

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

A CURVA DE PERMANÊNCIA E A DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA OUTORGA NO
ESTADO DO PARANÁ

JULIANE MÔNICA RUTHES

CASCAVEL - PARANÁ - BRASIL

2017

JULIANE MÔNICA RUTHES

**A CURVA DE PERMANÊNCIA E A DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA OUTORGA NO
ESTADO DO PARANÁ**

Dissertação apresentada do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Recursos Hídricos e Saneamento ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Eloy Lemos de Mello

CASCADEL - PARANÁ - BRASIL

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

R94c

Ruthes, Juliane Mônica

A curva de permanência e a disponibilidade hídrica para outorga no Estado do Paraná./Juliane Mônica Ruthes. Cascavel, 2017.
62 f.

Orientador: Prof. Dr. Eloy Lemos de Mello

Revisão Português, Inglês e Normas: José Carlos da Costa

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná,
Campus de Cascavel, 2017

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

1. Hidrologia. 2. Recursos hídricos. I. Mello, Eloy Lemos de. II. Costa, José Carlos da, Rev. III. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. IV. Título.

CDD 20.ed. 551.48

CIP-NBR 12899

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Bejio – CRB 9ª/965

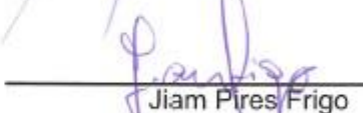
JULIANE MÔNICA RUTHES

A Curva de Permanência e a Disponibilidade Hídrica para Outorga no Estado do Paraná

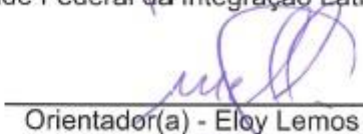
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, linha de pesquisa Saneamento Ambiental, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:


Benedito Martins Gomes

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)


Jiam Pires Frigo

Universidade Federal da Integração Latino-Americana (Unila)


Orientador(a) - Eloy Lemos de Mello

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)

Cascavel, 8 de fevereiro de 2017

BIOGRAFIA

Juliane Mônica Ruthes, nascida em 10/11/1989, natural de Ampére, Paraná. Graduada em Pedagogia (2013) pela Universidade Castelo Branco. Graduada em Engenharia Ambiental (2014) pela UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Francisco Beltrão. Atualmente, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela UNIOESTE – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

O mais alto de nós não é mais que um conhecedor
mais próximo do oco e do incerto de tudo.

Fernando Pessoa

Dedico este trabalho ao meu esposo Neimar A. Ruthes
por possibilitar que tudo isso fosse possível...

AGRADECIMENTOS

Ao orientador, Professor Dr. Eloy Lemos de Mello pelas orientações e correções, pela disponibilidade e auxílio.

À Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), *campus* Cascavel, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela disponibilização da bolsa de estudos.

À Agência Nacional de Águas (ANA) pela disponibilização dos dados fluviométricos.

Ao colega Fabrício Michel Denes, por toda ajuda prestada com os dados de vazão.

Ao meu esposo Neimar A. Ruthes pelo auxílio, apoio e incentivo constante e pela paciência nos momentos de estresse.

À minha família, pelo apoio e incentivo ao longo do curso.

Aos meus colegas, pelos momentos de descontração que me proporcionaram e ao apoio que me ofereceram.

Enfim, a todos os que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho e conclusão do curso de mestrado.

A CURVA DE PERMANÊNCIA E A DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA OUTORGA NO ESTADO DO PARANÁ

RESUMO

Um dos principais instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos é a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, que assegura o controle qualitativo e quantitativo da água e o direito de acesso à água pelos diferentes usuários. Os critérios de outorga são baseados nos indicadores de disponibilidade hídrica ou vazões de referência, cujas vazões de permanência Q_{90} e Q_{95} são as mais utilizadas pelos estados brasileiros. Para a construção das curvas de permanência de vazões, podem ser adotadas diferentes unidades de tempo, como as curvas de longo período, que utilizam toda a série histórica, as curvas de permanência anuais, criadas para cada ano do período de registro, as curvas de permanência mensais, elaboradas para cada mês da série histórica, ou as curvas de permanência sazonais, com base nas estações do ano. A unidade de tempo selecionada para a construção das curvas de permanência influenciará nos detalhes de variação das vazões. Por conseguinte, os objetivos do trabalho foram comparar as diferentes formas de elaboração da curva de permanência e observar seus efeitos sobre a disponibilidade de água para outorga no estado do Paraná. Foram consideradas estações fluviométricas distribuídas por toda a extensão do estado do Paraná. Para a observação das variações nas vazões de referência, foram elaboradas: a) curvas de permanência de longo período; b) curvas de permanência anuais, obtidas por um estimador de quantil não paramétrico, e construídos intervalos de confiança, para quantificação da incerteza associada a cada quantil estimado; c) as curvas de permanência mensais, elaboradas pelos meses equivalentes de toda série histórica. Com o desenvolvimento do trabalho, ficou clara a influência do período selecionado para a construção das curvas de permanência na disponibilidade hídrica para outorga. Os valores do critério de outorga são flexibilizados quando consideradas as variações interanual e sazonal das vazões.

Palavras-chave: vazão de referência, vazão de permanência, Q_{90} , Q_{95} , critérios de outorga.

THE FLOW DURATION CURVE AND WATER AVAILABILITY FOR GRANTING IN PARANA STATE

ABSTRACT

One of the main means from the National Water Resources Policy is the granting of rights to use water resources, which ensures the quantitative control of water and the right of accessing water by different users. The granting criteria are based on water availability indicators or reference flows, whose Q_{90} and Q_{95} duration flows are the most used ones by the Brazilian states. Thus, in order to draw flow duration curves, different time units can be adopted, such as the long period curves, which use the whole historical series; the annual flow duration curves created for each year of the recording period; the monthly flow duration curves, drawn for each month of the historical series; or the seasonal flow duration curves, based on the seasons. The unit of time, selected to draw the flow duration curves, will influence on details of flow variation. Therefore, this study aimed at comparing different ways of elaborating flow duration curve and observing its effects on water availability for granting in Parana state. Fluviometric stations were distributed throughout Parana state and, in order to observe the variations in reference flows, some were prepared: a) duration curves of long period; B) annual flow duration curves, obtained by a non-parametric quantile estimator, and confidence intervals were drawn to quantify the uncertainty associated with each estimated quantile; c) monthly flow duration curves, prepared by the equivalent months of the whole historical series. The influence of the selected period got clear to draw the duration curves as this trial was carried out in water availability for granting. And, granting criterion values are more flexible when the interannual and seasonal flows variations are considered.

Keywords: reference flow, permanence flow, Q_{90} , Q_{95} , granting criteria.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS.....	xiv
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Instrumentos de gestão de recursos hídricos	4
3.2 Critérios de outorga do direito de uso de recursos hídricos	5
3.3 Curva de permanência	8
REFERÊNCIAS	12
4 ARTIGOS.....	17
ARTIGO 1 INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE ANUAL NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA OUTORGA NO ESTADO DO PARANÁ	17
1 INTRODUÇÃO	19
2 METODOLOGIA	20
2.1 Área de estudo e disponibilidade de dados	20
2.2 Curva de permanência de longo período.....	21
2.3 Curva de permanência anual.....	22
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4 CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS	30
ARTIGO 2 INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE MENSAL NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA OUTORGA NO ESTADO DO PARANÁ	31
1 INTRODUÇÃO	33
2 METODOLOGIA	34
2.1 Área de estudo e disponibilidade de dados	34
2.2 Curva de permanência de longo período.....	35
2.3 Curva de permanência com base mensal.....	35
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36

3.1	Bacia do Iguaçu.....	37
3.2	Bacia do Ivaí.....	39
3.3	Bacia do Piquiri	40
3.4	Bacia do Tibagi.....	41
4	CONCLUSÕES	43
	REFERÊNCIAS	44
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
	APÊNDICE	46
	APÊNDICE A ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NESTE ESTUDO	47

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura 1	Localização das bacias hidrográficas e distribuição das estações fluviométricas no estado do Paraná.	21
Figura 2	Diferença percentual entre as Q_{95} anual e de longo período.....	25
Figura 3	a) Frequência de ocorrência e b) frequência acumulada das diferenças percentuais entre a Q_{95} anual ao longo período avaliado.....	26
Figura 4	Correlação entre a área de drenagem e as diferenças da Q_{95}	27
Figura 5	Amplitude dos intervalos de confiança comparado à vazão máxima outorgável no estado do Paraná: a) bacia Cinzas; b) Piquiri; c) Iguaçu; d) Ivaí; e) Tibagi.	28

ARTIGO 2

Figura 1	Localização das bacias hidrográficas e distribuição das estações fluviométricas.	34
Figura 2	Diferença média percentual por trimestre entre as vazões de permanência Q_{95} mensal e Q_{95} de longo período, na bacia do Iguaçu.	39
Figura 3	Diferença média percentual por trimestre entre as vazões de permanência Q_{95} mensal e Q_{95} de longo período na bacia do Ivaí.	40
Figura 4	Diferença média percentual por trimestre entre as vazões de permanência Q_{95} mensal e Q_{95} de longo período na bacia do Piquiri.	41
Figura 5	Diferença média percentual por trimestre entre as vazões de permanência Q_{95} mensal e Q_{95} de longo período na bacia do Tibagi.	42
Figura 6	Visualização espacial das diferenças percentuais para as estações no mês de fevereiro.	42
Figura 7	Visualização espacial das diferenças percentuais para as estações no mês de setembro.	43

LISTA DE TABELAS

ESTUDO GERAL

Tabela 1	Vazões máximas adotadas como critério de outorga pelos estados brasileiros ...	7
-----------------	--	---

ARTIGO 1

Tabela 1	Vazão de permanência de 95% para curvas anuais e de longo período, com intervalos de confiança	23
-----------------	--	----

ARTIGO 2

Tabela 1	Vazão Q_{95} de longo período e vazões Q_{95} mensais	38
-----------------	---	----

1 INTRODUÇÃO

Os usuários de recursos hídricos têm interesses distintos sobre o uso da água e direcionam sua atenção sobre uma atividade específica, como irrigação, abastecimento e saneamento, entre outros. Essa variedade de interesses, juntamente com a disparidade na distribuição da água, uso inadequado ou baixa qualidade dos recursos hídricos pode originar conflitos entre os usuários.

Um dos principais instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/97), a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, tem como objetivo assegurar o controle qualitativo e quantitativo da água e o direito de acesso pelos diferentes usuários das bacias hidrográficas. A outorga consiste em uma autorização, expedida pelo poder público outorgante, para o uso da água pelos diferentes usuários de uma bacia hidrográfica, por um período predefinido.

O maior número de outorgas concedidas é para os usos consuntivos da água, os quais demandam uma maior disponibilidade hídrica, uma vez que irão captar parte da vazão para o desenvolvimento das atividades dentro da bacia hidrográfica.

Sendo assim, é necessário o conhecimento da disponibilidade hídrica dos corpos d'água, pois somente uma parte da vazão estará disponível para ser utilizada pela sociedade e a outra deverá permanecer no curso d'água, para preservar o ecossistema aquático.

Para identificar a vazão disponível e empregá-la como critério de outorga de uso dos recursos hídricos são adotados indicadores de disponibilidade de água ou as chamadas vazões de referência: vazão mínima de sete dias contínuos associada ao tempo de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) e as vazões de permanência Q_{90} e Q_{95} , que se mantêm no corpo hídrico por um período de 90% a 95% do tempo.

Nos diferentes estados brasileiros são amplamente utilizadas as vazões de permanência $Q_{p\%}$, que são obtidas pelas curvas de permanência. Essas curvas representam graficamente a porcentagem de tempo em que determinadas vazões são iguais ou superadas em um período definido.

As curvas de permanência são elaboradas a partir de séries históricas de registros fluviométricos, baseadas nas vazões diárias, mensais ou anuais, arranjadas em ordem decrescente e definida a sua frequência de ocorrência dentro da série histórica.

Diferentes unidades de tempo podem ser adotadas para a construção das curvas de permanência de vazões: série histórica, para cada ano do período de registro das vazões; base mensal, utilizando os dados de cada mês de todo o período observado; e, curvas

sazonais, de acordo com as estações do ano, observando-se os períodos secos, úmidos e normais.

A escala de tempo adotada para a construção das curvas de permanência irá influenciar nos detalhes de variação dos fluxos e o período de tempo escolhido para a elaboração e irá depender da finalidade com a qual as curvas serão empregadas.

Destaca-se, portanto, a importância em se estudar as diferentes formas de elaboração da curva de permanência de vazões, utilizadas como critérios de outorga, para promover a flexibilização das vazões outorgáveis, sem restringir o uso da água para as diferentes atividades desenvolvidas e otimizar a gestão do uso dos recursos hídricos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Comparar diferentes formas de elaboração da curva de permanência e seus efeitos sobre a disponibilidade de água para outorga no estado do Paraná.

2.2 Objetivos específicos

- a) Observar as curvas de permanência obtidas pela frequência das vazões diárias;
- b) Analisar as curvas de permanência anuais associadas a intervalos de confiança;
- c) Verificar as curvas de permanência mensais e seu efeito sobre a sazonalidade.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Instrumentos de gestão de recursos hídricos

Em 8 de janeiro de 1997, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), por meio da Lei nº 9.433 (BRASIL, 1997). Dentre os fundamentos para a implantação da PNRH, a lei admite que a água é um bem de domínio público e, deste modo, a gestão deve proporcionar o uso múltiplo dos recursos hídricos, atendendo aos diversos interesses da sociedade.

Para atender aos múltiplos usos da água, amenizar os conflitos, melhorar a qualidade e aumentar a quantidade de água disponível, em seu Artigo 5º a referida lei estabelece como instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- I - os Planos de Recursos Hídricos;
- II - o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III - a outorga do direito de uso de recursos hídricos;
- IV - a cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- V - a compensação a municípios;
- VI - o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (BRASIL, 1997, p. 1).

Ainda segundo a essa lei, em seu Artigo 12, estão sujeitos a outorga pelo poder público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos:

- I - derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- II - extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- III - lançamento de esgotos em corpo de água e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- IV - aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- V - outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água (BRASIL, 1997, p. 1).

Os usos de recursos hídricos para o atendimento das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural, as derivações, captações e lançamentos ou as acumulações de volumes de água considerados insignificantes não dependem da outorga de uso dos recursos hídricos.

Considerando os diferentes usos dos recursos hídricos passíveis de outorga e visando à conservação do ecossistema aquático, por meio de uma vazão mínima remanescente, e o não comprometimento da qualidade dos corpos de água, são estabelecidos critérios para o estabelecimento de vazões máximas outorgáveis para essas atividades.

3.2 Critérios de outorga do direito de uso de recursos hídricos

Considerando uma bacia hidrográfica e sua vazão resultantes da precipitação e das suas características hidrogeomorfológicas, pode-se conceituar disponibilidade de recursos hídricos como sendo a parte dessa vazão que fica à disposição da população para o aproveitamento em diferentes usos, sem prejuízo dos sistemas aquáticos (CRUZ; TUCCI, 2008).

O volume disponível em um curso de água pode ser comprometido conforme a intensificação da utilização distinta dos recursos hídricos sujeitos à outorga. Para limitar o comprometimento do meio ambiente aquático e evitar o não atendimento das demandas do corpo hídrico são adotados indicadores de disponibilidade hídrica ou vazões de referência.

Os valores de referência mais utilizados para a indicação da disponibilidade de água são a $Q_{7,10}$, a Q_{90} e a Q_{95} . A vazão de referência $Q_{7,10}$ representa a vazão média mínima com duração de sete dias e período de retorno de 10 anos. A adoção de uma vazão mínima com duração de sete dias está relacionada ao fato de que a ocorrência de baixas vazões com vários dias de duração é mais importante economicamente e ambientalmente do que as vazões mínimas com um dia de duração. A duração de sete dias costuma abranger dias úteis e fins de semana (MENDES, 2007). A $Q_{7,10}$ aponta para um quadro de estado mínimo de vazão (TUCCI, 2002).

Os valores Q_{90} e Q_{95} representam a vazão mínima que um curso d'água mantém por 90% ou 95% do tempo, respectivamente. Chamadas de vazão de permanência, esses indicadores estão associados ao tempo em que uma determinada vazão permanece igualada ou excedida em um período predefinido. Por exemplo, a Q_{95} aponta que em 95% do tempo existe um valor de vazão igual ou maior em uma seção fluvial, ou seja, apenas em 5% do tempo há a possibilidade de ocorrência de vazões menores.

Essas vazões de referência são adotadas como critérios de outorga de uso dos recursos hídricos e possibilitarão estabelecer os valores das vazões máximas que poderão ser utilizadas em um curso de água (CRUZ; SILVEIRA, 2007). Essas informações de vazão são importantes não só para o processo de outorga, como também para o enquadramento dos corpos de água e para a cobrança do uso de recursos hídricos (CRUZ; TUCCI, 2008).

Em âmbito nacional, o estabelecimento dos critérios gerais para a outorga de direitos de uso de recursos hídricos e para a cobrança por seu uso, compete ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos, conforme reza o inciso X do Art. 35 da Lei Federal nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997). Usualmente, a Agência Nacional de Águas utiliza como vazão de referência

a Q_{95} , por considerar essa uma vazão mínima tolerável para o atendimento dos diversos usuários (ANA, 2013).

No estado do Paraná, no estabelecimento dos critérios para outorga do direito de uso de recursos hídricos são observadas as finalidades da captação e o uso ao qual será destinado o recurso hídrico.

De acordo com a Lei Nº. 12.726/99, nos incisos VI e VIII do Artigo 38, compete ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos: “estabelecer critérios e normas gerais para a outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos” e “aprovar a proposição da probabilidade associada à vazão outorgável [...]”(PARANÁ, 1999, p. 2).

Essa proposição feita ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Paraná, dos critérios e normas gerais para a outorga e a probabilidade associada à vazão outorgável é atribuída aos Comitês de Bacia Hidrográfica, conforme definido nos incisos V e VII, Art. 40 da Lei Nº. 12.726/99 (PARANÁ, 1999, p. 2).

De acordo com Decreto nº 4.646/2001, no parágrafo único do art. 20, o estabelecimento dos critérios de outorga será matéria do Manual Técnico de Outorgas (PARANÁ, 2001). No estado do Paraná adotou-se, como limite máximo outorgável, a parcela de 50% da vazão de permanência Q_{95} , para os usos com captação de água superficial e subterrânea. (SUDERHSA, 2006).

Cada estado admite uma vazão de referência e fixa um percentual máximo sobre a vazão adotada para outorga de usos consuntivos, sendo a vazão remanescente a finalidade de preservação do meio aquático (MENDES, 2007).

Nem todos os estados apresentam uma legalização dos critérios de outorga, porém alguns são mais específicos quanto às vazões máximas outorgáveis para águas superficiais, vazões regularizadas e para usuários individuais. Esses critérios, estabelecidos pelos estados brasileiros em sua legislação sobre recursos hídricos, estão apresentados na Tabela 1.

Os estados brasileiros adotam diferentes critérios de outorga, porém, independentemente da vazão de referência optada ($Q_{7,10}$ ou $Q_{p\%}$), não há esclarecimentos quanto à adoção dos percentis para as vazões máximas outorgáveis (CRUZ, 2001).

Observa-se, ainda, que os estados utilizam mais amplamente as vazões de permanência $Q_{p\%}$ como critério de outorga, ficando a $Q_{7,10}$ restrita aos quatro estados da região sudeste do país. A adoção da $Q_{7,10}$ como critério de outorga limita os usuários da bacia, porquanto, na maior parte do tempo, a disponibilidade hídrica da seção fluvial é maior do que os valores expressos pela $Q_{7,10}$ (MENDES, 2007).

Por outro lado, as vazões de permanência $Q_{p\%}$, obtidas por meio de todo o período da série histórica, não consideram as variações ocorridas ao longo dos meses do ano, entretanto, não representam valores tão restritivos para o uso dos recursos hídricos, quando comparadas com a vazão $Q_{7,10}$ (CRUZ; TUCCI, 2008).

Tabela 1 Vazões máximas adotadas como critério de outorga pelos estados brasileiros

UF	ÓRGÃO OUTORGANTE	LEGISLAÇÃO ESPECÍFICA PARA OUTORGA	VAZÃO MÁXIMA OUTORGÁVEL	REFERÊNCIA
AC	IMAC	Plano Estadual de Recursos Hídricos do Acre/12	70% da Q ₉₅	(ACRE, 2012)
AL	SEMARH	Decreto Estadual nº 06/01	Q ₉₀	(ALAGOAS, 2001)
AM	IPAAM	Não há	Não há	
AP	SEMA	Não há	Não há	
BA	SRH	Decreto Estadual nº 6.296/97	80% da Q ₉₀	(BAHIA, 1997)
CE	COGERH	Decreto Estadual nº 23.067/94	90% da Q ₉₀	(CEARÁ, 1994)
DF	ADASA	Resolução ADASA nº 350/06	80% da Q _{7,10} ou da Q ₉₀	(ADASA, 2006)
ES	SEAMA	Instrução Normativa nº 019/05	50% da Q _{7,10} ou 50% da Q ₉₀	(IEMA, 2005)
GO	SEMARH	Resolução nº 009/05	50% da Q ₉₅	(GOIÁS, 2012)
MA	SEMA	Decreto Estadual nº 27.845/11	20% da Q ₉₀	(MARANHÃO, 2011)
MG	IGAM	Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548/12	30% da Q _{7,10}	(MINAS GERAIS, 2012)
MS	IMASUL	Resolução Estadual nº 025/15	70% da Q ₉₅	(MATO GROSSO DO SUL, 2015)
MT	SEMA	Resolução Estadual nº 027/09	70% da Q ₉₅	(MATO GROSSO, 2009)
PA	SEMA	Resolução Estadual nº 010/10	70% da Q ₉₅	(PARÁ, 2010)
PB	AAGISA	Decreto Estadual nº 19.260/97	90% da Q ₉₀	(PARAÍBA, 1997)
PE	APAC	Não há	Não há	
PI	SEMAR	Resolução Estadual nº 004/05	80% da Q ₉₀ e 80% da Q ₉₅	(PIAUÍ, 2015)
PR	IPAGUAS	Decreto nº 4.646/01; Manual Técnico de Outorgas/06	50% da Q ₉₅	(PARANÁ, 2001); (SUDERHSA, 2006)
RJ	SERLA	Portaria SERLA nº 567/07	50% da Q _{7,10}	(SERLA, 2007)
RN	SERHID	Decreto Estadual nº 13.283/97	90% da Q ₉₀	(RIO GRANDE DO NORTE, 1997)
RO	SEDAM	Não há	Não há	
RR	FEMARH	Decreto nº 8.123/07	90% da Q _{7,10} ou 90% da Q ₉₀	(RORAIMA, 2007)
RS	SEMA	Planos de bacias	Varia entre bacias	
SC	SDS	Portaria SDS nº 036/08; Portaria SDS nº 051/08	50% da Q ₉₈	(SANTA CATARINA, 2008a); (SANTA CATARINA, 2008b)
SE	SEPLANTEC	Resolução Estadual nº 01/2001	90% da Q ₉₀	(SERGIPE, 2001)
SP	DAEE	Lei nº 9.034/94; Instrução Técnica DPO nº 05/11	50% da Q _{7,10}	(SÃO PAULO, 1994); (SÃO PAULO, 2011)
TO	NATURATINS	Decreto Estadual nº 2.432/05	75% da Q ₉₀	(TOCANTINS, 2005)

3.3 Curva de permanência

A permanência das vazões é representada por curvas de duração ou curvas de permanência, em que essas vazões, posicionadas no eixo das ordenadas, são associadas aos valores de probabilidade, dispostos ao longo do eixo das abscissas (CRUZ; TUCCI, 2008).

A curva de permanência é uma curva de frequência cumulativa que mostra a porcentagem do tempo em que determinadas vazões são igualadas ou superadas em um período definido (SEARCY, 1959).

Voguel e Fennessey (1994) conceituam a curva de permanência como a representação da relação entre a magnitude e a frequência da vazão, em um intervalo de tempo definido, para uma bacia hidrográfica qualquer, fornecendo uma estimativa da porcentagem de tempo em que determinada vazão é igualada ou ultrapassada ao longo de um período histórico.

A curva de permanência é bastante utilizada na gestão dos recursos hídricos, com diferentes enfoques e aplicações diversas, como em estudos sobre o comportamento hídrico em florestas (PINHEIRO; ROSA, 2010), na avaliação do impacto da mudança na cobertura florestal (BROWN et al., 2013), no impacto hidrológico sobre florestamentos (LANE et al., 2005), na calibração de modelos hidrológicos (PINHEIRO; NAGHETTINI, 2010), na comparação entre a curva de permanência e o modelo hidrológico na predição de escoamentos (ZHANG et al., 2015), na otimização de sistemas hidrelétricos (VINAGRE et al., 2016), em estudos de qualidade da água, visando o enquadramento dos corpos d'água (CUNHA et al., 2012; CALMON et al., 2016), na obtenção de dados hidrogeomorfológicos em bacias hidrográficas (PEREIRA et al., 2014) e na avaliação de incertezas nas estimativas das vazões de referência (GARBOSSA; PINHEIRO, 2015).

Em relação às bacias hidrográficas sem dados de vazão, a curva de permanência é amplamente utilizada para a definição de novos modelos e abordagens de regionalização de curvas de permanência de vazões (LI et al., 2010; PESSOA; BLANCO; MARTINS, 2011; COSTA; FERNANDES; NAGHETTINI, 2012; WOLFF; DUARTE; MINGOTI, 2014; YOUNIS; HASAN, 2014; PUMO et al., 2014), na validação de diferentes métodos de regionalização de vazões (CASTELLARIN et al., 2004; CASTELLARIN; CAMORANI; BRATH, 2007) e na proposta de novos modelos de predição da curva de permanência, com potencial para regionalização (BOOKER; SNELDER, 2012; PUMO; NOTO; VIOLA, 2013).

A curva de permanência se apresenta como um recurso propício para o estudo das características de escoamento em cursos d'água e, também, para a comparação entre

bacias hidrográficas, uma vez que, as vazões representam as características da bacia como clima, topografia e geologia (SEARCY, 1959).

Assim, as curvas de permanência fornecem as vazões para diferentes magnitudes, apresentam o regime de vazões e mostram, graficamente, a variabilidade histórica das vazões, descrevendo o comportamento de cada bacia hidrográfica (PUMO et al., 2014).

Cada valor de vazão Q tem uma correspondente probabilidade de excedência p ; a curva de duração é simplesmente uma representação de Qp , ou seja, do percentual de vazão diária *versus* a probabilidade de excedência p (VOGEL; FENNESSEY, 1994).

Estes dados de vazão são correlacionados em série e não de maneira independente, sendo assim, não há um ajuste de distribuição de probabilidade aos dados (GORDON et al., 2004). Portanto, partindo de séries históricas de registros fluviométricos, as curvas de duração podem ser criadas a partir de vazões diárias, mensais ou anuais, organizadas de acordo com a magnitude e a porcentagem de tempo durante o qual o fluxo seja igual ou superior aos valores indicados, ou seja, os dados devem ser arranjados em ordem decrescente e definida a sua frequência dentro da série histórica (SEARCY, 1959).

Para a obtenção da curva de permanência pode ser seguida diferentes metodologias:

a) Função empírica

Neste método, a série histórica de vazões é classificada de maneira que as vazões $q_{(i)}$ produzirão um conjunto de vazões ordenadas, com $i = 1, 2, \dots, n$, sendo n o número total das vazões observadas. Assim, $q_{(1)}$ apresentará o maior valor de vazão e $Q_{(N)}$ o menor valor. Cada valor de vazão ordenado $q_{(i)}$ estará associado à uma probabilidade de excedência $p_{(i)}$, obtido por uma função de probabilidade acumulada de vazões $F_{Q(q_i)}$, correspondente à posição de plotagem de Weibull. Uma vez organizados esses dados, a curva de permanência é plotada com os valores de vazão e sua probabilidade de ocorrência.

b) Classes de frequência

Deve ser adotada uma série histórica com dados de vazões diárias, em seguida, define-se um número desejado de intervalos de classes das vazões diárias. Considerando-se a variação das vazões, os intervalos de classes são calculados em escala logarítmica.

Os números de vazão, dentro de cada intervalo i (Nq_i), são definidos baseando-se no número total de vazões da série histórica selecionada (NT), obtendo-se a frequência de cada intervalo de classe ($f_i(\%)$). Para cada intervalo de classes são calculados limites inferior e superior.

Por fim, a curva de permanência é gerada pela plotagem dos intervalos de classes das vazões, com limites inferiores e superiores e pela frequência desses intervalos.

As curvas de permanência construídas com base em toda a série histórica, são chamadas de curva de permanência de longo período e as curvas preparadas para cada ano são definidas como curvas de permanência anuais (PINHEIRO; NAGHETTINI, 2010).

Além dessas, pode-se elaborar curvas de permanência com base mensal, utilizando-se os dados de cada mês de todo o período de registro. Ou, ainda, as curvas podem ser construídas de acordo com as estações do ano, observando-se os períodos secos, úmidos e normais.

A unidade de tempo adotada para a construção das curvas de permanência irá influenciar nos detalhes de variação dos fluxos, ou seja, curvas diárias representarão melhor as variações das vazões do que curvas mensais ou anuais, principalmente nas extremidades, que são suavizadas pela média (GORDON et al., 2004). O período de tempo optado para a elaboração, irá depender da finalidade com a qual as curvas serão empregadas.

Buscando-se observar o efeito da sazonalidade nas vazões, Cruz e Tucci (2008) elaboraram a curva de permanência com base em todo o período da série histórica e compararam com curvas de permanência obtidas para o período anual. As vazões anuais com permanências acima de 40% foram quase sempre superiores às vazões de longo período, pois as curvas anuais são mais representativas. Os autores afirmam que o método de cálculo das vazões de referência com base anual é promissor para o processo de gestão dos recursos hídricos e para o estabelecimento de critérios de outorga, pois não restringe o uso da água para diferentes atividades socioeconômicas.

Com o objetivo de analisar a influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água em uma bacia em Minas Gerais, os pesquisadores Silva, Silva e Moreira (2014), além de definirem a vazão de referência $Q_{7,10}$, elaboraram curvas de permanência com bases nos quadrimestres seco, normal e chuvoso e nos semestres seco e chuvoso. Os autores observaram que as vazões Q_{90} e Q_{95} apresentaram valores maiores nos quadrimestres normal e chuvoso e no semestre chuvoso, diferindo dos valores obtidos pela curva de permanência anual. Os autores concluíram que o uso de critérios baseados no comportamento hídrico sazonal propicia a flexibilização nas vazões outorgáveis.

Para verificar a influência da sazonalidade sobre a disponibilidade de água para outorga, em uma bacia no Mato Grosso do Sul, Falco et al. (2015) geraram a curva de permanência de toda série histórica e curvas de permanência mensais e observaram a Q_{95} , utilizada como vazão de referência no Estado. Enquanto que a Q_{95} , estimada para todo o período de registro, mantém-se constante, fica evidente a sazonalidade, quando observada a Q_{95} para os diferentes meses, em que existe decréscimo na vazão nos meses de estiagem e aumento significativo nos meses chuvosos. Os autores destacam que a estimativa da curva de permanência de longo período superestima a disponibilidade de água nos meses

secos e subestima nos meses úmidos, limitando os usuários que possuem outorga para o uso dos recursos hídricos, não só na bacia, mas em todo o Estado.

Para observar efeitos de séries hidrológicas não estacionárias na disponibilidade de água para outorga de uso dos recursos hídricos, Detzel, Fernandes e Mine (2016) construíram curvas de permanência anuais e mensais em seis estações fluviométricas para diferentes períodos da série histórica. Os autores constataram que em quatro estações os valores da vazão Q_{95} se apresentam maiores, após o período de 1969, confirmando a variação da disponibilidade hídrica para dados não estacionários. Além disso, observaram diferença entre a curva de longo período e as curvas anuais antes e depois de 1969. Para as curvas sazonais, os autores verificaram a variação na disponibilidade de água para os meses de janeiro e julho, para o período anterior e posterior a 1969, evidenciando a importância da sazonalidade na elaboração das curvas de permanência.

Com base nos estudos observados, a melhor opção, visando à utilização adequada dos recursos hídricos, de acordo com a disponibilidade de água, seria a utilização de critérios baseados na vazão mensal e sazonais, que permitiriam uma melhor gestão do uso da água (BOF et al., 2013).

REFERÊNCIAS

ACRE. **Plano estadual de recursos hídricos**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Rio Branco: SEMA, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2013.

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS E SANEAMENTO DO DISTRITO FEDERAL - ADASA. **Resolução no 350**, de 3 de junho de 2006. Estabelece os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga do direito de uso dos recursos hídricos em corpos de água de domínio do Distrito Federal e em corpos de água delegados pela União e Estados Brasília: ADASA, 2006.

ALAGOAS. **Decreto nº 6, de 23 de janeiro de 2001**. Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos prevista na Lei nº 5.965 de 10 de novembro de 1997, que dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos, institui o sistema estadual de gerenciamento integrado de recursos hídricos e dá outras providências. Maceió: Governo do Estado de Alagoas, 2001.

BAHIA. **Decreto nº 6.296**, de 21 de março de 1997. Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos, infração e penalidades e dá outras providências. Salvador: Governo do Estado da Bahia, 1997.

BOF, L. H. N.; PRUSKI, F. F.; SILVA, L. M. C.; JUSTINO, F. Analysis of Appropriate Timescales for Water Diversion Permits in Brazil. **Environmental Management**, New York, v. 51, p. 492-500, 2013.

BOOKER, D. J.; SNELDER, T. H. Comparing methods for estimating flow duration curves at ungauged sites. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 434-435, p. 78–94, 2012.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Brasília, Seção 1, p. 470. 1997.

BROWN, A. E.; WESTERN, A. W.; MCMAHON, T. A.; ZHANG, L. Impact of forest cover changes on annual streamflow and flow duration curves. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 483, p. 39-50, 2013.

CALMON, P. A. S.; SOUZA, J. C.; REIS, J. A. T.; MENDONÇA, A. S. F. Uso combinado de curvas de permanência de qualidade e modelagem da autodepuração como ferramenta para suporte ao processo de enquadramento de cursos d' água superficiais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 118-133, 2016.

CASTELLARIN, A.; GALEATI, G.; BRANDIMARTE, L.; MONTANARI, A.; BRATH, A. Regional flow-duration curves: reliability for ungauged basins. **Advances in Water Resources**, Southampton, v. 27, n. 10, p. 953–965, 2004.

CASTELLARIN, A.; CAMORANI, G.; BRATH, A. Predicting annual and long-term flow-duration curves in ungauged basins. **Advances in Water Resources**, Southampton v. 30, p. 937–953, 2007.

CEARÁ. **Decreto nº 23.067**, de 11 de fevereiro de 1994. Regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos e cria o Sistema de Outorga para Uso da Água. Fortaleza: Governo do Estado do Ceará, 1994.

COSTA, V. A. F.; FERNANDES, W.; NAGHETTINI, M. Modelos regionais para curvas de permanência de vazões de rios perenes, intermitentes e efêmeros, com emprego da distribuição burr XII estendida. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 171-180, 2012.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais**. 2001. 189 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

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.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 111-124, 2008.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C.; MENDIONDO, E. M. Integração entre curvas de permanência de quantidade e qualidade da água como uma ferramenta para a gestão eficientados recursos hídricos. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 4, p. 369–376, 2012.

DETZEL, D. H. M.; FERNANDES, C. V. S.; MINE, M. R. M. Nonstationarity in determining flow-duration curves aiming water resources permits. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 80–87, 2016.

FALCO, A. L.; IDE, C. N.; ALMEIDA, I. K.; RIBEIRO, M. L.; IDE, W. R. Disponibilidade hídrica para outorga: influência da sazonalidade. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21, 2015, Brasília. **Anais...** Brasília: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015. p. 1-7.

FUNDAÇÃO SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DE RIOS E LAGOAS - SERLA. **Portaria nº 567**, de 7 de maio de 2007. Estabelece critérios gerais e procedimentos técnicos e administrativos para cadastro requerimento e emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos de domínio do estado do Rio de Janeiro e dá outras providências: Rio de Janeiro SERLA, 2007.

GARBOSSA, L. H. P.; PINHEIRO, A. Vazões de referência para gestão de bacias hidrográficas rurais e urbanas sem monitoramento. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v.12, n.1, p.43–52, 2015.

GOIÁS. Secretaria Estadual do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Superintendência de Recursos Hídricos. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Legislação de recursos hídricos do estado de Goiás**. 1. ed. Goiânia: SEMARH; SRH; Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 2012.

GORDON, N. D.; MCMAHON, T. A.; FINLAYSON, B. L.; GIPPEL, C. J.; NATHAN, R. J. **Stream hydrology: an introduction for ecologists**. 2. ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd,

2004.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS - IEMA. **Instrução normativa nº 19**, de 4 de outubro de 2005. Estabelece procedimentos administrativos e critérios técnicos referentes à outorga de direito de uso de recursos hídricos em corpos de água do domínio do Estado do Espírito Santo. Cariacica, ES: IEMA, 2005.

LANE, P. N. J.; BEST, A. E.; HICKEL, K.; ZHANG, L. The response of flow duration curves to afforestation. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.310, n.1-4, p.253–265, 2005.

LI, M.; SHAO, Q.; ZHANG, L.; CHIEW, F. H. S. A new regionalization approach and its application to predict flow duration curve in ungauged basins. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 389, n. 1-2, p. 137–145, 2010.

MARANHÃO. **Decreto nº 27.845**, de 18 de novembro de 2011. Regulamenta a Lei nº 8.149, de 15 de junho de 2004, que institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, com relação às águas superficiais, e dá outras providências. São Luís: Governo do Estado do Maranhão, 2011.

MATO GROSSO. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Resolução nº 27**, de 9 de julho de 2009. Estabelece os critérios técnicos a serem aplicados nas análises dos pedidos de outorga de captação superficial, quanto à disponibilidade hídrica, ao uso racional da água e à garantia de seus usos múltiplos. Cuiabá: CEHIDRO, 2009.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Resolução nº 25**, de 3 de março de 2015. Estabelece critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos. Campo Grande: CERH, 2015.

MENDES, L. A. **Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência**. 2007. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo.

MINAS GERAIS. Secretário de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Instituto Mineiro de Gestão de Águas. **Resolução Conjunta SEMAD-IGAM no 1548**, de 29 de março de 2012. Dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado. Belo Horizonte: Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; Instituto Mineiro de Gestão de Águas, 2012.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Resolução nº 10**, de 3 de setembro de 2010. Dispõe sobre os critérios para análise de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos e dá outras providências. Belém: CERH, 2010.

PARAÍBA. **Decreto nº 19.260**, de 31 de outubro de 1997. Regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos e dá outras providências. João Pessoa: Governo do Estado da Paraíba, 1997.

PARANÁ. Decreto no 4.646, de 31 de agosto de 2001. Dispõe sobre o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos e adota outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Curitiba, n. 6062, 31 de agosto de 2001.

PARANÁ. Lei nº 12.726, de 26 de novembro de 1999. Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos e adota outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Curitiba, n. 5628, 29 de novembro de 1999.

PEREIRA, M. A. F.; KOBIYAMA, M.; CASTRO, N. M. R. Relação da curva chave e curva de permanência na geometria hidráulica: estudo de caso da estação fluviométrica da bacia do Taboão - RS. **Revista Geonorte**, Manaus, v.10, n.1, p.453–457, 2014.

PESSOA, F. C. L.; BLANCO, C. J. C.; MARTINS, J. R. Regionalização de Curvas de Permanência de Vazões da Região da Calha Norte no Estado do Pará. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 65-74, 2011.

PIAUÍ. Secretaria do Meio Ambiente e de Recursos Hídricos do Estado do Piauí. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Legislação de recursos hídricos do estado do Piauí**. Resoluções do Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERH/SEMAR.4. ed. Terezina: SEMAR, 2015.

PINHEIRO, A.; ROSA, A. S. Comportamento hidrológico em bacias com floresta nativa e implantada no município de Caçador, SC. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 81-87, 2010.

PINHEIRO, V. B.; NAGHETTINI, M. Calibração de um modelo chuva-vazão em bacias sem monitoramento fluviométrico a partir de curvas de permanência sintéticas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 15, n. 2, p. 143-156, 2010.

PUMO, D.; NOTO, L. V.; VIOLA, F. Ecohydrological modelling of flow duration curve in Mediterranean river basins. **Advances in Water Resources**, Southampton, v. 52, p. 314–327, 2013.

PUMO, D.; VIOLA, F.; LA LOGGIA, G.; NOTO, L. V. Annual flow duration curves assessment in ephemeral small basins. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 519, n. PA, p. 258–270, 2014.

RIO GRANDE DO NORTE. **Decreto nº 13.283**, de 22 de março de 1997. Regulamenta os incisos III do art. 4º da Lei nº 6.908, de 01 de julho de 1996, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Natal: Governo do Estado do Rio Grande do Norte, 1997.

RORAIMA. **Decreto nº 8.123**, de 12 de julho de 2007. Regulamenta o inciso III, do artigo 4º, bem como os artigos 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77 e 78 da Lei n.º 547, de 23 de junho de 2006, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos”. **Diário Oficial do Estado de Roraima**, Boa Vista, N. 617 p. 4–9, 12 de julho de 2007.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado e Desenvolvimento Econômico Sustentável. Portaria SDS nº 36, de 29 de julho de 2008. Estabelece os critérios de natureza técnica para outorga de direito de uso de recursos hídricos para captação de água superficial, em rios de domínio do Estado de Santa Catarina e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Florianópolis, n. 18.414, 31 de julho de 2008a.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado e Desenvolvimento Econômico Sustentável. Portaria SDS nº 51, de 2 de outubro de 2008. Altera a Portaria SDS nº 36, de 29 de julho de 2008. **Diário Oficial do Estado**, Florianópolis, n. 18.462, de 7 de outubro de 2008b.

SÃO PAULO. Lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994. Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, a ser implantado no período 1994 e 1995, em conformidade com a Lei 7663, de 30/12/91, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. **Diário Oficial. Estado de São Paulo**, São Paulo, v. 104, n. 241, p. 3-6, 28 de dezembro de 1994.

SÃO PAULO. Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos; Departamento de Águas e Energia Elétrica. Diretoria de Procedimentos de Outorga e Fiscalização. **Instrução Técnica DPO Nº 5**, de 10 de novembro de 2011. Outorga de aproveitamentos hidrelétricos. São Paulo: DAEE, 2011.

SEARCY, J. K. Flow-duration curves. *In*: _____. Manual of Hydrology: Part 2. Low-flow techniques - **Geological Survey Water-Supply. Paper 1542-A**, Methods and practices of the geological survey. United States Department of the Interior, 1959.

SERGIPE. Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CONERH. **Resolução nº 01**, de 19 de abril de 2001. Dispõe sobre Critérios para a Outorga de Uso de Recursos Hídricos. Aracaju: CONERH/SE, 2001.

SILVA, B. M. B.; SILVA, D. D.; MOREIRA, M. C. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. **Revista Ambiente e Agua**, Taubaté, v. 10, n. 3, p. 623–634, 2014.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL - SUDERHSA. **Manual técnico de outorgas**. Curitiba: SUDERHSA, 2006.

TOCANTINS. Secretário de Estado do Planejamento e Meio Ambiente. Decreto nº 2.432, de 6 de junho de 2005. Regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos de que dispõem os artigos 8º, 9º e 10 da Lei 13.07, de 22 de março de 2002. **Diário Oficial do Estado do Tocantins**, Palmas, n. 1935, 7 de junho 2005.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 3 ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2002.

VINAGRE, M. V. A.; BLANCO, C. J. C.; MESQUITA, A. L. A.; LIMA, A. C. M.; BELLO, L. A. L. Otimização do uso de turbinas axiais em pequenas centrais hidrelétricas da amazônia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 1, p. 88–98, 2016.

VOGEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. Flow Duration curves. I: new interpretation and confidence intervals. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 120, n. 4, p. 485–504, 1994.

WOLFF, W.; DUARTE, S. N.; MINGOTI, R. Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 21–33, 2014.

YOUNIS, A. M.; HASAN, I. F. Prediction of flow duration curve for seasonal rivers in Iraq. **Jordan Journal of Civil Engineering**, Irbid, v. 8, n. 1, p. 29–42, 2014.

ZHANG, Y.; VAZE, J.; CHIEW, F. H. S.; LI, M. Comparing flow duration curve and rainfall–runoff modelling for predicting daily runoff in ungauged catchments. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 525, p. 72–86, 2015.

4 ARTIGOS

ARTIGO 1 INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE ANUAL NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA OUTORGA NO ESTADO DO PARANÁ

RESUMO

O conhecimento da disponibilidade hídrica dos corpos d'água é imprescindível para a implementação do instrumento de outorga de uso de recursos hídricos. Porém, na quantificação da disponibilidade hídrica, é necessário considerar as variações temporais associadas às vazões. As vazões de permanência são comumente utilizadas como critério de outorga, no entanto, as permanências definidas por um período histórico de vazões não irão apresentar as variações interanuais. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar variação interanual sobre a disponibilidade hídrica para outorga no estado do Paraná, pela comparação entre a vazão de referência atual utilizada no Estado, 50% da Q_{95} , obtida pela curva de permanência de longo período e a vazão de referência com base anual, associadas a intervalos de confiança. Para observar se houve influência sobre a disponibilidade hídrica, foram elaboradas as curvas de permanência de longo período, pelo método empírico. As curvas de permanência anuais foram construídas pelo método não paramétrico, em que a mediana associada a cada probabilidade de excedência representa o comportamento anual das vazões. Foram elaborados intervalos de confiança de 90% para quantificação da incerteza associada às curvas anuais. Para todas as estações estudadas houve flexibilização nos valores de vazão para outorga com a adoção da Q_{95} anual. A disponibilidade hídrica encontrada pelo método anual é, em média, 48% maior que os valores de vazão disponíveis calculados para um longo período de dados. As vazões máximas outorgáveis no Estado estão próximas ao intervalo inferior da curva anual, indicando comportamento semelhante aos anos de estiagem. Logo, a disponibilidade hídrica para outorga é potencializada quando as vazões são definidas pelas curvas de permanência anuais em detrimento às de longo período.

Palavras-chave: curva de permanência anual, vazão de permanência, vazão de referência

**PAPER 1 INFLUENCE OF THE ANNUAL VARIABILITY ON WATER AVAILABILITY
FOR GRANTING IN PARANÁ STATE**

ABSTRACT

Knowledge of water availability regarding water bodies is essential to implement an instrument regarding the use of water-resource granting. However, it is necessary to consider temporal variations associated to the flows in order to quantify water availability. Duration flows are commonly used as a granting criterion, however, since durations defined by a historical period of flows are not going to present the interannual variations. Thus, this study aimed at evaluating interannual variation on water availability to Paraná State granting, by comparing the reference flow used in Paraná nowadays, 50% of Q_{95} , obtained by the long-term flow duration curve and annual reference flow, associated with confidence intervals. Long-term curves were prepared by the empirical method in order to observe if there was any influence on water availability. As annual flow duration curves were drawn based on the non-parametric method, where a median associated with each exceedance probability represents the annual behavior of flows. So, in order to quantify the associated uncertainty to annual curves, 90%-confidence intervals were prepared. For all the studied stations, there was flexibilization on flow values for granting and adoption of the annual Q_{95} . Water availability, obtained by the annual method is, on average, 48% higher than the available flow values calculated for a long period of data. The maximum grantable outflows in Paraná are very close to the lower annual curve range, indicating a similar behavior to the ones in drought years. Thus, water availability for granting is enhanced when flow rates are defined by annual duration curves rather than long-term ones.

Keywords: annual flow duration curve, duration flow, reference flow

1 INTRODUÇÃO

Para a implementação do instrumento de outorga de uso dos recursos hídricos é necessária a definição da disponibilidade hídrica dos corpos d'água, que são empregados, como vazão de referência para a outorga (CRUZ; SILVEIRA, 2007).

Para Almeida e Curi (2016), a adoção de uma vazão como critério para outorga pode restringir a ampliação do uso pelos diferentes usuários, pois, em muitos casos, a disponibilidade é maior do que a vazão de referência. Sendo assim, é imprescindível a consideração da variação interanual, já que implica anos com maior ou menor disponibilidade de água.

A quantificação da disponibilidade hídrica, usualmente, é definida por indicadores de probabilidade, dentre os quais se encontra a vazão de permanência, associadas à probabilidade de excedência das vazões e obtidas por meio das curvas de permanência.

Em geral, as curvas de permanência são construídas com base em observações empíricas, dependendo do período completo de dados, sendo que a análise das excedências da vazão é realizada segundo uma abordagem probabilística (PUMO et al., 2014). Entretanto, um longo período de registro das vazões é sensível aos extremos hidrológicos, como períodos de seca extrema ou de grande precipitação e ainda não fornecem informações sobre a variabilidade anual das curvas ou a incerteza da curva estimada com base em um determinado comprimento de registro de vazões (WMO, 2008).

Nesse sentido, Vogel e Fennessey (1994) sugeriram um método não paramétrico para a construção de curvas de permanência individuais para cada ano, possibilitando calcular a vazão mediana associada à cada probabilidade de excedência. As curvas anuais representam a probabilidade de a vazão ser excedida em um ano típico, indicando serem menos sensíveis ao tamanho do período de registro das vazões, em particular na área das vazões mínimas (SMAKHTIN, 2001).

Além disso, essa abordagem permite a construção de intervalos de confiança para avaliar a incerteza associada às curvas. Esses intervalos representam a variabilidade das vazões de permanência para cada ano, isto é, a probabilidade de que em um ano qualquer a vazão de permanência esteja dentro desse intervalo (VOGEL; FENNESSEY, 1994). Com isso, há a possibilidade de os gestores de recursos hídricos estabelecerem um risco de a disponibilidade hídrica ser diferente da vazão outorgada (CRUZ, 2001).

Cruz e Tucci (2008) utilizaram o método das curvas anuais com intervalos de confiança e compararam com a curva de longo período e observaram que as vazões anuais com permanência maior que 40% foram, quase sempre, superiores às vazões de longo período. Os autores afirmam que o método de cálculo das vazões de referência com base

anual é promissor para o processo de gestão dos recursos hídricos e para o estabelecimento de critérios de outorga, pois não restringe o uso da água para diferentes atividades socioeconômicas.

Em vista disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a variação interanual na disponibilidade hídrica para outorga em bacias hidrográficas no estado do Paraná, por meio da comparação entre a vazão de referência atual, 50% da Q_{95} , obtida pela curva de permanência de longo período e a vazão de referência com base anual, associadas à intervalos de confiança.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo e disponibilidade de dados

O estudo de caso abrange 11 bacias hidrográficas, em toda a extensão do estado do Paraná (Brasil), com área de 199.554 km². Foram utilizados dados de vazão diária de 79 estações fluviométricas, com área de drenagem inclusa no estado do Paraná, com no mínimo 20 anos de registros e sem falhas ao longo dos anos. Em média, o período de dados de vazão é de 37 anos, variando de 20 a 75 anos de dados. Na Figura 1 estão apresentadas as estações fluviométricas ao longo das 11 bacias hidrográficas. Os dados das estações estão no Apêndice A. As informações sobre a vazão das estações fluviométricas foram obtidas na página *online* oficial da Agência Nacional das Águas (ANA), disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas HidroWeb.

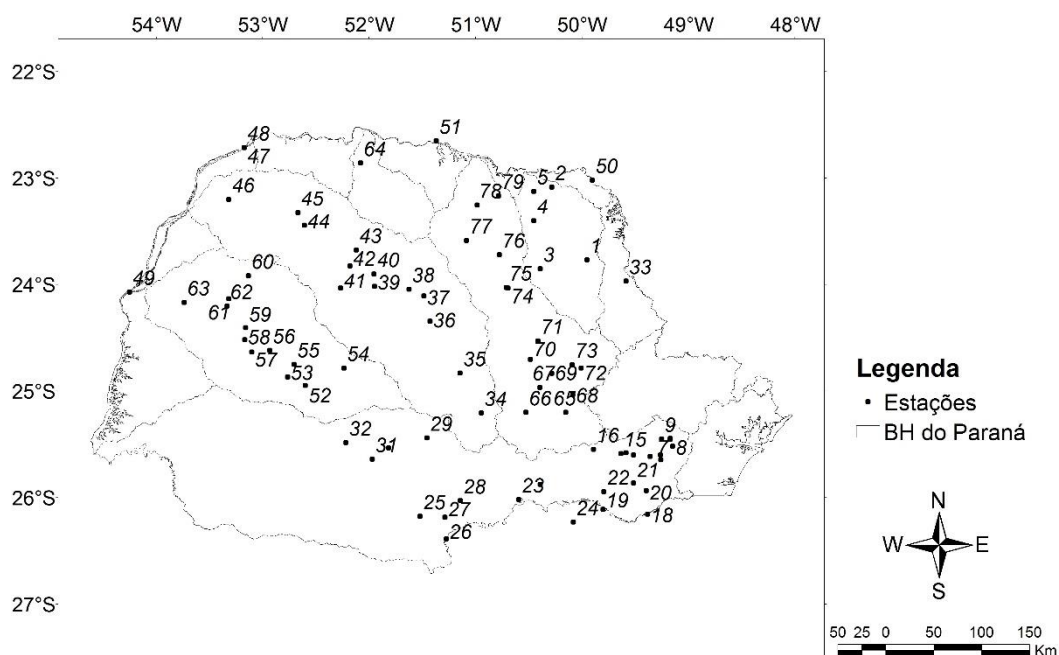


Figura 1 Localização das bacias hidrográficas e distribuição das estações fluviométricas no estado do Paraná.

2.2 Curva de permanência de longo período

A fim de comparação com as curvas anuais, foram elaboradas as curvas de permanência de longo período, que contemplam todo o período da série histórica. Para a criação das curvas foi empregado o método empírico, utilizando a posição de plotagem de Weibull (NAGHETTINI; PINTO, 2007), determinando-se a frequência de excedência associada à cada valor de vazão, conforme Equação 1.

$$p_i = \frac{i}{N+1} \quad (1)$$

em que:

- p_i - probabilidade de excedência da vazão $q(i)$;
- i - posição de plotagem da vazão q da série histórica;
- N - número total de vazões observadas na série histórica.

2.3 Curva de permanência anual

Na elaboração das curvas de permanência anual, foram utilizadas as vazões diárias de cada ano da série histórica para aplicação no estimador de quantil não paramétrico Q_p , criado por Parzen (1979) e proposto por Vogel e Fennessey (1994), para aplicação na elaboração de curvas de permanência.

$$Q_p = (1 - \theta)q_{(i)} + \theta q_{(i+1)} \quad (2)$$

em que:

i - $[(n+1)p]$; sendo que para o valor entre colchetes se considera o número inteiro;

θ - $((n+1)p-i)$;

n - número de vazões observadas no ano;

p - probabilidade de excedência de cada vazão.

Para construir a curva de permanência anual, os dados disponíveis foram divididos em n anos e ordenados de acordo com a frequência de ocorrência. Em seguida, para cada probabilidade de excedência, foi derivada uma vazão mediana e utilizada para criar a curva de permanência anual (SADEGH et al., 2016).

Para a determinação das variáveis abrangidas pelo estimador Q_p desenvolveram-se as seguintes etapas:

- ordenaram-se os dados de vazões de cada ano da série em posição decrescente;
- definiu-se o número de observações de vazões para cada ano;
- determinou-se a probabilidade de excedência das vazões pela posição de plotagem de Gringorten (NAGHETTINI; PINTO, 2007):

$$p = \frac{i-0,44}{n+0,12} \quad (3)$$

- estimaram-se as variáveis i e θ ;

- por fim, foram encontrados os valores do estimador Q_p .

Com a nova série de dados de vazões obtidos pelo estimador Q_p , foi definida a mediana para os valores de vazão de ordem i , para $i = 1, 2, \dots, n$, resultando em uma série com n dados. Cada um dos valores da mediana corresponde a um quantil individual da curva de permanência anual, ou seja, após a plotagem dos dados obteve-se uma única curva de permanência que representa o comportamento anual para as vazões ao longo do tempo.

Para quantificar a incerteza associada para cada quantil obtido, foram construídos intervalos de confiança de 90% ($\alpha=0,10$), que foram plotados juntamente com a curva de permanência anual. Esses intervalos foram calculados por meio do estimador Q_p (Equação 2), aplicando-se limite inferior e superior:

a) Para o limite inferior:

$$i = \left[(n+1) \frac{\alpha}{2} \right] \quad \text{e} \quad \theta = (n+1) \frac{\alpha}{2} - i \quad (4)$$

b) Para o limite superior:

$$i = \left[(n+1) \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right) \right] \quad \text{e} \quad \theta = (n+1) \left(1 - \frac{\alpha}{2} \right) - i \quad (5)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas anuais com os intervalos de confiança construídos estão apresentadas no Apêndice A. Com o objetivo de comparação entre as curvas de permanência de longo período (LP) e anuais elaboradas para cada estação fluviométrica, foram extraídas as vazões correspondentes à permanência de 95% do tempo (Q_{95}), conforme Tabela 1.

Tabela 1 Vazão de permanência de 95% para curvas anuais e de longo período, com intervalos de confiança

							Continua
ID	Bacia	Código Estação	Q_{95} (m³/s) (LP)	Q_{95} (m³/s) (Anual)	IC - Inferior	IC - Superior	Diferença (%)
1	Cinzas	64360000	5,91	8,70	3,22	19,13	47%
2	Cinzas	64370000	11,00	15,67	7,11	35,28	42%
3	Cinzas	64380000	0,79	4,12	1,84	8,20	422%
4	Cinzas	64382000	6,05	9,32	1,83	17,63	54%
5	Cinzas	64390000	5,42	8,06	4,01	18,53	49%
6	Iguaçu	65006055	0,29	0,56	0,10	1,80	93%
7	Iguaçu	65006075	0,78	2,28	0,18	4,63	192%
8	Iguaçu	65010000	0,91	1,15	0,58	2,06	26%
9	Iguaçu	65011400	0,62	0,86	0,45	1,57	39%
10	Iguaçu	65017006	6,01	7,53	4,76	24,84	25%
11	Iguaçu	65017035	0,21	0,90	0,10	7,64	329%
12	Iguaçu	65019700	0,37	1,30	0,26	4,76	251%
13	Iguaçu	65025000	12,17	13,63	8,69	31,45	12%
14	Iguaçu	65027000	0,81	1,27	0,43	3,99	57%
15	Iguaçu	65028000	17,34	20,34	9,04	49,22	17%
16	Iguaçu	65035000	14,50	19,54	6,11	40,96	35%
17	Iguaçu	65060000	22,09	29,25	14,40	66,18	32%
18	Iguaçu	65090000	6,72	8,07	4,68	13,03	20%
19	Iguaçu	65100000	16,90	22,67	11,87	45,81	34%
20	Iguaçu	65135000	3,42	4,31	2,61	7,50	26%
21	Iguaçu	65136550	6,29	8,33	4,74	16,98	32%
22	Iguaçu	65155000	10,32	13,20	7,40	25,61	28%
23	Iguaçu	65220000	82,44	105,80	50,67	247,03	28%
24	Iguaçu	65310000	95,17	122,54	61,42	291,06	29%
25	Iguaçu	65365000	0,73	0,98	0,39	2,41	34%
26	Iguaçu	65370000	4,18	5,10	2,53	11,28	22%

							Conclusão
ID	Bacia	Código Estação	Q ₉₅ (m³/s) (LP)	Q ₉₅ (m³/s) (Anual)	IC - Inferior	IC - Superior	Diferença (%)
27	Iguaçu	65385000	5,29	6,08	3,23	12,73	15%
28	Iguaçu	65415000	1,69	2,01	0,94	4,50	19%
29	Iguaçu	65810000	2,83	3,44	2,03	6,39	22%
30	Iguaçu	65815050	11,96	16,09	6,40	31,25	35%
31	Iguaçu	65825000	20,04	27,43	10,08	55,88	37%
32	Iguaçu	65855000	5,24	8,25	3,01	20,21	57%
33	Itararé	64242000	11,47	13,22	8,00	27,60	15%
34	Ivaí	64620000	2,37	3,86	0,79	9,12	63%
35	Ivaí	64625000	8,74	11,13	5,67	22,56	27%
36	Ivaí	64645000	35,91	49,12	28,49	341,85	37%
37	Ivaí	64652000	4,70	7,95	3,46	14,29	69%
38	Ivaí	64655000	36,89	49,50	19,90	109,01	34%
39	Ivaí	64659000	5,19	7,90	1,94	18,30	52%
40	Ivaí	64660500	63,64	75,36	30,83	163,17	18%
41	Ivaí	64671000	5,41	7,24	2,11	19,35	34%
42	Ivaí	64673000	11,65	15,85	6,68	32,65	36%
43	Ivaí	64675002	99,45	125,17	45,92	260,55	26%
44	Ivaí	64682000	8,54	9,42	6,92	15,47	10%
45	Ivaí	64685000	122,52	160,78	83,08	354,52	31%
46	Ivaí	64693000	216,77	231,40	167,23	416,22	7%
47	Paraná 1	64575000	4333,12	6342,64	3410,49	8250,36	46%
48	Paraná 1	64575003	5956,39	6666,80	4713,13	7664,14	12%
49	Paraná 2	64843000	3782,39	4703,66	2775,04	8768,82	24%
50	Paranapanema 1	64280000	96,23	122,68	69,55	196,70	27%
51	Paranapanema 3	64515000	348,38	413,40	296,19	782,00	19%
52	Piquiri	64767000	12,34	14,80	8,02	34,64	20%
53	Piquiri	64771500	12,32	19,33	4,01	41,27	57%
54	Piquiri	64773000	1,29	1,83	0,30	4,36	42%
55	Piquiri	64775000	8,23	13,72	4,49	25,69	67%
56	Piquiri	64785000	9,30	16,37	6,60	26,15	76%
57	Piquiri	64790000	4,72	6,70	2,44	12,08	42%
58	Piquiri	64795000	44,63	64,17	18,72	123,42	44%
59	Piquiri	64799500	51,66	81,80	27,34	183,42	58%
60	Piquiri	64810000	19,32	24,09	15,57	38,81	25%
61	Piquiri	64815000	25,96	30,21	21,63	72,16	16%
62	Piquiri	64820000	105,03	124,64	65,62	330,02	19%
63	Piquiri	64830000	137,28	162,78	82,65	374,17	19%
64	Pirapó	64550000	28,58	34,77	15,54	65,04	22%
65	Tibagi	64440000	4,96	5,96	3,46	9,51	20%
66	Tibagi	64442800	4,75	6,58	3,14	14,71	39%
67	Tibagi	64447000	22,40	33,77	13,81	70,54	51%
68	Tibagi	64450002	1,81	2,56	0,49	4,65	41%
69	Tibagi	64453000	6,54	8,28	3,97	13,80	27%
70	Tibagi	64460000	2,25	3,48	1,17	6,66	55%
71	Tibagi	64465000	33,38	47,38	21,59	101,51	42%
72	Tibagi	64475000	3,52	4,55	2,09	10,26	29%
73	Tibagi	64477600	7,74	9,70	4,95	18,81	25%
74	Tibagi	64491000	59,20	65,62	40,85	136,97	11%
75	Tibagi	64491260	0,45	0,66	0,13	1,22	47%
76	Tibagi	64500000	0,60	0,71	0,41	1,30	18%
77	Tibagi	64502000	6,10	6,77	3,82	16,96	11%
78	Tibagi	64507000	68,82	113,52	38,27	236,02	65%
79	Tibagi	64508500	3,90	5,03	2,09	10,92	29%

Na Figura 2, observa-se que, para todas as estações estudadas, a vazão Q_{95} anual apresentou valor superior à vazão Q_{95} de longo período, que abrange todo o intervalo de tempo de cada estação fluviométrica. Ou seja, houve flexibilização nos valores de vazão para outorga com a adoção da Q_{95} anual para todas as estações fluviométricas.

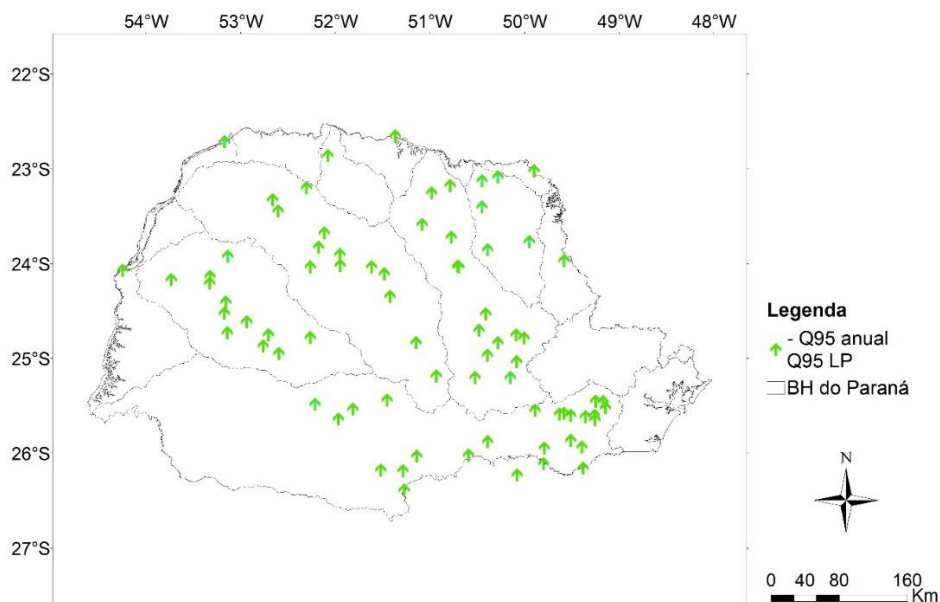


Figura 2 Diferença percentual entre as Q_{95} anual e de longo período.

Na Figura 3 é apresentado um histograma da frequência de ocorrência e as frequências acumuladas das diferenças percentuais entre as vazões obtidas pelos diferentes métodos. As diferenças encontradas estão compreendidas em um intervalo que varia de 7% a 422%. No entanto, em quase 80% das ocorrências as diferenças no incremento da vazão foram de até 50% e, ainda, em 5% dos casos a disponibilidade hídrica aumentou mais que 100%, utilizando o método das curvas de permanência anuais, sendo este um valor muitíssimo expressivo na diferença entre as vazões disponíveis.

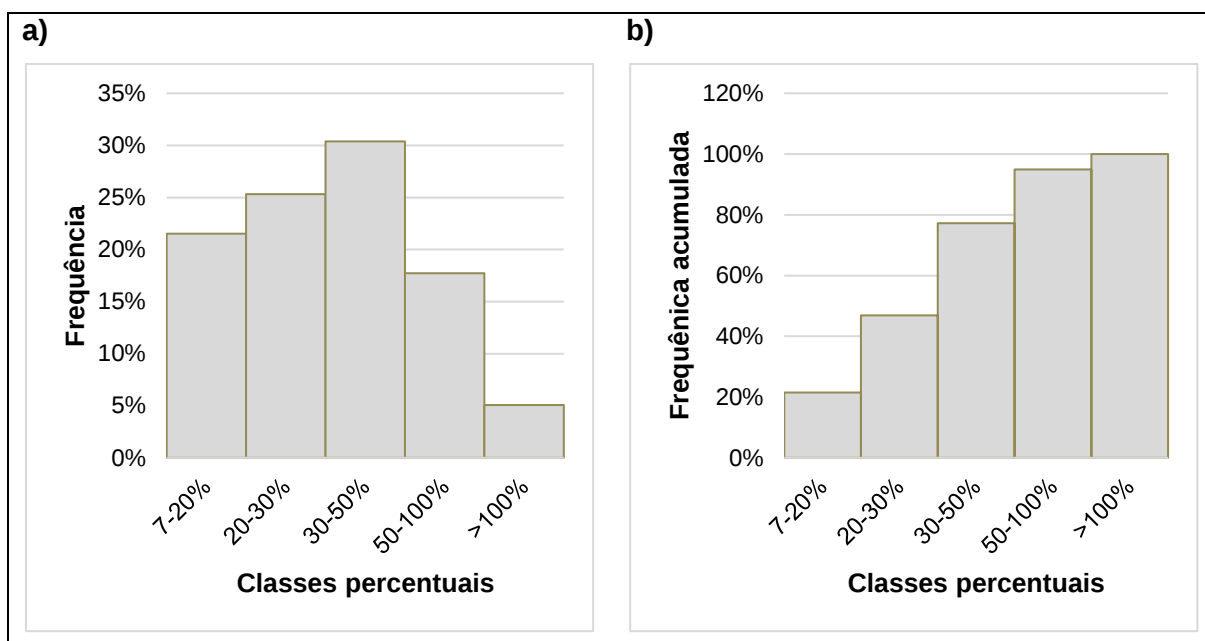


Figura 3 a) Frequência de ocorrência e b) frequência acumulada das diferenças percentuais entre a Q_{95} anual ao longo período avaliado.

A diferença percentual média entre as vazões calculadas foi de 48%, significa dizer que a disponibilidade hídrica encontrada pelo método anual é, em média, 48% maior que os valores de vazão disponíveis, calculados para um longo período de dados. Isso evidencia a flexibilização no uso da água, quando adotada a Q_{95} anual como vazão de referência na outorga dos recursos hídricos.

Fica claro que, ao utilizar um longo período de dados na elaboração das curvas, os valores de vazão de permanência são subestimados, porquanto estimam a probabilidade de ocorrência da vazão em um período extenso de dados e não a probabilidade anual de ocorrência da vazão, como as curvas de permanência anuais.

Quando relacionadas as áreas de drenagem de cada estação com as diferenças entre as vazões Q_{95} determinadas pelos diferentes métodos, foi observada uma forte correlação positiva entre esses parâmetros, com coeficiente de correlação $R = 0,927$, indicando que há uma tendência da diferença no incremento da vazão ser maior, conforme as áreas de drenagem das estações forem aumentando.

No diagrama de dispersão (Figura 4), está definida a direção que caracteriza o padrão relacionado entre a área de drenagem e as diferenças no aumento das vazões. O coeficiente de determinação $R^2 = 0,81$ confirma a relação existente entre comportamento da vazão e o aumento da área de drenagem.

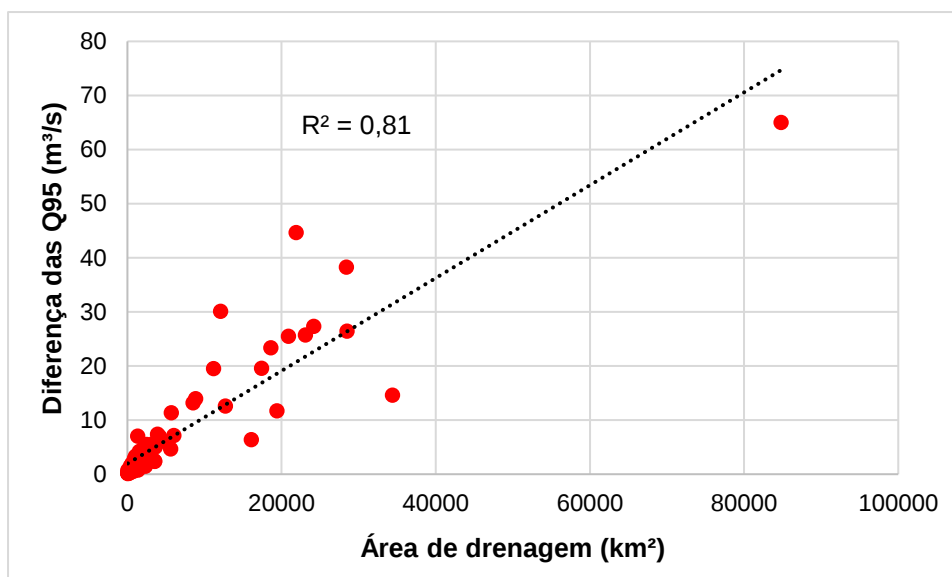


Figura 4 Correlação entre a área de drenagem e as diferenças da Q_{95} .

Não houve correlação entre o número de anos das séries históricas das estações e a diferença no aumento da vazão, obtida pelas curvas de permanência anuais. Esse fato é visto como positivo, uma vez que não é necessária uma série extensa de dados de vazão para que as $Q_{p\%}$ anuais sejam representativas. Logo, a utilização da Q_{95} anual como vazão de referência para outorga de uso dos recursos hídricos é vantajosa, não só pelo incremento nas vazões outorgáveis, como também pela representatividade do método para obtenção das vazões.

Com relação aos intervalos de confiança, determinados pelo método não paramétrico para as curvas anuais, estes representam os anos mais secos e úmidos, respectivamente para o intervalo inferior e superior (CRUZ; SILVEIRA, 2007). Observando-se os valores da Q_{95} de longo período, nota-se que os valores se encontram mais próximos ao intervalo inferior, indicando um comportamento semelhante aos anos de estiagem.

Logo, adotar como critério de outorga de uso dos recursos hídricos a Q_{95} obtida por toda a série histórica de dados implicaria uma disponibilidade menor de vazão aos usuários da bacia. Alternativamente, a adoção da Q_{95} anual para a concessão do uso da água permite a otimização do critério de outorga, uma vez que a curva de permanência obtida por meio deste método representa o comportamento da vazão do rio em um ano normal, ou seja, nem seco e nem úmido.

No estado do Paraná, o critério de outorga de uso dos recursos hídricos é 50% da Q_{95} . Na Figura 5 é possível visualizar a vazão máxima outorgável para o Estado, comparada à Q_{95} anual e aos intervalos de confiança. Ao se observar os dados, nota-se que o limite inferior da vazão encontrada com o método anual ainda se encontra maior do que as vazões atualmente outorgáveis no Estado, o que confirma que, a disponibilidade hídrica para outorga pode ser potencializada, quando as vazões são definidas por meio das curvas de permanência anuais em detrimento às de longo período.

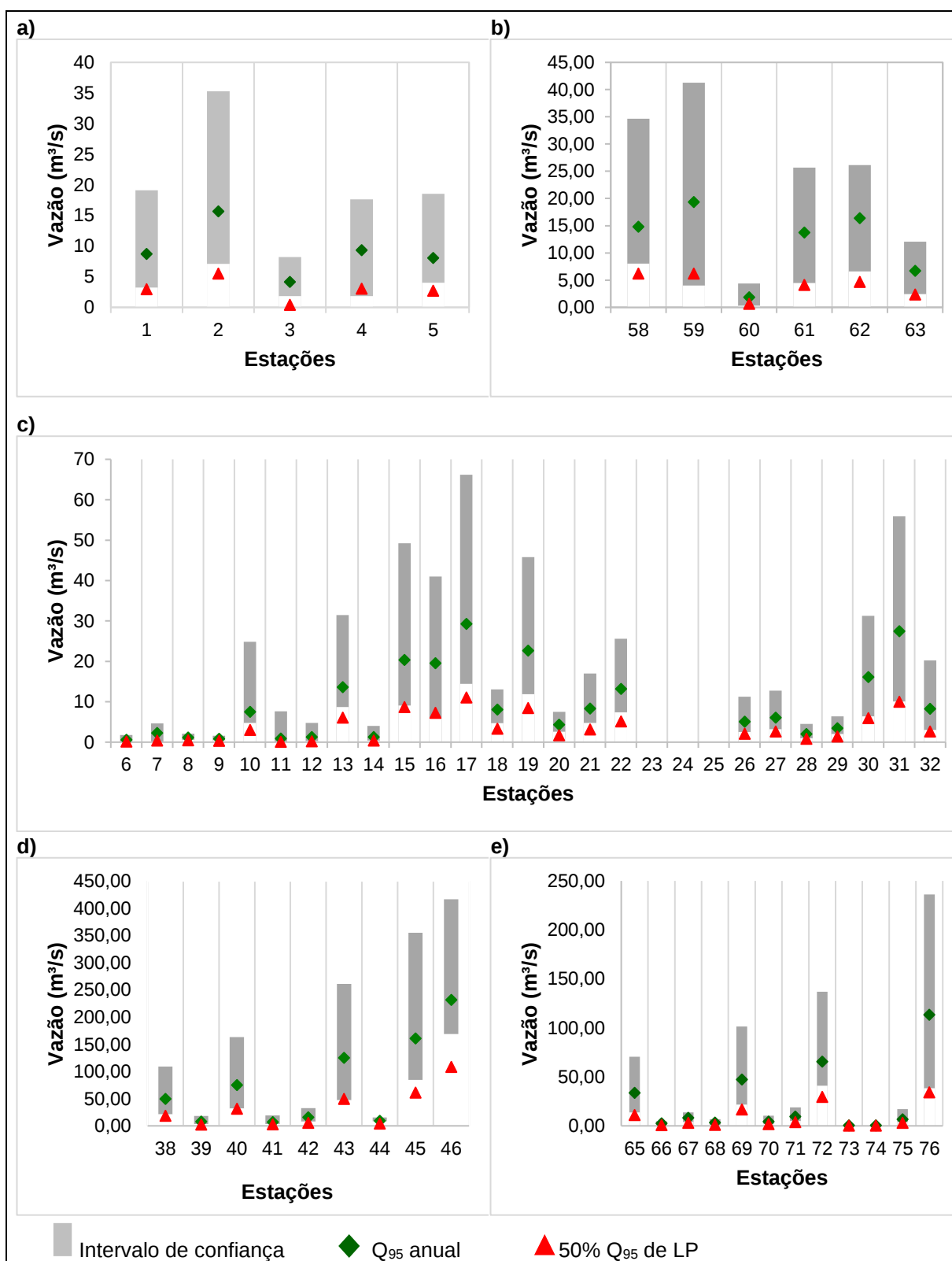


Figura 5 Amplitude dos intervalos de confiança comparado à vazão máxima outorgável no estado do Paraná: a) bacia Cinzas; b) Piquiri; c) Iguaçu; d) Ivaí; e) Tibagi.

No entanto, a adoção da Q_{95} anual pode não ser indicada para todas as microbacias. Como exemplo, nas estações 6, 7, 8 e 9 no alto rio Iguaçu, localizadas na região metropolitana de Curitiba, seria mais prudente adotar a Q_{95} de LP para assegurar a

disponibilidade de água. Nesta região, estão as nascentes do rio Iguaçu e os principais mananciais que alimentam seus afluentes e a população local. A elevada população e a expansão das atividades urbanas contribuem para a degradação da qualidade e da quantidade hídrica na bacia, logo, adotar um critério de outorga mais flexível poderia ser prejudicial para essa área.

É necessário observar as características de cada bacia e as diferentes atividades desenvolvidas em cada uma delas e só assim definir o critério de outorga mais adequado para cada região. Essas informações são cruciais para que não haja equívocos na escolha da vazão de referência e, em consequência, o risco de desabastecimento de água.

4 CONCLUSÕES

Considerando os objetivos propostos e os resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se concluir que:

- O emprego do método das curvas de permanência anuais apresentou-se representativo, pois considera a variação interanual das vazões e é menos sensível a extremos hidrológicos, representando o comportamento da vazão do rio em um ano normal.
- A adoção da Q_{95} anual como vazão de referência permite potencializar o uso dos recursos hídricos, uma vez que há o incremento na disponibilidade hídrica para concessão de água, flexibilizando os valores adotados como critério de outorga.
- Houve uma tendência do acréscimo nos valores de vazão ser maior conforme o aumento das áreas de drenagem das estações fluviométricas.
- O uso de intervalo de confiança permite aos gestores saberem que existe um risco de que a disponibilidade hídrica seja diferente da vazão de referência para outorga. Com isso, é possível que sejam previstas medidas alternativas em caso de anos mais secos.

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.
- CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga**: avaliação de aspectos técnicos e conceituais. 2001. 189 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- 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.
- CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 111-124, 2008.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. D. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.
- PARZEN, E. Nonparametric statistical data modeling. **Journal of the American Statistical Association**, New York, v. 74, n. 365, p. 105–121, 1979.
- PUMO, D.; VIOLA, F.; LA LOGGIA, G.; NOTO, L. V. Annual flow duration curves assessment in ephemeral small basins. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 519, n. PA, p. 258–270, 2014.
- SADEGH, M.; VRUGT, J. A.; GUPTA, H. V.; XU, C. The soil water characteristic as new class of closed-form parametric expressions for the flow duration curve. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 535, p. 438–456, 2016.
- SMAKHTIN, V. Y. Low-flow hydrology: a review. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 240, p. 147-186, 2001.
- VOGEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. Flow duration curves. I: new interpretation and confidence intervals. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 120, n. 4, p. 485–504, 1994.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. **Manual on low-flow estimation and prediction**. Operational Hydrology Report nº. 50. Geneva: WNO, 2008. 137 p.

ARTIGO 2 INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE MENSAL NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA PARA OUTORGA NO ESTADO DO PARANÁ

RESUMO

A adoção das vazões de permanência, obtidas pelas curvas de permanência, para a definição de indicadores de disponibilidade hídrica para a utilização como critério de outorga dos recursos hídricos, é relativamente comum. No entanto, o período selecionado para a construção das curvas de permanência irá influenciar nos detalhes da variação das vazões. Assim, o objetivo do estudo foi avaliar o efeito da variação mensal na disponibilidade hídrica no estado do Paraná, pela comparação entre a vazão de referência atual, 50% da Q_{95} , obtida pela curva de permanência de longo período, e uma vazão de referência alternativa, retirada da curva de permanência com base mensal. As curvas de permanência de longo período foram elaboradas pelo método empírico, para posteriormente observar a influência na disponibilidade hídrica. Para a construção das curvas de permanência mensais, os dados de vazão foram agrupados de acordo com os meses correspondentes de todos os anos da série histórica de cada estação e calculada a frequência de excedência pelo método empírico. Observou-se que existe variabilidade mensal nas vazões dos corpos hídricos e que o uso da Q_{95} com base sazonal flexibiliza as quantidades outorgadas em diferentes períodos do ano no estado do Paraná. E isso possibilita a otimização do uso dos recursos hídricos sem a restrição do uso da água para as diferentes atividades desenvolvidas.

Palavras-chave: Sazonalidade, vazão de referência, vazão de permanência

**PAPER 2 INFLUENCE OF THE MONTHLY VARIABILITY ON WATER AVAILABILITY
FOR GRANTING IN PARANÁ STATE**

ABSTRACT

The adoption of duration flows, obtained by the duration curves, is relatively common to define water availability indicators to be used as a criterion for granting of water resources. However, the period selected to draw the duration curves will influence on details of flow variation. Thus, this study aimed at evaluating the effect of monthly variation in water availability in Paraná state, by comparing the current reference-flow rate, 50% of Q_{95} , obtained by the long period of duration curve, and a flow rate of an alternative reference, taken away from the duration curve on a monthly basis. The long-period duration curves were prepared by the empirical method, and later their influence was observed on water availability. Thus, monthly flow duration curves were drawn based on flow data that were grouped according to the corresponding months of all years from the historical series of each station, while the frequency of exceedance was calculated by the empirical method. It was observed that there is a monthly variability in water-body flows and that the use of Q_{95} on a seasonal basis makes flexible the granted amounts in different periods of the year in Parana state. So, it is possible to optimize the use of water resources with no restriction regarding water use for the different developed activities.

Keywords: Seasonality, reference flow, flow of permanence.

1 INTRODUÇÃO

O uso acentuado dos recursos hídricos, juntamente com quantidades cada vez menores de água em condições aceitáveis para atender às demandas, tem gerado conflitos entre os usuários e exigido a busca por ferramentas e instrumentos para a gestão adequada dos recursos hídricos.

A outorga é um instrumento fundamental para a gestão de recursos hídricos, pois engloba um grande número de atividades que dependem da permissão de uso da água para que sejam executadas. Para a concessão de uso da água, é necessário conhecer qual é a disponibilidade dos recursos hídricos a serem utilizados. Conforme Lemos e Magalhães Jr (2015), a outorga possibilita aos gestores que seja realizado o cálculo dessa disponibilidade, permitindo definir o quanto de água poderá ser outorgada e para quais atividades.

Com frequência são adotados valores de vazão mínima de permanência como critério para a outorga de recursos hídricos, geralmente obtidos de um longo período de dados, porém, os detalhes das variações das vazões são obscurecidos com um intervalo de tempo longo (SINGH; BYRD; CUI, 2014). Dessa maneira, o emprego de um único valor, baseado na vazão de longo período, pode não ser o mais adequado ao longo de um ano, limitando a utilização dos recursos hídricos (BOF et al., 2013).

Bof et al. (2013) afirmam que a utilização de parcelas de vazões mínimas mensais, como critério de outorga, podem aumentar consideravelmente a disponibilidade de recursos hídricos. Assim, é possível otimizar o uso da água, destinando maior quantidades em meses que dispõe de vazões maiores e reduzir os valores de concessão nos meses em há carência de água (COLLISCHONN, 2014).

A influência da sazonalidade das vazões sobre os critérios de outorga de recursos hídricos tem gerado alguns estudos no Brasil, com resultados semelhantes, em que o uso de vazões sazonais flexibiliza os valores para outorga (SILVA; SILVA; MOREIRA, 2015; FALCO, 2015; BOF et al., 2013; SILVA; MARQUES; LEMOS, 2011; MARQUES et al., 2009; EUCLYDES et al. 2006). No entanto, no estado do Paraná há uma carência de estudos sobre as vazões para outorga, que mostrem a relevância da variabilidade sazonal das vazões sobre a disponibilidade hídrica.

Deste modo, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da variação mensal na disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas no estado do Paraná, por meio da comparação entre a vazão de referência atual, 50% da Q_{95} , obtida pela curva de permanência de longo período, e uma vazão de referência alternativa, retirada da curva de permanência com base mensal.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de estudo e disponibilidade de dados

Para o estudo foram utilizados dados de vazão diária de 122 estações fluviométricas, com área de drenagem compreendida dentro do estado do Paraná, Brasil, envolvendo 12 bacias hidrográficas ao longo do estado.

As estações selecionadas para o estudo apresentam no mínimo 10 anos completos de dados (Apêndice A). Em média, o período de dados de vazão é de 28 anos, variando de 10 a 75 anos de dados.

Na Figura 1 são visualizadas as estações fluviométricas instaladas ao longo das 12 bacias hidrográficas. As informações de vazão das estações fluviométricas foram obtidas na página *online* oficial da Agência Nacional das Águas (ANA), disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas HidroWeb.

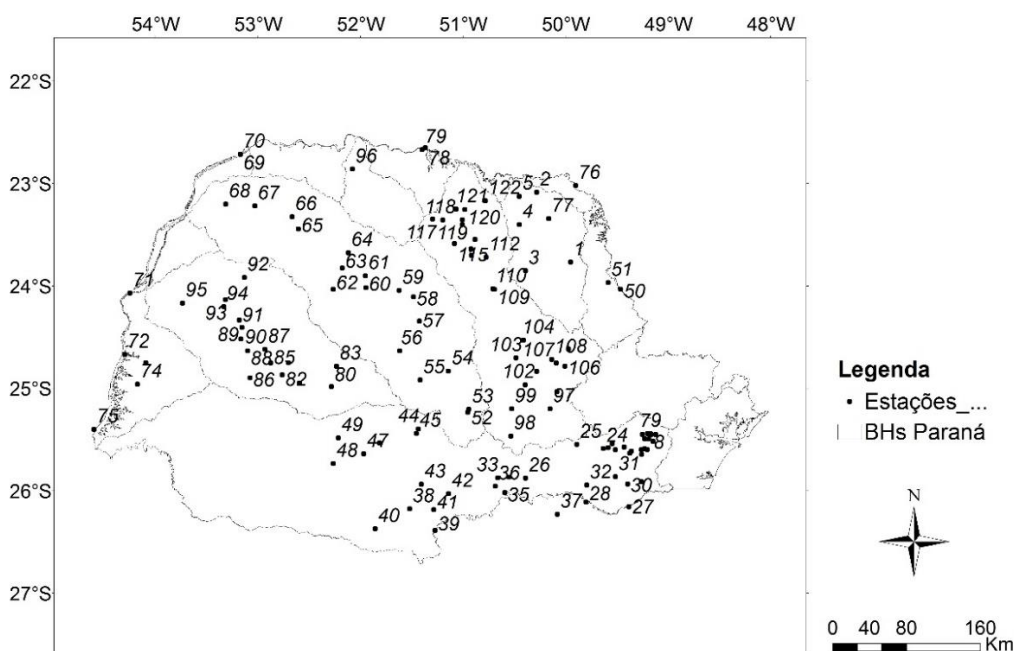


Figura 1 Localização das bacias hidrográficas e distribuição das estações fluviométricas.

2.2 Curva de permanência de longo período

A fim de comparar com as curvas mensais, foram elaboradas as curvas de permanência de longo período, que contemplam todo o período da série histórica. Para a criação das curvas foi empregado o método empírico, em que a curva de permanência é considerada como um complemento da função de distribuição acumulada (FDA) baseada nas vazões diárias (VOGEL; FENESSEY, 1994). Nesse caso, a FDA é a probabilidade de uma vazão Q ser excedida por uma vazão q (Equação 1). Para determinar a probabilidade de excedência das vazões é utilizada a posição de plotagem de Weibull (Equação 2), que corresponde a uma estimativa da FDA (VOGEL; FENESSEY, 1994).

$$p = 1 - P(Q \leq q) = 1 - F(q) \quad (1)$$

em que:

- p - probabilidade de excedência;
- P - função de probabilidade;
- $F_{q(i)}$ - função de distribuição acumulada;

$$p_i = 1 - F_{q(i)} = \frac{i}{N+1} \quad (2)$$

em que:

- p_i - probabilidade de excedência da vazão $q(i)$;
- $F_{q(i)}$ - função de distribuição acumulada;
- i - posição de plotagem da vazão q da série histórica;
- N - número total de vazões observadas na série histórica.

2.3 Curva de permanência com base mensal

Para considerar a sazonalidade das vazões e observar seus efeitos na disponibilidade de água sobre os critérios de outorga, foram elaboradas as curvas de permanência relativas aos períodos mensais.

Os dados diários de vazão foram agrupados de acordo com os meses correspondentes de todos os anos da série histórica de cada estação, resultando em 12 meses para cada estação fluviométrica. Para cada mês, foi calculada a frequência com que

cada valor de vazão é excedido ou igualado, por meio da posição de plotagem de Weibull (Equação 2) e construída a sua respectiva curva de permanência.

Foram extraídos os valores das vazões de permanência Q_{95} para todos os meses de cada estação, a fim de observar a variação da disponibilidade de água em cada mês e compará-las à vazão de permanência de longo período.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor visualização, os resultados das estações foram agrupados de acordo com as respectivas bacias.

As vazões de permanência Q_{95} de longo período e as Q_{95} mensais das estações fluviométricas das bacias do Cinzas, Itararé, Paraná 1, Paraná 2, Paraná 3, Paranapanema 1, Paranapanema 3 e Pirapó estão apresentadas na Tabela 1.

Analisando-se os dados do primeiro trimestre da Tabela 1, observa-se que, em 91% das estações, os valores das vazões mensais são superiores ao valor de vazão de longo período, isso significa que a adoção da Q_{95} mensal, como vazão de referência, flexibiliza os valores de outorga, proporcionando um aumento na disponibilidade hídrica no primeiro trimestre para essas estações.

Tomando-se como exemplo a estação 64370000 da bacia do Cinzas e considerando-se o critério de outorga no estado do Paraná de 50% da Q_{95} de LP, pode-se observar que, no mês de fevereiro, a vazão de outorga aumentaria de 5,5 m³/s (Q_{95} LP) para 8,5 m³/s (Q_{95} mensal), gerando um acréscimo de 3 m³/s para utilização pelos os usuários.

No segundo trimestre, observa-se que as vazões mensais são maiores que a vazão de longo período em 66% das estações. Assim, a vazão de referência calculada com base mensal possibilitaria otimizar a concessão de água para esse trimestre do ano, possibilitando aprimorar o uso dos recursos hídricos nas bacias.

A vazão do mês de abril na estação 64280000 da bacia do Paranapanema 1, por exemplo, apresenta um valor 53,8% maior do que a vazão de longo período. Nesse caso, a vazão de outorga passaria de 48,12 m³/s para 74 m³/s, rendendo um aumento de 25,88 m³/s aos usuários.

No terceiro trimestre é atribuída à vazão de outorga de uso de recursos hídricos atual valores superiores ao real, ao não se considerar a variação mensal para concessão de água na bacia, isso porque, estão sendo outorgados valores de vazão maiores do que a capacidade dos corpos hídricos em 75% das estações. Por exemplo, a vazão máxima

outorgada atualmente para a estação 64515000 da bacia do Paranapanema 3 é de 174,19 m³/s, quando para o mês de setembro, a vazão a ser concedida deveria ser de 141,29 m³/s.

No quarto trimestre, nota-se um cenário semelhante ao do terceiro trimestre, com valores de vazão elevados em, aproximadamente, 60% das estações com a adoção da Q_{95} de longo período como critério de outorga.

Nesses casos, a vazão para outorga devia ser revista no sentido de diminuição, pois a disponibilidade hídrica nessas estações é menor ao que se concede no momento atual. A utilização da vazão Q_{95} de LP, como único valor de referência para outorga ao longo de todo ano, é equivocada, pois, em casos assim, a disponibilidade de recursos hídricos para outorga pode não ser suficiente para atender a todos os usuários das bacias.

3.1 Bacia do Iguaçu

As diferenças médias percentuais por trimestre entre os métodos de longo período e mensal, para a bacia do Iguaçu, são visualizadas na Figura 2.

O primeiro trimestre na bacia apresentou uma flexibilidade média de 21% nos valores de vazão para outorga quando utilizada a Q_{95} mensal como vazão de referência. Para este trimestre o cálculo com base em todo o período histórico de vazões subestima os valores de água disponíveis para concessão, limitando o uso dos recursos hídricos pelos usuários.

Para o segundo e terceiro trimestres, houve decréscimo de 5,72% e 7,14%, respectivamente, ou seja, os valores de vazão concedidos pela Q_{95} de longo período são muito elevados para esses trimestres. Ao considerar a sazonalidade das vazões para a outorga dos recursos hídricos, é possível limitar as vazões em períodos de estiagem e evitar possíveis faltas para o atendimento das demandas desse recurso.

Tabela 1 Vazão Q₉₅ de longo período e vazões Q₉₅ mensais

ID	Bacia	Estação	1º Trimestre				2º Trimestre			3º Trimestre			4º Trimestre		
			Q ₉₅ (m³/s) LP	Q ₉₅ (m³/s) Jan	Q ₉₅ (m³/s) Fev	Q ₉₅ (m³/s) Mar	Q ₉₅ (m³/s) Abr	Q ₉₅ (m³/s) Mai	Q ₉₅ (m³/s) Jun	Q ₉₅ (m³/s) Jul	Q ₉₅ (m³/s) Ago	Q ₉₅ (m³/s) Set	Q ₉₅ (m³/s) Out	Q ₉₅ (m³/s) Nov	Q ₉₅ (m³/s) Dez
1	Cinza	64360000	5,91	7,82	8,74	9,67	7,03	5,58	6,19	5,93	4,76	4,85	5,47	5,66	5,45
2	Cinza	64370000	11,00	14,48	17,00	18,33	14,00	11,80	11,41	10,02	9,50	9,39	8,47	9,50	11,04
3	Cinza	64380000	0,79	1,85	1,77	0,73	0,54	0,53	0,78	0,76	0,39	1,32	1,12	0,68	0,66
4	Cinza	64382000	6,05	6,97	5,59	6,31	4,02	4,73	4,61	5,02	6,11	5,99	5,54	6,51	5,46
5	Cinza	64390000	5,42	6,70	8,14	8,27	6,78	5,98	5,98	5,09	4,49	4,49	4,35	5,26	5,97
50	Itararé	64231000	8,82	8,76	12,90	12,90	10,73	11,33	9,20	8,38	7,89	8,49	7,83	9,06	8,65
51	Itararé	64242000	11,47	11,78	13,24	14,41	11,46	9,79	12,04	12,00	11,04	10,42	9,83	11,83	9,29
69	Paraná 1	64575000	4333,12	6372,19	7104,44	6555,80	5265,74	4794,31	4397,63	4078,41	3495,85	3647,80	3847,80	4431,90	5176,42
70	Paraná 1	64575003	5956,39	6098,94	7178,50	6866,66	6660,43	6305,05	5780,49	5451,54	5455,43	5560,74	5754,39	5452,24	5795,79
71	Paraná 2	64843000	3782,39	5879,65	6580,95	7107,09	6331,48	5005,30	4632,43	3893,48	3166,96	2981,82	3339,13	3831,09	4841,13
72	Paraná 3	64870000	20,43	28,98	31,32	24,32	21,36	19,44	19,95	21,17	15,53	12,70	17,06	27,09	22,10
73	Paraná 3	64875500	12,41	8,67	18,00	15,00	12,25	12,33	14,50	16,00	11,33	11,00	13,00	9,00	8,33
74	Paraná 3	64892500	1,75	2,61	2,41	1,43	1,38	1,43	2,73	2,65	1,70	1,30	1,75	1,50	2,93
75	Paraná 3	64903000	8019,23	8443,50	8665,00	9017,00	8971,00	8612,75	7784,25	7463,00	6769,75	7184,75	7891,25	8360,50	8282,00
76	Paranapanema 1	64280000	96,23	129,70	162,06	170,81	148,00	114,38	102,63	93,32	80,05	81,23	81,39	86,00	105,85
77	Paranapanema 1	64362000	12,94	18,71	23,83	20,09	10,91	14,01	13,75	13,89	12,08	10,90	10,00	13,93	9,46
78	Paranapanema 3	64515000	348,38	414,00	418,17	476,43	394,86	356,00	379,86	343,86	290,29	282,57	330,57	350,14	393,88
79	Paranapanema 3	64517000	402,24	433,56	505,12	429,54	244,73	265,25	512,09	562,98	640,39	585,40	600,62	428,40	332,51
96	Pirapó	64550000	28,58	28,28	32,83	36,24	35,20	36,07	35,20	28,74	27,26	25,16	26,99	26,28	23,60

Nota: Os valores em vermelho indicam valores de vazão mensal menores do que a vazão de longo período.

A vazão de referência adotada na atualidade subestima a disponibilidade de água nas diferentes estações para o quarto trimestre da bacia do Iguaçu, onde poderia haver um acréscimo de 16,20% nas vazões de outorga com a adoção da Q_{95} mensal. Fica claro que, para o último trimestre do ano, os usuários da bacia do Iguaçu poderiam dispor de maior quantidade de água para diferentes usos, entretanto, como a vazão outorgada é baseada na Q_{95} de longo período e apresenta um valor inferior à Q_{95} mensal, o excedente de água disponível não será empregado pelos usuários no desenvolvimento de suas atividades.

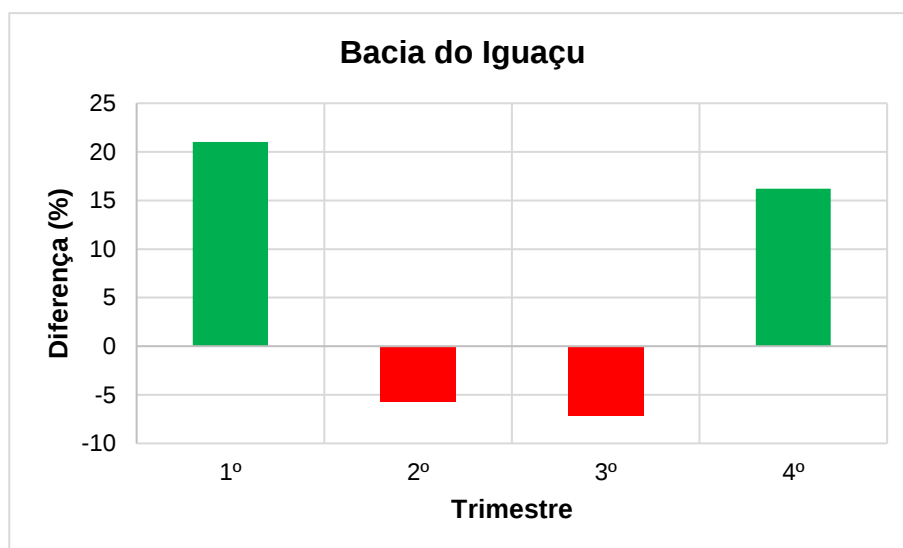


Figura 2 Diferença média percentual por trimestre entre as vazões de permanência Q_{95} mensal e Q_{95} de longo período, na bacia do Iguaçu.

3.2 Bacia do Ivaí

Analisando-se as diferenças médias percentuais com a adoção da Q_{95} mensal na bacia do Ivaí (Figura 3), nota-se que, para o primeiro e quarto trimestres, há flexibilização média nas vazões, com incremento de 19,29% e 0,80% na vazão para outorga de uso dos recursos hídricos, possibilitando a otimização do emprego desse recurso na bacia.

Considerando-se o segundo e terceiro trimestres na bacia do Ivaí, pode-se afirmar que o uso da Q_{95} de longo período como critério de outorga sobrestima a quantidade de água disponível para concessão na bacia do Ivaí. O que não aconteceria se a vazão de referência fosse definida com base nos meses, considerando o comportamento da vazão mensal nas estações fluviométricas. Nesses trimestres, as vazões para outorga deveriam ser, respectivamente, 3,15% e 4,99% menores do que se outorga atualmente na bacia.

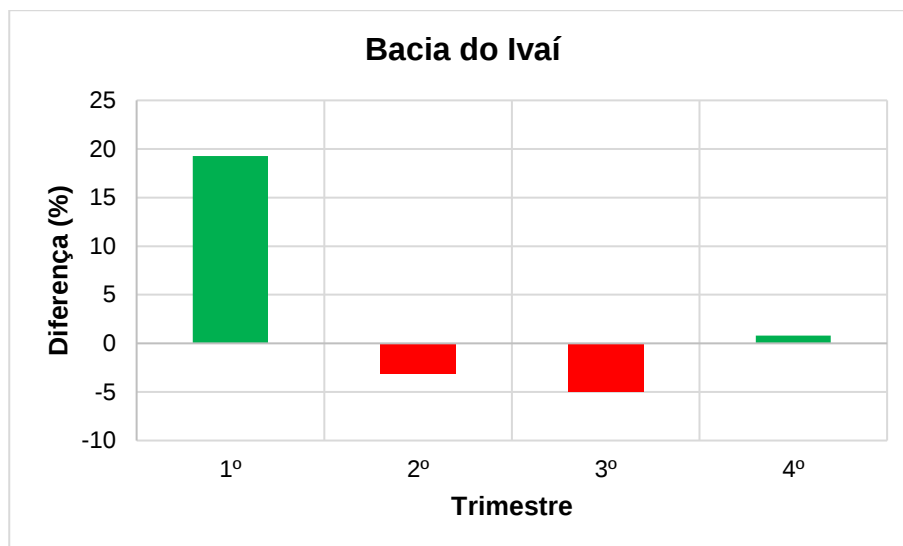


Figura 3 Diferença média percentual por trimestre entre as vazões de permanência Q_{95} mensal e Q_{95} de longo período na bacia do Ivaí.

3.3 Bacia do Piquiri

A variação média percentual nas vazões para outorga na bacia do Piquiri, relativas à adoção da Q_{95} mensal, são visualizadas na Figura 4.

O primeiro trimestre apresenta a maior flexibilização no critério de outorga, um acréscimo de 17,16% na vazão, quando considerada a influência da sazonalidade. Esse incremento na vazão para concessão também ocorre no terceiro trimestre, correspondendo a 6,46%.

No segundo trimestre, a vazão outorgada na bacia do Piquiri é demasiada alta para a quantidade de água disponível. O uso da Q_{95} mensal limitaria a vazão de outorga em 3,61% nesse período, evitando uma possível carência de recurso hídrico aos usuários da bacia.

No quarto trimestre do ano é observada uma diferença média percentual negativa de 1,28% na adoção da vazão Q_{95} mensal, indicando que a vazão de concessão atualmente utilizada é muito elevada para esse trimestre. Com o uso da Q_{95} de longo período, nesses trimestres, podem ocorrer privações a alguns usuários de recursos hídricos ou mesmo o comprometimento do ecossistema aquático.

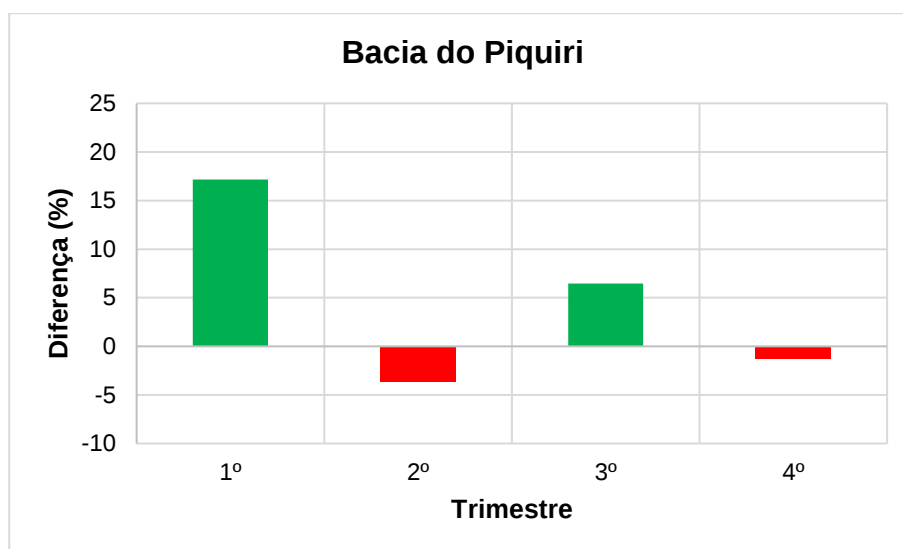


Figura 4 Diferença média percentual por trimestre entre as vazões de permanência Q_{95} mensal e Q_{95} de longo período na bacia do Piquiri.

3.4 Bacia do Tibagi

Na bacia do Tibagi, no primeiro e segundo trimestres, a flexibilidade média nas vazões é de 28,59% e 1,92%, respectivamente, com a adoção de critério de outorga com vista na influência da sazonalidade das vazões e não apenas num valor constante de vazão. Os dados da Figura 5 apontam a evidente importância de se considerar essa variação ao longo do ano.

No terceiro e quarto trimestres, os valores de referência para outorga de recursos hídricos deveriam ser, respectivamente, 3,23% e 3,46% menores do que os valores que vêm sendo utilizados para a concessão de água na bacia do Tibagi.

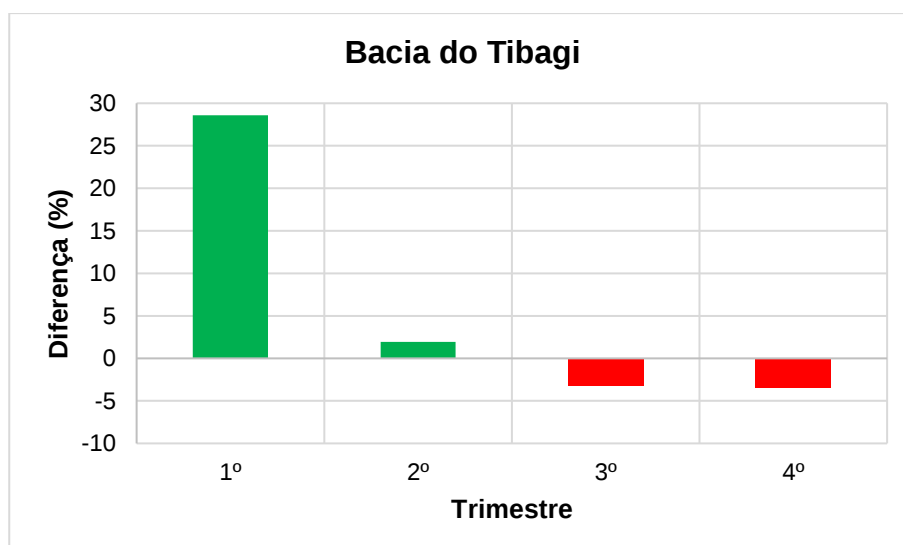


Figura 5 Diferença média percentual por trimestre entre as vazões de permanência Q_{95} mensal e Q_{95} de longo período na bacia do Tibagi.

As diferenças percentuais entre as vazões de permanência Q_{95} com base mensal e as vazões Q_{95} de longo período podem ser visualizadas espacialmente no Estado nas figuras 6 e 7, para dois meses do ano. Analisando-se individualmente, o mês de fevereiro mostrou o maior número de estações com flexibilidade nas vazões, ou seja, com a utilização do critério de outorga atual, o mês de fevereiro é o que está sendo mais subestimado na concessão de outorga, já que possui uma disponibilidade de água superior ao outorgado pela Q_{95} de longo período.

Já o mês de setembro é superestimado, ou seja, a quantidade de água disponível nesse mês para oferta aos usuários de recursos hídricos seria menor, em relação ao critério atualmente utilizado na concessão de água, uma vez que, nesse mês, as vazões são mais limitadas.

É importante destacar que a observação das atividades desenvolvidas em cada bacia é essencial para a definição da vazão de referência para outorga. Em bacias com características agrícolas, o tipo de cultura e sua época de plantio irão influenciar na demanda hídrica de cada região e consequentemente na vazão de outorga necessária. Assim, cabe aos representantes dos Comitês de Bacia discutir e definir qual a melhor opção para uso como vazão de referência para outorga, visando a otimização de recursos hídricos de cada região.

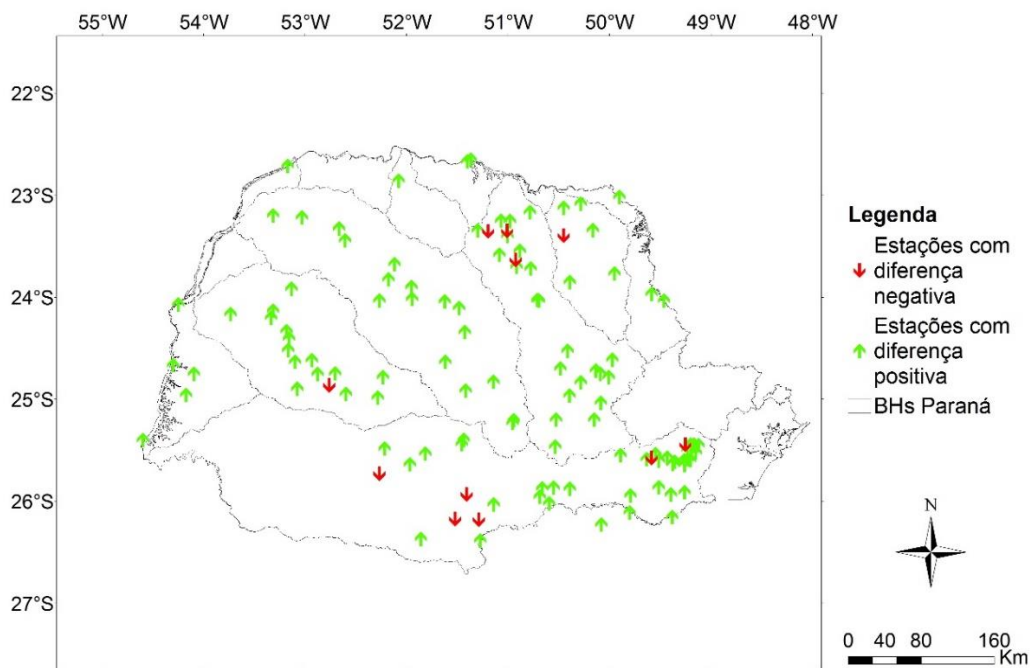


Figura 6 Visualização espacial das diferenças percentuais para as estações no mês de fevereiro.

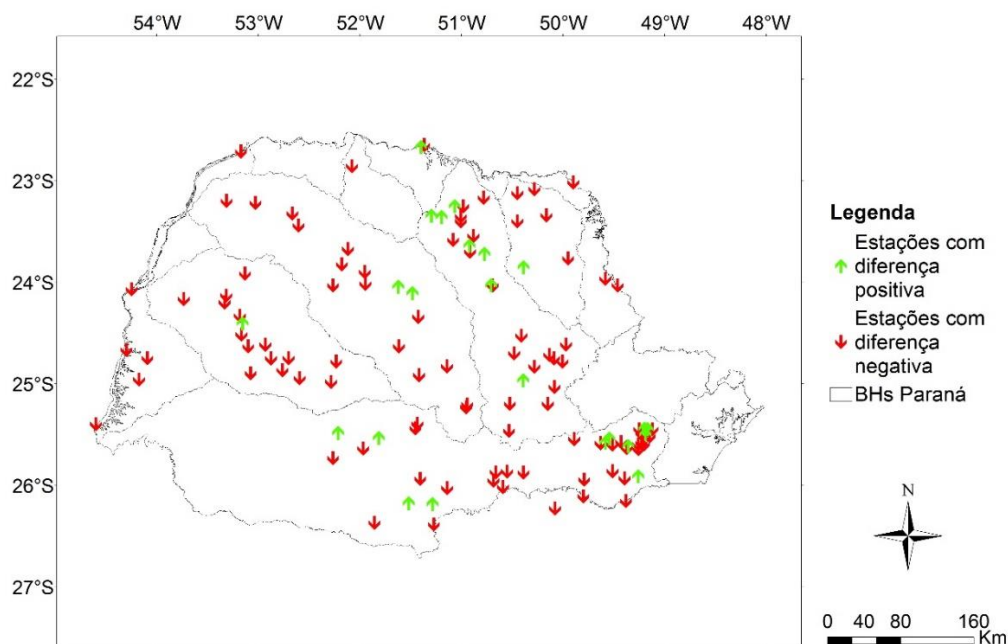


Figura 7 Visualização espacial das diferenças percentuais para as estações no mês de setembro.

4 CONCLUSÕES

A análise dos dados das 122 estações fluviométricas tornou evidente a existência de uma variabilidade mensal na vazão dos corpos hídricos e que o uso da Q_{95} com base sazonal flexibiliza as quantidades outorgadas, em diferentes períodos do ano no estado do Paraná.

Considerando-se essa variação, é possível otimizar o uso dos recursos hídricos, permitindo o planejamento de uma concessão maior em determinados meses ou a contenção do valor outorgado em outros, evitando-se a falta de água para os diferentes usuários.

É equivocado fazer uso de um único valor como critério de outorga, pois é clara a variação existente nos diferentes trimestres nas estações fluviométricas.

REFERÊNCIAS

BOF, L. H. N.; PRUSKI, F. F.; SILVA, L. M. C.; JUSTINO, F. Analysis of appropriate timescales for water diversion permits in brazil. **Environmental Management**, New York, v. 51, p. 492-500, 2013.

COLLISCHONN, B. **Sistema de apoio à decisão para outorga de direito de uso de recursos hídricos**. 2014. 196 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; FARIA FILHO, R. F. Critério de outorga sazonal para a agricultura irrigada no estado de Minas Gerais. Estudo de Caso. **Revista ITEM. Irrigação & Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, n. 71/72, p. 42-50, 2006.

FALCO, A. L.; IDE, C. N.; ALMEIDA, I. K.; RIBEIRO, M. L.; IDE, W. R. Disponibilidade hídrica para outorga: influência da sazonalidade. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21, 2015, Brasília. **Anais...** Brasília: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015. p. 1-7.

LEMO, R. S.; MAGALHÃES JR, A. P. Reflexões sobre os critérios de cálculo de vazões outorgáveis em áreas de conflito do estado de Minas Gerais: o caso da Bacia do Ribeirão Ribeiro Bonito. **Revista Espinhaço**, Diamantina, v. 4, n. 2, p. 4-12, 2015.

MARQUES, F. A.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M.; PRUSKI, F. F. AQUORA - Sistema multiusuário para gestão de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p.51-69, 2009.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. D. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007.

SILVA, B. M. B.; SILVA, D. D.; MOREIRA, M. C. 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**, Taubaté, v. 10, n. 3, p. 623–634, 2014.

SILVA, D. D.; MARQUES, F. A.; LEMOS, A. F. Flexibilidade das vazões mínimas de referência com a adoção do período trimestral. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19 n. 3, p. 244-254, 2011.

SINGH, P. V.; BYRD, A.; CUI, H. Flow duration curve using entropy theory. **Journal of Hydrologic Engineering**, Reston, v. 19, n. 7, p. 1340-1348, 2014.

VOGEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. Flow duration curves. I: new interpretation and confidence intervals. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 120, n. 4, p. 485-504, 1994.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo abordou duas metodologias anual e mensal, separadamente, comparadas à atualmente utilizada com base em toda série histórica dos dados de vazão.

Em relação ao método de curvas anuais, houve o incremento nos valores das vazões em todas as estações, comparativamente ao método de longo período. Destaca-se a importância do uso de intervalo de confiança, pois permite conhecer o risco existente de a disponibilidade hídrica ser diferente da vazão outorgada. Assim, é possível que sejam previstas medidas alternativas em caso de anos mais secos.

Ao considerar o método das curvas mensais, pode-se observar a sazonalidade nos diferentes períodos do ano. Essa abordagem permite otimizar o uso dos recursos hídricos, possibilitando o planejamento de uma concessão maior em determinados meses e/ou a contenção do valor outorgado em outros, evitando a falta de água para os diferentes usuários.

Estudos futuros devem considerar as características dos usuários de recursos hídricos, pois dependendo da atividade desenvolvida há a necessidade de grandes volumes e em períodos distintos. Essa consideração pode definir qual o método mais adequado para cada local.

Além do enfoque quantitativo, trabalhos futuros podem abordar o aspecto qualitativo dos recursos hídricos, pois as características dos corpos d'água ou mesmo dos efluentes lançados pelos usuários irão influenciar na vazão disponível para utilização.

APÊNDICE

APÊNDICE A ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NESTE ESTUDO

Continua

ID	Estação	Bacia	Nº anos da série	Latitude	Longitude	Área (Km²)
1	64360000	Cinza	76	-23,766667	-49,950000	2020,00
2	64370000	Cinza	73	-23,083056	-50,283056	5637,00
3	64380000	Cinza	55	-23,850278	-50,391111	1070,00
4	64382000	Cinza	27	-23,400000	-50,450000	2610,00
5	64390000	Cinza	70	-23,122500	-50,450278	344060,00
6	65004995	Iguaçu	25	-25,450599	-49,121099	102,00
7	65006055	Iguaçu	27	-25,443299	-49,167500	89,20
8	65006075	Iguaçu	27	-25,453889	-49,171389	385,00
9	65007045	Iguaçu	16	-25,442499	-49,199700	111,00
10	65009000	Iguaçu	22	-25,493900	-49,189199	564,00
11	65010000	Iguaçu	49	-25,519167	-49,146667	106,00
12	65011400	Iguaçu	25	-25,450000	-49,248889	43,00
13	65011500	Iguaçu	14	-25,491099	-49,229200	73,50
14	65015000	Iguaçu	16	-25,595833	-49,201111	246,00
15	65015400	Iguaçu	22	-25,589200	-49,228099	272,00
16	65017006	Iguaçu	30	-25,598889	-49,260833	1160,00
17	65017035	Iguaçu	26	-25,645556	-49,257500	68,00
18	65019700	Iguaçu	32	-25,613611	-49,356667	262,00
19	65019980	Iguaçu	12	-25,633899	-49,373600	1930,00
20	65024000	Iguaçu	22	-25,574399	-49,429700	180,00
21	65025000	Iguaçu	30	-25,600278	-49,513333	2330,00
22	65026950	Iguaçu	12	-25,537799	-49,544400	205,00
23	65027000	Iguaçu	31	-25,579722	-49,583056	231,00
24	65028000	Iguaçu	25	-25,587222	-49,631667	2740,00
25	65035000	Iguaçu	74	-25,548056	-49,889444	3620,00
26	65060000	Iguaçu	78	-25,875833	-50,389722	6050,00
27	65090000	Iguaçu	39	-26,154722	-49,380556	803,00
28	65100000	Iguaçu	78	-26,109722	-49,801111	3450,00
29	65130000	Iguaçu	25	-25,911388	-49,259166	332,00
30	65135000	Iguaçu	68	-25,934444	-49,393056	605,00
31	65136550	Iguaçu	26	-25,864167	-49,512778	939,00
32	65155000	Iguaçu	76	-25,945556	-49,791389	939,00
33	65190000	Iguaçu	14	-25,873888	-50,660555	379,00
34	65200000	Iguaçu	17	-25,866666	-50,549999	1930,00
35	65220000	Iguaçu	45	-26,019167	-50,592500	18600,00
36	65235000	Iguaçu	19	-25,955833	-50,684444	465,00
37	65310000	Iguaçu	78	-26,228056	-50,080278	24200,00
38	65365000	Iguaçu	61	-26,177222	-51,519722	65,00
39	65370000	Iguaçu	61	-26,386944	-51,271944	1010,00
40	65375000	Iguaçu	11	-26,370555	-51,858611	980,00
41	65385000	Iguaçu	26	-26,183889	-51,286667	1380,00
42	65415000	Iguaçu	61	-26,030278	-51,141667	327,00
43	65770000	Iguaçu	17	-25,937777	-51,405833	1640,00
44	65809000	Iguaçu	19	-25,397799	-51,435800	314,00
45	65810000	Iguaçu	32	-25,439444	-51,454444	726,00
46	65815050	Iguaçu	23	-25,533889	-51,815556	2220,00
47	65825000	Iguaçu	57	-25,638056	-51,967222	3930,00
48	65835000	Iguaçu	14	-25,733055	-52,266666	39600,00
49	65855000	Iguaçu	56	-25,483889	-52,216667	1490,00
50	64231000	Itararé	19	-24,032799	-49,461400	1550,00

ID	Estação	Bacia	Nº anos da série	Latitude	Longitude	Área (Km²)
51	64242000	Itararé	29	-23,966667	-49,583333	1690,00
52	64619950	Ivaí	21	-25,232799	-50,952500	1050,00
53	64620000	Ivaí	74	-25,205299	-50,942799	1090,00
54	64625000	Ivaí	52	-24,830000	-51,142200	3560,00
55	64630000	Ivaí	17	-24,916699	-51,416700	468,00
56	64637000	Ivaí	11	-24,633099	-51,616688	194,00
57	64645000	Ivaí	46	-24,341899	-51,424399	8540,00
58	64652000	Ivaí	37	-24,105799	-51,482199	2610,00
59	64655000	Ivaí	37	-24,041699	-51,622799	12700,00
60	64659000	Ivaí	30	-24,016400	-51,946099	3290,00
61	64660500	Ivaí	26	-23,899999	-51,951100	19400,00
62	64671000	Ivaí	37	-24,033099	-52,266699	853,00
63	64673000	Ivaí	32	-23,823600	-52,178600	1530,00
64	64675002	Ivaí	37	-23,674700	-52,117199	23100,00
65	64682000	Ivaí	29	-23,441400	-52,604700	818,00
66	64685000	Ivaí	55	-23,324400	-52,665300	28400,00
67	64689000	Ivaí	15	-23,216944	-53,030555	31900,00
68	64693000	Ivaí	34	-23,199399	-53,315600	34400,00
69	64575000	Paraná 1	37	-22,713056	-53,172778	676000,00
70	64575003	Paraná 1	23	-22,713056	-53,172778	676000,00
71	64843000	Paraná 2	75	-24,069444	-54,248889	804000,00
72	64870000	Paraná 3	14	-24,666700	-54,300000	2200,00
73	64875500	Paraná 3	13	-24,749999	-54,095000	1406,00
74	64892500	Paraná 3	21	-24,959999	-54,175000	568,00
75	64903000	Paraná 3	13	-25,399999	-54,599999	823000,00
76	64280000	Paranapanema 1	27	-23,016667	-49,900000	28500,00
77	64362000	Paranapanema 1	27	-23,342199	-50,163099	3970,00
78	64515000	Paranapanema 3	24	-22,650000	-51,366667	84800,00
79	64517000	Paranapanema 3	13	-22,666699	-51,400000	84900,00
80	64764000	Piquiri	19	-24,983099	-52,283100	1690,00
81	64767000	Piquiri	30	-24,946667	-52,596389	3540,00
82	64771500	Piquiri	29	-24,866111	-52,762778	4160,00
83	64773000	Piquiri	26	-24,783056	-52,233056	757,00
84	64775000	Piquiri	39	-24,748611	-52,702778	2520,00
85	64776100	Piquiri	20	-24,751899	-52,876700	7650,00
86	64780000	Piquiri	14	-24,897200	-53,077500	274,00
87	64785000	Piquiri	39	-24,616667	-52,933056	1340,00
88	64790000	Piquiri	40	-24,633056	-53,100000	598,00
89	64795000	Piquiri	38	-24,516667	-53,166667	11200,00
90	64799500	Piquiri	30	-24,404167	-53,157500	12100,00
91	64800000	Piquiri	16	-24,333055	-53,183055	13100,00
92	64810000	Piquiri	42	-23,916667	-53,133056	2040,00
93	64815000	Piquiri	28	-24,133056	-53,316667	2960,00
94	64820000	Piquiri	27	-24,200000	-53,333056	17400,00
95	64830000	Piquiri	39	-24,166111	-53,735833	20900,00
96	64550000	Pirapó	35	-22,856944	-52,078056	4490,00
97	64440000	Tibagi	26	-25,200000	-50,150278	1340,00
98	64441020	Tibagi	17	-25,464199	-50,533100	226,00
99	64442800	Tibagi	25	-25,199444	-50,524722	1340,00
100	64447000	Tibagi	27	-24,965278	-50,393611	5710,00
101	64450002	Tibagi	35	-25,033333	-50,083333	433,00
102	64453000	Tibagi	32	-24,833056	-50,283056	1040,00
103	64460000	Tibagi	58	-24,700000	-50,483333	744,00

ID	Estação	Bacia	Nº anos da série	Latitude	Longitude	Área (Km²)
104	64465000	Tibagi	75	-24,526667	-50,411111	8840,00
105	64475000	Tibagi	25	-24,613299	-49,971100	1190,00
106	64477020	Tibagi	26	-24,781667	-50,005833	208,00
107	64477600	Tibagi	25	-24,750278	-50,089444	1590,00
108	64480000	Tibagi	14	-24,716666	-50,133333	1660,00
109	64491000	Tibagi	43	-24,032222	-50,692500	16100,00
110	64491260	Tibagi	24	-24,027500	-50,709167	203,00
111	64498550	Tibagi	21	-23,699999	-50,916700	18400,00
112	64500000	Tibagi	30	-23,719444	-50,775278	59,20
113	64501000	Tibagi	25	-23,637199	-50,923100	18700,00
114	64501950	Tibagi	23	-23,545799	-50,883100	566,00
115	64502000	Tibagi	24	-23,583056	-51,083056	820,00
116	64504550	Tibagi	24	-23,399999	-51,005300	331
117	64504581	Tibagi	18	-23,344699	-51,297200	47,20
118	64504591	Tibagi	22	-23,354399	-51,196099	134,00
119	64504700	Tibagi	15	-23,351899	-51,006700	21700,00
120	64507000	Tibagi	72	-23,251389	-50,981944	21900,00
121	64507100	Tibagi	23	-23,248899	-51,067499	178,00
122	64508500	Tibagi	27	-23,166667	-50,783333	1050,00