



**GIOVANA ORTIZ DIEGUES**

**APLICAÇÃO DE ANÁLISE ESPECTRAL EM SÉRIES DE  
PRECIPITAÇÃO E VAZÃO DO RIO VERDE GRANDE NO  
TRECHO DE JAÍBA - MG**

LAVRAS – MG

2022

**GIOVANA ORTIZ DIEGUES**

**APLICAÇÃO DE ANÁLISE ESPECTRAL EM SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO DO  
RIO VERDE GRANDE NO TRECHO DE JAÍBA - MG**

Monografia apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Curso  
de Engenharia Ambiental e  
Sanitária, para a obtenção do título  
de Bacharel.

Prof. Dr. Marcelo Vieira da Silva Filho  
Orientador  
Prof. Dra. Luciana Figueiredo Prado  
Coorientadora

**LAVRAS – MG  
2022**

**GIOVANA ORTIZ DIEGUES**

**APLICAÇÃO DE ANÁLISE ESPECTRAL EM SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO E VAZÃO DO  
RIO VERDE GRANDE NO TRECHO DE JAÍBA – MG**

**APPLICATION OF SPECTRAL ANALYSIS IN SERIES OF PRECIPITATION AND FLOW  
OF VERDE GRANDE RIVER IN JAIBA- MG**

Monografia apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Curso  
de Engenharia Ambiental e  
Sanitária, para a obtenção do título  
de Bacharel.

APROVADA em 22 de abril de 2022.

D.Sc.: Marcelo Vieira da Silva Filho UFLA

D.Sc.: André Ferreira Rodrigues UFLA

D.Sc.: Marcelo Angelo Cirillo UFLA

Prof. Dr. Marcelo Vieira da Silva Filho  
Orientador

Prof. Dra. Luciana Figueiredo Prado  
Coorientadora

**LAVRAS – MG  
2022**

À minha mãe por toda dedicação e apoio e à  
minha tia Fernanda por todo o incentivo.

## AGRADECIMENTOS

A Deus e aos meus avós, guias de alma, que direcionam meus caminhos.

A minha mãe, Gabriela, e meu irmão, Rubens, por sempre acreditarem em mim, me dando força e apoio. Sou muito grata por ter vocês como família.

Aos meus avós maternos, Roberto e Elza, pelo auxílio, proteção e cuidado durante toda a minha vida. Sou eternamente grata por serem meus “Papito” e “Mamita”.

A minha tia, Fernanda que sempre me incentivou aos estudos e a minha independência. Estendo também o agradecimento ao meu tio, Diego que acompanhou essa caminhada e hoje me orienta profissionalmente.

Ao meu orientador, Prof. Marcelo, e minha coorientadora, Luciana por compartilhar seus conhecimentos. Sou grata pela conclusão deste trabalho.

Ao Fabricio Rios, que começou comigo a ideia deste estudo, por ter sido meu companheiro durante maior parte da graduação, dividido as maiores alegrias, me apoiado em todos os momentos difíceis e de conquista. Sem você tudo teria sido muito mais difícil.

Aos amigos que levarei para toda a vida, em especial a Lizandra de Araújo e Marianna Neves que dividiram não apenas o espaço, mas sim o tempo, o carinho e cuidado. E Everton Garcia e Davi de Lima por todas as trocas que nos desenvolveram tanto. Tenho muito orgulho de todos vocês.

Ao Núcleo de Estudos em Poluição Urbana e Agroindustrial (NEP UAI) pela oportunidade de me desenvolver pessoal e academicamente.

A Solví, pela oportunidade de estágio. Especialmente aos meus colegas de equipe, por todo aprendizado e desenvolvimento profissional.

A Universidade Federal de Lavras pelo ensino de qualidade e vivência excepcional. E, por fim, agradeço aos demais que de alguma forma agregaram os meus anos de graduação.

## RESUMO

A região de Jaíba, área de domínio semiárido do Estado de MG, está situada na sub-bacia do Rio Verde Grande, afluente da Bacia do Rio São Francisco. Tal região é marcada por dois períodos bem definidos, chuvoso e de seca, afetando diretamente a vazão do rio. A análise espectral, um método não paramétrico usado em análise de séries temporais para identificar padrões em séries de dados de longo prazo, pode determinar a presença e significância estatística de ciclos climáticos naturais. Dessa forma, o intuito deste trabalho foi analisar as séries temporais das anomalias de chuva e de vazão no período de 2000 a 2020 e seus periodogramas aplicados por análises espectrais, a fim de avaliar os ciclos dos fenômenos meteorológicos, além de verificar a associação entre processos atmosféricos e fluviométricos no Rio Verde Grande. Para realização desta análise, utilizou-se dados de 21 anos das estações pluviométricas e fluviométricas de Jaíba disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). A partir disso, utilizando a linguagem R e suas bibliotecas foi possível realizar a estatística descritiva, correlacionar e realizar a análise espectral das séries temporais. Nota-se pelos resultados que a vazão do rio é diretamente influenciada pela precipitação, sendo 2017 o ano com maior correlação, de 0,92 para Spearman e de 0,94 para Pearson, mas que há um indicativo de diminuição da vazão pela captação de água local, visto que a principal atividade econômica da região é a agricultura, com necessita de irrigação. Além disso, pode-se observar os 4 ciclos que ocorrem para vazão (períodos em aproximadamente 12, 8,3, 6 e 3,6 meses) e os 7 ciclos que ocorrem para precipitação (períodos em aproximadamente 8,3, 6,2, 4,2, 4,1, 3,8, 2,9 e 2,5 meses), sendo os períodos coincidentes nas estações secas e chuvosas e nas quatro estações (aproximadamente 8 a 6 e de 2,5 a 4 meses). Também é possível ter a percepção de mudanças nos padrões de chuvas de verão nos últimos anos.

**Palavras-chave:** Anomalia de precipitação, ciclo hidrológico, mudanças climáticas

## ABSTRACT

The Jaíba region, an area of semi-arid domain in the State of MG, is located in the sub-basin of the Rio Verde Grande, a tributary of the Rio São Francisco Basin. This region is marked by two well-defined periods, rainy and dry, directly affecting the flow of the river. Spectral analysis, a non-parametric method used in time series analysis to identify patterns in long-term data series, can determine the presence and statistical significance of natural climate cycles. Therefore, the purpose of this work was to analyze the time series of rainfall and flow anomalies in the period from 2000 to 2020 and their periodograms applied by spectral analysis, for the purpose of evaluate the cycles of meteorological phenomena, apart from verifying the association between processes atmospheric and fluvimetric conditions in the Verde Grande River. For achievement this analysis, data from 21 years of rainfall and fluvimetric stations in Jaíba provided by the National Water Agency (ANA) were used. From this, using the R language and its libraries, it was possible to perform descriptive statistics, correlate and perform the spectral analysis of the time series. It can be seen from the results that the river flow is directly influenced by precipitation, with 2017 being the year with the highest correlation, 0,92 for Spearman and 0,94 for Pearson, but there is an indication of a decrease in flow due to the capture of local water, since the main economic activity in the region is agriculture, which requires irrigation. In addition, it is possible to observe the 4 cycles that occur for flow (periods at approximately 12, 8.3, 6 and 3.6 months) and the 7 cycles that occur for precipitation (periods at approximately 8.3, 6.2, 4.2, 4.1, 3.8, 2.9 and 2.5 months), with the periods coinciding in the dry and rainy seasons and in the four seasons (approximately 8 to 6 and 2.5 to 4 months). It is also possible to perceive changes in summer rainfall patterns in recent years.

**Key words:** Precipitation anomaly, hydrological cycle, climate change.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	2
2.2 DESCRIÇÃO DOS DADOS.....	4
2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	4
2.4 ANÁLISE ESPECTRAL .....	5
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	5
<b>4 CONCLUSÃO</b> .....	16
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	17

## 1 INTRODUÇÃO

A água, recurso essencial para a manutenção da natureza, impulsiona todos os ciclos ecológicos. A característica de qualquer volume de água superficial é sua instabilidade e mobilidade, sendo todas as suas fases parte do ciclo dinâmico da água. Assim, sabido que a temperatura do ar é um dos fatores que impulsionam o ciclo hidrológico, as alterações no padrão climático tem sido um fator de atenção devido seus impactos ambientais, como efeitos no aumento da temperatura, ocorrência de eventos extremos de precipitação e crise hídrica (ÁVILA et al., 2014). É estabelecido pelo AR6 do IPCC (2021) que a ação humana tem aquecido ainda mais o sistema climático e que mudanças do clima rápidas e disseminadas pelo mundo já estão acontecendo, além da previsão da possibilidade de impacto no ciclo da água em grande parte do mundo, alterando os padrões de chuvas América do Sul.

O volume de água doce no Brasil representa cerca de 12% do total do planeta e é uma das maiores reservas do mundo (RODRIGUES et al., 2021). No entanto, é um recurso finito e ao longo das últimas décadas sua qualidade e quantidade disponível vem sendo afetadas por fatores naturais e antrópicos, como clima e usos do solo, podendo o segundo contribuir para a degradação do ambiente, inclusive no volume da água dos rios (MAFFIA et al., 2009).

A distribuição natural da água doce apresenta grande desigualdade espacial em todo o território (RODRIGUES et al., 2021), além de não ter distribuição homogênea durante o ano, gerando conflitos pelo direito do uso, inundações quando em excesso e fome quando em escassez. É de grande importância o seu manejo adequado para bons resultados de produção de alimentos e abastecimento sem degradar o meio (PAZ; TEODORO; MENDONÇA, 2000). Por isso, a análise de precipitação torna-se fundamental para o manejo ambiental e para o estudo de abastecimento e condução de água (MELLO et al., 2008).

A região de Jaíba, área de domínio semiárido do Estado de MG, está situada na sub-bacia do Rio Verde Grande, afluente da bacia do Rio São Francisco. Tal região é marcada por dois períodos bem definidos, chuvoso e de seca, afetando diretamente a vazão do rio. Dessa forma, longos períodos de estiagem da região Norte de Minas, além da elevada temperatura e insolação, contribuem para uma condição de déficit hídrico significativo (BRAGA et al., 2016).

O desenvolvimento socioeconômico e agroindustrial da região de Jaíba juntamente com as características climáticas que condicionam muitas das produções agrícolas a necessitar do uso da tecnologia de irrigação para superar o déficit hídrico, principalmente nos períodos de seca (MELO et al., 1998) tem provocado degradações principalmente devido ao uso da água e do solo sem gerenciamento adequado (MARTÍNES SCHMIDT; MATTOS, 2013).

Na última década tem sido noticiado sobre a estiagem prolongada e seus efeitos na vazão do Rio Verde Grande e, a ocorrência de denúncias da retirada em excesso da água do mesmo. Assim, apesar da região possuir períodos longos de estiagem e, conseqüentemente o rio possuir regime intermitente, a seca extrema e seus impactos passaram a ser fortemente notificados desde 2013 nos períodos de estiagem do Rio Verde Grande.

A Análise espectral, um método não paramétrico usado em análise de séries temporais para verificar seu comportamento (ESQUIVEL; SENNA; GOMES, 2012), observa a distribuição da potência contida em um sinal associada às frequências das oscilações que a compõe, afim de identificar padrões em séries de dados de longo prazo, podendo determinar a presença e significância estatística de ciclos climáticos naturais. Sendo o módulo da amplitude relacionado com a variância da série temporal, explicada pela oscilação em cada frequência. E a representação do quadrado do módulo versus frequência conhecida como espectro de potência (LUQUE-ESPINAR et al., 2017).

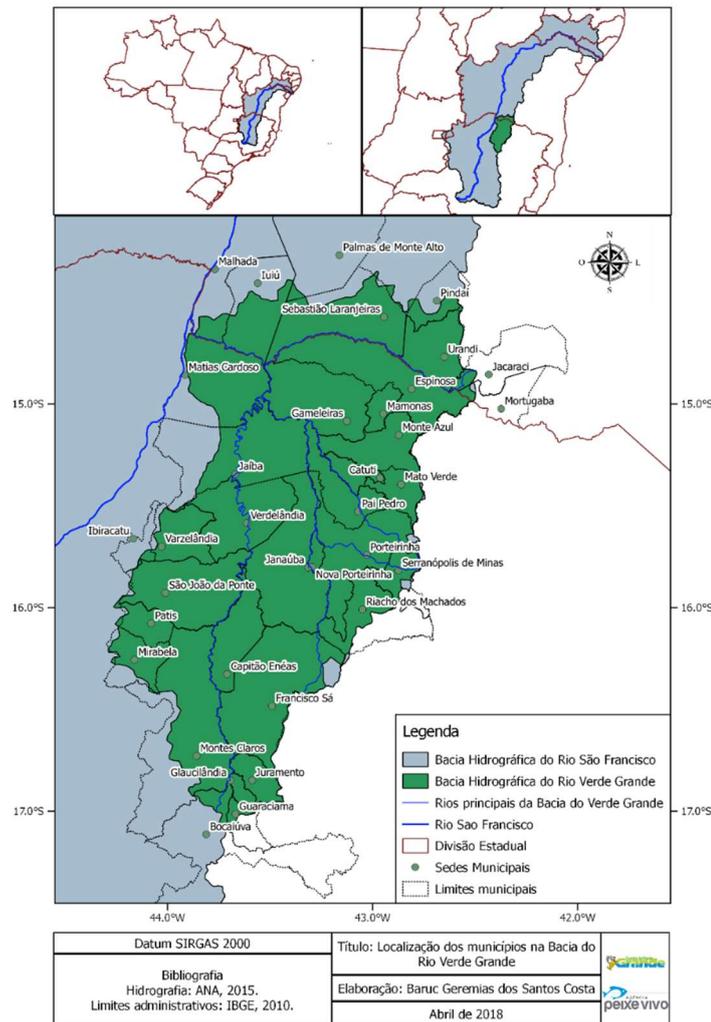
Dessa forma, o intuito deste trabalho é analisar as séries temporais das anomalias de chuva e da vazão no período de 2000 a 2020 e seus periodogramas aplicados por análises espectrais, a fim de avaliar os ciclos dos fenômenos meteorológicos, além de verificar a associação entre processos atmosféricos e fluviométricos no Rio Verde Grande. Este monitoramento é importante para prever eventos e relacionar a variação da vazão de diferentes épocas do ano aos efeitos ambientais e antrópicos.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 ÁREA DE ESTUDO**

O Rio Verde Grande, um importante afluente da margem direita do rio São Francisco, nasce no município de Bocaiuva (Minas Gerais), com uma extensão de aproximadamente 440 km, sua foz fica em Malhada (Bahia) e, portanto, é considerado um rio de domínio da União (“Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande,” 2016). A figura 1 apresenta a localização e os municípios que integram a Bacia do Rio Verde Grande.

Figura 1 – Área de estudo localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande, região norte do estado de Minas Gerais.



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande (CBHVG), 2022

De acordo com o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande, o clima da região é característico do semiárido brasileiro (Norte de Minas e Oeste da Bahia), em que segundo a classificação de Köppen, predomina o clima tropical quente e úmido do tipo Aw, com estação seca acentuada, enquanto na sazonalidade se observa uma estação chuvosa (outubro a março) e uma estação seca (abril a setembro) bastante definidas. No período de chuvas ocorre mais de 90% da precipitação anual.

O município de Jaíba, localizado no Norte de Minas Gerais, é abastecido pelo Rio Verde Grande, onde, neste trecho, sua área de drenagem é de 12200 km<sup>2</sup>, (ANA 2022). Sua população é estimada 39.850 de acordo com o IBGE (2021) e a principal atividade econômica local é a produção agrícola, a qual depende da irrigação para compensar o déficit hídrico.

## 2.2 DESCRIÇÃO DOS DADOS

Para a realização da análise nos 21 anos selecionados de precipitação no rio Verde Grande, este estudo utilizou as séries de dados pluviométricos e fluviométricos mais expressivas, segundo a ANA (Agência Nacional das Águas), da estação Colônia do Jaíba (código 01543002 e código 44670000) obtidas no site HIDROWEB (ANA) (<http://www.hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em 24 de fevereiro de 2022).

Os dados disponibilizados pela HIDROWEB são observacionais e diários, disponíveis de 1962 a 2021, sendo os dados de precipitação total medidos em milímetros e de vazão média em metro cúbico por segundo.

## 2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise descritiva é a primeira etapa de um estudo, tendo como objetivo resumir a série de dados através de um conjunto de ferramentas e técnicas, como tabelas, gráficos, medidas estatísticas de variabilidade e tendência (MANCUSO et al., 2018).

Utilizando os dados obtidos nas estações pluviométricas e fluviométricas, são realizadas análises comparativas entre as variáveis precipitação e vazão afim de verificar os reflexos do período de chuva e do período de estiagem da região de Jaíba no rio Verde Grande ao longo dos 21 anos (2000 a 2020). Para isso, através das séries temporais, para ambas as variáveis foi realizada estatística descritiva dos dados, calculando: a média, mediana, os valores mínimos e máximos e quartis, além de elaborados gráficos e tabelas de médias mensais e anuais de vazão e de anomalias de precipitação.

Com o propósito de se analisar a tendência de ocorrência histórica da variabilidade temporal da ocorrência de meses com anomalias, ou seja, acima ou abaixo da média histórica, foi analisado o cálculo subtraindo o ciclo anual médio de 2000-2020 da normal climatológica. As "Normais Climatológicas de precipitação" são obtidas pelo cálculo das médias de precipitação total mensal dos últimos 30 anos (1991-2020) (INMET, 2022). Assim, as anomalias resultaram em uma série temporal de 21 anos a partir de janeiro de 2000 a dezembro de 2020.

A associação linear existente entre duas variáveis pode ser avaliada através do coeficiente de correlação linear de Pearson (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2009). Em contrapartida, o coeficiente de Spearman avalia a intensidade e o sentido da relação monótona entre duas variáveis, tem em consideração as ordens atribuídas às observações, em vez dos valores originais. Os coeficientes variam entre -1 e +1 e, quanto mais próximo de zero,

menor a existência de uma relação entre as duas variáveis e, quanto mais próximo de 1, mais forte é a relação entre elas. O sinal positivo indica que as duas variáveis variam no mesmo sentido, enquanto um sinal negativo indica que as variáveis variam em sentido inverso (SOUSA, 2019). Para variáveis não paramétricas, recomenda-se a correlação de Spearman que avalia a monotonicidade de duas variáveis por meio do coeficiente rho, de forma análoga ao coeficiente r de Pearson. Dessa forma, a correlação entre vazão e chuva foi calculada para ambos os métodos e para toda a série de dados.

As análises estatísticas foram realizadas no software R Statistics (versão 4.1.2) com auxílio do IDE RStudio (versão 2021.09.2+382), utilizando os pacotes: dplyr (WICKHAM; FRANÇOIS; HENRY; MÜLLER, 2021), psych (REVELLE, 2022), tidyr (WICKHAM, 2021), pastecs (GROSJEAN; IBANEZ; ETIENNE, 2018), readxl (WICKHAM; BRYAN, 2019), ggplot2 (WICKHAM, 2016).

## 2.4 ANÁLISE ESPECTRAL

Os espectros das séries temporais de precipitação e de vazão foram estimados usando o Método Multitaper (MTM). O MTM é um método não paramétrico de estimação espectral e difere dos métodos clássicos por utilizar um conjunto de janelas ortogonais para reduzir a variância espectral (PRADO et al., 2021) que atuam como um grupo de filtros passa-faixa ótimos (CORREA-RAMIREZ; HORMAZABAL, 2012). Sendo o componente de sinal representante da parte estruturada da série, composta por um pequeno número de periodicidades ou ciclos embutidos repetidos por um longo tempo (LUQUE-ESPINAR et al., 2017).

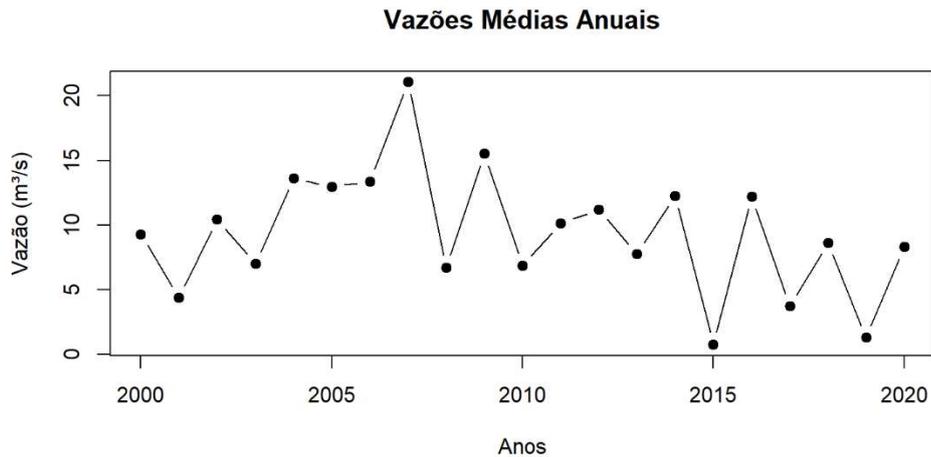
Neste estudo, o MTM foi aplicado usando o pacote astrochron (MEYERS, S.R. 2014) em linguagem R para as séries temporais de vazão e de anomalias de precipitação padronizadas a partir de sua média e desvio padrão. E utilizado na função MTM o argumento ar1, para os ciclos astronômicos candidatos serem identificados por meio do isolamento das frequências que atingem o nível de confiança de "ruído vermelho" necessário (por exemplo, 90%) e o nível de confiança do teste F harmônico MTM (MEYERS, S.R. 2012).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento da vazão do rio nos anos de 2000 a 2020 é representado no gráfico de vazões médias anuais (Figura 2), sendo observado uma variação significativa na média anual da série temporal. Da mesma forma, o comportamento das precipitações na região de Jaíba no mesmo período é representado no gráfico de precipitações totais anuais (Figura 3), com

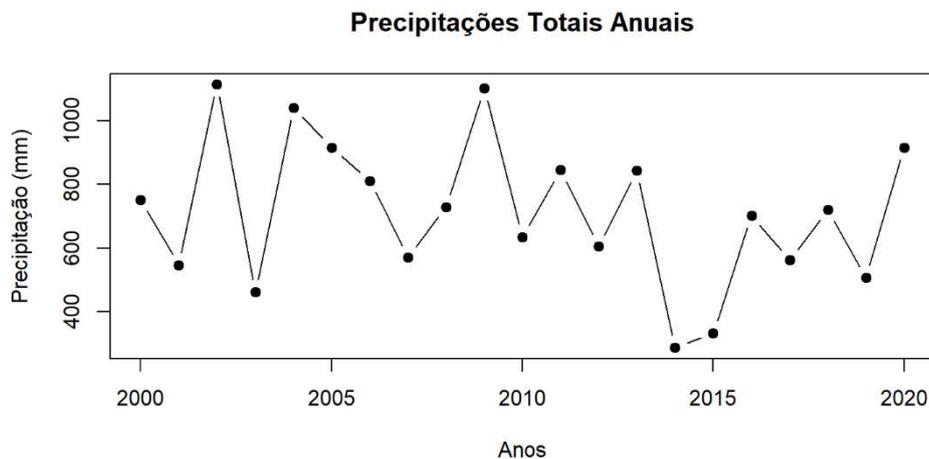
variações significativas de precipitações totais. Observando os dois gráficos simultaneamente, é possível observar que os dados de vazão média anual aparentam ter relação com os de precipitação anual, mostrando um comportamento semelhante de altas e quedas, porém, nota-se que a variação não é proporcional e que há exceções, como nos anos de 2007 e 2014.

Figura 2 - gráfico de vazões médias anuais (2000 a 2020) em metros cúbicos por segundo.



Fonte: Do autor, 2022

Figura 3 - gráfico de precipitações totais anuais (2000 a 2020) em milímetro.



Fonte: Do autor, 2022

Pode-se observar na tabela 1 que em 2007 a precipitação no mês de fevereiro foi acima do esperado (anomalia positiva) e, apesar das anomalias negativas dos outros meses no mesmo ano, essa anomalia refletiu em uma alta da média de vazão anual. Em 2014, de forma análoga, apesar da baixa soma anual de pluviosidade, a média da vazão anual aumentou devido à

anomalia de precipitação positiva em dezembro de 2013 (tabela 2), visto que é um mês onde a normal é de 171,83 mm, mantendo a vazão elevada no início do próximo ano.

Nas tabelas 1 e 2 são representadas as anomalias negativas e positivas para cada ano, sendo destacadas em vermelho as maiores anomalias negativas, acima de 120 mm e, em verde as maiores anomalias positivas, acima de 200 mm. Dessa forma, é fácil observar que na segunda tabela (de 2011 a 2020), encontram-se maiores quantidades de anomalias significativas, principalmente negativas e no verão. Portanto, nota-se que nos últimos 10 anos tem ocorrido mudanças no comportamento nas chuvas desta estação.

Além disso, se observa ano a ano as médias mensais de vazão rio Verde Grande nas tabelas 3 e 4. Pode-se notar que há um padrão de diminuição da vazão entre maio a outubro, voltando a aumentar em novembro em praticamente todos os anos, sendo condizente com o esperado, visto que o período de estiagem é de abril a setembro e o chuvoso de outubro a março. Porém, observa-se que o valor 0.00 m<sup>3</sup>/s de vazão se inicia apenas em 2013 e se repete nos anos seguintes com maior tempo de duração.

Tabela 1 – Anomalias mensais de precipitação (mm) de 2000 a 2010.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Janeiro</b>	-17,56	-87,36	293,44	37,44	104,24	-5,76	-115,46	-88,66	-34,26	76,94	-75,46
<b>Fevereiro</b>	-41,95	-39,95	-42,55	-81,35	37,55	86,25	-27,85	214,15	26,75	-12,05	-73,15
<b>Março</b>	10,78	-20,32	-50,82	-73,32	61,08	-20,92	167,88	-104,72	-7,52	3,58	46,38
<b>Abril</b>	-32,03	-28,73	1,77	-25,83	55,67	19,37	35,37	-29,93	69,77	80,07	1,67
<b>Mai</b>	-7,79	49,01	-5,89	-3,49	-9,99	20,21	-7,29	-5,19	-9,99	-1,79	-8,39
<b>Junho</b>	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48	3,72	-0,48	0,72	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48
<b>Julho</b>	-0,11	-0,11	0,59	-0,11	0,19	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	1,79	-0,11
<b>Agosto</b>	-1,12	-1,12	-1,12	-0,02	-1,12	-1,12	0,38	-1,12	-1,12	-0,32	-1,12
<b>Setembro</b>	4,38	0,58	50,58	-3,82	-7,82	-6,42	6,08	-7,82	44,38	3,58	-3,72
<b>Outubro</b>	-5,52	-7,42	-38,52	-43,52	45,08	-34,82	-4,12	-36,52	-43,62	217,78	-22,52
<b>Novembro</b>	-17,57	-1,07	-35,07	-23,27	-71,07	56,43	68,13	-31,77	-46,67	-102,27	76,63
<b>Dezembro</b>	105,77	-72,73	187,17	-75,43	68,77	48,57	-67,43	-91,93	-22,63	79,67	-59,33

Tabela 2 – Anomalias mensais de precipitação (mm) de 2011 a 2020.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Janeiro</b>	-39,76	-61,86	37,54	-116,76	-104,16	245,44	-58,26	-79,36	-121,96	119,24
<b>Fevereiro</b>	-48,35	-52,25	-63,25	-50,25	-9,15	-75,95	-8,35	222,65	37,85	-56,95
<b>Março</b>	205,88	5,58	-51,72	-21,72	-94,12	-101,02	-58,82	-31,42	18,08	184,88
<b>Abril</b>	-31,43	-29,63	61,57	-18,63	42,17	-32,53	-9,63	-26,83	-10,73	39,77
<b>Mai</b>	-4,79	1,91	-9,99	-7,29	4,51	-9,99	9,11	-5,69	44,01	6,41
<b>Junho</b>	-0,48	-0,48	-0,48	1,42	-0,48	0,42	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48
<b>Julho</b>	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	-0,11	0,19	-0,11	-0,11	-0,11
<b>Agosto</b>	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12	-1,12
<b>Setembro</b>	-7,82	-7,82	3,18	-7,82	-7,82	-7,82	-7,82	-7,82	-5,22	-7,82
<b>Outubro</b>	12,78	-43,62	23,18	-22,32	-41,72	16,88	-40,92	10,18	18,78	9,28
<b>Novembro</b>	26,33	206,73	-21,37	-111,47	-54,37	43,63	-111,67	-0,77	-100,17	-12,27
<b>Dezembro</b>	-21,53	-167,03	111,17	-111,73	-155,73	-130,23	95,57	45,47	-126,73	-121,13

Tabela 3 – Vazão média mensal (m<sup>3</sup>/s) de 2000 a 2010.

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Janeiro</b>	12,32	25,85	32,34	39,93	19,52	18,04	18,87	36,52	2,93	89,81	16,72
<b>Fevereiro</b>	23,87	3,97	61,23	32,05	35,68	34,33	3,23	80,57	7,35	31,24	3,19
<b>Março</b>	17,42	3,35	12,97	3,63	43,37	46,79	19,76	106,18	20,83	7,11	18,48
<b>Abril</b>	17,63	1,38	4,51	2,51	38,00	13,80	34,00	6,75	5,92	11,83	8,74
<b>Mai</b>	1,91	0,69	1,63	1,17	7,11	4,10	8,80	3,92	2,73	4,35	3,57
<b>Junho</b>	1,05	0,51	1,24	0,68	3,24	2,95	3,51	3,25	1,27	2,98	2,42
<b>Julho</b>	0,47	0,31	0,83	0,38	2,55	2,23	2,66	2,57	0,80	2,27	1,86
<b>Agosto</b>	0,19	0,36	0,32	0,30	1,64	1,52	1,63	2,04	0,17	1,52	1,33
<b>Setembro</b>	0,19	0,15	0,37	0,30	0,69	0,80	2,12	1,41	0,11	1,34	0,71
<b>Outubro</b>	0,14	1,74	0,65	0,29	0,44	0,67	5,09	1,04	0,30	2,45	1,37
<b>Novembro</b>	7,14	7,59	1,46	1,67	1,56	3,12	19,17	1,18	2,94	24,72	8,19
<b>Dezembro</b>	28,76	6,88	7,61	1,13	9,66	26,95	41,59	7,59	35,07	6,88	15,71

Tabela 4 – Vazão média mensal (m<sup>3</sup>/s) de 2011 a 2020.

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Janeiro</b>	23,29	81,16	6,14	126,41	0,28	21,91	0,42	6,17	1,81	10,83
<b>Fevereiro</b>	3,87	15,21	8,32	3,70	1,71	112,50	11,11	62,08	1,91	17,10
<b>Março</b>	26,97	5,33	2,81	3,60	1,52	3,21	3,39	20,87	1,84	34,91
<b>Abril</b>	16,69	3,90	7,69	4,06	2,52	0,28	4,93	3,29	2,36	15,20
<b>Mai</b>	3,54	3,02	1,56	1,30	0,25	0,00	0,01	0,47	0,14	2,29
<b>Junho</b>	2,33	2,34	0,92	0,49	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	1,38
<b>Julho</b>	1,68	1,52	0,25	0,18	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,74
<b>Agosto</b>	1,00	0,91	0,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24
<b>Setembro</b>	0,60	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Outubro</b>	2,19	0,27	2,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>Novembro</b>	3,46	7,37	1,92	2,89	0,00	2,88	0,15	3,57	0,00	7,44
<b>Dezembro</b>	35,75	13,13	60,82	4,36	2,36	5,55	24,70	2,00	7,28	9,43

A tabela 5 apresenta a estatística descritiva dos dados de vazão média mensal e vazão média anual, sendo possível observar que o valor mínimo para vazão média mensal é 0,00 m<sup>3</sup>/s, como esperado e, o valor máximo é de 126,41 m<sup>3</sup>/s, correspondente a janeiro de 2014. Enquanto o máximo valor da média anual de vazão é 21,08 m<sup>3</sup>/s, correspondente à 2007. Além disso, interpreta-se que 25% das médias mensais estão abaixo de 0,45 m<sup>3</sup>/s e 25% acima de 7,65 m<sup>3</sup>/s, ou seja, a vazão do rio é baixa na maior parte do tempo, com picos de altas vazões em um curto espaço de tempo que elevam a média total para 9,40 m<sup>3</sup>/s.

Apesar de o maior valor de média mensal de toda a série temporal de vazão corresponder a janeiro de 2014, nota-se que rapidamente a sua vazão cai drasticamente no mês seguinte, chegando a zerar de agosto a outubro.

Tabela 5 – Estatística descritiva dos dados de vazão média mensal e vazão média anual (m<sup>3</sup>/s).

<b>Parâmetro</b>	<b>Vazões médias mensais</b>	<b>Vazões médias anuais</b>
<b>Mínimo</b>	0,00	0,72
<b>Nº de 0</b>	28	0
<b>Máximo</b>	126,41	21,08
<b>Q1</b>	0,45	6,86
<b>Média</b>	9,40	9,40
<b>Mediana</b>	2,36	9,26
<b>Q3</b>	7,65	12,25
<b>Variância</b>	339,17	23,18
<b>Desvio Padrão</b>	18,42	4,81

No caso da estatística descritiva dos dados de chuvas representado na tabela 6, é interessante observar que 25% dos meses ao longo dos 21 anos na região de Jaíba não tem chuva enquanto outros 25% dos meses chovem mais que 88,45 mm. Além disso, a mínima de chuva total de 287,3 mm, referente ao ano de 2014 é bem discrepante da máxima de 1114,2 mm, ocorrida no ano de 2002.

Tabela 6 – Estatística descritiva dos dados de chuvas totais mensais e totais anuais (mm).

<b>Parâmetro</b>	<b>Chuvas totais mensais</b>	<b>Chuvas totais anuais</b>
<b>Mínimo</b>	0,00	287,3
<b>Nº de 0</b>	70	0
<b>Máximo</b>	415,40	1114,2
<b>Q1</b>	0,00	562,9
<b>Média</b>	59,77	714,4
<b>Mediana</b>	16,40	720,8
<b>Q3</b>	88,45	844,7
<b>Variância</b>	7314,54	53362,24
<b>Desvio Padrão</b>	85,52	231,00

Os dados de vazões médias mensais (x) e precipitações totais mensais (y) foram comparados utilizando o método de Pearson e o método de Spearman. A correlação de Pearson foi de 0,35, enquanto de Spearman foi de 0,62, com valor p de aproximadamente 0,000 para ambos, significando que há uma associação, mas não de forma linear.

Assim, também foram realizadas as correlações entre as mesmas variáveis ano a ano (tabela 7), observando que o ano de 2017 foi o que apresentou maior correlação em ambos os métodos, com menor valor de p. Enquanto para 2019, um ano que apresentou menor média de vazão anual e 4ª menor soma de precipitação anual, destaca-se com as menores correlações, com valor de  $p > 0,05$ .

As correlações para 2004, 2007, 2009 e 2019 não são estatisticamente significativas pelos métodos de Spearman e Pearson (valor de  $p > 5\%$ ).

Tabela 7 – Correlação de Spearman e Pearson entre vazão e chuva para cada ano.

<b>Data</b>	<b>Spearman (rho)</b>	<b>Valor p</b>	<b>Pearson (r)</b>	<b>Valor p</b>
<b>2000</b>	0,57	0,053	0,68	0,015
<b>2001</b>	0,70	0,011	0,25	0,429
<b>2002</b>	0,60	0,038	0,30	0,349
<b>2003</b>	0,75	0,005	0,44	0,150
<b>2004</b>	0,49	0,103	0,51	0,087
<b>2005</b>	0,71	0,009	0,56	0,060
<b>2006</b>	0,71	0,010	0,45	0,139
<b>2007</b>	0,41	0,191	0,45	0,145
<b>2008</b>	0,82	0,001	0,69	0,013
<b>2009</b>	0,46	0,131	0,34	0,287
<b>2010</b>	0,73	0,007	0,63	0,029
<b>2011</b>	0,74	0,006	0,61	0,034
<b>2012</b>	0,82	0,001	0,08	0,804
<b>2013</b>	0,75	0,005	0,81	0,001
<b>2014</b>	0,58	0,049	0,16	0,624
<b>2015</b>	0,62	0,032	0,41	0,190
<b>2016</b>	0,60	0,038	0,04	0,890
<b>2017</b>	0,92	0,000	0,94	0,000
<b>2018</b>	0,70	0,024	0,80	0,003
<b>2019</b>	0,29	0,364	0,20	0,525
<b>2020</b>	0,69	0,014	0,76	0,004

Em um estudo realizado para verificar a influência do uso e ocupação do solo sobre a vazão do alto da bacia do Rio Verde Grande – MG é concluído que o uso e ocupação do solo possui pouca influência no comportamento das vazões do rio no trecho estudado, “estando essas vazões estreitamente relacionadas com a precipitação da região” (ALBUQUERQUE et al., 2009). Visto tal estudo e as correlações de Spearman acima apresentadas entre vazão e precipitação, que apesar de serem em maioria mais próximas de 1 que 0 na série anual, indicam a possibilidade de uma interferência por pontos de captação ao longo do corpo hídrico.

A fim de investigar as ciclicidades nas séries temporais de precipitações totais mensais e vazões médias mensais, foi utilizado as séries de anomalias de precipitação mensal e vazões

médias mensais como os conjuntos de dados observacionais para as análises espectrais pelo MTM. E a análise espectral da série temporal de vazão média para todo o período de estudo (Figura 4) mostra 4 picos espectrais, em aproximadamente 12; 8,3; 6 e 3,6 meses, identificados pelo menos 5% de nível de significância (ver Tabela 8 para períodos e significância dos picos espectrais). No método MTM, o teste F é utilizado para reduzir a taxa de falsos positivos (Meyers, 2012).

Figura 4 – Análise espectral da Vazão Média

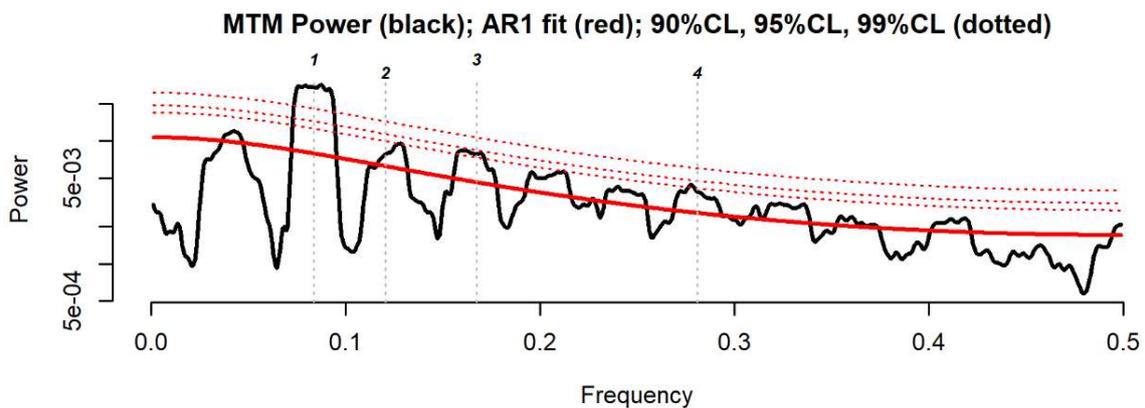


Tabela 8 – Características espectrais do MTM de vazão média mensal.

Intervalo de Tempo	Pico espectral	Frequência	Período (meses)	Teste F
2000-2020	1	0,08	11,96	> 95%
	2	0,12	8,32	> 95%
	3	0,17	5,98	> 95%
	4	0,28	3,56	> 95%

A análise espectral da série temporal de anomalias de precipitação para todo o período de estudo (Figura 5) mostra 7 picos espectrais, em aproximadamente 8,3; 6,2; 4,2; 4,1 3,8; 2,9 e 2,5 meses, apresentando maior quantidade de picos que de vazão, porém, os picos 3 e 4 são muito próximos, possivelmente representando o mesmo ciclo. São identificados pelo menos 10% de nível de significância (ver Tabela 9 para períodos e significância dos picos espectrais).

Figura 5 – Análise espectral das anomalias de chuva.

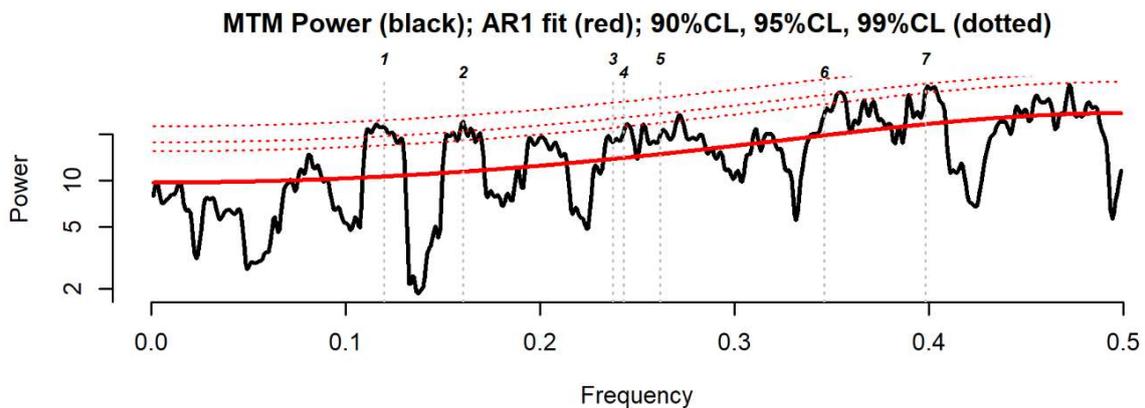


Tabela 9 – Características espectrais do MTM de precipitação

Intervalo de Tempo	Pico espectral	Frequência	Período (meses)	Teste F
2000-2020	1	0,12	8,34	> 95%
	2	0,16	6,24	> 95%
	3	0,24	4,21	> 95%
	4	0,24	4,12	> 90%
	5	0,26	3,82	> 90%
	6	0,35	2,88	> 90%
	7	0,40	2,51	> 95%

Os picos espectrais capturados na escala de aproximadamente 2,5 a 4 meses podem estar associados às 4 estações do ano. Os picos da escala semianual, aproximadamente de 6 meses a 8 meses às estações secas e chuvosas e, na escala interanual, de aproximadamente 12 meses, ao ciclo anual (movimento da terra em torno do sol).

Comparando a análise espectral da série temporal de anomalias com os picos significativos de vazão média, verificamos que alguns dos picos espectrais correspondem ao mesmo período, como de 8 meses, 6 meses e aproximadamente 3,6 meses, concordando com o resultado das correlações e discussões acima.

O padrão pluviométrico da região de Jaíba varia consideravelmente de uma estação para outra, o que significa que os dados pluviométricos são fortemente influenciados por eventos excepcionais e locais, sendo uma característica climática marcante da região as estações de secas de abril a setembro e chuvosa de outubro a março bem definidas. De tal forma que impactam na vazão do rio Verde Grande.

Visto que a série temporal estudada é relativamente curta, não foi possível identificar ciclos mais longos e conseqüentemente fenômenos climatológicos com períodos de anos, como de El Niño e La Niña.

## 4 CONCLUSÃO

Estudos têm relatado mudanças no clima global relacionadas à variabilidade natural e atividade antrópica. Os resultados de anomalias de precipitação mostram mudanças temporais significativas na variabilidade da precipitação de verão na última década. Através da análise espectral são identificadas relações entre as variações nas vazões e chuvas e conhecidos padrões de variabilidade climática.

Apesar disso, diante dos resultados apresentados anteriormente, pode-se inferir que ao avaliar as médias anuais de precipitação e vazão no período de 21 anos, o decaimento de vazão não é proporcional ao decaimento da quantidade pluviométrica anual em todos os anos, já que em alguns anos, como 2002, 2004, 2009 e 2019 apesar da precipitação total elevada, a vazão não correspondeu na mesma intensidade. As correlações confirmam a associação não linear entre as variáveis precipitação e vazão nos anos estudados.

Observa-se que a baixa pluviosidade e longos períodos de estiagem da região Norte de Minas, conjugada com temperatura e insolação elevadas, contribuem para uma condição de déficit hídrico significativo. 2017, por exemplo, com maior correlação ( $r = 0,94$ ), aponta que a baixa pluviosidade ao longo do ano refletiu em 6 meses de seca do rio. Junto a isso, as análises da vazão e precipitação e suas correlações indicam não só a ocorrência das mudanças climáticas, como a possibilidade de uma interferência por pontos de captação ao longo do corpo hídrico que auxiliam a redução da vazão do rio.

Com o crescimento populacional e o aumento do número de irrigantes nesta região, que tem como principal atividade econômica a agropecuária, a demanda de captação de água a partir do rio Verde Grande é cada vez maior. (MELO et al., 1998) já em 1998 diz que a região em que Jaíba se encontra, é uma área de alto risco de escassez hídrica. Dessa forma, em 2000 a 2012 o rio tinha como vazão mínima média de  $0,14 \text{ m}^3/\text{s}$  no período de estiagem, e sofreu uma alteração com a sobrecarga de captação, chegando a valores de  $0,28 \text{ m}^3/\text{s}$  em período chuvoso em 2015 e, secando por completo durante o período de estiagem em todos os anos a partir de 2013, colocando em risco a integridade do rio e, conseqüentemente, a fauna, a flora da região e a população que usufrui do mesmo.

A partir das análises realizadas, uma sugestão de continuidade para o trabalho é realizar um estudo com as séries temporais mais longas afim de verificar maiores ciclos, além de analisar com maior proximidade e individualmente os períodos de estações seca e chuvosa.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, L. C. et al. Influência do uso e ocupação do solo sobre a vazão do alto da bacia do Rio Verde Grande-MG. **Caderno de Ciências Agrárias**, 2009.
- ÁVILA, L. F. et al. Tendências de temperaturas mínimas e máximas do ar no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 49, n. 4, p. 247–256, 2014.
- BRAGA, L. T. P. et al. Recarga do tipo localizada em região semiárida: estudo de caso em Dolinas da Bacia do Rio Verde Grande, Minas Gerais. **Águas Subterrâneas**, v. 30, n. 2, p. 153, 26 jun. 2016.
- CORREA-RAMIREZ, M.; HORMAZABAL, S. **MTM-SVD: variabilidad espacio-frecuencia del nivel del mar MultiTaper Method-Singular Value Decomposition (MTM-SVD): variabilidad espacio-frecuencia de las fluctuaciones del nivel del mar en el Pacífico suroriental MultiTaper Method-Singular Value Decomposition (MTM-SVD): spatial-frequency variability of the sea level in the southeastern Pacific** *Lat. Am. J. Aquat. Res.* [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.eos.ubc.ca/~>>.
- ESQUIVEL, R. DE M.; SENNA, V. DE; GOMES, G. S. DA S. **Análise Espectral Singular: Modelagem de séries temporais através de estudos comparativos usando diferentes estratégias de previsão**. Salvador: [s.n.].
- FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. DA. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: o Retorno. **Política Hoje**, n. 8, p. 115–146, 13 ago. 2009.
- LUQUE-ESPINAR, J. A. et al. Spectral analysis of climate cycles to predict rainfall induced landslides in the western Mediterranean (Majorca, Spain). **Natural Hazards**, v. 89, n. 3, p. 985–1007, 1 dez. 2017.
- MAFFIA, V. et al. **Monitoramento da precipitação e vazão em uma microbacia com plantio de Eucalipto no município de Francisco Dumont, MG**. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi), 9 dez. 2009.
- MANCUSO, A. C. B. et al. Estatística descritiva: perguntas que você sempre quis fazer, mas nunca teve coragem. **Clinical & Biomedical Research**, v. 38, n. 4, p. 414–418, 2018.
- MARTÍNES SCHMIDT, D.; MATTOS, A. Dinâmica dos regimes de precipitação e vazão da bacia hidrográfica do Alto Piranhas-Açu / PB. **Sociedade e Território**, p. 67–77, 2013.

MELLO, C. R. DE et al. Spatial continuity of intense rainfall in Minas Gerais State, Brazil. **Ciênc. agrotec**, v. 32, n. 2, p. 532–539, abr. 2008.

MELO, M. C. DE et al. **CONDICIONANTES PARA O APROVEITAMENTO DOS RECURSOS AMBIENTAIS E NECESSIDADE DE GESTÃO-ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIO VERDE GRANDE**. SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Anais...** Gramado, RS: out. 1998.

PAZ, V. P. DA S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. COMUNICADO TÉCNICO RESUMO RECURSOS HÍDRICOS, AGRICULTURA IRRIGADA E MEIO AMBIENTE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 465–473, 2000.

**Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande**. . Brasília - DF: [s.n.].

PRADO, L. F. et al. Changes in summer precipitation variability in central Brazil over the past eight decades. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. 8, p. 4171–4186, 30 jun. 2021.

RODRIGUES, J. A. M. et al. Regionalização hidrológica de vazões para a bacia do rio Tocantins no bioma Cerrado brasileiro. **Revista Ambiente e Água**, v. 16, n. 6, 2021.

SOUSA, A. Coeficiente de Correlação de Pearson e Coeficiente de correlação de Spearman. O que medem e em que situações devem ser utilizados? **Correio dos Açores**, p. 19, 2019.

Agência Nacional de Águas (ANA), HIDROWEB. Disponível em: <<http://www.hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 11 mar 2022.

CBHVG - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande. Disponível em: <[cbhverdegrande.org.br](http://cbhverdegrande.org.br)> Acesso em: 13 de março de 2022.

FUNDAJ - Fundação Joaquim Nabuco. **Rio Verde Grande – Afluente do Rio São Francisco**. Disponível em: <<https://www.gov.br/fundaj/pt-br/destaques/observa-fundaj-itens/observa-fundaj/revitalizacao-de-bacias/rio-verde-grande-2013-afluente-do-rio-sao-francisco>> (Acesso em: 13 de março de 2022).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/jaiba.html>> Acesso em: 13 de março de 2022.

IPCC, **AR6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/#FullReport> > Acesso em: 16 de abr. 2022.

R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: <https://www.R-project.org/>.