

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO  
- CAMPUS RIO VERDE**

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA APLICADA E  
SUSTENTABILIDADE**

**DINÂMICA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E USO/OCUPAÇÃO  
DA TERRA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS NO SUDOESTE  
GOIANO**

**Orientador: Édio Damásio da Silva Júnior**

**Discente: Bruna Santana Marra**

**RIO VERDE - GO**

**JANEIRO - 2022**

**BRUNA SANTANA MARRA**

**DINÂMICA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E USO/OCUPAÇÃO  
DA TERRA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS NO SUDOESTE  
GOIANO**

Dissertação apresentada à banca examinadora como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde - Área de concentração Engenharia Aplicada e Sustentabilidade

Orientador: Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Júnior

**RIO VERDE - GO  
JANEIRO - 2022**

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

MM358d Marra, Bruna Santana  
Dinâmica da Disponibilidade Hídrica e Uso/Ocupação  
da Terra em Bacias Hidrográficas no Sudoeste Goiano  
/ Bruna Santana Marra; orientador Dr. Édio Damásio da  
Silva Junior. -- Rio Verde, 2022.  
84 p.

Dissertação (Mestrado em Pós Graduação em Engenharia  
Aplicada e Sustentabilidade) -- Instituto Federal  
Goiano, Campus Rio Verde, 2022.

1. Recursos hídricos. 2. Vazão. 3. Precipitação. 4.  
Uso e ocupação da terra. 5. Irrigação. I. Junior, Dr.  
Édio Damásio da Silva, orient. II. Título.

# TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

## IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)

Dissertação (mestrado)

Monografia (especialização)

TCC (graduação)

Artigo científico

Capítulo de livro

Livro

Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

## RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial:      Não      Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano:      /      /

O documento está sujeito a registro de patente?      Sim      Não

O documento pode vir a ser publicado como livro?      Sim      Não

## DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Local      /      /  
Data

*Bruna S. Marra*

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

*Edio Domício do S. Júnior*

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 11/2022 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

## PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO

### ATA Nº/43

## BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos quinze dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e dois, às 14h00min (quatorze horas), reuniram-se os componentes da banca examinadora em sessão pública realizada por videoconferência, para procederem a avaliação da defesa de dissertação, em nível de mestrado, de autoria de **Bruna Santana Marra**, discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Edio Damasio da Silva Junior, que fez a apresentação formal dos membros da banca. A palavra, a seguir, foi concedida à autora para, em 30 minutos, proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu a examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRA em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade**, na área de concentração em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, pelo Instituto Federal Goiano - Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGEAS da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60 (sessenta) dias** da sua ocorrência. A banca examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa dissertação em periódicos após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e para constar, foi lavrada a presente ata, que, após lida e achada conforme, será assinada eletronicamente pelos membros da banca examinadora.

Membros da banca examinadora:

Nome	Instituição	Situação no programa
Prof. Dr. Edio Damasio da Silva Junior	IF Goiano - Campus Rio Verde	Presidente
Prof. Dr. João Batista Pereira Cabral	Universidade Federal de Jataí	Membro externo

Prof. Dr. Lucas Peres Angelini	IF Goiano - Campus Rio Verde	Membro interno
--------------------------------	------------------------------	----------------

Documento assinado eletronicamente por:

- **João Batista Pereira Cabral, João Batista Pereira Cabral - Professor Avaliador de Banca - Universidade Federal de Jatai (35840659000130)**, em 15/02/2022 16:09:52.
- **Lucas Peres Angelini, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 15/02/2022 16:09:36.
- **Edio Damasio da Silva Junior, COORDENADOR DE CURSO - FUC0001 - CCMEAS-RV**, em 15/02/2022 16:07:48.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 09/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 356670  
Código de Autenticação: 0727c19a91



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3620-5600



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 24/2022 - NREPG-RV/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

DINÂMICA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E USO/OCUPAÇÃO DA TERRA EM BACIAS  
HIDROGRÁFICAS NO SUDOESTE GOIANO

Autora: Bruna Santana Marra  
Orientador: Dr. Edio Damasio da Silva Junior

TITULAÇÃO: Mestra em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade - Área de  
Concentração Engenharia Aplicada e Sustentabilidade

APROVADA em 15 de fevereiro de 2022.

Prof. Dr. João Batista Pereira Cabral  
Avaliador externo - UFJ

Prof. Dr. Lucas Peres Angelini  
Avaliador interno - IF Goiano / Rio  
Verde

Prof. Dr. Edio Damasio da Silva Junior  
Presidente da Banca - IF Goiano / Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- **João Batista Pereira Cabral, João Batista Pereira Cabral - Professor Avaliador de Banca - Universidade Federal de Jataí (35840659000130)**, em 15/02/2022 16:08:02.
- **Lucas Peres Angelini, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 15/02/2022 16:07:53.
- **Edio Damasio da Silva Junior, COORDENADOR DE CURSO - FUC0001 - CCMEAS-RV**, em 15/02/2022 16:06:41.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 09/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 356837  
Código de Autenticação: beb4f08958



INSTITUTO FEDERAL GOIANO  
Campus Rio Verde  
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, None, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970  
(64) 3620-5600

Dedico este trabalho a Deus, ao meu esposo, à minha família e aos meus amigos que estiveram comigo em todos os momentos da vida.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me presentear com oportunidades tão únicas, por cuidar de mim, por me ensinar, por me fortalecer e por me capacitar a concluir este trabalho.

Agradeço ao Instituto Federal Goiano, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade e à CAPES, pela oportunidade de aprendizado e crescimento. E também a todos os professores que me ajudaram nessa trajetória acadêmica.

Agradeço ao meu orientador, por toda a paciência, dedicação e companheirismo. Este trabalho não teria sido possível sem a sua ajuda e o seu apoio. E também aos professores Lucas Angelini e Frederico Soares, do Instituto Federal Goiano, pelo conhecimento compartilhado na parte de geoprocessamento e estatística, respectivamente.

Agradeço aos meus pais Rogério e Fernanda e aos meus irmãos Paula e Artur, por serem o meu porto seguro em todas as fases da minha vida. Vocês me deram o maior exemplo de cuidado e dedicação e serei sempre grata por este amor incondicional!

Agradeço aos meus avós Helvécio e Terezinha, Ivoleide e, em especial, ao meu avô Daniel, que me ensinou como a vida pode ser bonita e simples e como é possível aproveitar cada minuto com leveza enquanto ainda temos a oportunidade e o tempo juntos. Sentimos sua falta, mas me alegra saber que nos encontraremos novamente um dia.

Agradeço ao meu esposo Victor, por me incentivar e me dar força mesmo nas horas mais difíceis, me ajudando a conciliar todos os compromissos e desafios que enfrentamos neste último ano. Obrigada por ser o meu companheiro de vida e meu melhor amigo!

Agradeço aos meus amigos queridos, por estarem sempre comigo e por fazerem meu dia a dia mais divertido e significativo.

Finalmente, agradeço a todos que de algum modo contribuíram na minha trajetória e torceram por mim. Muito obrigada!

"Feliz é aquele que transfere o que sabe e  
aprende o que ensina"

(Cora Coralina)

## RESUMO

O aumento da demanda por recursos hídricos em razão do crescimento populacional, do uso e da ocupação da terra pela ação humana bem como da inexistência/insuficiência de dados hidrológicos em regiões não monitoradas suscita a necessidade cada vez maior de realização de estudos de disponibilidade hídrica e de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas no sentido de atender a população e atenuar os conflitos pelo uso da água. Desta forma, esta dissertação tem como objetivo comparar a disponibilidade hídrica com possíveis fatores de influência em bacias hidrográficas no entorno do município de Rio Verde no período de 40 anos. A metodologia envolve primordialmente a definição da área de estudo das bacias do Rio Verdinho, Rio Verdão e Rio Monte Alegre. As imagens de satélite foram obtidas na base de dados da *USGS Earth Explorer* e processadas no QGIS pela extensão *TauDEM*. Em seguida, foram coletados dados pluviométricos e fluviométricos cadastrados no Hidroweb-ANA dos pontos de monitoramento escolhidos, a fim de obter as séries históricas de vazão e precipitação. Na sequência, foi feita a classificação supervisionada do uso e ocupação da terra no QGIS através da extensão *Dzetsaka Classification Tool*, fornecendo a porcentagem da vegetação nativa, agricultura irrigada e de áreas construídas para cada bacia. Finalmente, foi aplicada a técnica estatística de regressão linear múltipla para obter equações relacionando o “uso e ocupação do solo” com a “disponibilidade hídrica” das bacias avaliadas. Os resultados indicaram que a vazão Q95% teve tendência de decaimento ao longo dos 40 anos para todas as bacias estudadas. Por outro lado, a precipitação acumulada anual, apesar de oscilar durante o período, manteve uma linha de tendência constante para as bacias do Rio Verdinho e Rio Verdão e de ascensão para o Rio Monte Alegre. Observou-se também aumento do uso do solo de todas as bacias para fins de agricultura, seja na forma irrigada ou não irrigada. Dessa forma, infere-se que o declínio da vazão Q95% com a considerável constância ou aumento da precipitação está provavelmente relacionado ao uso e ocupação do solo, principalmente pelo aumento da irrigação. Estes dados devem ser considerados para a previsão de cenários e gerenciamento eficiente dos recursos hídricos da região.

Palavras-chave: Irrigação. Precipitação. Recursos hídricos. Uso e ocupação da terra. Vazão.

## ABSTRACT

The growing demand for water resources due to population growth with consequent land use and occupation by humans as well as the inexistence/insufficiency of hydrological data in unmonitored regions cause the need to carry out studies on water availability and on land use and occupation of the hydrographic basin, aiming to serve the population and mitigate conflicts related to the problem. Thus, this paper aims to evaluate water availability with possible influencing factors in hydrographic basins around the municipality of Rio Verde, Goiás State, Brazil, for forty years. The methodology primarily involves the circumscription of the study area covering the Rio Verdinho, Rio Verdão, and Rio Monte Alegre hydrographic basins. Satellite images were acquired from the USGS Earth Explorer database and processed in QGIS by the TauDEM extension. Then, pluviometric and fluvimetric data registered in Hidroweb-ANA were collected from the chosen monitoring points to get the historical series of flow and precipitation. Then, supervised classification was carried out regarding land use and occupation in QGIS through the Dzetsaka Classification Tool extension, providing the percentage of native vegetation, irrigated agriculture, and urbanized areas in each hydrographic basin. Finally, a statistical technique of multiple linear regression was applied to have equations relating the “land use and occupation” and the “water availability” of the evaluated hydrographic basins. Results indicated that the flow Q95% had a decay trend over the forty years for all the hydrographic basins studied. On the other hand, the annual accumulated precipitation has kept a steady trend line for the Rio Verdinho and Rio Verdão hydrographic basins and an upward trend for the Rio Monte Alegre hydrographic basin, despite fluctuating during the period. There was also an increase in land use in all hydrographic basins for agricultural purposes, either irrigated or not irrigated. Thus, it is concluded that the decline in flow Q95% with considerable constancy or increasing precipitation is probably related to land use and occupation, mainly due to increased irrigation. These data must be considered for the prediction of scenarios and efficient management of the region's water resources.

Keywords: Flow rate. Irrigation. Land use and occupation. Precipitation. Water resources.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vi
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS .....	ix
LISTA DE QUADROS .....	xi
LISTA DE SIGLAS.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	16
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	17
4 CAPÍTULO 1 – ARTIGO 1 .....	24
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	60
6 APÊNDICE .....	62

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados da vegetação nativa nas bacias hidrográficas em estudo .....	46
Tabela 2 – Resultado estatístico da regressão linear múltipla para as bacias hidrográficas do Rio Verdinho, Rio Verdão e Rio Monte Alegre (analisadas em conjunto e isoladamente):.	48
Tabela 3 – Dados obtidos para a bacia hidrográfica do Rio Verdinho.....	64
Tabela 4 – Dados obtidos para a bacia hidrográfica do Rio Verdão .....	66
Tabela 5 – Dados obtidos para a bacia hidrográfica do Rio Monte Alegre .....	67
Tabela 6 – Resultado estatístico da regressão para a bacia hidrográfica do Rio Verdinho...	69
Tabela 7 – Resultado estatístico da regressão para a bacia hidrográfica do Rio Verdão .....	69
Tabela 8 – Resultado estatístico da regressão para a bacia hidrográfica do Rio Monte Alegre .....	70
Tabela 9 – Resultado estatístico da regressão considerando as três bacias hidrográficas em conjunto (Rio Verdinho, Rio Verdão e Rio Monte Alegre) e todas as variáveis .....	71

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa temático do uso e ocupação da terra da bacia do Ribeirão das Abóboras em 2015 .....	14
Figura 2 - Esquema da metodologia adotada no presente trabalho. ....	29
Figura 3 - Mapa de localização das bacias hidrográficas do Rio Verdinho, Rio Verdão e Rio Monte Alegre no Sudoeste Goiano.....	30
Figura 4 – Localização do município de Rio Verde.....	31
Figura 5 - Estações de monitoramento analisadas.....	31
Figura 6 - Rio Verdinho - Comparativo entre Precipitação Acumulada Anual e Q95% .....	38
Figura 7 - Rio Verdão - Comparativo entre Precipitação Acumulada Anual e Q95%.....	39
Figura 8 - Rio Monte Alegre - Comparativo entre Precipitação Acumulada Anual e Q95%.....	39
Figura 9 - Exemplo da progressão do uso/ocupação do solo para agricultura irrigada em região específica da bacia hidrográfica do Rio Verdão.....	41
Figura 10 - Rio Verdinho: Análise da quantidade de unidades irrigadas e casas construídas na bacia hidrográfica do Rio Verdinho .....	42
Figura 11 - Rio Verdão: Análise da quantidade de unidades irrigadas e casas construídas na bacia hidrográfica do Rio Verdão.....	42
Figura 12 - Rio Monte Alegre: Análise da quantidade de unidades irrigadas e casas construídas na bacia hidrográfica do Rio Monte Alegre .....	43
Figura 13 - Rio Verdinho: Análise da área total irrigada e construída na bacia hidrográfica do Rio Verdinho .....	43
Figura 14 - Rio Verdão: Análise da área total irrigada e construída na bacia hidrográfica do Rio Verdão.....	44
Figura 15 - Rio Monte Alegre: Análise da área total irrigada e construída na bacia hidrográfica do Rio Monte Alegre .....	44
Figura 16 - Rio Verdinho: Comparativo entre precipitação acumulada anual (PA) e vazão Q95% (V) no período entre 1980 e 2020 .....	50
Figura 17 - Rio Verdão: Comparativo entre precipitação acumulada anual (PA) e vazão Q95% (V) no período entre 1980 e 2020 .....	51
Figura 18 - Rio Monte Alegre: Comparativo entre precipitação acumulada anual (PA) e vazão Q95% (V) no período entre 1980 e 2020 .....	52

Figura 19 - Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho - GO - 2020 .....	62
Figura 20 - Bacia Hidrográfica do Rio Verdão - GO - 2020 .....	63
Figura 21 - Bacia Hidrográfica do Rio Monte Alegre - GO - 2020 .....	64



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características das bacias hidrográficas do Rio Verdinho, Rio Verdão e Rio Monte Alegre no Sudoeste Goiano.....	30
--	----

## LISTA DE SIGLAS

- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
- CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica
- CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
- LSRD – LSDS Science Research and Development
- MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional
- PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
- REGLA – Sistema Federal de Regulação de Uso
- SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
- SIEG – Sistema Estadual de Geoinformação do Estado de Goiás
- SIG – Sistema de Informação Geográfica
- SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
- TRH – Tempo de Retenção Hidráulica
- UPGRH – Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos
- USGS – United States Geological Survey

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Justificativa

A água potável disponível para consumo é um bem essencial ao ser humano cada vez mais escasso. Os ecossistemas e seres vivos estão diretamente ligados a ela, dependendo de sua disponibilidade para o correto funcionamento dos ciclos naturais. Além disso, o solo também representa um recurso fundamental para a prática das atividades humanas, sendo um bem finito, não renovável, cuja produtividade biológica está diretamente ligada à produção de alimentos.

Entretanto existe atualmente um desafio acerca de como tais recursos têm sido utilizados. A crescente demanda por água oriunda do desenvolvimento populacional e econômico das cidades, aliada à exploração e degradação do solo, tem impactos diretos na produção de alimentos e na qualidade de vida das comunidades humanas e aquáticas.

Com isso, observa-se então um recorrente choque de interesses entre os diversos grupos econômicos e sociais, o que dificulta em grande parte o atendimento das necessidades de cada indivíduo e dos ecossistemas em que habitam. Assim sendo, é de extrema importância uma gestão correta dos recursos hídricos disponíveis atualmente, bem como um correto monitoramento de como o uso e a ocupação da terra vêm ocorrendo em cada região geográfica. Muitas ferramentas utilizadas pelos órgãos ambientais sobre a gestão de tais recursos estão frequentemente limitadas, obsoletas, desatualizadas ou deficientes.

As bacias hidrográficas são definidas como áreas delimitadas por um espigão, também denominado de divisor de água entre os pontos mais altos da bacia, por onde a água oriunda da precipitação escorre para um único ponto denominado exutório, sendo regiões extremamente importantes sobre as quais todas as civilizações se estabeleceram, cresceram e se desenvolveram (Guerra e Cunha, 1996). É preciso conhecer, portanto, qual a disponibilidade hídrica de cada bacia, o que significa um levantamento acurado da vazão disponível e de como ela pode ser distribuída entre os usuários.

Para que essa água seja corretamente distribuída, faz-se necessário avaliar também qual a demanda por água de cada região compreendida pela bacia hidrográfica em questão, averiguando a necessidade desses diversos usuários, suas finalidades de utilização e a localização no corpo hídrico.

Além disso, a maneira como o solo tem sido utilizado impacta diretamente a

dinâmica do ciclo hidrológico, influenciando tanto o escoamento quanto a infiltração e a evaporação da água nas bacias. Ao utilizar o solo de forma não planejada, pode ocorrer a degradação da qualidade dos recursos hídricos e de seu entorno, em especial quando estes perfazem a área urbana, ao sofrer influência direta dos picos de vazão (SANTOS e HERNANDEZ, 2013). Ribeiro (2005) afirma que o solo influencia inclusive a qualidade desta água, pois, ao percolar no solo, ela adquire parte de suas características. Estas influências se aplicam também na ocorrência de desmatamentos das vegetações nativas para outras finalidades de uso desse solo, ação que acarreta consequências negativas ao meio ambiente, incluindo o aumento das vazões de enchentes e consequente redução das vazões mínimas, a redução no tempo de retenção hidráulica (TRH) da água na bacia e o assoreamento dos corpos hídricos.

Dessa forma, algumas tecnologias e ferramentas de apoio ao gerenciamento têm sido utilizadas para auxiliar o controle e o monitoramento dos recursos hídricos e do uso e ocupação da terra. Para o caso dos recursos hídricos, a obtenção de informações sobre dados de vazões de referência adotadas na gestão hídrica como a Q95% bem como dados pluviométricos de pontos específicos são extremamente importantes para o monitoramento e a preservação dos mananciais das bacias hidrográficas. Moura (2021) afirma que a vazão outorgável para captação de água em cursos hídricos superficiais representa a vazão disponível para ser outorgada em um determinado manancial, tendo em vista a disponibilidade hídrica e os usos já outorgados a montante do ponto de análise. Já para o uso e ocupação da terra, a utilização do sensoriamento remoto através de imagens de satélite é de grande valia para identificação de possíveis alterações ocorridas nos locais no decorrer do tempo.

Outro fato que merece destaque concerne ao número reduzido de postos pluviométricos e fluviométricos e de estações de monitoramento no Brasil (OLIVEIRA, 2013). Para o correto gerenciamento dos recursos hídricos, é preciso ter conhecimento dos dados e características das bacias hidrográficas ao longo dos anos (PRUSKI et al, 2015). O próprio Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande propôs um programa de monitoramento hidrológico, que tem por finalidade melhorar a rede de dados pluviométricos e fluviométricos de sua bacia, de suma importância para subsidiar a análise do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica (ANA, 2016).

A inexistência ou insuficiência de dados em regiões não monitoradas dificulta a realização de estudos de disponibilidade hídrica, sendo, por isso, necessária a utilização de outras ferramentas que possam sanar este problema. Nesse sentido, a regionalização de

vazões entra como uma importante metodologia utilizada para transferir informações hidrológicas de uma região monitorada para outra região não monitorada ou com ausência de dados, através do uso de modelos hidrológicos e equações estatísticas de regressão e também da seleção das variáveis envolvidas (GASQUES et al., 2018).

Dadas as baixas informações quantitativas dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas, bem como a ausência de sua correlação com o uso e ocupação da terra nas bacias, são necessários estudos que visem a suprir a ausência destes dados e auxiliar na determinação da disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas próximas ao município de Rio Verde.

Este estudo visa a estabelecer o procedimento de correlação dos dados coletados e, assim, fornecer subsídios e informações importantes a órgãos e autoridades públicas de gestão ambiental e hídrica, capazes de auxiliar na previsão de cenários que venham a se desenvolver na região dessas bacias no que tange ao uso e ocupação da terra e à disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas da região.

## **1.2 Revisão de literatura**

### ***1.2.1 Política Nacional de Recursos Hídricos***

No decorrer da história, ocorreram diversos acontecimentos buscando incorporar de forma mais efetiva questões ambientais dentro da política e da economia. Movimentos preservacionistas, novas tecnologias, encontros nacionais e internacionais trouxeram ao debate pontos críticos envolvendo crises globais, conservação ambiental e o esgotamento dos recursos hídricos.

Apesar dos esforços para colocar em prática medidas de preservação ambiental, a necessidade de maior planejamento e de gerenciamento dos recursos hídricos permanece em muitos locais. Países, estados e municípios enfrentam dificuldades em planejar o meio urbano e rural de forma a agregar também como prioridade os valores sustentáveis de preservação do meio ambiente, sobretudo devido aos conflitos de interesses entre os grupos interessados e à dificuldade de mudança de paradigma (SANTOS, 2004).

Ao abordar primordialmente a esfera pública, é grande a responsabilidade dos gestores públicos no sentido de influenciar a população em busca do desenvolvimento sustentável de seus municípios e na preservação dos recursos hídricos. Dentro de suas responsabilidades, está a criação de leis e programas de auxílio, em que muitos processos

deveriam abranger maior participação da sociedade, maior envolvimento das lideranças e maior integração de planos regionais.

No Brasil, visando a melhorar o planejamento e a estabelecer novos instrumentos para a gestão dos recursos hídricos, estabeleceu-se em 1997 a Lei nº 9.433, que trata da Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH. Conhecida como a “Lei das Águas”, esta lei estabelece o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos hídricos, composto pelos Conselhos Nacional e Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, comitês de bacias hidrográficas e agências de águas, responsáveis pelo planejamento, regulação, controle, preservação e recuperação das águas. Esta lei é bastante conhecida pela sua característica descentralizadora por constituir um sistema nacional que integra União e estados e ter caráter participativo, por incorporar tanto os poderes públicos nas três instâncias, como também usuários e sociedade civil na gestão dos recursos hídricos. Isso tudo gera resultados positivos no estabelecimento de medidas e práticas eficientes no gerenciamento dos recursos hídricos, levando em consideração a opinião de várias partes envolvidas.

É possível observar, dessa forma, a importância da ação do poder público e do envolvimento de todas as partes interessadas na tomada de decisões e execução de medidas que possam conduzir, auxiliar e incentivar a população como um todo a buscar um desenvolvimento urbano cada vez mais sustentável e eficiente. Conforme estabelece a Lei nº 9.433, de 1997, a água é um bem de domínio público, de uso múltiplo, devendo ter uma gestão descentralizada e eficiente, com participação de diversos usuários.

O objetivo geral da PNRH é "estabelecer um pacto nacional para a definição de diretrizes e políticas públicas voltadas para a melhoria da oferta de água, em quantidade e qualidade, gerenciando as demandas e considerando ser a água um elemento estruturante para a implementação das políticas setoriais, sob a ótica do desenvolvimento sustentável e da inclusão social". Já com relação aos objetivos específicos, este plano visa a assegurar a melhoria das disponibilidades hídricas, reduzir os atuais e potenciais conflitos acerca do uso da água e possíveis eventos hidrológicos críticos, bem como tornar a concepção da água um valor socioambiental relevante. Suertegaray (2018) afirma que, apesar de os geossistemas serem fenômenos naturais, a interferência das atividades antrópicas é indiscutível, sendo, necessário considerar também todas as influências dos fatores antrópicos que neles repercutem.

A PNRH tem diversos instrumentos, incluindo, entre eles, o enquadramento dos corpos de água em classes, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e a cobrança pelo uso de recursos hídricos (ANA, 2022).

O enquadramento de corpos d'água, ao definir o nível de qualidade a ser alcançado ou mantido ao longo do tempo, deve ser visto como um instrumento de planejamento, pois leva em consideração os níveis de qualidade que deveriam ter ou ser mantidos visando a atender à sociedade, muito mais do que apenas à condição atual do corpo d'água em estudo. Ele também visa a diminuir os custos de combate à poluição, ao incorporar ações preventivas permanentes (Art. 9º, Lei nº 9.433, 1997). Conforme instruções normativas da ANA (2022), cada classe do enquadramento de um corpo d'água precisa ser alinhada por meio de um acordo com a sociedade e considerar as prioridades de uso da água. Esse acordo é feito no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Esse enquadramento é fundamental para a cobrança e a outorga, bem como para o licenciamento e monitoramento dos corpos hídricos.

A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos é concedida pela ANA para os rios, reservatórios, lagos e lagoas sob o domínio da União (corpos que passam por mais de um estado brasileiro ou território estrangeiro). Já para obtenção da outorga do uso de recursos hídricos de domínio estadual, é necessária a aprovação do respectivo órgão gestor de recursos hídricos.

E finalmente, tem-se também a cobrança pelo uso da água, prevista pela Lei 9.433/97, que tem como objetivo angariar fundos para a recuperação de bacias hidrográficas brasileiras, além de incentivar o investimento em despoluição, oferecendo ao usuário uma sugestão do real valor da água de forma a incentivá-lo a utilizar tecnologias mais limpas que preservem os recursos hídricos. Cada valor de cobrança é estipulado no âmbito dos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs) e envolve a participação dos usuários, da sociedade civil e do poder público. Para o município de Rio Verde, por exemplo, já foi instaurado o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio dos Bois.

### ***1.2.2 Monitoramento de dados hidrológicos***

O conhecimento de dados hidrológicos é essencial para o correto gerenciamento dos recursos hídricos de uma região em observação. A obtenção e o monitoramento dos valores de vazões máximas, médias e mínimas (OLIVEIRA, 2013) dos corpos hídricos são fundamentais para o estabelecimento de instrumentos de controle dos recursos hídricos, como a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e a cobrança pelo uso da água. Dessa forma, a PNRH está extremamente vinculada e condicionada ao monitoramento constante de dados hidrológicos, pois seus instrumentos só podem ser aplicados mediante

o monitoramento das bacias hidrográficas em questão. Carvalho (2008), por exemplo, afirma que a avaliação da disponibilidade hídrica em um manancial de superfície pode ser feita pelo monitoramento da vazão. Moura (2021) ressalta também a existência de parâmetros morfométricos que podem afetar a disponibilidade hídrica da bacia. Assim sendo, estes dados hidrológicos podem incorporar uma série de valores, incluindo vazão, precipitação, características físicas, porcentagem de vegetação, densidade de drenagem da bacia hidrográfica e localização dos corpos hídricos.

No gerenciamento de recursos hídricos, a vazão de permanência Q95% é frequentemente a mais utilizada e diz respeito ao valor de vazões mínimas observadas ao longo do tempo de determinadas bacias hidrográficas em estudo. Wolff (2013) afirma que a Q95% representa a vazão que é superada ou igualada em 95% do tempo, sendo uma vazão de permanência e de referência bastante utilizada para a gestão dos recursos hídricos. No estado de Goiás, por exemplo, ela é utilizada como parâmetro para análise do processo de outorga de uso dos recursos hídricos superficiais, medindo a disponibilidade hídrica para suprir as necessidades humanas mediante a vazão outorgável regulamentada pela SEMAD (ANA, 2019).

A Q95% pode ser determinada pelo estudo e avaliação dos dados de séries históricas encontradas nas chamadas estações de hidrométricas. Estas estações são pontos de monitoramento utilizados para fazer o levantamento das informações necessárias à hidrologia, como vazão e precipitação, e as séries de dados registradas constituem importante acervo para estudos de regionalização de vazão (ARAUJO, 2019).

Atualmente, a cobertura de monitoramento de dados hidrológicos pelas estações pluviométricas e fluviométricas é muito pequena no Brasil. O Hidroweb-ANA tem apenas 5.868 estações de monitoramento no extenso território brasileiro de 8.510.345,538 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022). Ao ser aplicada uma média, haveria uma estação de monitoramento para cada 1.450,30 km<sup>2</sup> de território (SNIRH, 2022). Além disso, observa-se também que estas estações não estão distribuídas de forma uniforme em todo o território. Dessa forma, além dos locais sem monitoramento, existem também estações com períodos longos de falhas de observação, bem como dados constituídos de séries de duração muito curta (PINTO et al., 2001).

Como exemplo, pode-se citar o caso da bacia hidrográfica do Rio dos Bois, em Goiás, onde estão as estações relacionadas no inventário da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, tendo sido observada uma quantidade muito reduzida de estações. Além disso, poucas estações têm dados disponíveis para download ou apresentam



série histórica e dados recentes para estudos de monitoramento. Para as estações fluviométricas, observa-se que, das 17 estações com dados, apenas 11 têm dados registrados entre 2015 e 2019, e dessas, apenas 10 apresentam série histórica com pelo menos 20 anos de dados. Já para as estações pluviométricas, observa-se que apenas 17 das 28 estações com dados têm dados registrados entre 2015 e 2019 e série histórica com pelo menos 20 anos de dados (PBAPGO, 2000). Outro estudo conduzido por Santos et al. (2006) avaliou novamente as vazões alocáveis na Bacia Hidrográfica do Rio dos Bois, através de dados fornecidos por apenas 20 estações distribuídas em suas principais sub-bacias, cuja maioria apresentava séries históricas de aproximadamente 30 anos (GAMA, 2004).

Outro fator que merece destaque concerne aos elevados custos de implantação, operação e manutenção das instalações de estações de monitoramento dos recursos hídricos. Pelo fato de estas estações serem geralmente instaladas em locais de interesse hídrico mais relevante, como, por exemplo, corpos hídricos que têm hidrelétricas, o monitoramento fica limitado somente a grandes bacias hidrográficas com extensas áreas de drenagem ou situações mais particulares. Isso leva à ausência de estações e dados em rios, córregos e ribeirões de menor tamanho, dificultando, assim, a estimativa da disponibilidade hídrica destes corpos hídricos (PRUSKI et al., 2015).

Vale ressaltar também que o monitoramento de dados hidrológicos envolve tanto aspectos quantitativos quanto aspectos qualitativos dos corpos hídricos. Moura (2021) afirma que a análise morfométrica comparativa entre bacias hidrográficas contíguas tem como objetivo verificar a variação dos valores dos índices morfométricos entre as bacias, caracterizando-as como homogêneas ou heterogêneas. Dessa forma, a organização destes dados, seleção de valores e variáveis bem como a aplicação de métodos de agrupamento e análise dos índices gerados são fundamentais na identificação do melhor algoritmo para a determinação de regiões hidrológicamente homogêneas e suas caracterizações, permitindo compreender, inclusive, quais conjuntos de variáveis se relacionam com a dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica (ALMEIDA et al., 2016).

### ***1.2.3 Regionalização de dados hidrológicos***

A técnica de regionalização visa a transferir informações hidrológicas de uma região de comportamento hidrológico conhecido para outros locais não monitorados. Trata-se de uma ferramenta que, através de metodologias específicas, tem sido utilizada para suprir a carência de informações hidrológicas pela transferência de variáveis, funções ou

parâmetros entre locais com comportamento hidrológico semelhante (PRUSKI et al., 2012).

Existem diversos métodos aceitos para a regionalização de vazões em bacias hidrográficas. Arsenault e Brissette (2014) afirmam que os métodos mais frequentemente utilizados referem-se à abordagem por regressão, por proximidade espacial e por semelhança física. Existem também diversas técnicas de agrupamento, e os modelos devem ser testados para avaliar qual melhor se aplica a cada situação. Dependendo de cada caso, existem modelos de regressão e conjunto de variáveis que melhor se ajustam aos dados de vazão de determinada bacia hidrográfica em estudo (ALMEIDA et al., 2016).

Outro estudo, conduzido por Barbosa (2004), apresentou a análise de dados hidrológicos visando à regionalização de vazões da bacia do Rio do Carmo. Os autores utilizaram tanto o coeficiente de compactidade, quanto o fator de forma e a declividade da bacia hidrográfica como variáveis consideradas, tendo estas variáveis sido definidas por Villela e Mattos em 1975. Também foram feitas triangulações para o traçado das mediatrizes que definem os polígonos de Thiessen, em que cada número inserido identificava uma estação pluviométrica, de acordo com a ordem estabelecida.

Com relação à análise morfométrica das bacias hidrográficas, Antonelli e Thomas (2007) afirmam que ela é uma ferramenta extremamente importante para a gestão de recursos hídricos. Gasques et al. (2018) também reiteram que os principais dados necessários para a regionalização de vazões são os dados morfométricos, que representam as características físicas da bacia, obtidos pela análise de mapas analógicos, ou de dados de sensoriamento remoto.

Regiões hidrologicamente homogêneas podem ser identificadas de diversas formas, como, por exemplo, através de algoritmos hierárquicos. Também é possível testar diferentes combinações de entradas de acordo com combinações das variáveis de vazão, características geofísicas e localizações de várias estações de monitoramento (postos pluviométricos e fluviométricos) (ARAUJO, 2019).

A Eletrobrás criou em 1985 um método que ficou conhecido como método tradicional, o qual apresenta um guia contendo os procedimentos indicados para a regionalização de vazões, de forma a padronizar o procedimento (ELETROBRÁS, 1985). A primeira etapa envolve inicialmente a definição das regiões hidrologicamente homogêneas. Em seguida, são obtidas equações que permitem associar a vazão com outras variáveis da bacia hidrográfica de interesse (PRUSKI et al., 2012).

Outro método conhecido se refere ao método da conservação da massa. Este método

visa a aperfeiçoar o procedimento de correções de distorções do método tradicional e utiliza geralmente uma rotina de ajuste condicionado e um ponto de apoio. Seu diferencial está no fato de a vazão obtida pela equação de ajuste considerar as informações de todas as estações de monitoramento situadas no corpo hídrico, sendo, por isso, mais representativa do que se fosse analisada apenas pontualmente (ARAUJO, 2019).

Como mencionado, existem diversos métodos de regionalização para analisar estatisticamente as relações entre parâmetros envolvendo as bacias hidrográficas, sendo, para isso, necessário atentar para situações particulares envolvendo variáveis, funções, parâmetros e indicadores regionais (GASQUES, 2018).

Estudos sobre a regionalização de vazões em bacias hidrográficas têm papel fundamental no quesito fornecer informações sobre a disponibilidade hídrica de bacias não monitoradas hidrologicamente. Tais estudos fornecem subsídios inclusive para levantamentos sobre a geodiversidade no Brasil, ao delimitar em um determinado espaço a disponibilidade hídrica das bacias (CPRM, 2020).

Mediante esses estudos de regionalização, é possível identificar necessidades de melhoria da rede hidrometeorológica, sugerindo a instalação de novas estações ou relocação das estações existentes, além de permitir a avaliação da qualidade e da consistência dos dados, atuando como ferramenta de apoio. Também é possível comparar estações de comportamentos hidrológicos semelhantes e estações de monitoramento com diferentes séries de dados e tamanhos. Além disso, quanto maior a parcela de dados coletados no decorrer do tempo, maior a confiabilidade atribuída aos resultados (CPRM, 2020).

No âmbito científico, diversas pesquisas em pontos específicos foram desenvolvidas, como o estudo de vazão de 95% de permanência da sub-bacia do Rio Paraíba do Sul (MELO et al., 2017). Há inclusive um projeto em andamento denominado “Projeto Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras”, que busca transferir informações hidrológicas de regiões monitoradas para outras de comportamento hidrológico semelhante, podendo estendê-las a diversos pontos no decorrer dos corpos hídricos das bacias hidrográficas (BAENA et al., 2004).

De toda forma, é importante que sejam conduzidos mais estudos envolvendo novas metodologias de identificação de regiões hidrologicamente semelhantes, no sentido de aperfeiçoar os métodos de regionalização já existentes e até mesmo propor novas variáveis que podem estar de forma direta ou indireta influenciando na obtenção dos valores estimados de vazão (ARAUJO, 2019). Estes estudos de regionalização são essenciais para

o correto planejamento e gestão dos recursos hídricos, contribuindo até mesmo para a diminuição de ocorrências de eventos críticos como cheias e inundações.

No Estado de Goiás, conforme a Resolução nº 22/2019, no art. 21, a metodologia atual utilizada na gestão de recursos hídricos pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), órgão executivo competente no estado de Goiás, utiliza a vazão específica de permanência (Q95) como vazão de referência para a outorga de direito de uso das águas de domínio do estado. Esta outorga representa a vazão com garantia de permanência em 95% do tempo durante um ano, tendo em vista a bacia de contribuição no ponto de captação, cuja informação esteja disponível (MOURA, 2021). Contudo essa metodologia é bastante limitada e apresenta falhas, pois não considera, por exemplo, variações climáticas e de topografia dentro das UPGRH (Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos) do estado.

#### ***1.2.4 Uso e ocupação da terra e o ciclo hidrológico***

Diversos fatores podem influenciar as relações entre o ciclo hidrológico e o uso e ocupação da terra, em especial a quantidade e a velocidade da água que circula nas diferentes etapas do ciclo hidrológico. Entre esses fatores, é possível citar a interface com a cobertura vegetal, a exposição do solo, a temperatura, a morfologia e geologia da região bem como a topografia e a altitude.

A água que alcança o solo pode sofrer tanto infiltração quanto escoamento, e a forma como o solo é utilizado nas bacias exerce forte influência nesse fenômeno, levando em consideração as ações humanas e os próprios processos ecossistêmicos naturais e complexos. Ações como desmatamento, produção agropecuária, retirada de grandes volumes de água para irrigação e construção de grandes espaços impermeabilizados (ANACHE, 2017).

- Desmatamento

Grandes alterações da vegetação nativa podem interferir fortemente nas propriedades do solo em questão, implicando também alterações nas propriedades da água dos rios. Especialmente para os solos com baixo teor de argila, as raízes formam uma estrutura de rede que auxilia inclusive na composição química e biológica do solo. As raízes estruturadas no solo contribuem na taxa de infiltração e retenção de água, na oxigenação, na capacidade de absorção nutritiva e na atividade de muitos organismos vivos, além de proteger o solo contra assoreamentos e deslizamentos (BALBINO et al., 2011).

Assim sendo, os desmatamentos feitos para formação de pastagens e para atividades agrícolas retiram do solo árvores de grande porte e minimizam o efeito das raízes na absorção da água e na estruturação do solo, deixando-o mais suscetível aos fenômenos de erosões e de deslizamentos.

- Atividades agrícolas e agropecuárias

Outro fator responsável pelas alterações do ciclo hidrológico refere-se ao uso inadequado dos solos agrícolas por gerar como consequência a perda gradual da capacidade produtiva do local e sedimentos e poluentes que degradam os corpos hídricos e os recursos hídricos (ANACHE, 2017). Além disso, a retirada de grandes volumes de água para irrigação de grandes áreas agrícolas representa um valor muito significativo da parcela total de recursos hídricos disponíveis para a realização de todas as atividades humanas, e deve ser considerada na avaliação da distribuição hídrica pelos órgãos ambientais.

A deposição de grandes volumes de sedimentos decorrentes do uso e ocupação da terra afeta o transporte e o escoamento superficial dos corpos hídricos, alterando também a vazão máxima de cheia, os fluxos de base, a recarga subterrânea, a umidade do solo, bem como o volume de erosão e sedimentação. Já com relação à qualidade dos recursos hídricos, estes se tornam mais suscetíveis ao incremento de organismos patogênicos, pesticidas, metais pesados, alterações no regime termal e na quantidade de matéria orgânica e nutritiva presente (FAO, 2016).

- Impermeabilização

O efeito da urbanização gerou conseqüentemente um crescimento na quantidade de áreas impermeabilizadas nas cidades. Esse acontecimento minimiza significativamente a infiltração e o fluxo subsuperficial nas regiões das bacias hidrográficas, em especial nas áreas urbanizadas, tornando-as mais propensas à ocorrência de enchentes e deslizamentos (CHUI; TRINH, 2016).

A ação de compactação de superfícies permeáveis, somada às áreas já construídas e pavimentadas, prejudica a porosidade das superfícies, tornando-as lisas, impedindo parcialmente o efeito de desvio para as subsuperfícies. Anache (2017) afirma que a compactação excessiva do solo decompõe os agregados e diminui o conteúdo de água do solo pela redução da porosidade do ar e dos capilares.

Todas essas ações impactam a função ecológica do solo e propiciam mais ocorrências de riscos de inundações e degradações, ao aumentar o pico de vazão e diminuir o fluxo de base dos corpos hídricos (YANG; ZHANG, 2011. CHUI; TRINH, 2016).

- Precipitação

Grandes volumes de precipitação, ao incidir sobre regiões muito impermeáveis, ocasionam o incremento do escoamento superficial e da evaporação direta das águas acumuladas nas superfícies impermeáveis (ANACHE, 2017). Quando um volume precipitado atinge solos mais permeáveis, ele é direcionado e dividido para um escoamento superficial e outro subsuperficial, além da contribuição dos fenômenos de evaporação da água disponível e da evapotranspiração de parte do que foi retido no solo, sendo devolvido à atmosfera (SANTOS, 2004).

Estudos informam que o tempo de escoamento é inversamente proporcional ao aumento da intensidade da chuva. Além disso, a taxa de infiltração também é inversamente proporcional ao aumento da duração do período de chuva. A quantidade total de precipitação que contribui para a infiltração varia entre 40% e 74%, dependendo da intensidade da chuva, bem como da sua duração e das condições de umidade antecedentes na inclinação (Rahardjo et al., 2004; apud. CUOMO; DELLA SALA, 2013).

- Demais atividades antrópicas

De forma geral, a ação antrópica sobre os ambientes naturais tem acelerado todos os processos mencionados acima de forma intensiva. Se não corretamente avaliadas e mensuradas, essas ações podem trazer resultados muito prejudiciais ao longo do tempo, como, por exemplo, impactos no setor produtivo agrícola, reflexos econômicos e sociais e impactos nos ecossistemas.

### ***1.2.5 Ferramentas geoespaciais na gestão de recursos hídricos***

O uso de imagens e de informações oriundas de tecnologias via sensoriamento remoto trouxe uma série de contribuições para diversas áreas de pesquisa, entre elas as áreas ambientais, agronômicas, hidrológicas e urbanas (LIU, 2006). Informações geoespaciais bem coletadas, analisadas e convertidas auxiliam num controle eficiente do meio urbano, natural ou rural, pois ajudam gestores e órgãos de autoridade nas tomadas de decisões. A instalação de sensores em satélites artificiais representou uma completa evolução da tecnologia espacial (FLORENZANO, 2002).

Existem diversos processos e metodologias envolvendo o sensoriamento remoto e o processamento digital de imagens obtidas, entre elas o auxílio no gerenciamento dos recursos hídricos. Para isso, é muito importante entender o que representa o sensoriamento remoto e quais as principais definições, leis, características dos sensores a serem

utilizados, bem como os processos de composição de bandas, obtenção e processamento dessas imagens.

Por definição, Menezes et al. (2012) afirmam que o sensoriamento remoto pode ser explicado como sendo a ciência de detecção e mensuração da quantidade de radiação eletromagnética refletida dos materiais terrestres representados nas imagens. Fitz (2008) complementa que o Sistema de Informação Geográfica tornou possível a modelagem e o processamento desses dados coletados pelo sensoriamento remoto, transformando essa representação em mapas que auxiliam na tomada de decisão de diversos assuntos ambientais, como os hidrológicos.

Desde sua origem em meados de 1960 durante a corrida espacial, o sensoriamento remoto começou a ser feito inicialmente em balões movidos a gás, posteriormente por aviões durante o período de guerras, e foi sendo aperfeiçoado à medida que a fotogrametria foi sendo desenvolvida. Com o surgimento e o avanço dos sensores de alta resolução, foram sendo obtidas as primeiras imagens via satélite para coleta de dados, acompanhando o desenvolvimento dos satélites artificiais (MENEZES et al., 2012).

Para obter tais imagens via satélite artificial, são usados sensores remotos que podem circular tanto de forma geoestacionária, quanto de forma polar ou heliosíncrona. Para isso, é preciso que haja um emissor responsável por gerar a energia, uma atmosfera de estudo, o alvo ou região que se deseja estudar, um sensor e uma fonte de transmissão, bem como um sistema responsável pelo processamento e análise das informações (FLORENZANO, 2002).

Com o resultado desse processamento digital das imagens, é possível calcular uma série de índices ambientais de extrema importância para as pesquisas atuais relacionadas ao meio ambiente e ao meio urbano, incluindo índices de vegetação, de construção, de umidade, de solo exposto e de queimadas. Além disso, é possível obter também parâmetros físicos como temperatura, emissividade e albedo da superfície, saldo de radiação e balanço de energia. Essa obtenção de parâmetros é possível graças ao processamento digital das imagens, que consiste em convertê-las para unidades físicas, coordenadas específicas, com seleção e recorte da área de estudo em questão (MENEZES et al., 2012).

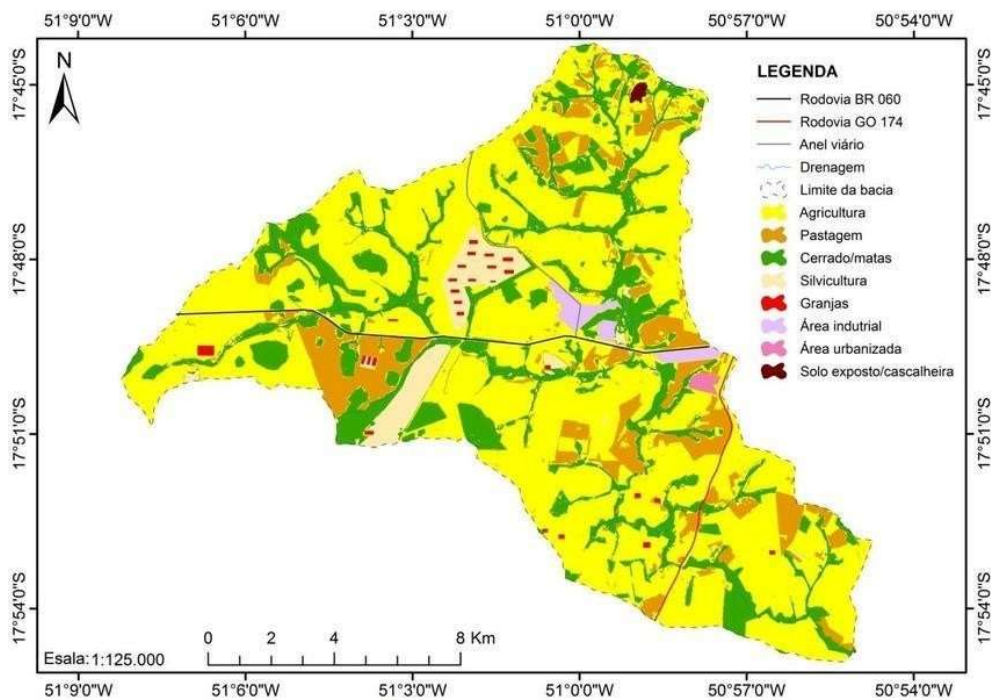
Todos esses índices e parâmetros são fundamentais na análise e resolução de problemáticas ambientais. Através de seus valores, é possível inferir resultados sobre a situação histórica e atual de determinada região. Podem, ser analisados, por exemplo, o grau de desmatamento no decorrer de um período de análise, bem como da porcentagem de certa região devastada por queimadas, ou ainda dados de precipitação e de uso e

ocupação do solo.

Tendo em vista todas estas possibilidades de obtenção de dados geográficos e geológicos, o uso do sensoriamento remoto se torna uma ferramenta muito importante para o controle e monitoramento ambiental de países com vasta extensão territorial, como o Brasil. Mais especificadamente no Estado de Goiás, pode-se destacar a existência de cidades com economia forte, voltada primordialmente ao agronegócio, incluindo Rio Verde. Ao enfrentar grande aumento populacional, industrialização acelerada e levando em consideração a principal prática econômica deste município, torna-se extremamente importante o monitoramento do uso e ocupação da terra no decorrer do tempo, pois estes eventos estão diretamente ligados ao desempenho econômico e social da região e podem causar impactos negativos nas bacias hidrográficas que a cercam (IBGE, 2019)

A Figura 1 exemplifica um modelo de mapa de uso e ocupação da terra para uma das principais bacias hidrográficas responsáveis pelo abastecimento da cidade de Rio Verde, o denominado Ribeirão Abóboras, segundo pesquisas desenvolvidas por Alves (2016).

**Figura 1 - Mapa temático do uso e ocupação da terra da bacia do Ribeirão das Abóboras em 2015**



Fonte: Alves et al. (2016).

A Figura 1 mostra os diferentes tipos de ocupação da terra mencionados na legenda,



para o ano de estudo. Se analisados em conjunto com outras imagens no decorrer de determinado período, tais mapas podem indicar mudanças significativas nas regiões de estudo.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a disponibilidade hídrica e o uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas no entorno do município de Rio Verde no decorrer dos últimos 40 anos.

### **2.2 Objetivos específicos**

- ✓ Avaliar a dinâmica de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas do Rio Verdão, Rio Verdinho e Rio Monte Alegre no decorrer de 40 anos;
- ✓ Avaliar o comportamento hidrológico das vazões de permanência e precipitações acumuladas anualmente para as bacias hidrográficas do Rio Verdão, Rio Verdinho e do Rio Monte Alegre em 40 anos; e
- ✓ Estabelecer equações estatísticas de regressão, correlacionando as variáveis hidrológicas com o uso e a ocupação da terra para a região hidrológica em estudo.

### 3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Plano de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do Rio Paranaíba*. Brasília: Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR), 2013.

\_\_\_\_\_. *Atlas Brasil Abastecimento Urbano de Água*. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=12&mapa=sist>>. Acesso em 1 de dezembro de 2019.

\_\_\_\_\_. *Balanço Hídrico Quantitativo*. Disponível em: <<http://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=ac0a9666e1f340b387e8032f64b2b85a>>. Acesso em 1 de dezembro de 2019a.

\_\_\_\_\_. *Outros usos*. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/usuarios/outs-usos>>. Acesso em 1 de dezembro de 2019b.

\_\_\_\_\_. *Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Verde Grande*. Brasília: ANA, 124p.: il, 2013.

\_\_\_\_\_. *Política Nacional de Recursos Hídricos*. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos>>. Acesso em 17 de janeiro de 2022c.

\_\_\_\_\_. *Região Hidrográfica Paraná*. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/as-12-regioes-hidrograficas-brasileiras/parana>>. Acesso em 1 de dezembro de 2019d.

\_\_\_\_\_. *Situação do abastecimento urbano de água*. Disponível em: <<http://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=75fb6a664f5d458bb9a504964e95d1fd>>. Acesso em 1 de dezembro de 2019e.

ALMEIDA, R. F. B.; BAYER, M.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. *Compartimentação morfológica da bacia do Rio Coco como subsídio a análise de fragilidade ambiental*. Mercator, Fortaleza, v.15, n.4, p. 83-94, out./dez. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4215/rm2016.1504.0006>. Acesso em 10 de junho de 2021.

ALVES, S.; SCOPEL, I.; MARTINS, A. P.; ALVES, W. *Análise Morfológica da Bacia do Ribeirão das Abóboras – Rio Verde (GO)*. Geociências, v. 35, n. 4, p. 652– 667, 2016.

ANACHE, J. A. A. *Alterações no ciclo hidrológico e na perda de solo devido aos diferentes usos do solo e variações climáticas em área de Cerrado*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos – SP, 2017. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-117042018-110107/publico/ANACHE\\_JAA\\_2017.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-117042018-110107/publico/ANACHE_JAA_2017.pdf)>. Acesso em 09 de junho de 2020.

ANTONELLI, V.; THOMAZ, E. L. *Caracterização do meio físico da Bacia do Arroio Boa Vista – Guamiranga - PR*. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v.8, n.21, p.46 – 58, 2007.

ARAÚJO, F. C. *Regionalização de vazões na bacia hidrográfica do Rio Paranapanema*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2019.

ARSENAULT, R.; BRISSETTE, F. P. *Continuous streamflow prediction in ungauged basins: The effects of equifinality and parameter set selection on uncertainty in regionalization approaches*. *Water Resources Research*, [s.l.], v. 50, n. 7, p.6135-6153, 2014.

BANCO DE DADOS METEOROLÓGICOS PARA ENSINO E PESQUISA (BDMEP). *Dados de precipitação de janeiro de 2004 a dezembro de 2014*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em 1 de dezembro de 2019.

BAENA, L. N.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F., CALIJUR, M. L. *Regionalização de Vazões com Base em Modelo Digital de Elevação para a Bacia do Rio Paraíba Do Sul*. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.24, n.3, p.612-624, set./dez. 2004. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/eagri/v24n3/a13v24n3.pdf>>. Acesso em 09 de junho de 2020.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.D.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. D.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. *Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46, pp. 0-0, 2011.

BRASIL. *Lei Federal no 9.433, de 08 de janeiro de 1997*. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm)>. Acesso em 15 de outubro de 2019.

CARVALHO, T. M. *Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais*. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 1, n. 1, p. 73-85, 2008.

CHEREM, L. F. *Análise morfométrica da bacia do Alto Rio das Velhas-MG*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Modelagem de Sistemas Ambientais. Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais-IGC/UFMG, 111 p. Belo Horizonte. 2008.

CHUI, T. F. M.; TRINH, D. H. *Modelling infiltration enhancement in a tropical urban catchment for improved stormwater management*. *Hydrological Processes*, [s.l.], p.4405-4419, Wiley, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/hyp.10926>>. Acesso em 09 de junho de 2020.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Regionalização de Vazões nas Bacias Hidrográficas Brasileiras*, 2020. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Regionalizacao-de-Vazoes-nas-Bacias-Hidrograficas-Brasileiras-2998.html>>. Acesso em 09 de junho de 2020.

CUOMO, S.; DELLA SALA, M. *Rainfall-induced infiltration, runoff and failure in steep unsaturated shallow soil deposits*. Engineering Geology, [s.l.], v. 162, p.118-127. Elsevier BV, 2013. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2013.05.010>>. Acesso em 09 de junho de 2020.

ELETROBRÁS - Centrais Elétricas Brasileiras S.A. *Metodologia para regionalização de vazões*. Rio de Janeiro, 1985. 2 v.

FAO. FAOSTAT. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#home>>. Acesso em 09 de junho de 2020.

FITZ, P. R. *Geoprocessamento sem complicação*. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. *Imagens de Satélites para Estudos Ambientais*. São Paulo: Oficina de Textos, 97p, 2002.

FRAGA, M. D. S.; FERREIRA, R. G.; SILVA, F. B.; VIEIRA, N. P. A.; SILVA, D. P. da; BARROS, F. M.; MARTINS, I. S. B. *Caracterização morfológica da bacia hidrográfica do Rio Catolé*. Nativa, v. 02, n. 04, p. 214–218, 2014.

FRANÇA, B. T. *Avaliação da Dinâmica do Uso do Solo no Brasil no Início do Século XXI: Estudo de Caso – Bacia Do São Francisco*. Universidade Federal de Juiz de Fora, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, 2015. Disponível em:

<[http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC\\_Bruna\\_Thomazinho.pdf](http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/TFC_Bruna_Thomazinho.pdf)>.

Acesso em 02 de junho de 2020.

GAMA - Engenharia e Consultoria Ltda. *Assessoria Técnica Referente à Implantação e Operação de Projetos de Irrigação no Estado de Goiás e Elaboração do Plano Diretor de Irrigação – Relatório de andamento referente ao mês de março de 2004*. Não Publicado. Goiânia: Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento, SEPLAN, 2004.

GARCIA, A. V.; OLIVEIRA, E. C. A. de; SILVA, G. P.; COSTA, P. P. da; OLIVEIRA, L. A. de. *Disponibilidade hídrica e volume de água outorgado na microbacia do Ribeirão Abóbora, município de Rio Verde, estado de Goiás*. Caminhos de Geografia, v. 8, n. 22, p. 97–106, 2007.

GASQUES, A. C. F., NEVES, G. L., SANTOS, J. D., MAUAD, F. F., OKAWA, C. M. P. *Regionalização de vazões mínimas: breve revisão teórica*. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 14, n. 2, p. 60–70, 2018.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. *Degradação ambiental*. Geomorfologia e meio ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 337-339, 1996.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades e*

*Estados*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/go/rio-verde.html>>. Acesso em: 1 dez. 2019a.

\_\_\_\_\_. *História*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/rio-verde/historico>>. Acesso em 1 de dezembro de 2019a.

\_\_\_\_\_. *Panorama*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/rio-verde/panorama>>. Acesso em: 1 dez. 2019b.

\_\_\_\_\_. *Organização do Território*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>>. Acesso em 16 de janeiro de 2022c.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Balanço Hídrico*

*Climático*. Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=agrometeorologia/balancoHidricoClimatico>>. Acesso em: 1 dez. 2019a.

\_\_\_\_\_. *Balanço Hídrico Sequencial*. Disponível em:

<<http://sisdagro.inmet.gov.br/sisdagro/app/monitoramento/bhs>>. Acesso em 1 de dezembro de 2019b.

LEUSBROCK, I.; NANNINGA, T. A.; LIEBERG, K.; AGUDELO-VERA, C. M.; KEESMAN, K. J.; ZEEMAN, G.; RIJNAARTS, H. H. M. *The urban harvest approach as framework and planning tool for improved water and resource cycles*. Water Science and Technology, v. 72, n. 6, p. 998–1006, 2015.

LIU, W.T.H. *Aplicações de Sensoriamento Remoto*. Campo Grande: Ed. UNIDERP, p. 417-422, 2006.

LOPES, R. M.; ASSUNÇÃO, H. F.; SCOPEL, I.; CABRAL, J. B. P. *Características Fisiográficas E Morfométricas Da Microbacia Do Córrego Jataí No Município De Jataí- GO*. Geoambiente On-line, v. 0, n. 9, p. 143–163, 2007.

MASCARENHAS, L. M. de A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. *Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na Bacia do Rio Araguaia*. Sociedade & Natureza, v. 21, n. 1, p. 5–18, 2009.

MELO, J. S.; VILLAS BOAS, M. D. *Regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras: estudo da vazão de 95% de permanência da sub-bacia 58, Bacia do Paraíba do Sul*, 2017. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20819>>. Acesso em 09 de junho de 2020.

MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. UNB & CNPq, 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). *Outorga do uso da água*. Disponível em: <<http://www.meioambiente.gov.br/meio-ambiente-e-recursos-hidricos/outorga-do-uso-da-agua.html>>. Acesso em 4 de dezembro de 2019a.

\_\_\_\_\_. *O Ciclo Hidrológico*. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/420-ciclo-hidrol%C3%B3gico.html>>. Acesso em 6 de junho de 2020b.

MOURA, D. M. B. de. *Proposta metodológica para avaliação e definição de fontes superficiais de abastecimento público: uma análise comparativa entre duas bacias hidrográficas, visando a segurança hídrica de Iporá (GO)*. CCXLVII, 247 f.: il, 2021.

OLIVEIRA, V. A. *Regionalização de vazões nas regiões das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos GD1 E GD2*. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 99p. 2013.

PINTO, E. J. de A., ALVES, M. M. S. *Regionalização de vazões das sub-bacias Alto São Francisco - caracterização física e análise dos dados básicos*. Convênio 015/2000 ANEEL – 013/CPRM/2000, Relatório Final, v. I, 2001.

PREFEITURA DE RIO VERDE. *História da cidade*. Disponível em: <<https://www.rioverde.go.gov.br/historia-cidade/>>. Acesso em 1 de dezembro de 2019.

\_\_\_\_\_. *Plano de ampliação e melhoria do abastecimento de água de Rio Verde*. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/16714503-Saa-rio-verde-plano-de-ampliacao-e-melhoria-do-abastecimento-de-agua-de-rio-verde-go.html>>. Acesso em 1 de dezembro de 2019.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUEZ, R. DEL G.; NUNES, A. A.; PRUSKI, P. L.; SINGH, V. P. *LOW-flow estimates in regions of extrapolation of the regionalization equations: a new concept*. Engenharia Agrícola, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 5, p. 808-816, set./out. 2015.

PRUSKI, F. F.; NUNES, A. A.; REGO, F. S.; SOUZA, M. F. *Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: Alternativas para atenuar os riscos*. Water Sources and Irrigation Management – V. 1 – no 1 – Campina Grande, PB, UFRB/INS, 51-59 p., 2012.

RIBEIRO, C. B. M.; MARQUES F. A.; SILVA D. D. *Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce*. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.13, n.2, p.103-107, 2005.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T. *Uso do solo e monitoramento dos recursos hídricos no córrego do Ipê, Ilha Solteira, SP*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.1, p.60-68, 2013.

SANTOS, A. R. *A Água na Natureza e o Ciclo Hidrológico*. UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – UFES. Departamento de Geografia e Climatologia, cap, 14. SANTOS, R. F. dos. *Planejamento Ambiental: teoria e prática*. Oficina de Textos, São Paulo – SP, 2004.

SANTOS, H. I. O., GONÇALVES. L., FIOREZE, A. P. *Avaliação das Vazões Alocáveis na Bacia Hidrográfica do Rio dos Bois e sub-bacia do Rio do Peixe, Estado de Goiás*. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 11, n.2, Abr/Jun, 47-58, 2006.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS - SNIRH (2020). *Hidroweb-ANA - Dados pluviométricos*. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em 1 de junho de 2020.

\_\_\_\_\_. *Hidroweb-ANA - Dados pluviométricos*. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>>. Acesso em 1 de junho de 2020.

\_\_\_\_\_. *Hidroweb-mobile*. Disponível em: <<https://www.snirh.gov.br/hidroweb-mobile/mapa>>. Acesso em: 17 jan. 2022.

SOUZA, J.L.M.; GOMES, S. *Limites na utilização de um modelo de balanço hídrico decendial em função da capacidade de água disponível no solo*. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, PR. v. 30. n. 2, p. 153-163, 2008.

SJÖSTRAND, K.; LINDHE, A.; SÖDERQVIST, T.; ROSÉN, L. *Cost-Benefit Analysis for Supporting Intermunicipal Decisions on Drinking Water Supply*. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 145, n. 12, p. 1–12, 2019.

SUERTEGARAY, D. M. A. *Geografia Física e Geomorfologia: uma releitura*. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2018. 126 p.

TUCCI, C.E.M. *Hidrologia Ciência e Aplicação*. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

TUCCI, C.E.M; CABRAL, J. J. da S. P. *Qualidade da Água Subterrânea*. UFRGS, Departamento de Hidromecânica e Hidrologia, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Anexo II-b., 2003. Disponível em: <[https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/a2b\\_doc\\_final\\_agua\\_subterr\\_1184.pdf/49642517-e831-4ef7-bccd-5c6d3834a3a0?version=1.0](https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/a2b_doc_final_agua_subterr_1184.pdf/49642517-e831-4ef7-bccd-5c6d3834a3a0?version=1.0)>. Acesso em 10 de janeiro de 2022.

YANG, J.; ZHANG, G. *Water infiltration in urban soils and its effects on the quantity and quality of runoff*. Journal Of Soils and Sediments, [s.l.], v. 11, n. 5, p.751-761, 7, 2011. Springer Nature. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11368-011-0356-1>>. Acesso em 09 de junho de 2020.



WOLFF, W. A. *Avaliação e nova proposta de regionalização para o Estado de São Paulo*.  
Dissertação – Engenharia de Sistemas Agrícolas - Universidade de São Paulo - Escola Superior  
de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 2013, 111p.

#### **4 CAPÍTULO 1 – ARTIGO 1**

### **DINÂMICA DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E USO/OCUPAÇÃO DA TERRA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS NO SUDOESTE GOIANO**

(Artigo a ser submetido à Revista Sanitária e Ambiental - Qualis B1)

## RESUMO

O aumento da demanda por recursos hídricos em razão do crescimento populacional, do uso e da ocupação da terra pela ação humana bem como da inexistência/insuficiência de dados hidrológicos em regiões não monitoradas suscita a necessidade cada vez maior de realização de estudos de disponibilidade hídrica e de uso e ocupação do solo em bacias hidrográficas no sentido de atender a população e atenuar os conflitos pelo uso da água. Desta forma, esta dissertação tem como objetivo comparar a disponibilidade hídrica com possíveis fatores de influência em bacias hidrográficas no entorno do município de Rio Verde no período de 40 anos. A metodologia envolve primordialmente a definição da área de estudo das bacias do Rio Verdinho, Rio Verdão e Rio Monte Alegre. As imagens de satélite foram obtidas na base de dados da *USGS Earth Explorer* e processadas no QGIS pela extensão *TauDEM*. Em seguida, foram coletados dados pluviométricos e fluviométricos cadastrados no Hidroweb-ANA dos pontos de monitoramento escolhidos, a fim de obter as séries históricas de vazão e precipitação. Na sequência, foi feita a classificação supervisionada do uso e ocupação da terra no QGIS através da extensão *Dzetsaka Classification Tool*, fornecendo a porcentagem da vegetação nativa, agricultura irrigada e de áreas construídas para cada bacia. Finalmente, foi aplicada a técnica estatística de regressão linear múltipla para obter equações relacionando o “uso e ocupação do solo” com a “disponibilidade hídrica” das bacias avaliadas. Os resultados indicaram que a vazão Q95% teve tendência de decaimento ao longo dos 40 anos para todas as bacias estudadas. Por outro lado, a precipitação acumulada anual, apesar de oscilar durante o período, manteve uma linha de tendência constante para as bacias do Rio Verdinho e Rio Verdão e de ascensão para o Rio Monte Alegre. Observou-se também aumento do uso do solo de todas as bacias para fins de agricultura, seja na forma irrigada ou não irrigada. Dessa forma, infere-se que o declínio da vazão Q95% com a considerável constância ou aumento da precipitação está provavelmente relacionado ao uso e ocupação do solo, principalmente pelo aumento da irrigação. Estes dados devem ser considerados para a previsão de cenários e gerenciamento eficiente dos recursos hídricos da região.

Palavras-chave: Irrigação. Precipitação. Recursos hídricos. Uso e ocupação da terra. Vazão.

## ABSTRACT

The growing demand for water resources due to population growth with consequent land use and occupation by humans as well as the inexistence/insufficiency of hydrological data in unmonitored regions cause the need to carry out studies on water availability and on land use and occupation of the hydrographic basin, aiming to serve the population and mitigate conflicts related to the problem. Thus, this paper aims to evaluate water availability with possible influencing factors in hydrographic basins around the municipality of Rio Verde, Goiás State, Brazil, for forty years. The methodology primarily involves the circumscription of the study area covering the Rio Verdinho, Rio Verdão, and Rio Monte Alegre hydrographic basins. Satellite images were acquired from the USGS Earth Explorer database and processed in QGIS by the TauDEM extension. Then, pluviometric and fluvimetric data registered in Hidroweb-ANA were collected from the chosen monitoring points to get the historical series of flow and precipitation. Then, supervised classification was carried out regarding land use and occupation in QGIS through the Dzetsaka Classification Tool extension, providing the percentage of native vegetation, irrigated agriculture, and urbanized areas in each hydrographic basin. Finally, a statistical technique of multiple linear regression was applied to have equations relating the “land use and occupation” and the “water availability” of the evaluated hydrographic basins. Results indicated that the flow Q95% had a decay trend over the forty years for all the hydrographic basins studied. On the other hand, the annual accumulated precipitation has kept a steady trend line for the Rio Verdinho and Rio Verdão hydrographic basins and an upward trend for the Rio Monte Alegre hydrographic basin, despite fluctuating during the period. There was also an increase in land use in all hydrographic basins for agricultural purposes, either irrigated or not irrigated. Thus, it is concluded that the decline in flow Q95% with considerable constancy or increasing precipitation is probably related to land use and occupation, mainly due to increased irrigation. These data must be considered for the prediction of scenarios and efficient management of the region's water resources.

Keywords: Flow rate. Irrigation. Land use and occupation. Precipitation. Water resources.

## 4.1 Introdução

Nos últimos anos, em algumas bacias hidrográficas do município de Rio Verde, Goiás, vêm ocorrendo sérios conflitos pelo uso dos recursos hídricos, caso dos Ribeirões Abóboras e Lages. Estes conflitos envolvem principalmente os setores de abastecimento público, industrial, agrícola e de pecuária. A intervenção dos órgãos de gestão hídrica da bacia hidrográfica se fez necessária, porém, enfrentando muitas dificuldades, haja vista que estas pequenas bacias hidrográficas têm poucas informações hidrológicas e do uso e ocupação da terra.

Para correto gerenciamento dos recursos hídricos, torna-se essencial conhecer os dados e características das bacias hidrográficas. Estes dados são registrados em estações de monitoramento, sendo fundamentais para aplicação da Política Nacional de Recursos Hídricos (OLIVEIRA, 2013).

As instalações de estações de monitoramento dos recursos hídricos implicam geralmente elevados custos de implantação, operação e manutenção. Por isso, são instaladas geralmente em locais de interesse hídrico mais relevantes, como corpos hídricos que têm hidrelétricas e em bacias hidrográficas com extensas áreas de drenagem, dificultando, assim, a estimativa da disponibilidade hídrica em rios, córregos e ribeirões de menor tamanho (PRUSKI et al., 2015).

Para suprir essa falta de estações de monitoramento e/ou informações, é preciso recorrer ao uso de modelos hidrológicos estatísticos para obter estimativas de valores de vazões de bacias hidrográficas que não são monitoradas atualmente ou que não têm dados hidrológicos (LOPES et al., 2016). Para isso, são utilizadas metodologias chamadas de regionalização (PINTO, 2001), obtidas mediante a frequente ausência de dados e a dificuldade de prever a variabilidade de bacias hidrográficas, tendo como finalidade transferir informações hidrológicas de uma região monitorada para outra região não monitorada ou com ausência de dados (GASQUES et al., 2018).

Rameh et al. (2003) propuseram em seu estudo de regionalização de vazões através do método tradicional em sub-bacias do Rio São Francisco, além das variáveis físicas e climáticas comumente utilizadas em estudos de regionalização de vazões, a inserção da variável “permeabilidade do solo”. Obtida através de mapas temáticos elaborados pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), foi possível observar que a variável “permeabilidade do solo” propiciou melhora expressiva no desempenho dos modelos. Dessa forma, os autores concluíram que a inclusão de variáveis explicativas relacionadas com o processo de formação das vazões nos cursos d’água também tem papel fundamental nos estudos de regionalização (AMORIM et al., 2005). Sabe-se que a vegetação nativa influencia

diretamente na permeabilidade do solo. Assim sendo, acredita-se que a variável vegetação nativa também possa se apresentar expressiva no estudo de regionalização de vazões.

A maneira como o solo tem sido utilizado impacta diretamente a dinâmica do ciclo hidrológico, influenciando diretamente nas vazões superficiais dos corpos hídricos. Estas influências se aplicam primeiramente pela ocorrência da supressão da vegetação nativa, que acarreta consequências como aumento das enchentes, redução das vazões de mínima, redução no tempo de retenção hidráulica (TRH) da água na bacia e assoreamento dos corpos hídricos.

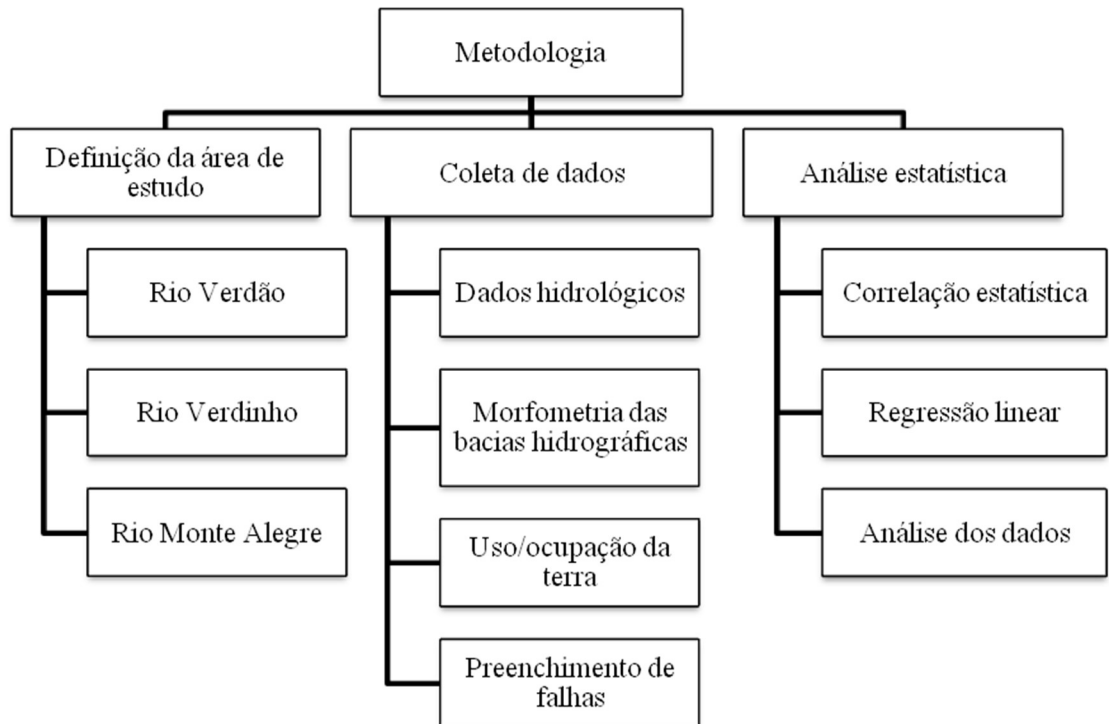
Devido ao fato de as vazões mínimas em corpos hídricos estarem diretamente associadas ao uso e ocupação da terra, destaca-se a importância de analisar também as atividades humanas presentes nas bacias hidrográficas. Suertegaray (2018) afirma que, apesar de os geossistemas serem fenômenos naturais, a interferência das atividades antrópicas é indiscutível, sendo assim necessário considerar também todas as influências dos fatores antrópicos que neles repercutem (MOURA, 2021). Sabe-se que a vegetação nativa, por exemplo, influencia diretamente no ciclo hidrológico, pois propicia maior retenção e infiltração de água no subsolo, elevando as vazões de permanência, como a Q95%. Atividades como a agricultura irrigada e a criação de animais são responsáveis por elevada demanda de água nas bacias hidrográficas, o que pode representar redução da disponibilidade hídrica nos corpos hídricos.

Neste contexto e dada a necessidade de melhor conhecimento das características hidrológicas e de uso/ocupação da terra nesta importante região de produção agrícola do Brasil, este trabalho visa a correlacionar dados hidrológicos importantes na gestão de recursos hídricos com o uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas do Rio Verdinho, Rio Verdão e Rio Monte Alegre, no sudoeste goiano.

## **4.2 Material e métodos**

A Figura 2 apresenta de forma resumida as etapas da metodologia deste estudo.

**Figura 2 - Esquema da metodologia adotada no presente trabalho.**



#### ***4.2.1 Definição da área de estudo***

Com extensão territorial de 8.386,827 km<sup>2</sup>, o município de Rio Verde tem apresentado crescimento populacional significativo nas últimas décadas, passando de 69.902 habitantes em 1980 para 247.259 em 2021. Esse aumento gera elevação do consumo de água e maior necessidade de captação dos corpos hídricos presentes no município (IBGE, 2019a).

Dessa forma, foram escolhidas três bacias hidrográficas a serem analisadas, que representam as áreas de estudo deste trabalho, todas próximas ao município de Rio Verde, no estado de Goiás. As bacias hidrográficas escolhidas foram as de Rio Verdinho, Rio Verdão e Rio Monte Alegre, por representarem bacias hidrográficas que têm monitoramento de dados pluviométricos e fluviométricos. O Quadro 1 apresenta informações referentes ao comprimento de rio, área da bacia hidrográfica e densidade de drenagem de cada uma das bacias hidrográficas. Vale ressaltar que os dados foram obtidos do programa QGIS e do banco de dados da Hidroweb-ANA.

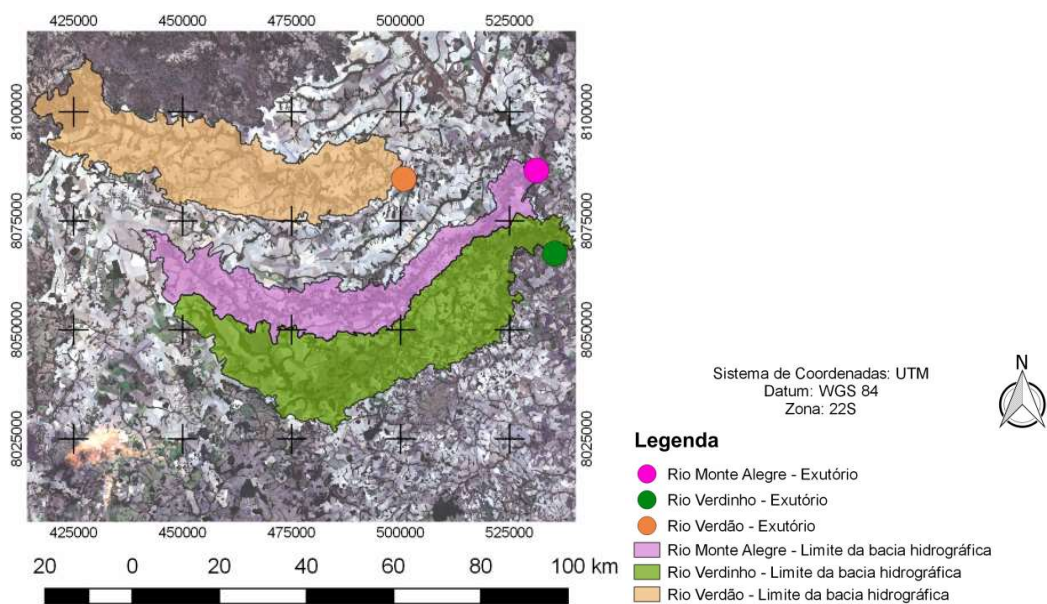
**Quadro 1 - Características das bacias hidrográficas Rio Verdinho, Rio Verdão e Rio Monte Alegre no Sudoeste Goiano**

Bacia Hidrográfica	Características
Rio Verdinho	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprimento de rio: 3.645,27 km</li> <li>- Área da bacia hidrográfica: 1.427,33 km<sup>2</sup></li> <li>- Densidade de drenagem: 2,55 km/km<sup>2</sup></li> <li>- Localização do exutório: (Lat.: -17.48, Long.: -50.66) EPSG 32722, WGS 84, 22S</li> <li>- Código da estação fluviométrica observada: 60785005 (Lat.: -17.47, Long.: -50.77)</li> <li>- Código da estação pluviométrica observada: 1750008 (Lat.: -17.47, Long.: -50.77)</li> </ul>
Rio Verdão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprimento de rio: 2.414,51 km</li> <li>- Área da bacia hidrográfica: 1.314,78 km<sup>2</sup></li> <li>- Densidade de drenagem: 1,84 km/km<sup>2</sup></li> <li>- Localização do exutório: (Lat.: -17.32, Long.: -50.99) EPSG 32722, WGS 84, 22S</li> <li>- Código da estação fluviométrica observada: 60774000 (Lat.: -17.36, Long.: -51.08)</li> <li>- Código da estação pluviométrica observada: 01751004 (Lat.: -17.36, Long.: -51.08)</li> </ul>
Rio Monte Alegre	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprimento de rio: 2.324,84 km</li> <li>- Área da bacia hidrográfica: 898,24 km<sup>2</sup></li> <li>- Densidade de drenagem: 1,77 km/km<sup>2</sup></li> <li>- Localização do exutório: (Lat.: -17.30, Long.: -50.70) EPSG 32722, WGS 84, 22S</li> <li>- Código da estação fluviométrica observada: 60778000 (Lat.: -17.33, Long.: -50.77)</li> <li>- Código da estação pluviométrica observada: 01943007 (Lat.: -17.33, Long.: -50.77)</li> </ul>

Fonte: Hidroweb-ANA, QGIS, (2021).

Nas Figuras 3 e 4 são apresentadas as localizações destas bacias hidrográficas, seus respectivos exutórios, bem como a localização do município de Rio Verde.

**Figura 3 - Mapa de localização das bacias hidrográficas Rio Verdinho, Rio Verdão e Rio Monte Alegre no Sudoeste Goiano**



Fonte: Elaboração da autora (2020).



**Figura 4 – Localização do município de Rio Verde**



Fonte: Elaboração da autora (2020).

A Figura 5 mostra a localização das estações de monitoramento analisadas para cada bacia hidrográfica.

**Figura 5 - Estações de monitoramento analisadas**



Fonte: ANA, 2020 (adaptado).

É importante destacar que a escolha destas bacias hidrográficas está diretamente ligada ao potencial grau de relevância que têm para a região. Tanto a bacia hidrográfica do Rio Verdinho, quanto a do Rio Verdão e a do Rio Monte Alegre apresentam importantes corpos hídricos, que são utilizados de diversas formas pela população do município de Rio Verde. Entre as atividades envolvidas, destacam-se as atividades agroindustriais relacionadas à cultura da soja, milho, cana-de-açúcar, pecuária de corte e leite, aviárias e outras. No caso da bacia hidrográfica do Rio Verdinho, em específico, espera-se inclusive que seja utilizada como futura fonte de abastecimento de água para a cidade de Rio Verde.

#### ***4.2.2 Coleta de dados***

O período escolhido para este estudo abrange os anos entre 1980 e 2020 (intervalo de 40 anos), e os parâmetros utilizados foram vazão Q95%, precipitação acumulada anual, área total da bacia hidrográfica, densidade de drenagem e porcentagem de vegetação nativa, bem como a quantidade de áreas irrigadas e áreas construídas nas bacias hidrográficas.

##### *4.2.2.1 Vazão e precipitação*

Os dados de vazão e precipitação foram obtidos através do aplicativo Hidroweb, ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), gerenciado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Este aplicativo permite o acesso a diversos dados telemétricos coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), como chuvas e vazões de rios, mediante o código das estações de monitoramento observadas.

Trata-se de uma importante ferramenta para a gestão dos recursos hídricos, pois permite acompanhar também a ocorrência de eventos hidrológicos considerados críticos a fim de planejar medidas de mitigação de possíveis impactos oriundos de tais ocorrências. O conhecimento das séries históricas de bacias hidrográficas permite, inclusive, a previsão de cenários e a mitigação de eventuais impactos negativos (SNIRH, 2020).

##### *4.2.2.2 Morfometria das bacias hidrográficas*

Para obter as informações referentes à área, comprimento do rio e densidade de

drenagem de cada bacia hidrográfica, foram utilizadas imagens de satélite disponibilizadas na base de dados do *United States Geological Survey* (USGS), instituição científica multidisciplinar e imparcial, com foco no estudo de ocorrências ambientais, naturais, geológicas e geomáticas.

Essa etapa ocorreu pelo registro, login e solicitação individual das imagens através do *LSDS Science Research and Development* (LSRD), via USGS. Com o uso da Plataforma *Earth Explorer* do próprio site da USGS, foi possível identificar a região que compreende todas as três bacias hidrográficas e o município de Rio Verde, representada pelo WRS Path 223 e WRS Row 072.

As imagens selecionadas para download e tratamento foram obtidas em intervalos de 10 anos para os anos de estudo da pesquisa (1980 a 2020), contando a partir da década de 80 até a última imagem em 2020. Foi considerado o período entre julho e agosto, período em que geralmente a maior parte das colheitas já foi feita, e buscadas imagens com a menor interferência de nuvens e conseqüente melhor visualização. Tentando manter a maior proximidade possível entre as datas em todos os anos, as melhores imagens encontradas e selecionadas para utilização foram:

- 1982 - LM03\_L1TP\_239072\_19820723\_20180413\_01\_T2 (Data: 07/23/82)
- 1990 - LT05\_L1GS\_223072\_19900813\_20170130\_01\_T2 (Data: 08/13/90)
- 2000 - LT05\_L1TP\_223072\_20000824\_20161213\_01\_T1 (Data: 08/24/00)
- 2010 - LT05\_L1TP\_223072\_20100820\_20161014\_01\_T1 (Data: 08/20/10)
- 2020 - LC08\_L1TP\_223072\_20200831\_20200906\_01\_T1 (Data: 08/31/20)

Para o ano de 1982, foi utilizada a imagem de satélite do Landsat 03. Já para os anos de 1990 a 2010, as imagens de satélite foram obtidas pela operação do Landsat 5, satélite cuja data de lançamento ocorreu em 01 de março de 1985, através de sensores TM e MSS, tendo o fim da operação ocorrido em dezembro de 2012. Já para os anos posteriores a 2012, as imagens serão disponibilizadas através do Landsat 8, um dos mais recentes da família de satélites Landsat, cuja data de lançamento ocorreu em 30 de maio de 2013 e que continua em atividade atualmente.

O programa utilizado para manuseio das imagens foi o QGIS, um sistema de informação geográfica de licença livre. Para recorte e delimitação das bacias hidrográficas, foi utilizada uma extensão do QGIS, chamada TauDEM - Análises Hidrológicas, que gerou não apenas os recortes da área de cada bacia hidrográfica, mas também a localização do

exutório, suas sub-bacias hidrográficas e todos os comprimentos de rios.

Os exutórios selecionados para delimitação da região de estudo das bacias hidrográficas foram aqueles próximos de onde estão localizadas atualmente as estações de monitoramento, pois assim é possível manter com maior fidelidade a correlação entre os dados de vazão e precipitação e a área de influência de cada bacia hidrográfica relacionada a estes dados. Com a área e o comprimento de rio de cada bacia hidrográfica, utilizou-se a ferramenta raster do QGIS e foi possível obter também a densidade de drenagem de cada bacia hidrográfica. Dessa maneira, foi possível observar a delimitação das bacias hidrográficas obtidas a partir do QGIS, bem como a localização dos exutórios.

#### *4.2.2.3 Mapeamento da Vegetação Nativa*

Para este item, foi utilizada outra extensão do QGIS denominada *Dzetsaka Classification Tool*. Este algoritmo permite que sejam selecionadas regiões com similaridades de pixels para classificação de regiões dentro da bacia hidrográfica. No caso deste estudo, as bacias hidrográficas foram divididas em duas regiões: as denominadas como “Vegetação Nativa” e as denominadas como “Outro”, que representam tudo o que não for vegetação nativa. Foram selecionadas e classificadas manualmente mais de 100 regiões similares para cada um destes dois tipos, e o programa gerou automaticamente o resultado final de todas as bacias hidrográficas contendo a percentagem de vegetação nativa para cada imagem de satélite encontrada.

#### *4.2.2.4 Mapeamento da área irrigada e área construída de cada bacia hidrográfica*

Para este item em específico, a determinação de cada área construída de pivô de irrigação e das edificações presentes nas bacias hidrográficas em estudo foi feita de forma manual através das imagens de satélite obtidas e do programa QGIS, no decorrer de todo o período analisado.

Foram elaborados, para cada uma das imagens encontradas ao longo dos anos estudados, arquivos na composição “natural falsa cor” (NFC), pela junção das bandas específicas de cada satélite (no Landsat 5, foram utilizadas as bandas 4, 3 e 2; no Landsat 8, as bandas 5, 4 e 3, nesta ordem; que indicam a junção das bandas infravermelho próximo, vermelho e verde), para facilitar a visualização e a identificação das diferentes categorias do solo. Com as imagens prontas, criou-se um vetor do tipo “polígono” e foi incluída a categoria “Classe” para remeter à classificação dada a cada forma atribuída a este mesmo

vetor. Assim sendo, para cada bacia estudada no decorrer do período de estudo, foram sendo criadas formas vetoriais, identificando os possíveis pontos de pivôs de irrigação e as possíveis casas e edificações construídas ao longo das bacias hidrográficas.

Com relação aos pivôs de irrigação, são observados formatos geométricos bastante característicos na maioria dos pontos observados, tanto na forma circular como semicircular. Com relação aos pontos contendo áreas construídas, são observadas também pequenas áreas com cores em pixels semelhantes entre si, espaçadas entre si, usualmente com estradas interligando-as às vias principais.

A área das bacias hidrográficas foi inteiramente analisada, e todas as formas geométricas delimitadas manualmente foram utilizadas para gerar uma tabela de atributos de cada vetor criado. Dentro da aba “Tabela de Atributos”, foi possível criar, através da calculadora de campo, um novo campo para obtenção do valor específico de cada área das formas geométricas delimitadas. As diferenciações entre as classes “Pivôs de irrigação” e “Áreas construídas” puderam ser feitas por esta mesma tabela de atributos, e o somatório das unidades e áreas irrigadas e construídas foi obtido pelo uso de planilhas do MS Excel.

### ***4.2.3 Preenchimento de falhas***

#### ***4.2.3.1 Vazão e precipitação***

Para a vazão, os dados obtidos do Hidroweb-ANA foram reajustados no Excel, sendo uma aba para cada ano, e foi calculado então o valor da Q95% referente a cada ano do período estudado, para cada uma das bacias hidrográficas. Para os anos sem dados ou com dados incompletos, foi feita interpolação com base no método da regressão simples para preencher os campos nulos.

De acordo com Krajewski, Ritzman e Malhotra (2009), o modelo de regressão linear é um dos modelos causais mais conhecidos e utilizados e representa uma relação entre uma variável chamada de dependente e uma ou mais variáveis independentes por uma equação linear. Medeiros et al. (2009) afirmam em uma linguagem técnica que “a linha de regressão minimiza os desvios quadrados dos dados reais”.

Para a bacia hidrográfica do Rio Verdinho, os dados interpolados foram relativos aos anos de 1992, 1993 e 1994. Já para as bacias hidrográficas do Rio Verdão e do Rio Monte Alegre, todos os dados de vazão estavam preenchidos, logo, não houve interpolação.

Com relação à precipitação, de forma semelhante, os dados das estações pluviométricas foram rearranjados no Excel, filtrados, e foi possível fazer a soma da

precipitação média anual de cada ano de estudo, para cada bacia hidrográfica analisada. As falhas das séries cujos dados estavam nulos ou incompletos também foram preenchidas por interpolação.

Para a bacia hidrográfica do Rio Verdinho, os dados interpolados foram relativos aos anos de 1992, 1993, 1994, 2007, 2015 e 2016. Já para a bacia hidrográfica do Rio Verdão, os dados interpolados foram relativos aos anos de 1990, 1991, 1992, 2015 e 2016. Para a bacia hidrográfica do Rio Monte Alegre, não foi necessária interpolação, pois todos os dados de precipitação estavam preenchidos.

Nos resultados deste estudo, são mostrados os valores de cada ano, bem como os gráficos de vazão e precipitação variando no decorrer dos anos para cada bacia hidrográfica.

Tendo em vista os valores obtidos a partir das cinco imagens analisadas para cada bacia hidrográfica (1982, 1990, 2000, 2010 e 2020), mediante o uso da extensão *Dzetsaka Classification Tool*, foi feita também uma interpolação entre estes anos para obtenção de valores estimados nos anos entre eles. Desta forma, foi possível preencher um valor de percentagem de vegetação nativa para cada um dos anos entre 1980 e 2020.

#### *4.2.3.2 Morfometria das bacias hidrográficas*

Vale ressaltar que as imagens de satélite utilizadas para obtenção das características geográficas das bacias hidrográficas foram extraídas para os anos de 1982, 1990, 2000, 2010 e 2020. O motivo da não utilização do ano de 1980 decorre da ausência de imagens com qualidade suficiente e sem falhas para este ano. Os valores de área de cada bacia hidrográfica e comprimento dos rios variaram de forma pouco significativa no decorrer dos anos. Por isso, considerando que o objetivo do trabalho não envolve verificar alterações dos canais fluviais, adotou-se como referência a imagem de 2020, e o mesmo valor foi considerado para as demais imagens selecionadas.

Com estes dois valores já determinados, foi possível obter então a densidade de drenagem de cada bacia, que também é constante, e é expressa pela relação entre a soma total dos comprimentos dos rios (L) e a área de drenagem (A).

#### **4.2.4 Análise estatística**

##### *4.2.4.1 Agrupamento dos dados*

Todos os dados foram inseridos no Excel em uma única planilha. Foi criada uma aba

para cada bacia hidrográfica e mais uma outra aba com os valores de todas as bacias hidrográficas em um único local. A partir deste compilado de informações, foi possível gerar gráficos, fazer simulações e gerar tabelas comparativas para realização deste estudo. Para as análises de regressão linear múltipla, foi utilizado um suplemento dentro do próprio Excel, denominado “Análise de Dados”.

#### *4.2.4.2 Uso do Excel para análise de regressão*

Todas as informações obtidas foram compiladas no Excel através de diferentes abas, sendo uma para cada bacia e uma quarta aba contendo em conjunto os dados das três bacias hidrográficas (Rio Verdinho, Rio Verdão e Rio Monte Alegre). Foi utilizada uma ferramenta complementar de análise de dados dentro do próprio Excel para obtenção das equações de regressão linear múltipla para cada caso estudado.

Para a ativação dessa ferramenta, foi necessário ir ao campo “Opções” do Excel, no item de categoria “Suplementos”, tendo sido escolhida a aba “Gerenciar Suplementos do Excel”. Entre os suplementos disponíveis, selecionou-se o complemento denominado Ferramenta de Análise. Com ela ativada, clicou-se na aba “Dados” e selecionou-se a opção “Análise de Dados”. Entre as opções fornecidas, foi utilizada a categoria “Regressão”. No item “Intervalo Y de entrada”, foram selecionados todos os valores obtidos no decorrer dos anos para a vazão. Em seguida, para o item “Intervalo X de entrada”, foram selecionados os dados de todas as variáveis escolhidas para este estudo, aba por aba. Assim, foi possível determinar estatisticamente o grau de significância de cada uma dessas variáveis, tendo em vista os coeficientes encontrados para cada uma. O nível de confiança selecionado foi de 95% e incluídos os rótulos nas planilhas selecionadas.

As análises de regressão foram feitas repetidas vezes, considerando cada possível combinação de variável, visando a tentar chegar ao melhor valor do  $R^2$  ajustado para cada bacia hidrográfica específica e para a análise que considerava todas elas em conjunto. Dessa forma, o Excel gerou múltiplos resultados para cada bacia hidrográfica, tendo sido possível obter as equações de regressão, como também analisar e comparar individualmente cada um dos casos, foi analisado também o valor do parâmetro P fornecido, que deve ficar entre 95% de relevância.

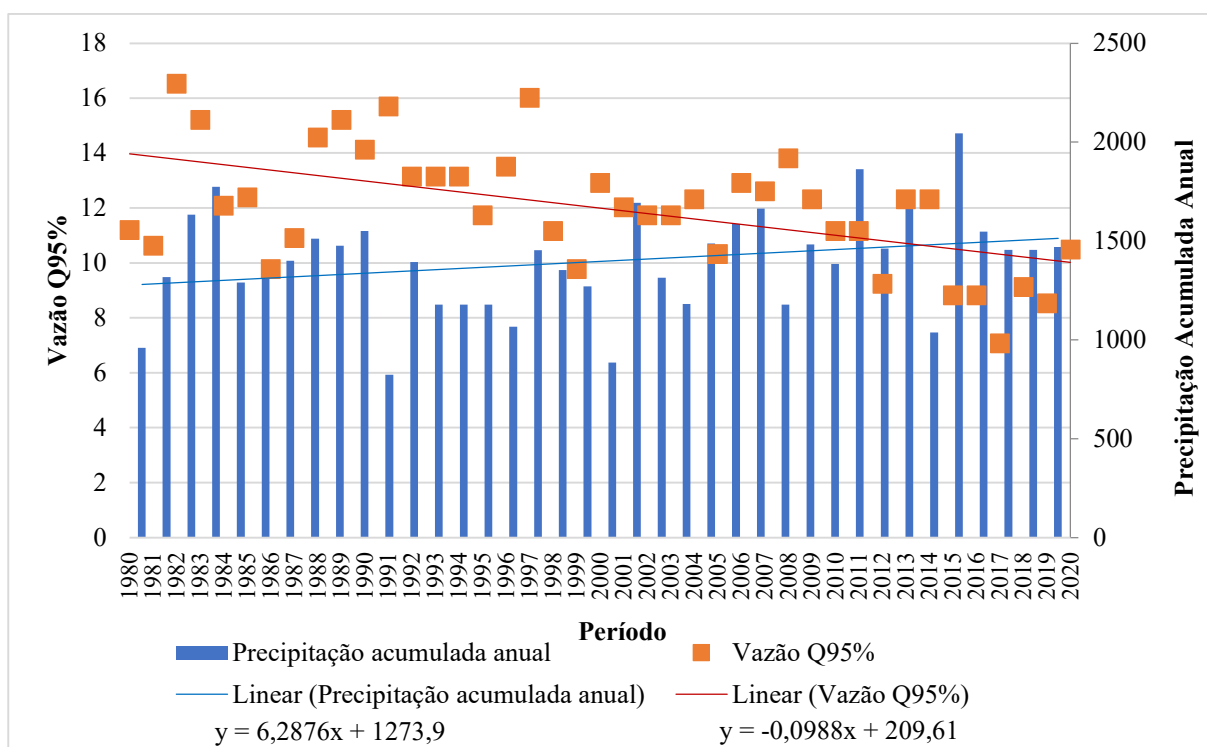
Os relatórios para cada uma das análises (uma para cada bacia hidrográfica e uma para as bacias hidrográficas em conjunto) são apresentados com mais detalhes nos resultados e anexos deste estudo.

## 4.3 Resultados e Discussões

### 4.3.1 Vazão de permanência e precipitação acumulada

Nas Figuras 6, 7 e 8 são apresentados os comportamentos hidrológicos da vazão de permanência Q95% anual e precipitação acumulada anual (entre 1980 e 2020) para as bacias hidrográficas dos Rios Verdinho, Verdão e Monte Alegre, respectivamente.

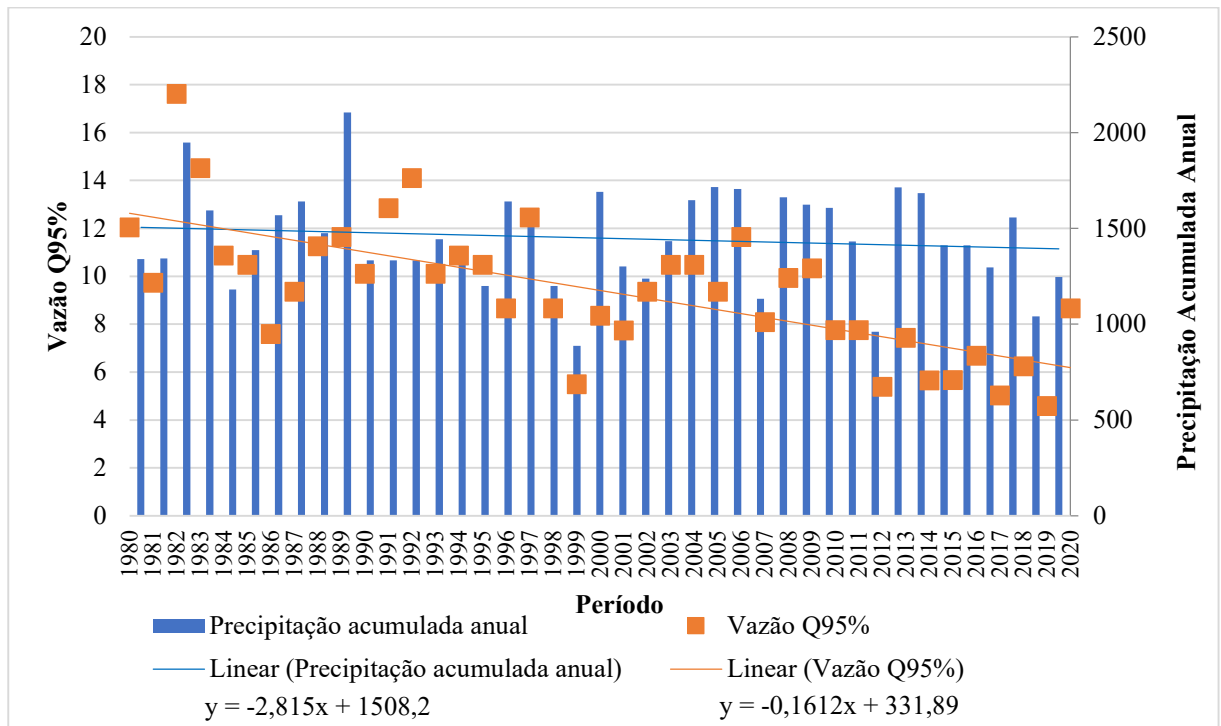
Figura 6 - Rio Verdinho - Comparativo entre Precipitação Acumulada Anual e Q95%



Fonte: Elaboração da autora (2022).

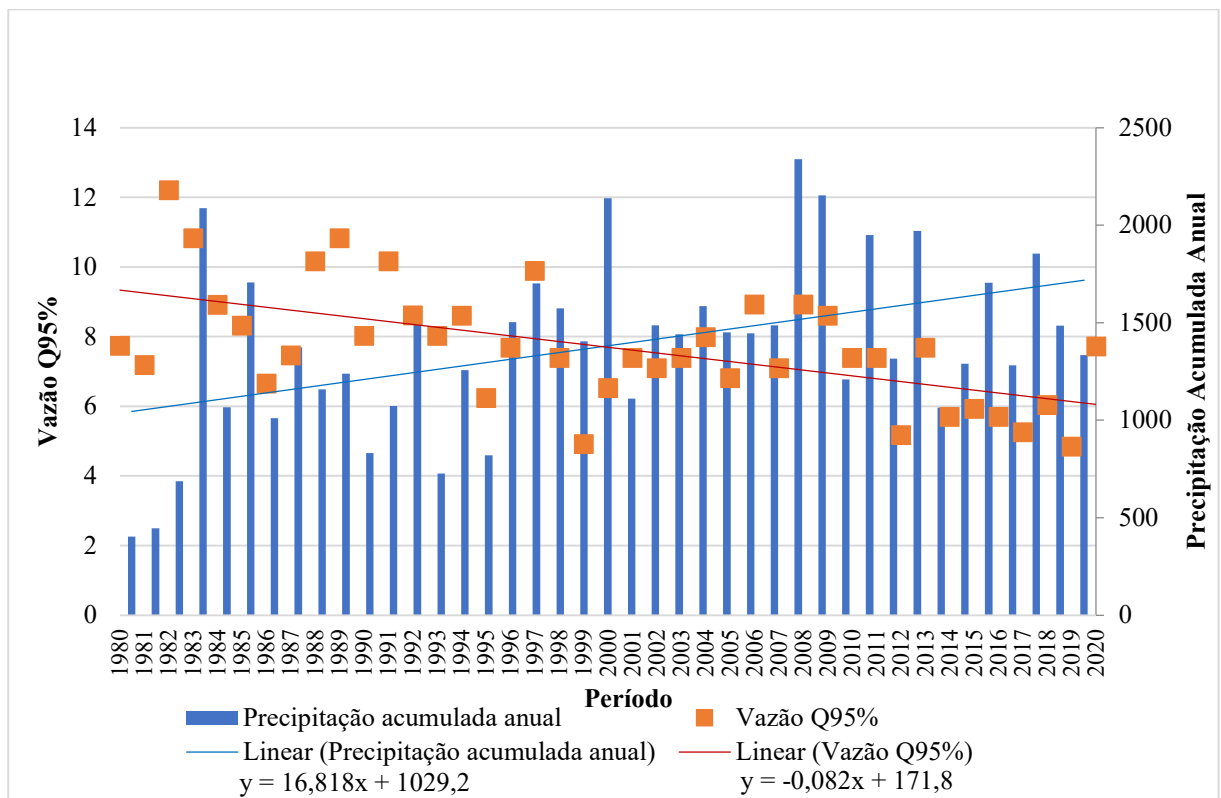


**Figura 7 - Rio Verdão - Comparativo entre Precipitação Acumulada Anual e Q95%**



Fonte: Elaboração da autora (2022).

**Figura 8 - Rio Monte Alegre - Comparativo entre Precipitação Acumulada Anual e Q95%**



Fonte: Elaboração da autora (2022).

É possível observar, para as três bacias hidrográficas, que os valores da Q95% têm diminuído com o tempo, conforme mostra a linha de tendência. Essa redução das vazões ao longo dos anos pode implicar inclusive a redução da disponibilidade hídrica destes corpos hídricos.

Já com relação à precipitação, observa-se que o volume de precipitação acumulada anual tem aumentado de forma mais significativa na bacia hidrográfica do Rio Monte Alegre e aumentado de forma menos significativa na bacia hidrográfica do Rio Verdinho. Já na bacia hidrográfica do Rio Verdão, este volume tendeu a diminuir no decorrer dos anos. Ao analisar a série histórica de valores das três bacias hidrográficas, é possível observar que os valores oscilaram muito entre os anos subsequentes, apesar de a linha de tendência se manter relativamente constante.

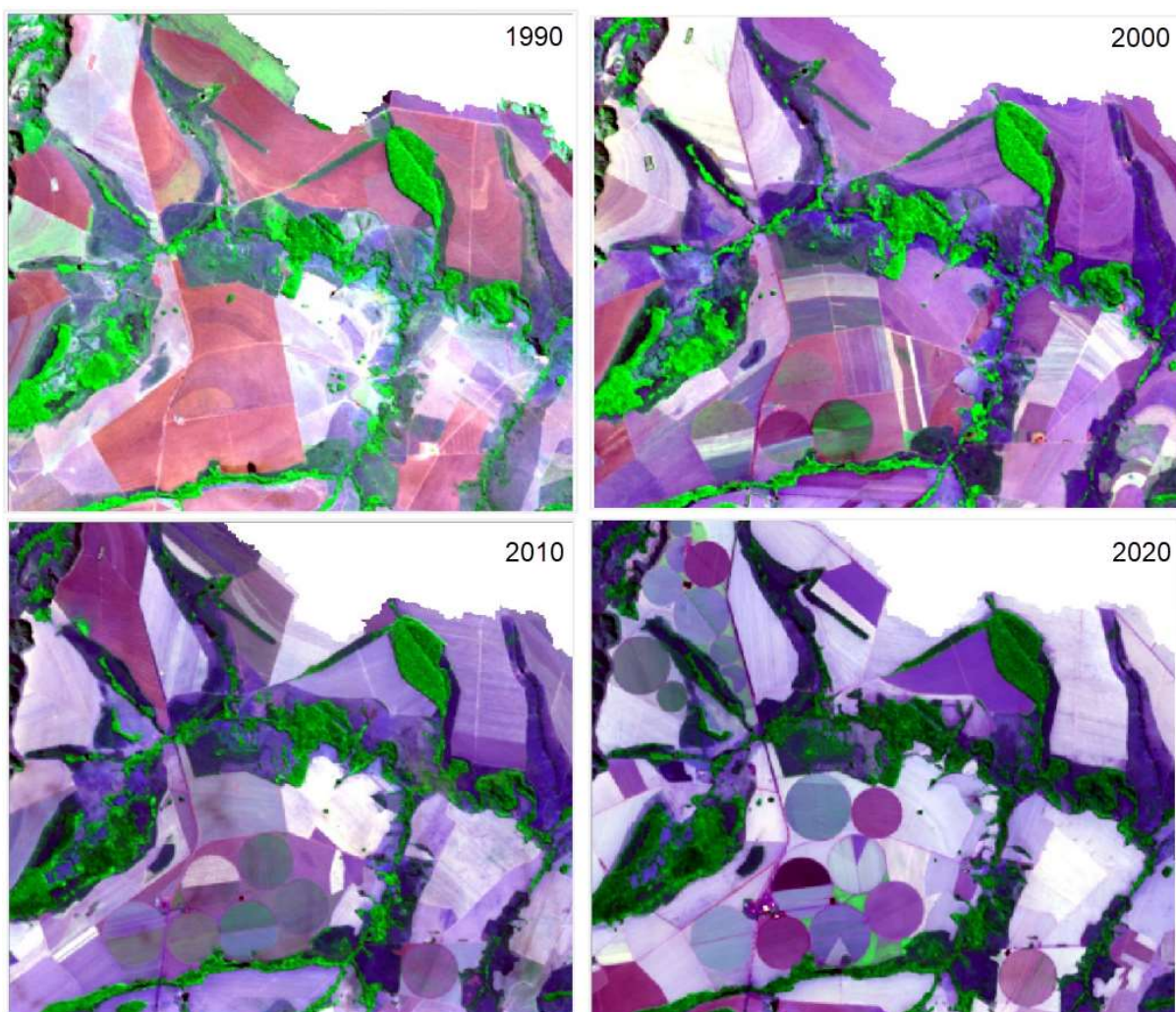
A comparação entre as linhas de tendência de vazão de permanência e a de precipitação indica que elas não necessariamente estão seguindo o mesmo comportamento. Isso leva à constatação de que fatores externos podem estar influenciando na obtenção destes resultados.

#### ***4.3.2 Atividades demandantes de recursos hídricos***

Um dos fatores que pode explicar a diminuição da vazão Q95% refere-se ao fato do aumento da demanda de água nas bacias hidrográficas para consumo por atividades como irrigação. Outro fator que pode ser considerado refere-se à redução de áreas de vegetação nativa no entorno das bacias hidrográficas, o que também pode estar correlacionado.

Além disso, ao analisar a demanda em termos de pivô, observa-se que em 1980-2000 havia menos pivôs, bem como menor quantidade de granjas e menor atividade humana em termos de consumo de água. A partir dos anos 2000, a demanda por recursos hídricos aumentou em conjunto com o crescimento populacional. Essa demanda crescente de água, apesar de não ter sido quantificada neste estudo, deve ser observada e considerada. Como exemplo, a Figura 9 indica a progressão do uso/ocupação do solo para a instalação de pivôs de irrigação perto do corpo hídrico do Rio Verdão.

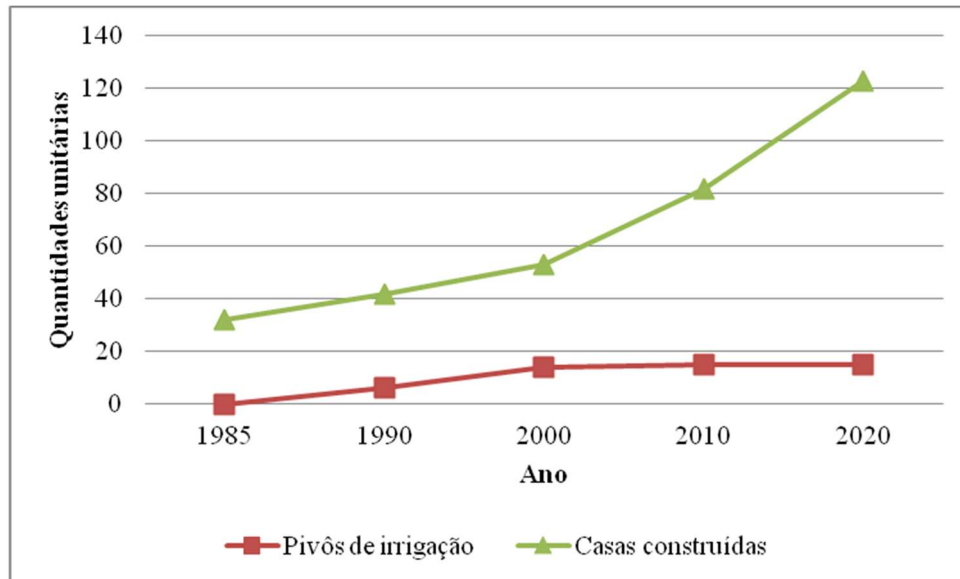
**Figura 9 - Exemplo da progressão do uso/ocupação do solo para agricultura irrigada em região específica da bacia hidrográfica do Rio Verdão**



Fonte: Elaboração da autora (2022).

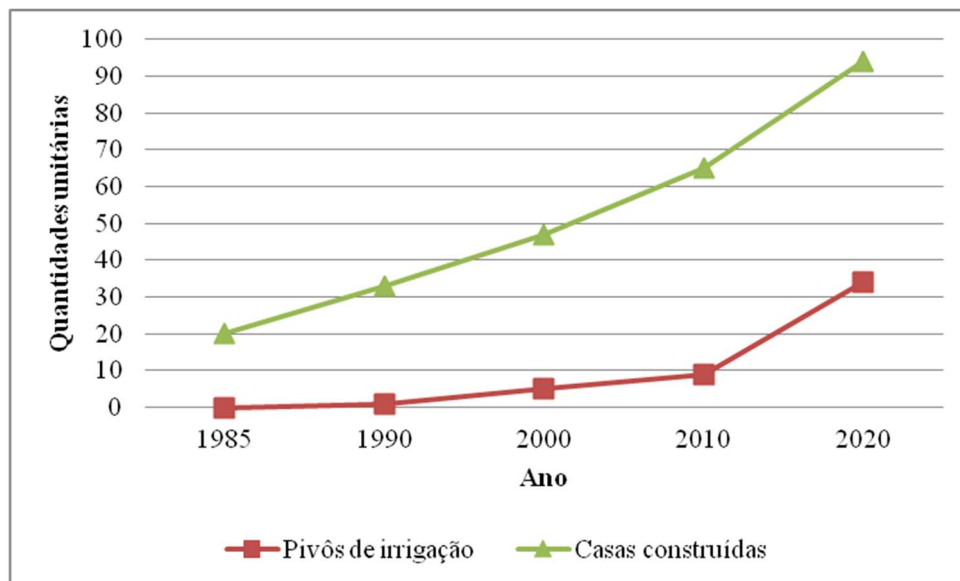
As Figuras 10, 11 e 12 mostram aumento da atividade humana na área territorial das bacias hidrográficas, tanto em termos de unidades de irrigação instaladas como de unidades construídas pela população para desempenho das mais diversas atividades humanas.

**Figura 10 - Rio Verdinho: Análise da quantidade de unidades irrigadas e casas construídas na bacia hidrográfica do Rio Verdinho**



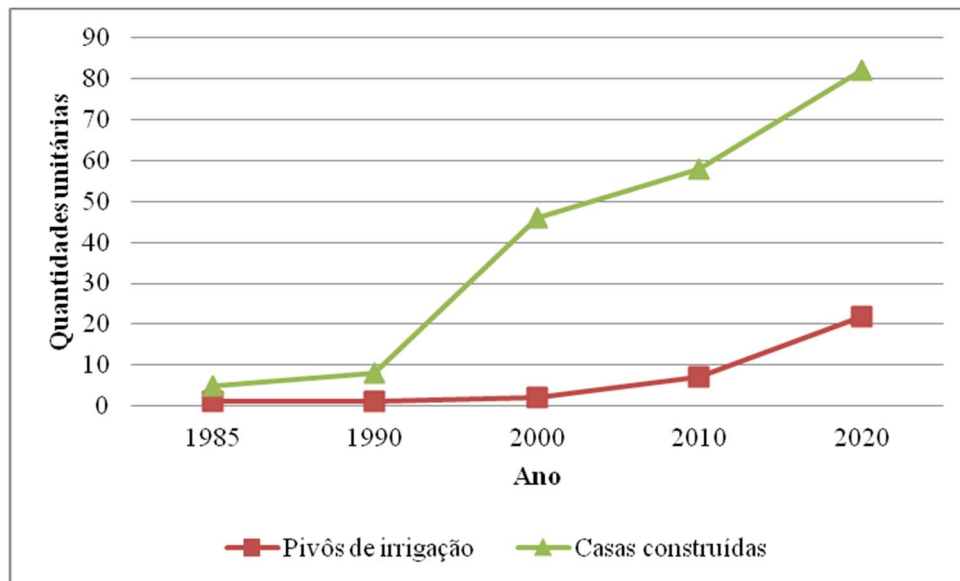
Fonte: Elaboração da autora, dados extraídos do QGIS (2022).

**Figura 11 - Rio Verdão: Análise da quantidade de unidades irrigadas e casas construídas na bacia hidrográfica do Rio Verdão**



Fonte: Elaboração da autora, dados extraídos do QGIS (2022).

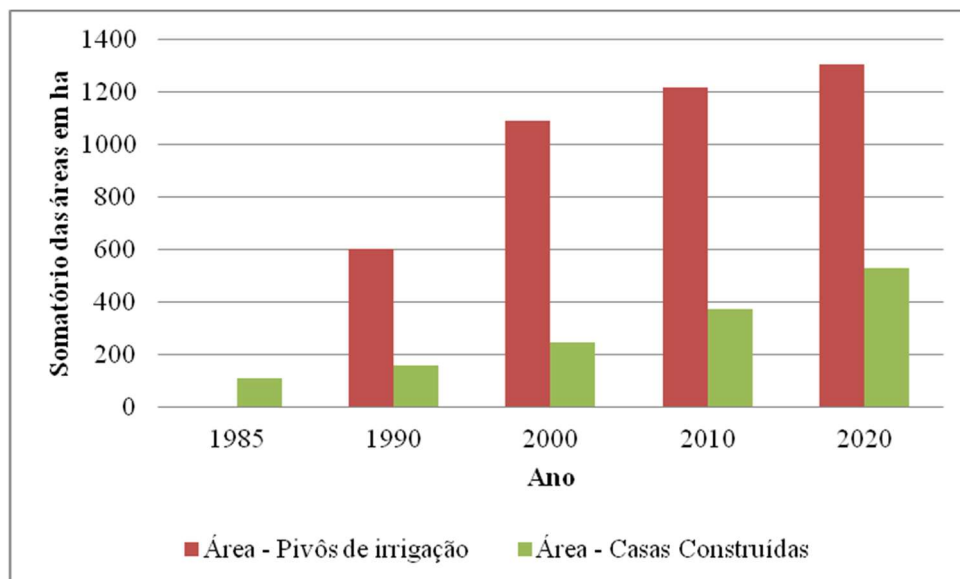
**Figura 12 - Rio Monte Alegre: Análise da quantidade de unidades irrigadas e casas construídas na bacia hidrográfica do Rio Monte Alegre**



Fonte: Elaboração da autora, dados extraídos do QGIS (2022).

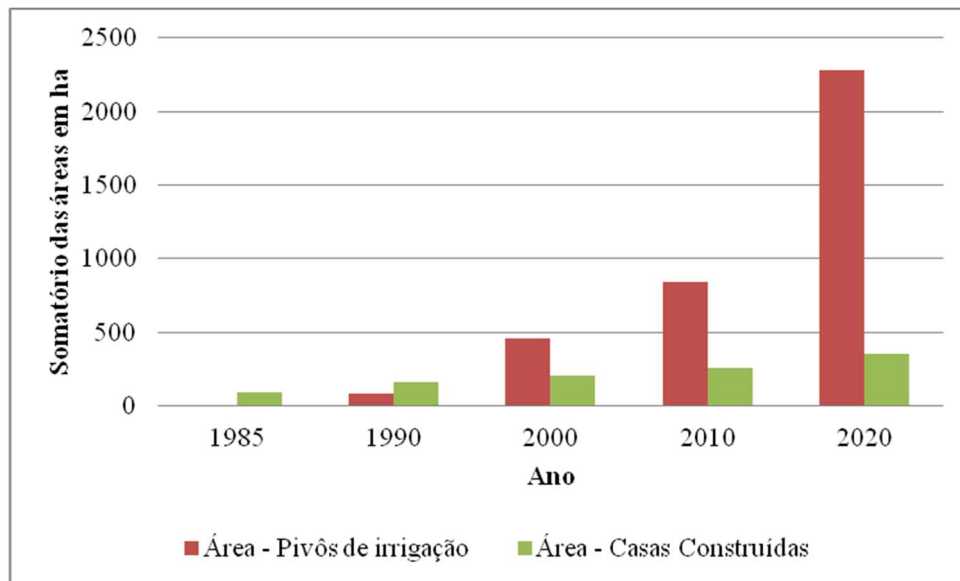
Se a análise for feita comparando os valores em termos de área total irrigada e área total construída no decorrer dos anos, é possível observar a mesma tendência de crescimento, conforme mostram as Figuras 13, 14 e 15.

**Figura 13 - Rio Verdinho: Análise da área total irrigada e construída na bacia hidrográfica do Rio Verdinho**



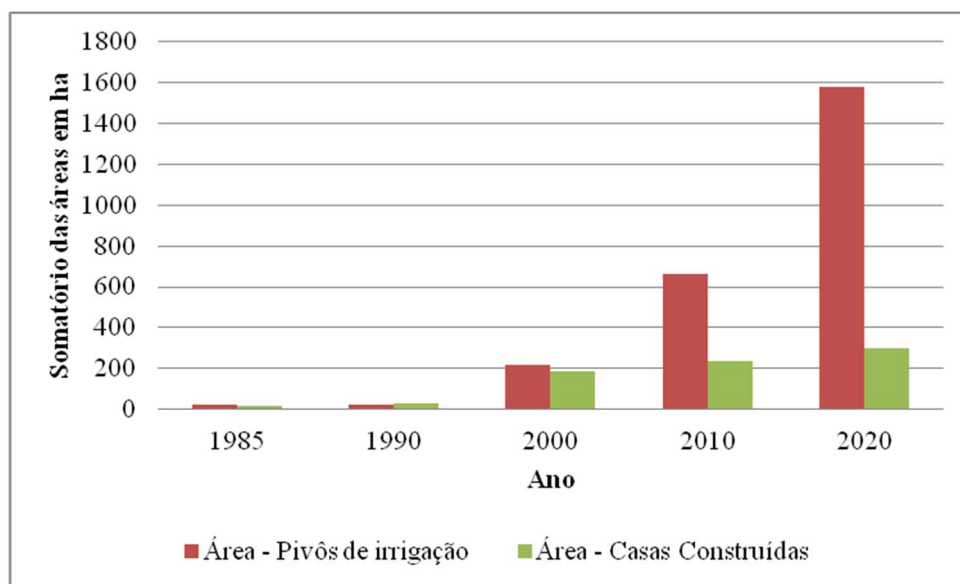
Fonte: Elaboração da autora, dados extraídos do QGIS (2022).

**Figura 14 - Rio Verdão: Análise da área total irrigada e construída na bacia hidrográfica do Rio Verdão**



Fonte: Elaboração da autora, dados extraídos do QGIS (2022).

**Figura 15 - Rio Monte Alegre: Análise da área total irrigada e construída na bacia hidrográfica do Rio Monte Alegre**



Fonte: Elaboração da autora, dados extraídos do QGIS (2022).

Observa-se que, para a bacia hidrográfica do Rio Verdinho, a quantidade total de área destinada a pivô de irrigação vem aumentando de forma gradual. Já para as bacias hidrográficas do Rio Verdão e do Rio Monte Alegre, o somatório de áreas destinadas a pivôs de irrigação mais do que duplicou entre 2010 e 2020.

Pinhati (2018) afirma que um pivô central é aquele formado por um conjunto de

barras com aspersores que giram em torno de um eixo central, irrigando uma área com formato circular, sendo o sistema de irrigação automatizado mais utilizado no mundo (TESTEZLAF, 2017). No estudo realizado por Pinhati (2018) na bacia hidrográfica do Rio São Marcos, foi considerada como entrada de demanda hídrica a camada dos pivôs existentes no período analisado e feitas simulações com diferentes cenários variando os parâmetros de potência necessária de bombeamento para os pivôs centrais potenciais. Estes pivôs se destinavam à irrigação de milho, semelhante ao que é praticado nas bacias hidrográficas escolhidas para este estudo (Rio Verdinho, Rio Verdão e Rio Monte Alegre), para irrigação de grãos como milho e soja. Também foi considerada a possível influência de pequenos reservatórios virtuais para o aumento da disponibilidade hídrica da região.

A pesquisa de Pinhati (2018) encontrou, através de sua metodologia, a área máxima permitida para ampliação da área irrigada de 64.608 hectares, sugerindo também a ampliação da reserva de água. Estudos como estes são importantes para garantir a disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas e evitar uma ocupação desenfreada da atividade humana no solo analisado. Assim sendo, observa-se que a área irrigada influencia sim na demanda hídrica das bacias hidrográficas e também precisa ser levada em consideração na análise da disponibilidade hídrica dos corpos hídricos.

Mediante estes dados apresentados, é importante ressaltar também o aumento das áreas construídas em todas as bacias hidrográficas. Estas áreas construídas podem estar relacionadas a diversas atividades desempenhadas no entorno de Rio Verde, incluindo construção de granjas de suínos e aves, confinamento bovino, silos de armazenamento de grãos, fazendas e diversas outras construções que demandam água subterrânea.

Tucci et al. (2003) afirmam que um aumento do bombeamento nos poços para captação de água subterrânea pode induzir recargas provenientes de outros aquíferos ou de cursos d'água superficiais. Dessa forma, o consumo de água subterrânea afeta diretamente a disponibilidade hídrica da água superficial e, caso o aumento desse consumo seja intensificado acima dos limites da recarga induzida, esse aumento pode levar o aquífero a um cenário insustentável a longo prazo, eliminando, inclusive, esta fonte de disponibilidade hídrica (TUCCI et al., 2003).

#### ***4.3.3 Percentual de vegetação nativa***

A Tabela 1 relaciona os dados de vegetação extraídos das imagens de satélite no decorrer dos anos para as três bacias hidrográficas em estudo.

**Tabela 1 - Dados da vegetação nativa nas bacias hidrográficas em estudo**

<b>Bacia Hidrográfica</b>	<b>Média</b>	<b>Mediana</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Coefficiente de variação</b>	<b>Linha de Tendência</b>
Rio Verdinho	16,90%	17,16%	18,32%	13,92%	0,0115	$y = 0,0005x - 0,8897$
Rio Verdão	15,18%	14,82%	17,35%	12,52%	0,0156	$y = 0,0011x - 2,0916$
Rio Monte Alegre	15,77%	16,53%	17,29%	13,70%	0,0134	$y = -0,001x + 2,2153$

Mediante os dados apresentados, observa-se que os coeficientes de variação para todas as bacias hidrográficas estudadas apresentaram valores muito baixos. Isto indica que praticamente não houve modificação significativa no total de vegetação nativa entre os anos de 1980 e 2020. Assim sendo, estas pequenas variações podem, inclusive, ser inseridas dentro dos erros estimados para o método de avaliação escolhido de imagem e processamento.

De acordo com o Código Florestal Brasileiro, a vegetação nativa de uma propriedade rural deve ter reserva legal, que representa 20% da área, mais as áreas de preservação permanente, que representam as nascentes e as margens dos corpos hídricos. Neste estudo, observa-se que os valores de vegetação nativa não ultrapassam 17%, dentro dos 20% estipulados pelo Código. A Lei nº 12.651 afirma no Artigo 3º, Inciso II, que a área de preservação permanente (APP) é uma “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”. Assim sendo, é possível que a influência da pouca vegetação nativa presente nas bacias hidrográficas analisadas esteja afetando também a oferta dos recursos hídricos em estudo (BRASIL, 2012).

Diversos fatores podem influenciar as relações entre o ciclo hidrológico e o uso e ocupação da terra, em especial a quantidade e a velocidade com que a água circula nas diferentes etapas do ciclo hidrológico. Entre esses fatores, é possível citar a interface com a cobertura vegetal, a exposição do solo, a temperatura, a morfologia e geologia da região, bem como a topografia e a altitude. A água que alcança o solo pode sofrer tanto infiltração quanto escoamento, e a forma como o solo é utilizado nas bacias exerce forte influência nesse fenômeno, levando em consideração as ações humanas e os próprios processos ecossistêmicos naturais e complexos. Ações como desmatamento, produção agropecuária,



retirada de grandes volumes de água para irrigação e construção de grandes espaços impermeabilizados (ANACHE, 2017).

#### ***4.3.4 Regionalização de vazões***

Conforme visto, a análise de regionalização envolve inicialmente a delimitação da quantidade de estações de monitoramento disponíveis, e a partir disso são construídos modelos matemáticos que levam em consideração as variáveis dependentes e independentes. Barbosa (2004) utiliza em seu projeto apenas a variável independente a fim de evitar superparametrização. A partir destas definições, são pesquisados então os melhores modelos para as vazões máximas, médias e mínimas, também de acordo com diferentes intervalos de recorrência.

Apesar de existirem variáveis físicas que podem ser usadas na determinação da regionalização, as variáveis escolhidas para este trabalho foram a densidade de drenagem e a área da bacia hidrográfica. Pode-se observar também que a curva de permanência de vazões constitui um instrumento valioso para comparação de características distintas entre bacias hidrográficas, evidenciando efeitos de relevo, vegetação, uso da terra e da precipitação. Desta forma, é muito importante a construção desta curva, indicando assim a relação entre a vazão observada e as percentagens com que esta vazão é superada ou igualada durante um período de observação (BARBOSA et al., 2002).

Neste projeto, foram consideradas como variáveis independentes as precipitações acumuladas anuais (para representar os dados hidrológicos), a densidade de drenagem e a área total das bacias hidrográficas, bem como a porcentagem de vegetação nativa de cada uma delas.

Foram utilizadas a ferramenta estatística de regressão inclusa diretamente no Excel para determinação das equações de regionalização de cada bacia e a equação geral de regressão linear múltipla envolvendo as três bacias na mesma análise.

A Tabela 2 mostra o resumo dos resultados para análises estatísticas de regressão linear múltipla envolvendo cada bacia hidrográfica isoladamente e todas elas em conjunto.

**Tabela 2 – Resultado estatístico da regressão linear múltipla para as bacias hidrográficas do Rio Verdinho, Rio Verdão e Rio Monte Alegre (analisadas em conjunto e isoladamente)**

Bacia Hidrográfica	F de significação	R <sup>2</sup> ajustado	Erro padrão	Variável	P-Valor	Equação
Rio Verdinho	0,0035	21,79%	1,9145	Intersecção	0,0000	Q = 24,5199 + 0,0024 PA – 93,6962 VN*
				PA	0,0521	
				VN	0,0014	
Rio Verdão	0,0000	51,94%	1,9217	Intersecção	0,0000	Q = 20,0521 + 0,0041 PA* – 109,0641VN*
				PA	0,0018	
				VN	0,0000	
Rio Monte Alegre	0,0019	24,39%	1,4663	Intersecção	0,1481	Q = -5,0476 + 0,0009 PA + 73,2110 VN*
				PA	0,1400	
				VN	0,0004	
Todas as bacias analisadas em conjunto	0,0000	43,02%	2,1542	Intersecção	0,1244	Q = 3,7653 + 0,0008 PA – 45,7196 VN* + 4,3582 DD* + 0,0026 AT**
				PA	0,1924	
				VN	0,0020	
				DD	0,0000	
				AT	0,0401	

Legenda:

- ✓ PA: Precipitação acumulada anual (mm)
- ✓ VN: Vegetação nativa
- ✓ DD: Densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>)
- ✓ AT: Área total (km<sup>2</sup>)
- ✓ Q: Vazão (m<sup>3</sup>/s)
- ✓ \*: Variável significativa a 1% e a 5%.
- ✓ \*\*: Variável significativa a 5%.

A partir dos relatórios gerados, em anexo nesta pesquisa, e das equações de regressão estatística demonstradas na Tabela 2, foi possível traçar gráficos comportamentais para cada uma das bacias hidrográficas mediante a relação entre as diferentes variáveis. É possível observar, para todos os casos analisados, que o valor do F de significação apresentou bom resultado estatístico, estando todos com valores menores do que 1%. Isso indica que todas as equações selecionadas foram significativas a 1%.

Apesar disso, o valor do R<sup>2</sup> ajustado não apresentou resultado estatisticamente razoável. O caso que apresentou melhor resultado foi o da bacia hidrográfica do Rio Verdão, com R<sup>2</sup> de 51,94%. Assim sendo, tem-se apenas 51,92% de certeza de que a vazão desta bacia hidrográfica é influenciada pelas duas variáveis selecionadas. Posteriormente, a análise que envolveu as três bacias hidrográficas em conjunto foi o caso que apresentou o segundo

melhor resultado, com  $R^2$  de 43,02%.

Ao analisar as variáveis envolvidas e os coeficientes encontrados, é possível determinar para cada caso quais foram as variáveis estatisticamente relevantes para a determinação da equação, pela identificação do P-valor. Foram feitas diversas combinações de variáveis em cada uma das bacias hidrográficas, visando a encontrar o melhor resultado para cada uma delas.

No caso das bacias hidrográficas analisadas individualmente, observa-se que a área total se mantém constante, assim como o comprimento dos rios e consequente densidade de drenagem, assim, as alterações na vazão não são estatisticamente impactadas por estas variáveis (AT e DD). Tendo em vista os dados levantados para análise isolada destas bacias, as únicas variáveis significativas para determinação da equação de regressão linear múltipla foram a precipitação acumulada anual e a vegetação nativa (PA e VN, respectivamente). Para a bacia hidrográfica do Rio Verdinho, a variável VN apresentou-se significativa a 1% e a 5%; entretanto a variável PA não se apresentou significativa a 5%, apenas a 10%. Já para a bacia hidrográfica do Rio Verdão, tanto a variável VN quanto a variável PA foram significativas a 1% e a 5%, respectivamente. Finalmente, para a bacia hidrográfica do Rio Monte Alegre, apenas a variável VN foi significativa a 1% e a 5%, sendo que a variável PA não se apresentou significativa nem a 10%.

Já na situação de considerar as três bacias hidrográficas na mesma análise, observa-se que a variação na vazão Q95% foi impactada por todos os quatro coeficientes, mas nem todas as variáveis foram significativas a 1% ou a 5%. As variáveis VN e DD foram significativas a 1% e a 5%; já a variável AT foi significativa apenas a 5%, e a variável PA não se apresentou significativa.

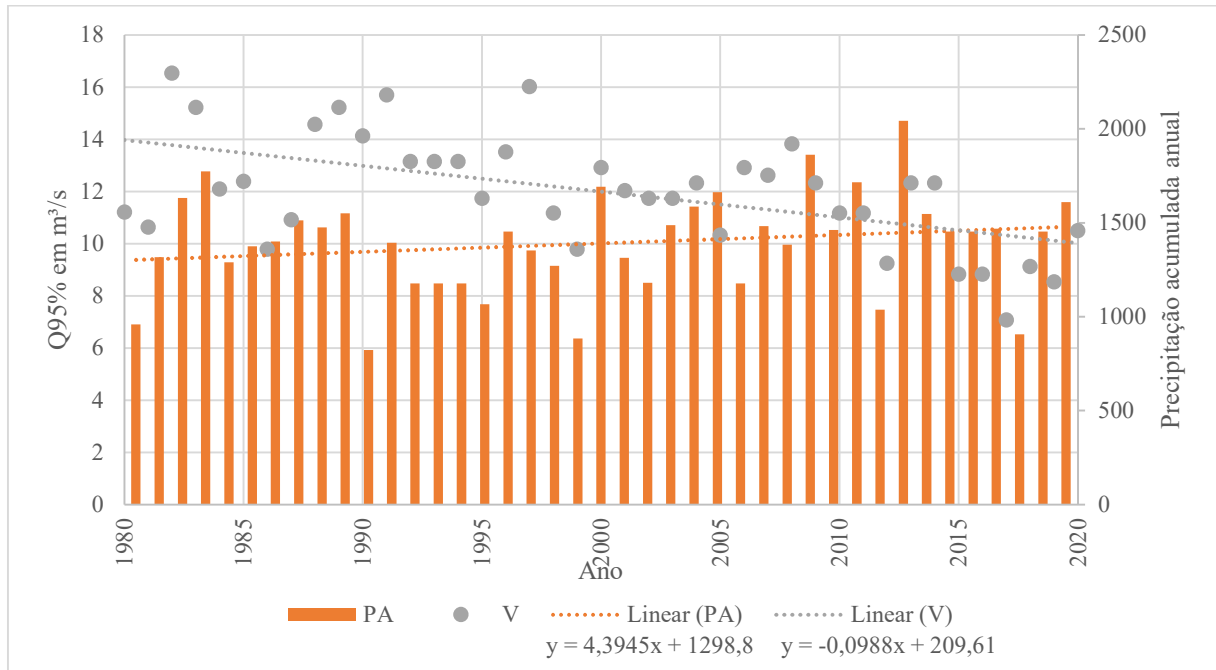
Além disso, se analisadas separadamente, é possível observar que o erro padrão das bacias hidrográficas apresentou valor menor que 2, mas, quando analisadas em conjunto, o erro padrão sobe para um valor maior do que 2.

#### *4.3.4.1 Discussão considerando apenas a bacia hidrográfica do Rio Verdinho*

De 1980 a 2000, observa-se correlação mais próxima entre vazão Q95% e precipitação acumulada anual. Já a partir do ano 2000, a vazão tendeu a diminuir e a precipitação acumulada anual tendeu a se estabilizar e a subir levemente em alguns momentos. A Figura 16 retrata o comportamento das linhas de tendência (tracejadas) para

este período.

**Figura 16 - Rio Verdinho: Comparativo entre precipitação acumulada anual (PA) e vazão Q95% (V) no período entre 1980 e 2020**



Fonte: Elaboração da autora (2022).

Ao analisar os dados referentes a todo o período de estudo (1980 a 2020), e considerando as duas variáveis significativas, observa-se que o  $R^2$  apresentou valor muito baixo. Já ao considerar apenas os valores entre 1980 e 2000, observa-se uma melhora significativa do  $R^2$ , que sairia de 21,79% e subiria para 41,25%.

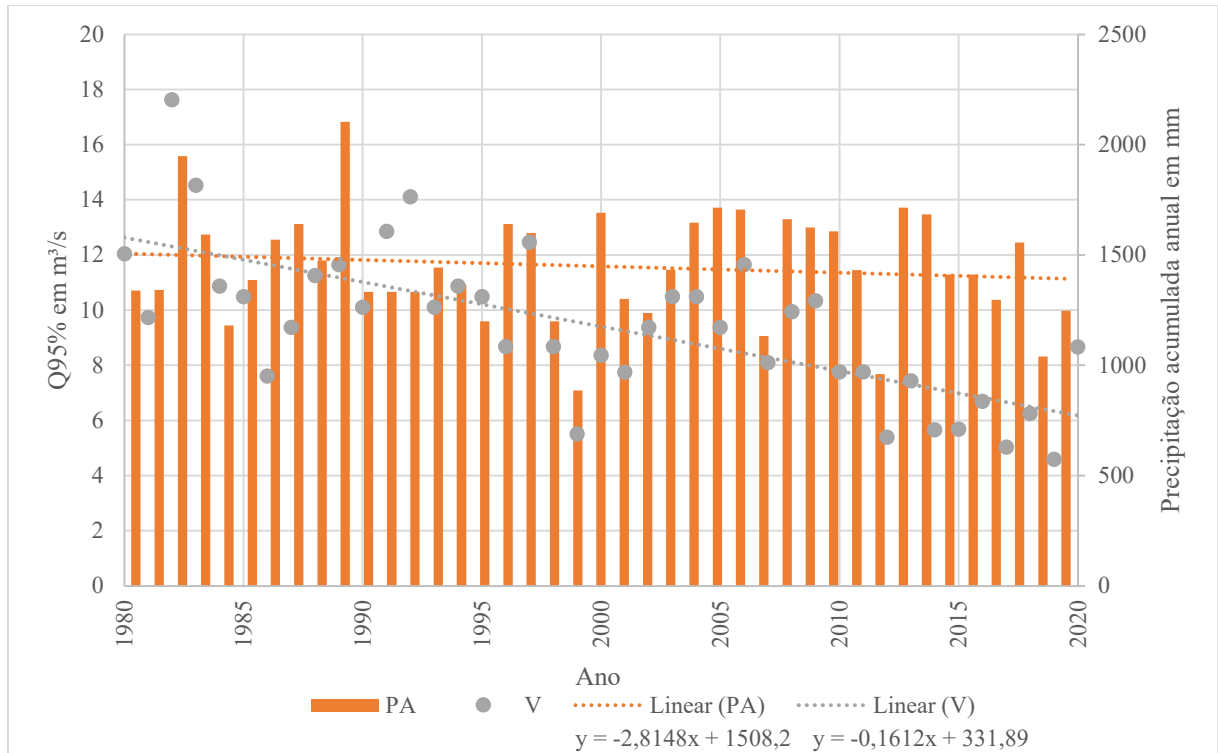
O fator que pode estar associado diretamente à diminuição do valor do  $R^2$  refere-se ao aumento da demanda de água, variável que deve ser considerada e analisada em estudos posteriores. As imagens de satélite mostram claramente que havia menor atividade humana e conseqüente menor consumo de água entre os anos de 1980 e 2000. Já a partir do ano 2000, a atividade humana se intensificou, elevando assim a demanda por recursos hídricos, afetando também a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica.

#### 4.3.4.2 Discussão considerando apenas a bacia hidrográfica do Rio Verdão

De forma semelhante à bacia hidrográfica do Rio Verdinho, esta bacia hidrográfica apresentou um comportamento próximo entre vazão Q95% e precipitação acumulada anual. A vazão tendeu a diminuir mais gradualmente a partir de 2000, apesar de a

precipitação acumulada ter se mantido de certa forma, de acordo com a linha de tendência. A Figura 17 retrata o comportamento das linhas de tendência (tracejadas) para este período.

**Figura 17 - Rio Verdão: Comparativo entre precipitação acumulada anual (PA) e vazão Q95% (V) no período entre 1980 e 2020**



Fonte: Elaboração da autora (2022).

Ao analisar os dados referentes a todo o período de estudo (1980 a 2020), e considerando as duas variáveis significativas, observa-se que o  $R^2$  apresentado tem valor melhor (51,94%) do que se considerado apenas o período de 1980 a 2000 ( $R^2$  de apenas 16,89%).

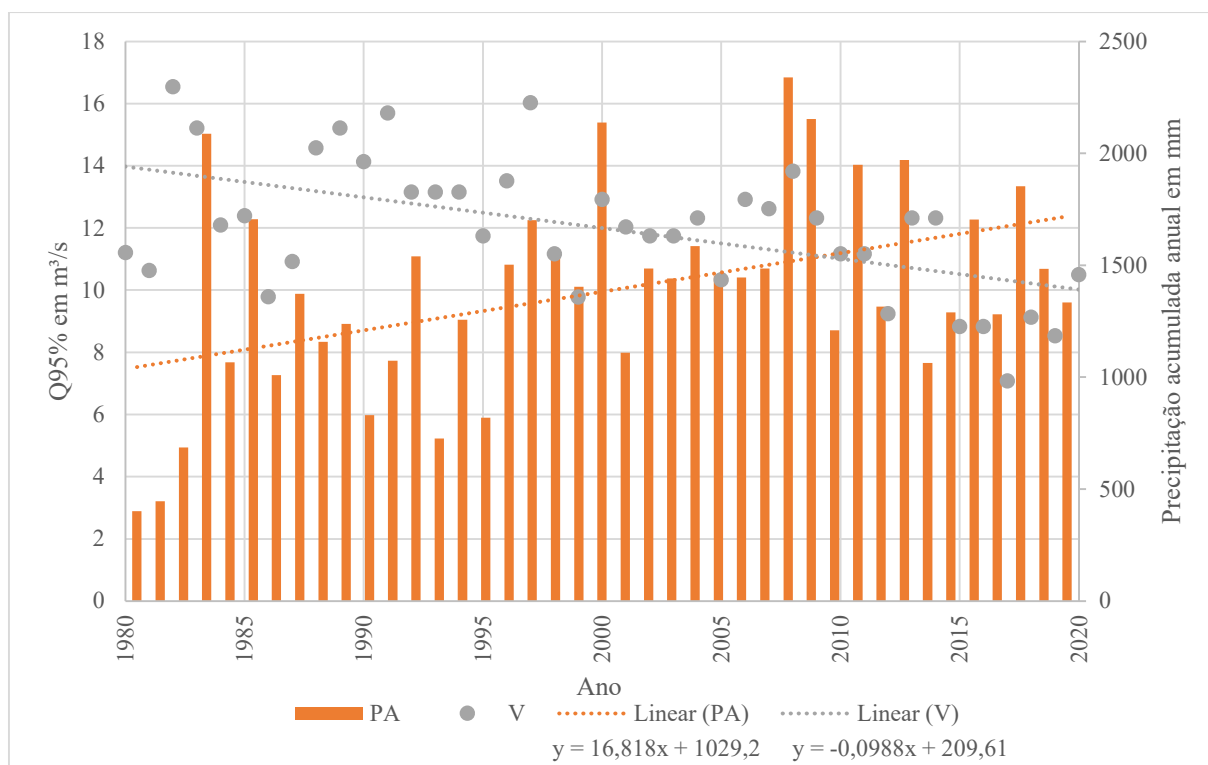
Assim como na bacia do Rio Verdinho, com base na análise do uso da terra por meio das imagens de satélite, é indicado aumento significativo da atividade humana no decorrer dos anos, tendo a quantidade de pivôs de irrigação mais do que duplicado em menos de 10 anos, elevando assim a demanda por recursos hídricos, motivo que pode estar relacionado à diminuição da vazão Q95% desta bacia no decorrer do tempo.

#### 4.3.4.3 Discussão considerando apenas a bacia hidrográfica do Rio Monte Alegre

Esta bacia hidrográfica, por outro lado, não apresentou comportamento próximo entre as linhas de tendência da vazão Q95% e da precipitação acumulada anual, nem no

período inicial de estudo entre 1980 e 2000. No decorrer de todo o período de estudo, a precipitação acumulada anual tendeu a aumentar e a vazão Q95% tendeu a diminuir, com as linhas de tendência se cruzando em determinado período do gráfico. A Figura 18 retrata o comportamento das linhas de tendência (tracejadas) para este período.

**Figura 18 - Rio Monte Alegre: Comparativo entre precipitação acumulada anual (PA) e vazão Q95% (V) no período entre 1980 e 2020**



Fonte: Elaboração da autora (2022).

O valor de  $R^2$  também foi relativamente baixo, se analisados os dados referentes a todo o período de estudo (1980 a 2020), considerando as duas variáveis significativas. Contudo, ao considerar apenas os valores entre 1980 e 2000, também se observa uma pequena melhora no valor do  $R^2$ , que sairia de 24,39% e subiria para 32,75%.

Para esta bacia hidrográfica, o fator demanda de água também pode estar diretamente associado à diminuição gradual da vazão Q95%, pois, com base nas imagens de satélite analisadas, é possível observar o crescimento da atividade humana e consequente aumento do consumo de água no decorrer do período estudado, podendo afetar também a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica.

#### 4.3.4.4 Discussão considerando as três bacias hidrográficas em conjunto

Sabe-se que o aumento da precipitação está diretamente relacionado ao aumento da vazão nos corpos hídricos. Contudo, para este caso específico das três bacias analisadas em conjunto, o P-valor obtido para a variável PA (precipitação acumulada anual) foi de 19,24%, muito acima de 1% e de 5%. Isso indica que esta variável não é significativa para a equação de regressão linear múltipla, por isso, não deveria ser considerada no comportamento de variação da vazão. Para explicar este fenômeno, é possível levantar algumas hipóteses relacionadas a essa ocorrência.

A primeira delas pode estar relacionada ao fato de a equação obtida não estar associando a quantificação de demanda de água que tem sido utilizada para consumo. É bem provável que a demanda de água esteja se apresentando maior do que a precipitação de chegada aos corpos hídricos, por isso a vazão continua tendendo a diminuir.

Além disso, outro fator que pode ser levantado diz respeito à correlação entre a vazão e a precipitação acumulada anual. O valor utilizado na regressão é o volume total acumulado ao longo de cada ano do estudo, mas este valor não representa necessariamente uma uniformidade de precipitações ao longo do ano. É natural que ocorram meses com muita precipitação seguidos de meses com pouca precipitação, sendo importante considerar também estas variações nos resultados e discussão. Além disso, é importante ressaltar também a própria intensidade pluviométrica. Mesmo que o volume de chuva não sofra tanta variação, a quantidade de dias em que ocorre precipitação pode variar, e os efeitos da ação humana (desmatamento, agroindústrias, construção de reservatórios e outros fatores) podem acarretar maior volume de precipitação numa menor quantidade de dias.

Com relação ao valor do  $R^2$ , observa-se na literatura que, quando se faz regionalização de vazão envolvendo estes dados hidrológicos, o  $R^2$  pode apresentar muita variação com relação a seu valor. Conforme resultados de regionalização de vazões obtidos por Araújo (2019), é possível identificar que valores entre 40% também são passíveis de serem encontrados. Isso indica que, apesar de não apresentar um  $R^2$  muito elevado, os resultados encontrados neste estudo ainda são válidos.

O estudo de regionalização de vazões conduzido por Pinhati (2018) na bacia hidrográfica do Rio São Marcos obteve equações de regressão linear entre a área e o volume de reservatórios em estudo. Verificou-se que, apesar de o  $R^2$  ter sido de 0,55 e a correlação entre os dados de volume medidos/informados ter sido de 0,67 com os dados de volume calculados, a linha de tendência potencial deles permaneceu bem próxima.

Além disso, outro estudo conduzido Giacomoni (2019) envolvendo a regionalização

de vazões da bacia hidrográfica do Rio Chopim, pelo método tradicional, obteve resultados de diferentes modelos estatísticos. Observa-se que, para as diversas variáveis analisadas, o modelo potencial foi o que apresentou o melhor resultado estatístico, tanto em função da área de drenagem, quanto para o comprimento de rio como para a declividade média do rio principal. Assim sendo, é possível que análises estatísticas envolvendo outros tipos de regressão além da linear apresentada neste estudo possam apresentar valores ainda melhores para a regionalização de vazões das bacias hidrográficas dos Rios Verdinho, Verdão e Monte Alegre.



#### 4.4 Conclusões

Com relação ao uso e à ocupação do solo nas bacias hidrográficas dos Rios Verdinho, Verdão e Monte Alegre, foi possível observar que a porcentagem de vegetação nativa de cada bacia apresentou baixo coeficiente de variação, com valores variando entre 0,0115 e 0,0156. As áreas de preservação permanente (APP), cobertas por vegetação nativa, encontradas para cada bacia, obtiveram uma mediana ao longo dos 40 anos de 17,16% para a bacia do Rio Verdinho, de 14,82% para a bacia do Rio Verdão e de 16,53% para a bacia do Rio Monte Alegre.

Observa-se também crescimento das unidades irrigadas e das casas construídas nas bacias hidrográficas do Rio Verdão e do Rio Monte Alegre, destacando-se o aumento da atividade humana no sudoeste goiano. Para a bacia do Rio Verdinho, a área total de pivôs de irrigação e a área total construída aumentaram, respectivamente, 216,66% e 338,78%, em comparação com o período entre 1990 e 2020. Já para a bacia do Rio Verdão, a área total de pivôs de irrigação e a área total construída aumentaram, respectivamente, 2608,30% e 224,23%, em comparação com o mesmo período. E para a bacia do Rio Monte Alegre, a área total de pivôs de irrigação e a área total construída aumentaram, respectivamente, 7033,16% e 1058,55%, também entre 1990 e 2020.

No que se refere ao comportamento hidrológico, observa-se para todas as bacias analisadas uma diminuição da vazão Q95% no decorrer dos 40 anos, conforme as linhas de tendência encontradas. Tal decaimento, entretanto, não acompanha o mesmo comportamento se comparado às linhas de tendência encontradas de precipitação acumulada anual das bacias. Apesar de apresentar oscilações durante o período, as precipitações mantiveram uma linha de tendência relativamente constante para as bacias do Rio Verdinho e de Rio Verdão e de aumento para o Rio Monte Alegre no decorrer dos 40 anos estudados. Isso indica que o declínio da vazão Q95% com a considerável constância ou aumento da precipitação pode estar diretamente relacionado ao uso e à ocupação do solo, mediante o aumento da demanda em razão do aumento da irrigação e da área construída.

Acerca das análises estatísticas de regressão linear múltipla, foram feitas diversas tentativas de correlação entre as variáveis selecionadas e as bacias hidrográficas selecionadas para este estudo, que geraram também as equações apresentadas nos resultados. Para a bacia do Rio Verdinho, o valor do  $R^2$  ajustado obtido foi de 21,79%, não

apresentando um resultado estatisticamente razoável. Isto ocorre também para a bacia do Rio Monte Alegre, cujo valor do  $R^2$  ajustado foi de apenas 24,39%. Já a bacia do Rio Verdão foi a que apresentou o melhor  $R^2$  ajustado, de 51,94%. Ainda assim, tem-se apenas 51,94% de certeza de que a vazão desta bacia hidrográfica é influenciada pelas variáveis PA (precipitação acumulada anual) e VN (vegetação nativa). Posteriormente, a análise envolvendo as três bacias hidrográficas em conjunto foi a que apresentou o segundo maior valor de  $R^2$  ajustado, 43,02%, e mesmo considerando todas as variáveis (PA, VN, DD, AT), a vegetação nativa não se apresentou muito favorável nessas condições. Assim sendo, o método adotado não apresentou bons resultados estatísticos, sendo necessários novos estudos envolvendo outras metodologias e variáveis para obtenção de um valor estatístico mais significativo, incorporando, inclusive, dados quantitativos sobre a demanda e o consumo de água, variável diretamente ligada à disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas.

#### 4.5 Referências bibliográficas (Capítulo 1 - Artigo 1)

ANACHE, J. A. A. *Alterações no ciclo hidrológico e na perda de solo devido aos diferentes usos do solo e variações climáticas em área de Cerrado*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos – SP, 2017. Disponível em: [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-17042018-110107/publico/ANACHE\\_JAA\\_2017.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-17042018-110107/publico/ANACHE_JAA_2017.pdf). Acesso em: 9 jun. 2020.

AMORIM, E. L. C.; NETTO, A. P. O.; MENDIONDO, E. M. *Estudo de métodos para regionalização de vazão*. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 2005, 641p. Disponível em: <https://ctec.ufal.br/professor/elca/Amorim2-ABRH2005.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2022.

ARAÚJO, F. C. *Regionalização de vazões na bacia hidrográfica do Rio Paranapanema*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2019.

BARBOSA, S. E. S. *Análise de dados hidrológicos e regionalização de vazões da bacia do Rio do Carmo*. Universidade Federal de Ouro Preto, Núcleo de Pesquisa em Recursos Hídricos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, 2004.

BRASIL. *Lei Federal no 12.651, de 25 de maio de 2012*. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm). Acesso em: 10 jan. 2022.

GASQUES, A. C. F., NEVES, G. L., SANTOS, J. D., MAUAD, F. F., OKAWA, C. M. P. *Regionalização de vazões mínimas: breve revisão teórica*. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 14, n. 2, 2018, p. 60-70.

GIACOMONI, M. *Avaliação estatística dos dados de regionalização de vazões para a bacia hidrográfica do Rio Chopim*. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização, 2019. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/20121/2/FB\\_CEMMA\\_I\\_2019\\_07.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/20121/2/FB_CEMMA_I_2019_07.pdf). Acesso em: 12 jan. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades e Estados*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/go/rio-verde.html>. Acesso em: 1 dez. 2019a.

\_\_\_\_\_. *História*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/rio-verde/historico>. Acesso em: 1 dez. 2019a.

\_\_\_\_\_. *Panorama*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/rio-verde/panorama>.

Acesso em: 1 dez. 2019b.

\_\_\_\_\_. *Organização do Território*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 16 jan. 2022c.

KRAJEWSKI, L. J.; RITZMAN, L. P.; MALHOTRA, M. *Administração da produção e operações*. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LOPES, T. R.; PRADO G.; ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; ANTONIEL, L. S. *Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do rio Ivaí - PR*. Irriga, Botucatu - SP, v. 21, n. 1, 2016, p. 188-201.

MEDEIROS, F. S. B., BIANCHI, R. C. *A aplicação do método regressão linear simples na demanda de produtos sazonais: um estudo de caso*. Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Sociais Aplicadas, S. Maria, v. 5, n. 1, 2009, p. 35-53.

MOURA, D. M. B. de. *Proposta metodológica para avaliação e definição de fontes superficiais de abastecimento público: uma análise comparativa entre duas bacias hidrográficas, visando à segurança hídrica de Iporá (GO)*. CCXLVII, 247 f.: il, 2021.

OLIVEIRA, V. A. *Regionalização de vazões nas regiões das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos GDI E GD2*. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2013, 99p.

PINHATI, F. S. C. *Simulações de Ampliações da Irrigação por Pivô Central na Bacia do Rio São Marcos*. UnB-GEA, Mestre, Gestão Territorial e Ambiental, 297 mm, 2018, 137p.

PINTO, E. J. A., ALVES, M. M. S. *Regionalização de vazões das sub-bacias Alto São Francisco: caracterização física e análise dos dados básicos*. Convênio 015/2000 ANEEL – 013/CPRM/2000, Relatório Final, v. I, 2001.

PLANOS DE BACIAS DOS AFLUENTES DO PARANAÍBA DO ESTADO DE GOIÁS – PBAPGO. *Plano de ação da UPGRH do Rio dos Bois (Plano de Ações)*. Estado de Goiás, SEMAD, v. 1.0, 2000.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUEZ, R. DEL G.; NUNES, A. A.; PRUSKI, P. L.; SINGH, V. P. *Low-flow estimates in regions of extrapolation of the regionalization equations: a new concept*. Engenharia Agrícola, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 5, 2015, p. 808-816.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS - SNIRH (2020). *Hidroweb-ANA: Dados fluviométricos*. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 1 jun. 2020.

\_\_\_\_\_. *Hidroweb-ANA: Dados pluviométricos*. Disponível em:

<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>. Acesso em: 1 jun. 2020.

\_\_\_\_\_. *Hidroweb-mobile*. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb-mobile/mapa>. Acesso em: 17 jan. 2022.

SUERTEGARAY, D. M. A. *Geografia Física e Geomorfologia: uma releitura*. Porto Alegre: Compasso Lugar-Cultura, 2018. 126 p.

TESTEZLAF, R. *Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações*. Feagri, Unicamp, Campinas, 2017.

TUCCI, C.E.M; CABRAL, J. J. S. P. *Qualidade da Água Subterrânea*. UFRGS, Departamento de Hidromecânica e Hidrologia, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Anexo II-b., 2003. Disponível em:

[https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/a2b\\_doc\\_final\\_agua\\_subterr\\_1184.pdf/49642517-e831-4ef7-bccd-5c6d3834a3a0?version=1.0](https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/a2b_doc_final_agua_subterr_1184.pdf/49642517-e831-4ef7-bccd-5c6d3834a3a0?version=1.0). Acesso em: 10 jan. 2022.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. *Hidrologia Aplicada*. 1 ed. São Paulo: McGRAW-HILL, 1975, p. 12-25, 45-61.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que, para as três bacias hidrográficas estudadas, observa-se pela linha de tendência que o valor da Q95% tem diminuído com o tempo. Essa redução das vazões ao longo dos anos pode implicar diretamente a redução da disponibilidade hídrica destes corpos hídricos, e estes resultados podem ser aplicados tanto nos Comitês de Bacia Hidrográfica quanto na Prefeitura Municipal da região de estudo.

Entre todas as vazões obtidas, e comparando os valores absolutos, a bacia hidrográfica do Rio Verdinho é a que apresenta maior disponibilidade hídrica em questão de volume para o ano de 2020, com um valor de 10,47 m<sup>3</sup>/s. Observa-se também que, comparando os valores de precipitação acumulada anual, a maior precipitação ocorreu também na bacia hidrográfica do Rio Verdinho para o ano de 2020. Ainda assim, os resultados das vazões Q95% para todas as bacias hidrográficas estudadas (Rio Verdinho, Rio Verdão, Rio Monte Alegre) indicam que este volume vem diminuindo com o tempo.

Com relação à disponibilidade hídrica das bacias e à concessão do direito de uso e outorga da água, é importante ressaltar também a necessidade da integração e monitoramento das águas superficiais e subterrâneas. A ocorrência de bombeamentos extraíndo grandes vazões perto um corpo hídrico pode ocasionar diminuição das vazões mínimas dos rios, pois induz uma recarga do aquífero proveniente das águas do rio. Assim sendo, o avanço das atividades humanas e o decorrente aumento da demanda de água são processos que devem ser monitorados e gerenciados pelos órgãos responsáveis, integrando tanto o processo de outorga das águas superficiais como o das águas subterrâneas, integrando ambas as análises (TUCCI et al., 2003).

O fornecimento de informações relevantes e valores estatísticos correlacionando a percentagem de vegetação nativa, as áreas irrigadas e construídas, a densidade de drenagem, a precipitação acumulada anual e a área total da bacia hidrográfica são fundamentais para o conhecimento da disponibilidade hídrica destas bacias hidrográficas. Gestores públicos podem utilizar todos estes dados para planejar um eficiente gerenciamento dos recursos hídricos, em especial aqueles integrantes do Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio dos Bois e Turvo, da Secretaria do Meio Ambiente e da Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Goiás (SEMAD-GO).

Mediante tudo o que foi discutido, espera-se que estes resultados sejam úteis aos

gestores públicos e demais interessados no uso e conservação dos recursos hídricos no sudoeste de Rio Verde. Os valores encontrados para a vazão de permanência Q95% das três bacias hidrográficas bem como as precipitações acumuladas obtidas permitem observar o comportamento das bacias no decorrer do tempo e podem servir de subsídio para a tomada de decisão do Comitê de Bacias Hidrográficas da região. Assim sendo, tornam-se importantes ferramentas no monitoramento e planejamento dos recursos hídricos, inclusive na realização de obras hidráulicas, determinação de outorgas e direito do uso da água.

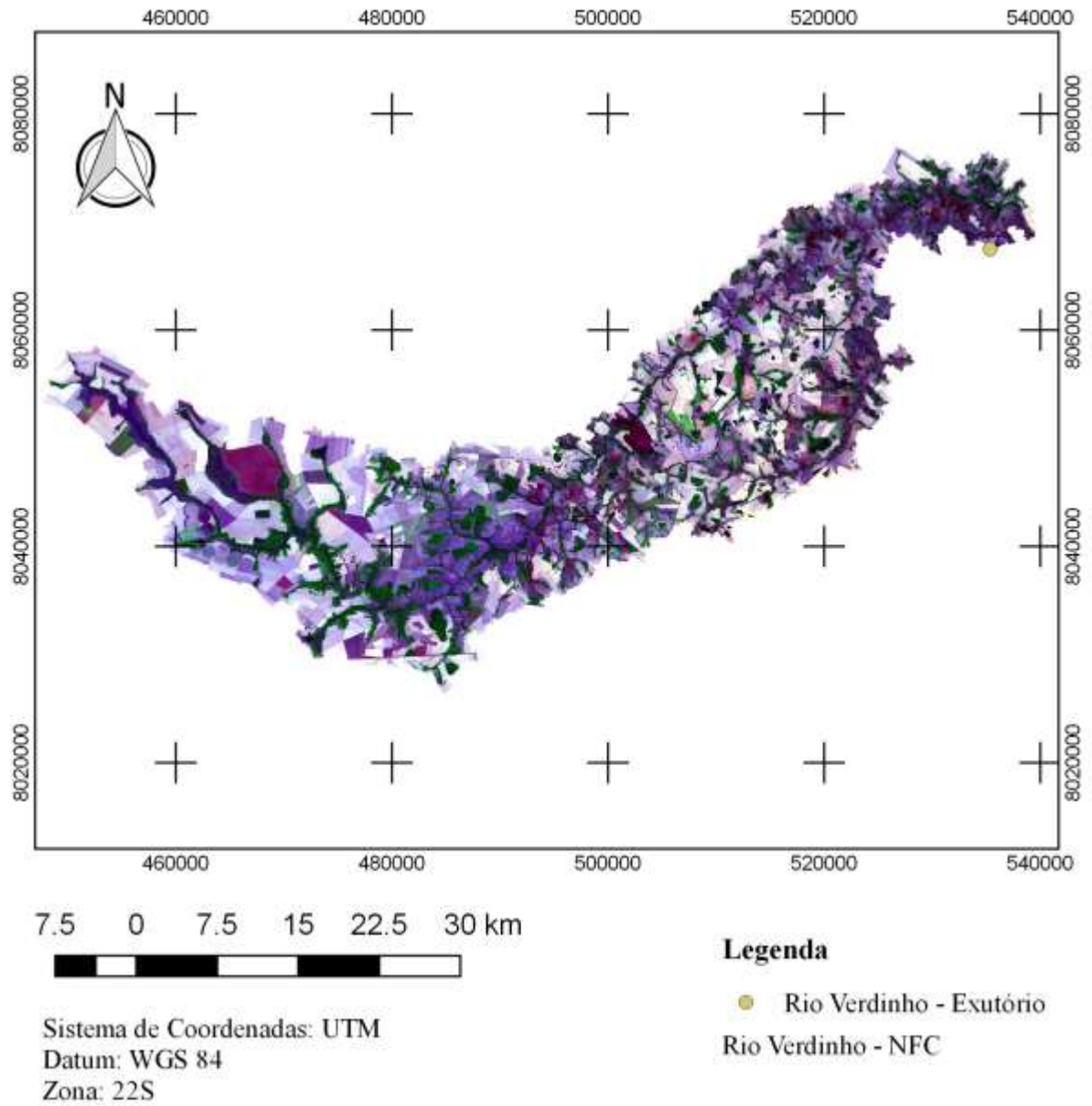
Como proposta de trabalhos futuros e complementação a este estudo, podem ser utilizadas outras ferramentas de estatística para obtenção de equações de regressão que não sejam necessariamente lineares. Outras funções podem se ajustar tão bem ou ainda melhor aos dados obtidos. Além disso, podem ser feitas novas coletas de dados e levantamento de outorgas concedidas para cada uma das bacias estudadas a fim de quantificar a demanda de água que tem sido retirada dos corpos hídricos no decorrer dos anos. A obtenção destes valores pode explicar o motivo da diminuição recorrente da vazão de permanência Q95% e trará uma abordagem mais realista e confiável de como as variáveis se correlacionam para uma regionalização de vazões mais acurada destas bacias localizadas no sudoeste goiano.

Além disso, novos estudos devem ser conduzidos para compreender também a influência da litologia e dos tipos de solos na vazão e clima da região de estudo. Propõe-se que órgãos ambientais e governamentais melhorem sua base geológica e pedológica para garantir um refinamento melhor no estudo da taxa de infiltração de água dos diferentes solos e aquíferos.

Finalmente, é importante destacar também a necessidade de aprimoramento da rede hidrométrica de bacias hidrográficas no entorno do município de Rio Verde, tanto no alto, médio e baixo curso dos corpos hídricos. Dessa forma, as falhas existentes nos pontos atuais podem ser supridas com uma maior rede de dados e um maior número de estações de monitoramento, complementando, assim, as informações e séries históricas já existentes. Redes climatológicas podem ser implantadas pela instalação de pluviógrafos e datalogger para a obtenção de um maior entendimento da distribuição das chuvas nas bacias hidrográficas. Uma maior rede hidrométrica permite, inclusive, maior conferência de informações, trazendo maior confiabilidade aos dados.

## 6 APÊNDICE

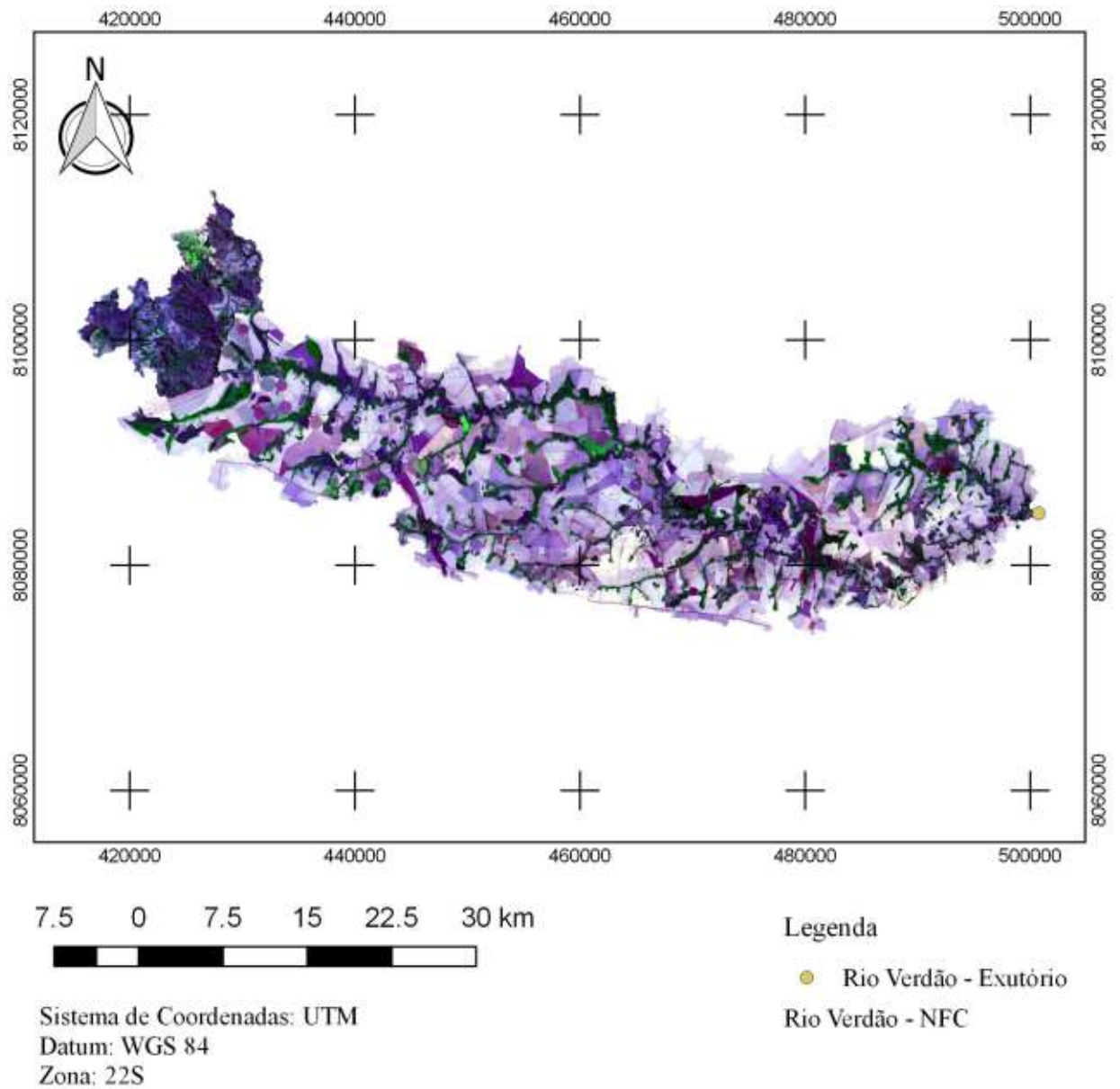
Figura 19 - Bacia Hidrográfica do Rio Verdinho - GO - 2020



Fonte: Elaboração da autora (2021).

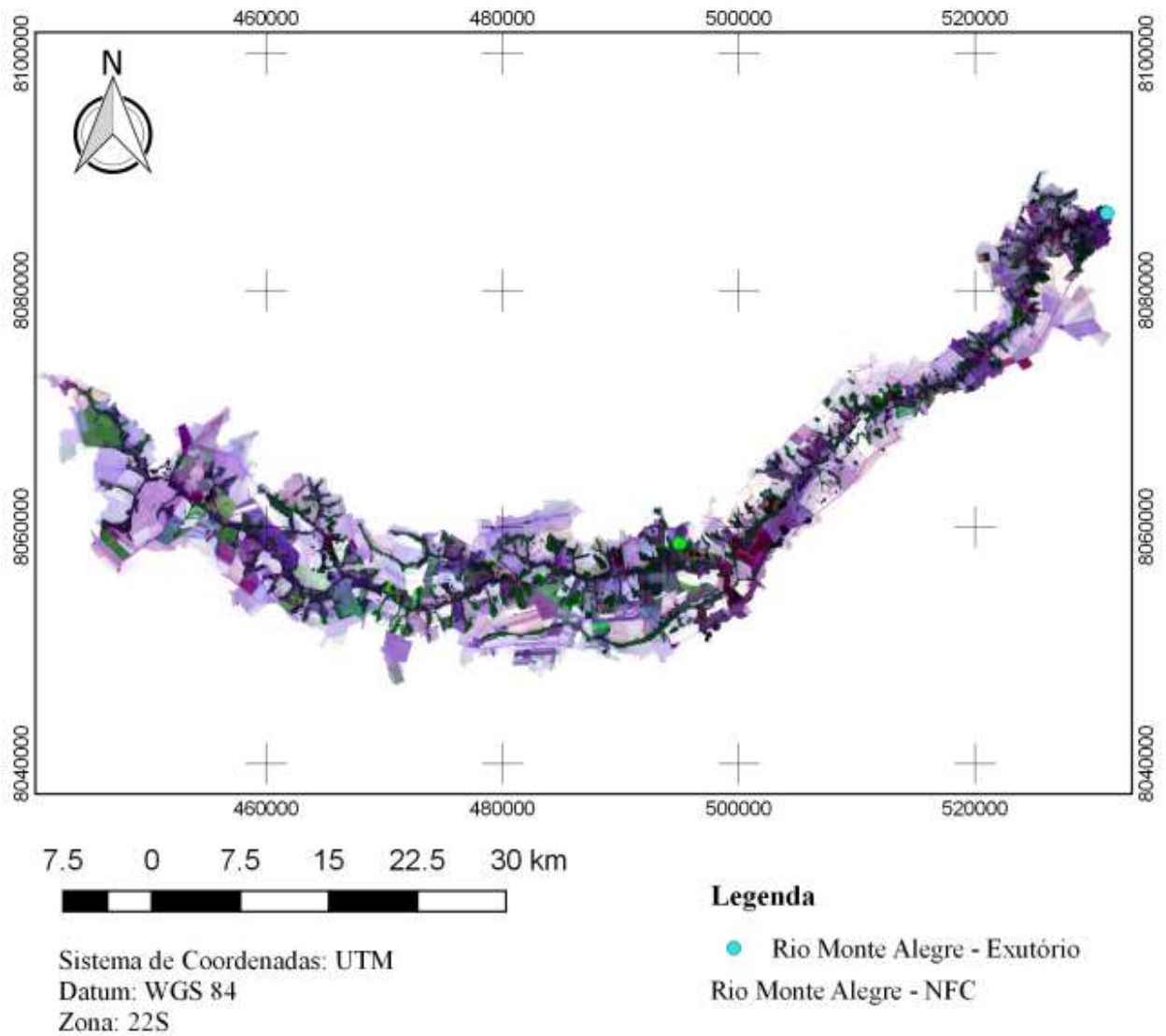


Figura 20 - Bacia Hidrográfica do Rio Verdão - GO - 2020



Fonte: Elaboração da autora (2021).

**Figura 21 - Bacia Hidrográfica do Rio Monte Alegre - GO - 2020**



Fonte: Elaboração da autora (2021).

**Tabela 3 – Dados obtidos para a bacia hidrográfica do Rio Verdinho**

Bacia hidrográfica	Ano	Vazão Q95% (V) em m <sup>3</sup> /s	Precipitação acumulada anual (PA) em mm	Porcentagem de vegetação nativa (VN)	Densidade de drenagem (DD) em km/km <sup>2</sup>	Área total (AT) em km <sup>2</sup>
Rio Verdinho	1980	11,209	959,4	16,20% (*)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1981	10,632	1316,8	16,20% (*)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1982	16,537	1632	16,20% (*)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1983	15,217	1774	16,20% (*)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1984	12,095	1288,8	16,20% (*)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1985	12,395	1375	17,72%	2,5539	1427,33

Rio Verdinho	1986	9,787	1399,9	16,96% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1987	10,919	1512	16,20% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1988	14,573	1475,3	15,44% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1989	15,217	1549,8	14,68% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1990	14,13	823,4	13,92%	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1991	15,701	1392,8	14,36% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1992	13,152 (*)	1177,7 (*)	14,80% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1993	13,152 (*)	1177,7 (*)	15,24% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1994	13,152 (*)	1177,7 (*)	15,68% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1995	11,741	1066,9	16,12% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1996	13,518	1453,2	16,56% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1997	16,022	1352,5	17,00% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1998	11,169	1270,1	17,44% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	1999	9,783	884,9	17,88% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2000	12,916	1691,8	18,32%	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2001	12,031	1314	18,27% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2002	11,741	1180,5	18,22% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2003	11,741	1487,4	18,17% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2004	12,324	1585,3	18,11% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2005	10,33	1663,5	18,06% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2006	12,916	1177,2	18,01% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2007	12,619	1482,8 (*)	17,96% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2008	13,823	1383,4	17,91% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2009	12,324	1861,7	17,85% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2010	11,169	1461,5	17,80%	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2011	11,169	1715,2	17,71% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2012	9,248	1037,8	17,62% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2013	12,324	2043,2	17,53% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2014	12,324	1546,2	17,43% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2015	8,831	1453,95 (*)	17,34% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2016	8,831	1453,95 (*)	17,25% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2017	7,082	1469,1	17,16% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2018	9,129	905,6	17,07% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2019	8,534	1453	16,98% (**)	2,5539	1427,33
Rio Verdinho	2020	10,497	1609,4	16,89%	2,5539	1427,33

Fonte: Elaboração da autora (2021).

(\*) = valores estimados por média simples, mediante ausência de dados.

(\*\*) = valores interpolados entre os resultados obtidos com as imagens de satélite.

Tabela 4 – Dados obtidos para a bacia hidrográfica do Rio Verdão

Bacia hidrográfica	Ano	Vazão Q95% (V) em m³/s	Precipitação acumulada anual (PA) em mm	Porcentagem de vegetação nativa (VN)	Densidade de drenagem (DD) em km/km²	Área total (AT) em km²
Rio Verdão	1980	12,047	1338,7	14,17% (*)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1981	9,736	1342,1	14,17% (*)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1982	17,628	1947,7	14,17% (*)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1983	14,528	1593	14,17% (*)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1984	10,87	1180,6	14,17% (*)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1985	10,487	1386,8	15,26%	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1986	7,608	1568,9	14,71% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1987	9,369	1639,7	14,17% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1988	11,257	1474,6	13,62% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1989	11,65	2103,6	13,07% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1990	10,109	1333,4 (*)	12,52%	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1991	12,856	1333,4 (*)	12,73% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1992	14,103	1333,4 (*)	12,93% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1993	10,109	1442,5	13,14% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1994	10,87	1366,7	13,34% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1995	10,487	1199,5	13,55% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1996	8,675	1640,6	13,75% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1997	12,466	1599,4	13,96% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1998	8,675	1198,9	14,16% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	1999	5,504	886	14,37% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2000	8,361	1690,3	14,57%	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2001	7,748	1300,9	14,82% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2002	9,369	1236,8	15,07% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2003	10,487	1433,1	15,32% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2004	10,487	1646,2	15,56% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2005	9,369	1714,8	15,81% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2006	11,65	1704,8	16,06% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2007	8,103	1132,2	16,31% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2008	9,938	1661,8	16,56% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2009	10,335	1623,6	16,80% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2010	7,765	1606,7	17,05%	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2011	7,765	1431,6	17,08% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2012	5,396	960,6	17,11% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2013	7,437	1714,3	17,14% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2014	5,661	1683,8	17,17% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2015	5,68	1411,325 (*)	17,20% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2016	6,689	1411,325 (*)	17,23% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2017	5,032	1296,6	17,26% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2018	6,248	1556,6	17,29% (**)	1,8364	1314,78

Rio Verdão	2019	4,589	1040,4	17,32% (**)	1,8364	1314,78
Rio Verdão	2020	8,669	1246,5	17,35%	1,8364	1314,78

Fonte: Elaboração da autora (2021).

(\*) = valores estimados por média simples, mediante ausência de dados.

(\*\*) = valores interpolados entre os resultados obtidos com as imagens de satélite.

**Tabela 5 – Dados obtidos para a bacia hidrográfica do Rio Monte Alegre**

Bacia hidrográfica	Ano	Vazão Q95% (V) em m <sup>3</sup> /s	Precipitação acumulada anual (PA) em mm	Porcentagem de vegetação nativa (VN)	Densidade de drenagem (DD) em km/km <sup>2</sup>	Área total (AT) em km <sup>2</sup>
Rio Monte Alegre	1980	7,747	401,7	17,03% (*)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1981	7,193	445,7	17,03% (*)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1982	12,216	685,7	17,03% (*)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1983	10,832	2086,6	17,03% (*)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1984	8,917	1066	17,03% (*)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1985	8,321	1705,3	16,85%	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1986	6,661	1009,3	16,94% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1987	7,467	1372	17,03% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1988	10,172	1157,4	17,11% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1989	10,832	1237,4	17,20% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1990	8,031	830,7	17,29%	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1991	10,172	1072,9	17,21% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1992	8,616	1539,6	17,14% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1993	8,031	725,5	17,06% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1994	8,61	1256,5	16,98% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1995	6,246	819,1	16,91% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1996	7,69	1501,8	16,83% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1997	9,896	1701,1	16,75% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	1998	7,392	1572,4	16,68% (**)	1,7682	898,24

Rio Monte Alegre	1999	4,917	1403,4	16,60% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2000	6,525	2137,5	16,53%	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2001	7,392	1110	16,24% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2002	7,099	1485,3	15,96% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2003	7,392	1440,8	15,68% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2004	7,993	1585,1	15,39% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2005	6,81	1450,6	15,11% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2006	8,925	1445,8	14,83% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2007	7,099	1485,6	14,55% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2008	8,925	2338,6	14,26% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2009	8,61	2153	13,98% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2010	7,392	1209,1	13,70%	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2011	7,392	1949	13,76% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2012	5,173	1315	13,83% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2013	7,69	1970,4	13,90% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2014	5,7	1063,4	13,97% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2015	5,927	1289,8	14,03% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2016	5,698	1704,6	14,10% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2017	5,259	1281,2	14,17% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2018	6,044	1853,4	14,24% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2019	4,844	1483,9	14,30% (**)	1,7682	898,24
Rio Monte Alegre	2020	7,722	1334	14,37%	1,7682	898,24

Fonte: Elaboração da autora (2021).

(\*) = valores estimados por média simples, mediante ausência de dados.

(\*\*) = valores interpolados entre os resultados obtidos com as imagens de satélite.

**Tabela 6 – Resultado estatístico da regressão para a bacia hidrográfica do Rio Verdinho**

<i>Estatística de regressão</i>					
R múltiplo					50,70%
R-Quadrado					25,70%
R-quadrado ajustado					21,79%
Erro padrão					1,9145
Observações					41

<i>Análise de Variância</i>					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2	48,1875	24,0938	6,5734	0,0035
Resíduo	38	139,2824	3,6653		
Total	40	187,4699			

<i>Coefficientes obtidos para cada variável</i>								
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	24,5199	4,4296	5,5355	0,0000	15,5526	33,4871	15,5526	33,4871
PA	0,0024	0,0012	2,0056	0,0521	0,0000	0,0048	0,0000	0,0048
VN	-93,6962	27,1071	-3,4565	0,0014	-148,5717	-38,8207	-148,5717	-38,8207

Equação de regressão obtida:

$$Y = 24,5199* + 0,0024 PA - 93,6962* VN$$

Legenda:

- ✓ PA: Precipitação acumulada anual
- ✓ VN: Vegetação nativa
- ✓ \*: Variável significativa a 1% e a 5%.

Fonte: Elaboração da autora (2021).

**Tabela 7 – Resultado estatístico da regressão para a bacia hidrográfica do Rio Verdão**

<i>Estatística de regressão</i>					
R múltiplo					73,72%
R-Quadrado					54,35%
R-quadrado ajustado					51,94%
Erro padrão					1,9217
Observações					41

<i>Análise de Variância</i>					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2	167,0582	83,5291	22,6179	0,0000

Resíduo	38	140,3361	3,6931
Total	40	307,3943	

**Coefficientes obtidos para cada variável**

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	20,0521	3,5039	5,7229	0,0000	12,9589	27,1453	12,9589	27,1453
PA	0,0041	0,0012	3,3562	0,0018	0,0016	0,0065	0,0016	0,0065
VN	-109,0641	19,2923	-5,6532	0,0000	-148,1193	-70,0089	-148,1193	-70,0089

**Equação de regressão obtida:**

$$Y = 20,0521 + 0,0041 PA^* - 109,0641 VN^*$$

**Legenda:**

- ✓ PA: Precipitação acumulada anual
- ✓ VN: Vegetação nativa
- ✓ \*: Variável significativa a 1% e a 5%.

Fonte: Elaboração da autora (2021).

**Tabela 8 – Resultado estatístico da regressão para a bacia hidrográfica do Rio Monte Alegre**

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	53,07%
R-Quadrado	28,17%
R-quadrado ajustado	24,39%
Erro padrão	1,4663
Observações	41

**Análise de Variância**

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	2	32,0390	16,0195	7,4507	0,0019
Resíduo	38	81,7031	2,1501		
Total	40	113,7421			

**Coefficientes obtidos para cada variável**

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	-5,0476	3,4187	-1,4764	0,1481	-11,9685	1,8733	-11,9685	1,8733
PA	0,0009	0,0006	1,5075	0,1400	-0,0003	0,0020	-0,0003	0,0020
VN	73,2110	18,9822	3,8568	0,0004	34,7834	111,6385	34,7834	111,6385

**Equação de regressão obtida:**

$$Y = -5,0476 + 0,0009 PA + 73,2110^* VN$$

**Legenda:**



- ✓ PA: Precipitação acumulada anual
- ✓ VN: Vegetação nativa
- ✓ \*: Variável significativa a 1% e a 5%.

Fonte: Elaboração da autora (2021).

**Tabela 9 – Resultado estatístico da regressão considerando as três bacias hidrográficas em conjunto (Rio Verdinho, Rio Verdão e Rio Monte Alegre) e todas as variáveis**

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	67,00%
R-Quadrado	44,88%
R-quadrado ajustado	43,02%
Erro padrão	2,1542
Observações	123

<i>Análise de Variância</i>					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	4	445,9101	111,4775	24,0231	0,0000
Resíduo	118	547,5714	4,6404		
Total	122	993,4814			

**Coefficientes obtidos para cada variável**

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	3,7653	2,4331	1,5476	0,1244	-1,0528	8,5835	-1,0528	8,5835
PA	0,0008	0,0006	1,3109	0,1924	-0,0004	0,0020	-0,0004	0,0020
VN	-45,7196	14,4556	-3,1628	0,0020	-74,3455	-17,0937	-74,3455	-17,0937
DD	4,3582	0,8778	4,9647	0,0000	2,6199	6,0966	2,6199	6,0966
AT	0,0026	0,0013	2,0759	0,0401	0,0001	0,0051	0,0001	0,0051

Equação de regressão obtida:

$$Y = 3,7653 + 0,0008 PA - 45,7196 VN^* + 4,3582 DD^* + 0,0026 AT^{**}$$

Legenda:

- ✓ PA: Precipitação acumulada anual
- ✓ VN: Vegetação nativa
- ✓ DD: Densidade de drenagem
- ✓ AT: Área total
- ✓ \*: Variável significativa a 1% e a 5%.
- ✓ \*\*: Variável significativa a 5%.