica presente nas águas negras.

Após passar pelos módulos de decanto-digestores e filtros anaeróbicos, as águas negras e cinzas, já em estágio avançado de tratamento, são misturadas em um tanque misturador, onde naturalmente se neutraliza o PH (águas negras costumam ser mais ácidas e as cinzas mais alcalinas) e depois escoam para o último módulo que é o **Leito de Evapotranspiração**. Neste módulo, impermeabilizado, é onde os nutrientes são aproveitados pelas plantas e a água é

devolvida, em estado puro, para a atmosfera através da evaporação e da transpiracão vegetal.

Ainda, como forma de uma filtragem final das águas residuais, em terrenos mais alagadiços ou para situações de maior uso dos banheiros, quando as bananeiras e outras plantas do Leito de Evapotranspiração, não absorverem toda a água, pode ser construído um pequeno lago com Aguapés (Eichornia crassipes). Este módulo é uma adaptação do sistema descrito por Ercole, porém graças a sua capacidade de remover poluentes orgânicos e até mesmo inorgânicos como fenóis e metais pesados da água, os aguapés apresentam--se como uma excelente alternativa para o complemento do tratamento de efluentes no sistema apresentado.

figura 43 >

Módulos decanto-digestores e filtro anaeróbico (acima); decantador de água cinza (abaixo à direita) e caixa mistura das águas (abaixo à esquerda).

figura 44 >

Construção de um leito de evapotranspiração mostrando a lona impermeabilizante.

figura 45 >

Leito de evapotranspiração depois de pronto onde as plantas absorvem os nutrientes e devolvem a água pura para a atmosfera, se integrando de forma limpa no ciclo hidrológico.





figura 46 >

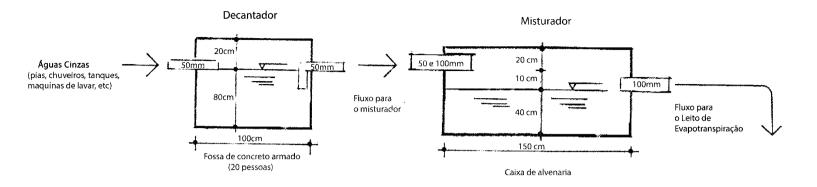
Perfil esquemático do Sistema Modular de tratamento de efluentes com separação das águas. Fonte: Adaptado de Ercole (2003)

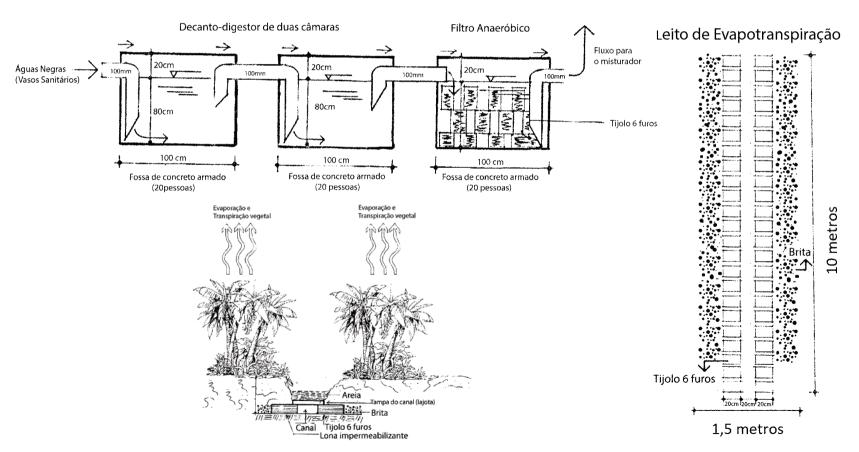
< figura 47

Pequeno lago com Aguapés para filtragem final das águas não absorvidas no Leito de Evapotranspiração.

< fgura 48

Implantação de Sistema Modular com Separação das Águas na Aldeia Mbyá Guarani Ka'aguy Porã, em 2019. Módulos decantador de águas cinzas, decanto-digestores e filtro anaeróbico de águas negras feitos de fossa de concreto e caixa misturadora, como no perfil esquemático da Figura X.





referências bibliográficas

SUBCAPÍTULO 4.1.

ARCOVA, F. C.S. Balanço hídrico, características do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas na serra do mar, SP. Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção de título de Mestre em Ciências, área de concentração: Ciências Florestais. Piracicaba, 1996.

CASTRO, D. Paisagens em transformação na bacia hidrográfica do rio Tramandaí: tendências, desafios e contribuições para a gestão ambiental. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal do rio Grande do Sul, para obtenção de título de Mestre em Geografia. Porto Alegre. 2017.

CASTRO, D.; MELLO, R.S.P. Atlas Ambiental da Bacia do Rio Tramandaí. Via Sapiens: Porto Alegre. 2ª ed. 2019.

CASTRO, D.; MELLO, R.S.P. Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade da bacia do rio Tramandaí. Via Sapiens: Porto Alegre. 2016.

CICO, V. Determinação da evapotranspiração pelos méto-

dos dos balanços hídrico e de cloreto e a quantificação da interceptação das chuvas na Mata Atlântica: São Paulo, SP e Cunha, SP. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Ciências (Geografia Física). São Paulo, 2009.

CORRÊA, T.L. TURISMO. in **Atlas Ambiental da Bacia do Rio Tra-mandaí**. Via Sapiens: Porto Alegre. 2ª ed. 2019.

MMA. Áreas prioritárias para conservação da biodiversidade, uso sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira. Atualização – Portaria nº 9, 2007/Ministério do Meio Ambiente. 2007. Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/chm/_arquivos/biodiversidade31.pdf. Acessado em 22/07/2019

PROFILL Engenharia e Ambiente Ltda. Plano de Gerenciamento dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Tramandaí. SEMA – Secretaria Estadual do Meio Ambiente: Porto Alegre, 2005.

SAINT-HILAIRE, A. Viagem ao Rio

Grande do Sul, 1820-1821. Belo Horizonte: Editora Itatiaia. 216p. 1999.

STE S.A. Diagnóstico consolidado da bacia hidrográfica do rio Tramandaí – relatório técnico 3 do Plano da bacia. Canoas, RS. 2019

SUBCAPÍTULO 4.2.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Indicadores de qualidade - Índice de qualidade das águas (IQA). Disponível em: http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 27 jun. 2019.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Monografias autorizadas - Anvisa. Disponível em: http://portal.anvisa.gov.br/registros-e-autorizacoes/agrotoxicos/produtos/monografia-de-agrotoxicos/autorizadas >. Acesso em: 27 jul. 2019.

BRASIL. Lei N° 7.802. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. 1989.

BÜHLER, J. Desenvolvimento de Método para Determinação de Agrotóxicos e Medicamentos Veterinários em Água Superficial por Microextração em Fase Líquida com Fibra Oca (HF-LPME) e GC-MS. Dissertação de mestrado do Programa de

Pós-Graduação em Química Técnológica e Ambiental (PPG-QTA). Universidade Federal de Rio Grande. 2018.

CASTRO, D.; ROCHA, C. M. Qualidade das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Porto Alegre: Via Sapiens, 2016.

CARVALHO, Rinaldo C. Análise matemática de investimentos em processos de despoluição de bacias hidrográficas. Dissertação de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais. Universidade Federal do Paraná. 2005.

CONSELHO DE RECURSOS HÍDRICOS DO RIO GRANDE DO SUL - CRH/RS. 2008. Resolução CRH/RS nº 50/2008 - Aprova o Enquadramento das Lagoas da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Disponível em: hidrograficas-dos-rios-cai-pardo-tramandai-e-lago-guaiba.pdf Acesso em: 10 ago. 2019.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das Águas Interiores no** Estado de São Paulo. Série Relatórios - Apêndice A - Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem. Série Relatórios. São Paulo, 2009.

CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução número 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 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Atlas de Saneamento. 2011.

MERTEN, G. H.; MINELLA, J. P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável. Porto Alegre, 2002.

OLIVEIRA, L. G. et al. Development and validation of a method for the analysis of pyrethroid residues in fish using GC-MS. Aceito para publicação na Food Chemestry em 3 de jun. 2019.

ROCHA et al. Monitoramento de qualidade de águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí: Relatório de dados brutos - Período 2015-2017. Disponível em: < https://sabi.ufrgs.br/F/VVHD-VKNJHPPK6E36D2MT11T72FP-G8E58ALFSQ6PPMKA1UYI-GA5-03947?func=full-set-set&set_number=021768&set_entry=000005&format=999>. Último acesso em: 14 ago. 2019

SES-RS, Secretaria de Estado da Saúde do Rio Grande do Sul. Portaria no 320/2014. Estabelece parâmetros adicionais de agrotóxicos ao padrão de potabilidade para substâncias químicas, no controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano no RS. Diário Oficial, Porto Alegre, 2014.

SISAGUA - Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano do Ministério da Saúde. **Base de dados de agrotóxicos em águas. 2014-2017**. 2018. Dísponivel em: https://app.rios.org.br/index.php/s/ljppVjrP37ak8HE. Acesso em: 26 jul. 2019.

STE S.A. Diagnóstico consolidado da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí – relatório técnico 3 do Plano da bacia. Canoas, RS. 2019. TUCCI, C. E. M., Hidrologia: ciência e Aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFR-GS/ ABRH, 2007.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1996.

SUBCAPÍTULO 4.3.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia, 2019. Banco de dados meteorológico para Ensino e Pesquisa. 31/05/2019.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, CP-TEC - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos, 2019. Monitoramento do El Niño - Oscilação Sul.

SUBCAPÍTULO 4.4.

GUIMARÃES, T.F.R., Hartz, S.M. & Becker, F.G. **Hydrobiologia** (2014) 740: 207.

Anais do XVII Congresso Brasileiro de Limnologia & 2º Congresso Ibero-americano de Limnologia.

SUBCAPÍTULO 4.5.

AFONSO, G. S. Influência das atividades antrópicas em uma população de botos

(Tursiops Gervais, 1855) residente do Litoral Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. 2015. 52 f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015.

De Andrade, V. M., Da Silva, J., Da Silva, F. R., Heuser, V. D., Dias, J. F., Yoneama, M. L., & De Freitas, T. R. (2004). Fish as bioindicators to assess the effects of pollution in two southern Brazilian rivers using the Comet assay and micronucleus test. Environmental and molecular mutagenesis, 44(5), 459-468.

Ilha E.B., Serpa N.B., Santos P. G.F., Heissler V.L., Dorneles D.R., Camargo Y.R., Santos B., Rigon C.T., Santos M.L., Gass C.M., Calabrezi R., Kindel E.A.I., Moreno I.B. (2018) Guia de apoio pedagógico para educadores: interação entre pescadores, botos e tainhas: aprendizados sobre cooperação, tradição e cultura. Editora UFRGS, Porto Alegre.

Sacristán, C., Réssio, R. A., Castilho, P., Fernandes, N. C. C. D. A., Costa-Silva, S., Esperón, F., & Ott, P. H. (2016). Lacaziosis-like disease in Tursiops truncatus from Brazil: a histopathological and immunohistochemical approach. Diseases of aquatic organisms, 117(3), 229-235.

SANTOS, B. Identificação dos indivíduos da população de golfinhos do gênero Tursiops (Gervais 1855) no estuário do Rio Tramandaí, Rio Grande do Sul. 2016. 31 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul e Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SIMÕES-LOPES, P. C. Interaction of coastal populations of Tursiops truncatus (Cetacea: Delphinidae) with the mullet artisanal fisheries in Southern Brazil. Biotemas, Florianópolis, v. 4, n. 2, p. 83-94, jan. 1991.

TABAJARA, L. Aspectos da relação pescador-boto-tainha no estuário do Rio Tramandaí – RS. In: Concurso Botos do Rio Tramandaí: Trabalhos Premiados. Tramandaí: Prefeitura Municipal de Tramandaí, 1992.

WICKERT, J. C. et al. Revalidation of Tursiops gephyreus Lahille, 1908 (Cetartiodactyla: Delphinidae) from the southwestern Atlantic Ocean. Journal of Mammalogy, v. 97, n. 6, p. 1-10, 2016.

SUBCAPÍTULO 4.7.

https://www.ana.gov.br/ges-tao-da-agua/sistema-de-geren-

ciamento-de-recursos-hidricos https://www.infoescola.com/ meio-ambiente/politica-nacional-de-recursos-hidricos/ https://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28797-o-que-e--a-lei-das-aguas/ https://www2.camara.leg.br/a--camara/estruturaadm/altoses-

https://www2.camara.leg.br/a-camara/estruturaadm/altoses-tudos/pdf/instrumentos_gestao_aguas.pdf

http://www.al.rs.gov.br/filerepository/repLegis/arquivos/10.350.pdf

http://www2.al.rs.gov.br/dal/LegislaCAo/ConstituiCAoEstadual/tabid/3683/Default.aspxhttp://www2.al.rs.gov.br/dal/LinkClick.aspx?fileticket=9p=-X3_esaNg3%D&tabid-3683&mid=5358

http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sag/CobrancaUso/ Oficinas/matrizInstitucionalSIN-GREH.jpg

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm http://www.mma.gov.br/estru-

turas/161/_publicacao/161_publicacao13032009033141.pdf
https://capacitacao.ead.
unesp.br/dspace/bitstream/
ana/115/1/M%C3%B3dulo%201_
Gerenciamento%20Integrado.
pdf

PESSOA, M. L. (Org.). **Bacias hidrográficas do RS**. In: ____. Atlas FEE. Porto Alegre: FEE, 2017. Dis-

ponível em: < http://atlas. fee.tche.br/rio-grande-do--sul/territorio/bacias-hidrograficas-do-rs/ >. Acesso em: 26 de julho de 2019.

https://www.sema.rs.gov.br/bacias-hidrograficas

Hogetop, Dalsasso – Juliana; Luciana - **Cartilha de educa**ção ambiental – Anama. Ed. Catarse - Porto Alegre, 2012

PROFILL Engenharia e Ambiente – Revista do Plano da Bacia do rio Tramandaí, 2005

Lanna, 1995 – apud http:// www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/ GT03/adriana_niemeyer_ mario_diniz.pdf

LANNA, A.E.L. (1995). Gerenciamento de bacia hidrográfica: aspectos conceituais e metodológicos. IBAMA, 171pp

LANNA, A. E. **Gestão dos Recursos Hídricos** In: TUCCI, C. E. M.(Org.) Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ABRH, p. 727-768, 1997.

Conceitos de bacias hidro-

gráficas: teorias e aplicações / Editores Alexandre Schiavetti, Antonio F. M. Camargo. - Ilhéus, Ba: Editus, 2002. 293p.:il. http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/GESTAODEAGUAS/InstrumentosdeGestodeRecHid/index.htm&lang=

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Implementação do Enquadramento em Bacias Hidrográficas. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH Arquitetura computacional e Sistemática. In: Caderno de Recursos Hídricos. vol. 6. Brasil, 2009.

_____. Planos de recursos hídricos e Enquadramento dos corpos de água. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos: v.5. Brasília: SAG, 2013.

CONSELHO DE RECURSOS HÍDRICOS DO RIO GRANDE DO SUL - CRH/RS. 2008. Resolução CRH/RS nº 50/2008 - Aprova o Enquadramento das Águas das Bacias Hidrográficas dos Rios Caí, Pardo, Tramandaí e do Lago Guaíba e respectivos anexos. Disponível em: http://www.sema.rs.gov.br/uplo-ad/arquivos/201708/22151357-re-solucao-crh-50-2008-aprova-en-quadramento-das-bacias-dos-rios-cai-pardo-tramandai-e-lago-guai-ba.pdf> Acesso em: 22 dez, 2017.

CONSELHO DE RECURSOS HÍDRICOS DO RIO GRANDE DO SUL - CRH/RS. 2009. Resolução CRH/RS nº 54/2009 - Aprova o Enquadramento das Lagoas da Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí. Disponível em: http://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201708/22152723-resolucao-crh-54-2009-enq-lagoas-tramandai.pdf> Acesso em: 22 dez. 2017.

SUBCAPÍTULO 4.8.

Arizpe, D.; Mendes, A.; Rabaça, J.E. (Eds.). **Sustainable Riparian Zones: a Management Guide**. Generalitat Valenciana, 2008.

Carpanezzi, A. A. **Benefícios indiretos da floresta**. In: GALVãO, A. P. M. Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais. Colombo: Embrapa Florestas, 2000, p. 19-55.

Castro, D. de; Mello, R; Poester, G.C. (Orgs.) Práticas em Restauração de Mata Ciliar. Ed. Catarse. Porto Alegre. 2012.

Engel, V. L. **Introdução aos Sistemas Agroflorestais**. Botucatu: FEPAF, 1999. 70 p.

Gregory, S.V.; Swanson, F.J.; Mckee, W.A.; Cummins, K.W. **An** ecosystem perspective of ripa-

rian zones. Focus on links between land and water. BioScience, v.41, 1991. p. 540-551.

Hupp, C.R.; Osterkamp, W.R. Riparian vegetation and fluvial geomorphic processes. Geomorphology, Amsterdam, v.14, 1996. p. 277-295.

Kobiyama, M. Conceitos de zona ripária e seus aspectos geobiohidrológicos. In: SEMINÁ-RIO DE HIDROLOGIA FLORESTAL: ZONAS RIPÁRIAS. Alfredo Wagner (SC): 2003: 1. Anais. p. 43

Lima, W.P. & Zakia, M.J.B. **Hidrolo**gia de **Matas Ciliares**. In: RODRI-GUES, R.R. & LEITÃO-FILHO, H.F. (ed.). Matas ciliares: conservação e recuperação. São Paulo, Edusp e Fapesp, 2ª ed, 2004. p.33-4 4.

Martins, S. V. **Recuperação de Matas Ciliares**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 143p.

Naiman, R.J.; Décamps, H. . The ecology of interfaces: riparian zones. Annual Review Ecological System., Palo Alto, v.28, 1997. p.621–658.

Oliveira Filho, A. T. Estudos ecológicos da vegetação como subsídios para programas de revegetação com espécies nativas: uma proposta metodoló**gica**. Cerne, Lavras, v.1, n.1, 1994. p. 64-72

Rodrigues, R.R. Uma discussão nomenclatural das formações ciliares. Pp. 91-100. In: R.R. Rodrigues & H.F. Leitão-Filho (eds.). Matas ciliares: conservação e recuperação. USP/FAPESP, São Paulo. 2000.

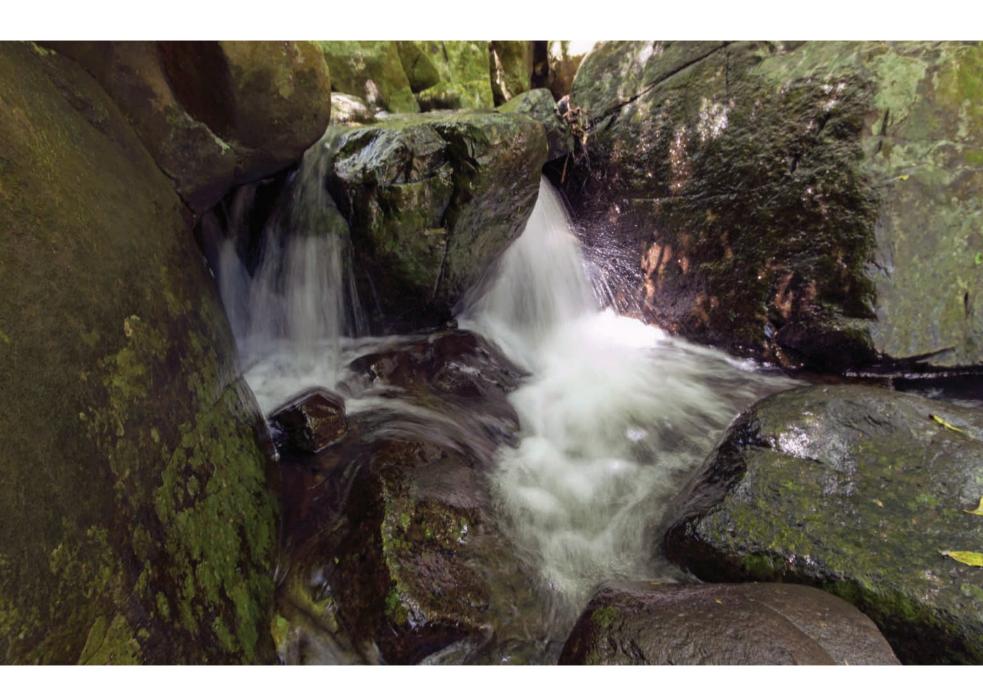
Rodrigues, R. R. & Shepherd, G. J. 2000. Fatores condicionantes da vegetação ciliar. Pp. 101-107. In: E.E. Rodrigues & H.F. Leitão-Filho (eds.). Matas ciliares: conservação e recuperação. EDuSP/FAPESP, São Paulo.

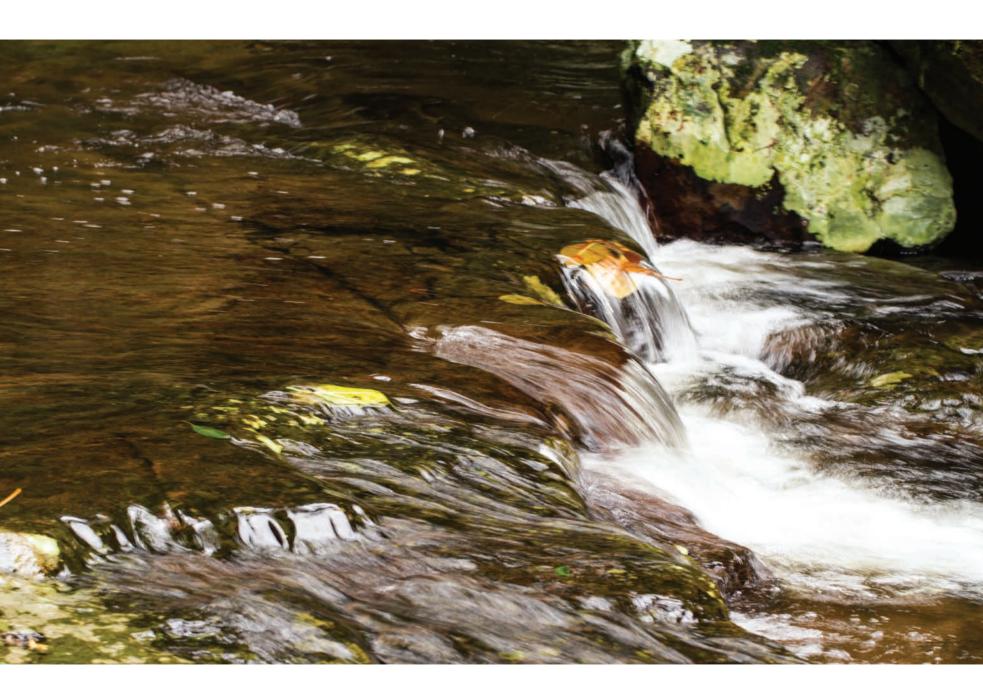
Zakia, M.J.B.; Righetto, A.M.; Lima, W.P. **Delimitação da zona ripária em uma microbacia**. In: Liam, W.P.; Zakia, M.J.B. (Org.) As florestas plantadas e a água: implementando o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento. São Carlos: RIMA, 2006. p.89-106.

SUBCAPÍTULO 4.8.3.

Ercole, L. A. dos S. Sistema modular de gestão de águas residuárias domiciliares: uma opção mais sustentável para a gestão de resíduos líquidos. Dissertação de Mestrado. UFRGS. 2003

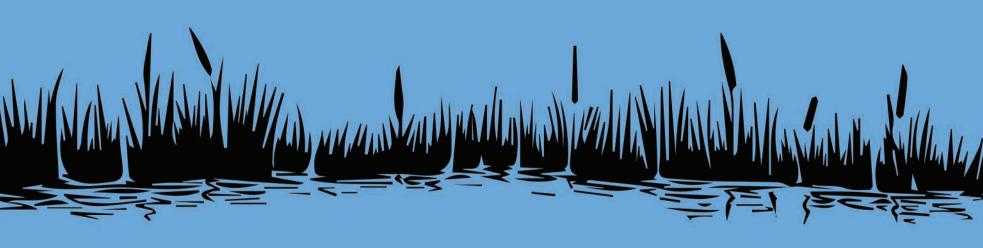








Composto em papel couché fosco 150g Fontes PT Serif e Century Gothic Tiragem 1000 exemplares Primavera, 2019.



REALIZAÇÃO













PATROCÍNIO





Este livro objetiva difundir o conhecimento sobre o ciclo das águas, destacando os processos naturais e os socioeconômicos que influenciam na quantidade e qualidade da água que circula pela bacia hidrográfica do rio Tramandaí/RS. A população continua crescendo, demandando mais comida, abastecimento de água, esgotamento sanitário, energia... enfim, mais água, e os devidos cuidados e uso racional não acompanham esse ritmo. Dedicamos este livro à educação da geração atual para que gerencie esse bem comum, finito e irregularmente distribuído, de modo que as gerações futuras possam ter o direito ao acesso garantido, como previsto nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU e da qual o Brasil é signatário.



