

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAMILA MARIN STINGHEN

GESTÃO DE ÁREAS CRÍTICAS QUANTO AO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS E O
ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO TIBAGI

CURITIBA

2021

CAMILA MARIN STINGHEN

GESTÃO DE ÁREAS CRÍTICAS QUANTO AO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS E O
ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO TIBAGI

Trabalho apresentado como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof Michael Mannich, DSc

CURITIBA

2021

Catálogo na Fonte: Sistema de Bibliotecas, UFPR
Biblioteca de Ciência e Tecnologia

- S858g Stinghen, Camila Marin
Gestão de áreas críticas quanto ao uso dos recursos hídricos e o estudo de caso na bacia do rio Tibagi [recurso eletrônico] / Camila Marin Stinghen – Curitiba, 2021.
- Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental.
- Orientador: Prof. Michael Mannich, DSc
1. Bacias hidrográficas - Gestão 2. Hidrologia (segurança hídrica). I. Universidade Federal do Paraná. II. Mannich, Michael. III. Título.

CDD: 551.483

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **CAMILA MARIN STINGHEN** intitulada: **Gestão de áreas críticas quanto ao uso dos recursos hídricos e estudo de caso na bacia do rio Tibagi**, sob orientação do Prof. Dr. MICHAEL MANNICH, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 26 de Julho de 2021.

Assinatura Eletrônica
27/07/2021 08:02:52.0

MICHAEL MANNICH
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
27/07/2021 16:53:49.0

EMILIO GRACILIANO FERREIRA MERCURI
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
27/07/2021 08:41:52.0
MARCELO COELHO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
27/07/2021 08:46:27.0
NATÁLIA ZANETTI

Avaliador Externo (FUNDAÇÃO AGÊNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SOROCABA E MÉDIO TIETÊ)

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho é fruto de toda minha dedicação e comprometimento com aquilo que acredito, e representa muito do que tem me motivado profissionalmente e pessoalmente nos últimos anos. Concluo aqui mais uma etapa assistida de grandes pilares, diversos profissionais, amigos e família. Agradeço:

Ao professor Michael, que acompanha meu crescimento desde a graduação, e que com sua excelência em conselhos, sua dedicação a profissão e a amizade construída nesses anos, nunca me permitiu baixar a cabeça, me fez enxergar todas as minhas maiores virtudes acadêmicas e pessoais, e botou meus pés no chão quando tudo parecia ir pelos ares. Obrigada por ter acreditado tanto em mim, por me incentivar a ser melhor, e por ter me instigado a enfrentar esse desafio que foi o mestrado.

Ao João, colega do meio acadêmico, que deu grande suporte para que os resultados desse trabalho fossem concretizados. Agradeço a sua disponibilidade de ajudar em uma de minhas fraquezas e pela abertura para a troca de conhecimentos.

À minha família que acompanhou de perto minhas angústias e medos em cada etapa até chegar ao final desse trabalho. Obrigada por estarem sempre na torcida pelo meu sucesso e por serem meu apoio em todos os momentos.

Ao Instituto Água e Terra, que abriu as portas e me mostrou a grandiosidade da gestão dos recursos hídricos. Agradeço em especial alguns colegas de trabalho. Ao Everton, que deu seu apoio quanto a minha escolha de cursar o mestrado. Ao Antonio, que foi um professor do geoprocessamento. E a Natasha e ao Tiago que me deram suporte e foram compreensivos nos últimos dois anos e meio.

Aos meus amigos Amanda, Naiana, Rodrigo, Isabela e Ana Paula que me escutaram e me encorajaram, acreditaram em mim em todos os momentos. A amizade de todos me fortaleceu e foi combustível na minha caminhada.

À Universidade Federal do Paraná, minha segunda casa, ao Programa de Pós graduação em Engenharia Ambiental, funcionários e professores, que com seu trabalho também contribuíram para tornar isso possível.

RESUMO

A gestão de recursos hídricos no Brasil tem como base a Lei das Águas, que identifica a necessidade de se fazer uma gestão descentralizada e participativa a fim de garantir o direito de todos de acesso à água, reconhecendo esse recurso como um bem de domínio público e de direito de todos. Assim a gestão das águas deve proporcionar qualidade e quantidade para atender os mais diversos usos. Na prática a gestão de recursos hídricos é um grande desafio, e nem sempre existem estruturas, recursos, agentes reguladores, políticas públicas ou capacidade técnica para tal. Esse cenário pode ter como reflexo o surgimento de regiões conflituosas pelo uso da água. Uma área crítica quanto ao uso dos recursos hídricos é estabelecida em situações onde a disponibilidade de água não é suficiente para suprir todos os usos e necessidades de uma dada bacia hidrográfica. Essas áreas de potencial conflito necessitam de atenção especial da gestão, buscando a solução de conflitos, melhorias da qualidade e maior segurança hídrica. Nos estados do Brasil ainda existe grande divergência de termos para a gestão de áreas de conflito pelo uso, e das ferramentas utilizadas para a alocação de água em situações onde a demanda supera a disponibilidade hídrica, e em casos de escassez hídrica e eventos extremos. Dentre os processos identificados, a Alocação Negociada teve destaque e se mostra bastante importante no cenário atual. Entretanto, muitos dos estados não realizam nenhum tipo de procedimento para essas situações. A principal variável de identificação de áreas críticas é o balanço entre as demandas e a disponibilidade hídrica, e com base nesse resultado o trabalho propõe um Indicador de Comprometimento de Bacias - ICB, estabelecendo níveis de criticidade, aplicado a grande Bacia do Rio Tibagi. A partir da aplicação do indicador, realizou-se um diagnóstico das bacias críticas, investigando as características, as razões e tipologias de outorga como agentes para os resultados do ICB. O Indicador serve como ferramenta de gestão e apresenta com simplicidade os níveis de criticidade e permite a visualização de forma direcionada dos problemas e excepcionalidades das bacias. Os resultados demonstraram que o indicador trata-se de uma proposta prática, um processo iterativo e operacional de identificação dos problemas a priori, relacionados ao uso dos recursos hídricos. E também destacam a importância e sugerem a conveniência de avanços na definição de critérios e ferramentas mais robustas de definição das vazões de referência para a disponibilidade hídrica de forma a fornecer melhor suporte a decisão.

Palavras-chaves: bacias críticas. gestão de recursos hídricos. alocação negociada. indicador. segurança hídrica

ABSTRACT

The management of water resources in Brazil is based on the “Lei das Águas” (Law of Waters), which identifies the need for decentralized and participatory management. The purpose of the law is to guarantee the right of everyone to access water, recognizing this resource as a public domain asset and of everyone’s right. Thus, water management must provide quality and quantity to meet the diverse uses. In practice, the management of water resources is a great challenge, and not always there are structures, resources, regulatory agents, public policies or technical capacity for that. This scenario may reflect the emergence of conflicting regions over the use of water. A critical area regarding the use of water resources is established in situations where the availability of water is not enough to supply all uses and needs of a hydrographic basin. The areas of potential conflict need special management attention in order to solve conflicts,, improve the water quality and increase the water security. In the states of Brazil, there is still a great divergence of terms for the management of conflict areas conflict for the water use. The divergence is also observed in tools used to allocate water in situations where demand exceeds water availability, and in cases of water scarcity and extreme events. Among the identified processes, the “Alocação Negociada” (Negotiated Allocation) was highlighted and shown to be very important in the current scenario. However, many of the states do not carry out any type of procedure for these situations. The main variable for identifying critical areas is the balance between demand and water availability, and based on this result, this research proposes a Basin Commitment Indicator – ICB applied to the large Tibagi River Basin, which establish criticality levels. A diagnosis of critical basins was carried out using the indicator, that investigate the characteristics, reasons and granting typologies as agents for the results of the ICB. The Indicator is a management tool and presents criticality levels and allows for a targeted view of the problems and exceptionalities of the basins. The results showed that the indicator is a practical proposal, an interactive and operational process of identifying a priori problems related to the use of water resources. The ICB application also highlight the importance of the definition of more robust criteria and tools for defining reference flows for water availability, in order to provide better decision support.

Key-words: critical basins. water resources management. negotiated allocation. indicator. water security.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos	17
FIGURA 2 – Gestão de Bacias Críticas Federais	29
FIGURA 3 – Regulamentação em Minas Gerais	31
FIGURA 4 – Procedimentos IGAM	32
FIGURA 5 – Procedimentos ADASA	33
FIGURA 6 – Procedimentos COGERH	36
FIGURA 7 – Início da regulamentação da outorga nos estados e a gestão de áreas críticas	38
FIGURA 8 – Portarias DAC no Paraná	42
FIGURA 9 – Usos a que são destinadas as outorgas da Bacia do Rio Tibagi	47
FIGURA 10 – Etapas da metodologia desenvolvida para a obtenção do indicador de comprometimento	48
FIGURA 11 – Vazões específicas (L/s.km ²) para as Áreas Estratégicas de Gestão na Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi	49
FIGURA 12 – Interface do software Regionaliza 2014, para a obtenção das vazões de referência	50
FIGURA 13 – Representação das faixas do indicador de comprometimento de bacias	53
FIGURA 14 – Comparação das curvas das vazões de referência para bacias com outorgas de lançamento de efluentes	57
FIGURA 15 – Comparação das curvas das vazões de referência para bacias com outorgas de captações	58
FIGURA 16 – Comparação das curvas das vazões de referência para bacias com outorgas de lançamento de efluentes e captações	59
FIGURA 17 – Percentual em cada faixa de valor utilizando os dados de vazão de referência do Plano da Bacia do Rio Tibagi	60
FIGURA 18 – Percentual em cada faixa de valor utilizando os dados de vazão de referência do Regionaliza 2014	61
FIGURA 19 – Bacias críticas em situação irregular ou regular na faixa de 1 a 1,6 utilizando os dados do Plano da Bacia do Rio Tibagi	63
FIGURA 20 – Bacias críticas em situação irregular ou regular na faixa de 1 a 1,6 utilizando os dados do Regionaliza 2014	64
FIGURA 21 – Bacias críticas e as metas progressivas a partir dos dados do Plano da Bacia do Rio Tibagi	65

FIGURA 22 – Bacias críticas e as metas progressivas a partir dos dados do Regionaliza 2014	66
FIGURA 23 – Características identificadas nas bacias críticas que envolvem os lançamentos de efluentes	67
FIGURA 24 – Características identificadas nas bacias críticas que envolvem as captações	68
FIGURA 25 – Características identificadas nas bacias críticas que envolvem os lançamentos de efluentes e as captações	68
FIGURA 26 – A relação entre a área e o indicador de comprometimento para as bacias relacionadas aos lançamentos de efluentes	69
FIGURA 27 – A relação entre a área e o indicador de comprometimento para as bacias relacionadas as captações	70
FIGURA 28 – A relação entre a área e o indicador de comprometimento para as bacias relacionadas aos lançamentos de efluentes e captações	71
FIGURA 29 – Relação observada entre as vazões de referência do Plano de Bacia pelas vazões do Regionaliza 2014.	72
FIGURA 30 – Mapa com as áreas críticas relacionadas ao lançamento de efluentes, e base nas vazões de referência do Plano da Bacia do Rio Tibagi	74
FIGURA 31 – Mapa com as áreas críticas relacionadas ao lançamento de efluentes, e base nas vazões de referência do Regionaliza 2014	75
FIGURA 32 – Mapa com as áreas críticas relacionadas as captações superficiais, e base nas vazões de referência do Plano da Bacia do Rio Tibagi	77
FIGURA 33 – Mapa com as áreas críticas relacionadas as captações superficiais, e base nas vazões de referência do Regionaliza 2014	78
FIGURA 34 – Mapa com as áreas críticas relacionadas as captações e lançamentos de efluentes, e base nas vazões de referência do Plano da Bacia do Rio Tibagi	80
FIGURA 35 – Mapa com as áreas críticas relacionadas as captações e lançamentos de efluentes, e base nas vazões de referência do Regionaliza 2014	81

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Concentrações de OD e DBO nas respectivas classes da CONAMA n° 357/05	18
TABELA 2 – Termos utilizados e ferramentas de gestão para áreas críticas . .	26
TABELA 3 – Descritivo das Portarias DAC no Paraná	43
TABELA 4 – A descrição dos níveis do indicador	54
TABELA 5 – Total de Bacias Críticas	56
TABELA 6 – Os aspectos do ICB	82

LISTA DE ABREVIATURAS E DE SIGLAS

- ABaCO** Análise de Bacias Críticas Ottocodificada
- ADASA** Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
- AEG** Áreas Estratégicas de Gestão
- AGERH** Agência Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo
- ANA** Agência Nacional de Águas
- CERH** Conselho Estadual de Recursos Hídricos
- COGERH** Companhia de Gestão de Recursos Hídricos
- CRH** Cadastro de Recursos Hídricos
- DAC** Declaração de Área de Crítica
- DAC - IGAM** Declaração de Área de Conflito
- DRH** Departamento de Recursos Hídricos
- IAT** Instituto Água e Terra
- ICB** Indicador de Comprometimento da Bacia
- IGAM** Instituto Mineiro de Gestão de Águas
- ISH** Índice de Segurança Hídrica
- PNSH** Plano Nacional de Segurança Hídrica
- SIH** Sistema de Informações Hidrológicas
- SIOUT** Sistema de Outorga do Rio Grande do Sul
- SNIRH** Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
- SSD** Sistema de Suporte a Decisão
- WEI** Water Exploitation Index

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	OS INSTRUMENTOS E A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	16
2.2	SEGURANÇA HÍDRICA	20
2.3	SECA E ESCASSEZ HÍDRICA AO REDOR DO MUNDO	21
2.4	DESDOBRAMENTOS DE GESTÃO PARA ÁREAS CRÍTICAS	25
2.4.1	A definição de Área Crítica	25
2.4.2	A Alocação Negociada	27
2.5	PANORAMA DAS DIFERENTES ABORDAGENS PARA GESTÃO DE BACIAS CRÍTICAS NO BRASIL	28
2.5.1	Minas Gerais	30
2.5.2	Goiás	32
2.5.3	Ceará	35
2.5.4	Espírito Santo	36
2.5.5	Rio Grande do Sul	37
2.5.6	Demais estados	37
2.6	ESCASSEZ HÍDRICA E A RESOLUÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS NO PARANÁ	39
2.6.1	Portarias DAC emitidas	42
3	MÉTODOS	44
3.1	A ANÁLISE DE OUTORGA NO ESTADO DO PARANÁ	44
3.2	A BACIA DO RIO TIBAGI	46
3.3	O INDICADOR DE COMPROMETIMENTO DA BACIA EM FUNÇÃO DA DEMANDA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA	47
3.3.1	Disponibilidade hídrica	48
3.3.2	Demanda	51
3.4	DIAGNÓSTICO DAS BACIAS CRÍTICAS	52
3.5	REPRESENTAÇÃO DO INDICADOR DE COMPROMETIMENTO DA BACIA	53
3.6	AS CONDIÇÕES DE CONTORNO E AS PREMISSAS DA ANÁLISE DAS ÁREAS CRÍTICAS	54

		12	
4	RESULTADOS	56	
4.1	DIAGNÓSTICO DAS BACIAS CRÍTICAS	56	
4.1.1	A regularidade de Bacias Críticas	62	
4.1.2	Metas progressivas em Bacias Críticas	64	
4.1.3	Razões que tornam as bacias críticas	66	
4.1.4	A relação entre a área das bacias e o ICB	68	
4.1.5	Vazão de referência e a tendência observada	71	
4.2	REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS NÍVEIS DO INDICADOR DE COMPROMETIMENTO	72	
4.2.1	As características que favorecem ou que punem o indicador de comprometimento das bacias	82	
5	CONCLUSÕES	83	
	REFERÊNCIAS	85	
	APÊNDICES	91	
	APÊNDICE A	SCRIPTS	93
A.1	OUTORGAS DE CAPTAÇÕES E LANÇAMENTOS AVALIADAS SEPARADAMENTE	93	
A.2	OUTORGAS DE CAPTAÇÕES E LANÇAMENTOS AVALIADAS EM CONJUNTO	97	

1 INTRODUÇÃO

"I was taught that the way of progress was neither swift nor easy."

Marie Curie

A essência de um desenvolvimento sustentável de recursos hídricos considera os impactos a longo prazo, para as futuras gerações, de ações tomadas no presente. Para tanto, é necessário antecipar as mudanças e prever situações de crise. A gestão deve ser adaptativa para acompanhar a natureza mutável e incerta dos ambientes naturais e socioeconômicos, e estando inserida em tais ambientes ela deve incluir ativamente todas as partes envolvidas. Uma gestão participativa agrega responsabilidade a todos perante um bem de domínio público. O planejamento *bottom-up* possui uma visão compartilhada das metas e prioridades de todas as partes interessadas em uma dada bacia. Ainda, a água deve ser reconhecida como um bem econômico, e espera-se que dessa maneira os beneficiários paguem de alguma forma pelos benefícios que o recurso traz, além de promover o uso racional e financiar os custos de reparação dos impactos causados. Isto posto, devem existir políticas para regulamentar todos os aspectos legais e institucionais referentes ao uso da água, onde o envolvimento governamental é essencial uma vez que a água não pode ser concedida como propriedade privada, apenas como um direito de uso sujeito a ação de um agente imparcial que administrará a disponibilidade, as demandas, e os possíveis conflitos pela água (LOUCKS; BEEK, 2005).

Esses princípios básicos estão fortemente presentes na Lei das Águas no Brasil (BRASIL, 1997). Instituída em 1997, ela foi um grande marco no que diz respeito à gestão, conservação e utilização racional dos recursos hídricos. Através de diferentes ferramentas, a Política Nacional de Recursos hídricos identifica a necessidade de uma gestão descentralizada e participativa de recursos hídricos, assegurando o direito de acesso a água em quantidade e qualidade, proporcionando o uso múltiplo, sempre visando o desenvolvimento sustentável.

Dentre os instrumentos previstos para a efetivação dos objetivos da Política Nacional está a outorga de uso dos recursos hídricos, um ato administrativo que estabelece os termos e as condições de uso da água. O instrumento é como uma autorização concedida pelo poder público, e visa garantir o direito de acesso a água a todos, em qualidade e quantidades compatíveis com as diferentes finalidades e prioridades definidas nos planos de bacias. O poder público, por meio de seus órgãos gestores de recursos hídricos, é então, o responsável por promover o controle e gerir os recursos disponíveis. Na prática a concessão de outorgas ainda é um pouco falha e acabam

sendo emitidas pela ordem de chegada ao órgão gestor ([CAPODEFERRO; KELMAN; DE AZEVEDO, 2019](#)). A grande dificuldade em implementar todos os instrumentos e ferramentas previstos na política de recursos hídricos, seja por falta de estrutura, recursos, de agentes reguladores, de políticas públicas ou capacidade técnica, reflete então no surgimento de regiões onde a demanda pode superar a disponibilidade hídrica. Essas áreas de potencial conflito passam a ser consideradas como críticas quanto ao uso dos recursos hídricos, e necessitam de atenção especial da gestão, com ações de caráter remediatório para solucionar os conflitos e promover a melhoria da qualidade.

As experiências brasileiras reafirmam essa característica. Encontramos um cenário onde a implementação de metodologias e ferramentas complexas, ou modelos de previsões detalhados com grande quantidade de dados, são inviáveis de serem utilizados pelos órgãos gestores, seja por demandar recursos, tempo, qualificação, infraestrutura ou quantidade suficiente de corpo técnico para gerenciar essa quantidade de informações. O estado do Paraná, identificando a necessidade de um maior cuidado com tais regiões, deu seu primeiro passo no ano de 2018, com a Resolução SEMA 44/2018, A resolução tem o intuito de regulamentar e estabelecer as diretrizes e critérios para a Declaração de Áreas Críticas ([SEMA, 2018](#)).

Assim, esse trabalho busca apresentar um panorama geral de como são tratadas as regiões críticas quanto aos recursos hídricos superficiais nos estados do Brasil. Também apresenta uma metodologia, desenvolvida a partir de ferramentas já existentes e utilizadas pelo órgão gestor no Paraná, com o intuito de contribuir com a identificação a priori de bacias críticas, prevenir o surgimento de novas e promover melhorias na gestão dessas áreas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver e estruturar na forma de mapa, indicador de gestão de recursos hídricos que subsidie a definição a priori de bacias críticas quanto ao uso dos recursos hídricos superficiais, e os níveis de comprometimento sob o contexto de disponibilidade para outorgas de captação e lançamento de efluentes.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Elaborar um panorama nacional da organização legal e critérios que definem uma bacia crítica quanto aos recursos hídricos superficiais, e os termos e ferramentas utilizadas pelos órgãos gestores;
2. Elaborar indicador de comprometimento hídrico para definição a priori de bacias críticas;

3. Aplicar o indicador de comprometimento hídrico em uma bacia de estudo de caso no estado do Paraná;
4. Elaborar um diagnóstico das bacias críticas na bacia de estudo de caso no estado do Paraná.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

“...it is worthwhile to explore the origins, legacies, and shortcomings of the problem-solving frameworks that have shaped the history and evolution of the water resources management field.”

Reed e Kasprzyk (2009)

Este capítulo aborda conceitos, instrumentos e ferramentas aplicadas à gestão dos recursos hídricos e das áreas consideradas críticas, além de apresentar um panorama nacional com os fatos marcantes, as regulamentações existentes e as ações desenvolvidas no Brasil e nos estados para o tratamento das diferentes regiões comprometidas e em situações de conflito pelo uso da água.

2.1 OS INSTRUMENTOS E A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A água, indiscutivelmente, move as diferentes atividades humanas, além de ser o recurso imprescindível à vida. Ao longo dos séculos as sociedades se desenvolvem estimuladas pelos benefícios trazidos por esse recurso, logo ela deve ser vista como um bem de todos (de domínio público) e de responsabilidade compartilhada. É considerada um recurso limitado, escasso, e dotado de valor econômico necessitando assim de uma gestão de recursos hídricos que proporcione os mais diferentes usos da água, que seja participativa e descentralizada, onde as decisões sejam tomadas de maneira democrática beneficiando o maior número de usos possíveis, sejam eles de interesse público, dos usuários de iniciativa privada ou comunidade. Esses são princípios trazidos pela conhecida Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a “Lei das Águas” (BRASIL, 1997). Ela estabelece os fundamentos, os objetivos, as diretrizes e os instrumentos necessários para se construir uma Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Dentre os objetivos que constituem a Política, destaca-se o desejo de assegurar a todos o direito de acesso a água em qualidade e em quantidade para os diferentes usos. As demais ações e sonhos presentes na Lei das Águas, de alguma maneira acabam por abranger esse objetivo, pois assegurar tais condições é o resultado (positivo) esperado quando se tem uso racional, consciente e sustentável, aliado à uma gestão sistemática, com planejamento, e integrada nos diferentes aspectos e áreas de atuação.

A Política Nacional de Recursos Hídricos instituída pela Lei nº 9.433/97 é estruturada a partir de 5 instrumentos, são eles os Planos de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos d'água em classes, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (Figura 1)



Figura 1 – Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos

Os Planos de Recursos Hídricos fundamentam e orientam o gerenciamento e a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, devem conter um diagnóstico atual dos recursos hídricos, considerando as demandas e disponibilidades hídricas atuais e futuras, identificando potenciais conflitos e propondo metas e prazos, além de propor ações e alternativas necessárias para alcançá-los. Os Planos desenvolvidos no âmbito das bacias hidrográficas, sejam elas estaduais ou federais, devem também definir os usos prioritários para outorga, os critérios de cobrança e propostas para proteção dos recursos hídricos através da criação de áreas sujeitas a restrição de uso por suas características. Quase como uma balança entre o real, o sonho, a necessidade e o possível que embasará o estabelecimento de objetivos e ações de curto, médio e longo prazo visando a solução de problemas existentes e a prevenção dos futuros.

O enquadramento dos corpos d'água em classes de acordo com os usos preponderantes segue níveis de qualidade da água, conforme estabelecido na Resolução CONAMA nº 357/05, de acordo com os usos mais exigentes (Classe especial) até os menos exigentes (Classe 4) (CONAMA, 2005). Para o seu estabelecimento, considera-se a real situação dos corpos d'água, a qualidade desejada e a qualidade que deveriam possuir para atender às necessidades de usos da bacia. Tem como objetivo promover a redução de gastos no combate a poluição de águas, mediante ações preventivas, e também assegurar a qualidade compatível àqueles usos mais exigentes. As classes estabelecidas na CONAMA nº 357/05 possuem uma série de parâmetros em concentrações mínimas e máximas admitidas para cada uma delas, entretanto na prática a gestão de recursos hídricos, e principalmente a outorga, leva em conta apenas as concentrações dos parâmetros de Oxigênio Dissolvido (OD) e

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) [Tabela 1.](#)

Tabela 1 – Concentrações de OD e DBO nas respectivas classes da CONAMA n° 357/05

Classe	OD (mg/L)	DBO (mg/L)
1	≥ 6	≤ 3
2	≥ 5	≤ 5
3	≥ 4	≤ 10
4	≥ 2	> 10

[Bitencourt, Fernandes e Gallego \(2019\)](#) identificam que esses dois instrumentos deveriam ser trabalhados simultaneamente, ainda que essa não seja a realidade do Brasil. Tanto a elaboração de um plano de bacia como o enquadramento levam em conta as condições atuais de uma dada bacia hidrográfica, e as condições possíveis e desejadas. São elaborados com a efetiva participação da sociedade, consideram os aspectos de quantidade e de qualidade, e focam nas ações necessárias para o alcance das metas estabelecidas. O descompasso entre consolidação desses instrumentos na bacia pode ter como consequência o retrabalho e informações divergentes, segundo os autores.

A cobrança pelo direito de uso dos recursos hídricos (aplicada exclusivamente aos usos outorgados) é um pagamento pela utilização de um bem público e serve como fonte de recursos para financiamento de medidas para preservação e recuperação dos corpos d'água. Segundo [Loucks e Beek \(2005\)](#), em qualquer processo de planejamento é necessária a garantia de que os planos e projetos sejam capazes de se pagar. É preciso recuperar os custos de manutenção, reparo, operação; espera-se que os beneficiários paguem de alguma forma, uma parcela, pelos benefícios adicionais que recebem. A cobrança é então, o instrumento que reconhece a água como um bem econômico e parte do princípio do poluidor-pagador, onde quem usa mais e polui mais, paga mais. Além disso serve como estímulo para a racionalização e o uso consciente da água uma vez que isso resultará também em economia financeira.

O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos deve reunir os dados e informações sobre a situação dos recursos hídricos, sobre as demandas e a disponibilidade de água. Para [Pereira e Johnsson \(2005\)](#) as condições hídricas da bacia são traduzidas também pelas pressões antrópicas. A caracterização das pressões envolvem tanto representações de cobertura vegetal, declividade, uso e ocupação do solo, como também das captações e lançamentos de efluentes cadastrados ou outorgados na bacia. Todas essas informações também devem ser atualizadas e divulgadas garantindo a transparência e o acesso a todos da sociedade. Um sistema bem organizado permite além de fornecer subsídios para a elaboração dos planos de recursos hídricos, manter o controle e auxiliar nas tomadas de decisões.

E o último instrumento, a outorga de uso de recursos hídricos é o ato administrativo que estabelece os termos e as condições de uso da água, para quem quer que deseje fazer qualquer tipo de intervenção no corpo hídrico, seja em quantidade ou em qualidade. A Outorga é uma autorização que tem dupla finalidade. Por um lado é uma garantia ao usuário, de forma que ele tenha por período determinado a quantidade de água que necessite para sua finalidade, e que a vazão que lhe foi outorgada não será utilizada por terceiros. Por outro lado a regulamentação dos usos da água permite à administração pública organizar e gerenciar esse bem de domínio público, ter o conhecimento dos usuários, e aplicar as prioridades e promover a articulação com os demais instrumentos da Lei das Águas (ANA, 2019c). Para o estabelecimento dos termos e das quantidades de cada uso, as análises técnicas de outorga consideram a disponibilidade hídrica, a qualidade do corpo hídrico e as demandas da bacia. Esse instrumento está portanto, amarrado aos demais, que são imprescindíveis para o embasamento técnico e para as tomadas de decisões.

Além dos instrumentos, outro agente importante previsto na Lei das Águas são os Comitês de Bacias Hidrográficas, que dentro de suas áreas de atuação buscarão promover os debates e negociações envolvendo os recursos hídricos, resolver conflitos, aprovar e acompanhar o Plano de Recurso Hídrico da bacia em questão, e estabelecer os mecanismos de cobrança. Os Comitês são o ambiente onde os representantes do governo, dos usuários e da sociedade civil se reúnem para discutir e negociar de maneira democrática os interesses, necessidades e objetivos dentro da bacia. É o lugar onde se constroem as soluções em consenso. Mesquita (2018) cita que dentre as motivações para a criação de Comitês de Bacia, estão a necessidade de adequação dos governos estaduais às leis de recursos hídricos, a exigência da ANA de criação de comitês para apoio financeiro, a existência de conflitos pelo uso da água, os eventos críticos e também o agravamento de condições ambientais nas bacias. Apesar do ambiente dos Comitês de Bacias Hidrográficas visarem a participação e as tomadas de decisões de maneira democrática, os interesses políticos e econômicos e as fragilidades administrativas, segundo o autor, podem comprometer o alcance da gestão democrática desejada.

Por fim, atribui-se aos poderes executivos federais e estaduais, cada um em sua esfera de atuação, a competência de outorgar os direitos de uso dos recursos hídricos, regulamentar e fiscalizar os usos, integrar a gestão de recursos hídricos e ambiental e implantar e gerir o Sistema de Informações. As Agências de Água devem ainda manter a transparência, o cadastro de usuário e informações de disponibilidade hídrica atualizados, administrar e acompanhar a cobrança pelos recursos hídricos e promover estudos para a gestão.

Percebe-se que a gestão dos recursos hídricos não é uma tarefa simples, e para

que esse mecanismo funcione de maneira adequada, todas as peças devem trabalhar em conjunto. As falhas no sistema de gestão podem levar ao surgimento de regiões com recursos hídricos bastante comprometidos e trazendo consigo a necessidade de novas ferramentas que auxiliem na remediação desses problemas. O Brasil é um país bastante heterogêneo em muitos aspectos (geográficos, climáticos, sociais, econômicos), e o mesmo não seria diferente para os recursos hídricos. Existem diversas abordagens nos diferentes estados do país tanto nos mecanismos de gestão como nos procedimentos adotados nas áreas críticas, a serem apresentados nas próximas seções.

2.2 SEGURANÇA HÍDRICA

Em 2013, no dia Mundial da Água, a ONU define o conceito de segurança hídrica como a capacidade de salvaguardar o acesso sustentável da água em quantidade e qualidade adequada para garantir a sobrevivência, o bem estar humano, o desenvolvimento socioeconômico, para assegurar proteção contra poluição e desastres relacionados à água, e para preservação de ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política ([UN-WATER, 2013](#)).

O tema de segurança hídrica vinha numa crescente ao redor do mundo, e esse foi o ponto inicial para o entendimento e a criação de um consenso no tema. A segurança hídrica oferece a oportunidade de um desenvolvimento sustentável contínuo além da diminuição dos conflitos e dos riscos associados à água. As atividades de desenvolvimento humano, assim como as mudanças climáticas e os eventos hidrológicos extremos, vem de encontro com o tema, provocando desequilíbrio no balanço hídrico e ameaçando os níveis de segurança. Portanto, para a ANA, é necessário o planejamento, implantação, dimensionamento e gestão de uma infraestrutura que garantam o equilíbrio tanto entre a oferta e a demanda por água, como em situações contingenciais provocadas por eventos extremos ([ANA, 2019d](#)).

Para assegurar um planejamento integrado e consistente dessa infraestrutura hídrica, a Agência Nacional de Águas em conjunto com o Ministério do Desenvolvimento Regional, cria o Plano Nacional de Segurança Hídrica e estratégias para a redução dos impactos de cheias e secas, até o ano de 2035. O Plano é estruturado com base nos graus de segurança hídrica em todo o país, que são definidos pelo Índice de Segurança Hídrica – ISH. Portanto, o ISH, criado no âmbito do PNSH, visa incorporar o conceito de risco aos usos da água de maneira simplificada e de fácil entendimento dos níveis de segurança hídrica.

O Índice retrata as diferentes dimensões (Humana, Econômica, Ecológica e de Resiliência) de segurança hídrica no país. Para a consolidação e apresentação espacial do Índice, todos os seus indicadores são associados a uma base hidrográfica otocodificada, em que é feita a interseção das informações de origem com os polígonos

das ottobacias, atribuindo assim as feições de origem à área comum. Ainda, o Índice apresentado pela ANA (2019d) é definido por cinco faixas em ordem decrescente, que vai do grau mínimo de segurança hídrica até o máximo, passando por baixo, médio e alto. Cada indicador do Índice é formado por um conjunto de variáveis ou atributos mensuráveis. E para cada dimensão são atribuídos pesos a esses indicadores para o cálculo de média ponderada e da normalização do índice. As quatro dimensões então são combinadas para formar o ISH.

A principal variável para o estabelecimento do ISH é o balanço hídrico dado pela razão entre a demanda e a disponibilidade nas bacias. A variável fornece o nível de comprometimento da oferta de água e é aplicado às dimensões Humana, Econômica e Ecológica. O balanço hídrico superficial considera o somatório das demandas dos cinco setores (humano urbano, humano rural, animal, indústria e irrigação) e a disponibilidade de água. Para cada trecho é computada a quantidade de água não consumida e que retorna ao seu curso, tornando-se disponível no trecho seguinte (ANA, 2019b).

Portanto, o Índice de Segurança Hídrica, nas diferentes dimensões traz a simplicidade da identificação das regiões que merecem maior atenção criando um direcionamento dos esforços tanto na esfera local como nacional. É o norte para o planejamento, controle, criação de metas e desenvolvimento de ações para a garantia de água.

2.3 SECA E ESCASSEZ HÍDRICA AO REDOR DO MUNDO

Ao redor do mundo, são diversos os cenários de crise hídrica e de conflitos pelos recursos hídricos, assim como as ferramentas e medidas implantadas para conter as crises, a escassez e fazer o gerenciamento e alocação da água. A seguir apresenta-se um breve relato de diferentes exemplos desses cenários. Iniciando pela Espanha, um país que sempre enfrentou situações de seca ao longo da história. Para lidar com os episódios prolongados de seca, o país desenvolveu um sistema nacional de indicadores de seca e escassez como ferramenta de auxílio a gestão e tomada de decisões (PEDRO-MONZONÍS et al., 2015). A situação de comprometimento da quantidade de água no país é dividida em duas vertentes, a primeira é a de seca meteorológica, bastante relacionada com a falta de precipitação e a seca prolongada. A segunda é a escassez, conhecida como seca hidrológica, e é relacionada com os possíveis problemas de atenção com as demandas de água (ESPAÑA, 2019).

O sistema de indicadores nacional previsto no Plano Hidrológico Nacional pela Lei 10/2001, tem como finalidade minimizar os impactos ambientais, econômicos e sociais das eventuais situações de seca. A caracterização de uma seca hidrológica, tem a intenção de ser uma ferramenta de auxílio a tomada de decisão nas organizações de

bacias. Para tanto, cada autoridade da bacia hidrográfica adotou um método de cálculo para a definição do indicador de seca. Os indicadores são estimados para cada sistema de abastecimento, e dependem muito da fonte principal ou da combinação de fontes que proveem o recurso. O sistema de indicadores compreende vários pontos de controle distribuídos ao longo das bacias que monitoram os níveis dos reservatórios, os níveis piezométricos em aquíferos, as vazões dos rios e os fluxos de entradas e precipitações, além das reservas de neve (MMA, 2001). Os indicadores de seca hidrológica, ou escassez, são calculados a partir desses dados coletados e são apresentados em 4 faixas: situação de normalidade (valores maiores que 0,5), pré-alerta (entre 0,3 e 0,5), alerta (0,15 a 0,30) e emergência (inferior a 0,15). Já os indicadores de seca meteorológica adotam então, valores entre 0 e 1, sendo que os valores entre 0 e 0,5 correspondem às situações de seca, 0,5 à situação média, e de 0,5 a 1 indicam a ausência de problemas relacionados a seca.

A mesma lei citada no parágrafo acima, estabelece também o desenvolvimento de Planos Especiais de Seca (*Planes Especiales de Sequía - PES*) a fim de definir mecanismos para a previsão e detecção de situações de seca, promover a transparência e a participação pública, fazer o acompanhamento periódico da evolução desses indicadores e propor medidas para alcançar os objetivos específicos de cada fase da seca. Assim, esse sistema de indicadores de seca na Espanha, permite a caracterização objetiva das fases da seca em cada sistema, as ações podem ser planejadas com antecedência, facilita também na aplicação de metas progressivas associadas aos indicadores, e traz maior acesso a todos de forma objetiva, transparente e clara de qual é a situação da quantidade de água em cada região.

Outro índice utilizado para a gestão das águas na União Européia como um todo, é o *Water Exploitation Index - WEI*. A *European Environment Agency*, utiliza-se do índice que se refere ao nível de estresse a que os recursos hídricos são submetidos devido a pressão das demandas. O WEI pode ser calculado como o percentual da demanda em relação do recurso disponível. O índice serve como um indicador de escassez de água, e representa o percentual de recursos hídricos utilizados em um território definido em determinado período. Valores acima de 20% representam que os recursos estão sob estresse hídrico, e acima de 40% estresse severo e um uso claramente insustentável dos recursos de água doce (EEA, 2018). Entretanto esses valores referem-se a médias anuais, e essa é uma questão, que segundo Pedro-Monzonís et al. (2015), pode comprometer a utilização do mesmo, uma vez que não é considerada a sazonalidade. Outro ponto é o fato de o WEI apresentar incertezas quanto aos dados de entrada, podendo indicar valores incorretos.

Citando agora, outro exemplo com um cenário de grande desenvolvimento econômico e urbanização, a China enfrenta grande desafio para suprir as demandas da

maior população do mundo em constante crescimento. O país, segundo [Jiang \(2009\)](#), desde a década de 80 tem se deparado com problemas de escassez hídrica, tanto em quantidade como em qualidade, de magnitude e frequência crescentes em todos os setores de desenvolvimento. Esse fato se deve pela superexploração da água, grande demanda, desigualdade na distribuição dos recursos naturais e principalmente a má gestão dos recursos hídricos e uma deficiência de políticas públicas ([JIANG, 2009](#)).

Autores como [He, Harden e Liu \(2020\)](#) e [Jiang \(2009\)](#) ressaltam a gestão fragmentada dos recursos hídricos na China. Cerca de 20 agências governamentais centrais estão envolvidas, em diferentes níveis, com a gestão das águas. Dentre as principais estão o Ministério de Recursos Hídricos (MWR - Ministry of Water Resources) que supervisiona a construção e manutenção de grandes obras e faz a alocação da água, e o Ministério da Ecologia e Meio Ambiente (MEE - Ministry of Ecology and Environment), que faz o controle da poluição e proteção da qualidade dos ecossistemas e recursos hídricos do país. Essa separação institucional não impede somente a gestão eficiente como também aumenta os custos de transações administrativas e atrasos no desenvolvimento e implementação de políticas públicas. Além dos Ministérios, na China existem 7 grandes comitês nas principais bacias hidrográficas, com o intuito de promover e liderar a gestão integrada. Entretanto os comitês também não têm autoridade para fazer a alocação dos recursos, coordenar a exploração e conservação e aplicar as regulamentações ambientais, tornando ainda mais problemática a situação.

Dentre as iniciativas institucionais para gerenciar e minimizar os impactos da demanda crescente de água, uma que merece destaque é o mecanismo de mercado de água, que envolve a transferência de direitos de água e tem o intuito de promover o uso eficiente e o menor consumo. Um grande exemplo da aplicação dessas transações é na Bacia do Rio Amarelo. A Bacia encontra-se ao norte da China, região que concentra mais de 40% da população do país, mas também é a região mais seca, com menor disponibilidade de água. o Rio Amarelo é o segundo maior rio da China, e tem extrema importância na produção agrícola e industrial, entretanto com sérios problemas de escassez. Na tentativa de contornar os problemas e manter o desenvolvimento da bacia, diversos programas vem sendo desenvolvidos para a execução do Plano de Alocação de Água do Rio Amarelo. Dentre as medidas estão o aumento nos preços da água e um sistema de cota e transferência de água. O usuário que excede a cota mensal deve pagar uma taxa extra de acordo com certas proporções, mas em contra-partida aqueles que tiverem um excedente de água podem transferir suas cotas a preços previamente acordados ([HE; HARDEN; LIU, 2020](#)). Na teoria os mercados de água seriam uma boa opção pra promover o uso eficiente do recurso, mas na prática é necessário uma gestão bem estruturada, com regras e métodos de alocação definidos e uma boa integração entre todos os instrumentos de gerenciamento dos recursos hídricos, o que claramente não é o caso da China como um todo.

Nos Estados Unidos, existem duas doutrinas de direito de uso da água, os direitos ripários ou ribeirinhos que dão aos proprietários de terras o direito de utilizar a água dentro da propriedade desde que não prejudique usos a jusante, e também a doutrina de apropriação anterior onde os que chegam primeiro tem prioridade sobre o recurso (HE; HARDEN; LIU, 2020). Ainda, em algumas regiões onde já se identifica escassez de água, foram implementadas formas de comercialização de água, assim como visto na China. A bacia mais famosa, e que historicamente sofre com a escassez hídrica além de intensos conflitos e disputas por água, nos Estados Unidos é a Bacia do Rio Colorado. O Rio Colorado abastece estados como Utah, Colorado, Nevada, Califórnia e ainda parte do México. Além disso, cerca de 80% da água é utilizada para irrigar aproximadamente 1,2 milhões de hectares de áreas agrícolas, e diferente do Rio Amarelo na China, o Rio Colorado não existe nenhuma instituição estabelecida em toda a bacia para coordenar uma gestão abrangente dos recursos, e a falta dessa coordenação provoca competição ainda maior pelos recursos que são limitados. Nesse sentido, apenas no estado da Califórnia que existem estratégias para a conservação baseadas nos mercados de água para um gerenciamento eficaz do recurso.

A Califórnia fica na região mais seca dos EUA, e concentra cerca de 8% da produção agrícola nacional no Vale Central da Califórnia, e esse cenário motivou mudanças na regulamentação de gestão de águas o estado (BERBEL; ESTEBAN, 2019). Entretanto a água na Califórnia ainda é administrada por um sistema descentralizado, com muitas agências e organizações locais, municipais e regionais de água, e há participação dos governos estadual e federal na regulação do recurso. Nesse sentido a Califórnia difere em seu gerenciamento de água por não ter tradicionalmente definido a água como propriedade comum, mas por ter um grupo grande e diversificado de direitos à água. No intuito de apoiar a realocação de água, sobretudo em períodos de seca, os mercados de água na Califórnia foram implementados no início dos anos 1980, e tiveram expansão significativa durante a seca de 1987–1992. No estado, os mercados de água são baseados em transferências de água de curto, longo prazo e permanentes, para realocar a água para usos de maior valor (BERBEL; ESTEBAN, 2019).

Recentemente a crise hídrica entre os anos de 2016 e 2018, direcionou olhares preocupados de todo o planeta para a Cidade do Cabo, na África do Sul, que passou pela pior seca dos últimos 100 anos, e foi a primeira metrópole do mundo a planejar desativar indefinidamente o abastecimento de água da população. A cidade, que tem 88% do seu abastecimento dependente da precipitação, com a falta de chuvas nesse período se deparou com a aproximação do dia que foi chamado como "Dia Zero", onde o abastecimento seria interrompido, e a população teria acesso a apenas 25 litros de água por dia em pontos de coleta espalhados pela cidade (BRÜHL; VISSER, 2021). A cidade implementou medidas como o aumento da tarifa de água que promove

a redução gradual do uso a longo prazo, as restrições de uso conforme o aumento da seca, a redução da pressão da água com a instalação de válvulas redutoras de pressão para diminuir as perdas por vazamento e promovendo aumento de eficiência hídrica, e também campanhas de educação ambiental e informação pública sobre a gravidade da momento de crise hídrica e conseqüente redução da demanda a curto prazo. Com essas medidas, e a redução do consumo foi de mais de 50% entre 2015 e 2018 (BRÜHL; VISSER, 2021), e o tão temido Dia Zero foi sendo adiado, com o custo de ter que enfrentar um cenário extremamente crítico para gerenciar a crise.

2.4 DESDOBRAMENTOS DE GESTÃO PARA ÁREAS CRÍTICAS

Uma vez apresentados os instrumentos de gestão de recursos hídricos e o conceito de segurança hídrica, nessa seção teremos o enfoque para àquelas áreas que necessitam de um tratamento especial e nas quais são aplicadas ainda outras ferramentas de gestão.

2.4.1 A definição de Área Crítica

De forma antagônica a definição de segurança hídrica, para o escopo desse trabalho temos que uma área crítica quanto aos recursos hídricos superficiais é estabelecida quando a disponibilidade de água não é suficiente para suprir todos os usos e necessidades da bacia. Essa região hidrográfica pode então ser caracterizada com um grande potencial de conflito, e pode ter qualidade e quantidades de água comprometidas.

Como será visto a seguir, não existe um jargão universal quando se faz referência a essas bacias. Os termos variam muito de região para região. As motivações para que uma área seja definida como crítica são basicamente:

- a. Quando os usos superam a disponibilidade hídrica em uma dada bacia;
- b. Ou quando há situações de escassez de água, seja por ocorrência de eventos hidrológicos críticos de origem natural ou por essa condição local, característica, e recorrente de uma determinada região.

Uma varredura realizada no país mostra que alguns estados vêm trabalhando para trazer melhorias de gestão das áreas com certo comprometimento hídrico, e cada um deles utiliza-se de procedimentos próprios, de forma independente, e de acordo com a necessidade identificada por cada um. A heterogeneidade de termos e ações tende a tornar mais complicado o entendimento sobre o que estamos tratando, mas uma vez definidas aqui as áreas críticas, podemos prosseguir com maior segurança

e clareza. A [Tabela 2](#) apresenta um conjunto de termos utilizados para se referir as bacias críticas.

Tabela 2 – Termos utilizados e ferramentas de gestão para áreas críticas

Unidade de Gestão	Termos Utilizados	Ferramentas
ANA	Bacias Críticas	Alocação Negociada, Termos de Alocação Negociada, Marcos Regulatórios
SP	-	Sistema de Suporte a Decisão (SSD)
PR	Área Crítica	Declaração de Área Crítica (DAC), Alocação Negociada, Enquadramento Transitório
BA	-	Enquadramento Transitório, Monitoramento de Secas
CE	Situação Crítica de Escassez Hídrica	Ato Declaratório, Alocação Negociada
MG	Situação Crítica de Escassez Hídrica e Área de Conflito	Declaração de Situação Crítica de Escassez Hídrica, Estado de Restrição de Uso, Declaração de Área de Conflito(DAC), Alocação Negociada, Outorga Coletiva
RS	Bacias Especiais	Portarias Excepcionais, Outorga Coletiva
GO	Área de Conflito	Declaração de Área de Conflito(DAC), Alocação Negociada, Outorga Coletiva
RN	-	Reuniões de Alocação de Água
DF	Situação Crítica de Escassez Hídrica	Declaração de Situação Crítica de Escassez Hídrica, Estado de Restrição de Uso, Alocação negociada, Termo de Alocação Negociada
ES	Cenário de Alerta	Acordo de Cooperação Comunitária (ACC)
MA	-	Enquadramento Transitório, Consultas públicas

Ainda, existe uma diversidade de ferramentas aplicadas a gestão de áreas críticas. Dentre elas, a Alocação Negociada é bastante recorrente como mostrado também na [Tabela 2](#), e terá destaque especial na seção seguinte. Mas antecipadamente, é possível perceber que os órgãos gestores ao longo do país sentem a necessidade de tornar mais participativa as decisões no âmbito das áreas críticas. Destaca-se esse processo de Alocação Negociada como uma grande oportunidade para colocar em prática os fundamentos da Lei 9.433/1997.

2.4.2 A Alocação Negociada

As demandas de água, naturalmente, sofrem um aumento com o passar do tempo, e nem sempre a disponibilidade hídrica é adequada ao atendimento de todas elas. Segundo [Lopes e Freitas \(2007\)](#), a alocação da água só se torna necessária quando os recursos são sobre-alocados. Ou seja, existe uma cultura de remediação dos problemas a medida que forem surgindo. Os autores citam ainda que a alocação pode se dar de diversas maneiras, tanto por ordem de chegada, ou favorecendo os usuários melhores alocados de montante para jusante ou com abatimentos proporcionais às demandas para adequação a disponibilidade hídrica.

Historicamente a alocação da água é centralizada pelo poder público que baseia-se em questões técnicas, sociais e econômicas. Caracteriza-se muitas vezes conforme as tendências regionais ou setoriais, desarticulação com as demais políticas públicas e pouca participação social nas decisões. O cenário começou a mudar na década de noventa com Lei das Águas e demais políticas, passando então a ter modelos alternativos para a gestão, na tentativa de torná-la mais eficiente e de caráter participativo ([LOPES; FREITAS, 2007](#)).

O processo de alocação negociada surge quando identifica-se o risco de comprometimento da segurança hídrica. Em situações onde o conjunto das demandas supera a disponibilidade, evidencia a possibilidade de conflitos pelo uso da água e o risco de desabastecimento. Portanto são necessárias medidas de planejamento, em um processo que envolvem ações de médio e longo prazo para a garantia de uma maior segurança hídrica, e convivência com as situações de seca conforme a região ([ANA, 2019a](#)). Nesse sentido destaca-se a importância dos Comitês de Bacia e o seu papel fundamental nos processos de alocação negociada. No panorama apresentado na sequência verifica-se que é no âmbito dos Comitês de Bacias Hidrográficas que são discutidos com os usuários, e demais interessados, as alternativas e as necessidades de cada um quanto ao uso da água. As reuniões realizadas nos locais de conflito, buscam o consenso entre os presentes para a melhor divisão dos recursos, atendendo aos usos prioritários e garantindo minimamente que não haja o desabastecimento completo.

Os procedimentos, como será visto nas seções adiante, nem sempre são os mesmos para a instituição de um processo de alocação negociada, mas o fator participação e negociação para melhor distribuição dos recursos é existente em todos eles. Os motivos pelos quais é necessária a alocação negociada também podem diferir, sejam eles pelas características regionais e temporais de quantidades de água limitadas, ou pela procura exagerada em regiões onde recurso é de maior abundância. O processo de maneira geral demonstra-se de grande importância para o fortalecimento do caráter democrático e participativo das decisões e envolvimento cada vez maior de

todas as esferas na busca do sucesso das soluções presentes nesse acordo social.

2.5 PANORAMA DAS DIFERENTES ABORDAGENS PARA GESTÃO DE BACIAS CRÍTICAS NO BRASIL

Fatores que ameaçam o equilíbrio entre demanda e oferta de água estão relacionados ao crescimento de áreas urbanas e da população, além do desenvolvimento econômico que também provocam a ampliação da demanda, bem como as mudanças climáticas e os eventos hidrológicos extremos. Tudo isso aliado a falta de planejamento, ações e infraestrutura, desencadeiam a chamada crise hídrica (ANA, 2019a). Para lidar com tais situações, desde 2004 através de marcos regulatórios (ANA, 2017), a Agência Nacional de Águas (ANA) desenvolve um processo de adequação e regulamentação de ações necessárias para o gerenciamento dos recursos hídricos em regiões que enfrentam dificuldades e conflitos.

Identificando a necessidade de tais ações, ao longo dos anos foram se estabelecendo alguns instrumentos e procedimentos pelos quais a agência tem maior embasamento legal e maior agilidade para lidar com as áreas críticas e conflituosas. O desenvolvimento de estudos e a criação de metodologias também foi vista como necessária, para tornar os dados e procedimentos da agência em mecanismos de melhor qualidade para orientar a gestão. Em 2012, a ANA em Nota Técnica Conjunta n° 002/2012 entre a Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos e a de Regulação de Recursos Hídricos do órgão, apresenta uma metodologia de identificação de áreas em situação de criticidade quali-quantitativa dos recursos hídricos, principalmente as de domínio federal, com o intuito de subsidiar o direcionamento da gestão das águas. A metodologia utiliza-se principalmente dos balanços de qualidade e de quantidade como parâmetro de criticidade e passa por uma série de etapas que contemplam a identificação dos trechos críticos e incrementação de áreas com fatores potenciais de criticidade (localização em regiões de cabeceiras, quantidade de área irrigada, presença de usinas hidrelétricas e áreas de mananciais), o processo de refinamento e por fim a classificação em níveis de criticidade e a proposição de ações para a gestão.

A referida Nota Técnica ainda recomenda, em suas considerações finais, a elaboração de um termo de referência (TDR) contendo em seu escopo estudos adicionais de modelagem e com avaliação *in loco*, para melhor caracterização dos trechos críticos e também com o intuito de manter atualizado o balanço hídrico dessas áreas (ANA, 2012). Tal orientação constituiu-se na referência principal para o início da elaboração do *"Estudo de Modelagem Quantitativa e Qualitativa de Trechos de Rio em Bacias Hidrográficas Consideradas Críticas"* desenvolvido pelo Consórcio COBRAPE/CH2MHILL em contrato com a Agência Nacional de Águas, no ano de 2014

(ANA, 2016).

O objetivo foi melhorar a qualidade dos dados e informações das bacias críticas definidas a priori pela ANA, além de ser mais uma ferramenta de suporte a tomada de decisão para a implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos. A metodologia do Estudo priorizou 29 bacias hidrográficas, e de certa forma se assemelha com a metodologia prevista na Nota Técnica Conjunta n° 02/2012. Também passou por etapas de levantamento de dados, balanço quali-quantitativo, refinamento, determinação e classificação das áreas e a proposição de ações. A modelagem foi realizada pelo aplicativo ABaCO – Análise de Bacias Críticas Ottocodificadas e alcançou resultados semelhantes ao da Nota Técnica 02/2012 (ANA, 2016). Ainda, os resultados, e os shapefiles com os trechos críticos podem ser encontrados no conjunto de metadados da ANA e também no mapa interativo do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), garantindo a transparência e o acesso aos dados a toda a sociedade.

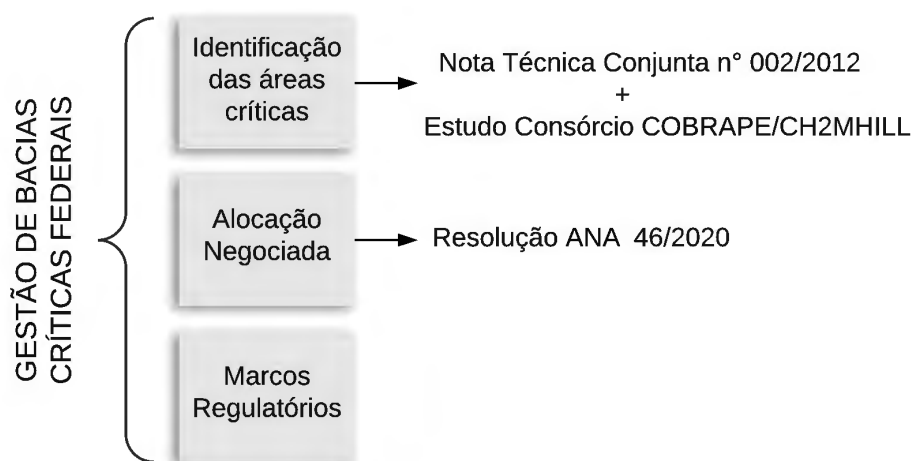


Figura 2 – Gestão de Bacias Críticas Federais

Uma vez identificadas as bacias críticas, como pode ser visto no esquema da Figura 2, a Agência Nacional de Águas detém-se de mais dois instrumentos no auxílio da redução dos conflitos pela água atualmente, são eles os Termos de Alocação de Água e os Marcos Regulatórios. A Resolução ANA n° 46, de 26 de outubro de 2020, que atualiza a Resolução ANA n° 78/2019, regulamenta o Termo de Alocação de Água. Em regiões onde o sistema hídrico é crítico em termos de comprometimento hídrico, e que apresentam alguma situação emergencial, surge a necessidade da adoção do Termo de Alocação de Água, que é um ato onde se estabelecem os limites, regras e as condições para o uso dos recursos hídricos de domínio da União. Fica definido então o sistema hídrico crítico em termos de comprometimento, aqueles cujos corpos d'água não sejam capazes de atender às demandas associadas a ele (ANA, 2020). Em um

processo de gestão descentralizada e participativa, são previstas reuniões públicas de alocação de água, a fim de se estabelecerem condições temporárias para os usos da água, normalmente para o horizonte de um ano. São definidas as regras de alocação, e participam desse processo os órgãos outorgantes, comitês de bacias, quando houver, e os demais interessados pelo recurso em um determinado sistema hídrico.

A ANA tem o papel de mediadora em tais reuniões, onde são discutidas as providências necessárias à efetivação da alocação, e buscam-se soluções e alternativas para atendimento aos diferentes usos. Nos Termos são registradas as decisões tomadas em reuniões públicas, assim como a identificação dos corpos de água do sistema hídrico, os limites, regras e condições de uso da água e operação de reservatórios e a disponibilidade hídrica do sistema. Os Termos de Alocação de Água observam também ao disposto em marcos regulatórios, quando houver.

Os marcos regulatórios, da mesma maneira que os Termos de Alocação de Água, se fazem necessários em cenários de conflitos, mais especificamente onde as normas gerais não são mais adequadas. Irão determinar estratégias de gestão de recursos hídricos a médio e longo prazo, estabelecer as regras e condições para os usos da água, assim como as medidas e orientações definidas em um processo participativo. São levantados dados e informações sobre usos da água e disponibilidade hídrica, subsidiando estudos técnicos e as ações que possibilitarão a regularização dos usos e aplicação do instrumento de outorga previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos. Os procedimentos e critérios definidos pela resolução do marco regulatório são válidos para novos atos de outorga, bem como renovações.

2.5.1 Minas Gerais

O IGAM (Instituto Mineiro de Gestão de Águas), utiliza-se de diferentes ferramentas para o cuidado com suas bacias críticas. São dois documentos bastante importantes presentes no estado relacionados ao tema ([Figura 3](#)). Com relação a situações de escassez hídrica, levando em conta os períodos de estiagem, e com o objetivo de prevenir ou minimizar o efeito das secas, a degradação ambiental, atender aos usos prioritários e também reduzir os impactos sobre os usos múltiplos da água, as Deliberações Normativas nº 49 e 50 (que altera a anterior) de 2015 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais, estabelecem as diretrizes e os critérios para a definição de situação crítica de escassez hídrica e estado de restrição de uso. Para tanto devem ser levados em consideração os níveis dos reservatórios, as médias de vazões diárias assim como as restrições operacionais referentes às estruturas hidráulicas existentes em dada porção hidrográfica ([CERH/MG, 2015](#)). Além disso também são definidos estado de atenção, alerta e de restrição de uso. Isto posto, a declaração de situação crítica de escassez hídrica pode implicar em restrições de

uso com suas condições devidamente especificadas em tal declaração.



Figura 3 – Regulamentação em Minas Gerais

Para captações são previstas reduções de pelo menos 20% para as finalidades de consumo humano, abastecimento público ou dessedentação de animais, 25% para irrigação, 30% para consumo industrial e agroindustrial e até 50% para demais finalidades. O órgão gestor, caso necessário, quando a restrição perdurar mais que trinta dias, pode estabelecer ainda, condições mais restritivas e também suspender a emissão de novas outorgas para tal região.

Já o Decreto n° 47.705/2019 estabelece as normas e procedimentos para a regularização de uso dos recursos hídricos em Minas Gerais. Tem enfoque maior quanto aos conflitos relacionados aos usos da água, e situações de criticidade relacionadas a tais. Esse decreto regulamenta também, em sua Seção I, o processo de Outorga coletiva de recursos hídricos superficiais. Para tanto, como no esquema apresentado na [Figura 4](#), é necessária a constatação de uma situação de conflito em dada região hidrográfica. Mediante parecer técnico pode ser emitida uma Declaração de Área de Conflito (DAC). Isso feito, inicia-se um processo de alocação negociada. O Comitê de Bacia Hidrográfica correspondente é comunicado e passa a ser de sua competência fazer a convocação dos usuários para que seja elaborada a Proposta de Alocação Negociada a ser apresentada ao IGAM em um prazo de um ano. A proposta por parte dos usuários, deve ser fundamentada em estudos técnicos de profissionais legalmente habilitados, e não havendo consenso entre eles no processo de alocação, o IGAM com suporte do respectivo CBH, definirá a alocação dos usos com base nos estudos que forem apresentados. (MINAS GERAIS, 2019)

Os usuários da área de conflito e suas respectivas outorgas passam a ser inseridos em portaria única de outorga coletiva. Assim, para a emissão de outorga coletiva é necessário a emissão de DAC e também o processo de Alocação Negociada.

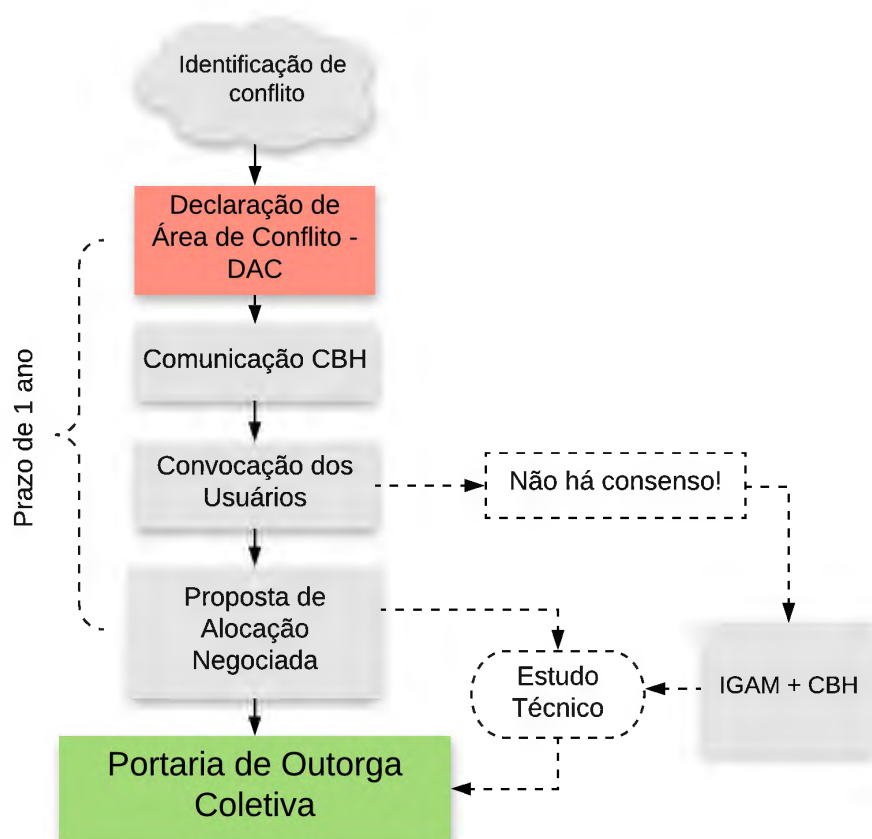


Figura 4 – Procedimentos IGAM

2.5.2 Goiás

De forma bastante parecida com o estado de Minas Gerais, Goiás também possui Declarações de Área de Conflito, processos de alocação negociada e portarias de outorga coletiva. Igualmente identificada uma situação de conflito pelo uso da água no estado de Goiás, seja pelo órgão outorgante na análise técnica de solicitações de outorga, ou pelo comitê de bacia hidrográfica, deve haver a emissão da Declaração de Área de Conflito (DAC) mediante parecer técnico do órgão. Cabe então aos Comitês de Bacias hidrográficas com atuação na área declarada de conflito, convocar os usuários para o estabelecimento de uma proposta de alocação negociada dos recursos hídricos.

Nesses casos pode ser emitida a outorga coletiva, que vem a ser a cessão de uma dada vazão para o uso compartilhado da água por um grupo de usuários. A emissão de uma outorga coletiva só poderá acontecer quando da emissão da DAC, ou quando solicitado por um grupo de usuários(CERHI/GO, 2019).

A Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (ADASA), diferente das demais agências do país, atua tanto na regulação dos recursos hídricos como dos serviços de energia e saneamento básico, a fim de promover uma gestão sustentável em prol da sociedade. Ainda, a ADASA, tem a função

de definir, controlar e fiscalizar as condições de operação de reservatórios no Distrito Federal, regulamentando as normas e medidas de contingência necessárias para assegurar os usos prioritários da água.

O Distrito Federal localiza-se em uma região de cabeceiras, conta com longos períodos de estiagem, além de apresentar elevada densidade populacional (CAPODEFERRO; SMIDERLE et al., 2018). Levando em conta esse cenário de baixa disponibilidade hídrica e grande demanda por água, a ADASA atua ativamente no combate a crise hídrica. Por meio de estudos e resoluções específicas, são estabelecidos os volumes de referência para os reservatórios em seu domínio, que quando atingidos caracterizam as situações críticas. Tais resoluções, além de estabelecerem esses critérios, determinam as ações a serem adotadas nesses períodos. Posteriormente, quando identificado o nível crítico em determinado reservatório, a agência emite então uma Declaração de Situação Crítica de Escassez Hídrica, por meio de ato específico. A situação perdura pelo tempo que for necessário até que sobrevenha a garantia de segurança hídrica nos reservatórios em questão, e assim por meio de resolução específica o órgão pode encerrar o estado de restrição e revogar resolução de Declaração de Situação Crítica de Escassez Hídrica.

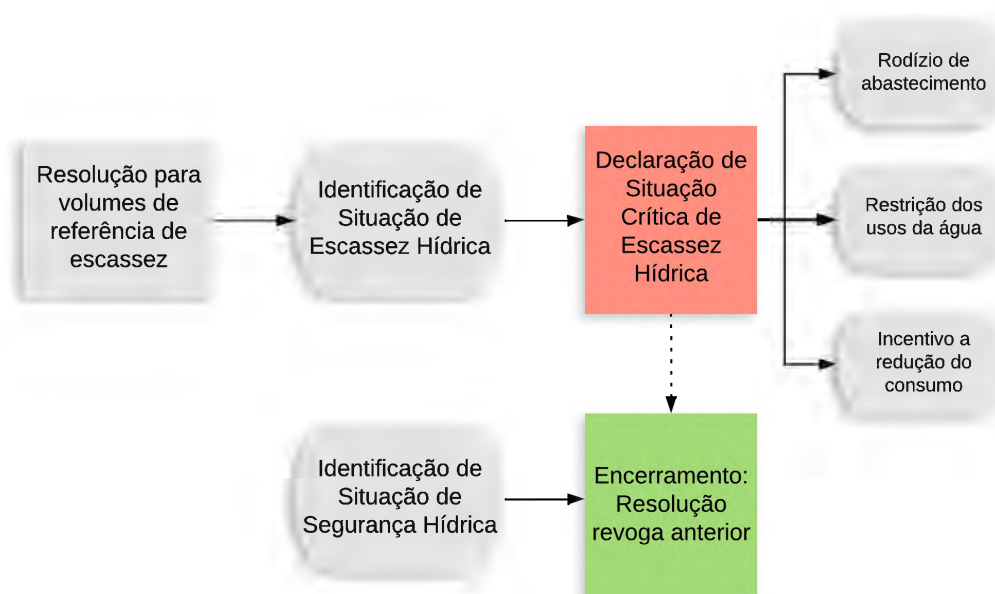


Figura 5 – Procedimentos ADASA

Em 2016, a ADASA realizou a primeira manifestação em combate a situação crítica de escassez hídrica através da Resolução ADASA nº 13, que estabelecia 3 estados conforme os níveis dos reservatórios Descoberto e Santa Maria. Segundo Capodeferro, Smiderle et al. (2018), o ano de 2016 foi caracterizado por seca intensa nessa região, e em 16 de setembro, é declarada a Situação Crítica de Escassez Hídrica

(Resolução 15/2016) e posteriormente o estado de restrição de uso dos recursos hídricos (Resolução 20/2016), com regime de racionamento do serviço de abastecimento de água nas localidades atendidas pelos reservatórios. Nesse caso específico, como apresenta [Capodeferro, Smiderle et al. \(2018\)](#), foi necessária a adoção de diversos mecanismos tais como a restrição dos usos a partir de alocação negociada, melhorias na rede de distribuição, a aplicação de Tarifas de Contingência para incentivar a redução do consumo e arrecadar recursos para arcar com os custos adicionais em situações de escassez, além do rodízio no fornecimento de água nas regiões abastecidas pelos reservatórios comprometidos.

Ainda, a fim de regulamentar o processo de Alocação Negociada e minimizar os efeitos de escassez hídrica no Distrito Federal, em 2017, entra em vigor Resolução nº 04 da ADASA que estabelece as diretrizes gerais para o processo de alocação negociada. Nela ficam definidos os conceitos de Alocação Negociada e também o Termo de Alocação negociada:

***I - Alocação negociada de água:** processo de divisão da quantidade disponível de água em região específica de uma bacia ou de um conjunto de bacias hidrográficas, disciplinado por um conjunto de regras gerais, estabelecido com a participação dos usuários detentores de outorga para o uso da água na região em questão*

***IV - Termo de Alocação Negociada de Água:** documento aprovado pelos usuários de recursos hídricos e homologado pela ADASA/DF que contenha os critérios para distribuição dos recursos hídricos em região específica de uma bacia ou de um conjunto de bacias hidrográficas;*

Uma vez definidos os conceitos, a Resolução ADASA nº 04/2017 em seu artigo 4º indica que para a efetivação do processo de alocação negociada, devem ser minimamente observados os procedimentos de levantamento dos usuários presentes na bacia em questão, a realização do diagnóstico e do prognóstico da disponibilidade hídrica, a instituição de uma comissão de acompanhamento da Alocação negociada e a elaboração da proposta ([ADASA, 2017](#)). A proposta deve então ser formulada com a participação dos usuários, preferencialmente com decisões tomadas em consenso, tem de basear-se em estudos técnicos e contemplar as alternativas plausíveis para os usos da água. uma vez estruturada, passa pela aprovação da Comissão e posteriormente é homologada pela ADASA. Nos casos onde não houver consenso por parte dos usuários a ADASA tem a competência de definir os critérios para que seja garantida a disponibilidade hídrica e o uso racional da água.

Nos termos de Alocação negociada devem constar as condições e os critérios acordados e aprovados nas reuniões com os usuários. O documento homologado, então, pela ADASA, deve ser amplamente divulgado. Mensalmente é prevista reunião da comissão de acompanhamento com usuários da bacia em questão, para discutir a

situação dos recursos hídricos e propor estratégias de otimização e realocação dos usos da água. No site da ADASA, ainda, são apresentados os boletins de acompanhamento da alocação de água nas bacias. As ações de alocação de água estabelecidas, podem ter caráter contínuo ou temporário, e os casos de descumprimento das regras acordadas são passíveis das penalidades cabíveis conforme resolução específica.

Percebe-se que a gestão de bacias críticas no Distrito Federal, envolve principalmente a operação de seus reservatórios que são a base para a distribuição e abastecimento de água. O enfoque da gestão nessa região se refere a uma situação natural resultado de uma quantidade de água disponível que é insuficiente para suprir todas as necessidades, sejam elas sistêmicas ou humanas (PEDRO-MONZONÍS et al., 2015).

2.5.3 Ceará

A década de 90 no Ceará, é marcada pelo início das preocupações do estado com a gestão dos recursos hídricos. Em 1992 é instituída a Política Estadual de Recursos hídricos do Ceará, que oficializou e promoveu grandes avanços nos processos de descentralização e de gestão participativa. De acordo com da Silva et al. (2006), o estado está localizado em zona semi-árida, possui baixa disponibilidade hídrica tanto superficial como subterrânea. Essas características estimulam ainda mais a necessidade do envolvimento dos usuários, para assegurar a todos o acesso a água, partindo de regras acordadas principalmente com relação a operação de seus reservatórios.

Assim, a Alocação Negociada esquematizada na Figura 6, é uma ferramenta importante e que traz bons resultados no atendimento às demandas dos usuários presentes nos sistemas hídricos do estado do Ceará. O processo de Alocação Negociada é promovido pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH), e ocorre uma vez ao ano (mesma frequência realizada pela ANA), sempre após o período chuvoso no Ceará. Isso se deve ao fato de que somente após esse período, em função da recarga de água, o órgão é capaz de definir a quantidade de água disponível para os meses subsequentes em cada açude. Para auxiliar na tomada de decisão, são realizadas diversas simulações de esvaziamento dos reservatórios e estabelecidos cenários de oferta de água. O processo visa maximizar os usos e alocar de maneira eficiente o recurso para as diversas necessidades (PINHEIRO; CAMPOS; STUDART, 2011).

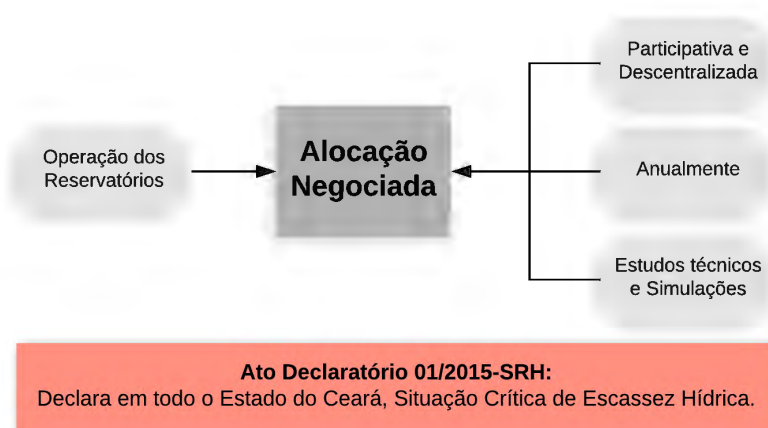


Figura 6 – Procedimentos COGERH

Além disso, através do Ato Declaratório nº 01/2015-SRH (CEARÁ, 2015), fica declarada situação crítica de escassez hídrica em todo o estado do Ceará e que permanece que em vigor até que haja uma recarga dos sistemas hídricos que assegure níveis aceitáveis de segurança hídrica.

2.5.4 Espírito Santo

A Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH) no estado do Espírito Santo foi criada em 2013 e é o órgão responsável por executar a Política Estadual e fazer a gestão dos recursos hídricos. Entre 2015 e 2016, anos que foram marcados por um grande crise hídrica que assolava o estado, a AGERH precisou criar mecanismos para combater tal situação, e se estabelecem importantes marcos para a gestão da água do Espírito Santo. Dentre eles citam-se a Resolução AGERH 005/2015 que dispõe sobre a declaração de Cenário de Alerta frente ao prolongamento da escassez hídrica e estabelece as regras e condições de uso, além de diversas recomendações perante esse cenário; e a Resolução AGERH 006/2015 que trata sobre os usos prioritários para dessedentação humana e animal no contexto do Cenário de Alerta (AGERH, 2015a,b).

O Espírito Santo utiliza-se também de Acordos de Cooperação Comunitária (ACC), que acontecem no âmbito dos Comitês de Bacias Hidrográficas e visam a construção de soluções coletivas. Estabelecidos pelas Resoluções AGERH 007/2015 e 008/2015, os acordos são um conjunto de ações e regras para o uso da água, definidos coletivamente em uma dada bacia hidrográfica, que garantirão o abastecimento humano quando em um Cenário de Alerta ou não (AGERH, 2015c,d). Para a elaboração do documento, conta-se com a participação de usuários, poder público e civil, e aprovação do órgão gestor de recursos hídricos do estado. Fazendo uma analogia aos outros estados vistos anteriormente, os ACC's são como o resultado de uma alocação negociada, com uma terminologia diferente.

2.5.5 Rio Grande do Sul

O Departamento de Recursos Hídricos (DRH) da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura é o setor responsável pela emissão de outorgas quantitativas no estado do Rio Grande do Sul. Segundo o Art. 29º da Lei Estadual nº 10.350 de 1994, as outorgas para usos que alterem as condições quantitativas dos recursos hídricos são de responsabilidade do DRH, enquanto que as que afetam as condições qualitativas são emitidas pelo órgão ambiental do estado ([RIO GRANDE DO SUL, 1995](#)).

No território do Rio Grande do Sul as bacias onde a demanda tende a ser maior que a oferta de água são chamadas de "bacias especiais". Quando identificadas, estas são avaliadas individualmente em conjunto com os respectivos Comitês. O DRH realiza a estimativa da vazão outorgada que é repassada ao Comitê, que retorna então com a as solicitações dos usuários da região. A outorga nesses locais é emitida de forma coletiva, e é revisada anualmente para identificação de possíveis alterações de demanda. Entretanto todos esses usuários devem estar regulares no Sistema de Outorga do Rio Grande do Sul (SIOUT) para que tenham direito de participação na portaria de outorga coletiva. As informações cadastradas no sistema entram como parâmetro para a avaliação das renovações. Em cada renovação o órgão é responsável por filtrar e fazer o levantamento dos cadastros do sistema e identificação das alterações, e os comitês fazem o direcionamento dos questionamento aos usuários com um contato mais próximo.

As Portarias Excepcionais podem ser encontradas no endereço eletrônico da Secretaria, e trazem as informações referentes aos usuários outorgados, e as vazões e volumes de captação para cada um deles ([SEMA/RS, 2020](#)). As outorgas coletivas, e o tratamento de bacias críticas do Rio Grande do Sul trazem um enfoque maior com relação às captações superficiais e operação de barragens. Esses procedimentos vem sendo realizados desde o ano de 2010, mas diferentemente de outras regiões o Rio Grande do Sul não conta com uma resolução específica com diretrizes e critérios para a identificação ou declaração de áreas críticas.

2.5.6 Demais estados

Ao longo de todo o Brasil, encontramos diversas características e estágios de desenvolvimento da gestão dos recursos hídricos. A [Figura 7](#) apresenta uma linha cronológica, adaptada da [ANA \(2019c\)](#), da implementação do instrumento de outorga nos estados do país, e ainda identifica se existe¹ algum tipo de abordagem ou procedimento para o tratamento de áreas críticas.

¹ A existência ou não de procedimentos de áreas críticas nos estados do Brasil, foi determinada a com base nas pesquisas realizadas sobre o assunto até a data de 21 de julho de 2020.

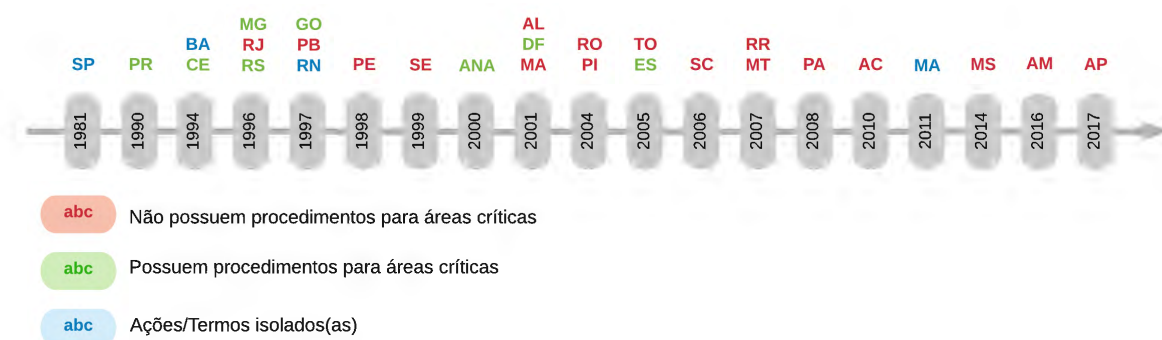


Figura 7 – Início da regulamentação da outorga nos estados e a gestão de áreas críticas

Para os estados como Acre, Amapá, Amazonas e Mato Grosso do Sul por exemplo, os procedimentos e critérios técnicos para a implementação de outorgas são bastante recentes quando comparados a outras regiões. São apenas previstas as atribuições do órgão gestor em eventuais situações de criticidade. A exemplo disso o Pará apenas cita, em sua regulamentação que dispõe sobre critérios para análise de outorga, que em caso de conflitos uma das providências é a alocação negociada. Percebe-se que muitos dos que não tem nenhum tipo de identificação ou tratamento de bacias comprometidas encontram-se em seus primeiros passos na gestão de águas. Segundo ANA (2019c) o estado do Amapá, foi o último a estabelecer o instrumento de outorga, sendo a primeira outorga emitida no final do ano de 2017, e há uma clara discrepância da gestão quando comparado com Paraná, Minas Gerais e Ceará, locais bastante familiarizados com o instrumento de outorga.

Em azul na Figura 7, estão os estados que utilizam-se de termos ou processos conhecidos anteriormente, mas de forma isolada, em ações específicas. No Maranhão, é regulamentado pela Resolução CONERH nº 058/2019, o enquadramento transitório dos corpos d'água, em função dos usos preponderantes mais restritivos, dado a grande quantidade de lançamentos irregulares nos corpos d'água. O enquadramento transitório se dá de forma participativa mediante consultas públicas para o estabelecimento de metas progressivas (CONERH/MA, 2019). A Bahia possui deliberações dos comitês para regiões de baixa disponibilidade hídrica com regras gerais de uso da água, demonstra alguma preocupação com o monitoramento de secas, possui resoluções com enquadramento transitório de corpos d'água, e participação nos Termos de Alocação de Água em conjunto com a ANA, que envolvem as definições de usos associados à barragens. Entretanto, não conta com uma regulamentação com diretrizes e critérios para a identificação e gestão dessas áreas, nem procedimentos bem definidos. O Rio Grande do Norte não dispõe de resoluções específicas para o tratamento de bacias críticas, no entanto em casos de escassez hídrica utilizam-se dos instrumentos de gestão conhecidos e são convocadas reuniões de alocação de água, geralmente

sugeridas pelos comitês de bacias, para estabelecimento de regras de usos quando há níveis críticos de água.

Em São Paulo, pioneiro na implementação da outorga em 1981, o enfoque da regulamentação e procedimentos de áreas críticas se dá para as águas subterrâneas, e dispõe sobre a restrição de seus usos e identificação de áreas contaminadas. O estado possui uma regulamentação bem estruturada nesse sentido, entretanto foge do contexto do presente trabalho. Em contrapartida, para as águas superficiais, o tratamento se dá com auxílio de um Sistema de Suporte a Decisão (SSD) bem consolidado, que tem como base os dados dos usuários e a disponibilidade de água em cada sub-bacia, possibilitando o balanço hídrico e a verificação das sub-bacias mais críticas do estado.

2.6 ESCASSEZ HÍDRICA E A RESOLUÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS NO PARANÁ

Os últimos anos no Estado do Paraná, foram bastante relevantes com relação ao tratamento de áreas críticas e dos possíveis conflitos associados a elas, e também as medidas de combate a crise hídrica que atingiu o estado recentemente. O ano de 2020 foi marcado por uma severa estiagem, a maior dos últimos 50 anos na região de Curitiba, e talvez dos últimos 20 anos no restante do estado. Nesse cenário, com a necessidade de mobilização para a redução do uso da água para fins não prioritários, o estado decretou situação de emergência hídrica por 180 dias, que posteriormente foi prorrogado, uma vez que houve uma redução drástica do volume de água disponível para atendimento aos usos prioritários de consumo humano e dessedentação de animais (PARANÁ, 2020). Em algumas de suas medidas, o Decreto Estadual 4626/2020 autoriza a realização de ações emergenciais para o abastecimento público, priorizando as demandas das prestadoras de serviço de saneamento, no que diz respeito a outorga e autorizações ambientais, e ainda autoriza o rodízio de abastecimento como medida mitigadora. Ainda, o decreto prevê uma fiscalização mais rígida no sentido autuar os usuários em situação irregular de uso do recurso hídrico. O órgão gestor também nesse cenário deve promover a regularização dos usos, além de orientar e conscientizar os usuários para a redução e uso racional da água.

Antes mesmo de ser constatada a situação de emergência hídrica, já considerando a situação de muitas bacias hidrográficas, que encontram-se comprometidas e que apresentam conflitos pelo uso da água, o estado do Paraná, no ano de 2018 pela Resolução SEMA nº 44, instituiu diretrizes e critérios gerais para a declaração formal de área crítica (SEMA, 2018). Posteriormente esse documento foi atualizado pela Resolução CERH nº 09 no ano de 2020, que trouxe maior clareza e organização quanto as ações e o procedimento para a declaração de áreas críticas e também o processo de alocação negociada no estado. Essa resolução surgiu a fim de estabelecer mais uma ferramenta de gestão que busca assegurar o direito de todos de acesso a

água em qualidade e quantidade e prevendo ações de defesa contra eventos críticos de origem natural além do uso sustentável, racional e integrado dos recursos hídricos (CERH, 2020).

Como conceito, a Resolução CERH nº 09, de 29 de setembro de 2020, em seu Art. 2º, traz:

"I. Área crítica: porção hidrográfica em que se identifica potencial conflito quanto ao uso de recursos hídricos, por indisponibilidade hídrica ou risco de comprometimento de sistemas de abastecimento público de água ou de contaminação de águas subterrâneas"

ou seja, áreas críticas são os locais onde o balanço hídrico apresenta problemas relacionados à oferta e demanda, seja de origem natural ou antrópica, e onde possivelmente surgirão conflitos a serem tratados a partir de negociações. Assim, promovendo os princípios de gestão descentralizada e participativa, previstos na Lei 9.433/1997, a Resolução CERH 09/2020 também define a alocação negociada, que vem a ser o processo os usuários de uma determinada região hidrográfica (crítica) se reúnem para decidir de forma conjunta, com base em estudos e previsões de disponibilidade hídrica, a quantidade de água a ser utilizada por cada um deles ao longo de um determinado período. Tal conceito não foge das demais definições existentes ao redor do país como visto no panorama apresentado nas seções anteriores.

A resolução ainda determina, em seu Art. 3º, enquadram-se no conceito de área crítica, e que podem ser declaradas via portaria específica emitida pelo órgão gestor estadual, as situações em que:

I – a soma das vazões outorgadas aos usuários e requeridas pelos que estão em processo de regularização na bacia ultrapassar a vazão máxima outorgável, conforme definido pelo Comitê de Bacia responsável ou pelo Poder Outorgante, onde não houver Comitê instalado;

II - houver constatação de comprometimento do curso hídrico utilizado para abastecimento público ou quando houver alteração, estatisticamente comprovada, em relação aos parâmetros de qualidade de água relacionados à classe do enquadramento do curso hídrico utilizado para abastecimento público;

III – a exploração dos aquíferos superar as recargas naturais, provocando acentuado rebaixamento dos níveis d'água ou interferências entre poços, a ser estabelecido caso a caso;

IV – houver constatação de contaminação da água subterrânea ou quando houver alteração, estatisticamente comprovada, em relação aos parâmetros naturais de qualidade das águas subterrâneas, indicando contaminação ou risco à saúde humana, ao meio ambiente e a outros bens a serem protegidos;

V – a vazão no posto de monitoramento fluviométrico de referência apresentar valores iguais ou inferiores a 50% da Q95, ou outro percentual determinado por estudo específico para a região.

desta forma, são previstas as situações onde as demandas ultrapassam os limites outorgáveis na bacia hidrográfica, quando existe o comprometimento do abastecimento público, quando há superexploração ou for constatada contaminação das águas subterrâneas e em períodos com evidências de grande escassez hídrica. Vale ressaltar que o presente trabalho tem o enfoque nos recursos hídricos superficiais, e nas áreas críticas enquadradas principalmente pelo inciso I deste Artigo, uma vez que essa é a abordagem desenvolvida pelo estado do Paraná até o presente momento, e que serão discutidas na seção seguinte.

Em qualquer um dos casos do Art. 3º, tanto o Comitê de bacia hidrográfica, o órgão gestor, o Ministério Público, os Conselhos Municipais de Meio Ambiente, como também os próprios usuários envolvidos, podem requerer o início do processo de declaração de uma área crítica, que se dará dentro do órgão. Iniciado então o procedimento, o Comitê de Bacia (quando houver) deve ser comunicado trazendo assim maior participação e descentralização a todo esse processo. Para análise dos requerimentos de áreas críticas, portanto, é necessário fazer a identificação minimamente dos municípios que abrangem tal região, das áreas estratégicas de gestão, do comitê de bacia responsável na área de conflito, das vazões ou estimativas das vazões outorgadas, os usuários em questão e da vazão máxima outorgável na área crítica.

Ainda, para as situações conforme o Art. 3º, inciso I, em que trataremos aqui nesse trabalho, devem ser consideradas também na análise de Área Crítica a área de contribuição a montante e/ou a jusante, os cursos d'água inseridos nessa área e o respectivo enquadramento quando houver, os dados hidrológicos de referência na bacia e também as análises de qualidade da água quando necessário. Posteriormente, os processos, bem como os pedidos de outorga, são analisados tecnicamente pelos setores responsáveis do órgão gestor estadual (CERH, 2020). Uma vez identificada a indisponibilidade hídrica na bacia, é emitida a portaria de DAC - Declaração de Área Crítica quanto ao Uso de Recursos Hídricos. Cabe então ao Outorgante em conjunto com o Comitê de Bacia (quando existente) convocar todos os usuários envolvidos para criação da proposta de alocação negociada, onde são identificados todos os usuários outorgados ou não, as finalidades dos usos e como será feita a distribuição da vazão outorgável entre tais.

Ainda, o órgão gestor fica autorizado a enquadrar transitoriamente na Classe 3 os corpos d'água onde não houver classificação pelo Comitê e pelo CERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Dessa maneira ficam definidas metas progressivas para a Classe 3 até o ano de 2040, em concordância com a Resolução 101 do CERH, de 19 de julho de 2017. O enquadramento transitório é válido até que haja nova deliberação sobre o enquadramento (CERH, 2020). Contudo, essa ação deve vislumbrar o pensamento de serem estabelecidas metas reais e alcançáveis, em um

horizonte de tempo adequado, para a melhoria da qualidade da água. Trata-se de uma possibilidade de negociação e adequação, dados os usos preponderantes, dos usuários já instalados. O enquadramento transitório em classe menos restritiva de forma alguma deve servir como porta de entrada facilitando a instalação de novos usuários ou até para afrouxar as condições outorgadas para um único uso. Em um caso hipotético, onde um usuário tem dificuldades para adequação aos parâmetros de outorga em condições de Classe 2, não parece certo que seja solicitada uma declaração de área crítica apenas para servir de "carta de aceite para poluição das águas". Nas regiões onde já existem comitês instaurados com enquadramentos aprovados, o enquadramento transitório para os trechos críticos não se aplica da mesma forma. A discussão e as decisões quanto a possíveis alterações do enquadramento existente devem ser tomadas no âmbito dos CBHs.

2.6.1 Portarias DAC emitidas

Desde a publicação da Resolução SEMA 44/2018, e posterior atualização pela CERH 09/2020, vem sendo declaradas Áreas Críticas no Estado do Paraná. Até a data de 23/05/2021 foram emitidas 16 Portarias de Declaração de Área Crítica (DAC), a maioria delas no ano de 2020. A localização dessas bacias críticas pode ser visualizada na [Figura 8](#) e as informações gerais sobre elas na [Tabela 3](#).

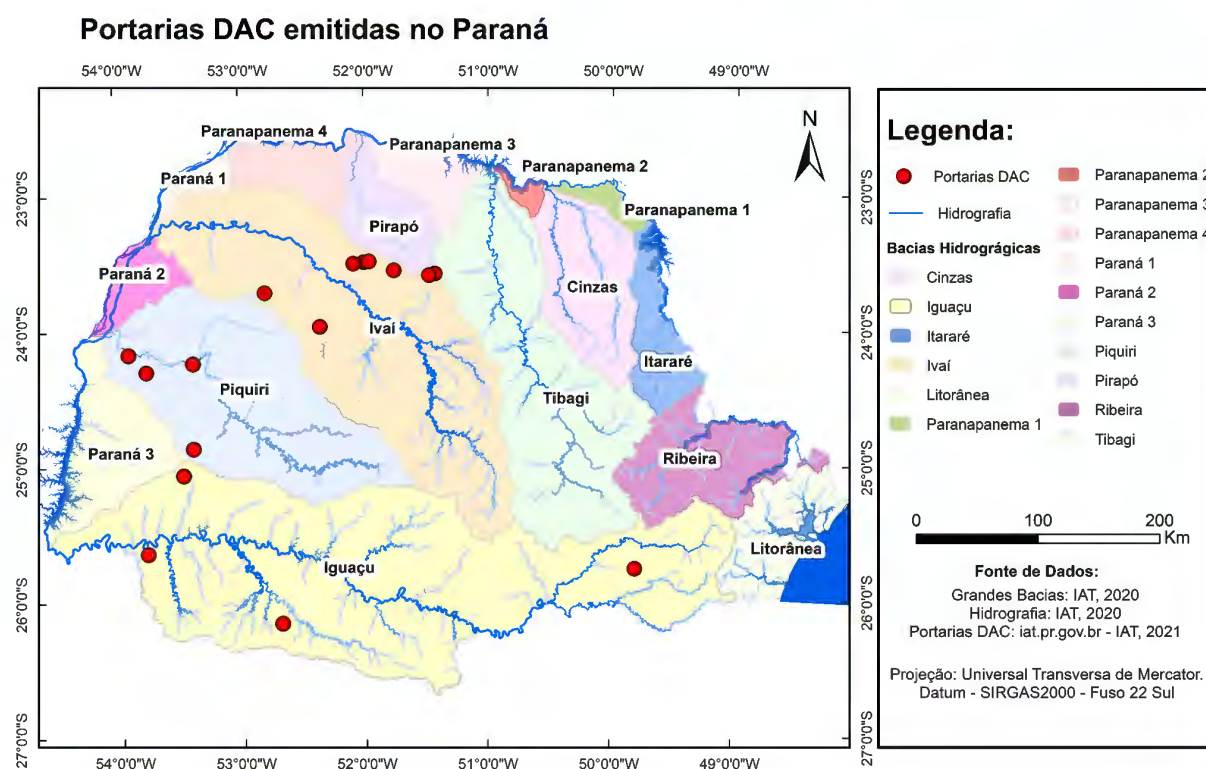


Figura 8 – Portarias DAC no Paraná

Tabela 3 – Descritivo das Portarias DAC no Paraná

Portaria	Município(s)	Bacia Hidrográfica	Corpo hídrico	Área (km²)
DAC 01/2018	Apucarana	Ivaí	Ribeirão Barra Nova	22,6
DAC 02/2018	Tapejara	Ivaí	Córrego Potinga	26,3
DAC 03/2018	Maringá e Paiçandu	Ivaí	Ribeirão Paiçandu	19,2
IAT 168/2020	Cascavel	Piquiri	Córrego Acero	71,5
IAT 169/2020	Pato Branco	Iguaçu	Rio Ligeiro e Lajeado Passo das Pedras	39,2
IAT 213/2020	Assis Chateaubriand, Maripá e Palotina	Piquiri	Rio Azul	436,7
IAT 242/2020	Capanema	Iguaçu	Córrego Três Angicos	14,4
IAT 243/2020	Campo Mourão e Peabiru	Ivaí	Rio Vinte e Três	88,3
IAT 244/2020	Lapa	Iguaçu	Rio Passa Dois	42,9
IAT 246/2020	Maringá, Sarandi e Marialva	Ivaí	Ribeirão Pinguim	86,2
IAT 270/2020	Mandaguari	Ivaí	Rio Keller	48,5
IAT 368/2020	Palotina, Maripá e Nova Santa Rosa Cafelândia, Nova Aurora, Jesuítas, Iracema do Oeste e Formosa do Oeste	Piquiri	Rio São Camilo	218,6
IAT 10/2021		Piquiri	Rio Jesuítas	617,2
IAT 64/2021	Apucarana	Ivaí	Ribeirão Biguaçu	11,1
IAT 94/2021	Maringá	Ivaí	Ribeirão Floriano	8,7
IAT 95/2021	Cascavel	Iguaçu	Rio Cascavel	118,1

Tais Portarias foram enquadradas segundo o caso do inciso I do Art. 3º da Resolução CERH 09/2020, onde a soma das vazões outorgadas aos usuários e requeridas pelos que estão em processo de regularização na bacia ultrapassa a vazão máxima outorgável. Ainda, todas elas envolvem o estabelecimento do enquadramento transitório de corpos d'água, uma vez que encontram-se nas bacias do Baixo Ivaí, Piquiri e Baixo e Médio Iguaçu, onde não há nova proposição de enquadramento de acordo com os usos preponderantes aprovada. O órgão gestor identifica nessas regiões a necessidade do estabelecimento da Classe 3 para viabilizar os usos da bacia, uma vez que as classes definidas pelas antigas Portarias SUREHMA no início dos anos 90, não correspondem a realidade vista em diversas regiões do estado. O enquadramento transitório na Classe 3 fica estabelecido até que haja nova deliberação sobre o enquadramento, embasado em estudos técnicos em cada bacia.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

“The great challenge is to practice the participatory decision-making process and to redefine the role of state and civil society in respect to water management.”

Forattini e Franco (2006)

Este capítulo apresenta os aspectos presentes nas análises técnicas de outorga, e a aplicação dos mesmos na metodologia desenvolvida para a identificação de áreas críticas quanto aos usos dos recursos hídricos, em uma das grandes bacias hidrográficas do estado do Paraná. Adicionalmente estabelece proposições de indicadores para os diferentes níveis de comprometimento das bacias.

3.1 A ANÁLISE DE OUTORGA NO ESTADO DO PARANÁ

Até o ano de 2019, anterior a criação do novo Instituto Água e Terra (IAT), o órgão responsável pela gestão dos recursos hídricos e emissão de outorgas no estado do Paraná é o Instituto das Águas do Paraná, conforme estabelecido na Lei 16.242 de 13 de Outubro de 2009 (PARANÁ, 2009b). Em 2019, o Instituto das Águas do Paraná, foi incorporado pelo Instituto Ambiental do Paraná, junto com o Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná, pela Lei 20.070 de 18 de Dezembro de 2019, formando o IAT, que passou a ser o órgão gestor dos recursos hídricos do estado.

Em se tratando de recursos hídricos superficiais, existem dois tipos de outorga que diferem quanto aos parâmetros outorgados. A outorga para a captação superficial tem como parâmetros a vazão captada e o regime de bombeamento, enquanto que para lançamento de efluentes é outorgada a vazão máxima necessária para a diluição, a vazão máxima do efluente, o regime de lançamento e as concentrações máximas dos parâmetros de lançamento (SUDERHSA, 2006). Contudo, quando as vazões captadas e lançadas forem consideradas insignificantes (inferiores a $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$, tais usos podem ser dispensados de outorga, necessitando apenas de cadastro perante ao órgão para fins de controle do balanço e da disponibilidade hídrica.

Para ambos os casos, o cálculo da disponibilidade hídrica determina a vazão máxima outorgável ($Q_{\text{Outorgável}}$) numa determinada seção do rio. A disponibilidade hídrica total do corpo hídrico é calculada a partir de uma vazão de referência, que no caso do Paraná, é a vazão natural com permanência de 95% do tempo na seção, a $Q_{95\%}$. Isto posto, o Manual Técnico de Outorgas (SUDERHSA, 2006) determina que a vazão máxima outorgável corresponde a metade da vazão de referência, e ainda devem ser descontados aqueles usos já outorgados a montante na bacia ($\sum Q_{\text{Indisponível}}$). Portanto,

o cálculo da disponibilidade hídrica em um determinado corpo hídrico é dado por

$$Q_{Outorgável} = 0,5Q_{95\%} - \sum Q_{Indisponível}. \quad (3.1)$$

Assim, as captações que tiverem vazões inferiores a $Q_{Outorgável}$ recebem um parecer positivo e é emitida portaria de outorga que concederá o direito de uso da água nos termos e condições previstas. No caso dos lançamentos ainda é necessária uma segunda avaliação, que diz respeito a diluição do efluente no corpo hídrico, e é determinada pela vazão apropriada para a diluição ($Q_{Apropriada}$). Ou seja, se a vazão necessária para diluição de um dado efluente for inferior à vazão outorgável, significa que há água em quantidade suficiente para receber aquele efluente, levando em conta o enquadramento do corpo hídrico e as concentrações lançadas. Desta forma, a vazão apropriada ($Q_{Apropriada}$) pode ser determinada pelo balanço considerando mistura completa conforme

$$Q_{Apropriada} = \frac{Q_{Efluente}(C_{Efluente} - C_{Limite})}{C_{Limite} - C_{Rio}}, \quad (3.2)$$

em que $Q_{Efluente}$ é a vazão do efluente lançado e sua respectiva concentração ($C_{Efluente}$), a concentração do poluente no rio (C_{Rio}) e a concentração limite do poluente (C_{Limite}) admitida pela classe em que é enquadrado respeitando a CONAMA n° 357/05.

Entretanto, o Manual Técnico de Outorgas identifica que para fins de alocação da vazão $Q_{Apropriada}$ especificamente para a diluição do poluente proveniente do lançamento de efluentes, deve-se admitir que a concentração do poluente no próprio rio é zero ($C_{Rio} = 0$). Essa condição no entanto, torna o critério do órgão de vazão apropriada para diluição de efluentes menos restritivo, uma vez que a vazão alocada para essa finalidade se mantém menor e no geral, o corpo hídrico pode aceitar uma quantidade maior de efluentes. Assim a equação 3.2 resume-se a

$$Q_{Apropriada} = \frac{Q_{Efluente}(C_{Efluente} - C_{Limite})}{C_{Limite}}, \quad (3.3)$$

e novamente, se a vazão apropriada for menor que a vazão outorgável no ponto de lançamento, tem-se um parecer favorável ao uso. Retornando para a equação 3.1, vale ressaltar que o $\sum Q_{Indisponível}$ é dado pela soma das vazões outorgadas, ou seja,

$$\sum Q_{Indisponível} = \sum Q_{Captada} + \sum Q_{Apropriada}, \quad (3.4)$$

considerando as vazões captadas ($Q_{Captada}$) e as vazões apropriadas para a diluição dos efluentes ($Q_{Apropriada}$).

Para as análises técnicas, o órgão gestor de recursos hídricos no Paraná, utiliza-se de uma rotina de análises basicamente por ordem de chegada, e a avaliação da disponibilidade hídrica é feita ao passo que as demandas vão surgindo. Ainda, o número de usuários tende a aumentar ao longo do tempo, como consequência das necessidades e atividades humanas, e esse processo pode acarretar no surgimento de regiões onde a demanda supera a disponibilidade hídrica. Portanto, em termos gerais, se as demandas por água em uma dada seção de interesse atingirem volumes superiores à vazão outorgável ($Q_{Outorgável}$) daquela bacia, identifica-se uma bacia crítica em potencial nos termos do Artigo 3º, Inciso I da Resolução SEMA 44/2018, que devem ser tratadas de maneira distinta em um processo participativo para redistribuição dos recursos existentes (SEMA, 2018).

3.2 A BACIA DO RIO TIBAGI

A área de estudo definida para os propósitos desta pesquisa, baseou-se em critérios de disponibilidade de acesso aos dados da bacia. Por possuir um Plano de Bacia Hidrográfica consolidado, a bacia do Rio Tibagi, é uma das bacias do estado do Paraná que oferece informações mais completas sobre as características dos usos, proposição de enquadramento aprovada pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), além de dados de disponibilidade hídrica para o balanço quali-quantitativo.

A Bacia do Tibagi no estado do Paraná conta com uma área de 24.937 km², e abrange um total de 53 municípios. Tem sua cabeceira na Serra das Almas entre os municípios de Ponta Grossa e Palmeira, atravessa uma área equivalente a 13% do total do estado até chegar a sua foz, no encontro com o Rio Paranapanema nos municípios de Primeiro de Maio e Sertaneja (PARANÁ, 2009a). Seus principais afluentes são os rios Pitanguí, Iapó, Ribeirão das Antas e Congonhas na sua margem direita e Imbituva, Capivari, Imbaú, Apucarana, Apucarantina, Taquara, Apertados e Três Bocas na margem esquerda.

A partir dos dados obtidos junto ao IAT, no mês de maio do ano de 2020, identificou-se que a bacia do rio Tibagi engloba um total de 299 outorgas vigentes ou em processo de renovação. Dentre elas 179 são outorgas de uso para a captação em rio e 120 para a diluição de efluentes lançados. Esse conjunto de outorgas carrega informações relevantes que refletem as características econômicas da bacia e também do estado. No Tibagi, como apresentado na Figura 9, os usos que envolvem as captações são principalmente aqueles destinados para fins agropecuários e processos industriais, já o lançamento a predominância são dos efluentes sanitários provenientes dos serviços de saneamento e das indústrias.

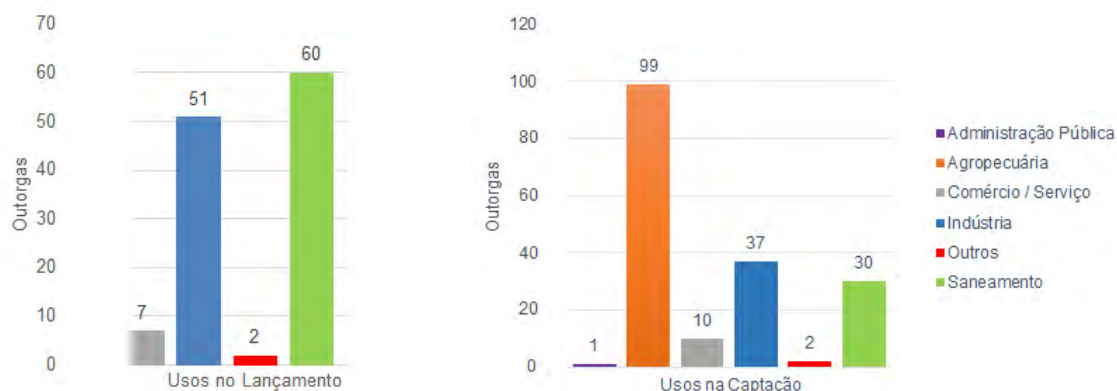


Figura 9 – Usos a que são destinadas as outorgas da Bacia do Rio Tibagi

Essas características são compatíveis com o perfil identificado em todo o estado do Paraná e refletem a relevância das captaes para fins agrícolas, e dos lançamentos de efluentes provenientes de processos industriais e de saneamento, uma vez que essas são as atividades de maior demanda (STINGHEN; MANNICH, 2019).

3.3 O INDICADOR DE COMPROMETIMENTO DA BACIA EM FUNO DA DEMANDA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A identificao de uma área crítica a partir do Indicador de Comprometimento da Bacia - ICB, se d pelo resultado da razão entre a demanda e a disponibilidade hídrica de uma determinada bacia, e para tanto divide-se em duas etapas. A primeira  a determinao da disponibilidade hídrica através da vazão máxima outorgável, e a segunda  a identificao das demandas, ou seja, os usuários outorgados na bacia de contribuio. Portanto, o presente trabalho tem sua metodologia para obteno do indicador também estruturada em duas etapas a serem descritas nas sees a seguir e esquematizadas na Figura 10.

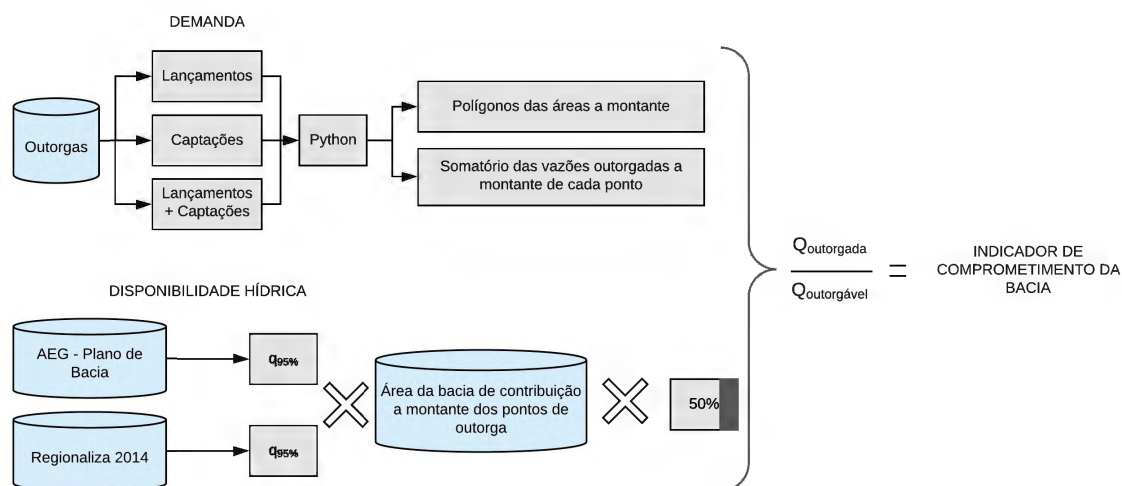


Figura 10 – Etapas da metodologia desenvolvida para a obtenção do indicador de comprometimento

3.3.1 Disponibilidade hídrica

O passo inicial da análise se dá pelo estabelecimento da quantidade de água existente a ser utilizada, a partir de valores de referência, ou seja, a disponibilidade hídrica em cada trecho de rio de interesse. No Paraná a vazão de referência na determinação da vazão outorgável é a $Q_{95\%}$, e corresponde a vazão natural de permanência em 95% do tempo na seção do corpo hídrico. Seguindo os mesmos critérios considerados nos cálculos de outorga, para a determinação da disponibilidade hídrica dos trechos de rios da Bacia do Rio Tibagi, optou-se pela utilização dos dados da vazão específica ($L/s.km^2$) de duas referências distintas. Essa escolha das referências levou em conta o uso de ferramentas já consolidadas e que pudessem ser aplicadas na bacia do Tibagi como um todo, de forma direta em macro escala, dispensando análises em bacias de maneira individualizada. As duas referências permitem então o confronto de dois cenários, com divergências que poderiam surgir a partir da $q_{95\%}$ escolhida.

A primeira referência considerou a $q_{95\%}$ para as Áreas Estratégicas de Gestão (AEG) presentes no Diagnóstico do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi (PARANÁ, 2009a). A Bacia divide-se em 25 Áreas Estratégicas de Gestão que podem ser visualizadas na Figura 11 e as suas respectivas vazões específicas.

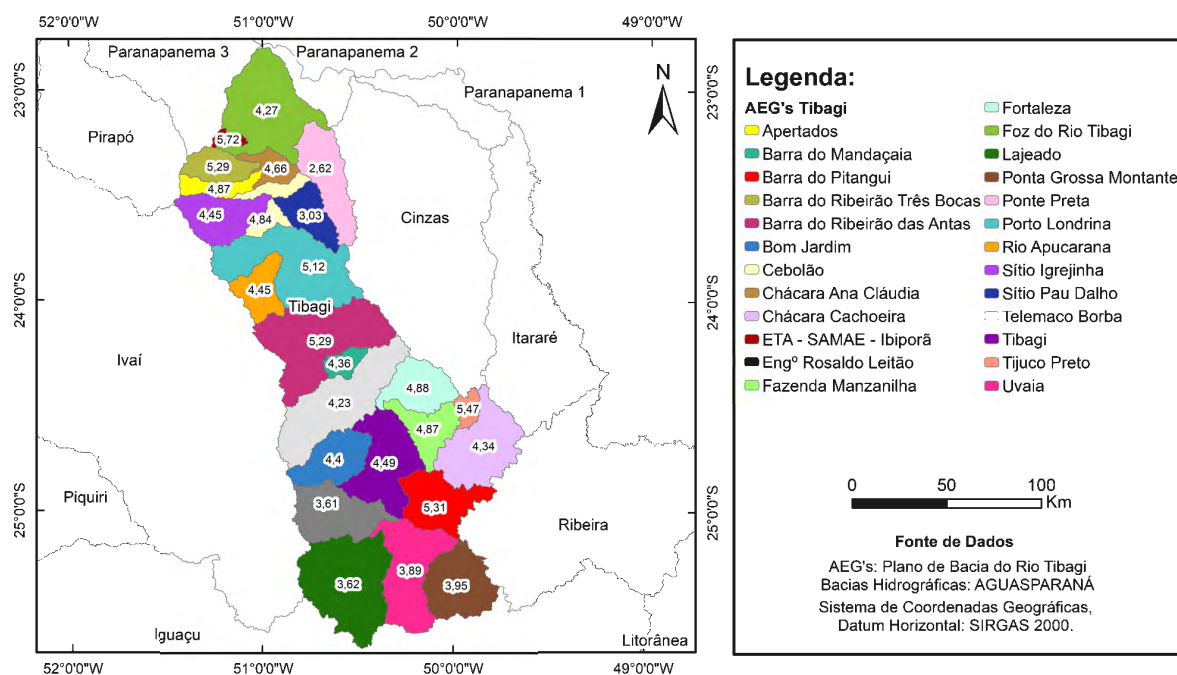


Figura 11 – Vazões específicas (L/s.km²) para as Áreas Estratégicas de Gestão na Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi

Conforme o Diagnóstico do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi (PARANÁ, 2013), os dados das estações de monitoramento para a obtenção da disponibilidade hídrica das Áreas Estratégicas de Gestão, utilizaram o período base entre 1975 e 2006. As séries de vazões foram extraídas do Sistema de Informações Hidrológicas - SIH do estado. Para as 20 estações mais representativas na bacia do Rio Tibagi, as séries com períodos de dados inferior ao período base foram estendidas, e as falhas preenchidas a nível diário. Para as AEGs em que havia uma única estação de monitoramento no curso d'água considerado, a vazão específica da estação foi apenas propagada. Nos casos onde haviam duas estações foi considerada a vazão Q95% proporcional à área de drenagem incremental, para AEGs posicionadas em um ponto intermediário entre duas estações fluviométricas de um mesmo curso d'água.

Com o auxílio do software ArcGIS 10.2.2, foram realizados alguns procedimentos de preparação dos dados para aplicação nesse trabalho. Inicialmente, foi feito o *join* entre o shape dos polígonos das AEG's e a tabela com os respectivos valores de vazão específica, atribuindo assim as vazões específicas para cada uma das áreas (Figura 11). Em seguida, foi agregado esse valor da $q_{95\%}$ (L/s.km²) a todos os trechos de rios inseridos dentro dos respectivos polígonos das AEG's, novamente pela operação de *join* entre os polígonos do resultado anterior e a hidrografia. Dessa forma, obteve-se

a vazão específica de referência em cada trecho de rio inserido dentro da Bacia do Tibagi.

A segunda referência para os dados de vazão $q_{95\%}$ utiliza o software Regionaliza 2014 (SABOIA; LOPARDO, 2015), sistema que promove a geração de variáveis hidrológicas para qualquer região paranaense. Informando as coordenadas da exutória de uma dada bacia, esse programa, com a interface apresentada na Figura 12, permite a obtenção de diversos resultados hidrológicos como vazões máximas e mínimas, hidrograma de cheias, curvas de permanência, entre outros. A entrada da localização neste caso, se deu a partir das coordenadas das bacias de contribuição geradas (que serão apresentadas na seção seguinte). As coordenadas foram agrupadas em um arquivo ASCII, e a regionalização se deu então a partir da opção de múltiplas rodadas presente na configuração do software. Finalizada a regionalização, extraiu-se da curva de permanência a vazão específica de referência $q_{95\%}$.

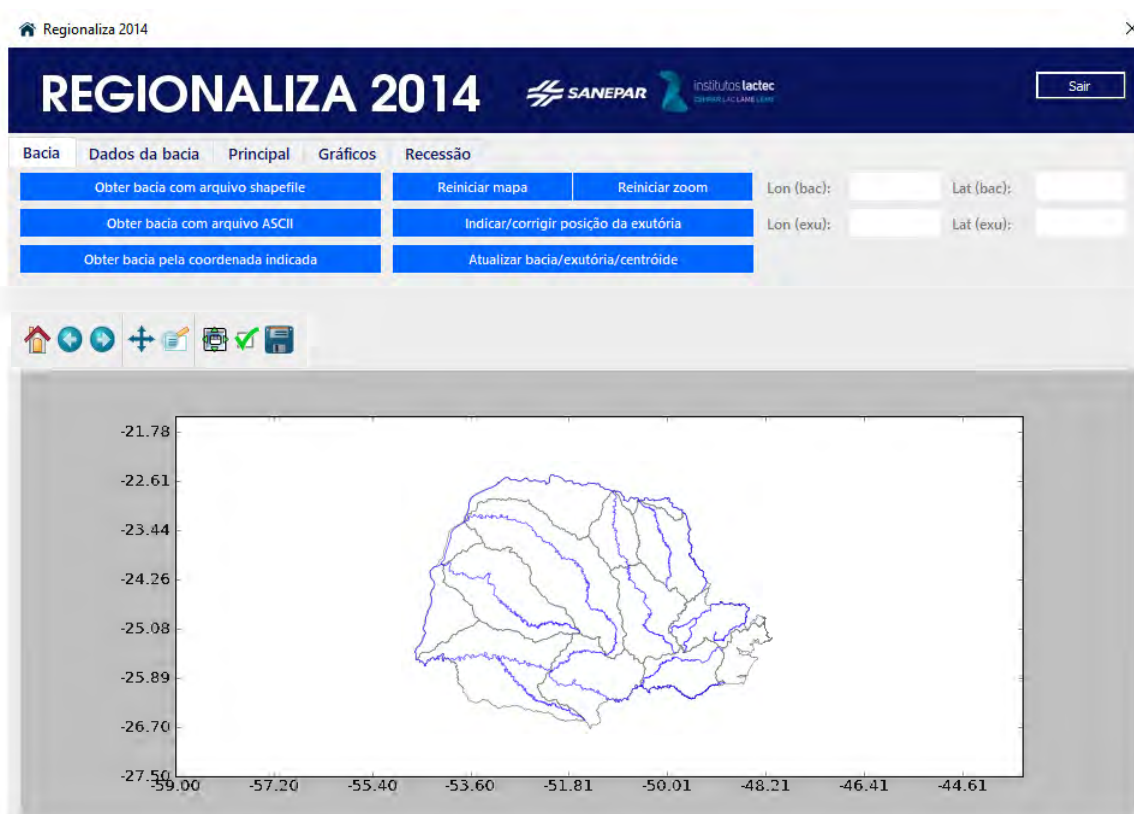


Figura 12 – Interface do software Regionaliza 2014, para a obtenção das vazões de referência

Uma vez determinados esses valores de referência, é possível calcular a vazão, em (L/s) , a partir da multiplicação entre a área montante dos trechos de rios e a $q_{95\%}(L/s.km^2)$ atribuída àquele trecho. Ainda a máxima outorgável naquele ponto corresponde a 50% da $Q_{95\%}$ em (L/s) .

3.3.2 Demanda

A segunda etapa da análise, esquematizado na [Figura 10](#), está em identificar as demandas e realizar o somatório das vazões outorgadas a montante de um determinado ponto de análise. Para tanto, foi rodado um programa em *Python* que executa uma rotina percorrendo todos os trechos de rios, identificados pelos códigos das ottobacias, desde suas cabeceiras até a foz do Rio Tibagi, onde cada novo ponto de outorga identificado é traçado o polígono da área a montante e feito o somatório das vazões outorgadas dentro do polígono. O código do programa foi desenvolvido por [Carvalho \(2020\)](#), e pode ser verificado no [Apêndice A](#).

Ao fim desse processo, obtém-se o arquivo shape file com os polígonos e os valores atribuídos das vazões outorgadas dentro de cada um deles. Vale destacar que para as captações a vazão outorgada é aquela que está sendo captada, e para o lançamento a vazão outorgada é a vazão apropriada para a diluição dos efluentes lançados ($Q_{Apropriada}$). Para tanto, foram consideradas as vazões outorgadas pelo próprio IAT, que inevitavelmente pode ter utilizado diferentes valores de referência para a análise técnica quando da emissão de cada Portaria de outorga.

Ainda, em cada um desses polígonos foi estabelecida a razão entre o somatório das vazões outorgadas da segunda etapa, e a vazão máxima outorgável ($Q_{Outorgável} = 0,5 \cdot Q_{95\%}$) no ponto final da bacia de acordo com o que foi estabelecido na primeira etapa. Essa razão será o indicador de comprometimento para as bacias. Inspirado no ISH da ANA, e na variável mais importante para o seu estabelecimento, o propósito desse indicador de comprometimento é fazer uma visão que auxilie nas tomadas de decisão a priori. A identificação das possíveis áreas críticas tem o intuito de direcionar os pontos onde as análises de outorga devem ser prioritárias e mais criteriosas e também as regiões de maior segurança para a utilização dos recursos hídricos.

Uma vez geradas as bacias com a área de contribuição a montante para cada ponto de outorga de captação e lançamento de efluentes na Bacia do Rio Tibagi, o primeiro passo realizado foi a conferência dos dados. Uma análise exploratória identificou valores discrepantes com relação a razão entre a demanda e a disponibilidade hídrica ($Q_{Outorgada}/Q_{Outorgável}$) para as duas modalidades de outorga presentes nesse trabalho. O primeiro fato identificado foi o erro associado a precisão dos pontos nas otto bacias. Ao todo, 9 das 299 bacias geradas a partir dos pontos de outorga na Bacia do Rio Tibagi, apresentaram um erro no valor de $Q_{95\%}$ por conta da proximidade dos pontos com o limite das otto bacias, carregando os valores de áreas vizinhas. Para tanto, esses dados foram corrigidos manualmente através do ArcGIS 10.2.2, e os resultados referente ao diagnóstico e também as faixas de criticidade do indicador de comprometimento serão apresentadas na sequência.

3.4 DIAGNÓSTICO DAS BACIAS CRÍTICAS

Além disso, o diagnóstico dessas bacias críticas considerou os níveis mais relevantes do indicador de comprometimento, apresentados na sequência, e também as informações coletadas das Portarias de Outorga através do sistema de Cadastro de Recursos Hídricos - CRH do órgão gestor. Nesse processo identificaram-se as outorgas presentes nos polígonos das bacias de contribuição geradas e também as evidências relevantes do CRH para a caracterização das bacias críticas. O diagnóstico buscou, então, uma resposta aos valores mais elevados de criticidade encontrados para o indicador.

Uma vez determinada a razão entre a demanda e a disponibilidade hídrica ($Q_{Outorgada}/Q_{Outorgável}$) das bacias, utilizando tanto as vazões de referência do Plano da Bacia do Rio Tibagi como também as do Regionaliza 2014, o indicador de comprometimento, nesse diagnóstico foi classificado de acordo os intervalos mais importantes de comprometimento para entender as peculiaridades dessas bacias. O primeiro intervalo refere-se às bacias onde a razão da demanda pela disponibilidade hídrica é inferior a 1, ou seja, a demanda não supera a vazão máxima outorgável na bacia. São as bacias que encontram-se em situação regular.

O segundo intervalo avaliado no diagnóstico, foi definido entre 1 e 1,6. Esse intervalo foi determinado inspirado no Artigo 17º, Parágrafo Único da Portaria 19/2007 da SUDERHSA, que para o lançamento de esgotos sanitários, de empreendimentos de saneamento, podem utilizar até 80% da vazão de referência (SUDERHSA, 2007), o que corresponde a 1,6 do fator de criticidade desse trabalho. Portanto, uma vez que dentro dessa faixa de valores poderiam existir evidências relevantes quanto a regularidade ou não das outorgas, caso essas pertencessem a empreendimentos de saneamento, o limite de 1,6 tornou-se relevante de ser observado. O terceiro intervalo então, são das bacias com valor de criticidade entre 1,6 e 2, no qual o limite superior 2 equivale à 100% da $Q_{95\%}$. O quarto e último intervalo de valores são aqueles que extrapolam 100% da vazão de referência, com indicador de comprometimento acima de 2.

A análise de criticidade das bacias foi realizada a partir de 3 agrupamentos de outorga. O primeiro grupo se tratando apenas dos lançamentos de efluentes, o segundo somente das captações superficiais e o terceiro grupo com a união das captações e dos lançamentos. Os resultados apresentados no próximo capítulo seguirão a ordem primeiro utilizando as vazões de referência do Plano de Bacia e em seguida utilizando os dados do Regionaliza 2014, para efeitos de comparação.

3.5 REPRESENTAÇÃO DO INDICADOR DE COMPROMETIMENTO DA BACIA

Para representar graficamente os níveis de criticidade, foram determinadas 6 faixas de comprometimento das bacias, apresentadas na [Figura 13](#). Essas faixas, e as cores abaixo representadas, foram utilizadas para a construção dos mapas de criticidade tanto para captações e lançamentos, como para as duas tipologias de outorga juntas, na bacia do Rio Tibagi.

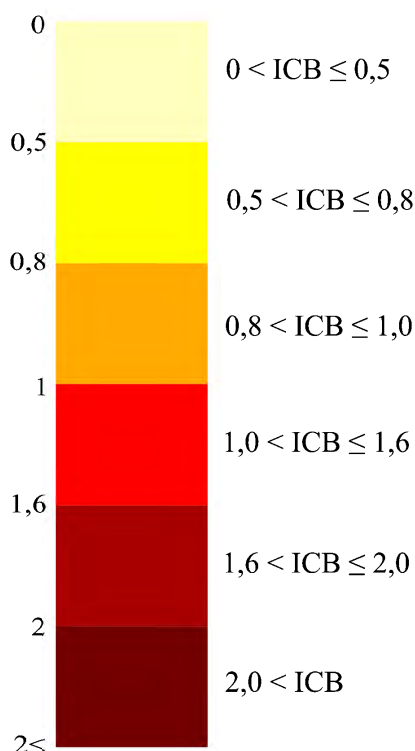


Figura 13 – Representação das faixas do indicador de comprometimento de bacias

Cada faixa também recebeu uma nomenclatura, e foram descritas na [Tabela 4](#). A menor faixa do indicador, em que a razão entre a demanda e a disponibilidade hídrica fica entre $0 < ICB \leq 0,5$, foi considerada uma faixa satisfatória, onde as demandas não superam 50% da vazão outorgável na bacia. A segunda faixa para bacias com o indicador $0,5 < ICB \leq 0,8$, definida arbitrariamente, foi considerada sob controle com relação a criticidade dentro dos limites outorgáveis. Acima dessa faixa, com criticidade entre $0,8 < ICB \leq 1,0$, o indicador representa um nível sub-crítico das bacias, uma vez que nelas os usos ultrapassaram os 80% da vazão outorgável (50% da $Q_{95\%}$), e merecem atenção maior para que se mantenham com indicador abaixo de 1. As bacias com indicador de comprometimento maiores que 1 e até 1,6, já encontram-se dentro da zona de criticidade ($1,0 < ICB \leq 1,6$). Os limites desse intervalo do indicador, foram definidos por conta da presença de características específicas a serem observadas nessa faixa. Como visto anteriormente, podem existir outorgas consideradas regulares dentro do intervalo que equivale a até 80% da $Q_{95\%}$, e por esse motivo são consideradas

críticas a priori, mas não necessariamente são bacias com irregularidades de outorga.

Os últimos dois intervalos, são aqueles maiores que 1,6. As bacias críticas com o indicador de comprometimento $1,2 < ICB \leq 2,0$, considerando que a razão entre a demanda e disponibilidade está dentro do limite de 100% da $Q_{95\%}$, e as bacias super críticas $2,0 < ICB$, que estão com indicador acima desse valor e já extrapolou o limite máximo até dos casos excepcionais com a presença de lançamentos de empreendimentos de saneamento, com demanda muito superior a 100% da $Q_{95\%}$

Tabela 4 – A descrição dos níveis do indicador

Faixa	Nomenclatura	Descrição
$0 < ICB \leq 0,5$	Satisfatório	Menor faixa do indicador que reflete tranquilidade em bacias de baixa demanda com relação a disponibilidade hídrica
$0,5 < ICB \leq 0,8$	Sob controle	Faixa do indicador que demonstra equilíbrio entre a demanda e disponibilidade hídrica, dentro dos limites outorgáveis
$0,8 < ICB \leq 1,0$	Sub-crítico	Faixa onde o indicador ainda não caracteriza a bacia como crítica, mas que merece atenção
$1,0 < ICB \leq 1,6$	Crítico a priori	Indicador extrapolou o limite outorgável, mas existem excepcionalidades nessa faixa quanto a regularidade das outorgas
$1,6 < ICB \leq 2,0$	Crítico	Indicador demonstra criticidade da bacia, ainda dentro dos limites de 100% da vazão de referência
$2 < ICB$	Super crítico	O indicador extrapolou o limite máximo, ou seja a demanda é superior a 100% da vazão de referência

3.6 AS CONDIÇÕES DE CONTORNO E AS PREMISSAS DA ANÁLISE DAS ÁREAS CRÍTICAS

Uma vez descrita a metodologia, ainda existem condições de contorno e algumas considerações a serem apresentadas para o melhor entendimento dos resultados.

A primeira premissa desse trabalho, foi construir uma metodologia de análise de outorga em macro escala. A análise partiria de uma visão geral de todas as outorgas em uma bacia de maior porte, e não caso a caso como é realizada pelo órgão gestor de recursos hídricos, vislumbrando que essa poderá ser mais uma ferramenta para identificar as regiões críticas e também definir prioridades, para posterior realização

de análise mais minuciosa do órgão ou entidades representativas em cada um desses casos identificados.

De forma a manter um critério para toda a Bacia do Rio Tibagi e padronizar a análise, a rotina de cálculos foi realizada de acordo com o descrito pelo Manual técnico de outorgas, e também foi estruturada a partir dos dados públicos de outorga, e ferramentas existentes, disponíveis e já consolidadas. A análise desconsidera lançamentos e captações irregulares, que não estão registradas no banco de dados do órgão, e tem um viés arrojado.

Entretanto, os dados públicos de outorga carregam a heterogeneidade das análises técnicas de outorga realizadas pelos analistas do órgão ao longo dos anos, e alterações da legislação. Tanto as ferramentas, como os dados de referência, como o conhecimento técnico, naturalmente variam de outorga para outorga, de bacia para bacia, de análise para análise. Portanto a análise presente nesse trabalho não estimou (desconsiderou) essas possíveis divergências, uma vez que não seria viável mapear todas essas características. Considerou-se os dados existentes e vazões outorgadas pelo órgão, ainda que envolvam tais dissensos. Além disso, a escolha de duas vazões de referência atribuídas ao indicador, não pretende avaliar as incertezas relacionadas e elas, e sim um confronto entre as vazões para a verificação da sensibilidade do indicador com relação a disponibilidade hídrica.

No caso dos lançamentos de efluentes não foi considerado o processo de autodepuração, apenas a vazão apropriada para a diluição outorgada pelo órgão (como descrito no Manual Técnico de Outorgas). Para tanto, as vazões apropriadas para a diluição, presentes nos dados públicos de outorga do órgão, foram consideradas integralmente na soma das demandas de cada bacia, da cabeceira até a foz do Rio Tibagi, atribuindo a análise um viés conservador. Da mesma forma, esses dados também carregam as possíveis variações de vazão, concentração dos parâmetros lançados e da classe do corpo hídrico em cada uma das análises.

Não foram contabilizadas as dispensas pelo fato de que esses usos são considerados como insignificantes e também por conta da qualidade dos dados dessa categoria de uso de outorga. [Stinghen e Mannich \(2019\)](#) apresentam que mesmo em bacias de pequeno porte essa característica se confirma, e não há grande comprometimento por parte das dispensas. Ainda, as dispensas algumas vezes não trazem os dados da vazão que realmente é utilizada pelo usuário (uma vez que o limite é de até $1,8 \text{ m}^3/\text{h}$) e também não carregam a vazão apropriada para diluição no caso dos efluentes.

Para o diagnóstico, os motivos e justificativas para criticidade, foram baseadas nas informações e observações presentes no sistema do órgão gestor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

“Science progresses best when observations force us to alter our preconceptions.”

Vera Rubin

Este capítulo faz uma investigação das tipologias de outorga como agentes para os resultados do indicador, do efeito da escolha das vazões de referência, e a implicação global para a gestão. São apresentados os resultados obtidos para o diagnóstico das bacias críticas, trazendo as relações dos níveis do ICB considerando cada tipologia de outorga, assim como a presença de características específicas das bacias críticas, a relação com as metas progressivas e as diferenças observadas entre as curvas de ICB a partir das duas vazões de referência. E por fim o capítulo expõe a representação gráfica, em forma de mapa, do ICB aplicado a Bacia do Rio Tibagi, a fim de mostrar os níveis de criticidade acumulados ao longo da bacia.

4.1 DIAGNÓSTICO DAS BACIAS CRÍTICAS

Das 120 bacias de contribuição a montante das outorgas para o lançamento de efluentes, 63 delas foram classificadas como críticas considerando as vazões de referência presentes no Plano de Bacia do Rio Tibagi, e 72 com o Regionaliza. Da mesma forma, das 179 bacias de contribuição a montante das outorgas de captação, 50 são críticas pelo Plano da Bacia do Rio Tibagi, e 67 pelo Regionaliza. E por fim, na mesma ordem, são 137 e 158, das 299 bacias ao todo, quando analisadas captações e lançamentos de forma conjunta (Tabela 5).

Tabela 5 – Total de Bacias Críticas

Tipo de outorga	Plano da Bacia do Rio Tibagi	Regionaliza 2014	Criticidade Mantida
Lançamentos	63	72	58
Captações	50	67	49
Lançamentos e Captações	137	158	130

Ainda, fazendo uma comparação, 58 das bacias críticas de lançamento, identificadas pelo Plano de Bacia do Rio Tibagi, se mantiveram críticas também pelo Regionaliza 2014. Para as captações foram 49 que se prosseguiram da mesma forma, e as duas tipologias de outorga 130. Analisando as curvas do fator de criticidade das bacias a montante dos pontos de outorgas de captação, de lançamento e as duas tipologias, nas Figuras 14, 15 e 16, pode-se verificar que o nível de criticidade utilizando os dados de vazão de referência do Regionaliza 2014 permaneceu em todos os cenários

acima da curva com referência no Plano de Bacia do Rio Tibagi. A análise a partir das vazões do Regionaliza 2014, gerou um número maior de bacias críticas, como já observado na [Tabela 5](#), do que pelo Plano de Bacia.

Para os lançamentos na [Figura 14](#), 60% das bacias geradas estão acima do limite de 50% da $Q_{95\%}$ com referência no Regionaliza 2014, e para o Plano de bacia, o percentual é um pouco menor, mas ainda superior a metade, com pelo menos 53% das bacias com níveis de criticidade acima de 1.

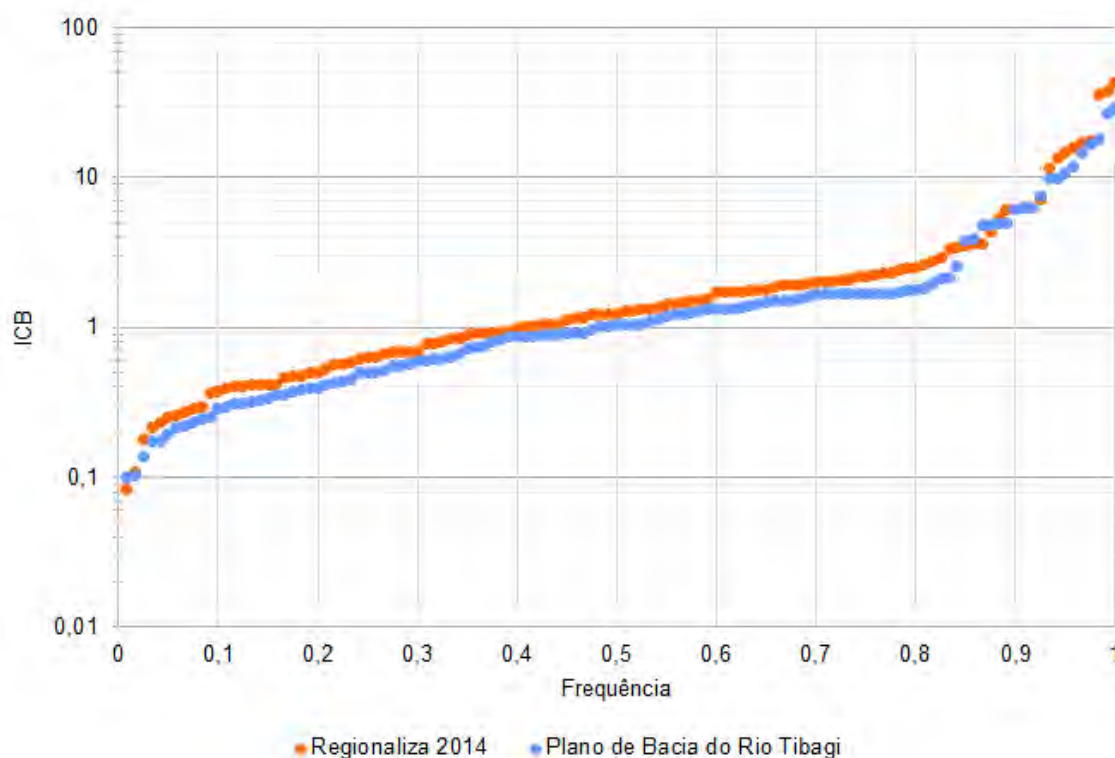


Figura 14 – Comparação das curvas das vazões de referência para bacias com outorgas de lançamento de efluentes

Nas captações da [Figura 15](#), quando comparadas as bacias apenas referente as outorgas de lançamento, as curvas estão mais deslocadas para a direita. Ou seja, tanto para a referência do Regionaliza 2014 como para o Plano de Bacia, as captações em sua maioria estão dentro da faixa aceitável de vazão outorgada, com valores inferiores a 50% da $Q_{95\%}$. Para o Regionaliza 2014 esse limite é de 62% e para o Plano 71% dentro dos critérios aceitáveis de outorga, mas ainda 38% e 29% respectivamente, em níveis críticos.

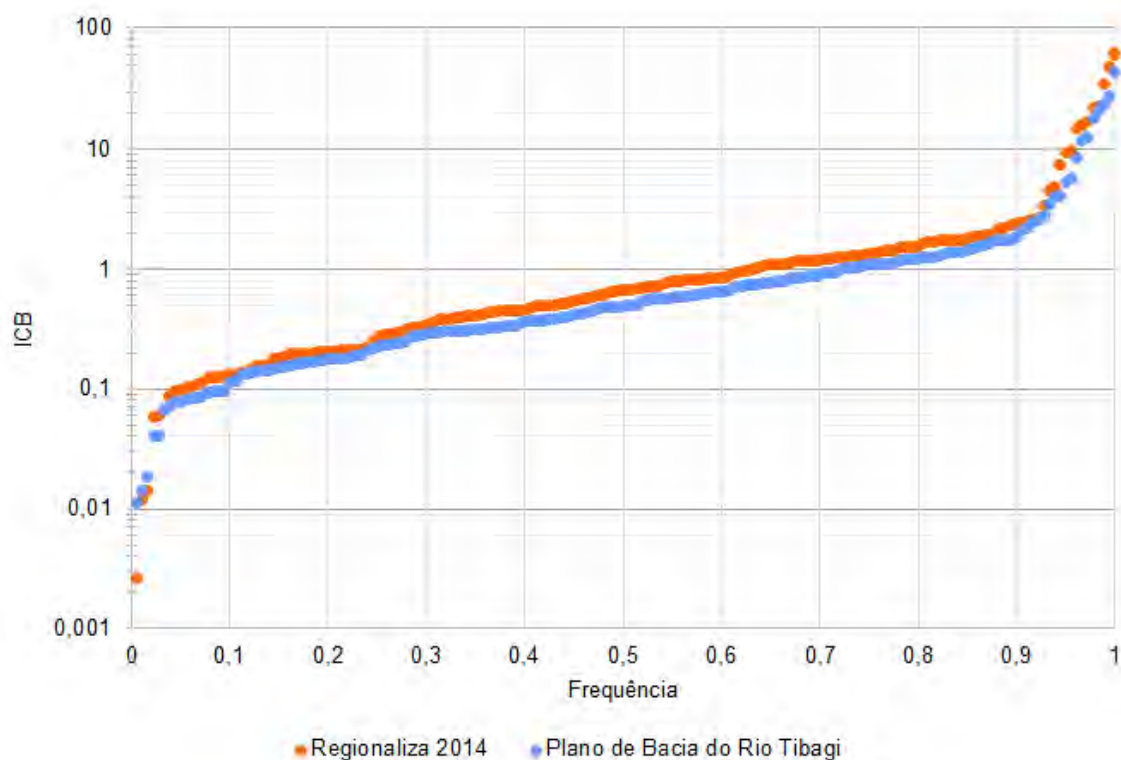


Figura 15 – Comparação das curvas das vazões de referência para bacias com outorgas de captações

E quando avaliadas as duas tipologias de outorga em conjunto, como é feito no órgão gestor, a [Figura 16](#) depreende que pelo Regionaliza 2014, 53% das bacias tem seu ICB acima de 1, e para o Plano de Bacia esse percentual é de 46%. Essas curvas demonstram que o peso dos lançamentos de efluentes contribuindo para o ICB, é superior ao peso das captações, quando avaliadas separadamente, e em proporções ainda maiores quando utilizadas as vazões de referência por meio do software Regionaliza 2014.

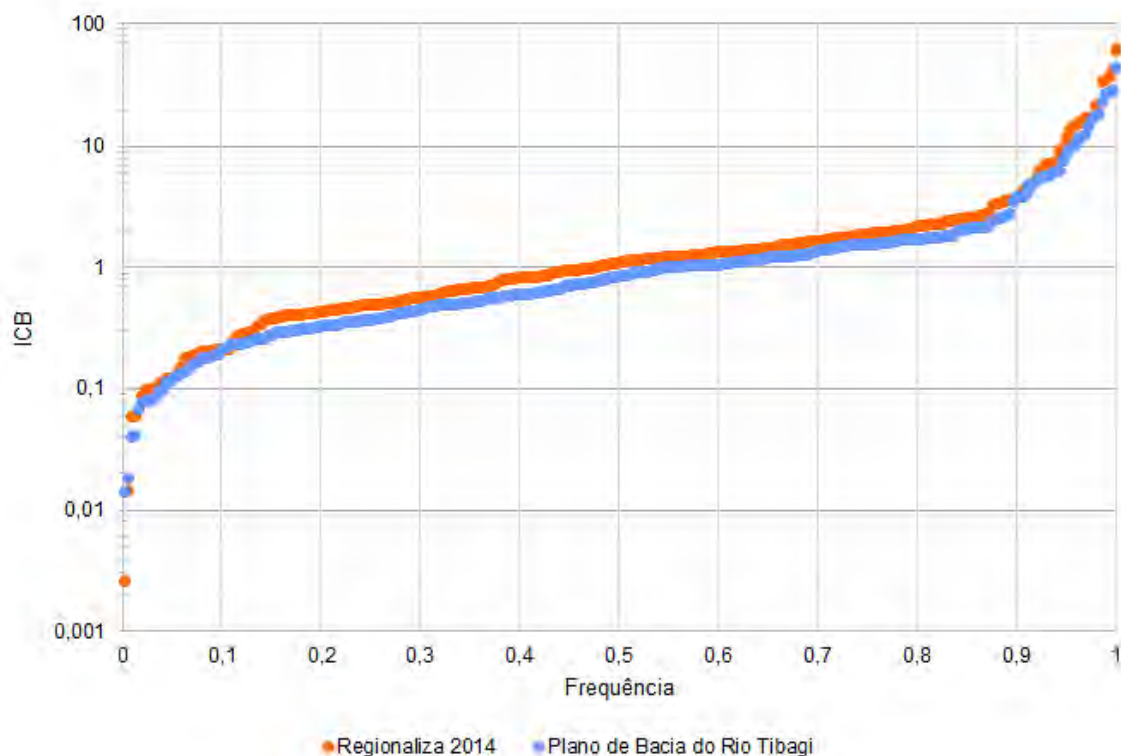


Figura 16 – Comparação das curvas das vazões de referência para bacias com outorgas de lançamento de efluentes e captações

A Figura 17 apresenta, o percentual de bacias críticas identificadas em cada um dos intervalos de maior relevância estabelecidos acima, utilizando os valores de vazão de referência do Plano de Bacia do Rio Tibagi. Avaliando os lançamentos de efluentes, um pouco menos da metade (47,5%) das 120 bacias de contribuição geradas, estão dentro dos critérios ideais de outorga, obedecendo um limite de $ICB \leq 0,5$, como já foi observado previamente na curva da Figura 14. Os outros 52,5% das bacias estão acima desse limite, sendo que 21,7% delas estão na faixa entre $1,0 < ICB \leq 1,6$, correspondendo ao limite de até 80% da $Q_{95\%}$, outros 12,5% entre $1,6 < ICB \leq 2,0$. E os 18,3% restantes extrapolam a faixa de $2,0 < ICB$.

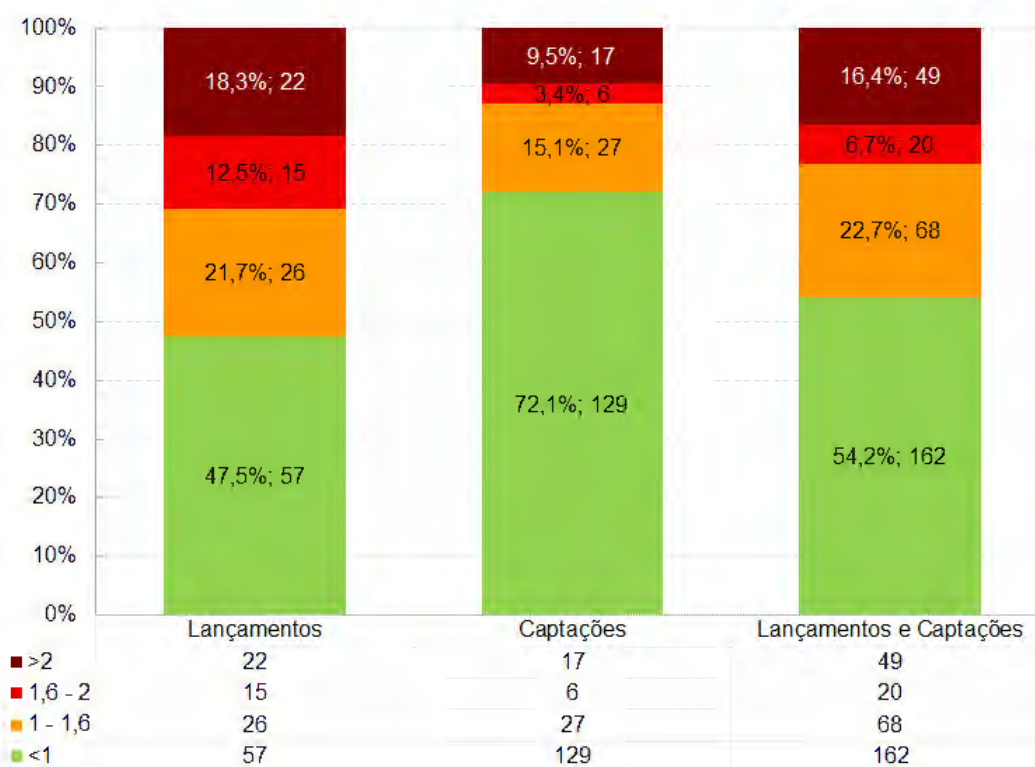


Figura 17 – Percentual em cada faixa de valor utilizando os dados de vazão de referência do Plano da Bacia do Rio Tibagi

Para as captações o percentual do total de 179 bacias com ICB acima de 1 é menor, totalizando em aproximadamente 28% e conseqüentemente também tem percentuais menores dentro das faixas de ICB's críticos. E quando se analisa conjuntamente as duas tipologias de outorga, captação e lançamento, tem-se um resultado intermediário entre as duas. No conjunto de 299 bacias, as com criticidade menor do que 1 totalizam 54,2%, e verifica-se um aumento do percentual de bacias na faixa de $1,0 < ICB \leq 1,6$ comparado ao resultado das captações e lançamentos de forma isolada.

Os percentuais nas faixas de criticidade utilizando a vazão de referência do Regionaliza 2014, apresentam uma piora nos intervalos dos ICB's críticos (Figura 18). Ou seja, o software aponta uma disponibilidade hídrica menor que os dados do Plano de Bacia de forma geral, aumentando assim o percentual de bacias nas faixas de ICB acima de 1.

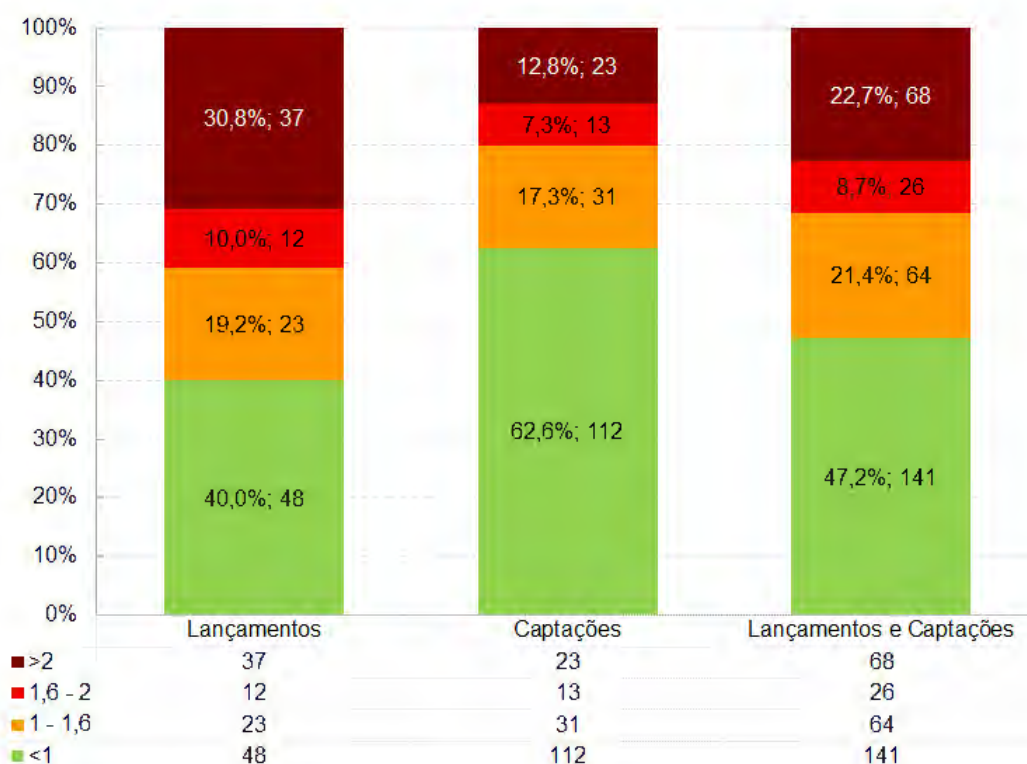


Figura 18 – Percentual em cada faixa de valor utilizando os dados de vazão de referência do Regionaliza 2014

Assim, as bacias dentro das faixas de ICB superior a 1 totalizam 60% para os lançamentos, 37,4% para as captações e 52,8% considerando os dois tipos de outorgas juntos. As bacias com indicador entre $1,0 < \text{ICB} \leq 1,6$, correspondem a 19,2% para os lançamentos, 17,3% para as captações e 21,4% para os dois, sendo a tipologia das captações a única desse nível de ICB que sofreu um pequeno aumento da quantidade de bacias comparado a Figura 17. As demais tipologias de outorga contaram com um número menor de bacias no nível de $1,0 < \text{ICB} \leq 1,6$. Entretanto nos níveis maiores de criticidade, a quantidade da bacias em cada nível é maior para o Regionaliza 2014 comparado ao Plano de Bacia, principalmente quando estão envolvidos os lançamentos.

Com o indicador entre $1,6 < \text{ICB} \leq 2,0$, os lançamentos tem 10% de suas bacias, as captações 7,3% e o conjunto de captações e lançamentos 8,7%, sendo o conjunto de lançamentos o único que diminuiu o número de bacias nessa faixa, mas com um aumento na próxima. As bacias que extrapolam o nível $2,0 < \text{ICB}$, equivalem a 30,8% para os lançamentos, 12,8% para as captações e 22,7% para lançamentos e captações.

4.1.1 A regularidade de Bacias Críticas

O intervalo de valores do ICB entre 1 e 1,6 apresenta certas peculiaridades, uma vez que os empreendimentos de saneamento, por regulamentação, podem utilizar até 80% da $Q_{95\%}$ para a diluição de seus efluentes. As Figuras 19 e 20, apresentam essa característica. Nessa faixa, verificou-se quais das bacias estariam de certa forma regulares, ou seja, que existem apenas os empreendimentos de saneamento fazendo a utilização dos 80% da vazão de referência. As bacias irregulares, mas que apresentam não só empreendimentos de saneamento como também indústrias, comércio e serviço, empreendimentos voltados a agropecuária entre outros. E as bacias que não apresentam nenhuma outorga envolvendo o saneamento e estão na irregularidade por conta dos outros tipos de usuários.

Uma ressalva é que as captações não são regulamentadas da mesma forma, ou seja, o abastecimento público não tem o direito de uso de 80% da $Q_{95\%}$, apenas os lançamentos de efluentes. Logo não existem outorgas regulares no grupo das captações, ficando apenas divididas entre as bacias que apresentam ou não alguma outorga voltada ao saneamento e abastecimento público.

Considerando os resultados a partir do uso das vazões de referência do Plano de Bacia do Tibagi, dentro da faixa de 1 até 1,6 para o ICB (Figura 19), tem-se que 38,5% dos lançamentos caracterizam-se como regulares, e para as captações e lançamentos, nessa classificação, o número de bacias se manteve o mesmo (10 bacias), que correspondem a um total de 14,7%. As bacias consideradas irregulares, sem apresentar outorgas ligadas a empreendimentos de saneamento, somam 42,3% nos lançamentos, 59,3% nas captações, e 45,6% para os dois. E ainda tem-se 19,2% das bacias relacionadas aos lançamentos de efluentes, tanto com empreendimentos de saneamento como os demais, um número é maior considerando a irregularidade na captação com 40,7% nessa categoria, e 39,7% para as duas tipologias de outorga.

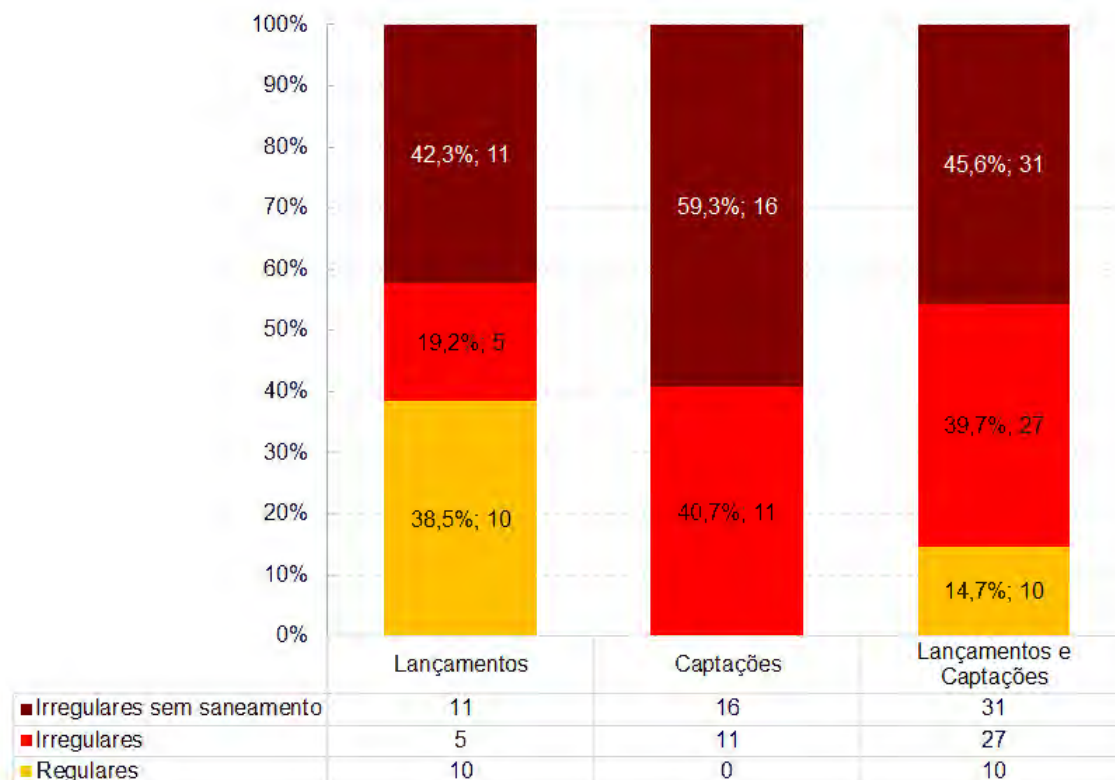


Figura 19 – Bacias críticas em situação irregular ou regular na faixa de 1 a 1,6 utilizando os dados do Plano da Bacia do Rio Tibagi

Portanto, nessa faixa de $1,0 < \text{ICB} \leq 1,6$, as bacias com outorgas regulares ainda são uma minoria. O mesmo pode ser observado utilizando as vazões de referência do software Regionaliza 2014, apresentado na sequência. A Figura 20, resultado da utilização da $q_{95\%}$ do Regionaliza 2014 mostra que 26,1% das bacias de contribuição para os lançamentos na faixa de ICB de 1 até 1,6 são regulares. 17,4% delas possuem tanto empreendimentos de saneamento como outros empreendimentos que contribuem para a irregularidade, e a maioria (56,5%) não possuem outorgas de saneamento. Para as captações, 35,5% das bacias envolvem o saneamento, o restante não. E unindo as duas tipologias de outorga, apenas 6,3% são regulares nessa faixa de criticidade, metade delas (50%) não envolvem o saneamento e os 43,8% restantes, tem empreendimentos de saneamento junto com os demais e estão irregulares.

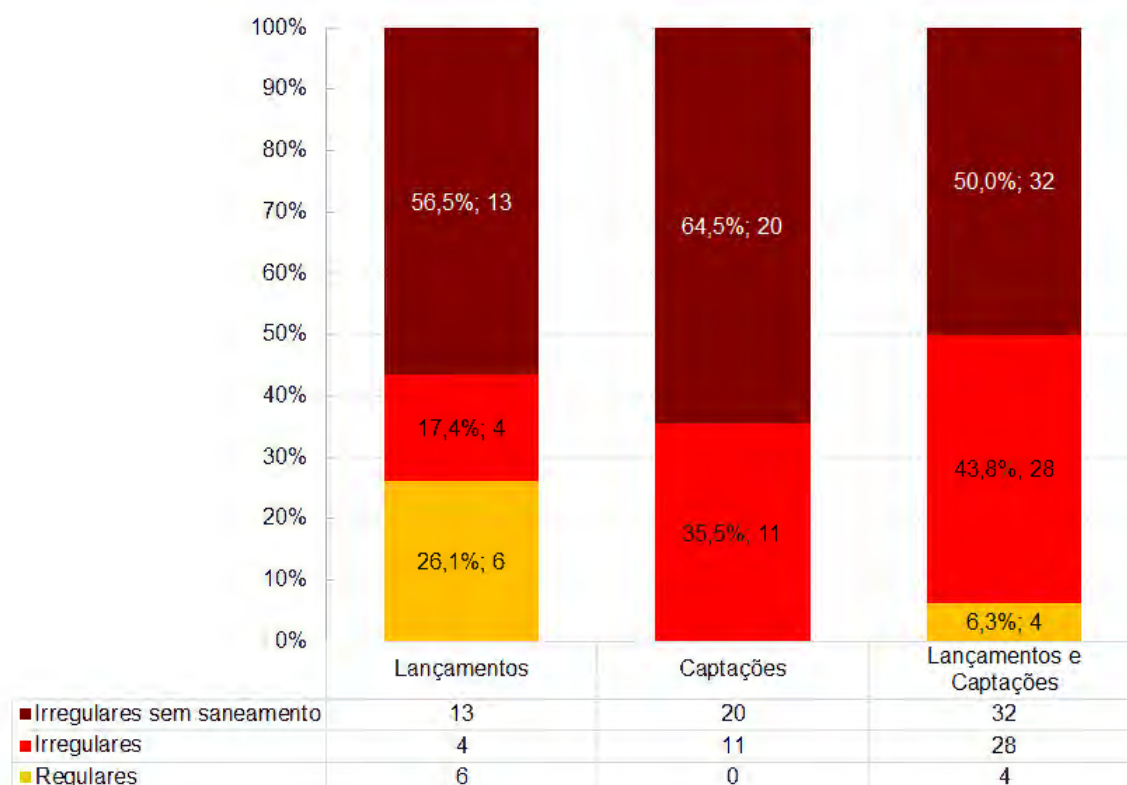


Figura 20 – Bacias críticas em situação irregular ou regular na faixa de 1 a 1,6 utilizando os dados do Regionaliza 2014

4.1.2 Metas progressivas em Bacias Críticas

O próximo contexto observado dentro da análise dos dados das bacias críticas foi com relação as metas progressivas que já estão previstas. Ou seja, em algumas dessas bacias, as outorgas de lançamento de efluentes, exclusivamente, já estão condicionadas a ações que podem promover por exemplo a redução da carga lançada, com a melhoria da qualidade do efluente ou então redução da vazão. Elas podem incluir também a construção de emissários para o lançamento em corpos d'água com maior disponibilidade hídrica e até mesmo a desativação do lançamento. Assim, o empreendimento, seja ele de saneamento, do setor industrial ou de comércio e serviço, tem um tempo para se adequar e obedecer a todos os critérios de outorga. As metas progressivas então, demonstram as ações e a preocupação de melhoria já estabelecidas em algumas bacias críticas.

Dessa forma, as bacias desse trabalho, com ICB superior a 1, foram classificadas de acordo com os tipos de empreendimentos condicionados a metas progressivas, e também as bacias onde não existem metas previstas. Primeiramente na [Figura 21](#), com referência nos dados de $q_{95\%}$ do Plano de Bacia, tem-se que as bacias, envolvendo somente os lançamentos de efluentes, são 25,4% sem nenhuma proposta de meta. Os lançamentos com metas progressivas relacionados apenas as indústrias são um total

de 9,5%, saneamento quase a metade em 47,6%, e envolvendo os dois setores são 17,5%. Incrementando as captações nessa análise, as quais não envolvem esse procedimento de estabelecimento de metas, o percentual de bacias sem a condicionante aumenta para 54,7%, e reduz proporcionalmente nas demais faixas, sendo 9,5% metas para saneamento e indústria de forma associada, 8,8% das bacias apenas com metas de indústrias, e 27% de saneamento.

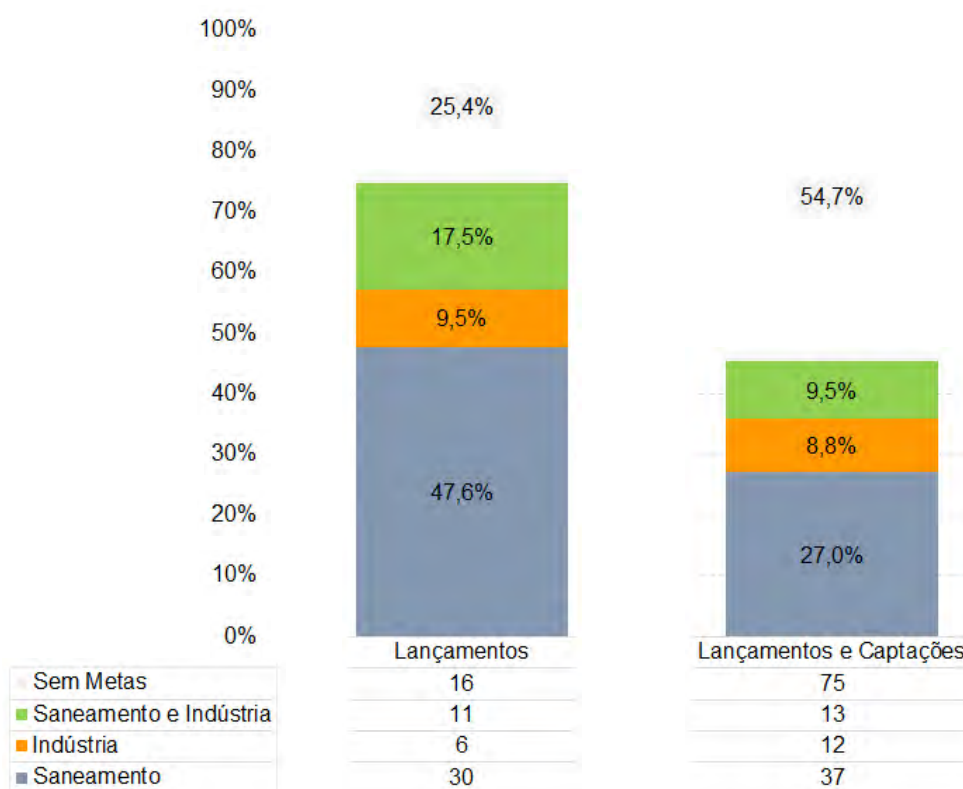


Figura 21 – Bacias críticas e as metas progressivas a partir dos dados do Plano da Bacia do Rio Tibagi

E na sequência, a partir dos dados do Regionaliza o cenário mostra uma certa piora, elevando os percentuais das bacias sem nenhuma meta progressiva, com 29,2% para o lançamento e 61,4% para captações e lançamentos juntos. As bacias com metas progressivas para o saneamento envolvendo o lançamento equivalem a 40,3%, e 22,8% para as duas tipologias. Respectivamente para as indústrias são 15,3% e 7,6%, e para ambos os empreendimentos são 15,3% e 8,2%.

O Regionaliza classifica um maior número de bacias como críticas, mas com um percentual menor condicionado a ações de melhorias previstas nas metas progressivas.

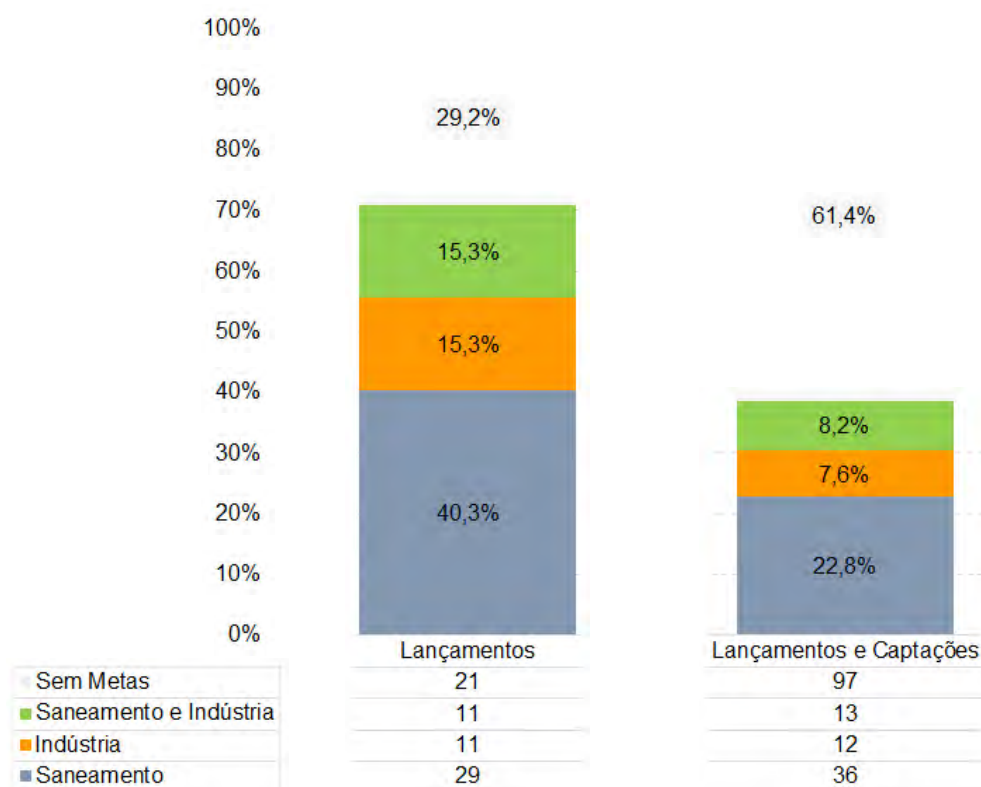


Figura 22 – Bacias críticas e as metas progressivas a partir dos dados do Regionaliza 2014

4.1.3 Razões que tornam as bacias críticas

Considerando o conjunto de bacias de contribuição geradas a partir dos pontos de outorga na Bacia do Rio Tibagi, avaliou-se o grupamento de razões que potencialmente explicam os níveis mais altos de criticidade. Ou seja, as bacias com o ICB acima de 1 foram classificadas de acordo com as características das outorgas pertencentes a elas. Essa classificação se deu a partir das observações e outras informações presentes no sistema de Cadastro de Recursos Hídricos (CRH) do órgão gestor. Ao todo, 4 motivos principais foram elencados, dentre eles as bacias com presença de barramentos, dado esse que não está presente claramente na outorga, e é verificado apenas pela consulta ao sistema. Para essas bacias a vazão outorgada é superior ao limite da bacia, entrando assim nas faixas de maior criticidade do ICB, mas não necessariamente é crítica pois tem sua vazão regularizada pelo barramento.

Também foram identificadas, em uma pequena quantidade, outorgas realizadas de forma alternada no mesmo corpo hídrico, onde um usuário possui mais de um ponto de captação, mas o uso não é simultâneo nos pontos. Dessa forma, quando somados, na análise desse trabalho, os usos ultrapassam o limite da bacia, mas de forma alternada não. Essa dinâmica também não é tão clara no dado das outorgas, que não traz o dado desse tipo de relação entre dois usos, só sendo possível tal identificação através da consulta ao sistema CRH.

Outro motivo é a utilização de até 80% da vazão de referência para o lançamento de efluentes de empreendimentos de saneamento. Como comentado anteriormente essa seria uma exceção, de outorgas regulares que estão na faixa do indicador de $1,0 < \text{ICB} \leq 1,6$. E por fim, a última classificação é relacionada puramente ao fato de terem sido outorgados usos além do permitido na bacia, onde a demanda supera a disponibilidade sem a existência de qualquer justificativa ou então por carregar uma série de motivos, sem ser possível atribuir a criticidade a uma única causa.

Compreendidas as características, para as bacias relacionadas apenas aos lançamentos de efluentes, tem-se dois motivos que podem ser verificados na [Figura 23](#). Quando utilizados os dados do Plano de Bacia, 37% das bacias críticas, possuíam outorgas que faziam a utilização de 80% da vazão de referência observada no sistema CRH. E para o Regionaliza 2014, o percentual reduziu, porém com um número de bacias maior, já que o Regionaliza 2014 classificou uma quantidade maior de bacias com ICB acima de 1. Essas outorgas, classificadas por utilizar 80% da $Q_{95\%}$, não necessariamente se mantiveram na faixa $1,0 < \text{ICB} \leq 1,6$ desse trabalho. Pelo fato de que as vazões de referência utilizadas no órgão podem ter variações com relação ao utilizado nesse trabalho, essas bacias aqui apresentadas podem ocupar outras faixas do indicador de comprometimento.

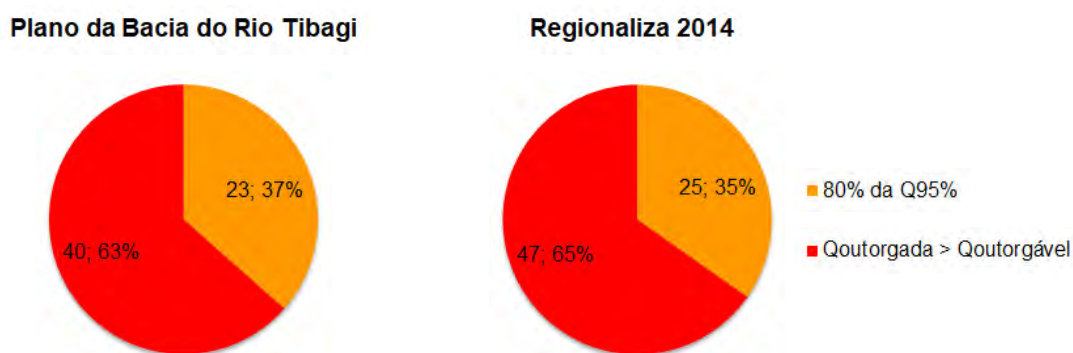


Figura 23 – Características identificadas nas bacias críticas que envolvem os lançamentos de efluentes

A [Figura 24](#), traz as características das bacias críticas que envolvem apenas outorgas de captações. São 2 bacias que apresentam a dinâmica de usos alternados, tanto para análise pelo Plano de Bacia como pelo Regionaliza, correspondendo a 4% e 3% delas, respectivamente. As bacias que apresentavam ICB's maiores do que 1, pelo fato de possuírem outorgas de captações em barramentos, são 16 (32%) pelo Plano de Bacia e 18 (27%) pelo Regionaliza 2014. E as demais bacias, ocorre o fato da demanda ter ultrapassado a disponibilidade.

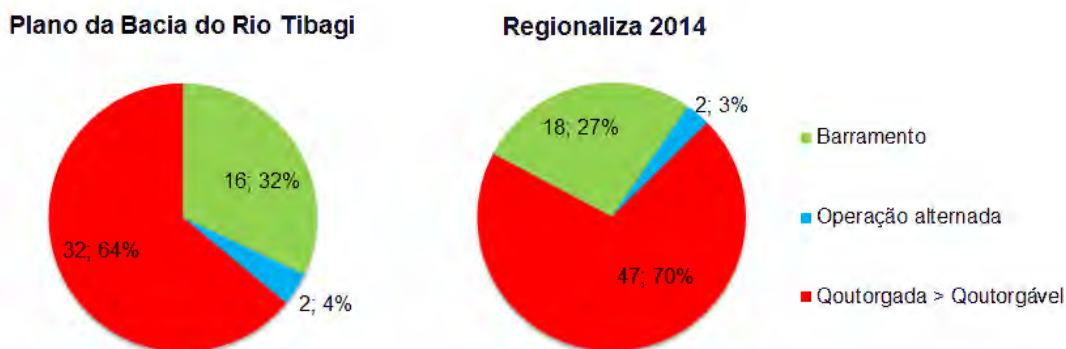


Figura 24 – Características identificadas nas bacias críticas que envolvem as captações

E para a análise, como é realizada pelo órgão, com a junção das duas tipologias de outorga (Figura 25), tem-se com o Plano de Bacia, as mesmas 16 bacias com barramento (12%), as mesmas 2 com operação alternada, 24 (18%) que utilizam-se de 80% da vazão de referência e o restante com a vazão outorgada superior à outorgável na bacia. Com as vazões de referência do Regionaliza, os barramentos são a causa da criticidade em 17 das bacias, os usos com operação alternada permanecem os mesmos, as bacias críticas com outorgas de lançamento de efluentes de saneamento são 23 (15%), e as demais somam 116 bacias (73%) ultrapassando o limite da disponibilidade hídrica.

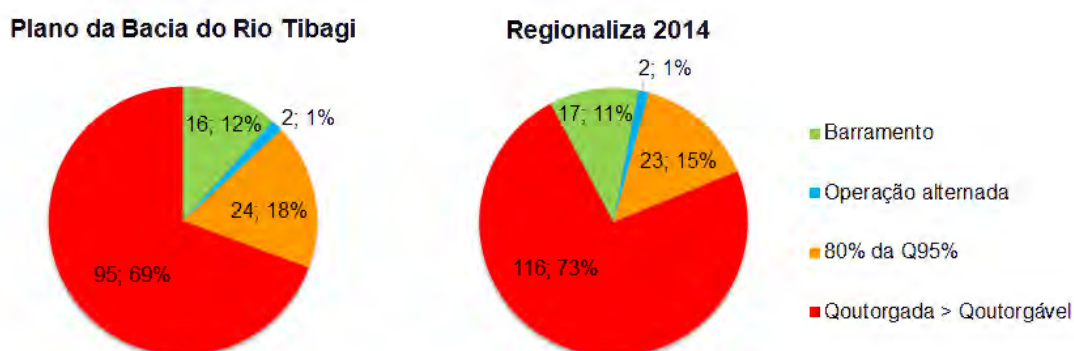


Figura 25 – Características identificadas nas bacias críticas que envolvem os lançamentos de efluentes e as captações

4.1.4 A relação entre a área das bacias e o ICB

Outro fato a ser observado no diagnóstico é a relação entre o ICB, e a área de drenagem das respectivas bacias, uma vez que a disponibilidade está diretamente relacionada à área, assim como a demanda pode ser maior em áreas maiores. A Figura 26 apresenta a relação entre as áreas das bacias de contribuição a montante do pontos de outorgas de lançamento de efluentes e o ICB, tanto utilizando as vazões de referência do Plano de Bacia como do Regionaliza 2014. Percebe-se uma tendência de

que quanto menor a área maiores são os níveis de criticidade, trazendo ainda valores muito acima do que 100% da vazão de referência. Ainda, para as áreas maiores que 400 km², o indicador da bacia não ultrapassa o limite de $ICB = 2$, sendo que com os dados de referência do Plano, as bacias com áreas acima desse valor estão todas dentro do limite da vazão outorgável, e algumas exceções para o Regionaliza 2014 que tem seu ICB superior a 1, mas ainda dentro dos limites de $1,0 < ICB \leq 1,6$.

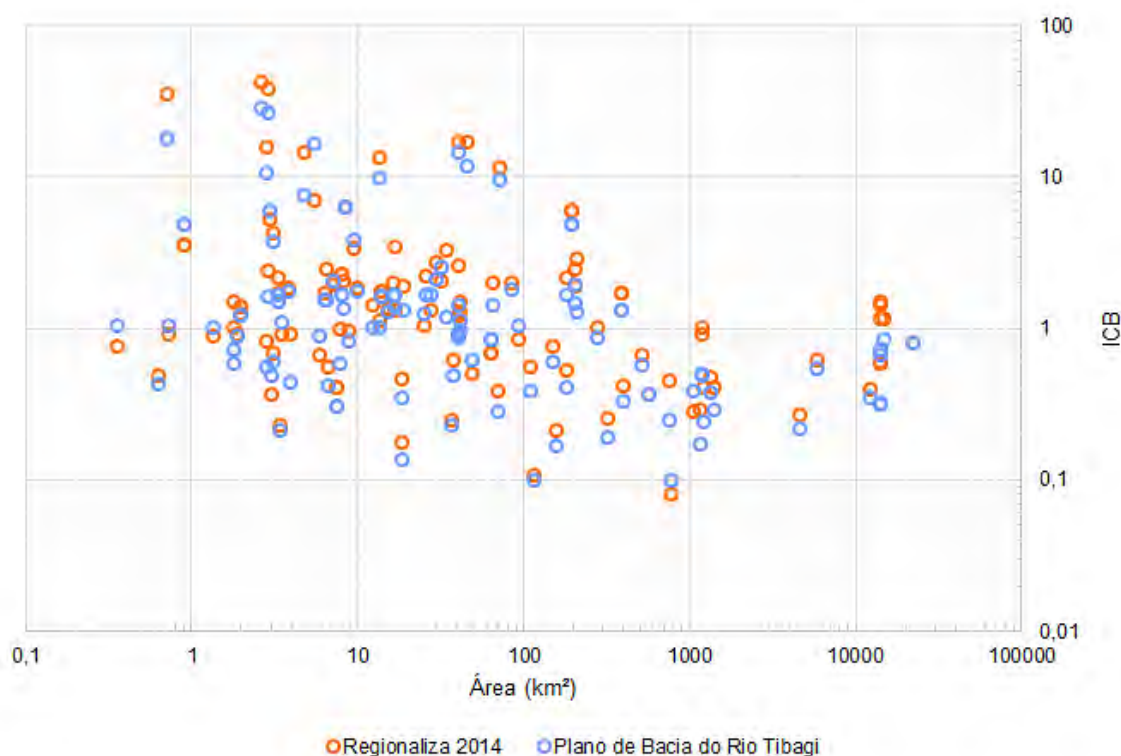


Figura 26 – A relação entre a área e o indicador de comprometimento para as bacias relacionadas aos lançamentos de efluentes

A respeito das áreas de drenagem apenas para outorgas de captação o cenário altera-se um pouco na [Figura 27](#). Visualmente percebe-se uma maior concentração das bacias nas faixas do ICB menores do que 1, e para bacias maiores do que 200 km² o limite da vazão outorgável não é ultrapassado, nem com referência nos dados do Plano de Bacia, nem com o Regionaliza. Ainda assim, existe uma quantidade razoável de pontos que ultrapassam o limite de 100% da $Q_{95\%}$, e estão na faixa de $2 < ICB$, mas ainda em menores proporções para as captações comparadas aos lançamentos como já observado nas seções anteriores.

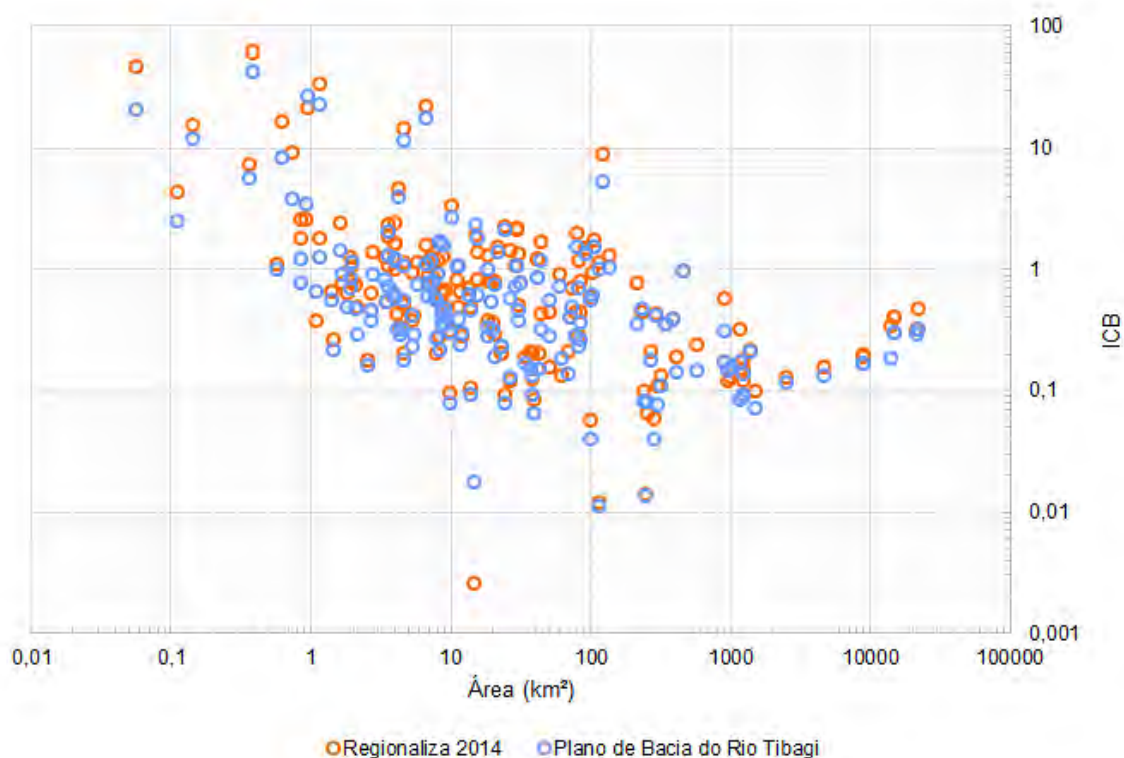


Figura 27 – A relação entre a área e o indicador de comprometimento para as bacias relacionadas as captações

E para a [Figura 28](#) unindo as duas tipologias de outorga na análise de criticidade, mesmo com áreas de drenagens maiores, ainda tem-se algumas bacias que ultrapassam o limite da vazão outorgável (faixas de ICB maiores do que 1) tanto pelo Regionaliza 2014 como com as vazões do Plano de Bacia. Entretanto, todas as bacias acima de 800 km² permanecem com ICB inferiores a 2. Da mesma forma que os gráficos das [Figura 26](#) e [Figura 27](#) anteriores, os indicadores de comprometimento mais elevados, muito maiores do que 1, concentram-se nas bacias com áreas de drenagem menor, inferiores as 200 km². Também, como apresentado na curva da [Figura 16](#) anteriormente, a análise utilizando as vazões de referência do Regionaliza 2014 mostram uma piora no nível de criticidade, sendo os pontos relacionados a esse método deslocados, em sua maioria, um pouco acima dos pontos que utilizaram as vazões do Plano de Bacia do Rio Tibagi.

Vale lembrar também, que o Regionaliza 2014 é indicado principalmente para as áreas de drenagem superiores a 100 km², e inferiores a 5000 km² ([KAVISKI; DA COSTA ROHN; MAZER, 2002](#)). Portanto, das 299 bacias geradas tanto para captação como para lançamento, apenas 62 (20,7%) delas estão dentro desse intervalo, 28 de lançamentos e 34 de captações. Ou seja para 79,3% das bacias os dados do Regionaliza 2014 podem não ser tão confiáveis, e superestimar o indicador por exemplo. Mas ainda, relativo ao Plano de bacia, as vazões de referência também podem subestimar

o ICB nesse sentido.

Das 62 bacias dentro dessa faixa entre 100 km² e 5000 km², 21 delas ultrapassam o limite de ICB = 1. A maioria das bacias nessa faixa ainda não atingiu maiores níveis de comprometimento com referência nos dados de vazões do Regionaliza 2014.

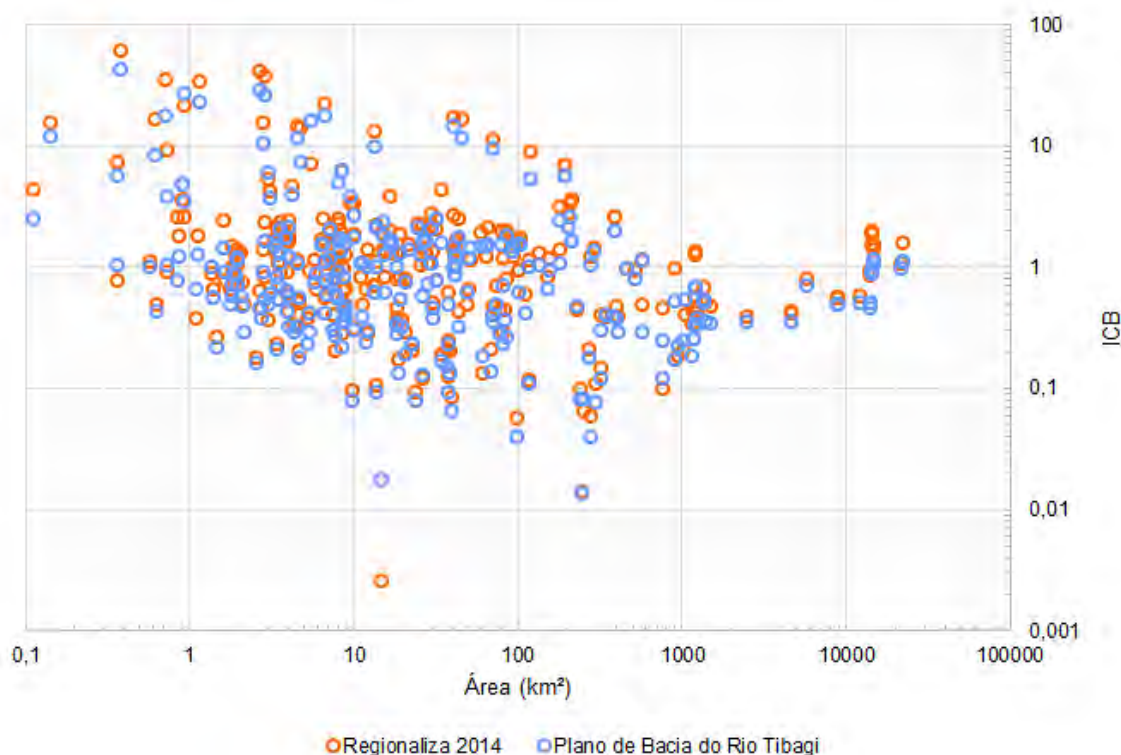


Figura 28 – A relação entre a área e o indicador de comprometimento para as bacias relacionadas aos lançamentos de efluentes e captações

4.1.5 Vazão de referência e a tendência observada

Apesar da escolha de duas vazões de referência não ter o intuito de abordar a análise de incertezas com relação às vazões de referência, optou-se pela adoção das duas metodologias apresentadas nesse trabalho como forma de confronto entre as vazões e também a fim de perceber a sensibilidade do indicador com relação a escolha de qualquer vazão de referência. A Figura 29 apresenta a relação entre as vazões do Plano de Bacia pelo Regionaliza, e a diferença relativa de cada uma.

Percebe-se, novamente, que o Regionaliza de maneira geral apresenta vazões de referência menores, com relação ao Plano de Bacia, tornando a disponibilidade hídrica menor e punindo o indicador no sentido de atribuir maior criticidade às bacias observadas.

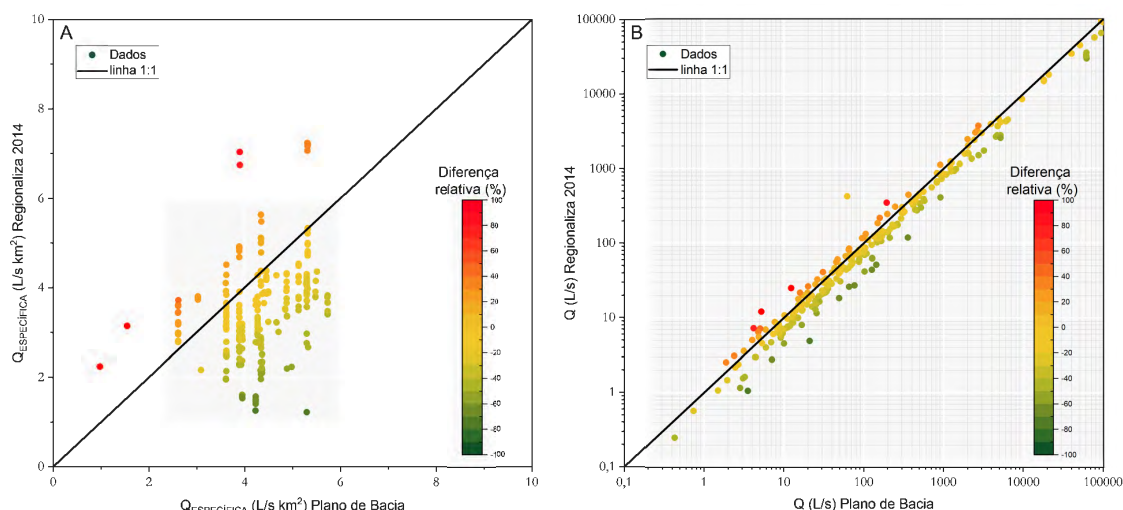


Figura 29 – Relação observada entre as vazões de referência do Plano de Bacia pelas vazões do Regionaliza 2014.

4.2 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS NÍVEIS DO INDICADOR DE COMPROMETIMENTO

Traçado o perfil das bacias críticas e identificados os motivos para os níveis mais altos do ICB, a presente seção trará a representação gráfica do indicador em forma de mapa, para cada uma das bacias de contribuição geradas a partir dos pontos de outorgas de captações e lançamentos de efluentes. Nos mapas são identificados por pontos o que seria a localização das outorgas e a condição de suas bacias de contribuição, e também a delimitação das bacias de acordo com os níveis de criticidade. As cores da legenda, seguem o padrão determinado na [Figura 13](#) tanto para os pontos como para os polígonos.

A [Figura 30](#) representa espacialmente o indicador considerando apenas os lançamentos de efluentes, a partir das vazões de referência vindas do Plano de Bacia do Rio Tibagi. As bacias de maior criticidade, algumas ultrapassando até os limites máximos com $2 < \text{ICB}$, estão localizadas nas regiões de cabeceiras, com áreas de drenagem menores. Os maiores níveis de criticidade são observados nas regiões noroeste, nas proximidades dos municípios de Londrina, Cambé e Rolândia, e sudeste, em Ponta Grossa, Castro e Carambeí. Essas são as regiões de maior concentração populacional na bacia do Rio Tibagi, onde existem as maiores demandas saneamento da bacia. Esse resultado se equipara ao apresentado no Plano de Bacia do Rio Tibagi, que em seus cenários sobre os balanços hídricos quantitativo e qualitativo, verifica que as regiões com maiores riscos estão concentradas nas aglomerações urbanas, no municípios de Ponta Grossa e Londrina, já identificados aqui ([PARANÁ, 2013](#)).

No decorrer da bacia, conforme o aumento da disponibilidade hídrica, visualizam-

se alguns pontos em amarelo e amarelo claro, em um nível sob controle e satisfatório, inferior ao limite de 0,8 do ICB. Entretanto, ao chegar na metade da bacia no limite dos municípios de Ortigueira e Telêmaco Borba, no próprio rio Tibagi, a soma dos usos reflete um nível de criticidade um pouco maior, em nível sub-crítico, e permanece até quase a foz, onde retorna ao nível satisfatório da bacia do Rio Tibagi como um todo.

Já o mapa referente as bacias geradas para as outorgas de lançamentos de efluentes na [Figura 31](#), utilizando as vazões de referência do Regionaliza 2014, torna-se mais escuro e apresenta níveis maiores de criticidade. Esse era um fato esperado, dados os resultados anteriormente apresentados no diagnóstico. As regiões com níveis de comprometimento mais altos permanecem as mesmas, mas se tornam mais críticas atingindo os níveis super críticos do indicador. A primeira metade da bacia, que pelos dados do Plano de bacia, ainda estava dentro do limite da vazão outorgável (ICB menor do que 1), agora passa para a faixa de criticidade a priori, de $1,0 < \text{ICB} \leq 1,6$. Segundo o Conjuntura dos Recursos Hídricos do Paraná, nessa unidade hidrográfica de gerenciamento (Alto Tibagi), o uso industrial é preponderante. O número de bacias em estado satisfatório também sofre diminuição ao longo da bacia, mesmo com disponibilidades maiores, algumas delas passam aos níveis sub crítico e crítico a priori.

Áreas Críticas relacionadas aos lançamentos na Bacia do Rio Tibagi - PLANO DE BACIA

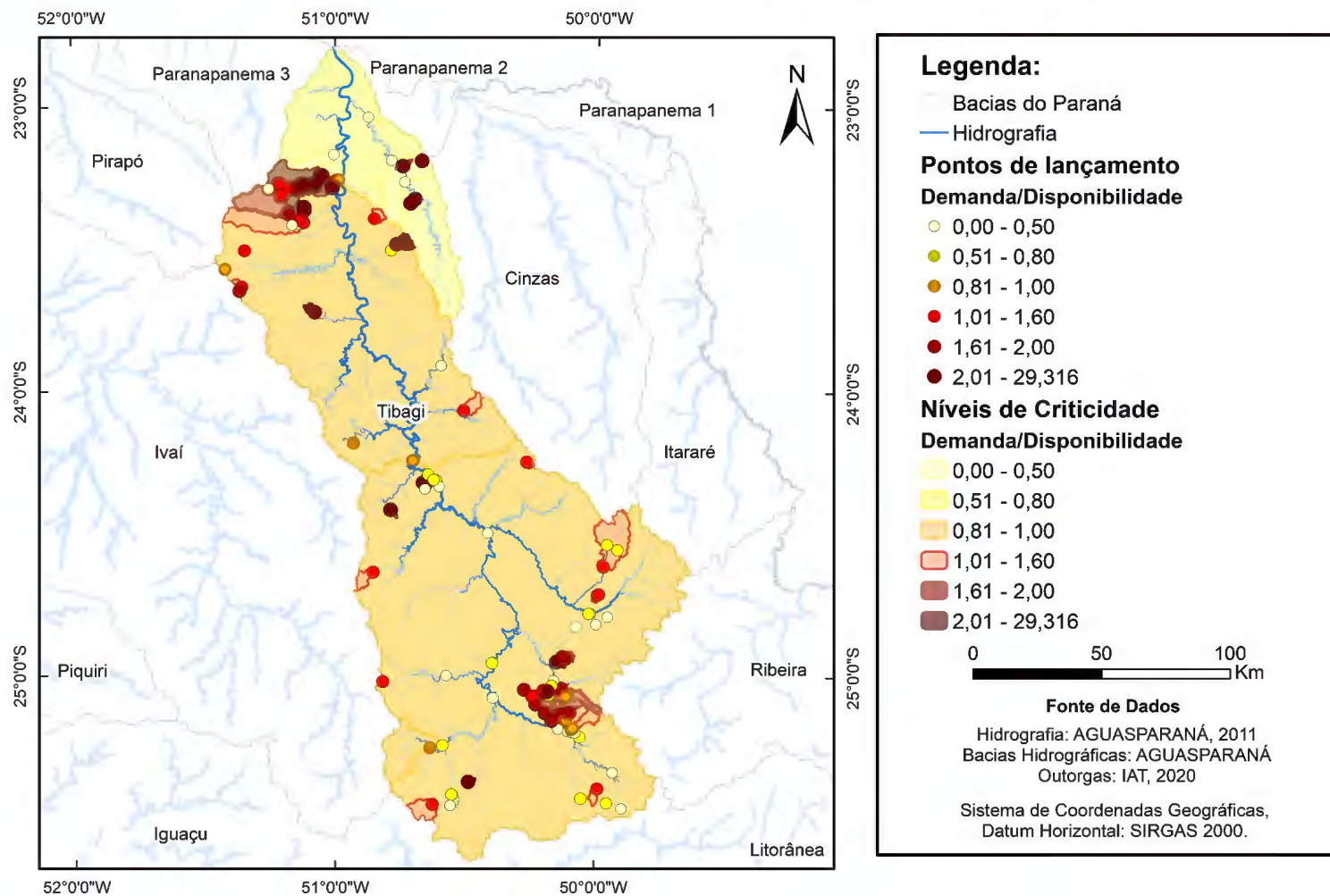


Figura 30 – Mapa com as áreas críticas relacionadas ao lançamento de efluentes, e base nas vazões de referência do Plano da Bacia do Rio Tibagi

Áreas Críticas relacionadas aos lançamentos na Bacia do Rio Tibagi - REGIONALIZA 2014

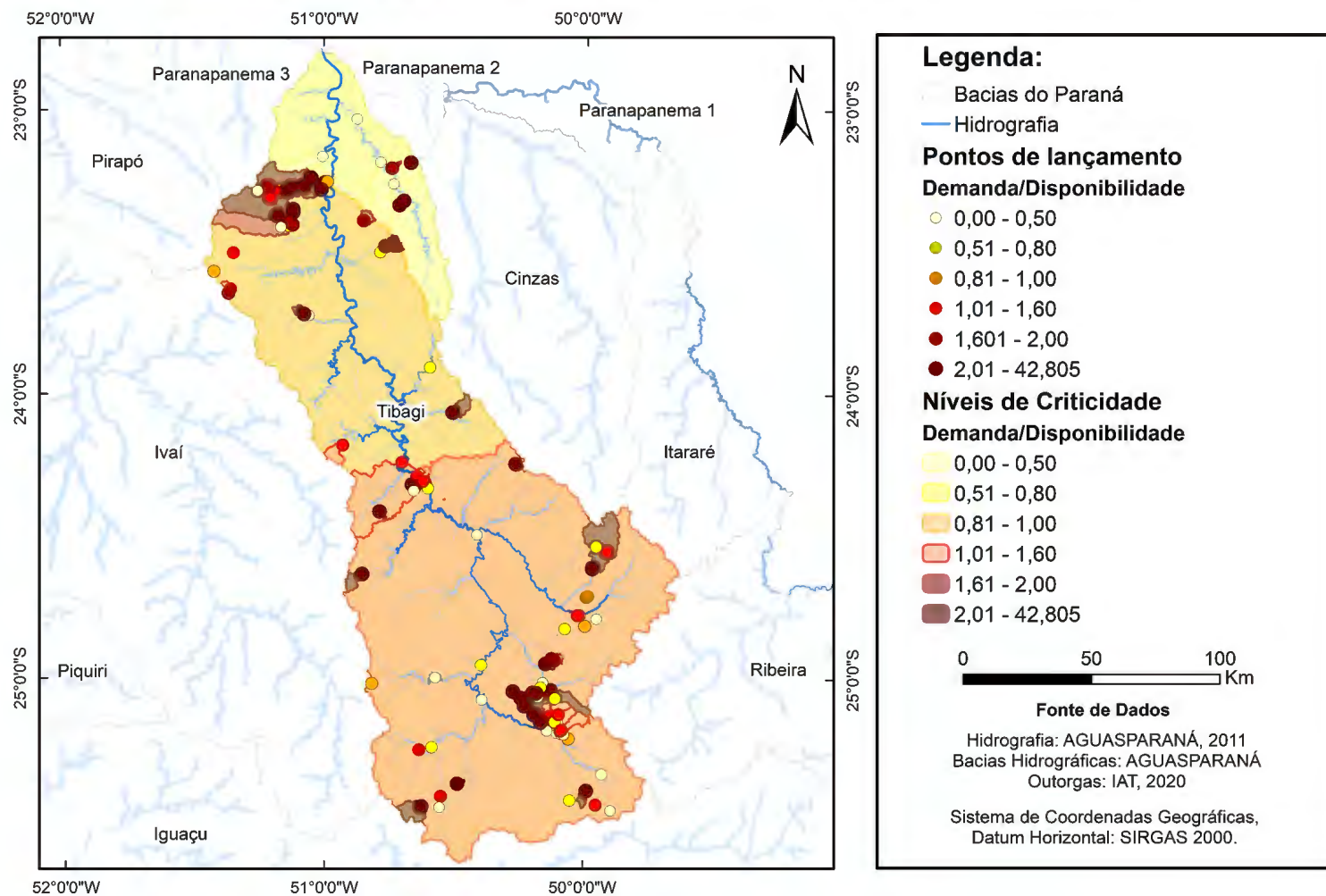


Figura 31 – Mapa com as áreas críticas relacionadas ao lançamento de efluentes, e base nas vazões de referência do Regionaliza 2014

Mantendo a ordem de apresentação dos resultados, a respeito das captações a [Figura 32](#) reproduz os níveis de comprometimento das bacias geradas para cada ponto de outorga, com as vazões de referência do Plano de Bacia do Rio Tibagi. Prontamente, verifica-se que a modalidade de outorga de captação, isoladamente, exerce uma pressão menor comparada aos lançamentos de efluentes, apresentando uma quantidade inferior, e também de menor porte, das bacias em situação crítica. As bacias com maior grau de comprometimento do indicador, também situam-se nas regiões noroeste e sudeste da bacia, onde estão os grandes polos industriais nos municípios de Londrina, Cambé, Ibiporã, Rolândia e Ponta Grossa. As duas regiões em conjunto concentram cerca de 50% da população total, e têm os maiores consumos de água para abastecimento público da bacia ([PARANÁ, 2009a](#)).

Já para os resultados obtidos com dados de vazão vindos do Regionaliza 2014, visualiza-se também a intensificação dos tons em vermelho, mas que ainda são menos preocupantes comparados aos lançamentos. Na região central da bacia do Rio Tibagi, há um salto de faixas do indicador em confronto com o resultado anterior. Bacias que para os dados do Plano encontravam-se em situação satisfatória, passam aos níveis sub críticos e críticos do ICB. Na região de cabeceira da bacia, ao sul, também há um aumento do nível de comprometimento, com pontos que ultrapassam os limites da vazão outorgável. Como anteriormente apresentado na [Figura 27](#), de maneira geral as captações tem seus níveis maiores de criticidade nas bacias com áreas de drenagem inferiores a 200 km². Ao longo da bacia, com o aumento da área de contribuição a montante de cada ponto, o indicador permanece nas condições satisfatórias e sob-controle, sem grandes áreas em situação de criticidade.

Mesmo sabendo que em cerca de 30% das bacias críticas, com ICB acima de 1, a criticidade está atrelada a existência de barramento no corpo hídrico, a presença dos níveis mais altos do indicador não indicam necessariamente que a outorga foi concedida incorretamente, mas serve como direcionamento de olhar mais atencioso para essas áreas, uma vez que elas têm suas dinâmicas naturais alteradas. O indicador chama a atenção para que a análise individualizada das outorgas na bacia sejam tratadas com o cuidado necessário.

Áreas Críticas relacionadas a captações na Bacia do Rio Tibagi - PLANO DE BACIA

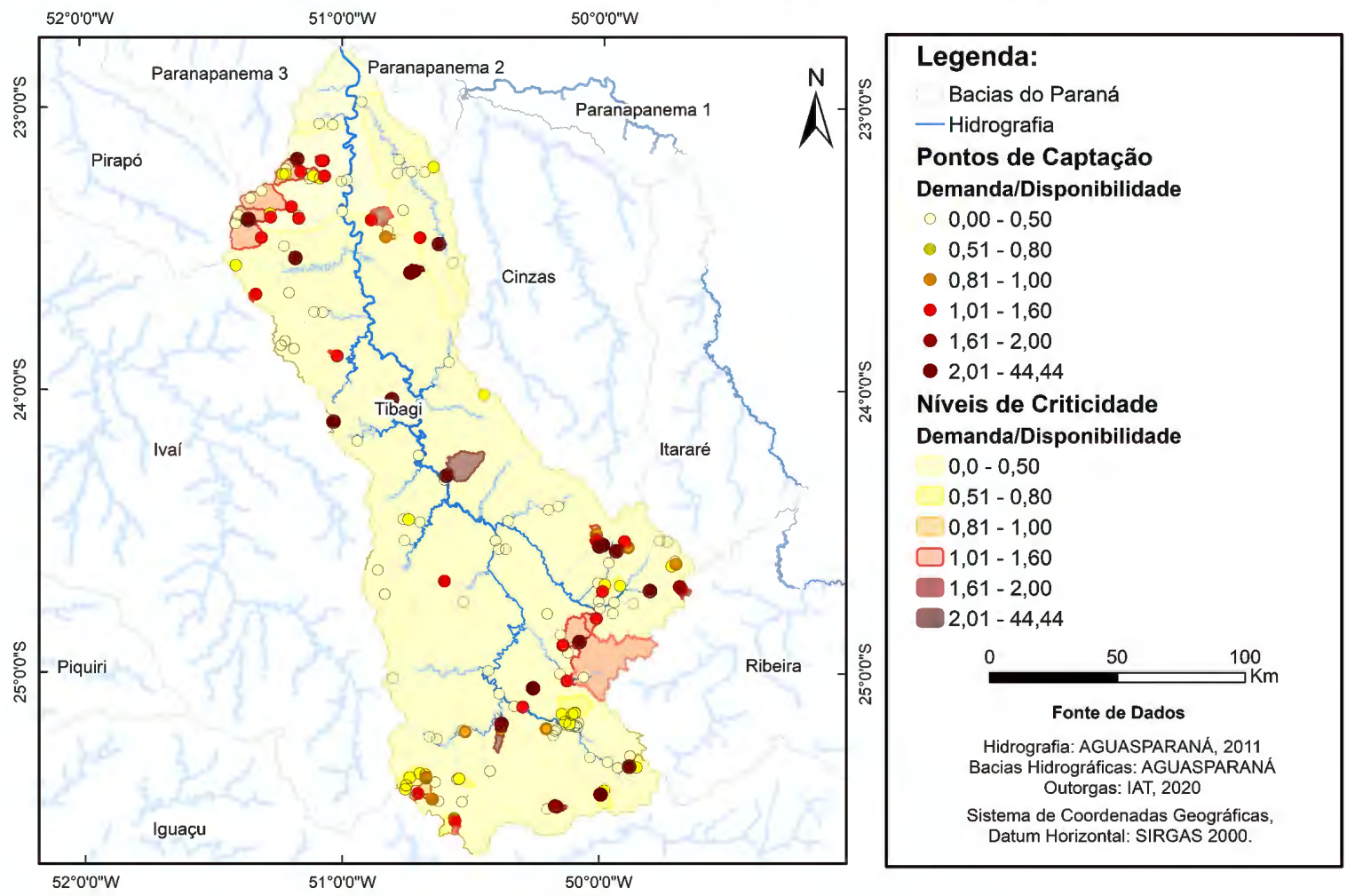


Figura 32 – Mapa com as áreas críticas relacionadas as captações superficiais, e base nas vazões de referência do Plano da Bacia do Rio Tibagi

Áreas Críticas relacionadas a captações na Bacia do Rio Tibagi - REGIONALIZA 2014

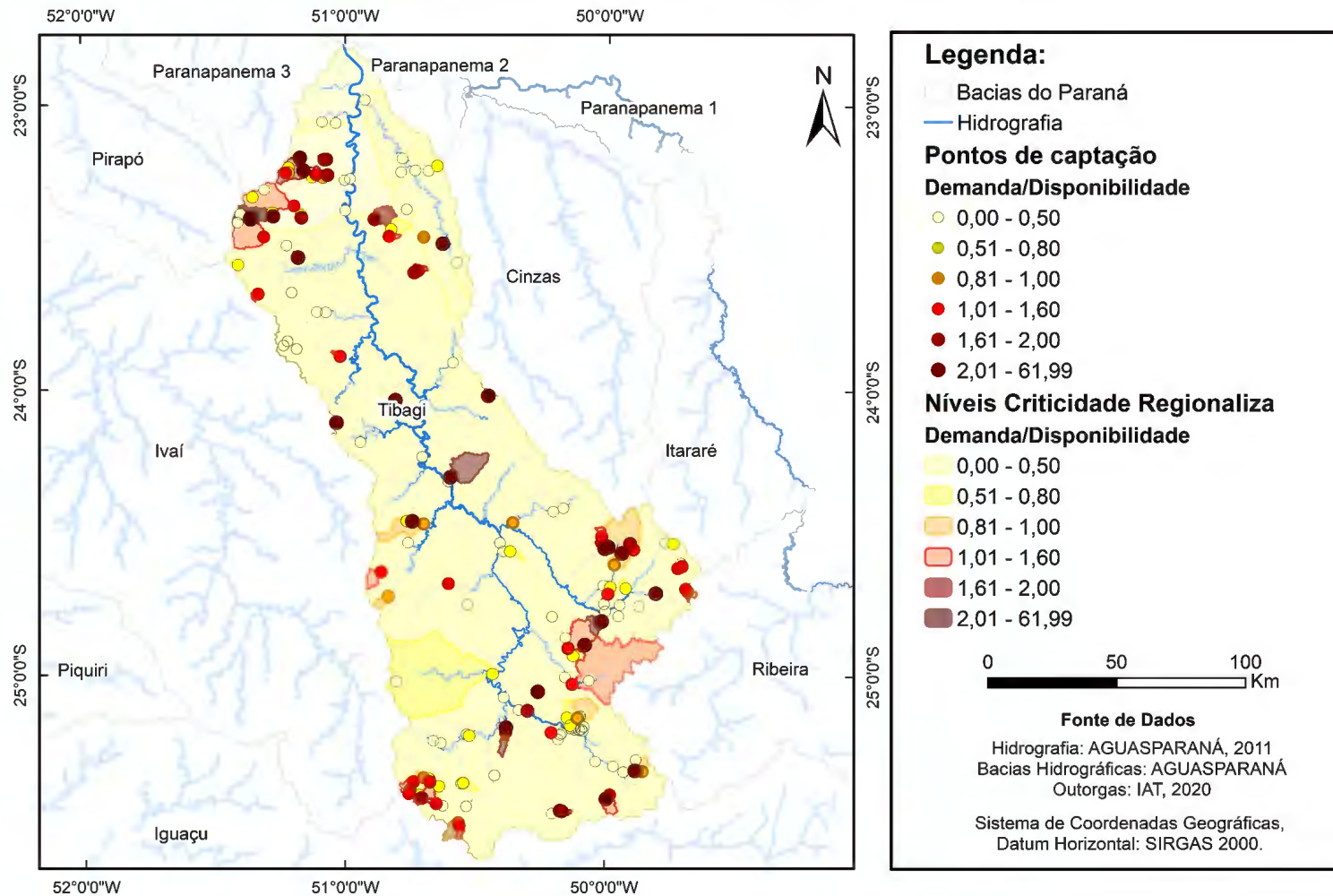


Figura 33 – Mapa com as áreas críticas relacionadas as captações superficiais, e base nas vazões de referência do Regionaliza 2014

Fazendo a união das duas tipologias de outorga (Figura 34), representando o que é adotado hoje no balanço entre as demandas e disponibilidade hídrica pelo órgão gestor, o cenário se intensifica ainda mais. Com os dados de vazão de referência do Plano de Bacia, temos um comprometimento quase geral de mais de 50% da $Q_{95\%}$. Apenas no último quarto da bacia, aproximadamente, o indicador retorna ao nível satisfatório de comprometimento. As bacias de cabeceiras, com a junção dos usos para captações e lançamentos de efluentes, tornam-se em sua maioria, na região sudeste críticas e região noroeste super críticas ultrapassando os limites de 100% da $Q_{95\%}$. No segundo quarto (2/4) da bacia, existe uma região de maior tranquilidade, onde o ICB volta aos níveis de $0 < \text{ICB} \leq 0,5$ e $0,5 < \text{ICB} \leq 0,8$, mas atinge níveis críticos entre $1,0 < \text{ICB} \leq 1,6$ na região central.

E por fim, a representação dos resultados obtidos a partir do dado de vazão do software Regionaliza 2014 da Figura 35, mostra o pior cenário entre todos apresentados. A primeira metade, somando as vazões apropriadas para a diluição dos efluentes e as vazões captadas, tem uma demanda que supera o limite de $2,0 < \text{ICB}$, levando essa porção da bacia como um todo a níveis super críticos. E o cenário na segunda porção se parece ao da Figura 34, com um indicador de comprometimento na faixa de $1,0 < \text{ICB} \leq 1,6$. Apesar de ser um resultado de certa forma preocupante, vale ressaltar que esse estudo não levou em conta o processo de autodepuração dos corpos hídricos, seguindo o que hoje é estipulado no manual de outorgas. Esse é um resultado, portanto, bastante conservador, uma vez que carrega a mesma vazão apropriada para a diluição de efluentes do início da bacia até a sua foz.

Áreas Críticas relacionadas aos lançamentos e captações na Bacia do Rio Tibagi - PLANO DE BACIA

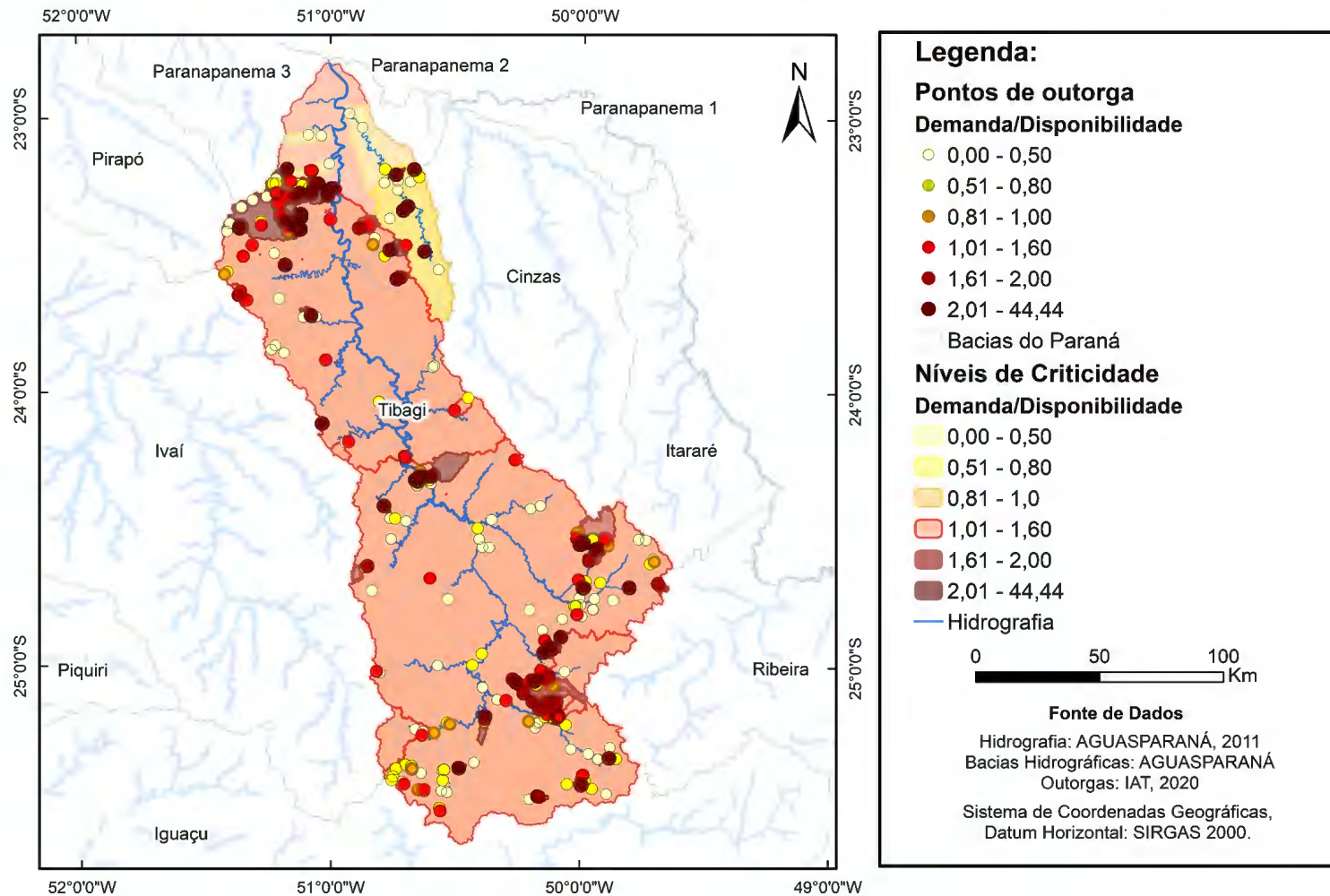


Figura 34 – Mapa com as áreas críticas relacionadas as captações e lançamentos de efluentes, e base nas vazões de referência do Plano da Bacia do Rio Tibagi

Áreas Críticas relacionadas aos lançamentos e captações na Bacia do Rio Tibagi - REGIONALIZA 2014

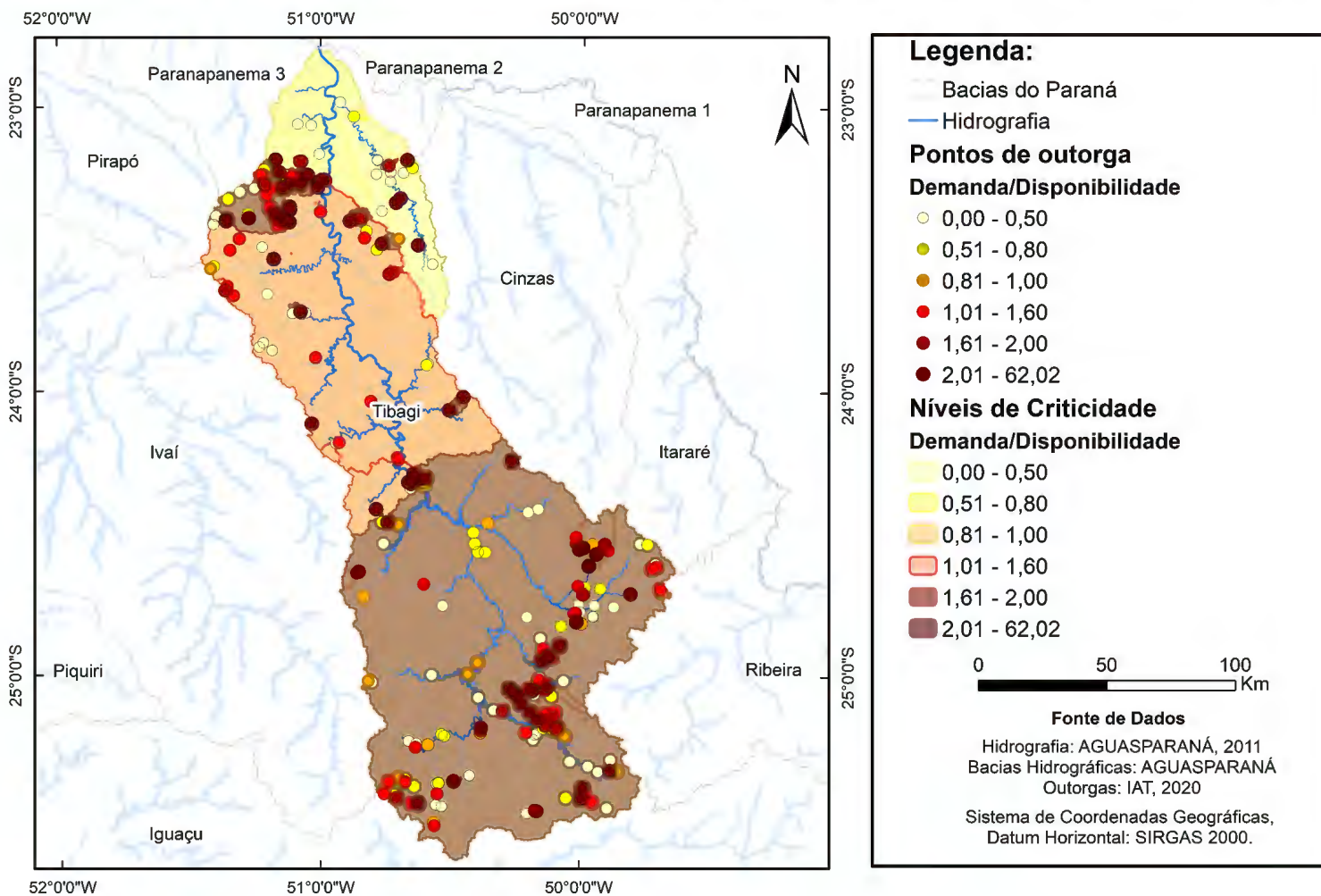


Figura 35 – Mapa com as áreas críticas relacionadas as captações e lançamentos de efluentes, e base nas vazões de referência do Regionaliza 2014

4.2.1 As características que favorecem ou que punem o indicador de comprometimento das bacias

A [Tabela 6](#) sintetiza as características favoráveis e desfavoráveis do Indicador de Comprometimento de Bacia - ICB, e os pontos positivos e negativos quanto a sua utilização para a gestão de áreas críticas.

Tabela 6 – Os aspectos do ICB

Aspectos positivos ou/e que favorecem o indicador de comprometimento das bacias	Aspectos negativos ou/e que punem o indicador de comprometimento das bacias
<p>As vazões de referência vindas do Plano de Bacia do Rio Tibagi, comparadas ao Regionaliza, promovem uma disponibilidade hídrica maior.</p>	<p>Carregar a vazão apropriada para diluição dos efluentes desde a cabeceira até a foz da bacia do Rio Tibagi, sem considerar o processo de autodepuração, mantém a demanda por água em níveis mais elevados.</p>
<p>As faixas de comprometimento também servem para investigar as causas do possível comprometimento das bacias. O indicador facilita a identificação de áreas com a presença de peculiaridades que possivelmente devem ser tratadas de maneira mais cautelosa pelo órgão.</p>	<p>O uso das vazões de referência a partir do Regionaliza 2014 torna a análise mais conservadora, apresentando uma disponibilidade hídrica menor, e pode superestimar os níveis de comprometimento do indicador. A utilização da regionalização em toda a bacia, também carrega incertezas uma vez que várias das bacias analisadas estão fora da faixa de área de drenagem recomendada para utilização do Regionaliza 2014.</p>
<p>O indicador pode determinar o critério de prioridade nas análises técnicas, focando nas regiões de maiores níveis de comprometimento.</p>	<p>A complexidade dos dados de outorga, e a quantidade de excepcionalidades a serem tratadas, pune o indicador no sentido de não retratar por completo a realidade, sendo necessárias algumas considerações adicionais no caso de uma análise individualizada.</p>
<p>O indicador apesar de carregar aspectos desfavoráveis, serve como um direcionamento a gestão.</p>	

5 CONCLUSÕES

“How does anyone get others interested in preventing problems before those problems are apparent, and especially before ‘unacceptable’ solutions are offered to deal with them?”

Loucks e Beek (2005)

A gestão de bacias críticas e de áreas de conflito, tem conquistado maiores proporções nos últimos anos. A preocupação com a segurança hídrica e a avaliação dos níveis de criticidade vem sendo discutidos no Brasil, ainda de que forma heterogênea, com uma certa diversidade de termos, ferramentas e regulamentações. Entretanto, esse processo de aprimoramento da gestão tem ênfase maior nos estados do Brasil onde o instrumento de outorga foi implementado a mais tempo. Ainda não existe um consenso nem um modelo a ser seguido nessa temática, mas nota-se a importância da instituição de regulamentações e ferramentas para gestão de crises e conflitos, e espera-se maior direcionamento nesse sentido com a instituição do Plano Nacional de Segurança Hídrica.

No estado do Paraná, constata-se que a criação de mecanismos de gestão aplicáveis as áreas críticas motivou-se após elas já estarem estabelecidas, dos conflitos instaurados e da disponibilidade hídrica afetada. No estado ainda não existe um sistema ou ferramenta que possibilite a visualização e que auxilie na identificação a priori das áreas comprometidas, e também passíveis de maior atenção, para que permaneçam dentro dos limites outorgáveis.

O indicador proposto denominado Indicador de Comprometimento de Bacia - ICB, como ferramenta, apresenta com simplicidade os níveis de criticidade e permite a visualização de forma direcionada dos problemas e excepcionalidades das bacias. O ICB, pode determinar as prioridades da gestão, áreas de maior cautela e indicar as regiões com condições satisfatórias nas bacias. O diagnóstico realizado com os dados de outorga e os níveis de criticidade do ICB ao longo da Bacia do Rio Tibagi, revelou as diferentes situações e excepcionalidades encontradas nas bacias e apontou as características potenciais de enquadrar uma grande área como crítica. Além disso, também estabelece procedimentos de avaliação que podem ser adotados nessas áreas, e estendidos a todo o estado, e discute as limitações que ainda existem nos dados, na gestão e na avaliação integrada dos usos.

A aplicação do ICB pode ser de grande relevância para o planejamento, e a tomada de ações a priori, antes dos problemas acontecerem. Serve como uma predição, direcionando olhares às bacias de maior complexidade, e que merecem uma

atenção maior para evitar que se tornem críticas no futuro.

O diagnóstico das bacias críticas, a partir da aplicação do indicador, mostrou que os lançamentos de efluentes tem um peso maior para a criticidade das bacias, do que as captações. Entretanto, a criticidade provocada pelos lançamentos é acumulada ao longo de toda a bacia, e não considera o processo de autodepuração e diluição dos efluentes, ao passo que esses efluentes percorrem a bacia e a vazão apropriada para a diluição se mantém irreduzível da cabeceira até a foz. Essa é uma dificuldade real também encontrada pelo órgão gestor de recursos hídricos, que ainda não dispõe de ferramentas e de metodologias mais avançadas que representem um balanço de demanda e disponibilidade hídrica mais realista, e que faça uma abordagem macro e integrada entre as tipologias de outorga.

Situação parecida ocorre para o caso de captações em barramentos, em que os dados de outorga de captação não contém tal informação, e tornam super elevados os níveis de criticidade do indicador em bacias específicas, mas sem considerar que a vazão do corpo hídrico é regularizada pelo barramento. A menos que a análise seja individualizada como é realizada no órgão gestor de recursos hídricos e com as informações internas ao sistema que indicam a característica desses usos. Ainda assim, o indicador acabou por destacar esse tipo de intervenção no corpo hídrico e também pode direcionar a análise individual das bacias que apresentam barramentos e que devem passar por um tratamento um pouco diferente dentro do órgão.

Por fim, o diagnóstico abre também a discussão de valor e de sensibilidade dos dados de vazão específica a serem utilizados nas análises de outorga e bacias críticas, uma vez que esse é o componente principal para o estabelecimento da disponibilidade hídrica, e que atualmente não possui uma metodologia predeterminada pelo órgão gestor. O intuito desse trabalho não foi realizar uma análise de incertezas quanto as vazões utilizadas para a determinação da disponibilidade hídrica, mas o confronto de duas referências distintas verificou que para a melhoria da precisão do indicador, é necessária a diminuição das incertezas com relação a disponibilidade hídrica, em especial nas bacias de pequeno porte. Identifica-se a oportunidade de um aprimoramento na definição dos critérios de escolha das vazões de referência e desenvolvimento de ferramentas mais consistentes de suporte a decisão.

REFERÊNCIAS

ADASA, Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. **Resolução Nº 04, de 17 de março de 2017**. [S.l.: s.n.], mar. 2017. Diário Oficial do Distrito Federal Nº 55 de 21 de março de 2017. Estabelece diretrizes gerais para o processo de Alocação Negociada de Água em corpos de água de domínio do Distrito Federal e naqueles delegados pela União e Estados. Citado 1 vez na página 34.

AGERH, Agência Estadual de Recursos Hídricos. **Resolução AGERH 005/2015**. Vitória - ES: [s.n.], out. 2015. Diário Oficial do Estado, 06/10/2015. Dispõe sobre a declaração do Cenário de Alerta frente ao prolongamento da Escassez Hídrica em rios de domínio do Estado do Espírito Santo e dá outras providências. Citado 1 vez na página 36.

_____. **Resolução AGERH 006/2015**. Vitória - ES: [s.n.], out. 2015. Diário Oficial do Estado, 06/10/2015. Dispõe sobre uso prioritário para dessedentação humana e animal no contexto do Cenário de Alerta vigente em todas as bacias hidrográficas de domínio estadual. Citado 1 vez na página 36.

_____. **Resolução AGERH 007/2015**. Vitória - ES: [s.n.], out. 2015. Diário Oficial do Estado, 15/10/2015. Dispõe sobre os requisitos para a inclusão e para permanência ou não, dos municípios e das bacias que integram o Anexo Único da Resolução AGERH 006/2015, que prioriza a dessedentação humana no contexto do Cenário de Alerta vigente em todas as bacias hidrográficas de rios de domínio do Estado do Espírito Santo e dá outras providências. Citado 1 vez na página 36.

_____. **Resolução AGERH 008/2015**. Vitória - ES: [s.n.], out. 2015. Diário Oficial do Estado, 15/10/2015. Dispõe sobre os requisitos para a exclusão do uso industrial da água abrangido pela solução AGERH 005/2015 que estabelece o Cenário de Alerta em todas as bacias hidrográficas de rios de domínio do Estado do Espírito Santo, enquanto estiver em vigência. Citado 1 vez na página 36.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno**. Brasília - DF, 2017. Citado 1 vez na página 28.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual**. Brasília - DF, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 27, 28.

_____. **Índice de Segurança Hídrica - ISH: Manual Metodológico**. Versão 1.0. [S.l.], 2019. Disponível em: <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=642&currTab=simple>>. Citado 1 vez na página 21.

ANA, Agência Nacional de Águas. **Nota Técnica Conjunta n° 002/2012/SPR/SRE - ANA**. [S.l.], out. 2012. Citado 1 vez na página 28.

_____. **Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos**. Brasília - DF, 2019. A publicação faz parte do conjunto de encartes do Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2019. Citado 3 vezes nas páginas 19, 37, 38.

_____. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília - DF, 2019. ISBN 978-85-8210-059-2. Citado 2 vezes nas páginas 20, 21.

_____. **Resolução n° 46, de 26 de outubro de 2020**. [S.l.: s.n.], out. 2020. Diário Oficial da União (DOU) de 27 de Outubro de 2020. Regulamenta o Termo de Alocação de Água para sistemas hídricos com corpos de água de domínio da União. Citado 1 vez na página 29.

_____. **Resumo Executivo - Estudo de Modelagem Quantitativa e Qualitativa de Trechos de Rio em Bacias Hidrográficas Consideradas Críticas**. [S.l.], dez. 2016. RF – Relatório Final de Identificação e Classificação de Trechos Críticos. Citado 2 vez na página 29.

BERBEL, Julio; ESTEBAN, Encarna. Droughts as a catalyst for water policy change. Analysis of Spain, Australia (MDB), and California. **Global Environmental Change**, v. 58, set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101969>. Citado 2 vez na página 24.

BITENCOURT, Camila de Carvalho Almeida de;
FERNANDES, Cristovão Vicente Scapulatempo; GALLEGO, Carlos Eduardo Curi. Panorama do enquadramento no Brasil: Uma reflexão crítica. **Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v. 16, 2019. ISSN 2359-1919. DOI: <https://dx.doi.org/10.21168/reg.v16e9>. Citado 1 vez na página 18.

BRASIL. **Lei n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. [S.l.: s.n.], jan. 1997. Diário Oficial da União (DOU) de 9/01/1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Citado 2 vezes nas páginas 13, 16.

BRÜHL, Johanna; VISSER, Martine. The Cape Town drought: A study of the combined effectiveness of measures implemented to prevent “Day Zero”. **Water Resources and Economics**, v. 34, abr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wre.2021.100177>. Citado 2 vezes nas páginas 24, 25.

CAPODEFERRO, Morgana Werneck; KELMAN, Jerson;
DE AZEVEDO, José Paulo Soares. A introdução de mercados de água como instrumento de alocação de recursos hídricos: o contexto brasileiro. **XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, nov. 2019. ISSN 2318-0358. Citado 1 vez na página 14.

CAPODEFERRO, Morganna Werneck; SMIDERLE, Juliana Jerônimo et al. Mecanismos adotados pelo Distrito Federal no combate à crise hídrica. **XXXVI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, out. 2018. Citado 3 vezes nas páginas 33, 34.

CARVALHO, Joao Marcos. **Scripts gerados para auxiliar a dissertação de mestrado da aluna Camila Marin Stinghen**. [S.l.: s.n.], 2020. Disponível em: <https://github.com/joahuf/Mestrado_Camila_Marin_Stinghe.git>. Citado 1 vez na página 51.

CEARÁ. **Extrato de Ato Declaratório Nº 01/2015/SRH**. [S.l.: s.n.], out. 2015. Diário Oficial do Estado de 07 de outubro de 2015. SRH - Secretaria de Recursos Hídricos. Citado 1 vez na página 36.

CERH, Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Resolução CERH nº 09, de 29 de setembro de 2020**. [S.l.: s.n.], set. 2020. DOE/PR em 5 out 2020. Estabelece diretrizes e critérios gerais para a definição de áreas críticas quanto ao uso de águas superficiais e subterrâneas de domínio do Estado do Paraná. Citado 3 vezes nas páginas 40, 41.

CERH/MG, Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Deliberação Normativa CERH/MG nº 49, de 25 de março de 2015**. Belo Horizonte - MG: [s.n.], mar. 2015. Diário do Executivo Minas Gerais - 26/03/2015. Citado 1 vez na página 30.

CERHI/GO, Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Resolução CERHi nº 22/2019**. Goiânia - GO: [s.n.], Agosto 2019. Diário Oficial do Estado de Goiás (DOEGO) de 13 de Agosto de 2019. Estabelece o Regulamento do Sistema de outorga das águas de domínio do Estado de Goiás e dá outras providências. Citado 1 vez na página 32.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasil: [s.n.], mar. 2005. DOU nº 053, de 18 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. Citado 1 vez na página 17.

CONERH/MA, Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Maranhão. **Resolução CONERH Nº 058/2019**. [S.l.: s.n.], jun. 2019. Diário Oficial do Estado do Maranhão (DOEMA) de 28 de Junho de 2019. Estabelece as diretrizes gerais para o Enquadramento de Corpos Hídricos Superficiais no Estado do Maranhão e dá outras providências. Citado 1 vez na página 38.

DA SILVA, Ubirajara Patrício Álvares et al. A experiência da Alocação Negociada de água nos vales do Jaguaribe e Banabuiú. **VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, 2006. Citado 1 vez na página 35.

EEA, European Environment Agency. **Water use and environmental pressures**. [S.l.], nov. 2018. Disponível em:

<<https://www.eea.europa.eu/themes/water/european-waters/water-use-and-environmental-pressures/water-use-and-environmental-pressures>>. Acesso em: Citado 1 vez na página 22.

ESPAÑA, Secretaría de Estado de Medio Ambiente. **Situación respecto a Sequía y Escasez Conyuntural**. [S.l.], dez. 2019. Citado 1 vez na página 21.

FORATTINI, Gisela Damm; FRANCO, Ninon Machado de Faria Leme. Achievements and Challenges For the IWRM Process of Implementation in Brazil. In: USER-PRODUCER Conference on Water Accounting for Integrated Water Resource Management. Voorburg, the Netherlands: [s.n.], mai. 2006. Citado 1 vez na página 44.

HE, Chansheng; HARDEN, Carol P.; LIU, Yanxu. Comparison of water resources management between China and the United States. **Geography and Sustainability**, v. 1, n. 2, p. 98–108, jun. 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.geosus.2020.04.002>. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24.

JIANG, Yong. China's water scarcity. **Journal of Environmental Management**, v. 90, n. 11, p. 3185–3196, ago. 2009. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.04.016>. Citado 3 vez na página 23.

KAVISKI, Eloy; DA COSTA ROHN, Márian; MAZER, Wellington. **Projeto HG171**. [S.l.], jul. 2002. Consistência e regionalização de dados hidrológicos: Relatório Técnico N° 3 – Atualização do método de regionalização do Projeto HG-77 (parte 2 – Método de Regionalização). Citado 1 vez na página 70.

LOPES, Alan Vaz; FREITAS, Marcos Airton de Sousa. A alocação de água como instrumentode gestão de recursos hídricos:experiências brasileiras. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 4, n. 1, p. 5–28, 2007. ISSN 2359-1919. Citado 2 vez na página 27.

LOUCKS, Daniel P.; BEEK, Eelco van. **Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications**. [S.l.]: UNESCO, 2005. ISBN 92-3-103998-9. Citado 3 vezes nas páginas 13, 18, 83.

MESQUITA, Luis Fabio Gonçalves. Os comitês de bacias hidrográficas e o gerenciamentointegrado na Política Nacional de Recursos Hídricos. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 45, abr. 2018. ISSN 2176-9109. DOI: [10.5380/dma.v45i0.47280](https://doi.org/10.5380/dma.v45i0.47280). Citado 1 vez na página 19.

MINAS GERAIS. **Decreto Nº 47.705 de 04 de setembro de 2019**. Belo Horizonte - MG: [s.n.], set. 2019. Diário Oficial do Estado (DOE)-MG em 5 de setembro de 2019. Estabelece normas e procedimentos para a regularização de uso de recursos hídricos de domínio do Estado de Minas Gerais. Citado 1 vez na página 31.

MMA, Ministerio de Medio Ambiente. **Ley 10/2001, de 5 de julio, del plan Hidrológico Nacional**. [S.l.: s.n.], jul. 2001. BOE núm. 161, de 06/07/2001. Citado 1 vez na página 22.

PARANÁ. **Diagnóstico do Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi**. [S.l.], out. 2009. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/tibagi-diagnostico_bht-versao_final.pdf>. Citado 3 vezes nas páginas 46, 48, 76.

_____. **Lei nº 16.242 de 13 de Outubro de 2009**. Curitiba - PR: [s.n.], out. 2009. Diário Oficial nº 8075 de 13 de Outubro de 2009. Cria o Instituto das Águas do Paraná, conforme especifica e adota outras providências. Citado 1 vez na página 44.

_____. **Plano da Bacia do Rio Tibagi - Relatório Técnico Final**. [S.l.], dez. 2013. Produto 09 - Finalização do Plano da Bacia do Rio Tibagi. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/p-09-_relatorio_tecnico_final_-_revisao_0.pdf>. Citado 2 vezes nas páginas 49, 72.

PARANÁ, Governo do Estado do Paraná. **Decreto Estadual Nº 4626 de 07 de maio de 2020**. [S.l.: s.n.], mai. 2020. DOE - PR em 7 maio de 2020. Decreta situação de emergência hídrica no Estado do Paraná pelo período de 180 dias. Citado 1 vez na página 39.

PEDRO-MONZONÍS, María et al. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 482–493, 2015. ISSN 0022-1694. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003>. Citado 3 vezes nas páginas 21, 22, 35.

PEREIRA, Dilma Seli Pena; JOHNSON, Rosa Maria Formiga. Descentralização da gestão dos recursos hídricos em bacias nacionais no Brasil. **REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 2, n. 1, 2005. ISSN 2359-1919. Citado 1 vez na página 18.

PINHEIRO, Maria Inês Teixeira; CAMPOS, José Nilson B.;
STUDART, Ticiania M. de Carvalho. Conflitos por águas e alocação negociada: o caso do vale dos Carás no Ceará. **Revista de Administração Pública**, v. 45, n. 6, p. 1655–1672, 2011. ISSN 0034-7612. Citado 1 vez na página 35.

REED, Patrick M.; KASPRZYK, Joseph. Water Resources Management: The Myth, the Wicked, and the Future. **Journal of Water Resources Planning and Management**, 2009. Citado 1 vez na página 16.

RIO GRANDE DO SUL, Estado do Rio Grande do Sul. **Lei Nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994**. [S.l.: s.n.], jan. 1995. DOE n.º 1, de 1º de janeiro de 1995. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. Citado 1 vez na página 37.

SABOIA, João Paulo Jankowski; LOPARDO, Nicolás. Software para cálculo de regionalização de parâmetros hidrológicos em bacias do estado do Paraná. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, nov. 2015. Citado 1 vez na página 50.

SEMA, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Resolução SEMA nº 44, de 28 de novembro de 2018**. [S.l.: s.n.], nov. 2018. Diretrizes e critérios gerais para a definição de áreas críticas quanto ao uso de águas superficiais e subterrâneas de domínio do Estado do Paraná. Citado 3 vezes nas páginas 14, 39, 46.

SEMA/RS, Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. **Portarias e Alvarás Excepcionais**. [S.l.: s.n.], 2020. Departamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <<https://www.sema.rs.gov.br/portarias-e-alvaras-excepcionais>>. Citado 1 vez na página 37.

STINGHEN, Camila Marin; MANNICH, Michael. Diagnóstico de outorgas de captação e lançamento de efluentes no Paraná e impactos dos usos insignificantes. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 16, n. 10, 2019. ISSN 2359-1919. DOI: <https://doi.org/10.21168/reg.a.v16e10>. Citado 2 vezes nas páginas 47, 55.

SUDERHSA, Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **Manual Técnico de Outorgas**. Revisão 01. Curitiba/PR, nov. 2006. Citado 2 vezes na página 44.

_____. **Portaria Nº 019/2007**. Curitiba/PR: [s.n.], 2007. Estabelece as normas e procedimentos administrativos para a análise técnica de requerimentos de Outorga Prévia (OP) e de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos (OD) para empreendimentos de saneamento básico e dá outras providências. Citado 1 vez na página 52.

UN-WATER, United Nations - Water. **Water Security the Global Water Agenda: A UN-Water Analytical Brief**. [S.l.], out. 2013. ISBN 978-92-808-6038-2. Citado 1 vez na página 20.

APÊNDICES

APÊNDICE A – SCRIPTS

A.1 OUTORGAS DE CAPTAÇÕES E LANÇAMENTOS AVALIADAS SEPARADAMENTE

```

1  import pandas as pd
2  import geopandas as gpd
3  import shapefile
4  from shapely.ops import cascaded_union
5  from shapely.geometry import Point, Polygon
6  import shapefile as sf
7
8
9  def gen_polygons_from_shape(shape):
10     """Gera polígonos a partir das partes do shape.
11
12     Args:
13         shape (shapefile.Shape): shape a converter
14     """
15     offset_parts = list(shape.parts[1:]) + [len(shape.points)]
16     for part_start, part_end in zip(shape.parts, offset_parts):
17         yield Polygon(shape.points[part_start:part_end])
18
19
20  def is_within_bounds(point, bounding_box):
21     """Verifica se o ponto está dentro da região.
22
23     Args:
24         point (shapely.geometry.Point): ponto a verificar
25         bounding_box (list): lista de coordenadas (sf.Shape.bbox)
26
27     Returns:
28         bool: True se estiver dentro, Falso caso contrário
29     """
30     x1, y1, x2, y2 = bounding_box
31     return (x1 <= point.x <= x2) and (y1 <= point.y <= y2)
32
33
34  def is_within_shape(point, shape):
35     """Verifica se o shape contém o ponto dado.
36
37     Args:
38         point (shapely.geometry.Point): ponto a verificar
39         shape (sf.Shape): shape a verificar (pyshp)
40
41     Returns:
42         bool: True se o ponto está dentro, Falso caso contrário
43     """
44     # Verifica primeiro se o ponto está fora da bounding box (mais rápido!)
45     if not is_within_bounds(point, shape.bbox):
46         return False
47
48     # Verifica então se alguma das partes do polígono contém o ponto
49     for poly in gen_polygons_from_shape(shape):
50         if point.within(poly):
51             return True
52
53     return False
54
55
56  def gen_polygons_from_shape(shape):
57     """Gera polígonos a partir das partes do shape.
58
59     Args:
60         shape (shapefile.Shape): shape a converter
61     """
62     offset_parts = list(shape.parts[1:]) + [len(shape.points)]
63     for part_start, part_end in zip(shape.parts, offset_parts):
64         yield Polygon(shape.points[part_start:part_end])
65
66
67  def find_basin_adaptado(shapefile_path, reach_field, basin_field, x, y,
68     area_field=None, progress_callback=None,
69     return_reach=False):
70     """Encontra a bacia dadas as coordenadas (x, y) da exutória.
71
72     O algoritmo primeiramente procura a ottobacia na qual o ponto se encontra,

```

```

72 verificando se está dentro do polígono. Em seguida, é gerado o polígono
73 completo da bacia, buscando ottobacias com mesmo curso d'água (reach_field),
74 nas quais o código da bacia é maior do que a bacia encontrada inicialmente
75 (basin_field).
76
77 Pode ser passada uma função para reportar o progresso, a qual deve receber
78 um número inteiro.
79
80 Args:
81 shapefile_path (str): caminho do shapefile das ottobacias
82 reach_field (str): nome do campo do código do curso d'água
83 basin_field (str): nome do campo do código da bacia
84 x (float): coordenada x, no mesmo sistema do shapefile
85 y (float): coordenada y, no mesmo sistema do shapefile
86 area_field (str): nome do campo do valor da área (se disponível)
87 progress_callback (callable, optional): Defaults to None. Função para
reportar progresso
88
89 Returns:
90 shapely.geometry.Polygon: polígono da bacia encontrada, None caso contrário
91 area: float com o valor da soma das áreas dos polígonos da bacia utilizados
(só retorna isso se area_field != None)
92
93 Examples:
94 poli, area = find_basin(caminho, cursodag, bacia, cox, coy, arean)
95 poli = find_basin(caminho, cursodag, bacia, cox, coy)
96 """
97
98 point = Point(x, y)
99 current_progress = 0
100 if progress_callback is None:
101     progress_callback = lambda i: None
102
103 with sf.Reader(shapefile_path) as shp:
104     # Pega os campos do shape, excluindo o primeiro (é uma flag)
105     fields = [f[0] for f in shp.fields[1:]]
106     feature_count = len(shp)
107
108     # Verifica os polígonos até encontrar a bacia
109     for i, sr in enumerate(shp.iterShapeRecords()):
110         if is_within_shape(point, sr.shape):
111             break
112
113     progress = ((i + 1) * 50) // feature_count
114     if current_progress < progress:
115         current_progress += 1
116         progress_callback(current_progress)
117
118     else:
119         # O loop não foi parado, então não foi encontrada nenhuma bacia
120         progress_callback(100)
121         if area_field != None:
122             return None, None
123         else:
124             return None
125
126     # Salva informações sobre o curso d'água e bacia encontrados
127     reach_index = fields.index(reach_field)
128     basin_index = fields.index(basin_field)
129     if area_field != None:
130         area_index = fields.index(area_field)
131         selected_area = sr.record[area_index]
132     selected_reach = sr.record[reach_index]
133     selected_basin = sr.record[basin_index]
134     selected_basin_int = int(selected_basin)
135     selected_basin_length = len(selected_basin)
136
137     # Abre novamente o shapefile para encontrar a bacia completa
138     basin_polygons = []
139     area = 0.0
140     with sf.Reader(shapefile_path) as shp:
141         for i, sr in enumerate(shp.iterShapeRecords()):

```

```

142         # O código do curso d'água deve iniciar com o encontrado
143         reach = sr.record[reach_index]
144         if reach.startswith(selected_reach):
145             # Deixa o código da bacia no mesmo tamanho para poder comparar
146             basin =
                sr.record[basin_index][:selected_basin_length].ljust(selected_basin_le
                ngth, '0')
147             basin_int = int(basin)
148
149             # O código da bacia deve ser maior ou igual que o da bacia encontrada
150             if basin_int >= selected_basin_int:
151                 for poly in gen_polygons_from_shape(sr.shape):
152                     basin_polygons.append(poly.buffer(0))
153                     if area_field != None:
154                         try:
155                             area += float(sr.record[area_index].replace(',','.'))
156                         except AttributeError:
157                             area += sr.record[area_index]
158
159             progress = 50 + ((i + 1) * 50) // feature_count
160             if current_progress < progress:
161                 current_progress += 1
162                 progress_callback(current_progress)
163
164             # Retorna a união de todos os polígonos da bacia
165             if area_field != None and return_reach:
166                 return cascaded_union(basin_polygons), area, selected_reach
167             elif area_field != None:
168                 return cascaded_union(basin_polygons), area
169             else:
170                 return cascaded_union(basin_polygons)
171
172
173 def save_polygons(shapefile_path, *polygons):
174     """Salva polígonos em um shp
175
176     Args:
177         shapefile_path (str): caminho do shapefile
178         polygons (shapely.geometry.Polygon): polígonos a salvar
179     """
180     if polygons:
181         with shapefile.Writer(shapefile_path) as shp:
182             shp.field('id', 'N')
183             for i, poly in enumerate(polygons):
184                 shp.record(i)
185                 shp.poly([poly.exterior.coords])
186
187
188     # Arquivo para salvar os dados
189     COBACIAS = '/media/joao/HD-jao/bacia_iguacu_Camila/teste_3/shps/OTTOBACIAS.shp'
190     SHP_QMAX =
        '/media/joao/HD-jao/bacia_iguacu_Camila/teste_2/shps/H_Integrada_AEG_Enquadramento.shp'
191
192     Dir_save = '/media/joao/HD-jao/bacia_iguacu_Camila/teste_3/resultados/'
193     # converte de m3/h pra l/s
194     F_CONVERCAO = 3.6
195
196     # CAPTACAO
197     POINTS_SHP = '/media/joao/HD-jao/bacia_iguacu_Camila/teste_3/shps/CaptacaoTibagi.shp'
198     Dir_save_pol =
        '/media/joao/HD-jao/bacia_iguacu_Camila/teste_3/resultados/poligons_captacao/'
199     f_saida = 'Bacias_Captacao'
200     name_vazoes = 'VAZAO_OUTO'
201
202     # LANCAMENTO
203     POINTS_SHP =
        '/media/joao/HD-jao/bacia_iguacu_Camila/teste_2/shps/LancamentoTibagi.shp'
204     Dir_save_pol =
        '/media/joao/HD-jao/bacia_iguacu_Camila/teste_2/resultados/poligons_lancamento/'
205     f_saida = 'Bacias_Lancamento'
206     name_vazoes = 'EFLQ_OT_E1'

```



```

207 # Dataframe com os pontos a serem coletados - TROCAR DEPOIS
208 dt = gpd.read_file(POINTS_SHP)
209 dt = dt[['OBJECTID', 'geometry', 'COD_OTTO', name_vazoes]]
210 dt[name_vazoes] = dt[name_vazoes] / F_CONVERCAO
211
212 dt_Qmax = gpd.read_file(SHP_QMAX)
213 dt_Qmax.index = dt_Qmax['cobacia']
214 dt_Qmax = dt_Qmax[['areamont_Q']]
215
216 dt_subbacias = pd.DataFrame()
217 dt_subbacias['Longitude'] = dt['geometry'].x
218 dt_subbacias['Latitude'] = dt['geometry'].y
219 dt_subbacias['COCURSODAG'] = 'Erro'
220 dt_subbacias['Q_Outorga (l/s)'] = 'Erro'
221 dt_subbacias['Q95 (l/s)'] = 'Erro'
222 dt_subbacias['Poli'] = 'Erro'
223
224 for i, (p, COBA_REF) in enumerate(dt[['geometry', 'COD_OTTO']].values):
225
226     print(f'Pontos Executados: {i + 1} de {len(dt_subbacias.values)}')
227     # Traça a bacia de drenagem
228     poly, area, reach = find_basin_adaptado(COBACIAS, 'cocursodag', 'cobacia', p.x,
229                                             p.y, area_field='nuareacont',
230                                             return_reach=True)
231
232     if poly != None:
233         # Pega o CÓDIGO pontos dentro do poligono
234         ids = dt['OBJECTID'][dt['geometry'].intersects(poly.buffer(0))].tolist()
235
236         vazao_ou = dt[name_vazoes][dt['OBJECTID'].isin(ids)].sum()
237         Q_max = dt_Qmax.loc[str(COBA_REF)].values[0]
238
239         dt_subbacias['Q_Outorga (l/s)'].loc[i] = round(vazao_ou, 2)
240         dt_subbacias['Q95 (l/s)'].loc[i] = round(Q_max, 2)
241         dt_subbacias['COCURSODAG'].loc[i] = reach
242         dt_subbacias['Poli'].loc[i] = poly
243
244         # save_polygons(f'{Dir_save_pol}/Shape_P_{i}', poly)
245     else:
246         # Caso o ponto fique fora dos poligonos
247         with open(f'{Dir_save_pol}Shape_Ponto_{i}_ERRO.txt', "w") as text_file:
248             text_file.write("Ponto está fora do shape de bacias")
249
250 dt_subbacias = dt_subbacias[dt_subbacias != 'Erro'].dropna()
251 dt_subbacias['Q_Max (l/s)'] = dt_subbacias['Q95 (l/s)'] / 2
252 dt_subbacias['Fator de Capacidade'] = dt_subbacias['Q_Outorga (l/s)'] /
253 dt_subbacias['Q_Max (l/s)']
254
255 dt_subbacias = gpd.GeoDataFrame(dt_subbacias, geometry='Poli')
256 dt_subbacias.to_file(f'{Dir_save}{f_saida}.shp', driver='ESRI Shapefile')

```

Os arquivos completos e as saídas do programa podem ser obtidos pelo seguinte link:

https://github.com/joahuf/Mestrado_Camila_Marin_Stinghe.git

A.2 OUTORGAS DE CAPTAÇÕES E LANÇAMENTOS AVALIADAS EM CONJUNTO

```

1  import pandas as pd
2  import geopandas as gpd
3  import shapefile
4  from shapely.ops import cascaded_union
5  from shapely.geometry import Point, Polygon
6  import shapefile as sf
7
8
9  def gen_polygons_from_shape(shape):
10     """Gera polígonos a partir das partes do shape.
11
12     Args:
13         shape (shapefile.Shape): shape a converter
14     """
15     offset_parts = list(shape.parts[1:]) + [len(shape.points)]
16     for part_start, part_end in zip(shape.parts, offset_parts):
17         yield Polygon(shape.points[part_start:part_end])
18
19
20  def is_within_bounds(point, bounding_box):
21     """Verifica se o ponto está dentro da região.
22
23     Args:
24         point (shapely.geometry.Point): ponto a verificar
25         bounding_box (list): lista de coordenadas (sf.Shape.bbox)
26
27     Returns:
28         bool: True se estiver dentro, Falso caso contrário
29     """
30     x1, y1, x2, y2 = bounding_box
31     return (x1 <= point.x <= x2) and (y1 <= point.y <= y2)
32
33
34  def is_within_shape(point, shape):
35     """Verifica se o shape contém o ponto dado.
36
37     Args:
38         point (shapely.geometry.Point): ponto a verificar
39         shape (sf.Shape): shape a verificar (pyshp)
40
41     Returns:
42         bool: True se o ponto está dentro, Falso caso contrário
43     """
44     # Verifica primeiro se o ponto está fora da bounding box (mais rápido!)
45     if not is_within_bounds(point, shape.bbox):
46         return False
47
48     # Verifica então se alguma das partes do polígono contém o ponto
49     for poly in gen_polygons_from_shape(shape):
50         if point.within(poly):
51             return True
52
53     return False
54
55
56  def gen_polygons_from_shape(shape):
57     """Gera polígonos a partir das partes do shape.
58
59     Args:
60         shape (shapefile.Shape): shape a converter
61     """
62     offset_parts = list(shape.parts[1:]) + [len(shape.points)]
63     for part_start, part_end in zip(shape.parts, offset_parts):
64         yield Polygon(shape.points[part_start:part_end])
65
66
67  def find_basin_adaptado(shapefile_path, reach_field, basin_field, x, y,
68     area_field=None, progress_callback=None,
69     return_reach=False):
70     """Encontra a bacia dadas as coordenadas (x, y) da exutória.
71
72     O algoritmo primeiramente procura a ottobacia na qual o ponto se encontra,

```

```

72 verificando se está dentro do polígono. Em seguida, é gerado o polígono
73 completo da bacia, buscando ottobacias com mesmo curso d'água (reach_field),
74 nas quais o código da bacia é maior do que a bacia encontrada inicialmente
75 (basin_field).
76
77 Pode ser passada uma função para reportar o progresso, a qual deve receber
78 um número inteiro.
79
80 Args:
81     shapefile_path (str): caminho do shapefile das ottobacias
82     reach_field (str): nome do campo do código do curso d'água
83     basin_field (str): nome do campo do código da bacia
84     x (float): coordenada x, no mesmo sistema do shapefile
85     y (float): coordenada y, no mesmo sistema do shapefile
86     area_field (str): nome do campo do valor da área (se disponível)
87     progress_callback (callable, optional): Defaults to None. Função para
        reportar progresso
88
89 Returns:
90     shapely.geometry.Polygon: polígono da bacia encontrada, None caso contrário
91     area: float com o valor da soma das áreas dos polígonos da bacia utilizados
        (só retorna isso se area_field != None)
92
93 Examples:
94     poli, area = find_basin(caminho, cursodag, bacia, cox, coy, arean)
95     poli = find_basin(caminho, cursodag, bacia, cox, coy)
96 """
97
98 point = Point(x, y)
99 current_progress = 0
100 if progress_callback is None:
101     progress_callback = lambda i: None
102
103 with sf.Reader(shapefile_path) as shp:
104     # Pega os campos do shape, excluindo o primeiro (é uma flag)
105     fields = [f[0] for f in shp.fields[1:]]
106     feature_count = len(shp)
107
108     # Verifica os polígonos até encontrar a bacia
109     for i, sr in enumerate(shp.iterShapeRecords()):
110         if is_within_shape(point, sr.shape):
111             break
112
113     progress = ((i + 1) * 50) // feature_count
114     if current_progress < progress:
115         current_progress += 1
116         progress_callback(current_progress)
117
118     else:
119         # O loop não foi parado, então não foi encontrada nenhuma bacia
120         progress_callback(100)
121         if area_field != None:
122             return None, None
123         else:
124             return None
125
126 # Salva informações sobre o curso d'água e bacia encontrados
127 reach_index = fields.index(reach_field)
128 basin_index = fields.index(basin_field)
129 if area_field != None:
130     area_index = fields.index(area_field)
131     selected_area = sr.record[area_index]
132     selected_reach = sr.record[reach_index]
133     selected_basin = sr.record[basin_index]
134     selected_basin_int = int(selected_basin)
135     selected_basin_length = len(selected_basin)
136
137 # Abre novamente o shapefile para encontrar a bacia completa
138 basin_polygons = [];
139 area = 0.0
140 with sf.Reader(shapefile_path) as shp:
141     for i, sr in enumerate(shp.iterShapeRecords()):

```

```

142         # O código do curso d'água deve iniciar com o encontrado
143         reach = sr.record[reach_index]
144         if reach.startswith(selected_reach):
145             # Deixa o código da bacia no mesmo tamanho para poder comparar
146             basin =
                sr.record[basin_index][:selected_basin_length].ljust(selected_basin_length, '0')
                basin_int = int(basin)
147
148         # O código da bacia deve ser maior ou igual que o da bacia encontrada
149         if basin_int >= selected_basin_int:
150             for poly in gen_polygons_from_shape(sr.shape):
151                 basin_polygons.append(poly.buffer(0))
152                 if area_field != None:
153                     try:
154                         area += float(sr.record[area_index].replace(',','.'))
155                     except AttributeError:
156                         area += sr.record[area_index]
157
158         progress = 50 + ((i + 1) * 50) // feature_count
159         if current_progress < progress:
160             current_progress += 1
161             progress_callback(current_progress)
162
163         # Retorna a união de todos os polígonos da bacia
164         if area_field != None and return_reach:
165             return cascaded_union(basin_polygons), area, selected_reach
166         elif area_field != None:
167             return cascaded_union(basin_polygons), area
168         else:
169             return cascaded_union(basin_polygons)
170
171
172
173 def save_polygons(shapefile_path, *polygons):
174     """Salva polígonos em um shp
175
176     Args:
177         shapefile_path (str): caminho do shapefile
178         polygons (shapely.geometry.Polygon): polígonos a salvar
179     """
180     if polygons:
181         with shapefile.Writer(shapefile_path) as shp:
182             shp.field('id', 'N')
183             for i, poly in enumerate(polygons):
184                 shp.record(i)
185                 shp.poly([poly.exterior.coords])
186
187
188     # Arquivo para salvar os dados
189     COBACIAS = '/media/joao/HD-jao/bacia_iguacu_Camila/teste_3/shps/OTTOBACIAS.shp'
190     SHP_QMAX =
        '/media/joao/HD-jao/bacia_iguacu_Camila/teste_2/shps/H_Integrada_AEG_Enquadramento.shp'
191
192     Dir_save = '/media/joao/HD-jao/bacia_iguacu_Camila/teste_3/resultados/'
193     # converte de m3/h pra l/s
194     F_CONVERCAO = 3.6
195
196     # CAPTACAO
197     POINTS_SHP_Captacao =
        '/media/joao/HD-jao/bacia_iguacu_Camila/teste_3/shps/CaptacaoTibagi.shp'
198     name_vazoes_Captacao = 'VAZAO_OUTO'
199     POINTS_SHP_Lancamento =
        '/media/joao/HD-jao/bacia_iguacu_Camila/teste_2/shps/LancamentoTibagi.shp'
200     name_vazoes_Lancamento = 'EFLO_OT_E1'
201
202     Dir_save_pol =
        '/media/joao/HD-jao/bacia_iguacu_Camila/teste_3/resultados/poligons_captacao/'
203     f_saida = 'Bacias_Captacao_e_Lancamento'
204
205     # Dataframe com os pontos a serem coletados - TROCAR DEPOIS
206     dt_Captacao = gpd.read_file(POINTS_SHP_Captacao)
207     dt_Captacao = dt_Captacao[['OBJECTID', 'geometry', 'COD_OTTO', name_vazoes_Captacao]]

```

```

207 dt_Captacao[name_vazoes_Captacao] = dt_Captacao[name_vazoes_Captacao] / F_CONVERCAO
208 dt_Captacao['Tipo'] = 'Captacao'
209 dt_Captacao['OBJECTID'] = 'Captacao_' + dt_Captacao['OBJECTID'].astype(str)
210
211 dt_Lancamento = gpd.read_file(POINTS_SHP_Lancamento)
212 dt_Lancamento = dt_Lancamento[['OBJECTID', 'geometry', 'COD_OTTO',
name_vazoes_Lancamento]]
213 dt_Lancamento[name_vazoes_Lancamento] = dt_Lancamento[name_vazoes_Lancamento] /
F_CONVERCAO
214 dt_Lancamento['Tipo'] = 'Lancamento'
215 dt_Lancamento['OBJECTID'] = 'Lancamento_' + dt_Lancamento['OBJECTID'].astype(str)
216
217 dt = pd.concat([dt_Captacao, dt_Lancamento], axis=0)
218 dt = dt.sort_values(by='OBJECTID')
219
220 dt['Vazao Retirada'] = dt[['VAZAO_OUTO', 'EFLO_OT_E1']].sum(axis=1)
221 dt = dt[['OBJECTID', 'geometry', 'COD_OTTO', 'Tipo', 'Vazao Retirada']]
222 dt = dt.reset_index(drop=True)
223
224 dt_Qmax = gpd.read_file(SHP_QMAX)
225 dt_Qmax.index = dt_Qmax['cobacia']
226 dt_Qmax = dt_Qmax[['areamont_Q']]
227
228 dt_subbacias = pd.DataFrame()
229 dt_subbacias['ID'] = dt['OBJECTID']
230 dt_subbacias['Longitude'] = dt['geometry'].x
231 dt_subbacias['Latitude'] = dt['geometry'].y
232 dt_subbacias['COD_OTTO'] = 'Erro'
233 dt_subbacias['COCURSODAG'] = 'Erro'
234 dt_subbacias['Q_Outorga (l/s)'] = 'Erro'
235 dt_subbacias['Q95 (l/s)'] = 'Erro'
236 dt_subbacias['Poli'] = 'Erro'
237
238 for i, (p, COBA_REF) in enumerate(dt[['geometry', 'COD_OTTO']].values):
239     print(f'{i} de {dt.shape[0]}')
240
241     # Traça a bacia de drenagem
242     poly, area, reach = find_basin_adaptado(COBACIAS, 'cocursodag', 'cobacia', p.x,
p.y, area_field='nuareacont',
243                                             return_reach=True)
244     # save_polygons(f'{Dir_save}/Shape_P', poly)
245
246     if poly != None:
247         # Pega o CÓDIGO dos pontos dentro do poligono
248         ids = dt['OBJECTID'][dt['geometry'].intersects(poly.buffer(0))].tolist()
249
250         vazao_ouo = dt['Vazao Retirada'][dt['OBJECTID'].isin(ids)].sum()
251         Q_max = dt_Qmax.loc[str(COBA_REF)].values[0]
252
253         dt_subbacias['Q_Outorga (l/s)'][i] = round(vazao_ouo, 2)
254         dt_subbacias['Q95 (l/s)'][i] = round(Q_max, 2)
255         dt_subbacias['COD_OTTO'][i] = COBA_REF
256         dt_subbacias['COCURSODAG'][i] = reach
257         dt_subbacias['Poli'][i] = poly
258
259         # save_polygons(f'{Dir_save_pol}/Shape_P_{i}', poly)
260
261     else:
262         # Caso o ponto fique fora dos poligonos
263         with open(f'{Dir_save_pol}Shape_Ponto_{i}_ERRO.txt', "w") as text_file:
264             text_file.write("Ponto está fora do shape de bacias")
265
266 dt_subbacias = dt_subbacias[dt_subbacias != 'Erro'].dropna()
267 dt_subbacias['Q_Max (l/s)'] = dt_subbacias['Q95 (l/s)'] / 2
268 dt_subbacias['Fator de Capacidade'] = dt_subbacias['Q_Outorga (l/s)'] /
dt_subbacias['Q_Max (l/s)']
269
270 dt_subbacias = gpd.GeoDataFrame(dt_subbacias, geometry='Poli')
271 dt_subbacias.to_file(f'{Dir_save}{f_saida}_2.shp', driver='ESRI Shapefile')
272

```

Os arquivos completos e as saídas do programa podem ser obtidos pelo seguinte link:

https://github.com/joahuf/Mestrado_Camila_Marin_Stinghe.git