

Artigo

Simulação de critérios de outorga na bacia hidrográfica do rio URUPÁ/RO

Simulation of granting criteria in the basin urupá/ro river hydrographic

Iandara Luna Saissem dos Santos^{1*}, Daniele Ferreira da Silva², Calina Grazielli Dias Barros³, Ana Lúcia Denardin da Rosa⁴

¹ Universidade Federal de Rondônia, Engenharia Ambiental e Sanitária – ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6127-9330> - iandaralunaunir@gmail.com

² Universidade Federal de Rondônia, Engenharia Ambiental e Sanitária – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1095-0566>

³ Universidade Federal de Rondônia, Física – ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7073-4710>

⁴ Universidade Federal de Rondônia/ Departamento de Engenharia Ambiental - Ji-Paraná – ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0470-5115>

Citação: Santos, I. L. S. dos; Silva, D. F. da; Barros, C. G. D.; Rosa, L. D. da. Simulação de critérios de outorga na bacia hidrográfica do rio URUPÁ/RO. *RBCA* 2024, 13, 3. p.248-260.

Editor de Seção: Dra. Karen Janones da Rocha

Recebido: 11/07/2024

Aceito: 17/08/2024

Publicado: 02/09/2024

Nota do editor: A RBCA permanece neutra em relação às reivindicações jurisdicionais em sites publicados e afilições institucionais.



Copyright: © 2024 pelos autores. Enviado para possível publicação em acesso aberto sob os termos e condições da licença Creative Commons Attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The increase in water consumption and conflicts over different uses emphasize the importance of water resources management. The objective of the research was to simulate scenarios with bestowal already granted in the Urupá River Basin, Rondônia, Brazil. To calculate the minimum flows, data were obtained from the Hidroweb Portal, and regionalization was carried out using RStudio software and SisCorv 1.0 computer system. The flow Q7,10 was estimated by using Gumbel probability distributions for minima, Log-normal 2 parameters Methods of Moments and Maximum Likelihood Method and Weibull, the Kolmogorov-Smirnov and Chi-square statistical tests were performed with 5% significance to define the best method. In determining the minimum flows Q90% and Q95%, the Weibull frequency equation was used. The simulation of scenarios was performed in the Outorga LS software. The value found for Q7,10 was 0,94 m³/s and the most suitable distribution was Weibull's. The values for Q90% and Q95% are 4,07 m³/s and 2,67 m³/s respectively. Four scenarios were simulated at Outorga LS, using the minimum flow rate Q7,10 and the permanence flows Q90%, Q95%, and 80% of Q95% as criteria. The minimum flow Q7,10 as a criterion, of the 21 demands only 4 were met, and the permanence flow Q90% met the demands better, with failure in 11 of the 21 users with bestowal granted. In the third scenario, Q95% did not meet 16 demands, whereas, in the fourth scenario with the criterion of 80% of Q95%, only 4 out of 21 demands were met.

Keywords: Reference flow rate; Management of water; Water uses.

Resumo: O aumento do consumo de água e conflitos por diferentes usos enfatiza a importância da gestão dos recursos hídricos. O objetivo da pesquisa foi simular cenários com outorgas já concedidas na Bacia Hidrográfica do Rio Urupá/RO. Para o cálculo das vazões mínimas, os dados foram obtidos do Portal Hidroweb e realizada a regionalização, utilizando o software RStudio e o sistema computacional SisCorv 1.0. A vazão Q7,10 foi estimada pelas distribuições de probabilidade de Gumbel para mínimos, Log-normal 2 parâmetros Métodos dos Momentos e Método da Máxima verossimilhança e Weibull. Foram realizados os testes estatísticos Kolmogorov-Smirnov e Qui-quadrado, com nível de significância de 5% para definir o melhor método. Na determinação das vazões mínimas Q90% e Q95%, a equação de frequência de Weibull foi utilizada. A simulação dos cenários foi feita no programa Outorga LS. O valor encontrado da Q7,10 foi de 0,94 m³/s, sendo que a distribuição que mais se adequou foi a de Weibull. Os valores da Q90% e Q95% são,

respectivamente, 4,07 m³/s e 2,67 m³/s. Quatro cenários foram simulados no Outorga LS, utilizando a vazão mínima Q7,10 e as vazões de permanência Q90%, Q95% e 80% da Q95% como critério. Com o critério da vazão mínima Q7,10, das 21 demandas, somente 4 foram atendidas. A vazão de permanência Q90% supriu melhor as demandas, apresentando falha em 11 dos 21 usuários com outorga concedida. No terceiro cenário, a vazão Q95% não supriu 16 demandas, enquanto no quarto cenário, utilizando o critério de 80% da Q95%, somente 4 das 21 demandas foram atendidas.

Palavras-chave: Vazão de referência; Gestão das águas; Usos da água.

1. Introdução

A escassez de recursos hídricos tem origens diversas, seja por poluição, consumo desenfreado ou outras situações. Conflitos surgem em relação aos usos da água, pois todos querem ter benefícios a partir do uso dos recursos hídricos, com qualidade e quantidade necessárias para suas atividades, como abastecimento público, geração de energia, irrigação, uso industrial, piscicultura e outras necessidades (Richter e Jacob, 2018).

No Brasil, encontra-se 12% da água doce total do planeta, sendo que 70% dessa água está na Bacia Amazônica (Augusto et al., 2012), no entanto, devido à sua extensão territorial, há insuficiência de dados fluviométricos, assim, apesar da sua riqueza hídrica, a devida atenção é necessária para que todos sejam atendidos no futuro, com água de qualidade e quantidade suficiente.

Nesse cenário, é evidente a importância da gestão adequada dos recursos hídricos. Ser capaz de correlacionar as demandas com a oferta, amenizar conflitos e buscar o desenvolvimento contínuo são atitudes que devem ser cada vez mais aplicadas, colocando em prática as diretrizes da Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), que traz como instrumentos de gestão o plano de recursos hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes de acordo com seu uso, a outorga dos direitos de uso, a cobrança, a compensação para municípios e o sistema de informações.

Assim, destaca-se a importância da outorga do direito de uso da água. Esse instrumento tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, bem como garantir o efetivo exercício dos direitos de acesso a ela. Além disso, a outorga deve respeitar a classe em que o corpo de água estiver enquadrado, preservando seu uso múltiplo (Brasil, 1997).

A outorga de direito de uso é de suma importância para os corpos hídricos e ela pode ser concedida, desde que a proteção da vida nos rios seja garantida. Busca-se assegurar uma quantidade mínima de água, essencial para a manutenção dos ecossistemas fluviais (Vestena et al., 2012). Essa água, que deve estar garantida no rio, é denominada vazão ecológica.

Como instrumento auxiliar para tomadas de decisões, os Sistemas de Suporte a Decisão (SSD) são ferramentas que permitem a geração de diferentes cenários e possibilidades de maneira rápida e a baixo custo. De acordo com Oliveira e Zeilhofer (2017), o uso de SSD permite que um Órgão Gestor esteja apto a tomar a decisão mais adequada a partir da análise das diversas alternativas existentes.

O software Outorga LS pode ser utilizado como um SSD, gerando possibilidades de simular outorgas em um corpo hídrico e, por meio deste, há a possibilidade de verificar se a quantidade outorgável está sendo atendida com determinada vazão de referência, além de observar se atende todas as demandas.

Com base nesses aspectos apresentados, a pesquisa teve por objetivo simular cenários com outorgas concedidas na Bacia Hidrográfica do Rio Urupá/RO, utilizando diferentes critérios de vazão. Devido à falta de dados de vazão, os cálculos de vazão de permanência anual e mensal não puderam ser realizados.

2. Materiais e Métodos

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Rio Urupá, como demonstrado na Figura 1. Trata-se de uma bacia localizada no estado de Rondônia, com uma área de drenagem de 3.600 km², cuja nascente está situada no município de Mirante da Serra e o exutório, no município de Ji-Paraná. O rio Urupá apresenta relevância, pois nele está instalado o ponto de captação para abastecimento público do município de Ji-Paraná, realizado pela Companhia de Água e Esgoto de Rondônia (CAERD) (Pereira et al., 2020).

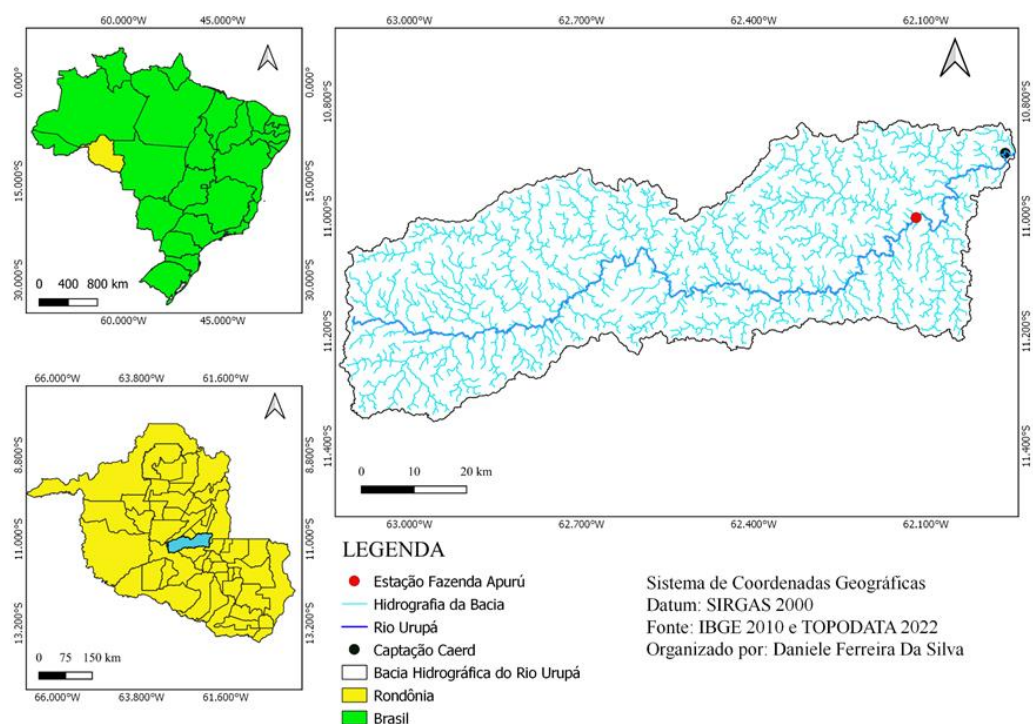


Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Urupá em relação ao estado de Rondônia.

Fonte: Santos, *et al.* (2024).

O clima da região da bacia, de acordo com o sistema de classificação climática Köppen-Geiger adaptado por Alvares et al. (2013), é classificado como Am, caracterizando um clima tropical de monção, com forte precipitação anual média de 2050 mm e temperatura média do ar de 23°C.

No setor econômico, as práticas de irrigação, uso industrial, piscicultura, bovinocultura e uso doméstico ganham destaque como demandantes dos recursos hídricos (Rondônia, 2020). Contudo, ainda não há estudos sobre o comportamento dessas demandas na bacia do Urupá, de maneira a compreender se todas as necessidades são atendidas de acordo com a vazão outorgável.

A única estação fluviométrica localizada na bacia hidrográfica do Rio Urupá é a Estação Fazenda Apurú, portanto, como consequência da ausência de dados hidrológicos nos afluentes do rio Urupá, foi realizada a regionalização de vazões.

A regionalização é uma alternativa para obter vazões em locais sem dados de medições, na qual é considerado que a similaridade espacial e a relação direta entre a vazão, as variáveis fisiográficas e climáticas da bacia permitem que dados hidrológicos de regiões sem informações possam ser estimados (Melati, 2016). Para a regionalização das vazões, foram determinadas as regiões homogêneas pelo software RStudio e o banco de dados das estações fluviométricas da bacia hidrográfica Rio Machado.

Para realizar a regionalização, são necessárias as variáveis dependentes e independentes. As variáveis explicativas (independentes) utilizadas no trabalho foram o comprimento do rio e a área de drenagem. As variáveis dependentes foram a vazão mínima Q_{7,10} e as vazões de permanência Q_{90%} e Q_{95%}. Os dados das variáveis

explicativas foram coletados utilizando o Sistema de Informações Geográficas QGIS Desktop 3.10.14 with GRASS 7.8.5. No software foram obtidos os dados de área de drenagem em km² e os comprimentos dos rios principais em km. Para verificar a relação entre as variáveis, foi realizada a análise de colinearidade.

Dispondo do valor das variáveis explicativas e independentes, foi aplicada a técnica da regressão linear simples. Os coeficientes de regressão foram obtidos por meio do sistema computacional para regionalização de vazões, desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa, o SisCoRv 1.0. Após a obtenção das equações pelos modelos de regressão, foi observado qual apresentava melhor desempenho para os dados do estudo. Para a avaliação do desempenho dos modelos, foram adotados o coeficiente de determinação (R^2), o coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{ajustado}$) e o erro padrão (E_p).

Para a produção do trabalho, foi realizado o cálculo das vazões mínimas. A série histórica de vazões utilizadas foi obtida da ferramenta do Sistema Nacional de Informações, o Portal Hidroweb. Os anos que apresentaram falhas nos dados foram retirados, portanto, para a realização dos cálculos de vazão, foram considerados os anos civis (Vestena et al., 2012; Pereira & Caldeira, 2018; Gomes & Fernandes, 2017).

A partir dos dados de vazões da série histórica, foi calculada a vazão média de 7 dias consecutivos com tempo de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$). A estimativa foi realizada pelas distribuições de probabilidade de Gumbel para mínimos, Log-normal 2 parâmetros método dos momentos, Log-normal 2 parâmetros método da máxima verossimilhança e Weibull. Com o intuito de verificar qual das distribuições de probabilidade se ajusta melhor à série histórica, foram realizados os testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Qui-quadrado com 5% de significância (Melo & Silva, 2013).

Também foram calculadas as vazões mínimas da série histórica $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$. Para tanto, os dados de vazão das estações foram tabulados, agrupando todos os anos de estudo. As vazões foram ordenadas de forma decrescente e a permanência foi calculada pela equação de frequência de Weibull. Posteriormente, foi observada a vazão que estava 90% e 95% permanente no rio. Para uma melhor observação, foram construídos os gráficos das curvas de permanência, em que no eixo das abscissas foi plotado o valor da permanência em porcentagem (%) e na ordenada as vazões em m³/s, possibilitando uma observação através do gráfico (Maciel et al., 2019).

A partir das vazões de referência, foram selecionados quatro critérios de outorgas: $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$, $Q_{95\%}$ e 80% da $Q_{95\%}$, como demonstrado na Tabela 1. Destes, 80% da $Q_{95\%}$ é o critério de outorga proposto pelo Plano Estadual dos Recursos Hídricos de Rondônia na região da microbacia estudada (Rondônia, 2018).

Tabela 1. Critérios de outorga.

Critérios de Outorga	Vazão de referência
Critério 1	$Q_{7,10}$
Critério 2	$Q_{90\%}$
Critério 3	$Q_{95\%}$
Critério 4	80% da $Q_{95\%}$

Fonte: Santos, et al. (2024).

Os dados dos usuários utilizados para a simulação foram obtidos do site da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM-RO). Esses usuários obtiveram suas outorgas concedidas pelo órgão ambiental do estado. As outorgas concedidas poderiam ser superficiais e subterrâneas, no entanto, para a pesquisa, foram utilizadas somente as outorgas superficiais referentes ao período de 2019 a 2021.

Para a simulação dos cenários, foi utilizado o SSD OutorgaLS versão 3.1.1.9, que é um programa desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte de Decisão (LabSid) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Segundo o LABSID (2012), o SSD OutorgaLS versão 3.1.1.9 é uma plataforma generalizada para análise e concessão de outorga para captação de água e lançamento de efluentes que utiliza diversas características físicas e ambientais.

Na simulação da falha na demanda, o OutorgaLS calcula a diferença da demanda do usuário pela vazão total disponível no afluente (LABSID, 2012). Porém, o software considera valores a partir de 0,006 m³/s, dessa forma, para os afluentes e demandas de usuários que apresentaram valores inferiores a 0,006 m³/s, a simulação do déficit de vazão foi realizada manualmente, subtraindo a vazão de demanda pela vazão disponível no curso hídrico, de acordo com o critério de outorga que se objetivava simular.

3. Resultados e Discussão

Para realizar a regionalização das vazões da bacia do Rio Urupá, foram utilizadas as estações Fazenda Apurú, Piratininga e Jarú, uma vez que essas estações apresentam similaridade entre as variáveis explicativas estudadas, o que as torna regiões hidrologicamente homogêneas.

Foi analisada a relação entre as variáveis independentes (área e comprimento do rio) quando utilizadas para descrever as vazões Q7,10, Q90% e Q95% (variáveis dependentes).

Verificou-se, durante a análise, a presença de colinearidade entre a área de drenagem e o comprimento do rio. De acordo com Naghettini e Pinto (2007), uma solução simples para resolver a colinearidade é a exclusão de uma das variáveis explicativas. Dessa forma, optou-se por utilizar apenas a área de drenagem na regionalização (Bazzo et al, 2017; Beskow et al, 2016). A área de drenagem é considerada a mais representativa na determinação de vazão e, de acordo com Pilgrim (1983), a área é a única característica da bacia até agora encontrada, relacionada a variáveis hidrológicas.

O ajuste das equações do modelo de regressão foi realizado para as estações homogêneas e na Tabela 2 são exibidos os modelos de regressão e seus respectivos valores de coeficiente de determinação (R²), coeficiente de determinação ajustado (R² ajustado) e erro padrão (EP), obtidos para as vazões de referência.

Tabela 2. Resultado do ajuste dos modelos de regressão pelo R², R²ajustado e Erro padrão para as vazões de referência.

Vazão	Modelo	R ²	R ² ajustado	Erro Padrão
Q7,10	Linear	0,906	0,812	3,579
	Potencial	0,949	0,898	0,481
	Exponencial	0,962	0,925	0,412
	Logarítmico	0,885	0,771	3,946
Q90%	Linear	0,932	0,865	5,067
	Potencial	0,974	0,947	0,237
	Exponencial	0,983	0,966	0,189
	Logarítmico	0,915	0,830	5,690
95%	Linear	0,924	0,848	4,705
	Potencial	0,969	0,938	0,291
	Exponencial	0,979	0,959	0,237
	Logarítmico	0,906	0,811	5,247

Fonte: Santos, et al. (2024).

O coeficiente de determinação indica o quanto uma variável conhecida explica a variável dependente. O R² varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, melhor e

mais precisa é a estimativa (Hoffmann, R., 2016). Da mesma maneira, temos o R^2 ajustado, porém, por considerar os graus de liberdade em seu cálculo, seu valor é inferior ao coeficiente de determinação.

Conforme observado, os maiores valores de R^2 e R^2 ajustado para as três vazões mínimas calculadas foram encontrados no modelo Exponencial. Além disso, esse modelo apresentou o menor valor de erro padrão calculado para as vazões Q7,10, Q90% e Q95%. Portanto, pode-se observar que o modelo Exponencial foi o que apresentou o melhor desempenho para o cálculo das vazões.

As equações obtidas pelo modelo exponencial para as vazões Q7,10, Q90% e Q95% são apresentadas na Tabela 3. O parâmetro A representa a área de drenagem da bacia hidrográfica, e é expresso em km².

Tabela 3. Resultado do ajuste dos modelos de regressão pelo R^2 , R^2 ajustado e Erro padrão para as vazões de referência.

Vazão de referência	Equações
Q _{7,10}	$3,57 \cdot 10^{-5} \cdot e^{(0,00277 \cdot A)}$
Q _{90%}	$0,00373 \cdot e^{(0,00191 \cdot A)}$
Q _{95%}	$0,000984 \cdot e^{(0,002161 \cdot A)}$

Fonte: Santos, *et al.* (2024).

Na Tabela 4, são apresentados os modelos probabilísticos e seus respectivos valores para frequência observada ($|\Delta F|$ máximo calculado e χ^2 calculado), a probabilidade teórica de acordo com o teste de aderência, bem como as vazões mínimas Q7,10 obtidas para o agrupamento das estações fluviométricas hidrologicamente homogêneas.

De acordo com o demonstrado na Tabela 4, o resultado do teste Kolmogorov-Smirnov indica que os modelos probabilísticos são aderentes ao conjunto de dados, visto que a variação da frequência máxima calculada é menor que a probabilidade teórica, no entanto, o modelo da distribuição de probabilidade de Weibull foi o que melhor se ajustou para as estações Apurú, Jaru e Piratininga, dado que a diferença entre a frequência máxima calculada e a frequência máxima tabelada foi maior.

Ao analisar o teste Qui-quadrado, não houve rejeição da hipótese nula, uma vez que os modelos testados apresentaram o valor do χ^2 calculado inferior ao χ^2 tabelado, deste modo, em concordância com o teste Kolmogorov-Smirnov, a distribuição de Weibull se ajustou melhor aos dados por obter a maior diferença entre χ^2 calculado e χ^2 tabelado.

Esses resultados fornecem uma maior confiabilidade, uma vez que o teste Qui-quadrado é mais rigoroso que o Kolmogorov-Smirnov. Isso ocorre porque ele agrupa os dados da série histórica em classes de frequência, incluindo todas as classes, trazendo assim, mais rigidez do que apresentar somente a máxima diferença (Melo & Silva, 2013; Lopes et al., 2016; Marques et al., 2017). Da mesma forma, Barros et al. (2018), ao analisarem e compararem as distribuições de probabilidades teóricas Log-Normal 2 parâmetros (LN-2P), Gumbel para mínimos e Weibull, ajustadas a uma série histórica de vazões no estado do Amapá, constataram que a distribuição Weibull resultou no melhor ajuste à série de dados para a vazão Q7,10.

Com base nesses resultados, adotaram-se para a estação fluviométrica Apurú, a vazão mínima Q7,10 igual a 0,94 m³/s, para a estação Jaru a Q7,10 com o valor de 1,47 m³/s e para a estação Piratininga a Q7,10 igual a 15,48 m³/s, conforme determinado pela distribuição de Weibull.

Após o levantamento de dados e o cálculo dos valores da Q90% e Q95%, foi elaborado o gráfico das curvas de permanência. “A curva de permanência permite visualizar de

imediatamente a potencialidade natural do rio, destacando a vazão mínima e o grau de permanência das diferentes magnitudes de vazão” (Vestena et al., 2012, p. 221).

Tabela 4. Resultado dos testes Kolmogorov-Smirnov e Qui-quadrado para a estação fluviométrica Apurú, Jarú e Piratininga.

Estação		Modelos		Kolmogorov-Smirnov		Qui-quadrado		Vazão Q7,10 (m3/s)
				IΔFI máx calculado	IΔFI máx tabelado	χ2 calculado	χ2 tabelado	
APURÚ	Amostra (anos)	11	L-N 2P	0,143		0,206		1,14
			MM					
	Média (m³/s)	2,23	L-N 2P	0,134	0,391	0,266	3,841	1,12
			MV					
	Desvio padrão (m³/s)	1,04	Gumbel	0,175		1,996		0,87
			Weibull	0,115		0,199		0,94
JARU	Amostra (anos)	29	L-N 2P	0,157		3,599		1,89
			MM					
	Média (m³/s)	4,12	L-N 2P	0,158	0,246	3,125	7,815	1,47
			MV					
	Desvio padrão (m³/s)	2,24	Gumbel	0,114		8,539		1,20
			Weibull	0,102		1,078		1,47
PIRATININGA	Amostra (anos)	20	L-N 2P	0,174		0,798		16,37
			MM					
	Média (m³/s)	22,50	L-N 2P	0,183	0,294	1,175	5,991	15,14
			MV					
	Desvio padrão (m³/s)	5,19	Gumbel	0,149		0,330		15,73
			Weibull	0,134		0,116		15,48

Nota: L-N 2P MM é Log-Normal 2 parâmetros Método dos Momentos e L-N 2P MV é Log-Normal 2 parâmetros Método da Máxima Verossimilhança.
Fonte: Santos, *et al.* (2024).

Nas Figuras 2, 3 e 4 são apresentadas as curvas de permanência das estações Apurú, Jarú e Piratininga, respectivamente.

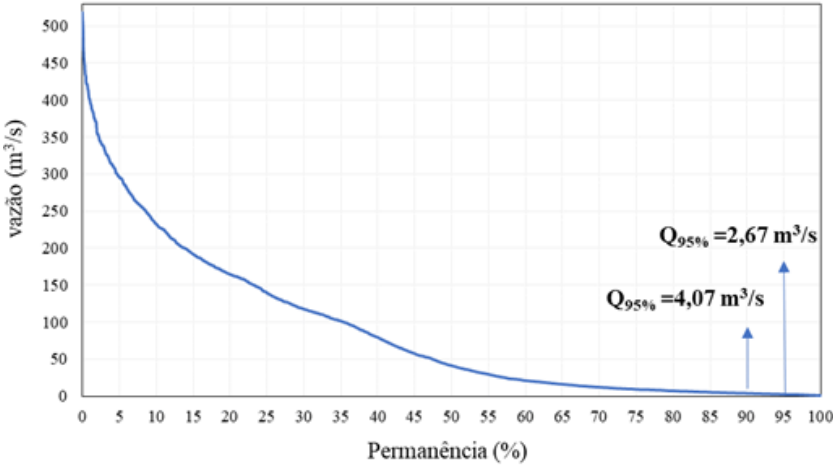


Figura 2. Curva de permanência da estação Apurú.
Fonte: Santos, *et al.* (2024).

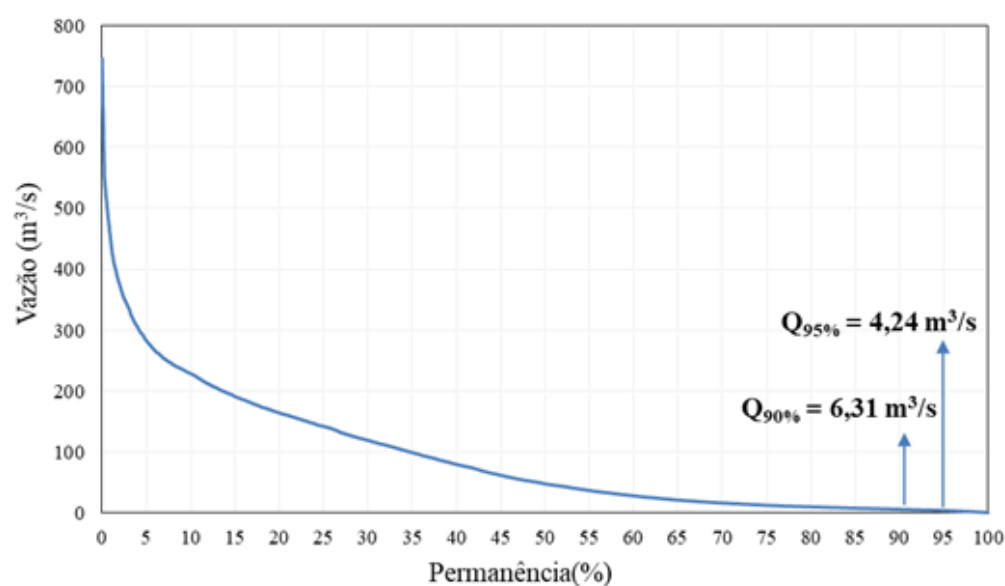


Figura 3. Curva de permanência da estação Jaru.

Fonte: Santos, *et al.* (2024).

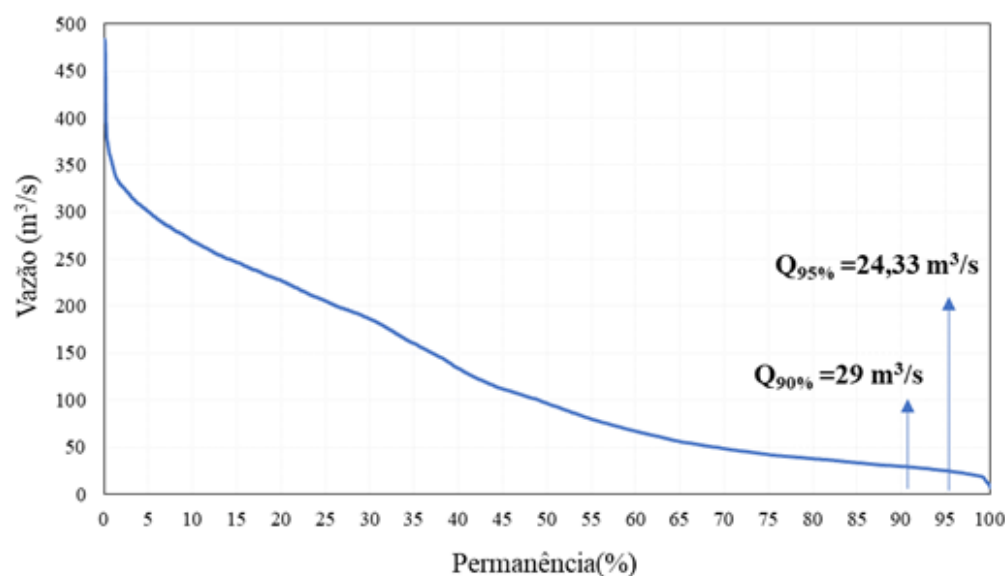


Figura 4. Curva de permanência da estação Piratininga.

Fonte: Santos, *et al.* (2024).

Para a concessão de outorga, a definição dos critérios é feita de acordo com a vazão de referência utilizada. Neste estudo, foram considerados quatro cenários nos quais foram utilizadas a vazão mínima $Q_{7,10}$ e as vazões de permanência $Q_{90\%}$, $Q_{95\%}$ e 80% da $Q_{95\%}$ na bacia do Rio Urupá. Como demonstrado na Figura 5, é possível observar a disposição dos usuários e o nível de atendimento das demandas de acordo com cada critério.

O primeiro cenário foi simulado com a vazão mínima $Q_{7,10}$, no qual, de acordo com a Figura 5, observa-se que dos usuários totais, quatro tiveram sua demanda totalmente atendida e dezessete apresentaram falha no suprimento de sua demanda, sendo que estes estão localizados próximos à nascente dos afluentes do rio principal, exceto o usuário U21. Por considerar a vazão média mínima de sete dias consecutivos com o tempo de retorno de 10 anos, a $Q_{7,10}$ caracteriza a disponibilidade hídrica natural, que é a vazão mais restritiva no sentido de atender a demanda de usuários múltiplos (Cecílio *et al.*, 2018).

No segundo cenário de simulação, foi adotada a vazão outorgável Q90%. Diferentemente da simulação anterior, o critério de outorga com base na Q90% supriu melhor as demandas, apresentando falha em onze dos vinte e um usuários com outorga concedida. Portanto, os usuários que não tiveram sua demanda atendida, que são U3, U4, U5, U6, U7, U8, U9, U10, U16, U17 e U18, estão localizados próximos à nascente dos afluentes.

O terceiro e o quarto cenário assumem, respectivamente, a vazão outorgável Q95% e 80% da Q95%. Em ambos cenários, os usuários U3, U4, U5, U6, U7, U8, U9, U10, U11, U13, U14, U15, U16, U17, U18 e U19 não tiveram a demanda atendida, pois a vazão disponível no rio afluente é inferior à vazão demandada. A diferença entre a vazão outorgável Q95% e 80% da Q95% é que o usuário U20 não teve sua demanda atendida com a vazão outorgável 80% da Q95%.

A partir da Figura 5, identifica-se que, nos quatro cenários simulados, há ocorrência de usuários não atendidos quando localizados próximos às nascentes, visto que a demanda é superior à vazão que o rio pode ofertar. Essa é uma característica explicada escassez natural de água nessas regiões, pois as nascentes são resultantes de afloramento do lençol freático ou oriundas de aquíferos artesianos (Garcia et al., 2018).

De acordo com Martins et al. (2020), as nascentes são utilizadas com frequência para o consumo humano, dessedentação animal e irrigação de cultivos agrícolas de pequenas comunidades, no entanto, sua utilização sem o planejamento adequado ocasionam alteração no fluxo da água, o que se torna um problema em razão das nascentes serem fundamentais para a formação e manutenção dos cursos d'água.

Em igarapés e rios de menor porte há menor registro de série histórica de vazão, enquanto a bacia amazônica apresenta rios com característica caudalosa e rios de baixa vazão. Para outorga de direito de uso da água, a ausência de informação traz dificuldades para a definição do critério que representa as características da bacia hidrográfica (Lima et al., 2010, Freitas et al., 2021).

O Rio Urupá é uma sub-bacia do Rio Machado e, de acordo com o Plano Estadual dos Recursos Hídricos (PERH) do estado de Rondônia, está situada no médio Machado, onde o critério de outorga proposto é 80% da Q95%. Conforme indicado na Figura 5, o critério de outorga proposto pelo PERH apresenta o não atendimento da demanda de 17 usuários que detêm a outorga de água superficial emitida pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente, de maneira que é necessário salientar que a simulação desenvolvida neste estudo não considerou as outorgas dispensadas e os usuários com captação irregular.

O Plano Estadual dos Recursos Hídricos é um documento que traz as características hidrológicas na escala estadual, ou seja, não traz informações detalhadas de todas as bacias hidrográficas presentes no estado. Portanto, não houve um estudo aprofundado na bacia do Rio Urupá para a determinação da vazão ideal outorgável.

Um problema associado à adoção das vazões mínimas e de permanência anual é o entrave do uso da água no período chuvoso, quando há maior disponibilidade hídrica para os diferentes usuários e suas atividades econômicas (Silva et al, 2015). Moreira et al. (2020), em seu estudo no estado de Minas Gerais e São Paulo, verificaram que o uso dos critérios de outorga com base nas vazões mensais baixas, em vez da anual baixa, apresenta maior potencial para ampliar o uso de recursos hídricos, aumentando a disponibilidade em 10% para o período seco e 393% para a estação chuvosa.

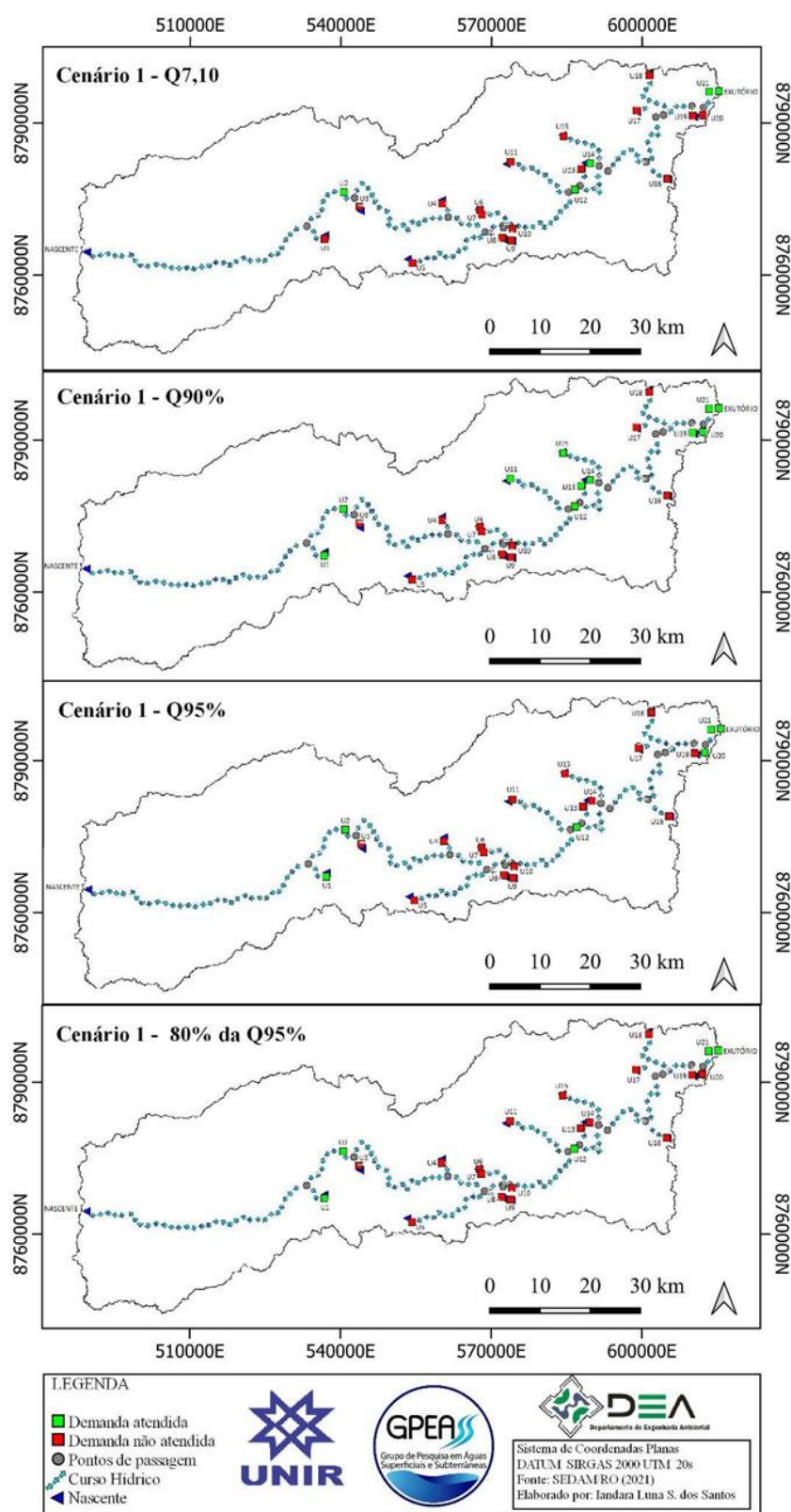


Figura 5. Configuração dos critérios de Outorga Q7,10, Q90%, Q95% e 80% da Q95%.
Fonte: Santos, *et al.* (2024).

A região amazônica apresenta pouca mudança em seu regime hidrológico entre os anos, mas quando é observada a sazonalidade, e há variação, uma vez que a região dispõe

de estações bem definidas, de maneira que da precipitação total anual, 70% ocorre na estação chuvosa e 30% na estação seca, influenciando, assim, na vazão dos rios (Coutinho et al., 2019). Sendo assim, entendendo essa característica, utilizar as vazões mensais mínimas é mais adequado para critérios de outorga.

Porém, ao contrário da região centro-sul do país, a região amazônica ocupa maior área do território brasileiro e o número de estações hidrometeorológicas são insuficientes para caracterizar sua área total (Souza et al, 2020). Ainda, deve-se considerar os desafios na obtenção da série histórica de vazões sem a presença de falhas. Portanto, para o estado de Rondônia, a limitação no acesso aos dados dificulta a determinação do critério de outorga de direito de uso da água a partir da sazonalidade.

Dessa maneira, com base nos resultados encontrados no trabalho, apesar do critério de outorga que atende à demanda do maior número de usuários da bacia do rio Urupá ser Q90%, pode ser necessário que o órgão gestor reconsidere o valor da vazão outorgável.

4. Considerações finais

Por meio do estudo, é possível perceber que a gestão dos recursos hídricos é um processo que envolve diversos fatores. Neste sentido, verificou-se que a utilização do SSD Outorga LS auxilia na tomada de decisão por realizar simulações de diferentes critérios de maneira rápida e de baixo custo. Porém, foi possível observar que devido às limitações do software em relação ao número de casas decimais, a sua funcionalidade se enquadra para bacias que apresentam cursos hídricos e usuários com demanda de vazão acima de 0,006 m³/s.

Com os resultados obtidos da simulação dos critérios de outorga, foi possível visualizar a importância da adoção da vazão de referência de maneira que não subestime ou superestime a disponibilidade hídrica na bacia. Todos os critérios devem ser bem estudados e discutidos no âmbito de cada bacia hidrográfica, dado que a recomendação baseada em estimativas simplificadas pode caracterizar um cenário em que usuários tenham suas atividades econômicas afetadas ao não terem recurso demandado disponível.

No presente trabalho, o critério de outorga menos restritivo foi a Q90% anual, porém, ainda assim, há ocorrência de usuários com a sua demanda não atendida. Em função de ser um critério com base no cálculo da vazão de permanência anual, sugere-se que estudos futuros sejam desenvolvidos analisando a resposta da bacia, no atendimento da demanda de usuários, com a adoção do critério de outorga fundamentado na sazonalidade das vazões.

Agradecimentos: Agradecemos a Pró - Reitoria de Pesquisa (PROPESQ) e a Fundação Universidade Federal de Rondônia (UNIR) pelo incentivo no presente estudo.

Conflitos de interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Referência bibliográfica

- Alvares, C. A. et al. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- Augusto, L. G. S. da. et al. (2012). O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso adequado à água para consumo humano. *Ciencia & saude coletiva*, v. 17, n. 6, p. 1511–1522. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000600015>
- Barros, C. G. D. et al. (2018). Vazão Mínima Q7,10 no Amapá Estimada Por Modelos Probabilísticos. *Revista Engenharia na Agricultura - Reveng*, v. 26, n. 3, p. 284–294. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i3.930>
- Bazzo, K. R. et al. (2017). Regionalização da vazão Q95: comparação de métodos para a bacia hidrográfica do Rio Taquari-Antas, RS. *Revista Ambiente e Agua*, v. 12, n. 5, p. 856–870. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2032>
- Brasil. (1997). Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Recuperado de: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm. (acessado em: 28/05/2021).

- Cecílio, R. A. et al. (2018). Avaliação de métodos para regionalização das vazões mínimas e médias na bacia do rio Itapemirim. *Scientia Agraria*, v. 19, n. 2, p. 122–132. <http://dx.doi.org/10.5380/ras.v19i2.52726>
- Coutinho, E. de C. et al. (2018). Variabilidade Climática da Precipitação na Bacia Amazônica Brasileira entre 1982 e 2012. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 22, n. 2237–8642, p. 476–500. DOI:10.5380/abclima.v22i0.46074
- Freitas, C. E. D. DE et al. (2021). O instrumento de outorga e os limites ambientais: Uma investigação sob a perspectiva da Economia Ecológica. *Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica*, v. 34, n. 1, p. 155–178.
- Garcia, J. M. et al. (2018). Degradação ambiental e qualidade da água em nascentes de rios urbanos. *Sociedade & Natureza*, v. 30, n. 1, p. 228–254. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n1-2018-10>
- Gomes, R. R. Klautau A. de; Fernandes, L. L. (2017). Hydrological characterization of the Araguaia River through reference flows. *Applied Water Science*, v. 7, n. 8, p. 4605–4614. DOI:10.1007/s13201-017-0622-5
- Hoffmann, R. (2016). Análise de regressão, uma introdução à econometria. O autor, Piracicaba, 404p.
- Labsid. (2012). Manual de utilização do SSD OutorgaLS. São Paulo, 48p.
- Lima, A. M. M. DE et al. (2010). A Gestão da Oferta Hídrica no Estado do Pará e seus Aspectos Condicionantes. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, n. 3, p. 69–83. DOI:10.21168/rbrh.v15n3.p69-83
- Lopes, T. R. et al. (2016). Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do rio Ivaí - PR. *Irriga*, v. 21, p. 188–201. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n1p188-201>
- Maciel, A. L. et al. (2019). Regionalização e espacialização de vazões de permanência: estudo aplicado na bacia rio Piracicaba-MG. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 24, p. 114–133. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v24i0.58420>
- Marques, R. F. de P. V. et al. (2017) Métodos de estimativas dos parâmetros da distribuição log-normal a 3 parâmetros para a precipitação máxima diária em municípios com médio a alto potencial erosivo. *Sustentare*, v. 1, p. 108–117. DOI: <http://dx.doi.org/10.5892/st.v1i1.4392>
- Martins, A. M. et al. (2020). Análise de não homogeneidades de séries de vazão de captações de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame, PB, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 6, p. 2896–2907. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2896-2907>
- Melati, M. D. (2016). Regressões simples e robusta na regionalização da vazão Q95 na Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas. *Ciencia e Natura*, v. 38, n. 2, p. 722–739. DOI:10.5902/2179-460X19116
- Melo, C. R. de; Silva, A. M. da. (2013). Hidrologia: Princípios E Aplicações Em Sistemas Agrícolas. Editora UFLA, Lavras, 455p.
- Moreira, H. S. et al. (2020) Cenários de disponibilidade hídrica para concessão de outorga: estudo de caso da Bacia Vertentes do Rio Grande, Estados de Minas Gerais e São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 7, n. 15, p. 341–350. 10.21438/rbgas(2020)071524
- Naghetini, M.; Pinto, É. J. A. de. (2007). Hidrologia Estatística. CPRM, Belo Horizonte, 552p.
- Oliveira, C. U. R. de; Zeilhofer, P. (2017). Sistema de Suporte à Decisão baseado em Lógica Fuzzy para Outorga de Recursos Hídricos Superficiais. In: Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente E Recursos Naturais (Wcama), n° 8, 2017, São Paulo. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, p. 791-800.
- Pereira, E. D. S. et al. (2020). Eutrofização e mudanças no regime hidrológico: um risco na bacia do Rio Urupá, Amazônia brasileira. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, n. 7, p. 557–568. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0043>
- Pereira, G. S.; Caldeira, F. V. (2018). Avaliação da distribuição de Gumbel na determinação de vazões mínimas da sub-bacia do Rio Negro. *Águas Subterrâneas*, v. 32, n. 1, p. 11–16. DOI: <https://doi.org/10.14295/ras.v32i1.28926>
- Pilgrim, D. H. (1983). Some problems in transferring hydrological relationships between small and large drainage basins and between regions. *Journal of Hydrology*, v. 65, p. 49–72. DOI: 10.1016/0022-1694(83)90210-X
- Rondônia. (2018). Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Rondônia – Relatório Final. Recuperado de: <http://coreh.sedam.ro.gov.br/plano-estadual-de-recursos-hidricos/>. (acesso em: 01/07/21)
- Rondônia. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). (2020). Listagem de outorgas emitidas - 2020. Recuperado de: http://transparencia.sedam.ro.gov.br/?page_id=32. (acesso em: 08/10/21).
- Silva, B. M. B. DA; Silva, D. D. DA; Moreira, M. C. (2015). Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. *Revista Ambiente e Água*, v. 10, n. 3, p. 623–634. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1587>
- Souza, V. A. S. de; et al. (2020). Extreme rainfall events in Amazonia: The Madeira river basin. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 18, n. April. DOI:10.1016/j.rsase.2020.100316

VESTENA, L. R. et al. (2012). Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR. Revista Ambiente e Água, v. 7, n. 3, p. 212–227. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.840>