

RESUMO EXPANDIDO

Hidrologia – Planejamento e usos dos Recursos Hídricos

**VARIAÇÃO ANUAL DA CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES NO ARROIO
PELOTAS, SUL DO RIO GRANDE DO SUL, EM 56 ANOS DE MONITORAMENTO**

Tuana Pedra Vargas, Universidade Federal de Pelotas, tuanapedra@gmail.com

Tamara Leitzke Caldeira Beskow, Universidade Federal de Pelotas, tamaraleitzkecaldeira@gmail.com

Samuel Beskow, Universidade Federal de Pelotas, samuelbeskow@gmail.com

Retiele Vellar, Universidade Federal de Pelotas, vellar.retiele@ufpel.edu.br

Julio Cesar Angelo Borges, Universidade Federal de Pelotas, engjulioborges@gmail.com

Larissa Corrêa Santos, Universidade Federal de Pelotas, larissasantos96@hotmail.com

Isabel Silva Neutzling, Universidade Federal de Pelotas, neutzlingisabel@gmail.com

Resumo: As curvas de permanência se destacam como ferramentas essenciais para compreender o comportamento hidrológico e apoiar na gestão e conservação dos recursos hídricos. Por esse motivo, o presente estudo utilizou as curvas de permanência para avaliar as vazões de referência ao longo de 56 anos de monitoramento do arroio Pelotas, com o objetivo de compreender o comportamento das variações anuais das vazões. O estudo demonstrou que embora as vazões de referência não tenham mostrado uma tendência significativa de aumento ou diminuição ao longo dos 56 anos de monitoramento, elas variaram em torno da média de longo prazo. Por fim, foi possível identificar períodos com vazões maiores ou menores, relacionados aos volumes de precipitação. Dessa forma, a análise das curvas de permanência anuais revelou-se uma ferramenta essencial para entender a variabilidade das vazões, refletindo a resposta da bacia a eventos extremos de seca ou chuvas intensas.

Palavras-chave: vazões de referência, hidrologia, disponibilidade hídrica.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento econômico e a descontrolada urbanização geram uma intensa pressão sobre os recursos hídricos, reduzindo a disponibilidade de água em regiões com má distribuição hídrica e altas densidades populacionais. A disponibilidade de água na natureza varia em função de características geográficas e climáticas, apresentando diferenças temporais e espaciais, e muitas vezes não são suficientes para suprir a demanda em diversas regiões do mundo, e essa situação vem se agravando ao longo do tempo, assim, é comum encontrar recorrentes períodos de cheias em alguns locais, enquanto em outros, períodos de secas (Brito; Silva; Porto, 2007).

A Lei 9.433/1997, que estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos, prevê a implementação da outorga do direito de uso dos recursos hídricos como um importante instrumento de gestão. O conhecimento da disponibilidade hídrica e a estimativa de vazões de referência são etapas fundamentais desse processo (Cruz; Silveira, 2007). No Brasil, as vazões de referência consideradas são as vazões com duração de sete dias e período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$), além das vazões com permanência de 90% (Q_{90}) e 95% (Q_{95}) (ANA, 2021). As vazões Q_{90} e Q_{95} são calculadas a partir das curvas de permanência de longo prazo. Essas vazões de referência são amplamente utilizadas no Brasil,

inclusive no estado do Rio Grande do Sul, como instrumentos destinados à avaliação de processos de outorga e gestão dos recursos hídricos.

As curvas de permanência de longo período para séries históricas hidrológicas são construídas com base no período completo de observação. No entanto, Almeida e Curi (2016) observam que essas curvas são sensíveis a eventos hidrológicos extremos, o que torna as vazões de referência, como Q_{90} e Q_{95} , bastante restritivas, especialmente em anos secos. Além disso, os autores, destacam que avaliar a incerteza nessas estimativas é um desafio significativo, como alternativa, os pesquisadores sugerem a utilização de vazões de referência que considerem a variação interanual das vazões, o que poderia flexibilizar a concessão de outorgas sem comprometer a conservação da água.

Em vista disso, este estudo teve como objetivo analisar a variação de longo termo e a variação interanual da disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (BHAP) durante os 56 anos de monitoramento. Utilizando as curvas de permanência, buscou-se compreender o comportamento hidrológico da bacia, uma vez que essas curvas fornecem uma visão gráfica simples e concisa das variações temporais das vazões ao longo do período analisado. Além disso, o estudo pretende contribuir para a gestão e preservação dos recursos hídricos, levando em consideração a influência de eventos hidrológicos extremos e a necessidade de uma abordagem mais flexível na concessão de outorgas de água.

2. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1. Disponibilidade hídrica

A disponibilidade hídrica é a informação básica de apoio à decisão sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos, que tem como objetivos “assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água”, conforme disposto no Art 11º da Lei Federal 9433 (Brasil, 1997). Ainda, segundo a mesma Lei, Art 7º, parágrafo II, a outorga deve estar vinculada a estudos referentes ao “Balanço entre a disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais”

Cruz e Tucci (2008) esclarecem que a disponibilidade de água varia ao longo do tempo e do espaço, afetando tanto usos consuntivos quanto não consuntivos e impactam o hidrograma do rio. Os autores detalham que há restrições quantitativas e qualitativas para atender a diferentes demandas e preservar a integridade ambiental. O uso consuntivo, como o abastecimento doméstico e industrial ou na irrigação, diminui a vazão do curso d'água, impactando a disponibilidade a jusante e a qualidade ambiental, em contraste, o uso não consuntivo, como a geração hidrelétrica, pode modificar o hidrograma consideravelmente sem alterar o volume total de escoamento.

2.2. Métodos para estimativa da disponibilidade hídrica

A escolha da variável ou função hidrológica para caracterizar a disponibilidade é questionável devido às limitações na representação dos processos físicos e ambientais. As funções tradicionais incluem o hidrograma, que mostra a vazão ao longo do tempo sem indicar a probabilidade de

ocorrência; a curva de permanência, que expressa a frequência das vazões, mas não a sequência temporal; e a curva de probabilidade de vazões médias e mínimas, que não capturam a variância dos valores ou as variações durante estiagens (Cruz; Tucci, 2008).

Segundo Cruz e Tucci (2007), a curva de permanência analisa dados de vazão para criar um histograma das frequências acumuladas dessas vazões, esse histograma permite estabelecer vazões de referência com base em uma série histórica de dados e ajuda a determinar a disponibilidade hídrica. A curva de permanência relaciona a vazão com a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada durante o período histórico considerado, por exemplo, a Q_{90} é a vazão que pode ser encontrada no rio em pelo menos 90% do tempo.

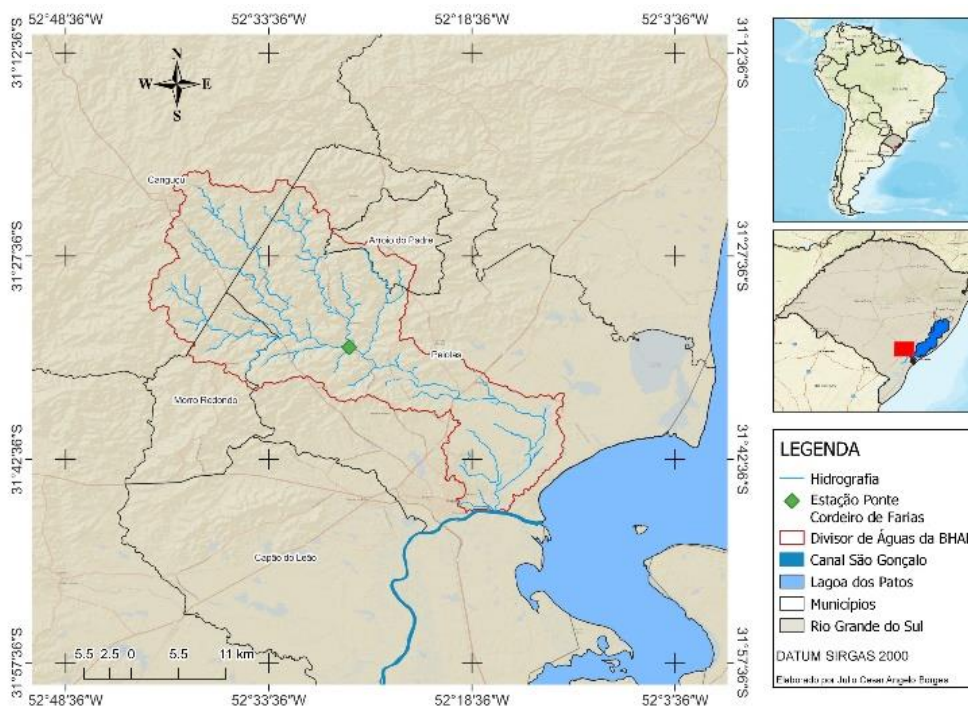
Dito isso, a curva de permanência foi escolhida para esse estudo de análise da disponibilidade hídrica, com o objetivo de analisar o comportamento hidrológico da BHAP ao longo período em estudo.

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização da área de estudo e Base de dados hidrológicos

Este estudo foi conduzido na Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (BHAP), localizada ao sul do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1), abrangendo os municípios de Arroio do Padre, Canguçu, Morro Redondo e Pelotas. Nesta bacia, existe um ponto de monitoramento hidrológico, sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), equipado com réguas linimétricas, onde se realizam duas leituras diárias do nível d'água desde 1964. Para a realização deste estudo, foi analisada a série histórica de vazões médias diárias deste ponto de monitoramento, denominado "Ponte Cordeiro de Farias" (PCF), código 88850000. Essa série foi obtida junto ao HidroWeb - Sistema de Informações Hidrológicas da ANA e, compreende os anos de 1965 a 2021, resultando em um período de 56 anos. Contudo, devido a numerosas falhas, os anos de 2006, 2022 e 2023 foram descartados do estudo.

Figura 1- Localização da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas (BHAP) e estação fluviométrica Ponte Cordeiro de Farias (PCF)



Fonte: Autores (2024).

3.2. Métodos de Representação da Curva de Permanência

Para analisar a variação anual da curva de permanência de vazões na bacia em estudo, foram utilizados dois critérios para a elaboração das curvas: o critério de longo termo e o critério ano a ano. O critério de longo termo considera todas as vazões médias diárias do período da série histórica. Enquanto que o critério ano a ano analisa os dados de cada um dos 56 anos individualmente, desta forma permitindo avaliar a variação interanual da curva de permanência e seu comportamento em anos chuvosos e de estiagem.

Para ambos os critérios de curvas de permanência, as vazões (Q) foram organizadas em ordem decrescente, atribuindo para cada vazão ordenada (Q_m) a sua respectiva ordem de classificação. Então associou-se a cada vazão ordenada (Q_m) a sua respectiva frequência ou probabilidade empírica de ser igualada ou superada, $F(Q \geq Q_m)$. Essa probabilidade foi calculada pela estimativa de posição de plotagem de Weibull (Equação 1).

$$W = \frac{i}{N+1} * 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Considerando que para a gestão de recursos hídricos, se faz importante a avaliação de diferentes percentis da curva de permanência de vazões, as análises deste estudo consideraram as vazões de referência de $Q_{50\%}$, $Q_{60\%}$, $Q_{70\%}$, $Q_{80\%}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$, as quais representam a vazão que é igualada ou excedida no respectivo tempo.

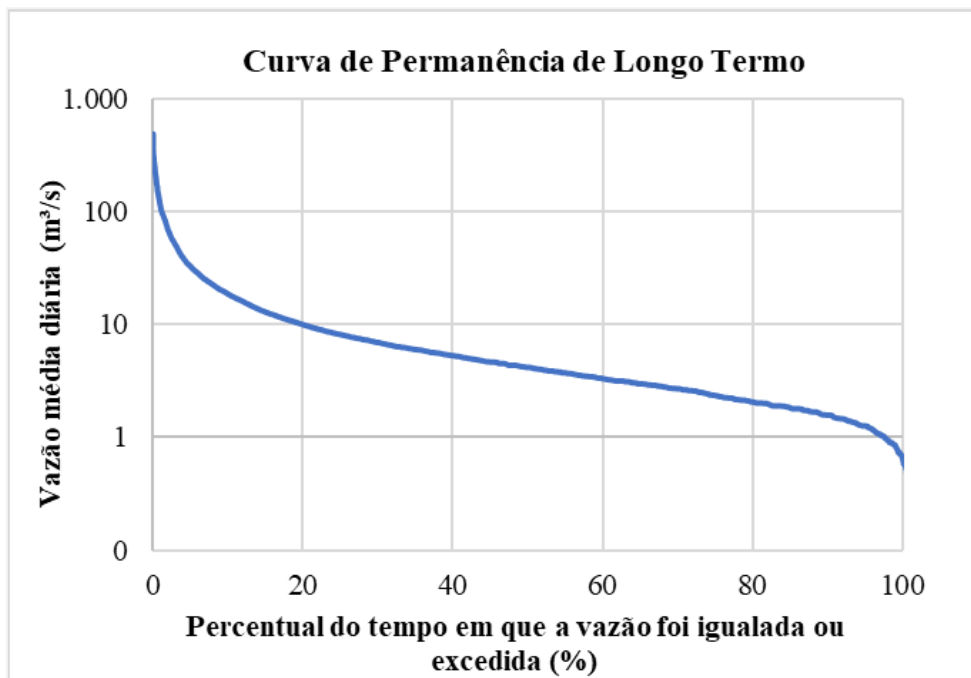
3.3. Análise de tendência

A fim de avaliar a ocorrência ou não de tendência estatisticamente significativa de aumento ou redução das vazões de referência ao longo do tempo, foi adotado o teste de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) para um nível de significância de 5%. Essa análise foi realizada com o auxílio do software Excel e do complemento Real Statistics.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

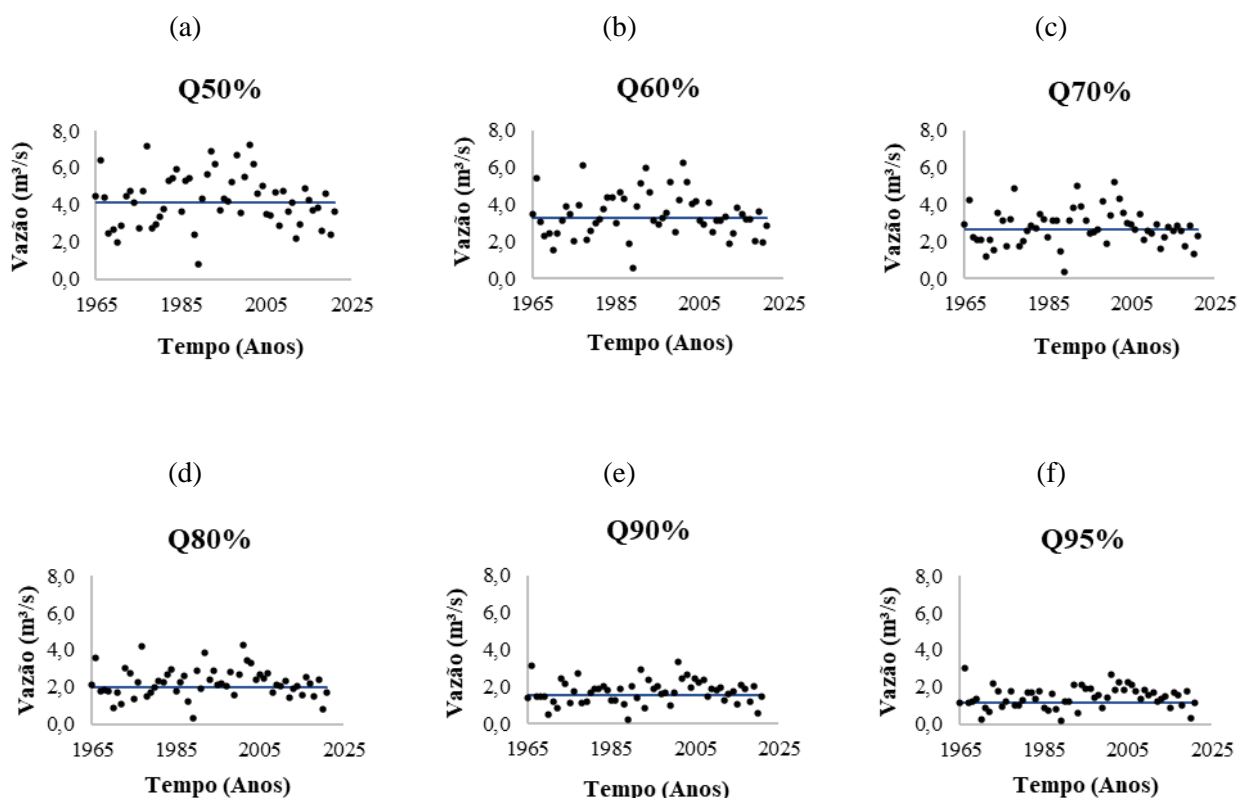
A Figura 2 permite visualizar a curva de permanência de vazões médias diárias da BHAP para um período de 56 anos de dados observados. A Figura 3, por sua vez, evidencia a variação temporal das vazões de referência $Q_{50\%}$, $Q_{60\%}$, $Q_{70\%}$, $Q_{80\%}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ extraídas das curvas de permanência anuais para o mesmo período.

Figura 2 - Curva de permanência de longo período das vazões diárias no Arroio Pelotas



Fonte: Elaborados pelos autores (2024).

Figura 3 - Variação temporal das vazões, para a: (a) Vazão 50%; (b) Vazão 60%; (c) Vazão 70%; (d) Vazão 80%; (e) Vazão 90% e (f) Vazão 95%, para Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas, durante o período de 1965 a 2021



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

- **Q_{50%}:** Na Figura 3(a) é apresentada a variação anual da Q_{50%}, ou seja, da vazão média diária igualada ou superada em 50% do tempo (pontos) em cada ano, e a Q_{50%} extraída da curva de permanência de longo período (linha). Percebe-se que: i) a partir de 1965, os valores de Q_{50%} se mantiveram estáveis e próximos do valor extraído da curva de permanência de longo período (4,15m³/s); ii) no período entre 1975 e 1985, observou-se uma maior dispersão dos valores de Q_{50%}, com vazões variando entre 1 e 7 m³/s; iii) durante a década de 90, houve menor dispersão, ficando os valores de Q_{50%}, em grande parte, acima da Q_{50%} de longo período; e iv) entre 2000 e 2021, a dispersão voltou a aumentar, com um número maior de ocorrências de Q_{50%} abaixo da Q_{50%} de longo período, em particular, entre 2005 e 2021.
- **Q_{60%}:** Para essa vazão de referência (Figura 3b), observa-se que: i) até o ano de 1980, as vazões eram muito variáveis e frequentemente abaixo da Q_{60%} de longo período (3,25 m³/s); ii) entre os anos de 1990 e o início dos anos 2000, as vazões se estabilizaram em torno da Q_{60%} de longo período; e iii) No entanto, de 2000 a 2021, a dispersão aumentou novamente, com muitos valores de Q_{60%} abaixo de 3,25 m³/s.

- **Q_{70%}:** Analisando as vazões anuais iguais ou excedidas em 70% do tempo, Q_{70%} (Figura 3c), observa-se que: i) de 1965 a 1985, a maioria dos registros está abaixo do valor de longo período (2,66 m³/s); ii) no período de 1985 e 2005, há maior dispersão dos valores de Q_{70%}; e iii) de 2005 a 2021, repete-se o mesmo comportamento da Q_{50%}, com as vazões de referência, em grande parte, abaixo da Q_{70%} de longo período.
- **Q_{80%}:** Nota-se que: i) a vazão de referência Q_{80%} (Figura 3d) apresenta um comportamento muito semelhante ao da Q_{70%}, visto que entre 1965 e 1980 há uma grande dispersão, com muitos anos abaixo da Q_{80%} de longo período (2,01 m³/s); ii) de 1980 a 1995, a dispersão diminuiu, com vazões acima da Q_{80%} de longo período, aumentando entre 1995 e 2010; e iii) entre 2010 a 2021, a variação persiste, com as vazões anuais próximas à Q_{80%} de longo período.
- **Q_{90%}:** Para a vazão de referência Q_{90%}, percebe-se que: i) entre o período 1965 e 1985, as vazões ficaram abaixo da Q_{90%} de longo período (1,52 m³/s); ii) de 1985 a 2005, as vazões anuais variam no entorno da Q_{90%} de longo período, com valores intermediários, indicando anos com Q_{90%} superior; e iii) entre 2005 e 2021, observa-se novamente um maior número de Q_{90%} anuais menores que a Q_{90%} de longo período.
- **Q_{95%}:** Para a vazão de referência Q_{95%} (Figura 3f): i) a maioria das vazões anuais de Q_{95%} variaram entre 0,5 e 3,0 m³/s; ii) de 1965 a 1980, as vazões ficaram mais próximas da Q_{95%} de longo período (1,20 m³/s); iii) entre 1980 e 2005, há maior dispersão nos valores de Q_{95%}; e iii) Após 2005, a variabilidade diminuiu, com várias vazões anuais menores que a Q_{95%} de longo período.

O menor valor das vazões mínimas de referência foi registrado em 1989, enquanto o maior ocorreu em 2001. Vale destacar que, a partir da década de 2000, a maioria das vazões de referência anuais permaneceu abaixo das respectivas vazões de longo período, sugerindo uma redução na disponibilidade hídrica ou aumento da frequência de ocorrência de períodos de menor precipitação, culminando em eventos de seca. Porém, ao aplicar o teste de Mann-Kendall, não foi observada tendência estatisticamente significativa de aumento ou diminuição das vazões de referência ao longo dos anos.

Esses resultados estão em consonância com o estudo de Vellar et al. (2023), que avaliou o Índice Padronizado de Precipitação (IPP) no município de Pelotas, para dados trimestrais de chuva entre 1990 e 2020. O IPP foi classificado em sete diferentes categorias distintas, que vão de extremamente seco à extremamente úmidos, seguindo a classificação de McKee et al. 1993, distintas: extremamente seco ($\leq -2,0$), severamente seco (-1,5 a -1,99), moderadamente seco (-1,0 a -1,49), próximo do normal (-0,99 a 0,99), moderadamente úmido (1,0 a 1,49), severamente úmido (1,5 a 1,99) e extremamente úmido ($\geq 2,0$). Os anos de 1990, 1991, 1996, 2001 e 2020 apresentaram trimestres extremamente secos, com destaque para o ano de 2001, quando um período moderadamente úmido, que abrangeu três trimestres, foi seguido por uma fase de extrema seca. Por outro lado, os anos de 1992, 1995, 1997, 1998 e 2008 registraram trimestres extremamente úmidos. Os demais anos

apresentaram variações que oscilaram entre condições severamente seca, moderadamente seca, próximas da normalidade, moderadamente úmidas e severamente úmida.

5. CONCLUSÃO

Apesar de as variações anuais das vazões de referência não terem apresentado tendência estatisticamente significativa de aumento ou de diminuição nesses 56 anos de monitoramento, oscilando em torno da respectiva vazão de referência de longo período, é possível identificar relações temporais importantes que evidenciam períodos com vazões inferiores ou superiores, associados aos volumes de precipitação na bacia.

Assim, a abordagem de avaliação da disponibilidade hídrica pelas curvas de permanência anuais se mostrou uma importante ferramenta para compreensão da variabilidade anual das vazões de referência, materializadas pela resposta hidrológica da bacia a eventos extremos de seca ou chuva em excesso.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A.; CURI, W. F. Gestão do uso de água na bacia do Rio Paraíba, PB, Brasil com base em modelos de outorga e cobrança. *Revista Ambiente e Água*, Taubaté, v. 11, n. 4, p. 989-1005, 2016. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1820>.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Relatório de Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil. 2017. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 4 ago. 2024.

BRASIL. Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, 1997.

BRITO, LT de L.; SILVA, A. de S.; PORTO, Everaldo R. *Disponibilidade de água e a gestão dos recursos hídricos*. Disponível: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/159648/1/OPB1514.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2024.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. Disponibilidade hídrica para outorga (I): avaliação por seção hidrológica de referência. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 51-64, 2007. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/70/b3ddfeaa8780ea5216190ad209442067_f03fe402dccb6878e1bd82cd579e499.pdf. Acesso em: 02 ago. 2024.



I Congresso Nacional da Associação Brasileira de Engenharia Hídrica
Engenharia Hídrica: o futuro dos recursos hídricos começa agora

CRUZ, J.C; TUCCI, C.E.M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. *Rbrh: Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Porto Alegre, RS. Vol. 13, n. 1 (jan./mar. 2008), p. 111-124, 2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/232847/000656740.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 07 de ago. 2024.

MCKEE, T. B. et al. The relationship of drought frequency and duration to the time scales. In: *Conference On Applied Climatology*, 8. Anaheim, CA. Proceedings. Boston: American Meteorological Society, 179-184, 1993.

VELLAR, R., et al. Normal climatológica 1991-2020 para Pelotas/RS: Avaliação de períodos de seca através do IPP trimestral. *XXV encontro de Pós Graduação, 9ª Semana Integrada – UFPel*, 2023. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/enpos/anais/anais-2023/>. Acesso em 7 ago. 2024.