



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA DIGITAL**

**LÚCIO SCARTEZINI LOPES**

**GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO RIO FORMOSO NO  
ESTADO DO TOCANTINS: ANÁLISE DE DADOS E ALGORITMO PARA  
BALANCEAMENTO DE OUTORGAS**

**Palmas, TO**

**2024**

**Lúcio Scartezini Lopes**

**Gestão de recursos hídricos na bacia do rio Formoso no estado do Tocantins:  
Análise de dados e algoritmo para balanceamento de outorgas**

Dissertação apresentada em 2024 ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital - PPGA da Universidade Federal do Tocantins - UFT, como requisito à obtenção do grau de Mestre (a) em Agroenergia.

Orientador: Prof. Dr. Ary Henrique Morais de Oliveira

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Machado Haesbaert



**Palmas, TO**

**2024**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

L864g    Lopes, Lúcio Scartezini.  
Gestão de recursos hídricos na bacia do rio Formoso no estado do Tocantins:: Análise de dados e algoritmo para balanceamento de outorgas. / Lúcio Scartezini Lopes. – Palmas, TO, 2024.

72 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Agroenergia, 2024.

Orientador: Ary Henrique Morais de Oliveira

Coorientador: Fernando Machado Haesbaert

1. Gestão hídrica. 2. Rio Formoso. 3. Sistema especialista. 4. Balanceamento de outorgas. I. Título

CDD 333.7

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

Lúcio Scartezini Lopes

**Gestão de Recursos Hídricos na Bacia do Rio Formoso no Estado do Tocantins:  
Análise de dados e algoritmo para balanceamento de outorgas**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia Digital - PPGA da Universidade Federal do Tocantins - UFT, como requisito à obtenção do grau de Mestre (a) em Agroenergia e aprovada pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 09 / 08 / 2024

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Ary Henrique Morais de Oliveira - UFT

---

Prof. Dr. Fernando Machado Haesbaert - UFT

---

Prof. Dr. Diego Brandão - CEFET - RJ

---

Prof. Dr. Erich Collicchio - UFT

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a **DEUS** e à minha **Família** que me apoiou neste período desafiador.

Aos orientadores, Professor **Ary Henrique Morais de Oliveira** e Professor **Fernando Haesbaert** pela dedicação à ciência e apoio na condução deste trabalho.

À **Fundação de Amparo à Pesquisa do Tocantins - FAPT**, por apoiar esta pesquisa, parte do projeto aprovado na Chamada FAPT N° 01/2019 Bolsa de Produtividade coordenado pelo prof. Ary Henrique Morais de Oliveira na área de recursos hídricos.

Ao **Instituto Natureza do Tocantins, NATURATINS** pelo apoio ao fornecer os dados das outorgas, em especial ao Gerente de controle e uso dos recursos hídricos (GEREH) **Mateus Chagas dos Santos**, pelo apoio prestado à realização deste trabalho.

Ao programa de Mestrado em **Agroenergia Digital - PPGAD/UFT**, em especial às Coordenadoras, Professora **Flávia Lucila Tonani de Siqueira** e Professora **Solange Aparecida Ságio**, pela dedicação aos alunos e ao PPGAD. Dedicação que vem do **coração**.

À equipe do **Instituto de Atenção às Cidades - IAC/UFT - Gestão de Alto Nível**, pela plataforma **gan.iacuft.org.br** em especial aos Professores **Felipe de Azevedo Marques**, pelas aulas de Hidrologia no Youtube e a **Fernán Enrique Vergara Figueroa** pelo extenso trabalho em prol dos recursos hídricos no estado do **Tocantins**.

Agradeço à Professora **Glenda Michele Botelho** e à **Rafael da Costa Silva** pelo trabalho pioneiro sobre balanceamento de outorgas, muito importante para esta pesquisa.

Obrigado Profa. **Lina Maria Grajales Agudelo!** Obrigado Prof. **Erich Collicchio!** Obrigado Prof. **Aurélio Vaz de Melo!** Obrigado Prof. **Horllys Gomes Barreto!** Obrigado Prof. **Guilherme Benko de Siqueira!** Pelos ensinamentos para minha **vida**.

Obrigado aos meus colegas de curso, **Tallyrand Jorcelino** e, **Wellington Rangel!**

Agradeço de **coração** a todos os professores e **colegas** de curso! **OBRIGADO!!**

Obrigado professor **Diego Brandão** (CEFET/RJ) por aceitar participar da banca de avaliação deste trabalho.

Agradeço também à **Embrapa Agroenergia**, por tantos ensinamentos e por me introduzir na seara da **Ciência!** Obrigado **Eduardo Formighieri!** Obrigado **Bruno Laviola!** Obrigado **Alexandre Alonso!**

Obrigado a todos aqueles que se dedicam aos estudos, que transformam esforços em resultados e que nos permitem construir um **Brasil** melhor e mais justo através da **Ciência**.

Ao nosso país eu agradeço pela **UFT**, pela oportunidade e por custear este curso de mestrado com tanta qualidade e ensinamentos importantes. **Vou retribuir à altura!**

## RESUMO

A gestão eficiente dos recursos hídricos é um mecanismo de prevenção de conflitos especialmente útil em períodos de seca. Para uma gestão eficiente torna-se necessário um processo otimizado de coleta de informações precisas, armazenamento e análise de dados. Nesse contexto, a ausência de informações sobre as vazões na bacia hidrográfica do Rio Formoso em 2016, no estado do Tocantins, potencializado por uma seca sem precedentes na região, causaram conflitos pelo uso da água, resultando em uma ação civil pública em desfavor dos proprietários de grandes empreendimentos rurais na região. Diante disso, o Ministério Público do Estado do Tocantins foi acionado, convocando a Universidade Federal do Tocantins para fazer um diagnóstico e proposta técnica, além de ser responsável por mediar um acordo para a questão. Como resultado deste processo, as associações dos produtores rurais da região implantaram a proposta apresentada: O Projeto GAN, Gestão de Alto Nível, elaborado pela Universidade Federal do Tocantins através do Instituto de Atenção às Cidades. Esta dissertação faz um estudo de caso do GAN, sistema responsável pela gestão dos recursos hídricos na bacia do Rio Formoso a partir de 2017. Neste contexto, esta dissertação apresenta um estudo dos dados obtidos a partir da implantação do projeto, confrontando os dados das outorgas vigentes e suas respectivas retiradas de água do rio. O objetivo das análises é conhecer as informações relevantes sobre estas outorgas de forma a propor um algoritmo para balanceamento das outorgas em casos de adversidades climáticas como esta que ocorreu em 2016. A proposta inclui um indicador de eficiência da outorga, obtido pela divisão entre o volume outorgado e a área irrigada. Este trabalho também analisa o histórico de implantação do Projeto GAN de forma a contribuir com a etapa de monitoramento e automação previstas no projeto. A metodologia do projeto GAN será abordada à medida em que possa contribuir no acompanhamento das etapas do projeto e dos resultados obtidos. Por fim, os dados analisados são apresentados e discutidos no sentido de consolidar os avanços obtidos, propor melhorias e indicar os próximos passos a serem implementados.

**Palavras-chave:** Gestão hídrica. Sistema GAN. Irrigação. Rio Formoso. Balanceamento de outorgas.

## ABSTRACT

Efficient management of water resources is a conflict prevention mechanism that is especially useful during periods of drought. For efficient management, an optimized process for collecting accurate information, storing and analyzing data is necessary. In this context, the lack of information on flows in the Rio Formoso hydrographic basin in 2016, in the state of Tocantins, heightened by an unprecedented drought in the region, caused conflicts over the use of water, resulting in a public civil action to the detriment of the owners of large rural enterprises in the region. In view of this, the Public Ministry of the State of Tocantins was called, summoned the Federal University of Tocantins to make a diagnosis and technical proposal and mediated an agreement on the issue. As a result of this process, the associations of rural producers in the region implemented the proposal presented: The GAN Project, High Level Management, prepared by the Federal University of Tocantins through the Institute for Attention to Cities. This dissertation makes a case study of GAN, the system responsible for managing water resources in the Rio Formoso basin from 2017. In this context, this dissertation presents a study of the data obtained from the implementation of the project, comparing the data from the grants in force and their respective water withdrawals from the river. The objective of the analyzes is to know the relevant information about these grants in order to propose a model for balancing the grants in cases of climatic adversities such as the one that occurred in 2016. The proposal includes the grant efficiency indicator, obtained by dividing the volume granted and the irrigated area. This work also analyzes the implementation history of the GAN Project to contribute to the monitoring and automation stage foreseen in the project. The GAN project methodology will be addressed to the extent that it can contribute to monitoring the project stages and the results obtained. Finally, the analyzed data is presented and discussed to consolidate the advances obtained, propose improvements and indicate the next steps to be implemented.

**Keywords:** Water management. GAN system. Irrigation, Formoso river. Balancing water grants

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – (a) Localização da região hidrográfica do Tocantins-Araguaia e a bacia do Rio Formoso no Brasil, (b) Bacia do Rio Formoso no estado do Tocantins, e (c) região da Lagoa da Confusão, onde as outorgas analisadas estão localizadas. ....	10
Figura 2 - Fotografia mostrando o rio Formoso completamente seco.....	11
Figura 3 – Instituições participantes do Projeto GAN .....	12
Figura 4 – Objetivos do Plano de Ação do projeto GAN.....	24
Figura 5 – Resumo das Fases do projeto GAN .....	25
Figura 6 – Sistema GAN: Componentes em Campo e arquitetura da aplicação WEB .....	27
Figura 7 – Planta funcional das estações de medição em campo .....	28
Figura 8 – Fotografia de Micro Usina Solar utilizada nas estações telemétricas .....	28
Figura 9 – Esquema da Planta da Caixa de medição da captação .....	29
Figura 10 – Tela do “Visitante” do sistema GAN, disponível em: <a href="http://www.gan.iacuft.org.br">www.gan.iacuft.org.br</a> .....	30
Figura 11 – Detalhes dos dados das estações telemétricas, pluviométricas e fluviométricas. ....	31
Figura 12 – Disponibilidade dos dados e falhas por estação de medição .....	31
Figura 13 – Série histórica de Chuvas, Vazão e Nível do rio.....	32
Figura 14 – Protocolo experimental adotado .....	35
Figura 15 – Relacionamento entre os dados utilizados nas análises .....	39
Figura 16 – Fórmula do balanceamento com aplicação da vazão mínima em Excel.....	47
Figura 17 – Frequência das culturas indicadas nas outorgas analisadas como destino da irrigação .....	48
Figura 18 – Contraste das fotos por satélite entre: (a) Período seco e (b) Período de Chuvas.....	49
Figura 19 – Exemplo típico de comparação entre outorga x vazão .....	49
Figura 20 – Vazão total medida, Outorgado e % retirada do outorgado .....	50
Figura 21 – Volumes totais da amostragem analisada .....	51
Figura 22 – Vazão total média por mês, e vazão média fora do período outorgado .....	52
Figura 23 – Estações Telemétricas consideradas na análise de disponibilidade hídrica .....	53
Figura 24 – Nível médio no rio Estações Telemétricas da região analisada .....	53
Figura 25 – Nível médio do Rio nas Estações Telemétricas, de 2020 a 2023 .....	54
Figura 26 – Precipitação entre 2020 e 2023 em valores absolutos, empilhados .....	54
Figura 27 – Relacionamento entre Vazão Total, Nível médio do Rio e Precipitação .....	55
Figura 28 – Eficiência da outorga: Volume outorgado (m <sup>3</sup> /ano) / área irrigada (hectare) .....	56
Figura 29 – As 8 maiores outorgas são responsáveis por mais de 50% do volume total .....	58
Figura 30 – Volume original das outorgas, e volume total após os balanceamentos. ....	59
Figura 31 – Volume outorgado e o volume Balanceado. Redução de 18,41% .....	60
Figura 32 – Plotagem do volume original outorgado e volume reduzido (meta: 50%). ....	61
Figura 33 – Volume original outorgado e volumes reduzidos (metas: de 15% e 50%). ....	62
Figura 34 – Gráfico de dispersão ilustrando a correlação das variáveis Vazão e Precipitação.....	64
Figura 35 – Gráfico de dispersão das variáveis Vazão x Nível e Precipitação x Nível .....	65
Figura 36 – Mapa de Calor (heatmap) ilustrando a relação entre Nível, Precipitação e Vazão .....	66
Figura 37 – Status momentâneo de intervenções na região da Lagoa da Confusão.....	68

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>9</b>
1.1 Formulação do problema .....	12
1.2 Justificativa.....	13
1.3 Pressuposto .....	14
1.4 Objetivos.....	15
1.4.1 Objetivo geral .....	15
1.4.2 Objetivos específicos .....	15
1.5 Estrutura da Dissertação .....	16
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1 Principais conceitos abordados.....	17
2.2 Legislação envolvida .....	20
<b>3 TRABALHOS RELACIONADOS .....</b>	<b>23</b>
3.1 O Projeto GAN - Gestão de Alto Nível.....	23
3.2 Sistema GAN - Gestão de Alto Nível.....	26
3.3 Software GAN .....	29
3.4 Resultados do Projeto GAN .....	32
3.5 Considerações Finais .....	34
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
4.1 Coleta de dados.....	36
4.2 Formação de base de dados .....	38
4.3 Análise Exploratória dos dados .....	42
4.4 Inferências / Propostas.....	42
<b>5 RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
5.1 Outorgas .....	49
5.2 Disponibilidade hídrica .....	52
5.3 Eficiência da Irrigação.....	55
5.4 Balanceamento das Outorgas.....	57
5.4.1 Ativação do balanceamento.....	58
5.4.2 Aplicação do balanceamento .....	59
5.4.3 Balanceamentos realizados.....	59
5.5 Predição de Regime de Controle Especial.....	63
<b>6 DISCUSSÃO .....</b>	<b>67</b>
6.1 Interpretação dos resultados .....	67
6.2 Implicações dos resultados .....	67
6.3 Limitações do Estudo .....	69
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>70</b>
7.1 Recomendações .....	70
7.2 Trabalhos futuros.....	71
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>72</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A gestão de recursos hídricos é uma questão fundamental para o desenvolvimento sustentável, especialmente nas regiões onde o agronegócio desempenha papel importante na economia. A bacia do rio Formoso, localizada no estado do Tocantins é um exemplo claro dessa realidade. Este estudo se propõe a analisar dados de outorgas hídricas da região e apresentar um algoritmo para o balanceamento das autorizações do estado para retiradas (outorgas) de água na bacia do rio Formoso, contribuindo para uma gestão mais eficiente e equitativa dos recursos hídricos.

A população do Tocantins é uma das que apresenta maiores taxas de crescimento no Brasil. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, o estado apresentou uma taxa de crescimento populacional significativa nos últimos anos, impulsionada pela migração e pelo aumento natural da população (IBGE, 2023<sup>1</sup>). Este crescimento pressiona diretamente os recursos hídricos, demandando uma gestão eficaz para garantir o abastecimento de água tanto para o consumo humano como para as atividades econômicas.

A agricultura irrigada no Tocantins é responsável por uma participação importante no desenvolvimento econômico e social do estado e do agronegócio brasileiro, em especial, devido às culturas de arroz e soja (FRAGOSO et al., 2013). A agricultura e a pecuária intensiva dependem fortemente da disponibilidade de água, o que torna a gestão hídrica ainda mais relevante e desafiadora. A eficiência no uso da água é essencial para manter a produtividade agrícola, garantindo a sustentabilidade do setor e contribuindo para o desenvolvimento econômico. Nesse contexto, este estudo aborda a necessidade de um uso sustentável dos recursos hídricos na bacia do rio Formoso e propõe soluções analíticas para o balanceamento de outorgas, de forma que os resultados contribuam para políticas públicas mais efetivas e uma gestão integrada dos recursos hídricos, promovendo o equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental.

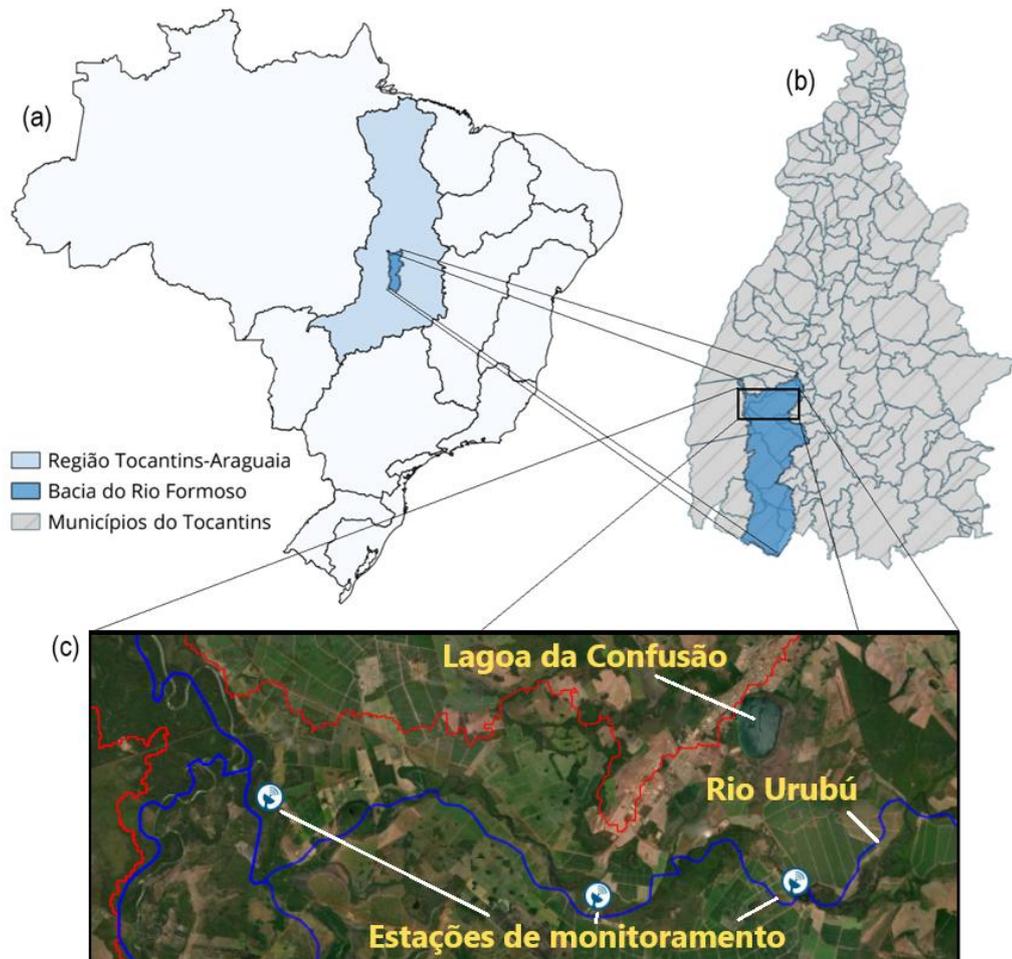
O Tocantins possui um clima semiárido, com chuvas concentradas no período de verão. As bacias hidrográficas do estado são de pequeno porte, com baixa capacidade de armazenamento de água. A Divisão Hidrográfica Nacional, de 2003 (resolução ANA n. 32/2003), dividiu o Brasil em 12 regiões hidrográficas. A Região Hidrográfica Tocantins-

---

<sup>1</sup> <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html>

Araguaia, ilustrada na Figura 1, corresponde a 10,8% do território brasileiro, abrangendo seis estados: Goiás, Tocantins, Pará, Maranhão, Mato Grosso e Distrito Federal.

**Figura 1 – (a) Localização da região hidrográfica do Tocantins-Araguaia e a bacia do Rio Formoso no Brasil, (b) Bacia do Rio Formoso no estado do Tocantins, e (c) região da Lagoa da Confusão, onde as outorgas analisadas estão localizadas.**



Fonte: Mapas: ArcGIS 10.8 - Foto de Satélite: <https://www.iacuft.org.br/> (Esri, GeoEye, Earthstar, CNES)

A bacia do rio Formoso está inserida na região hidrográfica Tocantins-Araguaia, localizada no sudoeste do estado do Tocantins. É uma região impactada nos últimos anos pela expansão da fronteira agrícola na produção de grãos, com destaque para arroz e soja (BARBOSA, 1996). A bacia apresenta uma área de drenagem de 27.328,57 km<sup>2</sup>, cerca de 7,7% da área total do Estado do Tocantins (NATURATINS, 2019). A região da Bacia do Rio Formoso é caracterizada pela forte atividade agrícola, de forma que 97% de toda a vazão outorgada na bacia é destinada à atividade de irrigação (FILHO et al., 2015).

Em 2016 o aumento das atividades agrícolas irrigadas e a diminuição dos índices pluviométricos na região, causaram a seca total do fluxo de água na bacia hidrográfica do rio

Formoso (FAGUNDES, 2021). Este fenômeno gerou grande preocupação com a sustentabilidade das atividades econômicas na região e da própria sobrevivência do rio.

Este episódio marcante ilustra a vulnerabilidade dos recursos hídricos na região. Este evento extremo destacou a necessidade urgente de uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos para prevenir crises futuras e garantir a disponibilidade hídrica para todos os usos. A seca de 2016 afetou gravemente as atividades agrícolas e a disponibilidade de água para consumo humano, evidenciando a importância de um planejamento hídrico robusto e resiliente, para que a situação ilustrada abaixo, na figura 2, não volte a acontecer.

Figura 2 - Fotografia mostrando o rio Formoso completamente seco



Fonte: Foto de Felipe Pimpao (Governo do Tocantins), publicado no Portal G1 em dezembro de 2016.<sup>2</sup>

A falta de fiscalização adequada e da divulgação dos critérios sobre as outorgas existentes gerou conflitos pela água, o que fez com que esta questão fosse judicializada pelos usuários do sistema. O conflito chegou ao Ministério Público do Tocantins - MPTO, que solicitou à UFT um diagnóstico da situação e uma solução técnica para a questão. Dentro dos processos 0001070-72.2016.827.2715 / 0001583-40.2016.827.2715, o MPTO agendou uma audiência pública aberta a todos os interessados. As partes requeridas foram o Estado do Tocantins e o Instituto Natureza do Tocantins (Naturatins), órgão ligado à Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Tocantins – SEMARH/TO. A UFT -

---

<sup>2</sup> <https://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2016/08/mp-pede-suspensao-da-retirada-de-agua-dos-rios-formoso-e-urubu.html>

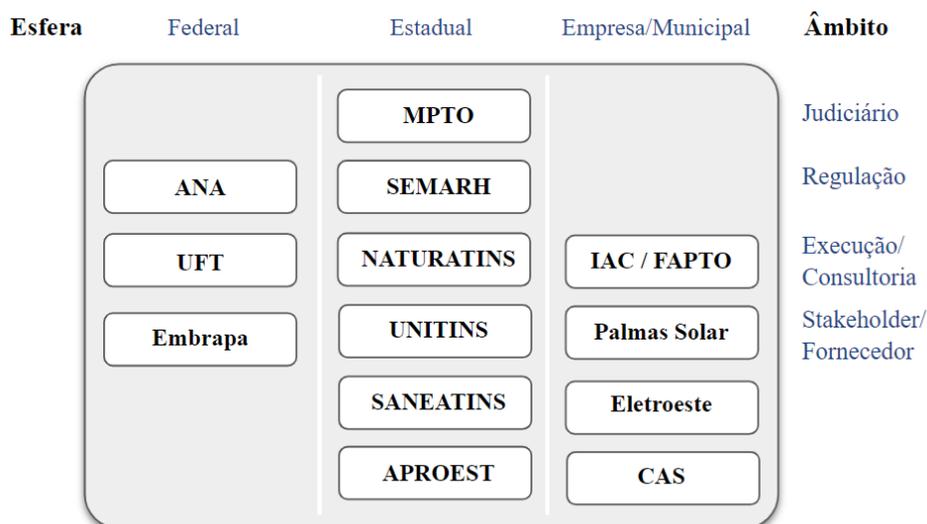
Universidade Federal do Tocantins assinou a ata como *Amicus Curiae*, por ter sido convidada a apresentar um diagnóstico e uma proposta técnica para o problema.

Também assinaram a ata da audiência as associações dos Produtores Rurais do Rio Formoso (APROEST) e dos Produtores Rurais do Vale do Rio Urubu (AVAU). Segue trecho do acordo firmado no dia 25 de dezembro de 2016, atribuindo as responsabilidades previstas com as concessões das outorgas:

*“A Associação dos Produtores do Vale do Rio Urubu, (...) a Associação dos Produtores Rurais do Rio Formoso, (...), assumem o compromisso de contratar e arcar com os custos do projeto técnico apresentado pelo Instituto de Atenção às Cidades da Universidade Federal do Tocantins - IAC/UFT, cujas primeiras três fases se desdobrarão da seguinte forma (...).”*

Foi nesta audiência pública, designada para discutir o tema, no dia 5 de dezembro de 2016, que o MPTO determinou a implantação da proposta que a UFT apresentou através do Instituto de Atenção às Cidades, a IAC/UFT: O Sistema GAN - Gestão de Alto Nível dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Formoso (MARQUES et al., 2018), com o objetivo de implementar um sistema robusto e transparente de monitoramento e gestão dos recursos hídricos na referida bacia. A implantação do sistema contou com diversas outras instituições que participaram diretamente ou indiretamente do projeto, conforme mostra a figura 3:

Figura 3 – Instituições participantes do Projeto GAN



Fonte: Palestra Sistema GAN: Monitoramento de Captações de Água - VII Zona Federal (PETEAmb/UFT)

## **1.1 Formulação do problema**

A bacia do rio Formoso, localizada no estado do Tocantins, ainda enfrenta desafios significativos em relação à gestão de seus recursos hídricos. Episódios de seca severa, como o ocorrido em 2016 demonstram a vulnerabilidade da bacia diante de variações climáticas e da extração intensiva da água. A gestão dos recursos hídricos na bacia do rio Formoso carece de uma abordagem integrada e eficiente que permita o balanceamento adequado das outorgas de água. A falta de dados consistentes e a ausência de um algoritmo eficiente para o balanceamento de outorgas contribuem para o uso insustentável dos recursos hídricos, prejudicando o meio ambiente e a economia local, que desempenha um papel relevante para todo o estado do Tocantins, devido à relevância econômica do agronegócio na região.

A inexistência de mecanismos integrados de avaliação e proteção do uso da água levou ao esgotamento do rio em 2016 e a falta de estudos e providências sobre esta situação pode levar a novos colapsos na oferta de água. Para evitar isso, é preciso avançar no conhecimento dos dados do rio: comportamento durante os meses do ano, sua capacidade de recuperação e também conhecer os usuários do rio, o conjunto de outorgas concedidas e detalhes das retiradas de água. Além disso, não existem estudos sobre a eficiência do uso da água pelos usuários e quais são as perdas que poderiam ser evitadas. Devido a implantação do sistema GAN, atualmente é possível ter acesso a informações de qualidade, disponíveis e acessíveis por meio de mecanismos de monitoramento da disponibilidade e demanda hídrica. Portanto, é imprescindível coletar e analisar esses dados, de forma a produzir estudos e informações que auxiliem na mitigação dos riscos e consequências das secas cada vez mais intensas e mais presentes frente às mudanças climáticas (MARENGO, J. A. 2007).

## **1.2 Justificativa**

A importância deste estudo reside na necessidade de uma gestão mais eficiente, eficaz e sustentável dos recursos hídricos na bacia do rio Formoso. O crescimento populacional do estado do Tocantins aumenta a demanda por água, tornando essencial a implementação de políticas de gestão hídrica que assegurem a disponibilidade hídrica para consumo humano, animal e também das atividades econômicas. Destaca-se que o agronegócio, setor econômico vital para o Tocantins, depende fortemente da água, especialmente para a produção de grãos. Portanto, a gestão dos recursos hídricos é crucial para manter a produtividade e a competitividade do setor, garantindo a sustentabilidade econômica da região, o que reforça a

necessidade de um planejamento hídrico robusto para evitar crises futuras e mitigar os impactos ambientais e socioeconômicos.

A situação evidenciada com a crise de 2016, que culminou com o esgotamento da água no rio Formoso, e as consequências para toda a sociedade justificam esforços para se fazer uma gestão equilibrada dos recursos hídricos da bacia. Para fins de manutenção da sustentabilidade dos recursos hídricos na região, é necessário conhecer a disponibilidade e a demanda do recurso e comparar os volumes retirados com as respectivas outorgas para que seja possível planejar e efetivamente realizar a gestão deste recurso tão importante. As perguntas da pesquisa são: Podemos antecipar o nível do rio de acordo com as chuvas? E quando o rio precisa se recuperar, como reduzir as retiradas de forma justa e com o menor impacto possível?

Não existe hoje um sistema eficiente de prevenção ou redução das retiradas de acordo com a capacidade do rio. Existe uma alternância dos dias ou a suspensão total em situações graves, sem que as ações preventivas e de controle estejam bem definidas e em operação.

### **1.3 Pressuposto**

O pressuposto central deste estudo é que a implementação do balanceamento realizado a partir de métodos analíticos de outorgas de água com suporte computacional, baseado em dados consistentes e atualizados, pode melhorar significativamente a gestão dos recursos hídricos na bacia do rio Formoso. A utilização de tecnologia avançada existente na coleta precisa de uma análise de dados compatível, o que permitirá uma distribuição mais equitativa e eficiente da água, atendendo às necessidades de consumo humano e das atividades econômicas, ao mesmo tempo em que preserva os ecossistemas locais.

Espera-se que o desenvolvimento e a aplicação deste algoritmo resultem em uma gestão hídrica mais sustentável, capaz de suportar o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico da região. Além disso, a abordagem proposta deve servir como modelo para outras regiões com desafios semelhantes, promovendo práticas de gestão hídrica mais eficientes e resilientes em todo o Brasil.

Entendemos que o sistema atual pode e precisa ser melhorado. Que a água retirada dos rios pode ser melhor aproveitada e que as outorgas precisam se aproximar das necessidades reais e justas dos produtores. O conhecimento e a análise dos dados do sistema podem viabilizar um plano mais detalhado sobre o regime de retiradas nas situações de seca.

A ausência deste plano foi evidenciada pela crise de 2016. Novas crises como aquela podem ser mitigadas através do balanceamento das outorgas e da promoção da eficiência no uso da água retirada. Entendemos que podemos e devemos antecipar situações de racionamento, balancear as outorgas vigentes e oferecer um plano de redução nas retiradas com o menor impacto ambiental e econômico possível, práticas importantíssimas para manter o meio ambiente, os empregos e a renda dos produtores rurais da região.

Amenizar os impactos da seca e fornecer informações qualificadas para toda a sociedade justificam todo esforço realizado para fazer a gestão hídrica na região, e este trabalho contribui para o aperfeiçoamento do sistema. O estado precisa ser capaz de comunicar critérios e aplicar mecanismos de controle para enfrentar adversidades climáticas que tendem a ser mais fortes e mais frequentes.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo geral**

Elaborar um mecanismo de balanceamento hídrico de outorgas de uso de água para a produção agrícola, adotando ferramentas de análise de dados a partir do estudo de caso do projeto Gestão de Alto Nível, no contexto da gestão da bacia hidrográfica do Rio Formoso para reproduzir a metodologia em bacias hidrográficas com características e desafios semelhantes.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Realizar pesquisa bibliográfica e levantamento do estado da arte para fundamentar o desenvolvimento deste trabalho avaliando iniciativas similares na gestão da disponibilidade e demanda hídrica a partir da emissão de outorgas;
- Desenvolver uma pesquisa documental sobre o planejamento, execução, monitoramento e avaliação do projeto Gestão de Alto Nível aplicado no processo de gestão de recursos hídricos na Bacia do Rio Formoso;
- Coletar informações sobre a disponibilidade e demanda hídrica da Bacia do Rio Formoso a partir do monitoramento realizado pelo Sistema GAN para análise do comportamento da disponibilidade e demanda a partir das outorgas emitidas;

- Elaborar uma proposta de balanceamento de outorgas para os períodos de estiagem a partir de mecanismos de análise de dados, para aperfeiçoar o sistema de gestão atual a partir dos critérios legais aplicáveis.

### **1.5 Estrutura da Dissertação**

O capítulo 1 apresentou uma visão geral do trabalho contextualizando a região de abrangência do estudo, a motivação e problematização da pesquisa, assim como os objetivos geral e específicos. O capítulo 2 apresentará a fundamentação teórica destacando os principais conceitos e definições vinculados com a hidrologia, gestão de recursos hídricos, vazão de corpos hídricos, legislação relacionada à emissão de outorgas de uso de água, assim como métodos, ferramentas e tecnologias de monitoramento da disponibilidade e demanda hídrica. No capítulo 3 os trabalhos relacionados com uma ênfase em soluções tecnológicas relacionadas ao estudo da disponibilidade, demanda hídrica e gestão de outorgas, com destaque para descrição do Projeto GAN e dos resultados produzidos.

A metodologia utilizada é abordada no capítulo 4, onde o protocolo experimental adotado é descrito, assim como a origem dos dados utilizados nas análises e como eles foram organizados. A partir da análise exploratória realizada, o capítulo segue descrevendo também a metodologia e cálculo do balanceamento proposto, assim como as definições e as fórmulas para calcular os indicadores utilizados.

Os resultados são apresentados no capítulo 5. O comportamento das retiradas é revelado e também o estudo inédito na região que relaciona as vazões do rio, as outorgas vigentes, e dados da disponibilidade hídrica: nível do rio e precipitação pluviométrica. Também são apresentados os resultados do balanceamento realizado no conjunto de outorgas recebidas do NATURATINS, que foi a base amostral desta pesquisa, um estudo inédito no Tocantins que considera a eficiência do uso da água como prioridade de uso.

O capítulo 6 faz uma discussão sobre os resultados obtidos, apontando as melhorias para o sistema. Ao final, o capítulo 7 apresenta as conclusões da aplicação da metodologia proposta com os impactos obtidos e a sua importância para a área de gestão de recursos hídricos, apresentando sugestões de trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os principais conceitos e fundamentos que embasam o presente estudo. Aborda a legislação vigente e relevante para a gestão de recursos hídricos. Inicialmente, a seção 2.1 detalha os conceitos essenciais relacionados à gestão hídrica, tais como vazão de um corpo hídrico, outorgas de uso da água e balanço hídrico. Na seção 2.2 é discutida a legislação vigente que regula o uso da água e as outorgas no Brasil, com foco nas normas aplicáveis ao presente estudo na bacia do rio Formoso.

### 2.1 Principais conceitos abordados

Para melhor entendimento dos dados analisados e da metodologia aplicada, os principais conceitos de Hidrologia abordados no texto são apresentados, e em seguida a legislação envolvida.

- **Bacia Hidrográfica:** Uma bacia hidrográfica é uma área geográfica delimitada por divisores topográficos, onde toda a água proveniente de precipitação, neve derretida ou qualquer outra forma de precipitação converge para um único ponto de saída, geralmente um rio, lago ou oceano. As bacias hidrográficas são unidades naturais de gestão de recursos hídricos, pois abrangem todos os processos hidrológicos que ocorrem desde a captação da água na superfície e no subsolo até o seu transporte e eventual saída. A bacia hidrográfica é composta por vários elementos interdependentes, incluindo rios, riachos, nascentes, aquíferos, áreas de recarga, zonas de descarga e ecossistemas aquáticos e terrestres adjacentes. Essas unidades naturais desempenham um papel crucial na determinação da disponibilidade de água, qualidade da água, ecologia aquática e na regulação do clima local.
- **Balanço Hídrico:** O balanço hídrico é um método fundamental na gestão dos recursos hídricos que consiste no cálculo da diferença entre a entrada e a saída de água em uma determinada bacia hidrográfica. Este processo considera diversas variáveis, incluindo precipitação, evapotranspiração, infiltração e escoamento superficial. A equação básica do balanço hídrico é dada por:  $P - E - R - I = \Delta S$ , Onde:  $P$  é a precipitação,  $E$  é a evapotranspiração,  $R$  é o escoamento superficial,  $I$  é a infiltração, e  $\Delta S$  é a variação do armazenamento de água no solo ou em reservatórios. A análise do balanço hídrico permite entender a disponibilidade de água em uma região,

auxiliando na tomada de decisões para a gestão sustentável dos recursos hídricos (TUCCI, 1997; PEREIRA et al.,2010).

- **Estação Telemétrica:** É uma instalação que mede e transmite dados ambientais em tempo real para um centro de monitoramento remoto. Essas estações são equipadas com sensores que coletam informações sobre variáveis como nível da água, vazão, precipitação e qualidade da água. Os dados são transmitidos via sistemas de telecomunicações, permitindo o monitoramento contínuo e a gestão proativa dos recursos hídricos. As estações telemétricas de monitoramento são fundamentais para a detecção precoce de eventos extremos, como enchentes e secas, e para a gestão eficiente dos recursos hídricos. (SMITH et al., 2011).
- **Gestão Integrada de Recursos Hídricos:** É uma abordagem abrangente para a gestão dos recursos hídricos que visa promover o desenvolvimento e a gestão coordenados da água, da terra e dos recursos relacionados, a fim de maximizar o bem-estar econômico e social de maneira equitativa, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas vitais. A Gestão Integrada de Recursos Hídricos - GIRH, implica em uma visão ampla, participativa, coordenada e sustentável da gestão da água. A GIRH propõe a bacia hidrográfica como unidade básica de gestão hídrica (GRIGG, N. S., 2008) pois permite uma abordagem integrada e holística, considerando as interações entre os diversos componentes do sistema hídrico e os múltiplos usos e demandas da água. Essa abordagem facilita a coordenação entre diferentes usuários e setores, promovendo o uso sustentável dos recursos hídricos, a proteção dos ecossistemas e a resiliência a eventos extremos, como secas e inundações.
- **Hidrologia:** É a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e sua reação com o meio ambiente, incluindo sua relação com as formas vivas (Definição recomendada pela United States Federal Council for Science and Technology, 1962).
- **Intervenção de Captação:** Refere-se a qualquer obra ou estrutura construída para retirar água de um corpo hídrico para diversos usos, como abastecimento público, irrigação, industrial, entre outros. Essas intervenções podem incluir poços, canais, bombas e estações de captação. A regulação e o monitoramento das intervenções de captação são cruciais para assegurar que o uso da água seja sustentável e que não comprometa a disponibilidade hídrica para outros usuários e para o ecossistema. (ANA, 2021).

- **Jusante e Montante:** Os termos jusante e montante referem-se, respectivamente, às direções para onde a água flui e de onde a água vem em um curso de água. Montante indica a parte do rio que fica acima, em direção à nascente, enquanto jusante refere-se à parte que fica abaixo, em direção à foz. Esses conceitos são essenciais para a gestão hídrica, pois influenciam a distribuição e a qualidade da água ao longo do curso do rio. As atividades realizadas a montante podem afetar significativamente a quantidade e a qualidade da água disponível a jusante, tornando-se crucial o planejamento e o controle do uso da água em toda a bacia hidrográfica (SILVEIRA, 2001; PORTO, 2006).
- **Outorga do direito de uso:** A outorga é o ato administrativo que concede o direito de uso da água a particulares ou entidades para as mais diversas finalidades, como abastecimento público, irrigação, industrial, entre outras. No Brasil, a outorga de uso da água é regulamentada pela Lei nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. Este instrumento visa assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e garantir seu uso racional e sustentável. No estado do Tocantins foi regulamentada pelo decreto no 2432, de 6 de junho de 2005, que complementa os artigos 8º, 9º e 10º da Lei no 1.307 de 22 de março de 2002. As outorgas são fundamentais para o gerenciamento dos recursos hídricos, pois permitem o monitoramento e a regulação do uso da água, evitando conflitos e garantindo a disponibilidade para múltiplos usos (Brasil, 1997; ANA, 2021).
- **Vazão de um rio:** Vazão é o volume de fluido que passa por uma seção transversal específica em um determinado período de tempo (MAYS,1988). Um cálculo específico é utilizado para medir a vazão de um rio, que considera a área, volume e o tempo. Outras variáveis incidem diretamente na vazão: O clima, características do fluido (viscosidade e calor). A largura, profundidade e superfície do rio também são levadas em consideração, e foram estimadas médias para se calcular a vazão a partir do nível do rio em centímetros, conforme dados disponíveis no portal do Projeto GAN, utilizados neste trabalho. A vazão do rio é importante para determinar a qualidade da água para os organismos que vivem nela, assim como para a distribuição entre a comunidade que utiliza o rio. Neste caso, a vazão significa o volume de água de um rio, por um determinado período de tempo. Mas neste trabalho, nos referimos a **Vazão** também para indicar o volume de água **retirada** do rio, dentro de uma outorga.

## 2.2 Legislação envolvida

A Constituição de 1988 atribuiu à União competência privativa para legislar sobre águas (art. 22). Deu-lhe, ainda, a responsabilidade de “instituir sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir critérios de outorga de direitos de seu uso”.

Esta gestão dos recursos hídricos no nível federal é regida pela Lei Nº 9.433<sup>3</sup>, de 8 de janeiro de 1997

Esta gestão está diretamente ligada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS, agenda instituída pela ONU (em 25 de setembro de 2015) que orienta esforços dos países para objetivos comuns da humanidade:

- **6 Água e Saneamento:** Cuidar do uso da água, insumo fundamental para a vida;
- **7 Energias Renováveis:** A água contribui para o crescente uso da agroenergia;
- **13 Combater as alterações climáticas:** Água ajuda a diminuir a dependência do petróleo;
- **15 Ecossistemas terrestres e biodiversidade:** Gestão eficiente para preservar nossos mananciais.

No nível estadual a legislação vigente é a lei: Nº 1.307<sup>4</sup>, de 22 de março de 2002.

A lei estadual foi regulamentada pelo decreto Nº 2432<sup>5</sup>, de 6 de junho de 2005.

A seguir trechos selecionados deste decreto, que versam sobre o as regras envolvidas nas outorgas, e demais retiradas de água do rio:

“A outorga do direito de uso de recursos hídricos é **condicionada à disponibilidade hídrica e às prioridades expressas no Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH e nos Planos de Bacias Hidrográficas – PBHs.**”

Sobre as prioridades de uso, as retiradas consideradas irrisórias não dependem de outorga, mas apenas o registro da retirada:

<sup>3</sup> [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm)

<sup>4</sup> <https://central3.to.gov.br/arquivo/225863/>

<sup>5</sup> <https://central3.to.gov.br/arquivo/107424/>

“Independem de outorga os usos considerados insignificantes, cujas captações e derivações de águas superficiais e ou subterrâneas, demandem até 1,0 litro por segundo ou 21,60m<sup>3</sup> por dia, desde que o somatório dos usos individuais, no trecho, ou na bacia hidrográfica, não exceda 25% da vazão de referência para outorga.”

Sobre as obrigações do outorgado, hoje o estado exige a instalação de um sistema de monitoramento para liberar novas outorgas.

“Art. 21. A outorga do direito de uso de recursos hídricos obriga o outorgado: (...)

**IV - instalar, manter e operar:**

- a) dispositivos e obras hidráulicas de modo a preservar as vazões e as condições de escoamento, na forma determinada pelo NATURATINS;**
- b) estações e equipamentos de monitoramento hidrométrico e de qualidade da água, encaminhando ao NATURATINS os dados medidos e os resultados de análises laboratoriais;**

É importante observar que a estrutura do projeto GAN se baseou nos instrumentos previstos neste decreto, aliando as obrigações dos outorgados previstas nos artigos **a** e **b** do item IV do Artigo 21, à tecnologia disponível ao implementar e automatizar estações de Monitoramento, adicionando modernos recursos de Telemetria. Outros dispositivos previstos neste decreto também foram usados, como o cadastro das captações irrisórias (abaixo de 21,60m<sup>3</sup> por dia) e as condições de disponibilidade.

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

Diversos trabalhos relacionados à gestão de recursos hídricos foram considerados na construção da presente proposta. O principal trabalho apresentado neste capítulo é o Projeto GAN - Gestão de Alto Nível, implantado após a intervenção do Ministério Público do Tocantins - MPTO, a partir da solução técnica apresentada pelo IAC/UFT. A implantação do projeto foi um divisor de águas na região, iniciando uma fase de transparência nas retiradas outorgadas do rio. Hoje a implantação de um sistema de monitoramento das retiradas é um pré-requisito para a emissão de novas outorgas. O projeto GAN foi pioneiro na implantação das estações telemétricas de medição da vazão no estado, conforme contexto descrito no capítulo 1. Hoje, porém, as propriedades podem optar por outros sistemas semelhantes que sejam capazes de implantar estações para medir e enviar os dados das vazões nos moldes e padrões aceitos pela SEMARH/TO - Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins, que hoje trabalha para padronizar e incrementar o sistema de monitoramento, fiscalização e gestão das outorgas.

Sobre a gestão hídrica propriamente dita, Okawa, 2010 et al reforça a importância do uso de dados regionalizados na definição dos níveis de referência de uma bacia hidrográfica, e diversos outros trazem estudos sobre bacias hidrográficas específicas, mas não apresentam modelos para classificar ou balancear as outorgas.

Tucci, 2005 avança na gestão dos recursos hídricos ao estabelecer critérios na aplicação de prioridades de uso da água baseado no tipo de uso, mas também não apresenta uma proposta de balanceamento dentro de um uso específico, o que se torna uma necessidade, se considerarmos que as outorgas destinadas à irrigação, na região estudada, são responsáveis por 97% do volume outorgado. Ou seja, a gestão delas precisa ser específica para a irrigação.

O único trabalho encontrado no Brasil que aborda diretamente o balanceamento de outorgas é o TCC de Rafael da Costa Silva, em 2019: “*Balanceamento de vazões outorgadas em situação crítica de disponibilidade hídrica*”<sup>6</sup>, orientado pela Dra. Glenda Michele Botelho do departamento de Ciência da Computação da UFT. O trabalho implementa um modelo *fuzzy* para balanceamento de outorgas utilizando-se de critérios para as regras e faz uma avaliação da aplicação destas regras (SILVA, 2019). Deste modelo *fuzzy* apresentado, utilizamos a eficiência da outorga e o tempo de validade como critérios. O modelo de balanceamento apresentado neste estudo considerou variáveis mais detalhadas, como a hierarquia de uso (em ordem decrescente:

---

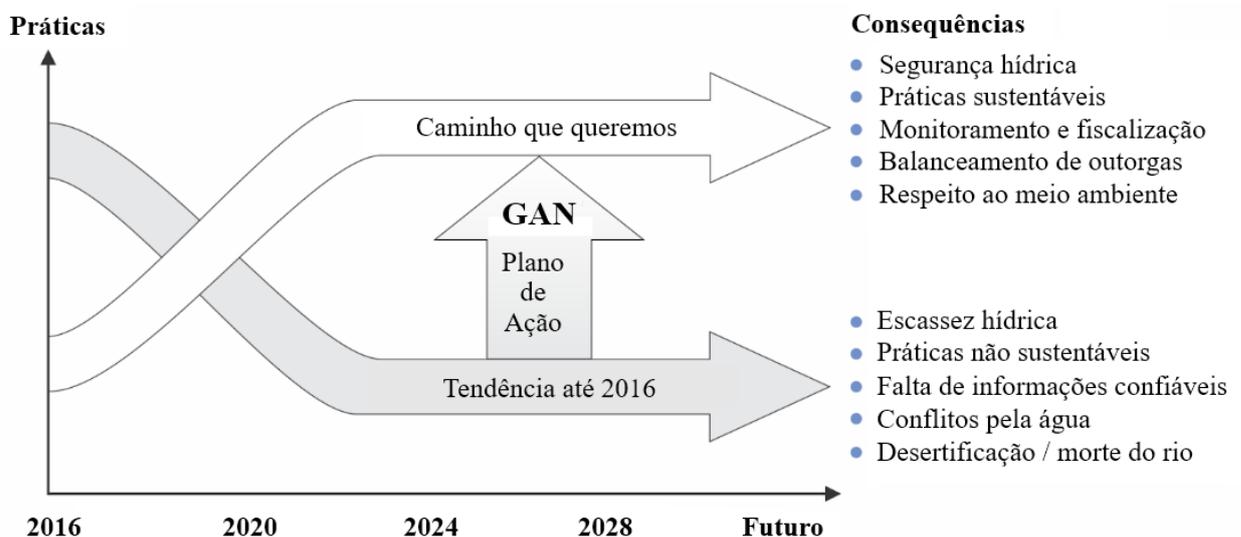
<sup>6</sup> <https://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/3008>

abastecimento público, dessedentação animal, irrigação, piscicultura e outros), informações, que infelizmente ainda não estão disponíveis nos atuais extratos das outorgas vigentes na região.

### 3.1 O Projeto GAN - Gestão de Alto Nível

O projeto GAN foi elaborado para implantar um novo sistema de monitoramento das outorgas e dos recursos hídricos da região da Bacia do Rio Formoso: O Sistema GAN.

Figura 4 – Objetivos do Plano de Ação do projeto GAN



Fonte: Figura original deste trabalho desenvolvida em CorelDraw.

#### Objetivos e Plano de Ação do Sistema GAN - Gestão de Alto Nível:

O objetivo maior do sistema é proteger o rio e os recursos hídricos dos mananciais, através de mudanças práticas, a serem implementadas dentro do plano de ação proposto:

- Elaborar um diagnóstico da situação, com dados atuais e históricos;
- Instalação de postos de monitoramento para medir a capacidade hídrica do rio;
- Instalar medidores de vazão para medir e fiscalizar as outorgas;
- Transmitir em tempo real estas informações para a ANA e o Naturatins;
- Desenvolver software para apoiar as atividades de gestão da bacia hidrográfica;
- Apresentar critérios para emissão de outorgas;
- **Plano de balanceamento de outorgas para períodos de seca.**

O Plano de Ação proposto foi dividido nas seguintes fases do projeto:

**Fase A - Diagnóstico da Disponibilidade.**

- i) Levantamento das estações de monitoramento;
- ii) Análise e tratamento preliminar das séries históricas registradas;
- iii) Cálculo de vazões e precipitações de referência, e
- iv) Espacialização das informações de disponibilidade.

**Fase B - Diagnóstico da Demanda**

- i) Cadastro de usuários não outorgados;
- ii) Levantamento das outorgas de direito de uso existentes, e
- iii) Sistematização das demandas.

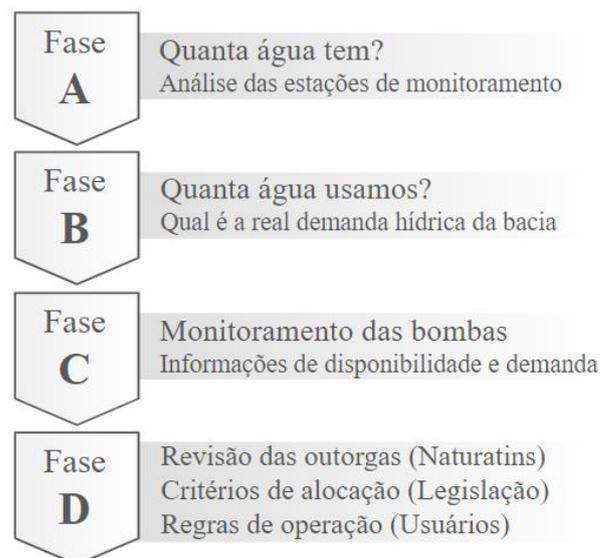
**Fase C - Monitoramento**

- i) Monitoramento das captações;
- ii) Monitoramento dos níveis do curso da água, e
- iii) Monitoramento das precipitações pluviométricas.

**Fase D - Automação e Controle**

- i) Automação do monitoramento, e emissão de alertas sistemáticos;
- ii) Ações efetivas de gestão e intervenção nas outorgas.

Figura 5 – Resumo das Fases do projeto



Fonte: Figura original deste trabalho, desenvolvida em PowerPoint.

O acordo assinado nesta audiência previu inicialmente a implementação das fases A, B e C, e a previsão inicial de investimentos das Associações de Produtores para

implementação até a Fase C foi de cerca de R\$ 2.500.000,00 (dois milhões e meio de reais). A Fase D é o desdobramento natural das fases iniciais, e compreende o escopo deste trabalho: Analisar os dados disponíveis e estabelecer critérios, regras e alternativas de automação e controle, de forma a aperfeiçoar o monitoramento, revisão e balanceamento das outorgas.

Este trabalho analisa os dados gerados pelo **Sistema de Monitoramento (Fase C)**, e faz uma proposta de modelo de balanceamento e automação previstos no escopo da **Fase D**.

### 3.2 Sistema GAN - Gestão de Alto Nível

#### **Estrutura Geral do sistema GAN:**

O sistema GAN completo é composto por três componentes principais:

- a) **Sistema de Monitoramento:** Este componente coleta e armazena dados sobre a disponibilidade de água, a demanda por água e os usos da água no estado.
- b) **Sistema de Modelagem:** Este componente utiliza os dados do sistema de monitoramento para gerar cenários de uso da água no estado.
- c) **Sistema de Apoio à Decisão:** Este componente fornece informações e ferramentas para a tomada de decisões sobre a gestão dos recursos hídricos.

Funcionamento do sistema GAN: O sistema GAN deve funcionar de forma integrada, com os três componentes trabalhando em conjunto.

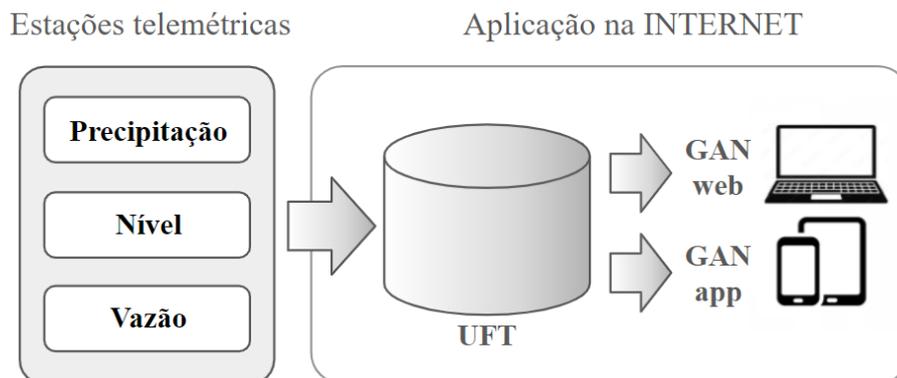
O sistema de monitoramento coleta dados de diversas fontes, incluindo estações de monitoramento da Agência Nacional de Águas (ANA), dados meteorológicos e dados de consumo de água. Esses dados são armazenados no sistema de monitoramento e utilizados pelo sistema de modelagem para gerar cenários de uso da água no estado. É uma atividade inovadora, pois além do monitoramento da demanda hídrica, também oferece novas oportunidades de uso dos dados, como a automação do cálculo do balanceamento de outorgas em situação de crise hídrica. Este monitoramento da demanda hídrica preenche uma lacuna no panorama nacional. Serve como instrumento de planejamento e fornece suporte técnico para a tomada de decisões dos Comitês de Bacias Hidrográficas, Secretarias de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, e órgãos de fiscalização Ambiental.

Monitoramento: O sistema GAN é uma plataforma pioneira que unifica o monitoramento remoto e em tempo real do **nível, vazão** dos cursos d'água e o volume de **captações e precipitações**. Durante o desenvolvimento da plataforma, o IAC/UFT através

de parcerias desenvolveu a tecnologia necessária para a implementação de estações de transmissão nas propriedades associadas ao projeto, e auxiliou no processo de desenvolvimento de medidores de vazão de alta precisão e com baixo custo. As estações de transmissão dos dados de vazão são configuradas para transmitir a cada 15 minutos, possibilitando que a plataforma online seja capaz de apresentar de forma visual e intuitiva a demanda hídrica da bacia em tempo real.

O monitoramento em tempo real das captações utiliza infraestrutura física em campo e computacional para disponibilizar dados para o software (portal aberto: [www.gan.iacuft.org.br](http://www.gan.iacuft.org.br)) e também um aplicativo mobile para complementar as formas de acesso, proporcionando aos usuários outorgados maior eficiência no uso da água e planejamento, reduzindo custos e garantindo segurança hídrica. A arquitetura geral do sistema pode ser visualizada na figura 6 abaixo:

Figura 6 – Sistema GAN: Componentes em Campo e arquitetura da aplicação WEB



Fonte: Original deste trabalho, adaptado da [apresentação do projeto GAN no Prêmio ANA](#) em 22/03/2020<sup>7</sup>

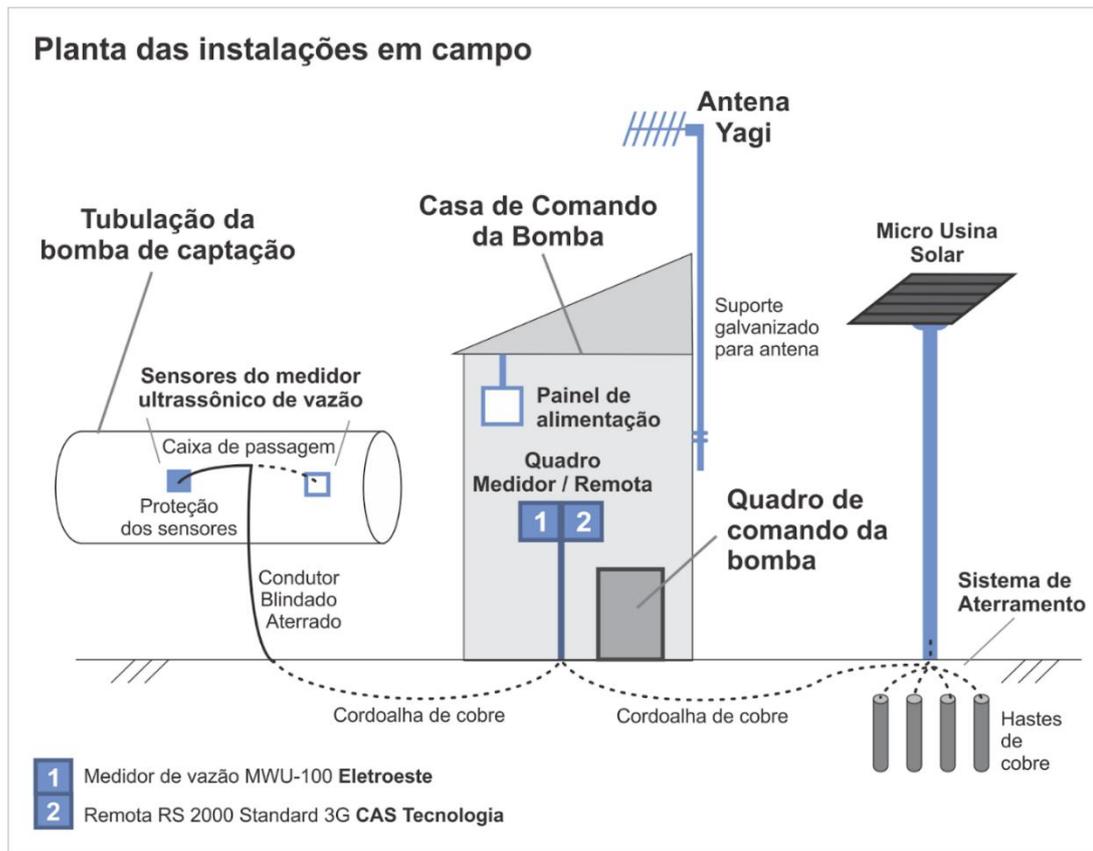
A planta da instalação para medição envolve quatro componentes principais:

- **Tubulação da bomba de captação:** Para esta instalação está prevista uma caixa de medição de 1,2 metros. Os medidores ultrassônicos são instalados em duplas, de forma a obter a velocidade da vazão.
- **Casa de Comando da Bomba:** Contém o medidor de vazão MWU-100 fornecido pela Eletroeste. A CAS Tecnologia fornece a estação Remota RS 2000 Standard, utilizada para fazer a interface de transmissão, através da antena direcional Yagi.

<sup>7</sup> <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/agencia-anuncia-vencedores-do-premio-ana-em-22-de-marco>

- **Quadro de comando da bomba:** Recebe as informações da captação e transmite para as bombas, podendo reduzir a captação quando necessário.
- **Antena Yagi.** Antena Direcional tipo Yagi, transmite e recebe os dados para a internet.

Figura 7 – Planta funcional das estações de medição em campo



Fonte: Original deste trabalho, adaptado da apresentação do projeto GAN no Prêmio ANA em 22/03/2020

Percebam que para o funcionamento da planta em locais remotos, foi necessário a instalação de uma micro usina solar, capaz de gerar energia elétrica para o funcionamento do sistema. A padronização da estrutura necessária trouxe vantagens para a implantação.

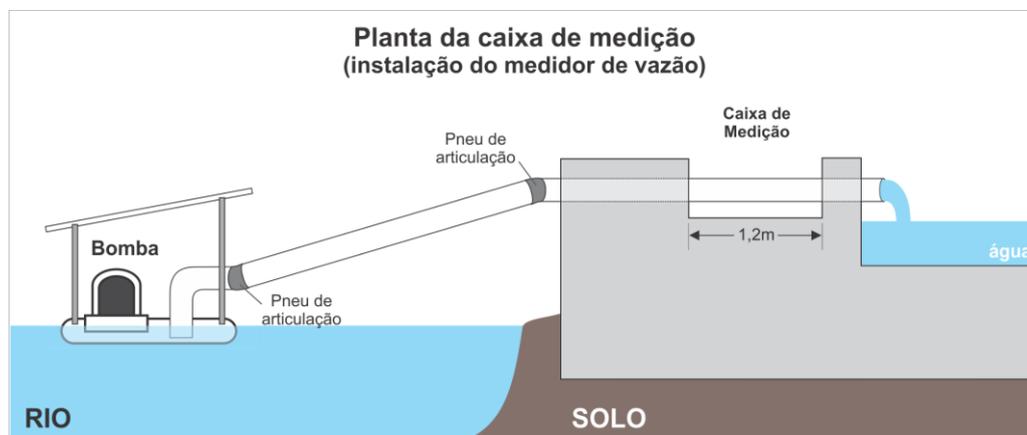
Figura 8 – Fotografia de Micro Usina Solar utilizada nas estações telemétricas



Fonte – Fotografia de Micro Usina Solar, disponível no portal.GOV.BR<sup>8</sup>

A Caixa de Medição deve ser construída próxima à bomba de captação, conforme ilustração da figura 9. A caixa deverá ter 1,2 metros de comprimento e a largura depende do calibre da tubulação, deixando espaço suficiente para realização da manutenção do sistema quando necessário.

Figura 9 – Esquema da Planta da Caixa de medição da captação



Fonte: Ilustração original, adaptada da apresentação do projeto GAN no Prêmio ANA em 22/03/2020

O resultado deste sistema pode ser conferido em tempo real pela plataforma do sistema GAN na internet: <https://gan.iacuft.org.br>.

Mesmo para visitantes, o portal divulga os valores aferidos nas estações, concluindo a fase inicial do projeto, que foi a implementação do monitoramento. A partir destes dados,

que são públicos, novos estudos como este poderão ser realizados, sobre a capacidade hídrica da bacia.

### 3.3 Software GAN

Como parte desse amplo sistema, para lidar com os dados coletados, foi desenvolvido um programa de computador preparado para receber as informações sobre disponibilidade e retiradas de água na bacia do rio Formoso e auxiliar na gestão das outorgas.

Objetivos específicos do software:

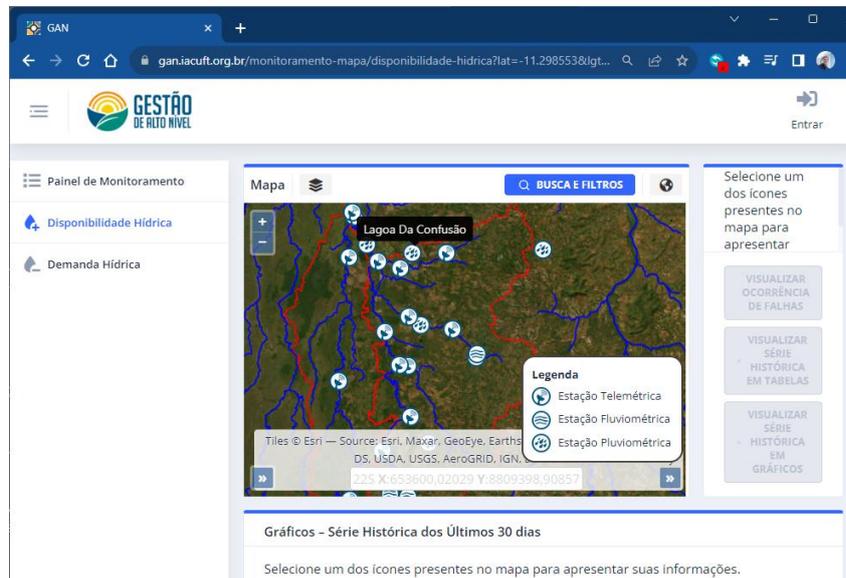
1. Registrar os dados dos processos de outorgas de água;
2. Registrar os pontos de intervenção, georeferenciadas, em três classes distintas: barramentos, captações em barramentos e captações em cursos d'água;
3. Registrar os dados dos equipamentos de medição de nível e vazão, bem como os transmissores utilizados nas intervenções;
4. Criar Sistema de Informação Geográfica para cadastro, consulta e análises técnicas, com informações hidro referenciadas sobre a disponibilidade e demanda hídrica;
5. Apresentar as informações sobre a disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas com base nos dados coletados da Agência Nacional de Águas;
6. Automatizar as rotinas para consulta de bombas e equipamentos implantados nos pontos de intervenção por meio da tecnologia de Quick Response (QR) Code;
7. Gerenciar a inclusão e acesso ao sistema de informação dos proprietários e gestores (fiscalização) do monitoramento das intervenções em uma bacia hidrográfica;
8. Criar um portal do sistema para que órgãos de gestão e fiscalização dos recursos hídricos e público interessado, acompanhem as informações de gestão da bacia.

*(fonte: Portfólio de Softwares do NIT - Núcleo de Inovação Tecnológica da UFT)*

O sistema utiliza dados coletados por estações de monitoramento convencionais e telemétricas da Agência Nacional de Águas, acessados por meio de serviços web.

Figura 10 – Tela do “Visitante” do sistema GAN, disponível em:

[www.gan.iacuft.org.br](http://www.gan.iacuft.org.br)



Fonte: Plataforma GAN - disponível em: [www.gan.iacuft.org.br](http://www.gan.iacuft.org.br)

O serviço apresenta as estações Telemétricas, Fluviométricas e Pluviométricas interligadas ao sistema, georreferenciadas e com informações em tempo real (a partir de 15 em 15 minutos).

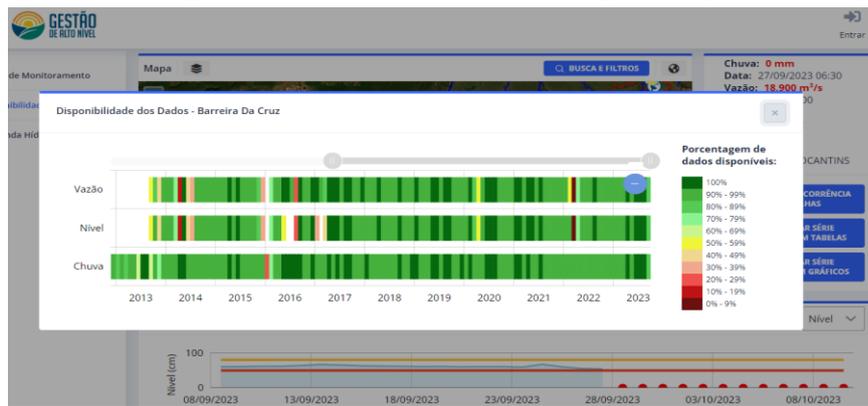
Figura 11 – Detalhes dos dados das estações telemétricas, pluviométricas e fluviométricas.



Fonte: Plataforma GAN - disponível em: [www.gan.iacuft.org.br](http://www.gan.iacuft.org.br)

A opção 1 mostra a taxa de transmissão dos dados. São medidos as falhas na coleta ou transmissão pelo processo automatizado de leitura. Esta confirmação ajuda a garantir a qualidade dos dados obtidos e identificar informações faltantes.

Figura 12 – Disponibilidade dos dados e falhas por estação de medição

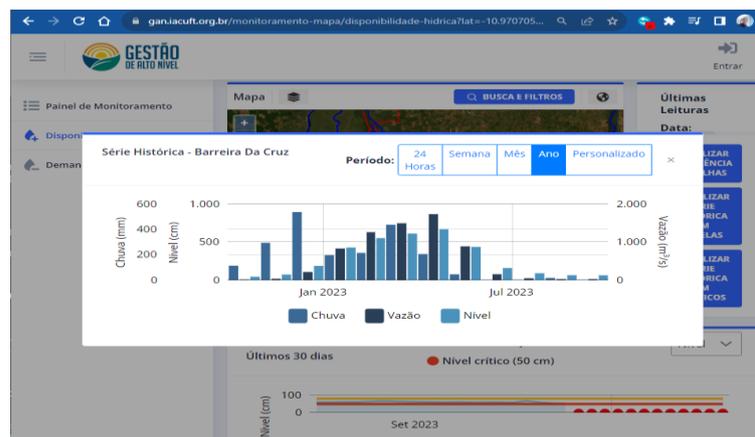


Fonte: Plataforma GAN - disponível em: [www.gan.iacuft.org.br](http://www.gan.iacuft.org.br)

A opção 2 apresenta as tabelas de dados já organizados pelo sistema, com opções para exportar os dados para Excel ou formato .CSV. Esta funcionalidade foi amplamente utilizada nesta monografia e facilita novos estudos estatísticos sobre os dados, como obtenção de valores faltantes ou predição.

A opção 3 apresenta a série histórica da vazão, do nível e da chuva para diferentes períodos: Últimas 24 horas, última semana, último mês, no ano atual ou período personalizado:

Figura 13 – Série histórica de Chuvas, Vazão e Nível do rio



Fonte: Plataforma GAN: [www.gan.iacuft.org.br](http://www.gan.iacuft.org.br)

O sistema possui diversas outras funcionalidades e perfil de administração. Mesmo sem cadastro prévio, em sua versão para visitantes o sistema apresenta diversas informações

públicas sobre as outorgas vigentes. O software teve o pedido de registro n.º **BR 51 2018 000848-8**, depositado em 30/05/2018, Status: **Concedido**<sup>9</sup>.

O sistema de monitoramento deverá ser utilizado cada vez mais como instrumento de planejamento, por munir e orientar os Comitês de Bacias Hidrográfica, as Secretarias de Meio Ambiente e Recursos Hídricos e os órgãos de fiscalização ambiental com informações de suporte técnico para a tomada de decisões.

### 3.4 Resultados do Projeto GAN

O projeto GAN produziu diversos resultados positivos para a região e teve sua metodologia replicada e ampliada para outras bacias hidrográficas do Brasil. O sistema permitiu à Naturatins e à ANA aprimorarem suas atividades de fiscalização, especialmente de forma remota, resultando em redução de custos, mais informação disponível e maior uso de tecnologia. Outro resultado importante é a funcionalidade do GAN de envio de alertas sobre a variação do nível da água do rio para os irrigantes.

O **Rio Javaés**, que banha os estados de Goiás e Tocantins, foi o primeiro de domínio da União (interestadual ou transfronteiriço) do Brasil a contar com estações telemétricas de monitoramento remoto de suas captações de água. Até setembro de 2020 foram 25 estações de monitoramento de captações instaladas, permitindo não só o monitoramento pela ANA em tempo real, de Brasília, mas também permitindo que os usuários monitorem suas próprias captações e o cumprimento da regra operativa para evitar sanções. (Agência de Notícias do Governo Federal - 14/09/2020) e porque a cobrança pelo volume retirado também está disponível no portal GAN.

O monitoramento remoto dos usos da água para irrigação no rio Javaés envolve uma área irrigação total com aproximadamente 30 mil hectares e uma vazão outorgada (autorizada pela ANA) total de 140.716 metros cúbicos por hora (ou 39,1 m<sup>3</sup>/s).

O **Rio Formoso** é um rio Tocantinense e recebeu a tecnologia em todas as 94 bombas de sua bacia. (Agência de Notícias do Governo Federal - 14/09/2020)<sup>10</sup>.

---

<sup>9</sup> <https://ww2.uft.edu.br/index.php/nit/vitrine-tecnologica/portfolio-de-sofwares/25925-sistema-de-informacao-gestao-de-alto-nivel-gan-iac-uft>

<sup>10</sup> <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/rio-javaes-to-recebe-primeira-estacao-do-brasil-para-monitoramento-remoto-de-captacoes-de-agua-em-rios-da-uniao>

**Expansão:** Quem acompanhou os dados no portal GAN durante os meses de maio e junho certamente reparou as diversas estações de monitoramento por diversas áreas do estado de Minas Gerais. A expansão teve início no rio Verde Grande (MG/BA) de domínio da União. Inicialmente 90 usuários com outorgas regularizadas na bacia implantaram estações de medição da captação no rio Verde Grande, que é um dos principais afluentes do Rio São Francisco. Este avanço no controle e gestão dos recursos hídricos na bacia minimizou as incertezas sobre o uso da água na região e também os riscos de escassez hídrica na bacia. (Agência de Notícias do Governo Federal - 12/02/2021)<sup>11</sup>.

Após a implantação do sistema GAN a bacia não mais secou como em 2016, e o monitoramento transparente e online facilita o trabalho de fiscalização do estado, criando um ambiente em que os produtores tendem a respeitar os limites estabelecidos pelas outorgas.

### 3.5 Considerações Finais

Após a apresentação dos principais conceitos de hidrologia envolvidos neste estudo e levantado a literatura básica da gestão hídrica, a metodologia foi desenvolvida embasada nos dados disponíveis, tanto para as análises como para o balanceamento das outorgas. Isto significa que o sistema de gestão hídrica da bacia tem espaço para evoluir, por exemplo no detalhamento das atividades nas propriedades outorgadas. Hoje estamos limitados às informações disponíveis nas outorgas, mas que, conforme demonstrado, viabiliza um balanceamento hídrico baseado em critérios, o que é um grande avanço se considerarmos o contexto da crise hídrica citada na introdução.

O balanceamento de outorgas hídricas é um componente crítico da gestão sustentável dos recursos hídricos, garantindo que a distribuição de água entre os diversos usuários seja feita de forma equitativa e eficiente. Os trabalhos apresentados caminham no sentido de combinar modelagem hidrológica, critérios de prioridade bem definidos e mecanismos de monitoramento robustos. Estudos de caso específicos, como este, oferecem insights valiosos sobre a aplicação prática dessas metodologias e os desafios enfrentados na implementação de políticas de outorga.

---

<sup>11</sup><https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/bacia-do-rio-verde-grande-mg-ba-tera-medicao-em-tempo-real-das-captacoes-de-agua>

Além disso, a necessidade de se preservar os recursos hídricos demandam um marco regulatório claro e adaptativo, capaz de responder às mudanças nas condições ambientais e nas demandas dos usuários. A gestão integrada de recursos hídricos (GIRH) surge como uma abordagem promissora, promovendo a coordenação entre diferentes setores e níveis de governo para alcançar o uso sustentável e justo da água. Esses trabalhos fornecem uma base sólida para o desenvolvimento de soluções inovadoras e práticas de gestão mais eficazes, essenciais para enfrentar os desafios futuros na administração dos recursos hídricos.

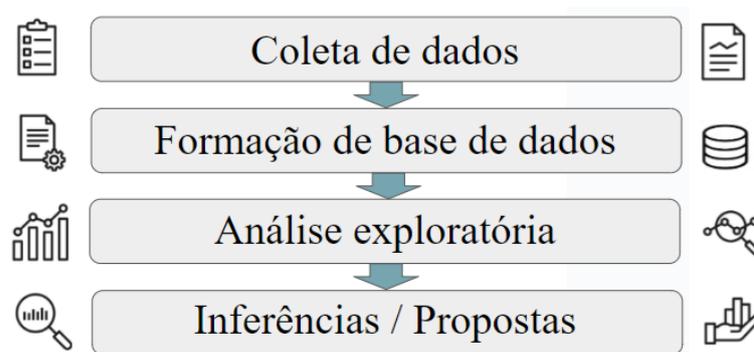
#### 4 METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada a partir de uma abordagem indutiva, onde a metodologia apresentada não se restringe à sua aplicação na bacia hidrográfica em questão, mas também serve como um modelo para outras regiões similares. O trabalho adota uma pesquisa documental a partir do estudo dos documentos relacionados ao planejamento, execução, monitoramento e avaliação do Projeto Gestão de Alto Nível para contribuir com a proposta de mecanismo de balanceamento de outorgas de uso de água para a produção agrícola.

Foi realizada uma pesquisa exploratória aplicada no estudo de caso do projeto GAN para investigar e compreender fenômenos e relações que podem ser aplicadas em outros contextos. Destaca-se que este trabalho é eminentemente quantitativo, pois utiliza métodos estatísticos na análise dos dados obtidos a partir de instrumentos de sensoriamento com Internet das Coisas (IoT), validando as informações que serão usadas na proposta de balanceamento apresentada.

A Figura 14 apresenta o protocolo experimental adotado para o desenvolvimento deste trabalho, objetivando a construção do mecanismo de balanceamento para a gestão da emissão de outorgas de uso de recursos hídricos.

Figura 14 – Protocolo experimental adotado



Fonte: Imagem original deste trabalho - em software CorelDraw.

A análise tem por objetivo entender os dados disponíveis na plataforma GAN e aplicar as informações obtidas em uma proposta de modelo de balanceamento das outorgas. São informações e análises relevantes para o Naturatins, os Comitês Gestores da Bacia e sociedade como um todo sobre a gestão dos recursos hídricos da bacia. De modo geral este trabalho organiza e confronta as seguintes informações:

- Vazões obtidas pelos registros do sistema GAN (m<sup>3</sup> / mês);

- Outorgas vigentes: Volume outorgado, vencimento, finalidade (culturas) e área irrigada;
- Nível do rio (estações de monitoramento GAN em cm), e
- Precipitação pluviométrica (informação do INMET também disponível no portal GAN).

#### 4.1 Coleta de dados

Os dados utilizados neste trabalho tiveram a seguinte origem:

**a) Outorgas:** Os dados das outorgas foram fornecidos pela NATURATINS. O recorte espacial dos dados foi: Outorgas dentro da Bacia do Rio Formoso (Rio Formoso e Afluentes) especificamente naquelas outorgas onde existem estações de transmissão das vazões para a Plataforma de Monitoramento - GAN. Os dados foram enviados pela NATURATINS no dia 12 de março de 2024. Foram enviados 60 Extratos de Outorgas vigentes, sem a identificação do outorgado (apenas nome do meio e últimos 3 dígitos do CPF ou CNPJ do outorgado), com os seguintes metadados: Número do Processo, Modalidade (Autorização ou regularização), Identificador da(s) bomba(s) no identificador do Projeto GAN (quando existente), Tipo de Captação (Apenas Superficiais. Outorgas subterrâneas não fazem parte do escopo deste trabalho), Manancial, Bacia, Sub-bacia, Finalidade e finalmente o Regime de Captação. O formato do regime de captação variou um pouco. Algumas vezes foram apresentados já os valores máximos por mês outorgado, mas em geral o regime contém os seguintes dados:

1. Vazão máxima por hora (em m<sup>3</sup>) por cada mês de outorga;
2. Quantidade de horas de captação permitida por dia;
3. Período da outorga: Mês(es) permitido(s).

Nestes casos a vazão máxima permitida foi obtida multiplicando-se a vazão máxima por hora, pela quantidade de horas outorgadas, e por 30 ou 31 dias de acordo com o mês.

Foi feita uma busca pelos identificadores GAN na plataforma, e dos 60 extratos enviados, encontramos registros de 45 delas na plataforma. O resultado final foi uma tabela consolidada com com 45 registros com identificadores (GANid), utilizadas como base outorgas doravante, constituindo a amostragem total considerada neste trabalho.

**b) Vazões:** São as retiradas do manancial (rio), independente de serem medidas. Até mesmo as retiradas consideradas “irrisórias” (até 1m<sup>3</sup>/dia) precisam estar registradas na autoridade outorgante, no caso do estado do Tocantins, a Secretaria do Meio Ambiente e Recursos

Hídricos - SEMARH através do Instituto Natureza do Tocantins - NATURATINS. Os dados das vazões foram obtidos no Portal do Projeto GAN<sup>12</sup>:

Os dados foram exportados da plataforma pelo link “**Demanda Hídrica**”, onde as outorgas podem ser localizadas pelo mapa ou pelo identificador na plataforma: GAN\_id.

#### 4.2 Formação de base de dados

Os dados brutos foram tratados e manipulados para serem utilizados neste trabalho. Os dados consolidados estão armazenados em tabelas do “Google Sheets”, de onde foram disponibilizadas para o dashboard<sup>13</sup> on-line e também para os cadernos do “Google Colab” onde análises foram feitas em *Python*.

Os gráficos das figuras 17 a 33 foram realizados no Excel (*outorgas\_x\_vazao.xlsx*), onde boa parte da manipulação ocorreu. A ferramenta oferece os recursos necessários para a customização dos gráficos. Os arquivos .csv exportados pela plataforma GAN tem um formato contendo dados diários e totalizados, em um estilo típico de relatório. A primeira aba do arquivo Excel (*outorgas\_x\_vazao.xlsx*) contém os dados da tabela consolidada das outorgas. Depois uma aba foi criada para cada outorga, onde os dados da outorga se juntaram aos dados das vazões medidas na plataforma GAN. Nesta etapa foi feita a subtração entre o total outorgado e o total retirado (medido). Ao final foi consolidado estes valores para todas as outorgas analisadas na última aba.

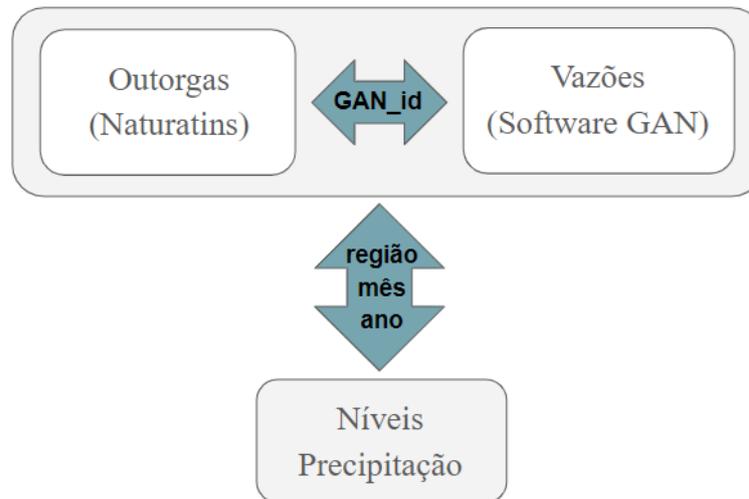
A associação entre os dados das outorgas e os dados da plataforma GAN foi feita pelo GAN\_id, que é o identificador da estação de transmissão de dados das vazões. Cada GAN\_id das outorgas foi localizado na plataforma e extraímos o .csv com as vazões existentes (todos os anos):

---

<sup>12</sup> <https://gan.iacuft.org.br/monitoramento-mapa/demanda-hidrica>

<sup>13</sup> <https://lookerstudio.google.com/embed/reporting/ec784743-f58a-48d2-9582-b38de2450e8a/page/sFHtD>

Figura 15 – Relacionamento entre os dados utilizados nas análises



Fonte: Imagem original - em software CorelDraw.

Foi necessário manipular parte dos dados manualmente, ao extrair as linhas de vazão total de cada de cada outorga, e montar uma tabela só com todas as outorgas. E depois disso, ainda desnormalizar esta tabela de forma que os registros da vazão para cada mês/ano estivessem individualizados (pois todos os anos foram exportados em um único arquivo, para cada GAN\_id). Foram utilizadas ferramentas de tratamento de dados presentes nas versões atuais do Excel, onde as colunas são transformadas em linhas, para que a tabela pudesse ser utilizada pelos algoritmos estatísticos (desnormalização dos dados). Foi o caso das colunas de Janeiro a Dezembro, que foram transformadas em apenas uma coluna “mês”, com valor referente ao mês da coluna eliminada e a quantidade de registros foi multiplicada por 12. Outros ajustes menores foram realizados, como transformar os meses e o ano em tipo data, para que pudessem ser utilizados como período no Looker Studio (antigo Google Data Studio).

Apresentamos agora algumas características dos dados e a metodologia de tratamento realizada para que a comparação pudesse ser realizada mantendo-se o valor estatístico dos dados obtidos.

**1. Recorte espacial dos dados:** O subconjunto das outorgas do Rio Formoso e do Rio Urubu que possuem estação telemétrica da vazão, e com os dados disponíveis na plataforma GAN. Ou seja, do conjunto de 60 outorgas (recebidas da Naturatins da região dos rios Urubu e Formoso), foram selecionadas as 42 que são monitoradas (código GAN encontrado na plataforma *online*), e destas foram selecionadas as 25 captações onde cada outorga

corresponde a uma bomba. Isto porque destas 42 outorgas, 17 utilizam mais de uma estação telemétrica onde algumas delas apresentam características de barramento.

A falta de informação sobre a proporção da captação de cada bomba, somada à irregularidade dos dados transmitidos fez com que estas outorgas também fossem desconsideradas, de forma a se preservar a proporção entre a outorga e a respectiva vazão aferida, que é o nosso objetivo.

**2. Recorte temporal:** Embora o trabalho considere *todos* os dados disponíveis, os gráficos das figuras 19 a 24 foram realizados com dados de 2023, por ser o ano completo mais recente que temos disponível, e por ser o ano com o maior volume de retiradas registrados (em nossa amostragem): Quase 85 milhões de m<sup>3</sup> (informação disponível no primeiro gráfico do Dashboard disponibilizado). Também, em geral, existem mais dados disponíveis de 2018 a 2023. Algumas outorgas, porém, possuem dados anteriores. Na exportação dos dados do GAN, foi utilizada a opção “Todos os Períodos”. Para as outorgas foi considerada apenas a vazão *vigente* para efeito de comparação, desconsiderando a informação de alguma eventual alteração na outorga de um ano para outro, pois não temos informações de mudanças no volume outorgado.

**3. Unidade da OUTORGA:** As outorgas especificam a vazão máxima permitida em metros cúbicos por hora e a quantidade de horas por dia, ou diretamente a vazão máxima por dia. As devidas multiplicações foram realizadas de forma a se obter a vazão máxima POR MÊS, com a consolidação dos dados coletados.

**4. Unidade da VAZÃO:** Já a medição da vazão foi disponibilizada em VOLUME (m<sup>3</sup>) POR DIA, conforme roteiro explicativo e “screenshots” da plataforma GAN abaixo.

**5. Dados Faltantes:** Podemos perceber que muitas vezes não temos os dados de todos os dias de um determinado mês. Não podemos dizer se houve um erro de transmissão naquele dia, ou se não houve captação. Por isso este trabalho considera apenas a soma da vazão total de cada mês (dos X dias disponíveis no GAN), e a comparação com a vazão outorgada está sendo aferida e divulgada. Desta forma a comparação da vazão medida (que é um subconjunto da vazão total ocorrida) pode estar um pouco subestimada, mas esta diferença foi aferida e mostrada ao longo do trabalho, e, portanto, faz parte das conclusões a mitigação de erros de leitura e transmissão.

**6. Captação fora do Período Outorgado:** Outra situação percebida em 88% das vazões consideradas foi a existência de captações em um período diferente daquele outorgado. Neste caso a comparação seguiu normalmente e a quantidade de captações fora do período

autorizado foi contabilizada como CAPTAÇÕES IRREGULARES e a sua proporção apresentada como resultado da análise.

**7. Ajustes realizados na base / ETL (Extract, Transform and Load - Extração, Transformação e carga):** Foi criada uma variável para a vazão de cada mês do ano (o que não existia na base original, pois não existe nenhuma outorga entre os meses de setembro, outubro e novembro). Na criação do campo mês, significa ter valor zero para a outorga nos meses de setembro, outubro e novembro. O que não gera problemas, pois os totais por mês são o somatório das vazões ou outorgas existentes.

A quase totalidade das outorgas autorizam retiradas entre dezembro e agosto (do ano seguinte). Apenas duas das outorgas analisadas autorizaram alguma retirada no mês de agosto. Muitas vezes a outorga permite retiradas em meses alternados. Em geral as outorgas variam de 4 a 9 meses por ano.

**8. Consolidação dos dados:** Para cada outorga foi feito o somatório da vazão total de cada mês, subtraímos esse valor da vazão outorgada, e quando negativo (vazão maior do que a outorga), o valor foi contabilizado como vazão irregular através da subtração vazão outorgada - vazão medida, que foi feita para cada mês.

Foi feita a comparação de cada mês, apresentando os dados originais e os resultados. O processo foi automatizado em tabelas usando células com programação VBA (Excel).

Outros 2 arquivos Excel foram criados: ***disponibilidade\_nivel\_chuva.xlsx***, onde os dados das três estações telemétricas de monitoramento foram consolidados. Neste caso, por se tratar da mesma região das outorgas analisadas, a conexão entre a disponibilidade (nível e precipitação) e a demanda foi o mês/ano do registro.

O terceiro arquivo Excel gerado foi o ***balanceamento.xlsx***, onde os índices propostos das outorgas foram calculados e o balanceamento foi automatizado na fórmula proposta.

### **4.3 Análise Exploratória dos dados**

Foram utilizadas 2 ferramentas na presente análise. A primeira e principal delas foi o Excel (365 MSO versão 2408), onde foram feitos os relacionamentos dados entre as vazões e as outorgas (GAN\_id), e entre a demanda e a disponibilidade (mês/ano).

No excel foram organizados os dados brutos, a saber, tabela consolidada dos extratos das outorgas e as extrações da plataforma GAN, que contém a vazão diária de cada bomba

de extração (GAN\_id), e onde foram realizadas as manipulações dos dados que geraram os gráficos das figuras 16 a 28 e a figura 31.

A segunda ferramenta utilizada foi o Python (Google colabory V4), em especial as bibliotecas Pandas 2.2.2 e Matplotlib 3.9.1, que geraram os gráficos das figuras 29, 32, 33 e 34.

Como é típico da análise exploratória, foram identificados as variáveis relevantes e o seu comportamento, o que permitiu a criação dos índices propostos apoiados em critérios claros e bem definidos.

#### **4.4 Inferências / Propostas**

Os diversos achados e inferências obtidas a partir da análise realizada estão detalhadas no capítulo 5: Resultados, assim como propostas de ações para aperfeiçoamento do sistema. Apresentamos agora a metodologia da proposta de balanceamento das outorgas vigentes.

##### **Balanceamento das outorgas**

O Balanceamento das outorgas em caso de seca é um instrumento previsto no Decreto nº 2432 que regulamenta a concessão de outorgas conforme trechos abaixo:

**“DA SUSPENSÃO E REVOGAÇÃO DA OUTORGA**

Art. 23. A outorga poderá ser **suspensa total** ou **parcialmente** pelo NATURATINS, por prazo determinado ou não, sem indenização ao usuário, nas seguintes circunstâncias:

I - descumprimento das condições da autorização;

**II – situações de calamidade, inclusive as decorrentes de condições climáticas adversas;**

III – prevenção ou reversão de grave degradação ambiental;

IV – Atendimento aos usos prioritários, de interesse coletivo, para os quais não se disponha de fontes alternativas;

V – Inadimplência dos valores fixados para cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Suspensa a outorga é mantido o registro do uso correspondente.”

“DO CONTROLE ESPECIAL

Art. 25. Ocorrendo eventos que resultem em demandas superiores à oferta de recursos hídricos numa bacia NATURATINS poderá instituir regime de controle especial do uso de recursos hídricos pelo período que se fizer necessário. O usuário impedido da utilização dos recursos hídricos nas condições autorizadas, em razão dos eventos mencionados no caput, poderá solicitar ao Comitê da Bacia Hidrográfica ou, na ausência deste, ao NATURATINS, providências para o estabelecimento do regime de controle especial.

§ 2º Instituído o regime de controle especial

**I - serão prioritariamente assegurados os volumes mínimos necessários para abastecimento humano, de animais, preservação da fauna e atividades econômicas, nessa ordem.**

II - Poderão ser racionadas as captações e derivações de água, e impostas restrições aos lançamentos de cargas e ao uso da água para diluição de efluentes.

§ 3º O regime de controle especial será implementado de acordo com critérios instituídos pelo NATURATINS em regulamento próprio, garantida a participação dos Comitês de Bacia Hidrográfica, se houverem.”

Com relação ao artigo I do § 2º, a presente proposta de balanceamento trata apenas das outorgas destinadas à irrigação, pois estas representam a quase totalidade do volume outorgado. As retiradas para abastecimento humano, para dessedentação animal ou para agricultura familiar são consideradas irrisórias, não sendo sujeitas ao balanceamento realizado aqui.

Vale destacar que hoje já existe um sistema de identificação do nível de alerta do rio: **laranja** (alerta) ou **vermelho** (urgência). Esta proposta de balanceamento pretende evoluir esta classificação e propor medidas efetivas para a recuperação do rio, e para isto utiliza os seguintes critérios:

- As maiores outorgas deverão reduzir mais suas retiradas: Quanto maior a vazão, mais a sua redução irá contribuir para a preservação do rio.
- As outorgas com menor eficiência deverão contribuir mais com a redução: Isso irá fazer com que os produtores invistam em aperfeiçoar o regime de irrigação, e
- As outorgas muito próximas do vencimento deverão ter o corte maior do que as demais. Com isso os produtores precisam regularizar suas outorgas com frequência.

Todos os dados para realizar este balanceamento estão disponíveis na amostra recebida e podem ser facilmente calculados. A eficiência da outorga e o tempo de validade podem ser objeto da diligência e investimento do produtor, fazendo com que sua outorga esteja sempre regularizada, e as melhores práticas de irrigação sejam adotadas.

A aplicação do balanceamento começa com uma **meta de redução**. Este valor deve ser calculado como suficiente para recuperar o nível desejado do rio em um determinado trecho. Exemplo: O nível do Rio está 10% abaixo do seu nível normal para uma determinada data. Estes 10% correspondem a um volume que deve ser calculado para cada estação de monitoramento, considerando o *balanço hídrico* do trecho, que deve ser conhecido dos gestores: Naturatins, e/ou Comitê da Bacia Hidrográfica. Este volume calculado para a recuperação do rio deve ser a meta a ser subtraída do total de todas as outorgas vigentes naquele trecho a montante do rio. Neste caso, o Naturatins, ou o próprio comitê da bacia devem calcular que uma redução, por exemplo de 15% nas retiradas, é suficiente para recompor o nível desejado do rio. Com esta meta o balanceamento é processado, resultando na redução mínima deste valor estipulado como meta.

Objetivamente, estes 3 critérios são calculados da seguinte maneira:

- **Índice de Eficiência da outorga ( $E$ ):** O índice calculado para cada outorga, dividindo-se o volume total outorgado( $m^3$ )/mês pela área total irrigada em hectares. Este valor é normalizado (transformado para o intervalo proporcional entre 0 e 1). O valor para a meta de redução, será multiplicado por este índice. Com isso as outorgas menos eficientes sofrerão um corte maior, e a outorga mais eficiente não será atingida por este critério. A outorga mais eficiente de todas não será afetada com relação a este quesito, e a menos eficiente terá sua redução final no mínimo igual à redução prevista na meta. Quanto **maior** o valor deste índice de Eficiência for, **menor** é a prioridade da outorga, pois ele reflete o volume de água necessária por hectare/mês, e as propriedades que precisam de menos água por hectare serão menos afetadas. Obtido dividindo-se a vazão total outorgada por mês pela área irrigada:

$$E: \text{Eficiência da outorga} = \frac{VO: \text{Vazão Outorgada por mês (total } m^3)}{AI: \text{Área irrigada (ha)}} \quad (1)$$

- E normalizando o valor obtido:

$$E_{norm} = \frac{E_i - E_{min}}{E_{max} - E_{min}} \quad (2)$$

Onde:

- $E_i$  é a eficiência calculada para a outorga em questão;
- $E_{min}$  é o menor valor de eficiência de outorga do nosso conjunto de dados;
- $E_{max}$  é o maior valor de eficiência de outorga do nosso conjunto de dados;

-  $E_{norm}$  é o índice de eficiência da irrigação.

- Índice de Volume total Outorgado por mês (V): A estratégia é semelhante. Os valores totais outorgados por mês serão normalizados. Maiores outorgas terão índice de volume maiores. A maior outorga de todas terá este índice de valor 1, e terá sua redução em pelo menos a meta de redução estipulada. Maiores outorgas podem contribuir mais para a manutenção do rio. Quanto **maior** este índice, **menor** será a prioridade da outorga. Então ele será usado diretamente multiplicado pelo fator de redução original.

- Obtido normalizando o volume total outorgado:

$$V_{norm} = \frac{V_i - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (3)$$

Onde:

- $V_i$  é o volume total da outorga em questão (por mês);
- $V_{min}$  é o menor volume outorgado (por mês) em nosso conjunto de dados;
- $V_{max}$  é o maior volume outorgado (por mês) do nosso conjunto de dados;
- $V_{norm}$  é o valor do índice de volume/mês que está sendo calculado.

- Índice de Tempo de validade da outorga (T): Este critério que estimula a regularização da outorga junto a Naturatins. A sua adoção pode ser objeto de discussão no âmbito dos comitês da bacia, pois este critério pode ser considerado mais ou menos justo pelos gestores. O cálculo também é simples. Para cada outorga calculamos a quantidade de dias remanescentes para o seu vencimento. Quanto **maior** este valor, **maior** a prioridade da outorga.

- Obtido normalizando a quantidade de dias de validade da outorga. Quanto **maior** este índice, **maior** a prioridade. Para usá-lo, o índice foi subtraído de 1, de forma que quanto mais dias de validade a outorga tiver, menos a outorga será reduzida quanto a este critério:

$$T_{norm} = 1 - \left( \frac{T_i - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \right) \quad (4)$$

Onde:

- $T_i$  é o Tempo de Validade da outorga;
- $T_{min}$  é o menor Tempo de Validade das outorgas vigentes;
- $T_{max}$  é o maior Tempo de Validade das outorgas vigentes;
- $T_{norm}$  é o índice de Tempo de Validade que está sendo calculado para cada outorga.

Vazão Balanceada das Outorgas (VB):

A vazão balanceada (reduzida) de uma outorga é obtida pelo volume outorgado originalmente menos este mesmo volume outorgado multiplicado pelo fator de redução (meta estabelecida) e por cada um dos índices dos critérios estabelecidos. Seja:

- $VO_i$  o Volume total da  $i$  ésima outorga;
- $fr$  = fator de redução ( meta de redução estipulada );
- $E_i$ : fator de **eficiência** da  $i$  ésima outorga;
- $V_i$ : fator de **volume** total da  $i$  ésima outorga, e
- $T_i$ : fator de **tempo** de validade da  $i$  ésima outorga:

$$VB = \sum_{i=0}^n \left( VO(i). (1 - fr * E_i - fr * V_i - fr * T_i) \right) \quad (5)$$

Onde  $E_i$ ,  $V_i$  e  $T_i$  são os índices calculados para cada outorga de forma que, quanto maior o índice, menor é a prioridade da outorga, e maior a redução da outorga devido a este critério.

Na proposta, este fator de redução ( $fr$ ) será aplicado proporcionalmente ao volume outorgado, e a redução total resultante (balanceada) deverá ser um pouco maior do que a meta estabelecida. Este fator de redução é estipulado para que a redução necessária nas outorgas seja atingida com o menor impacto possível para os outorgados, afetando mais aquelas com baixa produtividade, ou com o vencimento muito próximo.

Percebam que a simplicidade do modelo permite que diferentes fatores de redução (meta de redução) sejam aplicados para cada critério. Assim vamos adotar um fator de redução, **fr1** para o quesito eficiência, **fr2** para volume e **fr3** para o critério do tempo de validade da outorga.

Complementa esta metodologia uma regra para garantir uma retirada mínima para cada usuário. Veja que potencialmente, a fórmula (5), para fatores de redução altos (acima de 33%) o valor da redução tende a ultrapassar os 100%, ou seja, resultar em uma outorga negativa. Nestes casos será necessário aplicar uma cláusula de **outorga mínima** para as outorgas que estão sendo balanceadas. Isto significa definir um *pisso*, ou um *valor mínimo* a ser aplicado nos casos em que a redução do balanceamento resultar em valores muito baixos ou negativos.

A aplicação da regra é simples. Supondo que definimos o valor mínimo de retirada de água em 10% do volume outorgado originalmente. No cálculo da redução da vazão de cada outorga, verificamos se o valor calculado é menor do que este valor mínimo estipulado (redução maior do que 90%), se for, o valor balanceado será este piso:  $VO * 0,1$ .

Considerando então esta vazão mínima 10% do volume outorgado originalmente, a fórmula final fica assim:

$$VB(i) = \begin{cases} VO(i) * (1 - fr1 * Ei - fr2 * Vi - fr3 * Ti), & se (fr1 * Ei + fr2 * Vi + fr3 * Ti) \leq 0,9 \\ VO(i) * 0,1, & se (fr1 * Ei + fr2 * Vi + fr3 * Ti) > 0,9 \end{cases} \quad (6)$$

$$VB = \sum_{i=1}^n VB(i)$$

VB(i) é o valor balanceado de cada outorga, e VB é o volume total após o balanceamento. O uso dos fatores de redução personalizados para cada critério deixa o modelo mais flexível e passa a permitir pesos diferentes no balanceamento, o que possibilita ajustes importantes para os gestores do sistema.

Esta regra garante retiradas mínimas para os usuários, mantendo a aplicação dos critérios estabelecidos e contribuindo para o balanceamento equitativo, equilibrado e ainda baseado nos critérios claros e transparentes descritos. O sistema pode contabilizar também a necessidade de aplicar a vazão mínima, em um determinado balanceamento, para o ajuste dos fatores de redução, assim como a porcentagem mínima para o balanceamento.

## 5 RESULTADOS

Observando-se o conjunto de outorgas recebidas, a primeira informação que se destaca é a forte prevalência das culturas de **Arroz** e **Soja** na região. A grande maioria das outorgas não especifica o tipo de irrigação utilizada. Menos de 10% especificaram explicitamente utilização de irrigação por inundação. O gráfico abaixo mostra que, das 42 outorgas selecionadas na região da bacia do Rio Formoso, 78% delas são destinadas ao cultivo de arroz. 88% ao cultivo da soja. Feijão e milho são culturas comuns nos períodos de seca, para “safrinha”. Melancia também se destaca, sendo a quarta cultura apontada como finalidade da irrigação, sendo citada em 28% das outorgas. Apenas uma propriedade indicou o açaí como destino da irrigação outorgada.

Figura 17 – Frequência das culturas indicadas nas outorgas analisadas como destino da irrigação



Fonte: Gráfico original, gerado em Excel com os dados das outorgas analisadas.

Pela plataforma GAN, mesmo sem analisar os dados, podemos perceber nestas duas imagens da mesma área (figura 18), na região da Lagoa da Confusão, o grande contraste entre o período seco (a) se comparado com o período das águas (b). Não temos a informação da data das fotos, a diferença foi espontânea, obtida em das diferentes fotografias utilizadas nos diferentes níveis de aproximação dos mapas usados na plataforma.

Figura 18 – Contraste das fotos por satélite entre: (a) Período seco e (b) Período de Chuvas

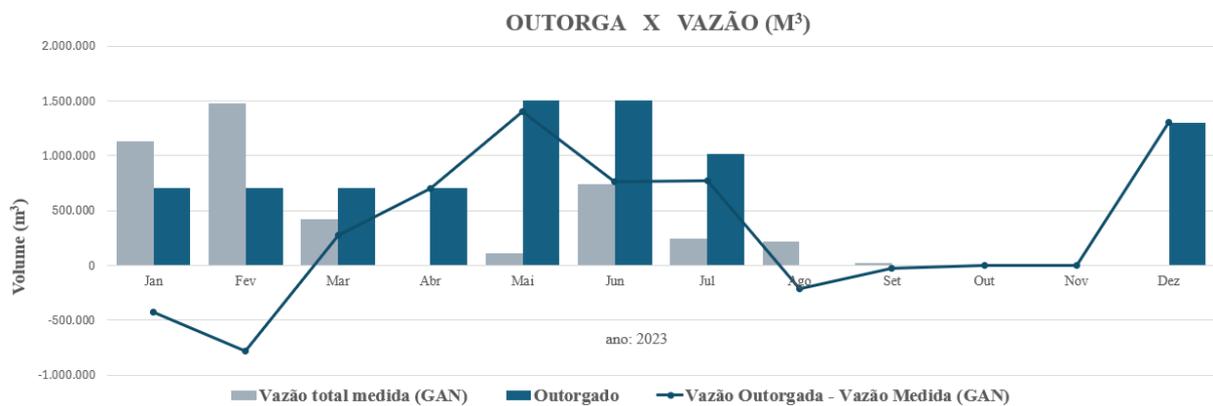


Fonte: “Printscreen” da plataforma GAN: [www.gan.iacuft.org.br](http://www.gan.iacuft.org.br)

### 5.1 Outorgas

O gráfico abaixo mostra o comportamento típico de uma outorga. Em azul escuro temos o volume total outorgado. Em azul claro temos a vazão registrada, e a linha mostra a subtração entre o volume outorgado e a vazão medida. Neste caso (GAN\_id = urubu12), o volume total outorgado para 2023, que foi de 8,15 milhões de m<sup>3</sup>, é superior à vazão total medida no ano: 4,37 milhões de m<sup>3</sup>. Ou seja, em teoria, a propriedade poderia ter retirado mais, 3,78 milhões de m<sup>3</sup>.

Figura 19 – Exemplo típico de comparação entre outorga x vazão

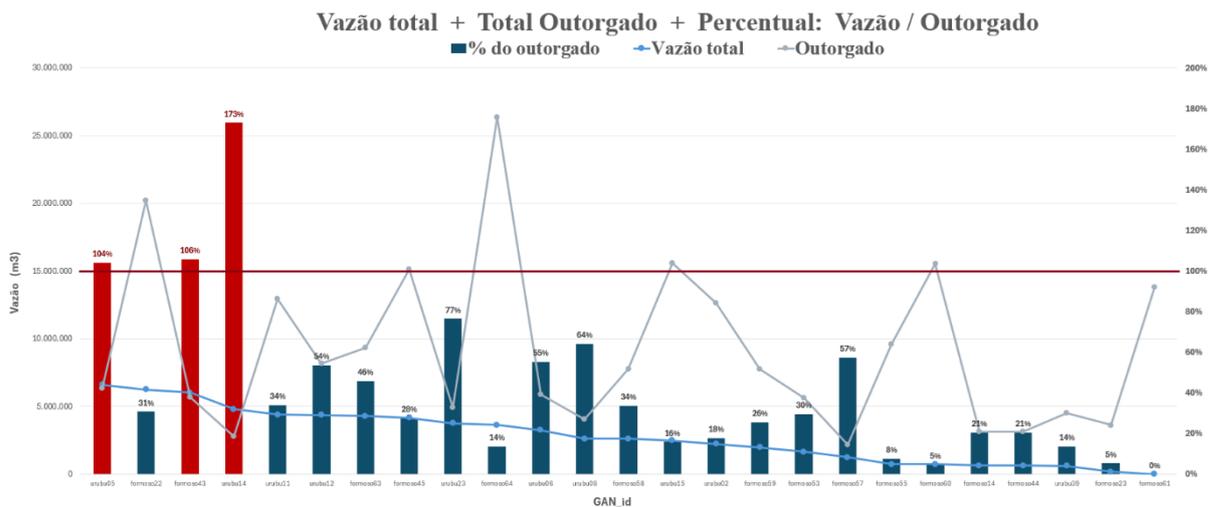


Fonte: Gráfico em Excel, com dados da outorga de GAN\_id urubu12 (Naturatins/Março de 2024).

Mesmo a vazão total sendo bem menor do que o total outorgado, 1,44 milhões de m<sup>3</sup> foram retirados fora do período outorgado. Isso aconteceu nos meses em que a linha (outorga - vazão) ficou abaixo de zero no eixo X, que mede a vazão total em m<sup>3</sup>. Este fato merece destaque pois acontece com a grande maioria das outorgas analisadas.

O objetivo do gráfico 20 é mostrar que a vazão mensurada (linha escura) em geral é muito menor do que o total outorgado (barra em azul mais claro). O gráfico está ordenado pelas maiores vazões. As barras indicam a porcentagem da vazão em relação ao volume outorgado. Em vermelho, as vazões superiores às outorgas, fato importante é perceber que isto acontece justamente entre as maiores vazões. Estas três outorgas irregulares (barras em vermelho) representam 12% da amostragem estudadas. O gráfico está ordenado em ordem decrescente da vazão total (linha azul).

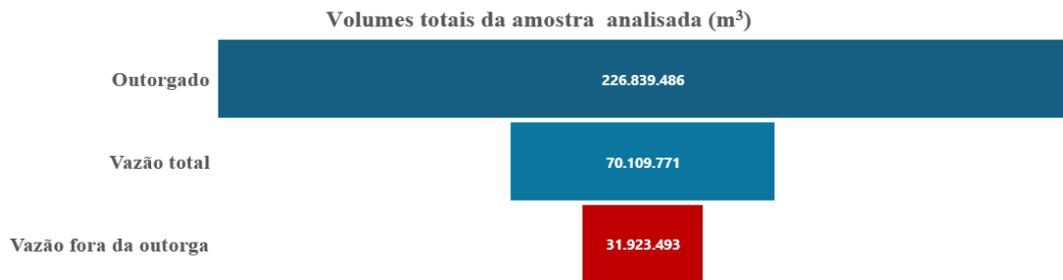
Figura 20 – Vazão total medida, Outorgado e % retirada do outorgado



Fonte: Gráfico em Excel com dados das Outorgas (*Naturatins*) e Vazão (*Plataforma GAN*).

No gráfico 21 abaixo, podemos perceber a diferença entre o total outorgado e vazão efetivamente mensurada. Apenas 30,9% do total outorgado foi efetivamente retirado do rio. Mesmo sabendo que parte da vazão pode não ter sido contabilizada corretamente, isto significa que existe espaço significativo para **revisão das outorgas**.

Figura 21 – Volumes totais da amostragem analisada



Fonte: Volumes totais das Outorgas, das vazões, e das vazões fora do período outorgado (Excel)

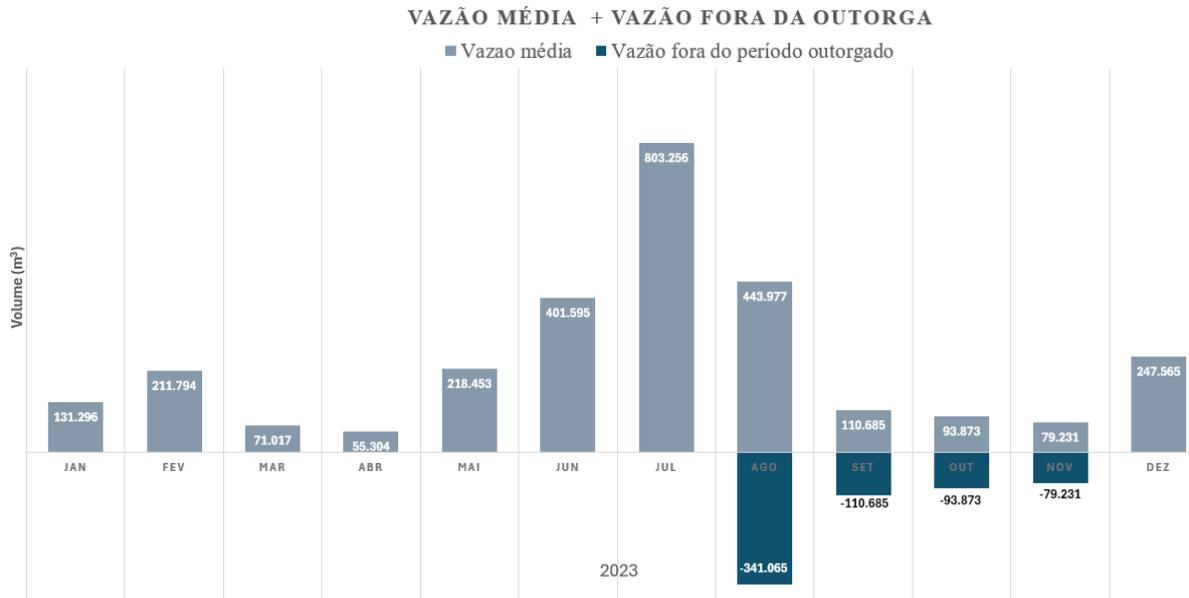
Ainda sobre o gráfico 21, percebemos que quase 32 milhões de metros cúbicos de água foram retirados irregularmente, ou seja, em períodos não permitidos. Isto significa 45,5% da vazão total.

Isto é, além de, em geral, a vazão ser bem menor do que a outorga, boa parte das vezes esta vazão ocorre fora do período outorgado. Isto acontece em 88% das outorgas. Apenas 3 das 25 bombas analisadas retiraram água apenas dentro do período outorgado. Isto revela que é preciso rever as outorgas de forma que a respectiva vazão aconteça dentro do esperado, de forma a permitir o melhor planejamento das vazões em períodos de seca.

Consolidando estas informações, o gráfico abaixo, figura 24, apresenta a média de todas as vazões a cada mês, e em azul mais escuro, abaixo do eixo X, a média de todas as vazões irregulares, ou seja, as vazões que ocorreram fora do período previsto na outorga.

Perceba que isto não significa que não houveram vazões irregulares em outros meses. Mas que na média, o saldo foi positivo para os meses entre dezembro e julho, período em que se concentram a grande maioria das outorgas.

Figura 22 – Vazão total média por mês, e vazão média fora do período outorgado



Fonte: Dados das outorgas (*Naturatins*) combinados com as respectivas vazões (*Plataforma GAN*) - (Excel)

Esta informação é relevante para que o Naturatins avalie as renovações destas e as concessões das próximas outorgas, buscando aproximá-las das reais necessidades dos outorgados dentro da disponibilidade hídrica dos mananciais. Repare que das vazões irregulares: 87% delas retiraram menos água do que o total previsto, ocorre que parte da vazão ocorreu fora do período outorgado, como ilustrado na linha do gráfico da figura 22. Como não existe nenhuma outorga nos meses de setembro, outubro e novembro, toda vazão que acontece neste período é irregular.

Nos casos em que a captação for menor do que o autorizado, devido ao manejo eficiente, este valor pode vir a ser contabilizado em créditos de outorga, e serem considerados nos futuros modelos de balanceamento.

Com as informações do gráfico da figura 22, confirmamos que as captações irregulares ocorrem nos meses de menor nível do rio, em média 3 metros a menos do que nos períodos de cheia. O que também coincide com os períodos de menor precipitação acumulada.

## 5.2 Disponibilidade hídrica

O estudo da disponibilidade hídrica teve como base as três estações de medição mais próximas da região das outorgas analisadas, na região da lagoa da confusão, conforme figura 23, retirada da plataforma GAN:

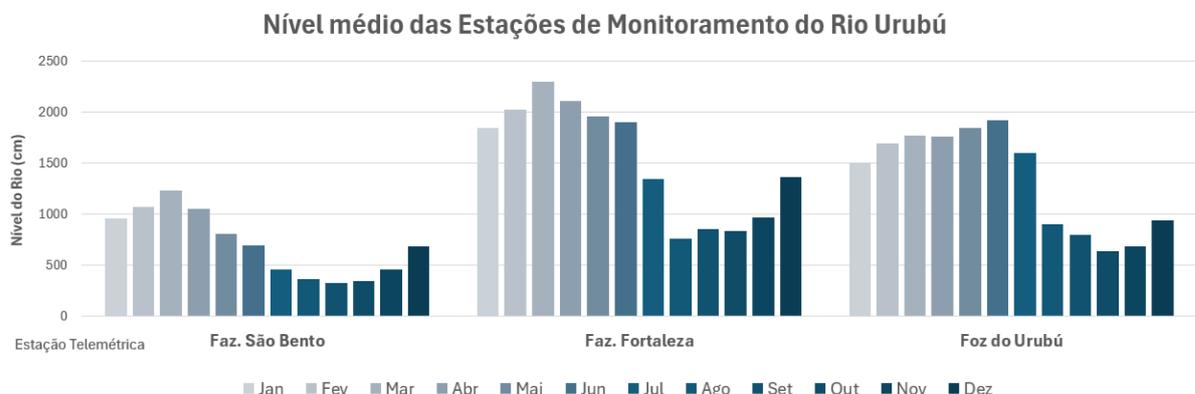
Figura 23 – Estações Telemétricas consideradas na análise de disponibilidade hídrica



Fonte: “Print screen” plataforma GAN - Estações Telemétricas próximas da Lagoa da Confusão.

O gráfico da figura 24 apresenta o Nível médio em cada uma das três Estações Telemétricas, no sentido Jusante, ou seja, em direção à foz. Dentre os quase 50 km entre a Foz do Rio Urubú e a Fazenda São Bento, o google maps identificou aproximadamente 60m de diferença de altitude, sendo a Fazenda São Bento mais alta (230m), e a Foz do Urubú mais abaixo (180m). Apesar da existência de diversas captações entre os pontos, o nível médio do rio é mais alto na Foz, onde o rio tende a ser mais largo.

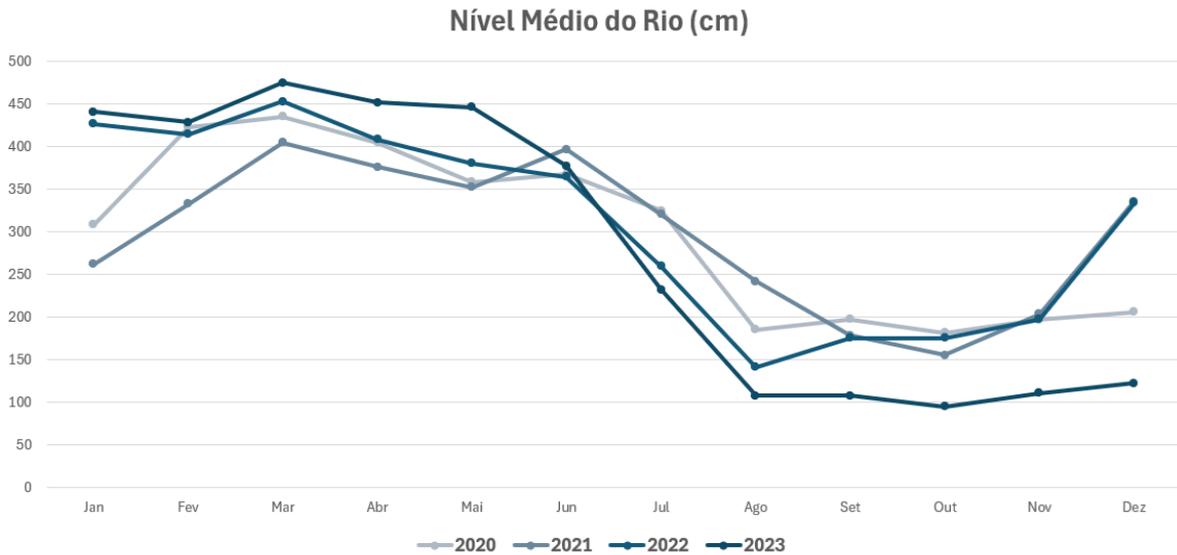
Figura 24 – Nível médio no rio Estações Telemétricas da região analisada



Fonte: Dados das estações telemétricas GAN: Nível (cm) - (Excel).

O gráfico da figura 25 apresenta o Nível médio destas três Estações Telemétricas nos anos de 2020 a 2024. Podemos perceber que o rio tem mantido níveis regulares, e em 2023, apesar de ter o maior nível desde 2020 entre **março, abril e maio**, o rio ficou quase um metro abaixo da média entre **agosto e dezembro**.

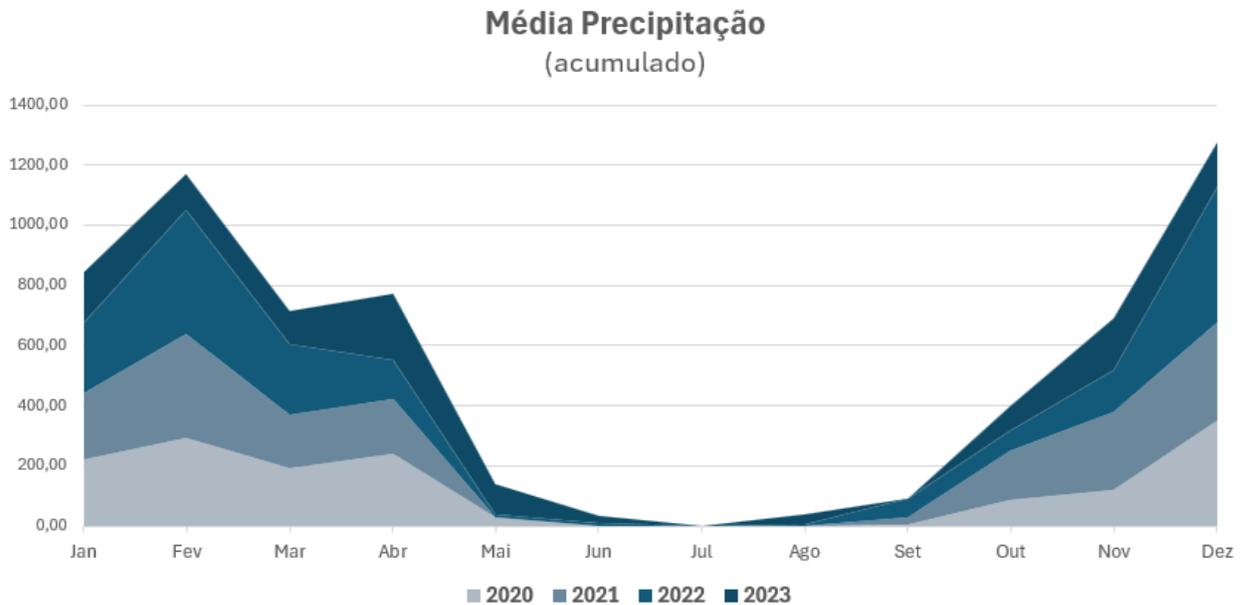
Figura 25 – Nível médio do Rio nas Estações Telemétricas, de 2020 a 2023



Fonte: Estações Telemétricas - Plataforma GAN.

No gráfico da figura 26 podemos ver as médias de precipitação nas 3 Estações Telemétricas da região da Lagoa da Confusão. O gráfico ilustra o “acumulado” dos anos, colocando uma sobre a outra. Podemos perceber uma regularidade nas precipitações (em mm) entre 2020 e 2023, com uma visível redução em 2023 (área em azul mais escuro menor do que as demais).

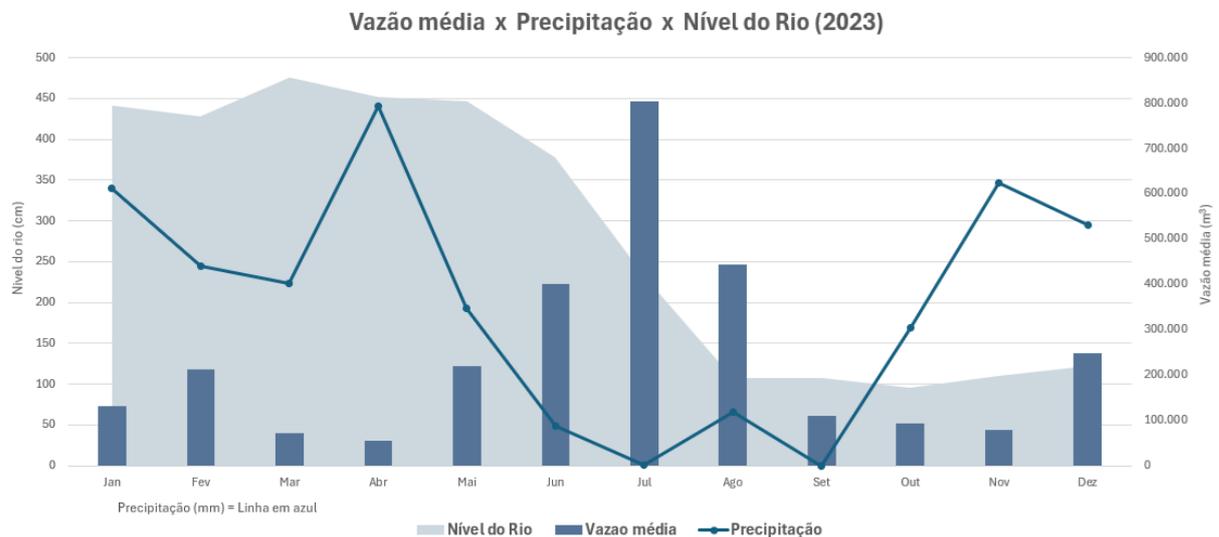
Figura 26 – Precipitação entre 2020 e 2023 em valores absolutos, empilhados



Fonte: Gráfico Excel com Precipitação pluviométrica - Plataforma GAN.

O objetivo do gráfico da figura 27 é relacionar o volume médio das vazões com os dados da disponibilidade hídrica: O nível do rio (em cm) e o nível de chuvas. Podemos perceber que a partir de **maio**, o nível do rio começa a cair bastante, e exatamente no mesmo período a vazão no rio aumenta bastante até o mês de **julho**. A partir de **agosto** a vazão começa a cair, acompanhando o nível mais baixo do rio. A partir daí, em **setembro**, **outubro** e **novembro** a vazão se mantém baixa, acompanhando o nível do rio até **dezembro**, quando o rio começa a recuperar seu nível.

Figura 27 – Relacionamento entre Vazão Total, Nível médio do Rio e Precipitação



Fonte: Vazão Total, Nível médio do Rio e Precipitação pluviométrica - *Plataforma GAN*.

### 5.3 Eficiência da Irrigação

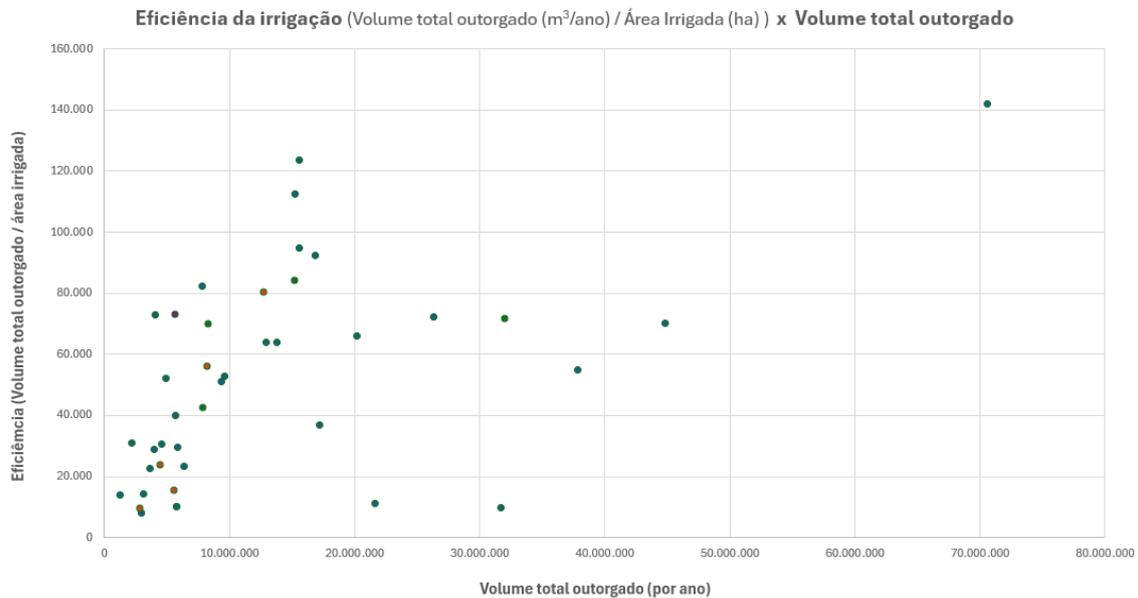
Sabemos que um volume próximo a 100% das outorgas na bacia hidrográfica do Rio Formoso são destinadas à irrigação. Considerando a tendência de crescimento da população local e também da menor disponibilidade de água para a agricultura e pecuária, percebemos que é importante medir e incentivar a eficiência do uso dos recursos hídricos, para garantir a segurança alimentar da população e a preservação do meio ambiente.

De acordo com Coelho e Silva (2013), a eficiência média da irrigação é de 59%, ou seja, para irrigar 1 hectare, fornecendo 4mm/dia (40.000litros/hectare por dia) são necessários 67.800 litros por dia. Isto significa que 41% da água utilizada na irrigação se perde por escoamento superficial, percolação profunda e evaporação.

A implementação de práticas de irrigação mais sustentáveis ou que favoreçam a redução do consumo hídrico é imperativa. Uma dessas técnicas, denominada "irrigação deficitária", foi investigada pela Embrapa. Nessa abordagem, a demanda hídrica das plantas não é integralmente atendida, sendo fornecido apenas o mínimo necessário para o desenvolvimento da planta. O êxito dessa técnica depende da gestão apropriada do potencial hídrico do solo, alcançada por meio do uso de sensores, medição do fluxo de seiva das plantas e monitoramento climático contínuo. Outras alternativas incluem o emprego de sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento (SANTOS & UMMUS, 2015).

O gráfico abaixo faz uma análise da eficiência das outorgas deste projeto. Percebemos que quanto mais próximo do eixo X o ponto estiver, mais eficiente é a outorga correspondente, pois ele vai precisar de menos água por hectare irrigado. A concentração de pontos no quadrante inferior esquerdo do gráfico significa que quanto menor o volume outorgado, maior é a eficiência. Podemos perceber também a existência de grandes volumes outorgados com baixa eficiência. Este portanto deve ser um critério a ser utilizado no balanceamento das outorgas, de forma a fazer com que os usuários procurem aumentar a tecnologia e eficiência de sua irrigação, resultando em menos retiradas do rio.

Figura 28 – Eficiência da outorga: Volume outorgado (m<sup>3</sup>/ano) / área irrigada (hectare)



Fonte: Original deste trabalho. Gráfico em Python - Pandas/Mathplotlib.

Dentre as 45 outorgas recebidas da Naturatins com o GAN\_id correspondente encontrado na plataforma GAN, foi retirada a outorga N<sup>o</sup>: ORH 162/2022. O outorgado é a Secretaria de Infraestrutura, Cidades e Habitação CEINF de Formoso do Araguaia. Esta é uma outorga diferente das demais. Além de conter diversas bombas, algumas são de drenagem para barramento, outras bombas explicitamente estão descritas como: “Estação de bombeamento de drenagem: EBD-03 para fora do perímetro irrigado”. Portanto o indicador de eficiência aqui proposto não se aplica a esta outorga. O mesmo aconteceu com outras outorgas com mais de uma bomba, por apresentarem características de barramento ou não apenas irrigação.

#### 5.4 Balanceamento das Outorgas

O balanceamento das outorgas deve ser baseado em critérios claros e transparentes. Partindo dos dados disponíveis nas outorgas, o balanceamento proposto neste trabalho considera 3 critérios:

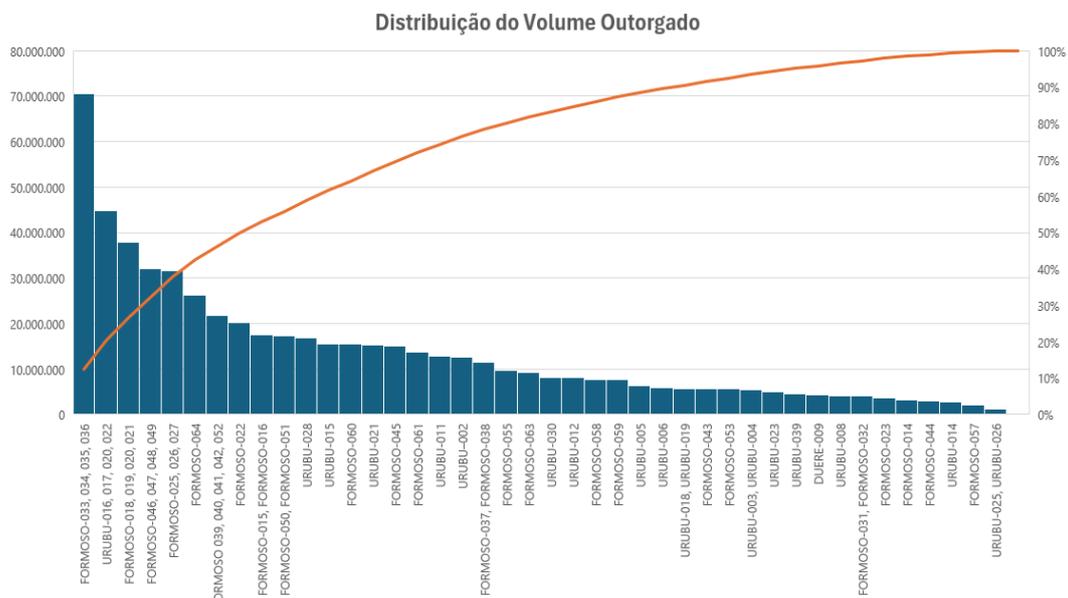
- Eficiência da outorga (volume outorgado / área irrigada): Quanto maior eficiência, maior é a prioridade;
- Volume total outorgado (maiores outorgas contribuem mais e tem menos prioridade do que as outorgas menores);

- Prazo de validade (outorgas mais próximas do vencimento tem menor prioridade).

A eficiência calculada neste trabalho é o melhor indicador disponível no momento para o balanceamento. Valoriza as propriedades que utilizam mais tecnologia e com menores perdas. Este indicador pode ser evoluído para considerar a cultura e valores de referência da irrigação. Também pode ser considerado produtividade final das propriedades, informação que hoje não está disponível diretamente nas outorgas, mas pode ser uma evolução do modelo.

O uso do volume total outorgado como critério foi embasado pelo gráfico abaixo, que mostra a contribuição que poucas outorgas podem ter no volume total retirado do rio, o que justifica o critério onde as maiores outorgas devem reduzir mais suas retiradas:

Figura 29 – As 8 maiores outorgas são responsáveis por mais de 50% do volume total



Fonte: Gráfico original gerado pelo Excel.

O prazo de validade da outorga foi um critério utilizado na modelagem de balanceamento de outorgas baseado em lógica Fuzzy (SILVA, 2019), e para que ele pudesse ser utilizado neste trabalho, com a amostragem recebida, foi necessário usar uma data de referência no futuro, pois algumas outorgas já estavam vencidas desde 2023. O cálculo é muito simples utilizando-se a função do Excel: **DIAS ( data1; data2 )**. Esta função retorna a quantidade de dias entre as datas fornecidas como parâmetro.

#### 5.4.1 Ativação do balanceamento

A atividade de regulação nas outorgas, prevista na legislação apresentada neste trabalho, deve ser acionada a partir do monitoramento das estações telemétricas (antecipando o gatilho previsto, em que um usuário não consegue retirar o volume outorgado). Para isso acontecer, cada estação precisa ter, além dos níveis de referência (normalidade, alerta de seca, alerta de enchente, volume outorgável, etc.) e do conhecimento do volume outorgado acima e abaixo, até a próxima estação de monitoramento, pelo menos. Assim, o balanceamento deve acontecer entre as outorgas do trecho a montante (acima).

No balanceamento realizado neste trabalho consideramos que, através de uma estação telemétrica, identificamos que o volume do rio está abaixo do nível de atenção, acionando então as cláusulas de disponibilidade hídrica, onde as outorgas podem ser revistas, ou mesmo totalmente suspensas. No caso, a meta calculada, para este trecho do rio, considerando o volume conhecido do total outorgado, foi estipulada em 15%. O cálculo deste valor de 15% deve ser feito pelo Naturatins como sendo suficiente para restaurar a situação de normalidade no rio, atingindo pelo menos 1 cm acima da cota mínima que determina o estado de atenção para a seca. Este cálculo deve ser objeto de um estudo específico para cada estação de monitoramento e está citado em trabalhos futuros deste.

#### 5.4.2 Aplicação do balanceamento

A aplicação do balanceamento deve ser sobre o trecho a montante da estação de telemetria que identificou a necessidade do balanceamento. Cada estação deve ser capaz de calcular o volume de água necessário (em m<sup>3</sup>) para recuperar o nível histórico de normalidade (em cm), e com base neste volume, calcular a meta de redução necessária para normalizar a situação do rio. O balanceamento deve ser aplicado nas outorgas *anteriores* (a montante) ao local da medição. De forma que o balanceamento venha a surtir efeito nesta estação. A informação das outorgas *posteriores* (a jusante) é importante também para avaliação do modelo como um todo, comparando, por exemplo, o volume outorgável com as outorgas existentes, para confirmar se o balanço hídrico do trecho é sustentável.

#### 5.4.3 Balanceamentos realizados

Foram realizados 3 balanceamentos neste trabalho. O primeiro aplicando a meta de redução linear (igual para os três critérios) de 15%. Depois disso, fizemos o balanceamento com a meta de redução linear de 50%. Em seguida, aplicamos fatores de redução diferentes

para cada um dos critérios definidos, um refinamento do modelo. Na imagem abaixo, podemos ver que o primeiro balanceamento reduziu o volume outorgado de quase 550 milhões de m<sup>3</sup>, para pouco menos de 450 milhões de m<sup>3</sup>, o que significa um fator de redução das outorgas de **18,41%**, conforme previsto, o valor superou a meta de 15%.

No segundo balanceamento, aplicamos a meta de reduzir as vazões pela metade: 50% de redução. Após rodar os dois balanceamentos, obtivemos os seguintes valores:

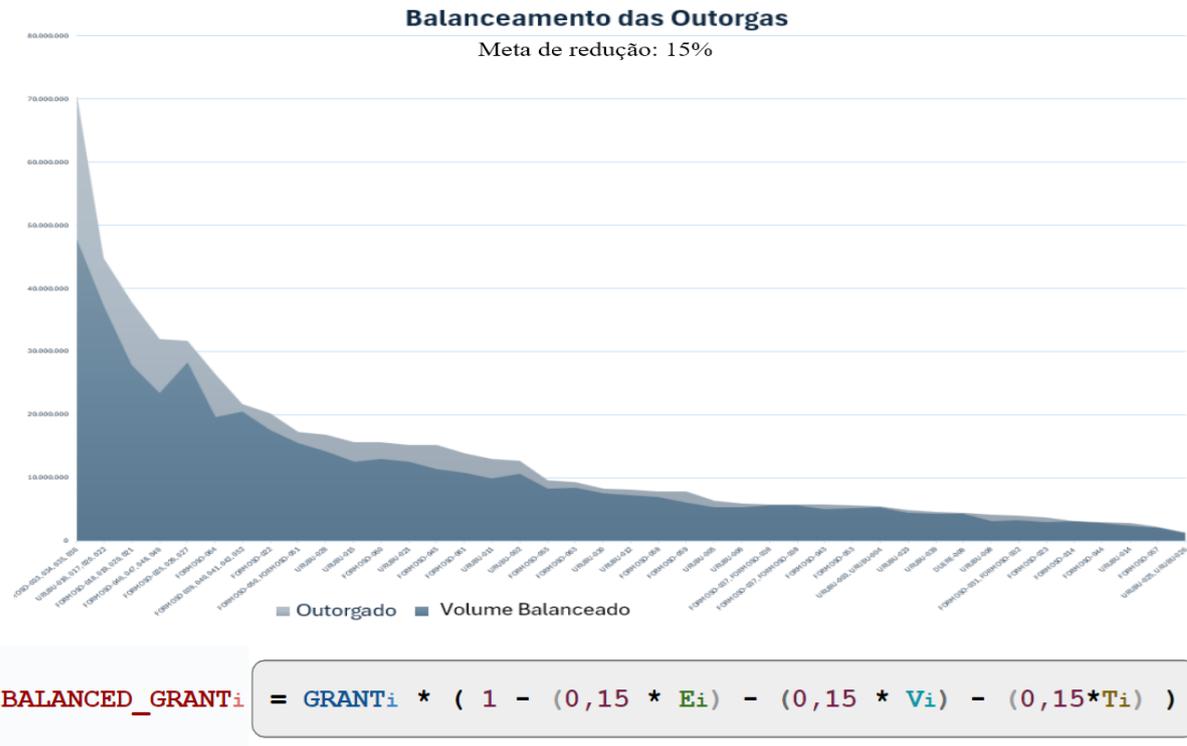
Figura 30 – Volume original das outorgas, e volume total após os balanceamentos.

<b>549.365.604</b>	Vazão balanceada	<b>448.227.207</b>	<b>239.863.062</b>
Outorgado	Meta aplicada	15%	50%
original (100%)	% da vazão outorgada	<b>81,59%</b>	<b>43,66%</b>
	Fator de redução em %	<b>18,41%</b>	<b>56,34%</b>

Fonte: “Print” da tela do Excel onde o balanceamento foi realizado.

O gráfico da figura 31 mostra em azul mais claro, a redução ocorrida nas outorgas. Em azul mais escuro, está o volume total das outorgas após o balanceamento, portanto a área da faixa em azul mais claro representa a redução no volume outorgado, que no nosso caso foi de 18,41% do volume original. O volume autorizado passa a ser exatamente 81,59% do volume original.

Figura 31 – Volume outorgado e o volume Balanceado. Redução de 18,41%



Fonte: Gráfico Excel com as outorgas originais e após o balanceamento realizado pela fórmula indicada.

Neste gráfico ordenado por ordem decrescente da vazão outorgada originalmente, podemos perceber que a redução nas maiores vazões é maior do que as demais (a área reduzida vai estreitando). Também podemos perceber que em alguns casos a redução é menor, isto devido à maior eficiência da outorga, quando esta outorga atende a uma área maior, ou devido ao tempo maior de validade.

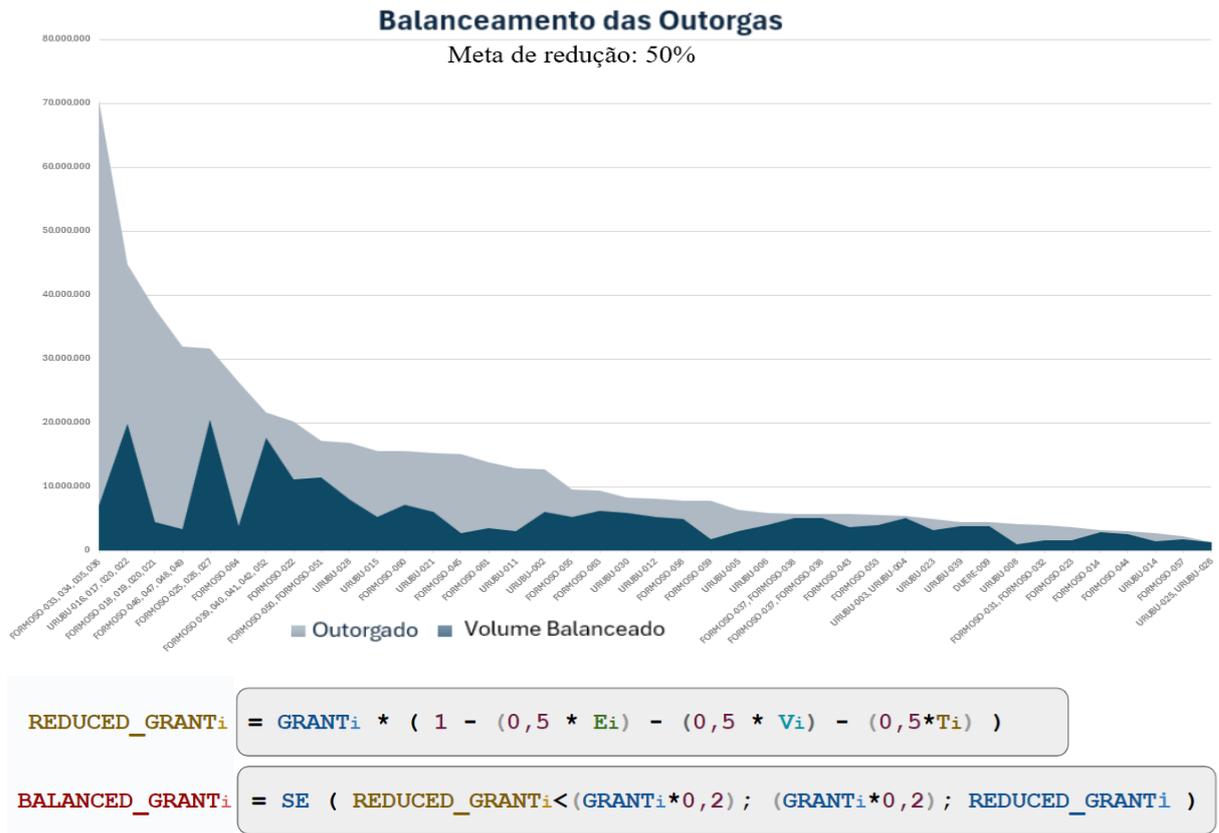
Percebam que, para este modelo funcionar bem, é preciso:

- Que as retiradas do rio sejam compatíveis com a vazão outorgada (o que, geralmente não acontece hoje);
- Que as informações de área irrigada sejam corretamente informadas e registradas;
- Mecanismo de comunicação eficiente entre a Naturatins, os usuários e as bombas.

Pelo gráfico acima podemos perceber que o volume ajustado se torna cada vez mais proporcionalmente menor em relação ao volume original. Este efeito se dá pela redução proporcionalmente menor para as menores retiradas, o que minimiza os impactos da redução como um todo, mas mantendo-se a meta de redução estipulada.

No segundo exemplo, em que a situação do rio está mais crítica, a meta de redução da vazão foi maior, as retiradas precisavam ser reduzidas em 50%. Precisamos reduzir as retiradas pela metade. A redução maior pode ser observada na figura 34 abaixo:

Figura 32 – Volume original outorgado e volume reduzido (meta: 50%).



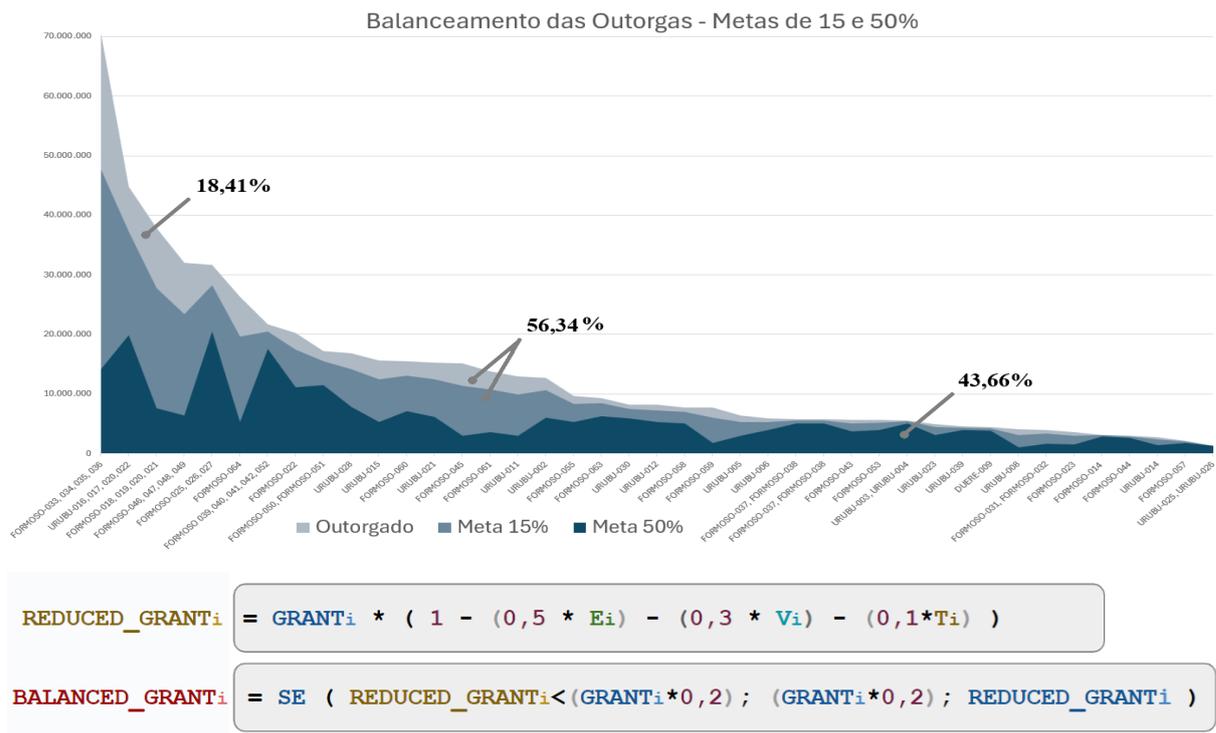
Fonte: Gráfico Excel com as outorgas originais e após balanceamento pela fórmula indicada.

Os quadros abaixo do gráfico da figura 34 contém uma transcrição das fórmulas das células do Excel que implementam os cálculos. Na primeira, a variável **REDUCED\_GRANT** armazena o valor balanceado para cada outorga, antes da aplicação da *vazão mínima*. Em seguida, a variável **BALANCED\_GRANT** recebe o valor após a verificação do valor mínimo. Se o valor calculado for menor do que 20% do volume outorgado originalmente, o valor balanceado será de 20% do volume outorgado originalmente. A função **SE** tem 3 parâmetros separados por ponto e vírgula. O primeiro parâmetro é o teste. O segundo é o valor para o teste verdadeiro, e a segunda para falso.

Podemos também definir pesos diferentes entre os índices. Por exemplo, definimos que o critério da eficiência é o mais importante. Depois vem o volume outorgado, e por último o índice de tempo de vencimento da outorga. Neste caso, se a gente define o critério eficiência

como o mais importante, ele pode ter um coeficiente de redução maior, então vamos dizer que a meta para o índice de eficiência é 50%. Portanto, uma outorga (a menos eficiente de todas) pode ser reduzida em até 50%, devido a este critério. Para o índice de volume, digamos que definimos a redução menor: 30%. E para o tempo restante da validade, por ser menos importante, digamos que ele possa penalizar a outorga em até 10%.

Figura 33 – Volume original outorgado e volumes reduzidos (metas: de 15% e 50%).



Fonte: Gráfico Excel com as outorgas originais e após balanceamento pela fórmula indicada.

Esta é a aplicação da fórmula (6). Diferentes fatores de redução permitem mais flexibilidade ao balanceamento ao permitir uma modelagem mais precisa.

No gráfico acima foi mantido a área do primeiro balanceamento (meta de 15%) apenas para efeito de comparação e avaliação do comportamento das reduções nas outorgas.

Foi realizado, portanto, três balanceamentos sobre um conjunto de dados reais de outorgas vigentes. Também foi apresentada uma proposta simples e eficaz para reduzir as captações de água com o menor impacto possível para os usuários. Ações de controle como a apresentada devem estar previstas no modelo de gestão de uma bacia hidrográfica, sobretudo em bacias importantes, como a do Rio Formoso, com muitos usuários e uma produtividade expressiva.

Um subproduto deste modelo é um ranking detalhado das outorgas de acordo com os critérios e pesos definidos, o que pode ser utilizado para outras providências, como para auxiliar na fiscalização ou na busca de maior eficiência por parte dos outorgados.

Automação: Este balanceamento poderia ser automatizado em uma eventual evolução do sistema, onde além de apenas enviar as informações, as estações de captação pudessem receber as ordens de suspensão das retiradas no caso de ultrapassar os volumes balanceados, ou mesmo o volume original, que por vezes acontece além do volume outorgado, ou com mais frequência fora dos períodos autorizados.

## 5.5 Predição de Regime de Controle Especial

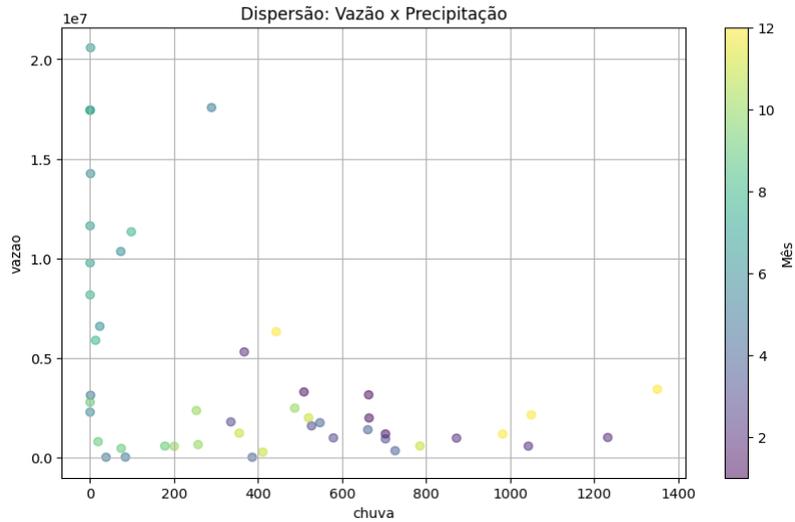
O decreto n.2.432 de 2005 estipula no cap.6, art.25 que, qualquer usuário que esteja impedido de retirar do rio o volume outorgado, poderá: *“solicitar ao Comitê da Bacia Hidrográfica ou, na ausência deste, ao NATURATINS, providências para o estabelecimento do regime de controle especial”*.

O balanceamento deverá ser feito em trechos monitorados do rio, entre as outorgas.

Porém, conforme previsto na automação e gestão do sistema, é preciso que o monitoramento realizado seja efetivamente utilizado para antecipar situações de indisponibilidade de água. Quando, por exemplo, as chuvas estiverem menores do que o previsto, podemos inferir que haverá uma demanda maior pela água do rio? Até quanto tempo antes podemos saber disso? Para responder perguntas como esta, os dados disponíveis foram utilizados para estabelecer o relacionamento entre as variáveis estudadas: Vazão (retiradas), nível do rio e precipitação pluviométrica. Foi utilizado o mesmo conjunto de dados do balanceamento realizado e somados todas as vazões registradas (nas bombas indicadas) em cada mês dos anos de 2020 a 2023, que é o mesmo período que temos os registros completos dos níveis e precipitações das 3 estações telemétricas identificadas no início da seção “Disponibilidade hídrica”: Fazenda Fortaleza, Foz do rio Urubu e Fazenda São Bento.

Utilizando o método para correlação de variáveis das bibliotecas Python Matplotlib.pyplot, foram obtidos os gráficos de dispersão das variáveis, com os seguintes resultados:

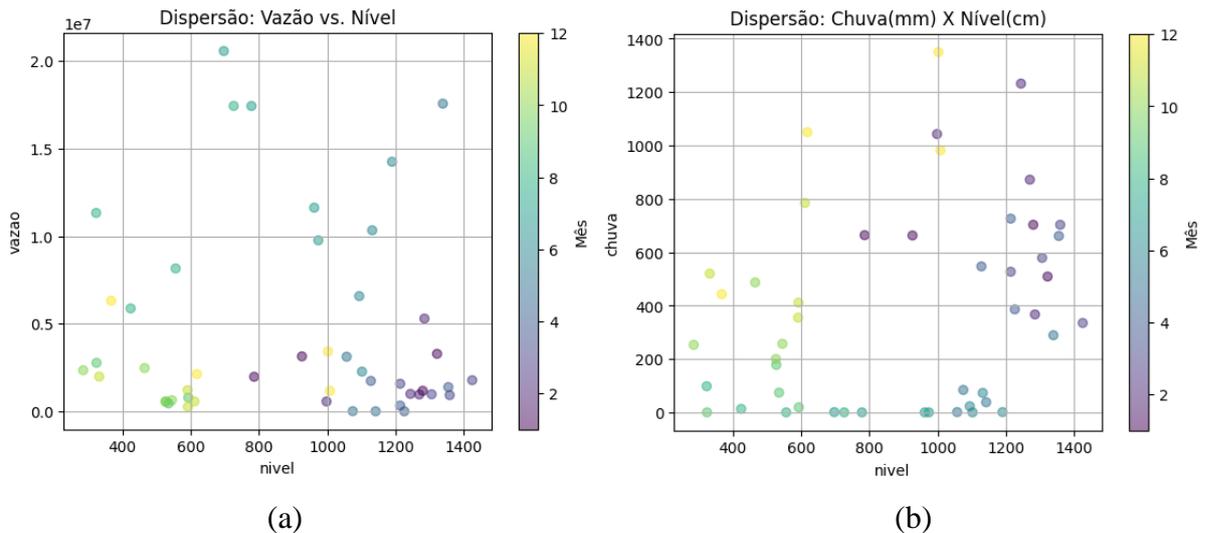
Figura 34 – Gráfico de dispersão ilustrando a correlação das variáveis Vazão e Precipitação



Fonte: Gráfico em Python (Pandas/Matplotlib) com dados da *Plataforma GAN*.

O gráfico nos mostra que, o volume retirado do rio é maior justamente nos períodos com precipitação menor. Ou seja, a demanda por água aumenta nos meses em que a precipitação é baixa ou nula. Veja que as cores de maior vazão coincidem com os meses de junho a agosto, quando não chove, ou chove muito pouco. Os meses de maior precipitação têm menores retiradas e é o período em que o nível do rio se recupera. Na extremidade direita do gráfico, com baixos níveis de retirada temos as cores roxa (janeiro) e amarela (dezembro).

Figura 35 – Gráfico de dispersão das variáveis Vazão x Nível e Precipitação x Nível

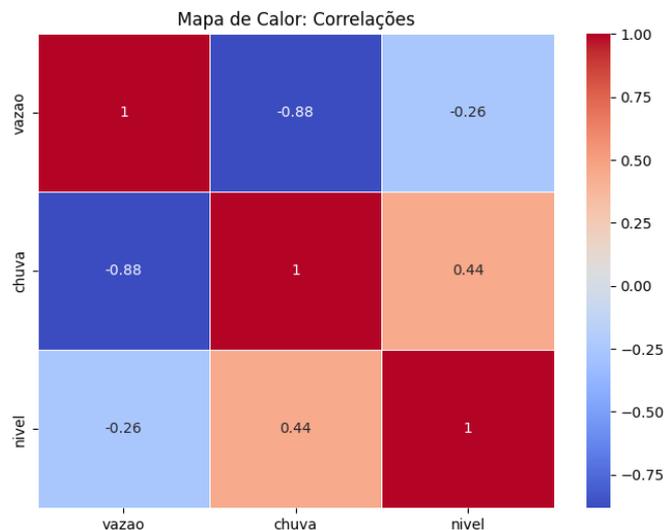


Fonte: Gráfico em Python (Pandas/Matplotlib) com dados da *Plataforma GAN/Outorgas Naturatins*.

As correlações acima se tornam mais claras observando-se os meses. Em (a) a concentração de pontos na parte inferior do gráfico, principalmente inferior direita, mostra que nos meses de maior nível do rio, a vazão permanece mais baixa.

Em (b) foi analisada a relação entre a precipitação e o nível do rio. Podemos perceber que, confirmando a tendência do gráfico da figura 34, no primeiro semestre há uma correlação maior entre a chuva e o nível (concentração das cores azul/roxa), mas que no geral esta não é uma correlação forte. Este relacionamento entre as variáveis pode ser resumido no mapa de calor da relação entre estas variáveis:

Figura 36 – Mapa de Calor (*heatmap*) ilustrando a relação entre Nível, Precipitação e Vazão



Fonte: Gráfico em Python (Pandas/Matplotlib) com dados da Plataforma GAN/Outorgas Naturatins.

A correlação negativa forte entre a chuva e a vazão, em azul escuro (-0,88) mostra que quanto menor a chuva, maior são as retiradas. A relação entre as retiradas e o nível do rio é baixa. Os outorgados retiram a água necessária independentemente do nível do rio. Confirmado a correlação média entre o nível do rio e as chuvas (0,44), que possivelmente seria maior se não houvesse retiradas do rio.

Portanto percebemos que existe ainda um grande potencial de extrair informações de comportamento e longo prazo, de forma prever a demanda e possibilitando a antecipação da tomada de decisões quanto a entrada em regime de controle especial, e com isso temos em mãos uma forma de **prevenir** outras situações de seca e calamidade pública, como aquela ocorrida em 2016 na região.

## 6 DISCUSSÃO

É fato que toda a região da bacia do Rio Formoso se beneficiou do controle e da transparência alcançados nos últimos anos. Porém precisamos lembrar que, para que a gestão hídrica na região seja completa, é necessário que existam mecanismos de controle efetivamente implementados, o que ainda não acontece hoje.

### 6.1 Interpretação dos resultados

Diversos achados foram identificados com a análise realizada. Destaque para a necessidade de revisão das outorgas atuais, para que estas reflitam as retiradas medidas e principalmente se aproximem das demandas reais e justas por parte dos usuários.

Foi descrita a situação atual do projeto GAN com prognóstico positivo ao sugerir a comunicação em duas vias entre as estações telemétricas, o que gera demanda por tecnologias para atualização do sistema e automação da comunicação entre os usuários e os órgãos reguladores.

Identificamos a necessidade de aperfeiçoamento dos critérios de avaliação das outorgas (ambientais e por eficiência) assim como a implantação de regras para o sistema (balanceamento automático, comunicação em duas vias). Neste sentido foi apresentado uma proposta simples, clara e eficaz para o balanceamento das outorgas atuais, baseado em dados e critérios claros e bem definidos;

Por fim, a implementação de três rodadas de balanceamento indicou a viabilidade do controle, divulgando o potencial de desenvolvimento de novas ferramentas computacionais específicas, e neste sentido ficam registradas as diretrizes e funcionalidades esperadas do software *Water Balance*, que deverá facilitar e automatizar a importação de dados do Projeto GAN e também de outras fontes. Automatizar também as transformações, carga, fluxos de ETL, análises e divulgação.

### 6.2 Implicações dos resultados

De acordo com as análises realizadas neste trabalho, podemos concluir que existe espaço para revisão das outorgas na maioria das situações:

- Aproximando o valor outorgado da demanda real da propriedade;

- Ajustando o período outorgado para evitar vazões irregulares;
- Aplicando ações de fiscalização nos casos onde a vazão é superior à outorga.

No primeiro caso, mesmo considerando que nem toda vazão foi efetivamente registrada no sistema, na média, apenas **30%** do total outorgado foi retirado (em 2023).

As vazões irregulares não ocorrem apenas durante os meses de setembro, outubro e novembro. Elas ocorrem praticamente em todos os meses que existem outorgas. Acontece que, nos meses secos de setembro, outubro e novembro, as vazões superam o total outorgado. Portanto é importante analisar com atenção o impacto destas retiradas, e ajustar as outorgas, pois **88%** das outorgas possuem pelo menos alguma retirada irregular.

Portanto a fiscalização deve estar atenta para identificar as vazões superiores à outorga, para esta amostragem, **12%** das outorgas retiraram mais água do que o valor total outorgado. Portanto o Naturatins deve efetuar as punições previstas e/ou atualizar a outorga para as reais necessidades das propriedades.

Outro ponto que precisa ser aperfeiçoado são os metadados das outorgas. Existe alguma imprecisão em algumas informações: Das 60 outorgas enviadas, 2 não contém a informação da área irrigada. Informações como o Tipo de Irrigação e as culturas devem ser detalhados, de forma que o mecanismo de balanceamento possa ser aperfeiçoado. A maioria das outorgas não discriminam a cultura. Com o detalhamento destas informações o modelo poderá evoluir ao ponto de identificar a eficiência ideal para cada cultura.

Merece atenção especial que muitas estações estão desligadas ou desconectadas, em diversos horários pesquisados, como na figura abaixo:

Figura 37 – Status momentâneo de intervenções na região da Lagoa da Confusão



Fonte: “Print Screen” de tela - *Plataforma GAN*.

Dentro do escopo de monitoramento e controle, este trabalho propôs ainda o cálculo e uso de uma métrica de eficiência do uso da água:  $\text{Volume\_Outorgado} / \text{Área\_Irrigada}$ , que juntamente com o volume total outorgado e o tempo de validade da outorga foram usados no cálculo dos índices usados no balanceamento realizado. Outras informações estatísticas podem ser obtidas a partir dos dados apresentados, além destas apresentadas aqui. Os dados deste trabalho poderão ser acessados em um dashboard interativo disponível no portal *Water Balance*<sup>14</sup>:

As informações aqui apresentadas permanecerão disponíveis no portal acima com o objetivo de promover a elevação do nível de gestão dos recursos hídricos na bacia do Rio Formoso, mas também em diversas outras com características e desafios semelhantes.

### 6.3 Limitações do Estudo

É importante registrar algumas limitações deste trabalho para destacar os desafios em trabalhos futuros. Em primeiro lugar foi usado um subconjunto dos dados disponíveis, e estes por sua vez, especificamente as vazões, consistem em uma parte do total retirado do rio. Uma amostragem pequena, somado às falhas de transmissão dos dados, que em muitos casos são altas, limitam a abrangência geral do estudo. Portanto, trabalhos futuros podem ampliar a base de dados analisadas. Ao responder à solicitação pelos dados das outorgas, o Naturatins solicitou um recorte amostral específico, de tempo e espaço, devido ao grande número de outorgas vigentes e declarações de uso insignificante. Fazer uma análise semelhante com o volume total de dados disponíveis poderia trazer muitas informações novas, inclusive nuances e vocações de diferentes áreas do estado do Tocantins.

Este trabalho trouxe uma discussão qualificada sobre os critérios a serem adotados com relação ao uso da água, baseado nas informações disponibilizadas pelo Naturatins (SEMARH/TO).

Para atingirmos uma verdadeira democratização do uso da água, outros critérios devem ser criados e aperfeiçoados. Respeito ao meio ambiente e práticas inovadoras de uso da água deverão ser consideradas e divulgadas, priorizando o uso de qualidade e com impacto positivo para a sociedade. Desta forma, teremos mais condições de manter nossos rios em alto nível de água!

---

<sup>14</sup> [www.waterbalance.com.br](http://www.waterbalance.com.br)

## 7 CONCLUSÕES

O projeto GAN proporcionou um grande salto qualitativo na gestão dos recursos hídricos na região. As informações disponibilizadas na plataforma aumentaram a transparência sobre as outorgas e trouxeram uma possibilidade inédita para o planejamento, gestão e automação das outorgas. Foi constatado que existe bastante espaço para revisão das outorgas atuais. Tanto pela grande quantidade de outorgas irregulares (vazão fora do período outorgado, ou superiores ao permitido), mas também pelas retiradas muito menores do que o previsto. Isso deve acontecer naturalmente, principalmente se a cobrança pela água for realizada sobre o volume outorgado. A seguir algumas recomendações para a evolução do sistema percebidas a partir dos dados analisados.

### 7.1 Recomendações

Os dados sistematizados e totalizados indicam novas possibilidades para a gestão dos recursos hídricos na bacia, e devem ser usados para prevenir desastres ambientais como aquele ocorrido em 2016. Em resumo podemos destacar os seguintes pontos de atenção apurados:

- Revisão das outorgas. Aproximar do uso real, ajustar os períodos;
- Fiscalização: Retiradas irregulares por período ou volume maior do que o permitido;
- Melhoria na descrição dos metadados da outorga, principalmente o tipo de irrigação;
- Aferir a produtividade das propriedades, para complementar o índice de eficiência;
- Detalhamento das culturas e períodos irrigados. Informação incompleta hoje;
- Realizar manutenção nas intervenções desligadas ou desconectadas (figura 39);
- Inclusão de critérios de sustentabilidade para o balanceamento, para promover novos investimentos dos usuários em práticas sustentáveis;
- Criar um mecanismo para que as intervenções sejam capazes de também receber informações, não apenas enviar, de modo a permitir a automação do balanceamento das outorgas, quando necessário, pelo Instituto Naturatins, ou pelo comitê da bacia;
- Adoção de alertas locais, não só em situações explícitas de emergência (nível do rio abaixo de um determinado valor), mas também antecipando demandas maiores do sistema para prevenir secas e alagamentos.

Novas atividades poderão ser construídas a partir de dados confiáveis e atualizados, além do balanceamento apresentado, que ainda pode ser bastante aperfeiçoado. Outras informações estatísticas também poderão ser levantadas, elevando ainda mais o nível da gestão dos recursos hídricos e abrindo uma discussão qualificada sobre os critérios a serem adotados com relação ao uso da água e suas limitações.

Dados precisos e atualizados fizeram toda diferença na gestão dos recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso. Infelizmente foi preciso um evento dramático acontecer com o rio Formoso para que estas providências fossem tomadas. Não devemos comemorar este fato, mas tirar as lições e principalmente atualizar e aperfeiçoar o sistema antes que novos eventos climáticos venham ameaçar a segurança hídrica da região.

O aperfeiçoamento proposto no sistema gera a necessidade por novas tecnologias para as estações telemétricas: Sistemas de comunicação bi-direcionais, recursos para registrar as demandas hídricas e superar as falhas momentâneas na transmissão dos dados. Novos estudos poderão abordar os tipos de irrigação identificando novas tecnologias aplicáveis à região para melhorar a eficiência do uso da água e considerando seus impactos ambientais.

Por fim, devemos ampliar o monitoramento para outras bacias hidrográficas, melhorando a gestão dos recursos hídricos e antecipando situações de esgotamento dos recursos através do monitoramento e atualização automática das vazões e também das outorgas através do balanceamento.

## **7.2 Trabalhos futuros**

Novos trabalhos devem buscar uma ampliação da base de amostragem e realizar análises para cada trecho ou sub-bacia, identificando especificidades de cada uma. Além disso, este trabalho documentou sinais de que o sistema atual necessita de manutenção e atualização, ao encontrar um número muito alto de estações desligadas ou desativadas (figura 40). Recomendamos um trabalho preventivo de manutenção do sistema.

O principal trabalho, porém, que irá complementar a proposta aqui apresentada é um estudo específico dos níveis de cada braço dos rios, de forma a identificar e divulgar as regras locais para acionar o mecanismo de balanceamento e também definir as metas de redução de cada trecho monitorado, relacionando os níveis dos rios com a precipitação pluviométrica na região e com a vazão conhecida, que deverá então, ser controlada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, Agência Nacional de Águas. (2021). **Relatório de Gestão dos Recursos Hídricos**.

BAHIA, J. B. S. (2019). **Captação superficial na bacia hidrográfica do rio Formoso. Água e Sociedade**, 13(2), 1-13.

BARBOSA, Y. M. (1996). **Conflitos Sociais na Fronteira Amazônica: o Projeto Formoso**. Campinas/SP. Papyrus 189p.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm) Acesso em: 20 jul. 2024.

COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P.; **Manejo, eficiência e uso da água em sistemas de irrigação**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas, 2013.

FAGUNDES, F; VERGARA, F. E. (2021). **Análise do uso da água para irrigação na bacia hidrográfica do Rio Formoso**. PPGEA/UFT. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11612/4064>

FILHO, NL et al. (2015). **Characterization of water users in the Rio Formoso/TO watershed**. Environmental Engineering: Research and Technology, v. 12, no. 2.

FRAGOSO, D. B. et al. (2013). **Caracterização e diagnóstico da cadeia produtiva do arroz no Estado do Tocantins**. Brasília: Embrapa. 40 p.

GRIGG, N. S. (2008). **Integrated Water Resources Management: Balancing Views and Improving Practice**. Water International, 33(3), 279-292.

IAC/UFT, I.; NATURATINS, I. SAD - **Grant: User Manual**. 2019.

MARENGO, J. A. (2007). **Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao Longo do Século**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

NATURATINS, I. N. do T. (2019). **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso**. Disponível em: <https://naturatins.to.gov.br>

PEREIRA, L. S., Cordery, I., & Iacovides, I. (2010). **Coping with Water Scarcity: Addressing the Challenges**. Springer.

PORTO, R. L. (2006). **Gestão de Recursos Hídricos**. Editora Manole.

SILVA, R. C; BOTELHO, G. M. (2019). **Balanceamento de vazões outorgadas em situação crítica de disponibilidade hídrica**, TCC em Ciência da Computação/UFT. Disponível em: <https://repositorio.uft.edu.br/handle/11612/3008>

SILVEIRA, A. (2001). **Hidrologia Aplicada**. Editora da USP.

TOCANTINS (2002). **Lei nº 1.307, de 22 de março de 2002**. Diário Oficial [do] Estado do Tocantins, Palmas, 22 mar. 2002.

Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/225863/> Acesso em: 20 jul. 2024.

TOCANTINS (2005). **Decreto nº 2.432, de 6 de junho de 2005**. Regulamenta a Lei nº 1.307, de 22 de março de 2002. Diário Oficial [do] Estado do Tocantins, 6 jun. 2005.

Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/107424/> Acesso em: 20 jul. 2024.