

ENQUADRAMENTO DOS CURSOS D'ÁGUA

CONCEITOS BÁSICOS
EM APOIO À GESTÃO



Confederação Nacional da Indústria
PELO FUTURO DA INDÚSTRIA

ENQUADRAMENTO DOS CURSOS D'ÁGUA

CONCEITOS BÁSICOS
EM APOIO À GESTÃO

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI*Robson Braga de Andrade*

Presidente

Gabinete da Presidência*Teodomiro Braga da Silva*

Chefe do Gabinete - Diretor

Diretoria de Desenvolvimento Industrial*Carlos Eduardo Abijaodi*

Diretor

Diretoria de Relações Institucionais*Mônica Messenberg Guimarães*

Diretora

Diretoria de Serviços Corporativos*Fernando Augusto Trivellato*

Diretor

Diretoria Jurídica*Hélio José Ferreira Rocha*

Diretor

Diretoria de Comunicação*Ana Maria Curado Matta*

Diretora

Diretoria de Educação e Tecnologia*Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramacciotti*

Diretor

Diretoria de Inovação*Gianna Cardoso Sagazio*

Diretora

ENQUADRAMENTO DOS CURSOS D'ÁGUA

CONCEITOS BÁSICOS EM APOIO À GESTÃO



Brasília, 2020



Confederação Nacional da Indústria
PELO FUTURO DA INDÚSTRIA

© 2020. CNI – Confederação Nacional da Indústria.

Qualquer parte desta obra poderá ser reproduzida, desde que citada a fonte.

CNI

Gerência Executiva de Meio Ambiente e Sustentabilidade - GEMAS

FICHA CATALOGRÁFICA

C748e

Enquadramento dos cursos d'água: conceitos básicos de gestão de recursos hídricos / Confederação Nacional da Indústria, Jussara Cabral Cruz.
– Brasília: CNI, 2020.
122 p. : il.

ISBN 978-65-86075-29-8

1. Recursos Hídricos. 2. Singreh. I. Título.

CDU: 504.062

CNI
Confederação Nacional da Indústria
Sede
Setor Bancário Norte
Quadra 1 – Bloco C
Edifício Roberto Simonsen
70040-903 – Brasília – DF
Tel.: (61) 3317-9000
Fax: (61) 3317-9994
<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/>

Serviço de Atendimento ao Cliente - SAC
Tels.: (61) 3317-9989/3317-9992
sac@cni.org.br

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – DIAGRAMA FUNDAMENTOS DA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS	12
FIGURA 2 – VAZÃO RETIRADA E A CONSUMIDA NO BRASIL	14
FIGURA 3 – ESTRUTURA DO SINGREH	15
FIGURA 4 – USOS DA ÁGUA E NÍVEL DE EXIGÊNCIA DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	20
FIGURA 5 – USO DA ÁGUA PREPONDERANTE NO BRASIL (1940 E 2016)	21
FIGURA 6 – DEMANDAS POR FINALIDADE.....	22
FIGURA 7 – SITUAÇÃO DA QUALIDADE DOS RIOS SEGUNDO ÍNDICE DE QUALIDADE	22
FIGURA 8 – DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA	27
FIGURA 9 – SITUAÇÃO DA QUALIDADE DOS RIOS EM CONDIÇÕES NATURAIS	28
FIGURA 10 – PROGNÓSTICO DA SITUAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA.....	28
FIGURA 11 – PROGNÓSTICO DA SITUAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA NA BACIA: O RIO QUE QUEREMOS ...	29
FIGURA 12 – PROJEÇÃO DO FUTURO NA BACIA: EVOLUÇÃO TEMPORAL E PLANEJAMENTO	29
FIGURA 13 – CONSTRUÇÃO DO ENQUADRAMENTO NA BACIA	30
FIGURA 14 – CENARIZAÇÃO DE FUTUROS NA BACIA	30
FIGURA 15 – PROGRAMAS DE AÇÃO PARA ATENDER AO ENQUADRAMENTO NA BACIA	31
FIGURA 16 – ETAPAS DE APROVAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DO ENQUADRAMENTO NA BACIA.....	31
FIGURA 17 – IMPLEMENTAÇÃO DO ENQUADRAMENTO NA BACIA.....	32
FIGURA 18 – IMPLEMENTAÇÃO DO ENQUADRAMENTO: CONDIÇÕES DE EFETIVIDADE	32
FIGURA 19 – BACIA HIDROGRÁFICA – PLANTA.....	37
FIGURA 20 – BACIA HIDROGRÁFICA – ALTIMETRIA.....	37
FIGURA 21 – BACIA HIDROGRÁFICA – 3D	38
FIGURA 22 – SISTEMA DE BACIA HIDROGRÁFICA.....	38
FIGURA 23 – HIDROGRAMA	39
FIGURA 24 – (A) CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO MENOR QUE A PRECIPITAÇÃO EM TODO O INTERVALO; (B) CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO MAIOR QUE A CHUVA EM TODO O INTERVALO; E (C) CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO IGUAL À PRECIPITAÇÃO EM TX (C)	42
FIGURA 25 – RELAÇÃO ÁGUAS SUPERFICIAIS VERSUS SUBTERRÂNEAS	42
FIGURA 26 – PICO DE VAZÕES, BACIAS RURAL E URBANIZADA.....	43
FIGURA 27 – INSTALAÇÃO DO PLUVIÔMETRO/PLUVIÓGRAFO	46
FIGURA 28 – PLUVIÔMETRO VILLE DE PARIS	47
FIGURA 29 – EXEMPLO DE CURVA-CHAVE	49
FIGURA 30 – SÉRIE DE DADOS DE VAZÕES DIÁRIAS OBSERVADAS DE UM PONTO DE MONITORAMENTO	53
FIGURA 31 – APRESENTAÇÃO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS DO HIDROGRAMA	53
FIGURA 32 – EXEMPLO DE SEPARAÇÃO DOS ESCOAMENTOS	55
FIGURA 33 – AVALIAÇÃO DE SÉRIES HISTÓRICAS.....	57
FIGURA 34 – MÉTODO SILVEIRA.....	60
FIGURA 35 – O HIDROGRAMA E OS PERÍODOS DE RECESSÃO.....	62
FIGURA 36 – ESTRUTURA METODOLÓGICA	63
FIGURA 37 – EFEITO DA REGULARIZAÇÃO NA CURVA DE PERMANÊNCIA	67
FIGURA 38 – CENÁRIOS DE AFLUÊNCIAS	68

FIGURA 39 – DISTRIBUIÇÃO DO BOLO: À ESQUERDA PARA DEMANDA PEQUENA, À DIREITA PARA DEMANDA ALTA, NAS SITUAÇÕES COM TODA OFERTA EM BOAS CONDIÇÕES (FIGURAS DE CIMA) E COM PARTE DA OFERTA DE BAIXA QUALIDADE (FIGURAS DE BAIXO).....	70
FIGURA 40 – AJUSTE DA DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL A VAZÕES MÍNIMAS	72
FIGURA 41 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO FLUVIOGRAMA E A RESPECTIVA CURVA DE PERMANÊNCIA.....	73
FIGURA 42 – CONJUNTO DE DADOS DAS VARIÁVEIS ALEATÓRIAS “VAZÃO DE PERMANÊNCIA X%”	74
FIGURA 43 – CURVA DE PERMANÊNCIA EM PASSO DO ROCHA – 85480000	75
FIGURA 44 – VAZÕES DE 95% DE PERMANÊNCIA – DOIS MÉTODOS DE CÁLCULO	75
FIGURA 45 – EXEMPLO DE HIDROGRAMA ECOLÓGICO: (1) VAZÃO MÍNIMA EM CADA MÊS (NECESSÁRIA PARA NÃO REDUZIR O TAMANHO DO HABITAT); (2) MÁXIMA VAZÃO DURANTE A ESTIAGEM; (3) MÍNIMA VAZÃO DE CHEIA; (4) PEQUENAS CHEIAS NO INÍCIO DO VERÃO.....	81
FIGURA 46 – PROPOSTA DE REBAIXAMENTO DA FRANJA DE TENSÃO SOBRE DIFERENTES VAZÕES BASAIS E RESULTADO ESPERADO SOBRE O PROCESSO DE SUCESSÃO ECOLÓGICA AO LONGO DO TEMPO.....	82
FIGURA 47 – MODULAÇÃO DA REDE	86
FIGURA 48 – EXEMPLO DA PERMANÊNCIA DE VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA EM CADA CLASSE DA RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357, DE 2005, EM MICROBACIAS DE USOS CAMPO NATIVO (MC) E USO EUCALIPTO (ME) EM ROSÁRIO DO SUL. PÉRIODO ÚMIDO E PÉRIODO SECO.....	98
FIGURA 49 – CURVAS DE PERMANÊNCIA DA QUALIDADE EM CLASSES – BACIA DO CAMPUS UFSM.....	99
FIGURA 50 – INTEGRAÇÃO CURVA DE PERMANÊNCIA E QUALIDADE PROPOSTA DE CUNHA ET AL.	99
FIGURA 51 – ANÁLISE ESPACIAL DA QUALIDADE DA ÁGUA	100

LISTA DE TABELAS E QUADROS

TABELA 1 – ÁGUAS BRASILEIRAS: CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DE ACORDO COM OS USOS.....	23
TABELA 2 – PADRÕES DE QUALIDADE PARA ÁGUAS DOCES, CONFORME RESOLUÇÃO CONAMA Nº 357/2005	24
QUADRO 1 – ETAPAS EM PROCESSO DE ENQUADRAMENTO.....	33
TABELA 3 – CURVAS DE PERMANÊNCIA ANO A ANO	76
TABELA 4 – EXEMPLO DE CÁLCULO DA CURVA DE PERMANÊNCIA MÉDIA.....	77
TABELA 5 – VALORES DE K	77
TABELA 6 – SIMULAÇÃO DE CONCESSÃO DE OUTORGAS DE MONTANTE PARA JUSANTE.....	89
TABELA 7 – SIMULAÇÃO DE CONCESSÃO DE OUTORGAS DE JUSANTE PARA MONTANTE.....	90
QUADRO 2 – PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA E CARACTERÍSTICAS CORRESPONDENTES	92

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	9
1 SINGREH	11
2 ENQUADRAMENTO.....	19
3 ETAPAS DO ENQUADRAMENTO.....	27
4 BASES TÉCNICAS.....	35
4.1 Ciclo hidrológico na bacia hidrográfica e formação das vazões.....	36
4.2 Rede de Monitoramento	43
4.2.1 Pluviometria	45
4.2.2 Fluiometria	48
4.2.3 Curva-chave.....	49
4.2.4 Monitoramento de qualidade da água.....	50
4.3 Tempo de retorno	52
4.4 Estimativas de vazões	52
4.4.1 Hidrograma e fluviogramas.....	52
4.4.2 Técnicas de estimativas de vazões.....	56
4.4.2.1 Método Silveira	60
4.4.2.2 Regionalização de vazão.....	64
4.4.2.3 Regularização de vazões	66
4.5 Disponibilidade hídrica – quantidade	68
4.5.1 Vazão de referência para gestão	70
4.5.1.1 Curvas de vazões mínimas	71
4.5.1.2 Curvas de permanência	72
4.5.1.3 Curvas de vazões médias	77
4.5.2 Vazão ambiental	78
4.6 Balanço hídrico e a questão da alocação.....	84
4.7 Qualidade da água	91
4.7.1 Parâmetros de qualidade	92
4.7.2 Balanço de Massas	94
4.7.3 Curvas de permanência de qualidade da água	96
4.7.4 Índices de Qualidade das Águas	100
4.7.5 Modelos de simulação de qualidade da água	102
REFERÊNCIAS	107
LINKS DE INTERESSE	117
Qualidade da água e enquadramento	117
Outorga e disponibilidade hídrica	118
Estimativa de vazões e variáveis hidrológicas	119
Vazões Ecológicas.....	120
Avaliação integrada	121

APRESENTAÇÃO

“Assegurar o acesso sustentável à água de qualidade, em quantidade adequada à manutenção dos meios de vida, ao bem-estar humano e ao desenvolvimento socioeconômico. Garantir proteção contra a poluição hídrica e os desastres relacionados à água. Preservar os ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política.” Essa é a definição de segurança hídrica dada pela Organização das Nações Unidas (ONU), que explicita a preocupação atual com os conflitos em bacias hidrográficas nacionais e transfronteiriças.

A Confederação Nacional da Indústria (CNI) reconhece a necessidade de prevenir e minimizar os conflitos decorrentes do uso da água, assegurando, em especial, os meios para reduzir os efeitos da sua falta na indústria, seja em função das mudanças climáticas, seja em razão da má gestão do insumo. O equacionamento desses aspectos é importante para manter o desenvolvimento e a competitividade das atividades do setor.

A legislação vigente de recursos hídricos (Lei Federal nº 9.433/97, no seu artigo 9º) prevê: “O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes”.

A classificação é, portanto, um instrumento importante, pois traduz as diretrizes definidas pela sociedade e pelos órgãos gestores para os corpos de água, estabelecendo metas de qualidade na utilização do insumo.

Diante da necessidade de transmitir esse conhecimento aos usuários de recursos hídricos, em especial os do setor industrial, e para contribuir com a gestão desse bem natural, a Confederação Nacional da Indústria (CNI) realizou, em 2019, a primeira capacitação em enquadramento de corpos de água.

Resultado dessa iniciativa, a presente publicação faz parte do esforço da indústria brasileira para qualificar seus representantes e habilitá-los a participar com mais efetividade desse importante processo em curso no Brasil.

Boa Leitura.

Robson Braga de Andrade

Presidente da CNI



1 SINGREH



O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) é o conjunto de órgãos e colegiados que concebe e implementa a Política Nacional das Águas.

Instituído pela Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997), o papel principal do Singreh é fazer a gestão dos usos da água de forma democrática e participativa. Além disso, o Sistema tem como principais objetivos:

- Coordenar a gestão integrada das águas.
- Arbitrar administrativamente os conflitos relacionados aos recursos hídricos.
- Planejar, regular e controlar o uso, bem como a recuperação dos corpos d'água.
- Promover a cobrança pelo uso da água.
- Arbitrar administrativamente os conflitos relacionados aos recursos hídricos.

O Singreh é composto pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), pela Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental (SRQA), pela Agência Nacional de Águas, pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERH), pelos Órgãos gestores de recursos hídricos estaduais (Entidades Estaduais), pelos Comitês de Bacia Hidrográfica e pelas Agências de Água.^{1,2}

¹ Fonte: disponível em: <https://www.ana.gov.br/gestao-da-agua/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos/o-que-e-o-singreh/o-que-e-singreh>

² ANA – Capacitação Para Gestão Das Águas
Marco Legal – Lei das Águas

Módulo 1: Política Nacional de Recursos Hídricos: fundamentos, objetivos e diretrizes: http://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/121/3/ANA_OS11_Mod1_Unid123_V1.1.pdf
Módulo 2: Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos: http://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/121/2/ANA_OS11_Mod2_V1.1.pdf
Módulo 3: Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos: http://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/121/1/ANA_OS11_Mod3_V1.1.pdf

Com o aumento da população, tem-se como consequência o aumento do consumo da água, seja de forma direta, com captação e uso, seja de forma indireta, por meio do uso nos processos de produção, para geração de energia, para transporte (diluição de poluentes ou navegação), para lazer. Com o aumento dessas demandas, surgem conflitos de uso entre diferentes usuários da água.

Com objetivo de evitar, minimizar ou mesmo resolver conflitos de uso, em 1997, foi promulgada a Lei Federal nº 9.433, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh). A PNRH foi construída tendo por base os seguintes fundamentos (Figura 1):

- I – a água é um bem de domínio público;
- II – a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III – em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a desidratação de animais;
- IV – a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V – a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI – a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades [...]

FIGURA 1 – Diagrama Fundamentos da Política Nacional de Recursos Hídricos



Curso: "Enquadramento dos Corpos de Água Superficiais e Subterrâneos. Prof. Dra. Jussara Cabral Cruz.

Fonte: elaboração própria.

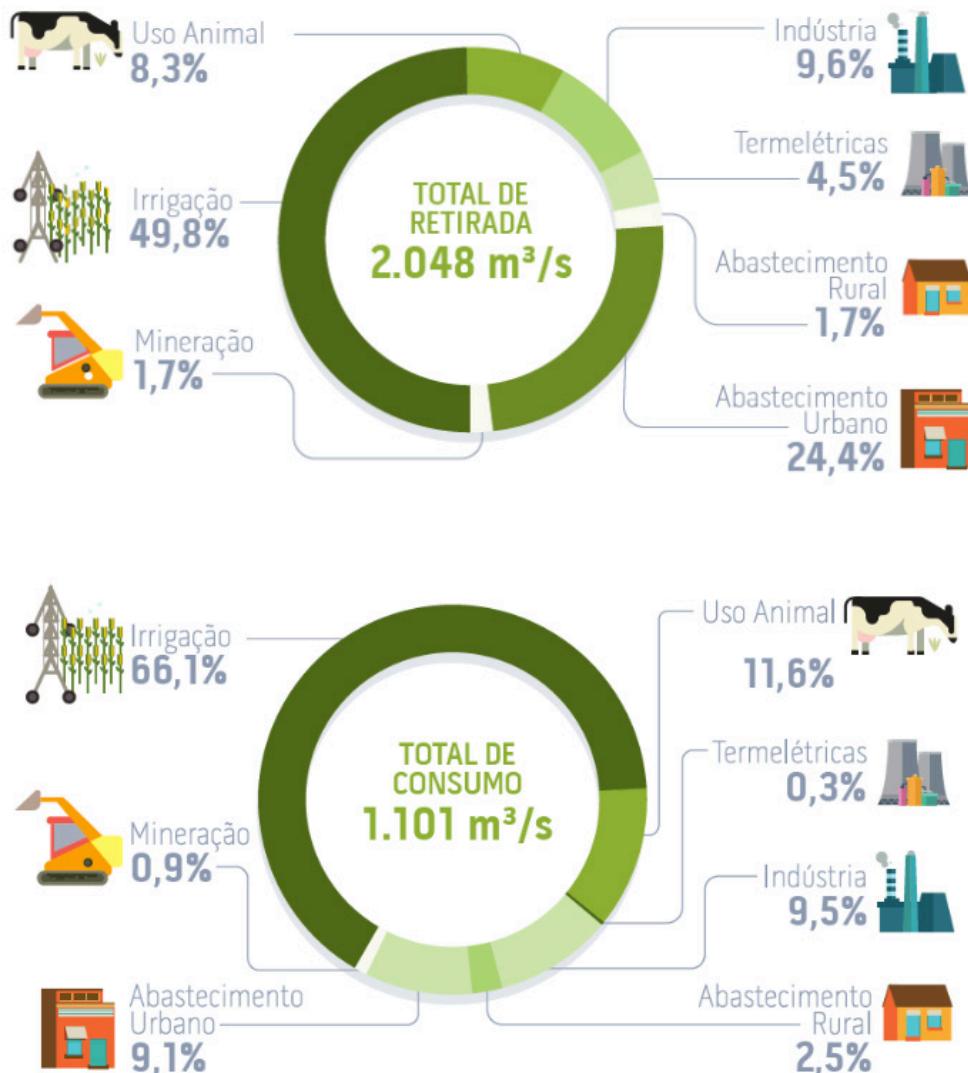
A lei, portanto, estipula que todos os setores usuários da água devem ter equidade de acesso aos recursos hídricos, salvo em situações de escassez, quando se deve estabelecer como prioridade de uso da água o consumo humano e a dessedentação de animais.

Os diversos tipos de uso das águas podem ser para:

- abastecimento para consumo humano;
- dessedentação de animais;
- irrigação;
- geração de energia (hidrelétrica e térmicas);
- matéria-prima para a indústria;
- processos industriais;
- diluição de cargas poluidoras;
- navegação;
- mineração;
- aquicultura e atividade de pesca;
- lazer;
- proteção das comunidades aquáticas; e
- harmonia paisagística, etc.

Entre os tipos de usos da água, há os consuntivos e os não consuntivos. Os usos consuntivos são os que usam a água, reduzindo as vazões. Os usos não consuntivos são os que não alteram as vazões ou retiram do curso, mas devolvem praticamente toda a água utilizada para o manancial. Estes usos podem causar impacto na qualidade da água, como a água usada para a diluição de efluentes em rios.

No Brasil, conforme os dados disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), em 2018 (ANA, 2020, pag32), a distribuição das águas, em função do tipo de uso, pode ser observada na Figura 2.

FIGURA 2 – Vazão retirada e a consumida no Brasil

Fonte: ANA (2019).

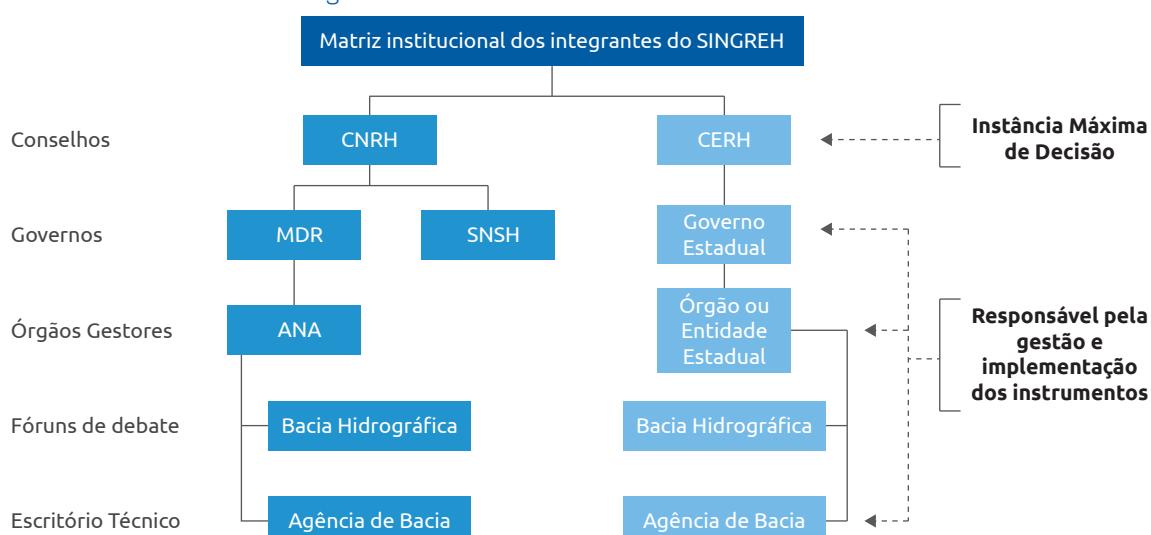
A gestão das águas não envolve somente o foco do uso dos recursos hídricos, mas também os usos referentes ao manejo ambiental das águas:

- Drenagem urbana.
- Prevenção e mitigação de eventos hidrológicos críticos.
- Coleta, remoção e transformação de poluentes.
- Manejo de qualidade ambiental.
- Proteção/restauração de recursos biológicos.
- Recarga de aquíferos.
- Ordenamento territorial.

O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – Singreh (Figura 3) é constituído pelas seguintes instituições (artigo 33 da Lei nº 9.433/1997) e relacionados conforme:

- I – o Conselho Nacional de Recursos Hídricos;
- II – a Agência Nacional de Águas;
- III – os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal;
- IV – os Comitês de Bacia Hidrográfica;
- V – os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos;
- VI – as Agências de Água.

FIGURA 3 – Estrutura do Singreh



Fonte: Elaboração própria, com base em "Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos - informe 2018/ANA (2019)".

São objetivos do Singreh:

- Coordenar a gestão integrada das Águas.
- Arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos;
- Planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos.
- Implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos.
- Promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Para viabilizar a gestão, a PNRH instituiu os instrumentos de gestão (Lei nº 9.433/1997):

- I – os Planos de Recursos Hídricos;
- II – o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III – a outorga dos direitos 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.



2 ENQUADRAMENTO



Segundo a legislação vigente de recursos hídricos, Lei Federal nº 9.433/1997, no seu art. 9º reza: “O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes” (BRASIL, 1997).

O enquadramento de corpos de água em classes de uso é, portanto, um instrumento importante no processo de gestão, pois traduz as diretrizes de uso definidas pela sociedade e pelos órgãos gestores para os corpos de água e estabelece as correspondentes classes de uso e metas de qualidade adequadas.

Os objetivos de qualidade a serem mantidos nos corpos hídricos deverão respeitar os critérios estabelecidos pela legislação, que determina o enquadramento dos trechos de rio e limitam a maior ou menor possibilidade para autorização de uso.

A qualidade a ser mantida no corpo receptor (enquadramento), expressa por classes de uso, é disciplinada na forma de padrões pela Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama). Padrões são valores-limite para serem atendidos em um corpo hídrico destinado a um uso específico. Esses limites são estabelecidos cientificamente, associando concentrações ou níveis de determinadas variáveis de qualidade a efeitos no meio ambiente.

Além do padrão de qualidade dos corpos receptores, a Resolução Conama nº 357/2005 apresenta, ainda, padrões para lançamento de efluentes nos corpos de água, bem como padrões de balneabilidade. Preparou-se, a partir da resolução, um quadro síntese, utilizado para a classificação de usos das águas brasileiras. São cinco classes, a classe Especial e as classes de 1 a 4, para cada tipo de águas: doces, salobras e salinas (ver tabela 1).

(continua)

(conclusão)

Considerando que a disponibilidade hídrica é caracterizada por vazões de referência vinculadas a uma permanência no tempo, é necessário determinar as concentrações prováveis de cada variável de qualidade pesquisada, para verificar se atendem ou não as diretrizes do enquadramento. Para isso, é necessário conhecer as cargas dos poluentes para relacioná-las com os valores de referência de disponibilidade quantitativa.

O processo de identificação das cargas é realizado a partir da avaliação quali-quantitativa, em que:

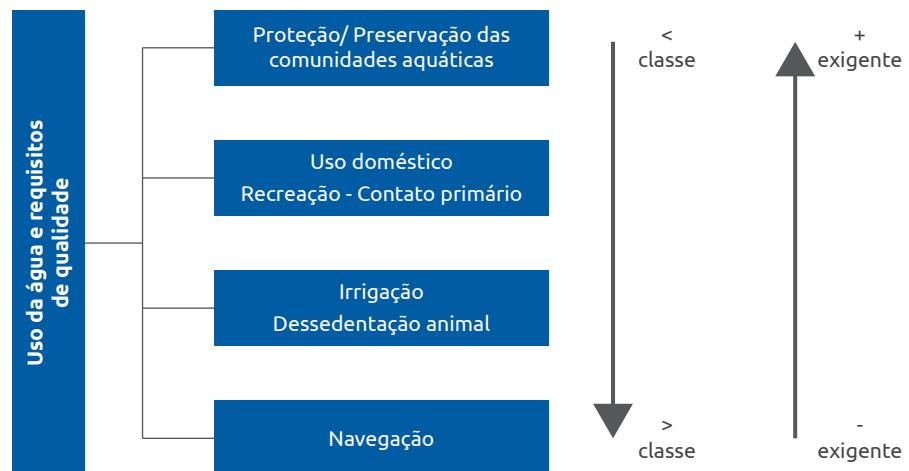
- (i) os dados de descarga são provenientes do monitoramento quantitativo com medição da descarga no momento da coleta;
- (ii) os valores das variáveis de qualidade são resultados do monitoramento qualitativo, com coleta de amostras e análises em laboratório.

A concentração de um soluto na água é dada em unidade de massa do soluto por unidade de volume [ML-3] do solvente ou em massa por vazão [ML-3T] do solvente.

Fonte: CRUZ, Jussara Cabral; SILVEIRA, Geraldo Lopes da. Disponibilidade hídrica para outorga em bacias com elevado uso consuntivo (i): avaliação por SHR. EGA. **Revista de Gestão de Águas da América Latina – Rega**, v. 4, n. 2, p. 51-64, jul./dez. 2007. (Adaptado.) - Fonte: disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/70/b3ddfeaa8780ea5216190ad209442067_f03fe-402dcbb6878e1bd82cdd579e499.pdf. Acesso em: 7 set. 2019.

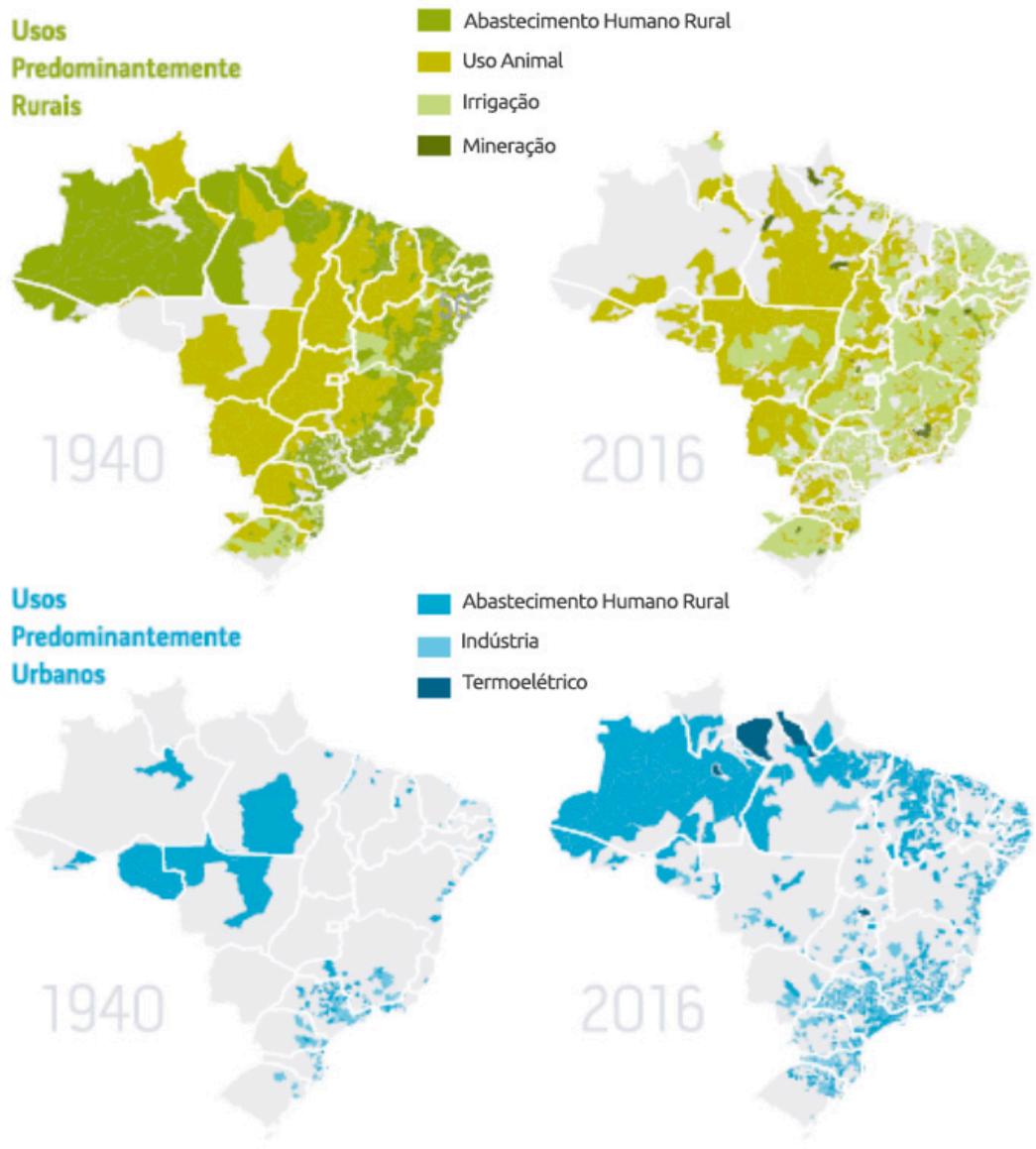
A seguir, são apresentadas algumas informações sobre lógica de classificação (quanto maior é a exigência de qualidade da água, menor é a CLASSE de uso - Figura 4), a evolução dos usos preponderantes no país (Figura 5) e respectivas demandas atuais (Figura 6), bem como os parâmetros para classificação das águas segundo os usos preponderantes. Já a Figura 7 mostra um panorama da situação da qualidade das águas no país.

FIGURA 4 – Usos da água e nível de exigência de qualidade da água

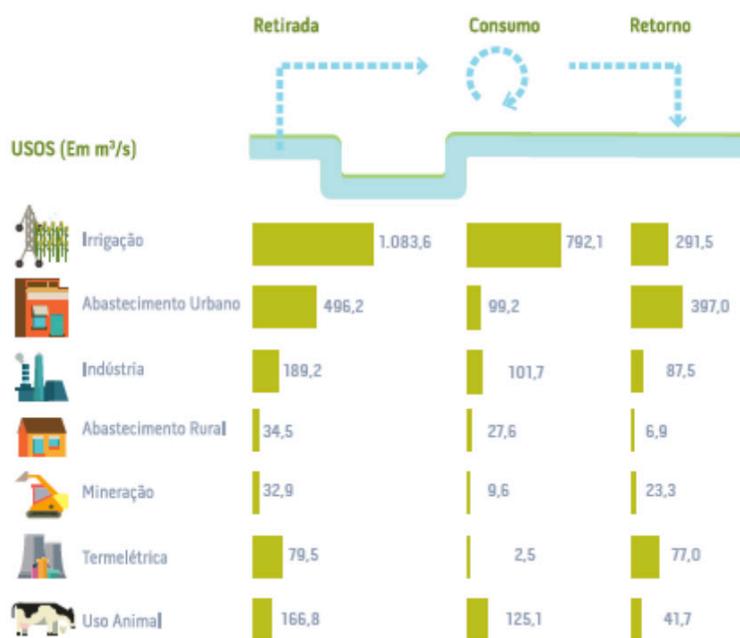


Fonte: elaboração própria

FIGURA 5 – Uso da água preponderante no Brasil (1940 e 2016)



Fonte: Conjuntura 2017/ANA (2017, p. 56).

FIGURA 6 – Demandas por finalidade

Fonte: Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos - informe 2018/ANA (2019).

FIGURA 7 – Situação da qualidade dos rios segundo índice de qualidade

Fonte: Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos - informe 2018/ANA 2019

TABELA 1 – Águas brasileiras: Classificação das águas de acordo com os usos

Tipo de consumo	Tipo de água											
	Doce					Salina				Salobra		
	Classe											
	Especial	1	2	3	4	Especial	1	2	3	Especial	1	2
Abastecimento para consumo humano	TD	TS	TC	TC ou TAV						TC ou TAV		
Aquicultura e atividade de pesca			X				X			X		
Dessedentação de animais				X								
Harmonia paisagística					X			X			X	
Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras				X								
Irrigação de hortaliças/frutas que são consumidas cruas/sem remoção de película		X								X		
Irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto			X							X		
Navegação				X			X				X	
Pesca amadora				X			X				X	
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	X					X				X		
Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral	X					X				X		
Proteção das comunidades aquáticas	X*	X					X			X		
Recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução Conama nº 274, de 2000	X	X					X			X		
Recreação de contato secundário			X				X			X		

Fonte: Cruz e Silveira (2007).

Nota: tipos de tratamento para a água de consumo humano: desinfecção: TD; simplificado: TS; convencional: TC; avançado: TAV.

Nota: X* – em terras indígenas.

Na Tabela 2, são mostrados exemplos de padrões de qualidade para águas doces de alguns parâmetros de qualidade da água conforme a Resolução nº 357/2005.

TABELA 2 – Padrões de qualidade para águas doces, conforme Resolução Conama nº 357/2005

Parâmetros	Unidade	Padrões de qualidade				
		Classe especial	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Turbidez	UNT	–	≤40	≤100	≤100	–
pH	–	–	6 - 9	6 - 9	6 - 9	6 - 9
Oxigênio dissolvido	mg.L ⁻¹	–	≥6	≥5	≥4	≥2
Sólidos dissolvidos totais	mg.L ⁻¹	–	≤500	≤500	≤500	–
DBO	mg.L ⁻¹	–	≤3	≤5	≤10	–
Nitrito	mg.L ⁻¹	–	≤10	≤10	≤10	–
Nitrito	mg.L ⁻¹	–	≤1	≤1	≤1	–
Cloreto	mg.L ⁻¹	–	≤250	≤250	≤250	–
Sulfato	mg.L ⁻¹	–	≤250	≤250	≤250	–
Fósforo total (ambiente lêntico)	mg.L ⁻¹	–	≤0,02	≤0,03	≤0,03	–
Fósforo total (ambiente lótico)	mg.L ⁻¹	–	≤0,10	≤0,10	≤0,15	–
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	–	≤200	≤1000	≤4000	–

Fonte: Conama (2005).

Nota: – limite não citado pela resolução.

A Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) afirma, também, no art. 42 que, enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, as salinas e salobras, classe 1. Exceção ocorre quando as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente (CONAMA, 2005).

Entende-se que a contaminação dos recursos hídricos é proveniente de fontes denominadas difusas e pontuais. A fonte difusa refere-se ao processo de carreamento, de forma esparsa, de todo o material orgânico e/ou inorgânico encontrado na superfície do solo, os quais alcançam os mananciais em diversos pontos ao longo de sua extensão, como, por exemplo, em função do escoamento superficial em áreas urbanas e do uso de fertilizantes em áreas agrícolas (VON SPERLING, 2005). No caso das fontes pontuais, os poluentes atingem os sistemas hídricos de maneira concentrada no espaço e tem sua descarga contínua e conhecida, como nas situações de despejos de efluentes industriais e de esgoto doméstico (SPERLING, 2005; TOMAZ, 2006).

Nessa ótica, quantificar o escoamento de um corpo hídrico é essencial na avaliação da sua qualidade, uma vez que possibilita a verificação da capacidade de diluição de potenciais cargas de poluição difusas ou pontuais (SILVEIRA, 1997; CRUZ; TUCCI, 2008; LIBÂNIO, 2010). A indissociabilidade dos aspectos quali-quantitativos é fundamental para compreensão de possíveis impactos ambientais em uma bacia hidrográfica, onde uma mesma carga poluidora pode ser diluída em função da amplitude da variação das vazões (SILVEIRA *et al.*, 2003).



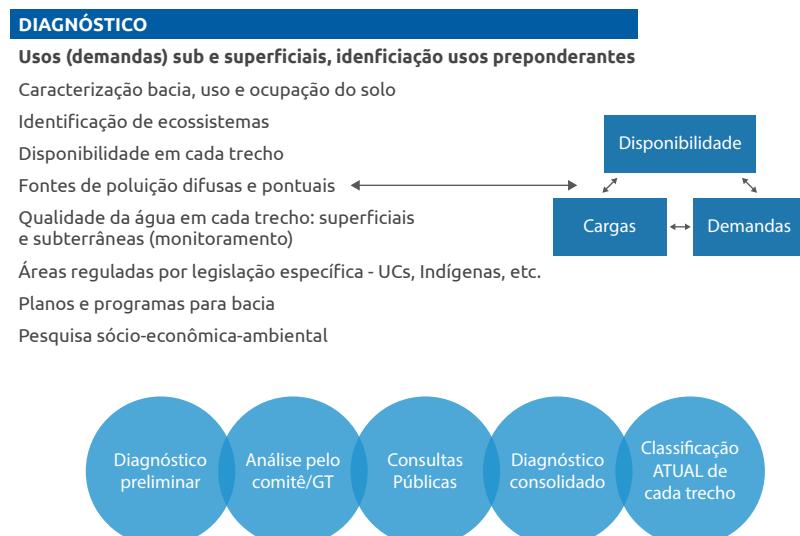
3 ETAPAS DO ENQUADRAMENTO³

A Resolução CNRH nº 91/2008, que dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, apresenta as etapas do enquadramento:

- Diagnóstico da bacia.
- Prognóstico (cenários futuros).
- Elaboração das alternativas de enquadramento e programa de efetivação.
- Análise e deliberação do Comitê e do Conselho de Recursos Hídricos.
- Implementação do programa de efetivação.

As Figuras 8 a 18 a seguir expressam essas etapas.

FIGURA 8 – Diagnóstico da situação da qualidade da água na bacia

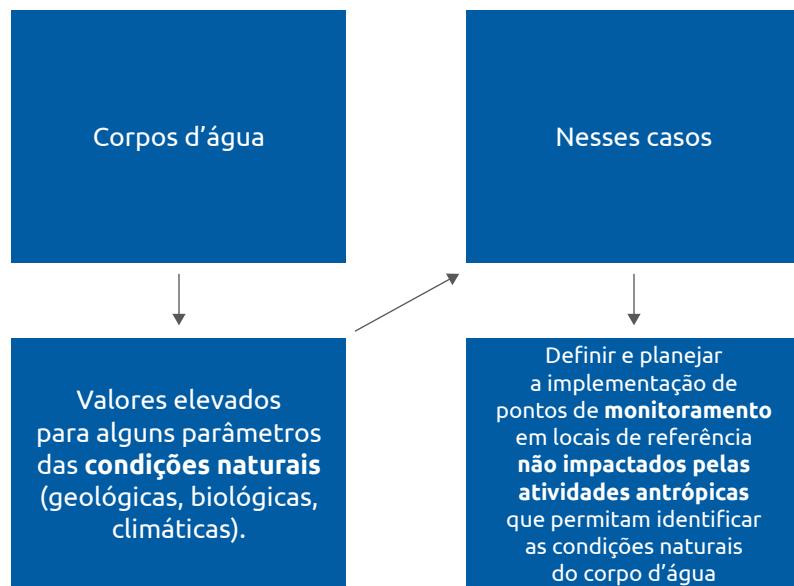


Prof. Dra. Jussara Cabral Cruz

Fonte: elaboração própria.

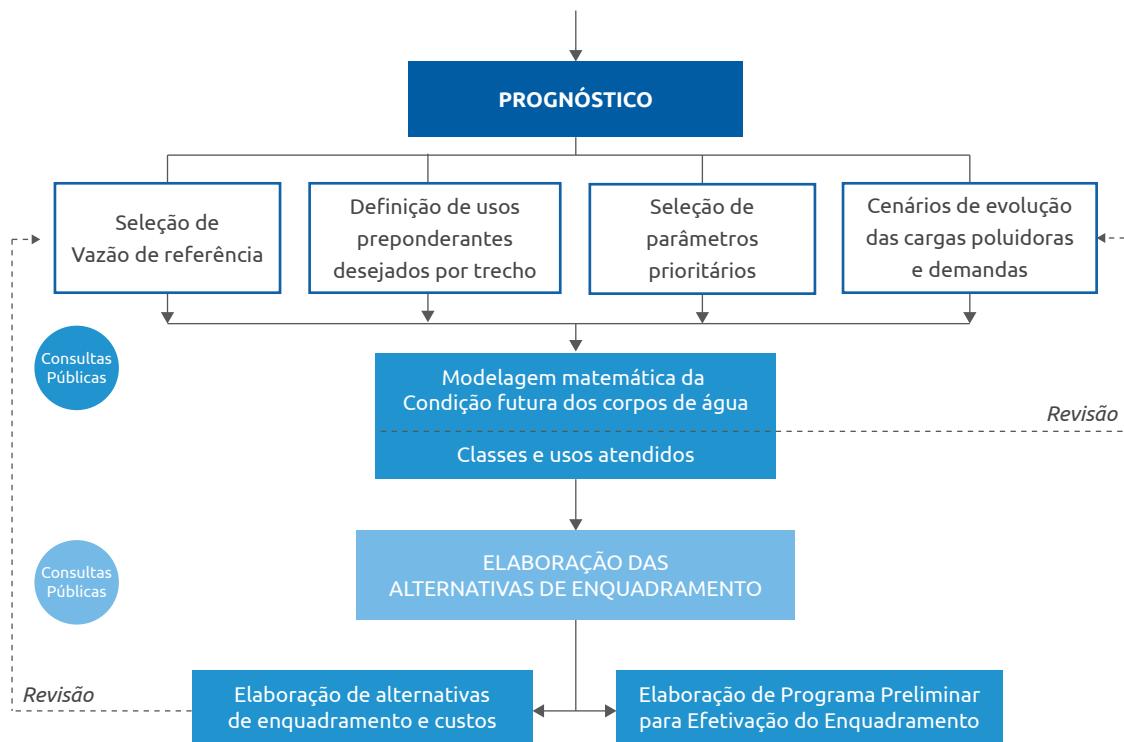
³ Técnico – sugestão de leitura. MACHADO, Enéas Souza; KNAPIK, Heloise Garcia; BITENCOURT, Camila de Carvalho Almeida de. Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. **Eng. Sanit Ambient**, v. 24, n. 2, p. 261-269, mar./abr. 2019. DOI: 10.1590/S1413-41522019181252.

FIGURA 9 – Situação da qualidade dos rios em condições naturais



Fonte: elaboração própria.

FIGURA 10 – Prognóstico da situação da qualidade da água na bacia



Curso: "Enquadramento dos Corpos de Água Superficiais e Subterrâneos. Prof. Dra. Jussara Cabral Cruz.

Fonte: ANA (2013). Adaptado de Plano de Recursos Hídricos e Enquadramento dos Corpos de Água. Cadernos, v. 5.

FIGURA 11 – Prognóstico da situação da qualidade da água na bacia: O Rio que queremos



Curso: "Enquadramento dos Corpos de Água Superficiais e Subterrâneos. Prof. Dra. Jussara Cabral Cruz.

Fonte: elaboração própria.

FIGURA 12 – Projeção do futuro na bacia: evolução temporal e planejamento

Projeção Futuro

EVOLUÇÃO temporal espacial	População Atividades econômicas Usos da água Uso do solo Disponibilidade da água Qualidade em cada trecho Estimativa de impactos de alterações hidrológicas e ambientais previsíveis Fontes poluidoras e de degradação ambiental
-----------------------------------	---

Políticas e Projetos	Desenvolvimento regional Planos de recursos hídricos Planos de saneamento Planos setoriais Planos municipais
-----------------------------	--

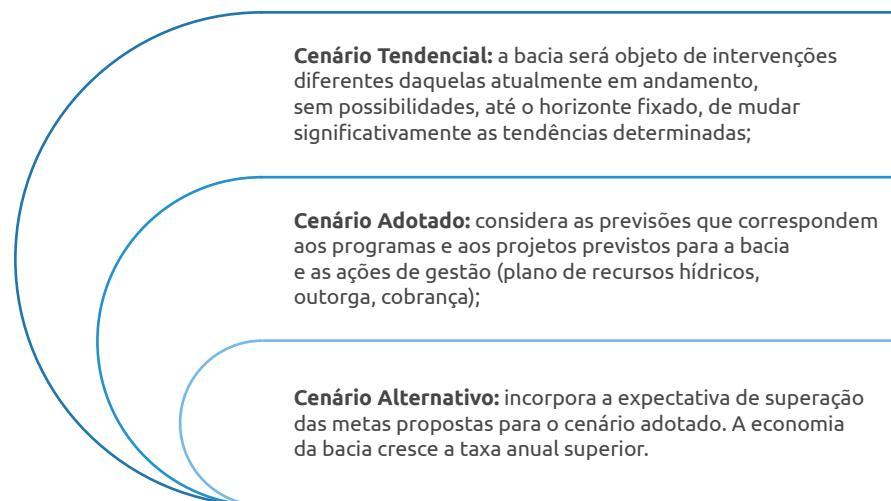
Curso: "Enquadramento dos Corpos de Água Superficiais e Subterrâneos. Prof. Dra. Jussara Cabral Cruz.

Fonte: elaboração própria.

FIGURA 13 – Construção do enquadramento na bacia

Curso: "Enquadramento dos Corpos de Água Superficiais e Subterrâneos. Prof. Dra. Jussara Cabral Cruz.

Fonte: elaboração própria.

FIGURA 14 – Cenarização de futuros na bacia

Curso: "Enquadramento dos Corpos de Água Superficiais e Subterrâneos. Prof. Dra. Jussara Cabral Cruz.

Fonte: elaboração própria.

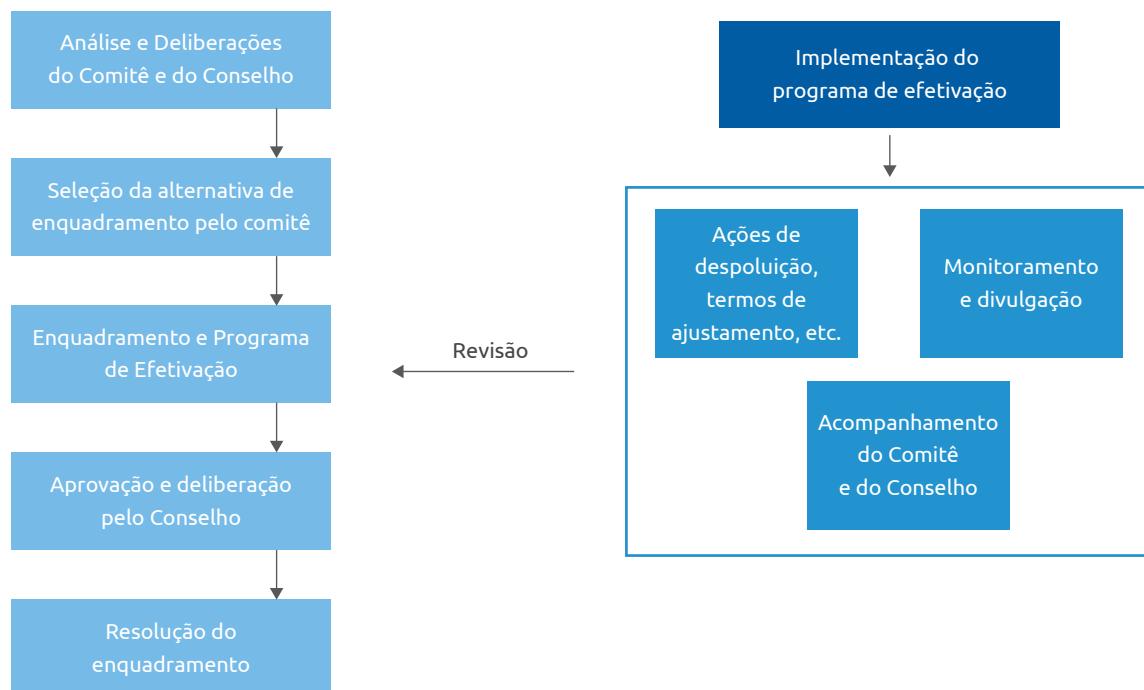
FIGURA 15 – Programas de ação para atender ao enquadramento na bacia



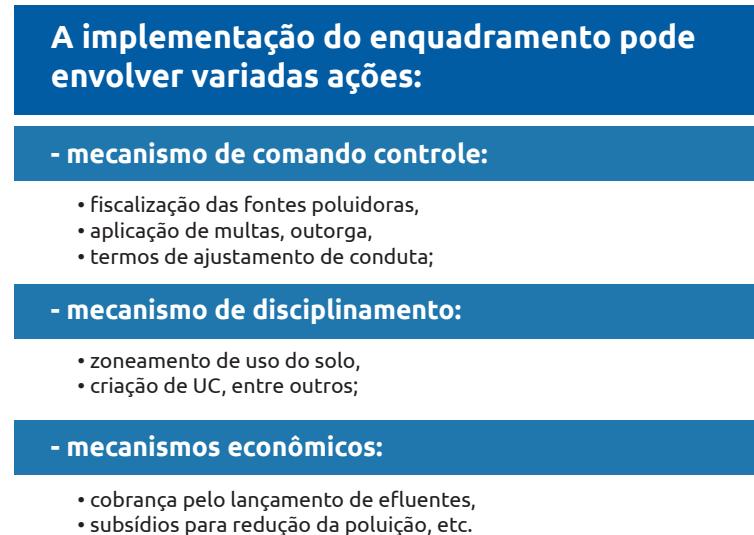
Curso: "Enquadramento dos Corpos de Água Superficiais e Subterrâneos. Prof. Dra. Jussara Cabral Cruz.

Fonte: elaboração própria.

FIGURA 16 – Etapas de aprovação e implementação do enquadramento na bacia

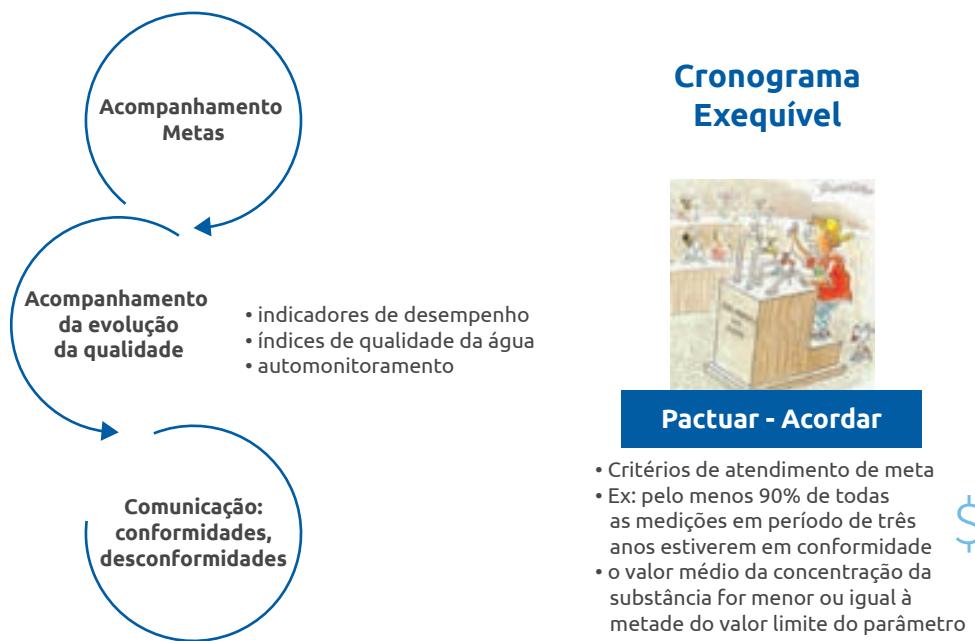


Fonte: Elaboração própria, adaptado de Plano de Recursos Hídricos e Enquadramento dos Corpos de Água. Cadernos, v5.

FIGURA 17 – Implementação do enquadramento na bacia

Curso: "Enquadramento dos Corpos de Água Superficiais e Subterrâneos. Prof. Dra. Jussara Cabral Cruz.

Fonte: elaboração própria.

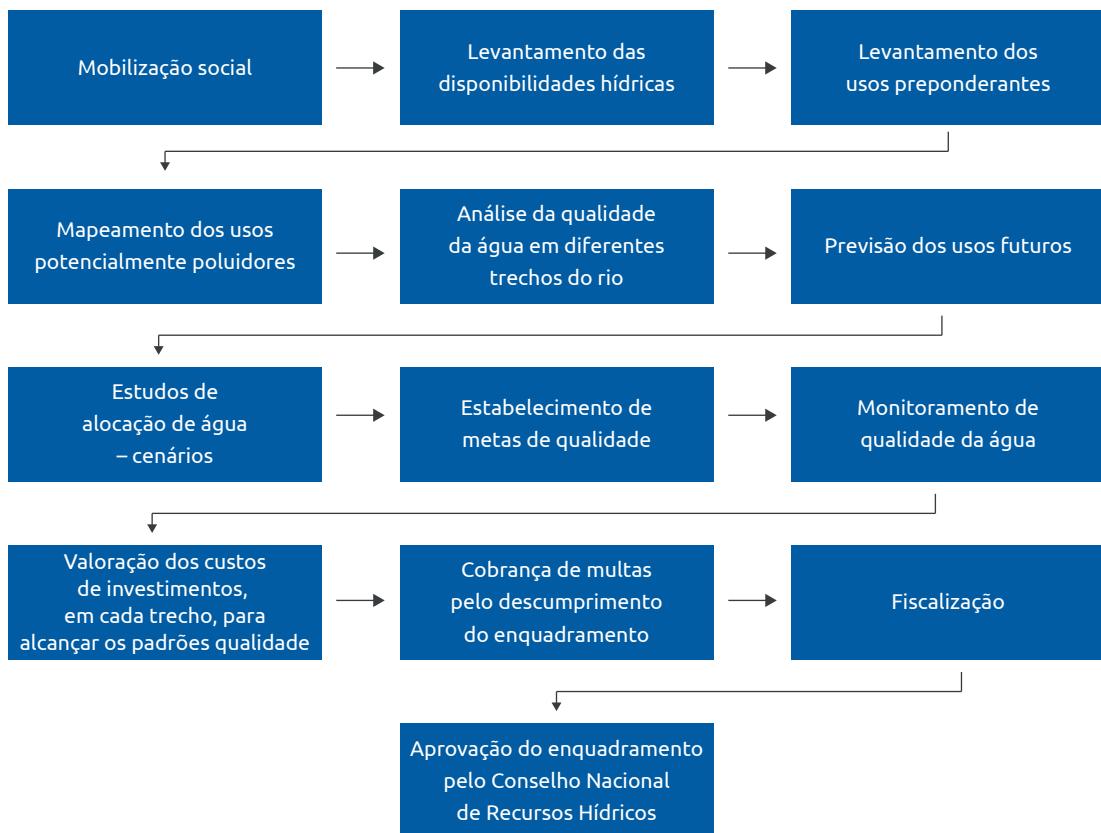
FIGURA 18 – Implementação do enquadramento: condições de efetividade

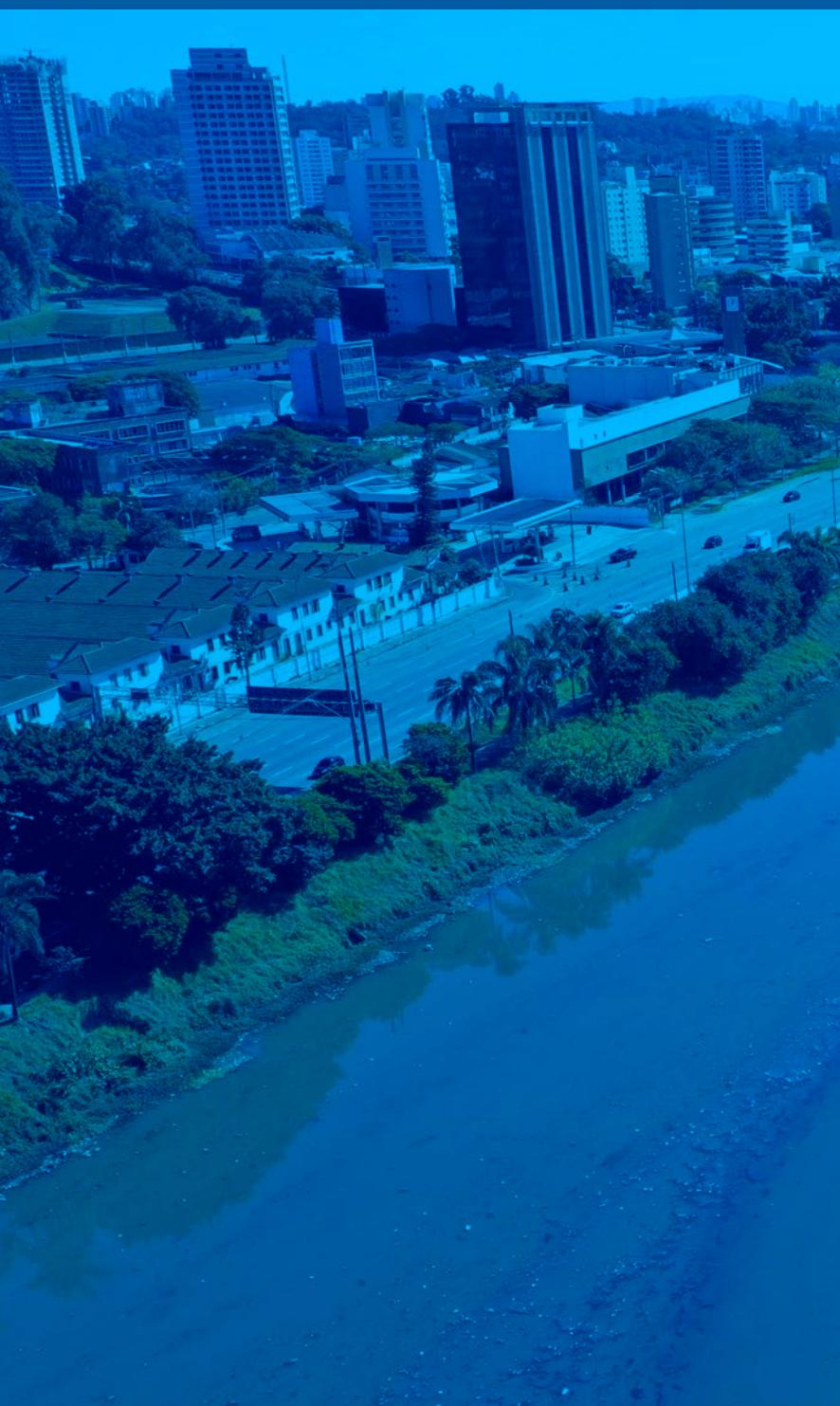
Curso: "Enquadramento dos Corpos de Água Superficiais e Subterrâneos. Prof. Dra. Jussara Cabral Cruz.

Fonte: elaboração própria.

O quadro 1, a seguir, apresenta as etapas de processo de enquadramento:

QUADRO 1 – Etapas em processo de enquadramento





4 BASES TÉCNICAS



Este capítulo contém um resumo sobre algumas das informações básicas para a gestão de recursos hídricos, em especial para apoiar o processo de enquadramento. Em especial, foca-se em informações que subsidiem a compreensão da lógica da alocação, considerando-se o balanço hídrico entre os usos da água e a disponibilidade hídrica (quantidade e a qualidade da água).

A estimativa da disponibilidade hídrica é obtida por meio de estudos hidrológicos, com base em informações provenientes de monitoramento hidrológico e da qualidade da água. Muitas vezes, pela carência de dados, é necessário estimar as vazões por modelagem hidrológica ou mesmo com uso de técnicas de regionalização.

A qualidade da água é avaliada pelos parâmetros de qualidade e por índices de qualidade, que são índices que sintetizam o estado de qualidade da água pelo agrupamento de um número grande de parâmetros. Portanto, é importante buscar ferramentas que permitam avaliar as consequências da diluição de poluentes nos rios, considerando a capacidade de suporte de cada corpo hídrico. Na sequência, são apresentados vários modelos para a análise da qualidade, bem como alguns dos índices mais utilizados para refletir a situação da qualidade das águas.

Para finalizar, são apresentados, simplificadamente, conceitos sobre balanço hídrico para gestão.

4.1 CICLO HIDROLÓGICO NA BACIA HIDROGRÁFICA E FORMAÇÃO DAS VAZÕES

A hidrologia estuda o comportamento físico da ocorrência da água sobre a Terra, sua quantidade, distribuição, circulação, características químicas e físicas, e sua relação com o meio ambiente e com os seres vivos e a possibilidade de aproveitamento da água na bacia hidrográfica, quantificando os recursos hídricos no tempo e no espaço. Com base na observação dos processos envolvidos no meio físico natural, permite avaliar o impacto da modificação da bacia hidrográfica sobre o comportamento dos processos hidrológicos. De forma bem simplificada, pode-se dizer que a hidrologia tenta responder à pergunta: O que acontece com a água da chuva?

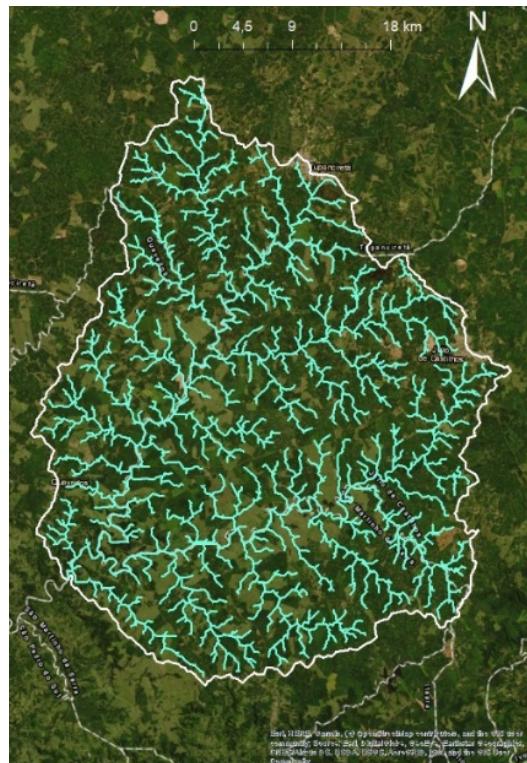
A ciência hidrológica estuda a hidrometeorologia (água na atmosfera); a geomorfologia (análise do relevo de bacias hidrográficas e sua associação com o escoamento); o escoamento da água sobre a superfície da bacia hidrográfica; a interceptação de precipitação pela cobertura vegetal na bacia hidrográfica; a infiltração e o escoamento em meio não saturado (no solo); o escoamento em meio saturado (fluxo em aquíferos); o escoamento em rios e canais e reservatórios; a evaporação e a evapotranspiração (reservatórios e lagos, evapotranspiração de culturas e da vegetação natural); o fluxo dinâmico em reservatórios, lagos e estuários; a produção e o transporte de sedimentos (erosão de solo transporte de sedimento, na superfície da bacia e nos rios); a qualidade da água e do meio ambiente e sua interação com seus usos na avaliação do meio ambiente aquático.

A hidrologia fornece os dados básicos para que seja viável o planejamento do uso dos recursos hídricos e dos cuidados ambientais.

O regime hidrológico é a síntese de todos os processos que ocorrem no espaço da bacia hidrográfica contribuinte a uma seção fluviométrica de interesse, a partir da entrada da precipitação, e contempla influências dos componentes do ciclo hidrológico como, entre outros, solo e relevo, uso e ocupação e práticas de manejo do solo.

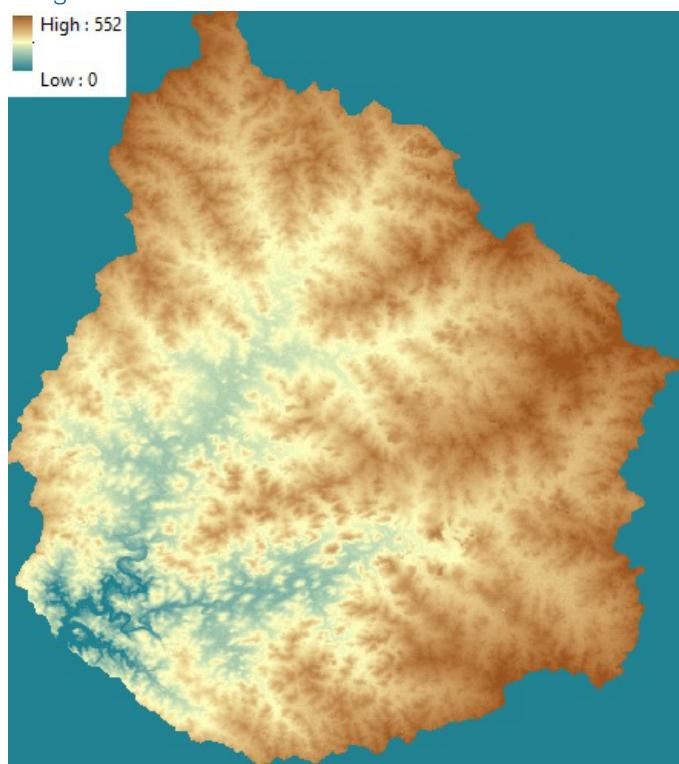
A bacia hidrográfica (Figura 19) é uma área de captação natural da água precipitada que converge os escoamentos para um ponto de saída – o exutório. As Figuras 20 e 21, são outras formas de visualização da bacia da Figura 19: a Figura 20 é uma representação de Modelo numérico do terreno evidenciando melhor as diferenças de altitudes do relevo e a Figura 21 uma representação em 3D.

FIGURA 19 – Bacia hidrográfica – planta

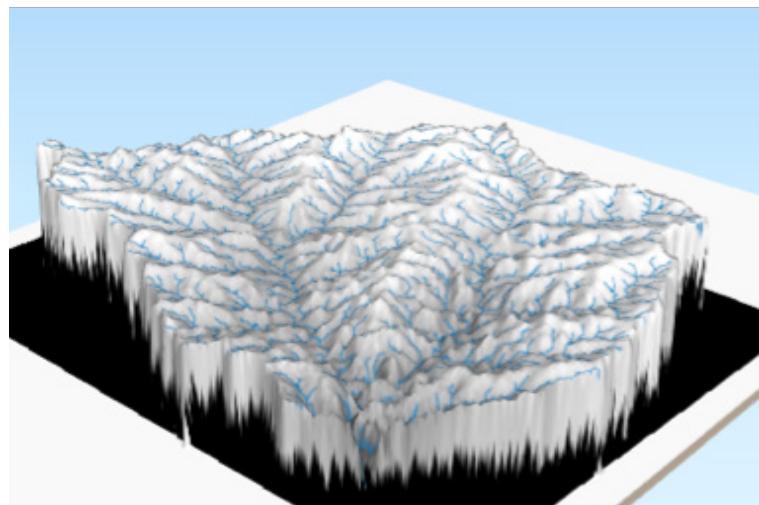


Fonte: elaboração própria.

FIGURA 20 – Bacia hidrográfica – altimetria



Fonte: elaboração própria.

FIGURA 21 – Bacia hidrográfica – 3D

Fonte: elaboração própria.

Pode-se considerar a bacia hidrográfica como um sistema (Figura 22) em que uma variável de entrada – precipitação (chuva, neve, granizo, etc.) – é transformada em uma variável de saída (vazão) pelos diversos processos do ciclo hidrológico.

O escoamento pela bacia é definido pelas características meteorológicas e do clima na região, pelas características fisiográficas da bacia, como o sistema de drenagem, pelo relevo, pelo uso e pela ocupação do solo e pelas condições geológicas da bacia.

FIGURA 22 – Sistema de bacia hidrográfica

Disponibilidade hídrica



Fonte: elaboração própria.

As características fisiográficas da bacia – tais como a área de drenagem (A), a forma da bacia, o sistema de drenagem, a densidade de drenagem (Dd), a declividade da bacia, o perfil longitudinal do curso de água principal – conferem efeitos diferenciados sobre o comportamento hidrológico. Influenciam em especial no tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento no exutório após um evento de precipitação – tempo de concentração (Tc) da bacia. Bacias alongadas aumentam o tempo de escoamento, enquanto bacias mais arredondadas diminuem; da mesma forma, maiores declividades diminuem o tempo e menores aumentam, bem como a maior densidade de drenagem reduz o tempo de translado das águas. Quanto maiores as velocidades, menor o tempo de oportunidade de infiltração, implicando menores recargas do subterrâneo e maiores volumes de água pela superfície em menos tempo.

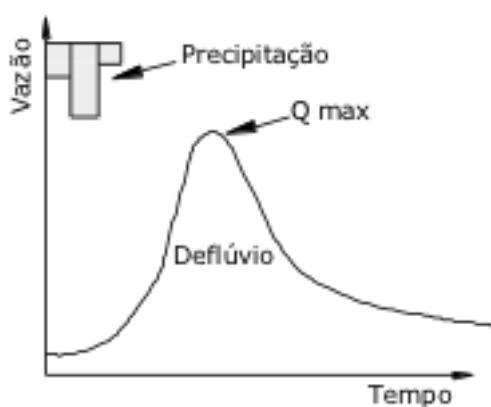
Os resultados desses processos de escoamento das águas na bacia hidrográfica são representados pelos hidrogramas (respostas a um evento de chuva) e fluviogramas (sequência temporal de hidrogramas), que são gráficos que mostram a distribuição da vazão no tempo.

Vazão é definida como:

$$\text{Vazão} = \frac{\text{Volume escoado na seção de rio}}{\text{tempo}} = (\text{velocidade média na seção}) * (\text{área molhada seção})$$

A Figura 23 representa graficamente a resposta para um evento de chuva na bacia hidrográfica, onde o volume precipitado é transformado em vazão pelos processos hidrológicos. Graficamente, a entrada pode ser representada pelo hietograma⁴ e a saída pelo hidrograma. Um hidrograma típico por causa de uma chuva intensa apresenta uma curva com um pico, podendo ocorrer picos múltiplos se houver variações repentinas na intensidade da chuva ou uma sequência de chuvas intensas.

FIGURA 23 – Hidrograma



Fonte: adaptado de Tucci (2012).

⁴ Instrumento para medir a quantidade de chuva precipitada em determinado lugar ou em certa época.

O volume que passa pelo hidrograma é muito menor que o volume precipitado na bacia. Isso se deve aos diferentes caminhos que as águas da chuva percorrem após a precipitação:

- **Interceptação:** é a parcela da água precipitada que **fica retida na vegetação ou alguma obstrução ao escoamento e retorna à atmosfera pela evaporação**. A quantidade de água interceptada tem impacto no balanço hídrico da bacia, diminuindo o volume de água que forma o escoamento superficial ou barrando esse escoamento em uma área de depressão da bacia. Com isso, o pico da vazão é retardado e rebaixado, com consequências diversas, como a atenuação dos transtornos causados pela onda de cheia.
- **Evaporação:** é quando **a água no estado líquido passa para o estado de vapor**, devido à radiação solar e aos processos de difusão molecular e turbulenta. As variáveis meteorológicas, como temperatura do ar, vento e pressão de vapor, também interferem na evaporação, especialmente em superfícies livres de água (espelhos d'água). No caso de reservatórios, os valores evaporados pela superfície do lago formado pelo barramento devem ser considerados na simulação da operação desse reservatório, pois podem significar volumes expressivos de perdas de água.
- **Evapotranspiração:** é definida como o processo de transferência simultânea de água para a atmosfera por evaporação da água do solo, da água que foi interceptada durante uma chuva e por transpiração das plantas.

Os conhecimentos da evaporação e da evapotranspiração são fundamentais para o balanço hídrico em estudos de disponibilidade hídrica em lavouras que necessitam de irrigação e em obras de armazenamento de água, como reservatórios de irrigação, abastecimento, geração hidrelétrica, etc.

No caso da agricultura, o balanço entre a água que entra pela chuva e a que sai por evapotranspiração irá resultar na variação do armazenamento de água no solo. A capacidade de armazenamento de água pelo solo tem como função armazenar água para suprir a demanda hídrica da cultura.

Infiltração e percolação: é a passagem da água da superfície para o interior do solo. A quantidade de água disponível para infiltrar e as características do solo interferem nesse processo, como o estado de sua superfície, os espaços livres e a quantidade de água em seu interior.

A capacidade de infiltração do solo corresponde ao potencial que o solo tem de absorver água pela superfície em um período de tempo, dado em altura de lâmina de água por tempo. Ressalta-se que a taxa real de infiltração depende da disponibilidade de água para ser infiltrada.

Normalmente, as precipitações naturais não são capazes de saturar todo o solo, atingindo uma saturação nas camadas mais superficiais/rasas, configurando um perfil em que a umidade decresce de cima para baixo. Depois de cessada a entrada de água pela superfície, o perfil inverte-se pela redistribuição da água no solo, recuperando a sua capacidade de infiltração. Parte da água infiltrada irá percolar para as camadas mais profundas, e parte retorna para a atmosfera por evaporação direta ou evapotranspiração das plantas.

Na Figura 24 têm-se as possibilidades para a relação da chuva com a capacidade de infiltração. No primeiro caso (a), a chuva permanece maior que a capacidade do solo de infiltrar, com isso a infiltração real ocorre nas mesmas taxas da curva decrescente da capacidade de infiltração. No segundo caso (b), toda a precipitação que atinge o solo irá infiltrar, diminuindo a capacidade de infiltração com o tempo. No terceiro (c), depois de iniciada a chuva, a capacidade de infiltração diminui até se igualar a intensidade da chuva e, a partir desse ponto, a infiltração real ocorre nas mesmas taxas da curva decrescente da capacidade de infiltração.

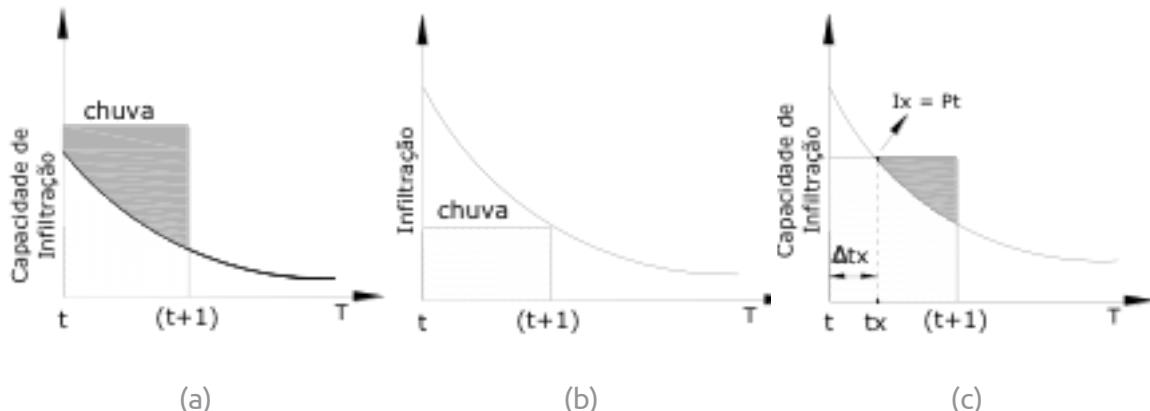
A alteração em fatores que influenciam a infiltração de água no solo, como compactação do solo e implantação de superfície com reduzida permeabilidade (caso da urbanização) afeta a geração de escoamento superficial, aumentando ou reduzindo a sua magnitude e os efeitos deletérios.

A infiltração de água no solo é responsável pela recarga do conteúdo de água na camada não saturada do solo e dos aquíferos. A água infiltrada no solo alimenta as raízes das plantas e os corpos de água superficiais através da interação entre aquífero e rio e entre aquífero e nascente. O efeito da alimentação ocorre por período de tempo longo, em condições de ausência ou de reduzida ocorrência de precipitação. A maioria dos efeitos da infiltração de água no solo é benéfica, portanto, sua ocorrência deve ser maximizada.

Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas. In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade.** 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

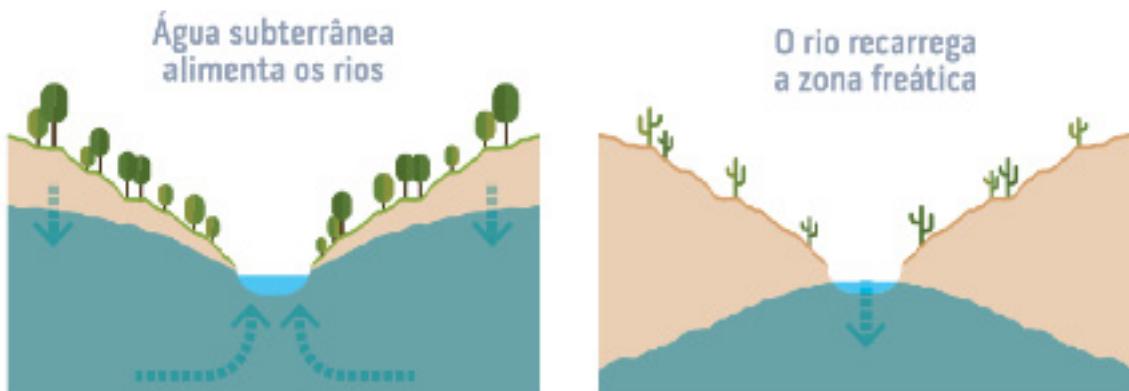
A Figura 25 apresenta esquematicamente como a dinâmica local, em função das características da bacia, podem ocorrer alimentação do rio pelas águas subterrâneas, e também o inverso, quando o rio perde água para o armazenamento subterrâneo.

FIGURA 24 – (a) Capacidade de infiltração menor que a precipitação em todo o intervalo;
 (b) Capacidade de infiltração maior que a chuva em todo o intervalo;
 e (c) Capacidade de infiltração igual à precipitação em t_x (c)



Fonte: adaptado de Tucci (2012).

FIGURA 25 – Relação águas superficiais *versus* subterrâneas



Fonte: Conjuntura/ANA (2017).

Na Figura 26 apresenta-se um esquema do efeito da impermeabilização (bacia urbanizada) na distribuição temporal das vazões, comparado com a bacia em seu estado natural (bacia rural). As práticas modernas de conservação do solo e de drenagem urbana objetivam oportunizar o aumento da infiltração, como uma forma de tentar restaurar, em parte, a capacidade de infiltração na bacia e, com isso, reduzir os efeitos do aumento do escoamento superficial e as suas consequências indesejáveis.

FIGURA 26 – Pico de vazões, bacias rural e urbanizada



Fonte: adaptado de Tucci (2012).

A vazão fluvial é composta pela contribuição do escoamento superficial, escoamento subsuperficial e escoamento subterrâneo. Os dois primeiros escoamentos podem ser considerados de forma conjunta, sendo identificados apenas como escoamento superficial. Eles ocorrem durante e, imediatamente, após a ocorrência de chuvas intensas e/ou prolongadas. Escoamentos superficiais ocorrem em curtos intervalos de tempo, gerando elevação do nível de água no rio, podendo provocar efeitos danosos, como erosão do solo (desagregação e transporte de partículas do solo), transporte e dispersão de poluentes e formação de enchentes. As enchentes, por sua vez, podem provocar inundações de áreas suscetíveis, quando a vazão fluvial é superior à capacidade de escoamento do canal principal, ou seja, parte do escoamento da vazão da encheite escoa pelo canal secundário do rio.

Fonte: PINHEIRO, CRUZ, **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade**, 2019, p. 19-53.

4.2 REDE DE MONITORAMENTO

As informações básicas para estudos hidrológicos são obtidas por meio de monitoramento e armazenadas em um banco de dados. O Portal HidroWeb (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>), do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), contém as informações de monitoramento da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), coordenada pela Agência Nacional de Águas (ANA). A RHN é formada por mais de 20 mil estações, sob responsabilidade operacional de várias entidades, e coleta dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos.

Fonte: SILVEIRA, Geraldo Lopes da; CRUZ, Jussara Cabral; SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Capítulo 4 – Avaliações Hidrológicas. In: SILVEIRA, Geraldo Lopes da; CRUZ, Jussara Cabral (Org.). **Seleção Ambiental de Barragens: análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica**. 2. Ed. Revista e Ampliada. Santa Maria: UFSM/ABRHidro, 2019, v. 1, p. 119-172.

A medida e a análise das características físicas e químicas da água, inclusive de métodos, técnicas e instrumentação utilizados pela hidrologia, são realizadas pela hidrometria, incluindo a medição e o estudo das chuvas, das vazões dos cursos d'água, da evaporação e da infiltração. Para isso, são instaladas e operadas redes de observação de postos: pluviométricos, fluviométricos e hidrometeorológicos. Os dados hidrológicos são disponibilizados na plataforma do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), no Sistema Hidroweb,⁵ gerenciada pela ANA. Estão cadastradas as estações pluviométricas e fluviométricas pertencentes à Rede Hidrometeorológica Nacional, a redes estaduais e de concessionários e autorizados de geração de energia hidrelétrica, em atendimento à Resolução Conjunta Aneel/ANA nº 03/2010. O acesso é livre e gratuito.

A rede hidrometeorológica básica da ANA é atualmente operada pelos:

Serviço Geológico do Brasil (CPRM), a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri/SC), o Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE/SP), o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM/MG), o Instituto das Águas do Paraná (AGUASPARANÁ) e as empresas contratadas Cohidro, Construfam e UFC.

Além das estações sob responsabilidade da ANA, também são integrantes da Rede as estações mantidas pelos estados no âmbito dos programas de implantação e operação das Salas de Situação Estaduais e do fomento ao monitoramento da qualidade da água (Qualíagua).

Fonte: disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>. Acesso em: 11 ago. 2018.

Em 2016, a RHN contava com 1.652 pontos de monitoramento de qualidade de água em todas as unidades da Federação (UFs). Essa rede monitora parâmetros básicos de qualidade, tais como pH, temperatura, OD, turbidez e condutividade.

Além da RHN, existem redes estaduais de monitoramento criadas especificamente para o monitoramento da qualidade de água. Estas redes, em sua maioria, foram concebidas para a detecção de tendências em locais estratégicos e/ou com problemas de qualidade existentes ou potenciais.

Em 2015, havia mais de 2.700 pontos de monitoramento de qualidade de água em operação em 17 UFs. As redes de monitoramento mantidas pelas UFs operam de forma independente e produzem informações essenciais com frequências de coletas e conjuntos de parâmetros próprios.

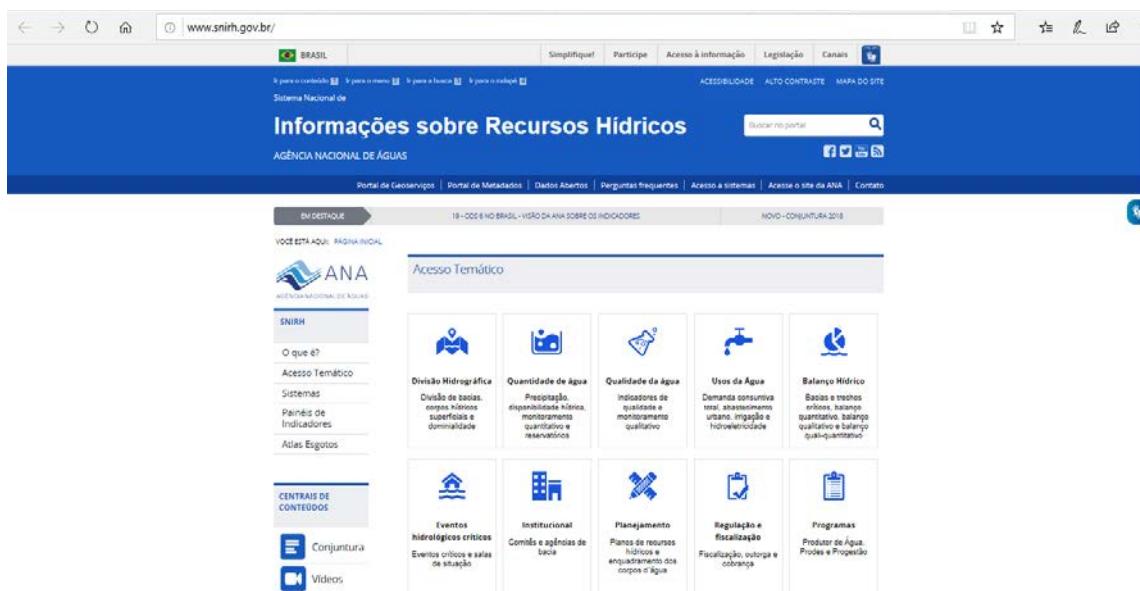
Fonte: adaptado de Conjuntura/ANA (2017).

⁵ O sistema pode ser acessado em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>>.

A ANA mantém um portal “Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)” (<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1>), que é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos, bem como fatores intervenientes para a gestão de recursos hídricos.

Na página do SNIRH (<http://www.snirh.gov.br/>), há acesso a dados e informações:

IMAGEM⁶ 2 – Portal SNIRH



Fonte: www.snirh.gov.br/

4.2.1 PLUVIOMETRIA

A informação básica fornecida por uma estação pluviométrica é o total diário de chuva, cujo conjunto cronológico de valores compõe uma série histórica. A série histórica é mais valorizada à medida que o período de registro aumenta e sejam mínimas as interrupções ou lacunas.

O total diário é lido no pluviômetro a uma hora fixa predeterminada do dia, mas há estações pluviométricas registradoras que permitem o registro a intervalos curtos de tempo, também chamadas de estações pluviográficas.

6 A ANA disponibiliza também os seguintes *links* a portais para acesso aos dados e informações do SNIRH por meio do seguinte endereço: <https://www.ana.gov.br/monitoramento>. Acesse os sistemas do SNIRH: HIDROWEB – acervo de dados hidrológicos. TELEMETRIA – dados hidrológicos em tempo real. SAR – sistema de acompanhamento da operação dos reservatórios. HIDROSAT – monitoramento hidrológico por satélite. METADADOS – *download* de dados geográficos.

As grandezas que caracterizam a precipitação são:

- Altura pluviométrica – P : altura da lâmina de água precipitação, em mm – cada 1 mm de chuva corresponde a 1 litro de água em uma área de 1 m².
- Intensidade – i : altura pluviométrica por unidade de tempo, em mm/min ou mm/h.
- Duração – t : período de tempo da ocorrência da chuva, em minutos ou horas.
- Frequência de probabilidade e tempo de recorrência – Tr : no caso de chuva máxima, é o número médio de anos durante o qual se espera que a precipitação analisada seja igualada ou superada. É o inverso da frequência de probabilidade, que representa a probabilidade de um evento igual ou superior ocorrer em um ano qualquer do Tr .

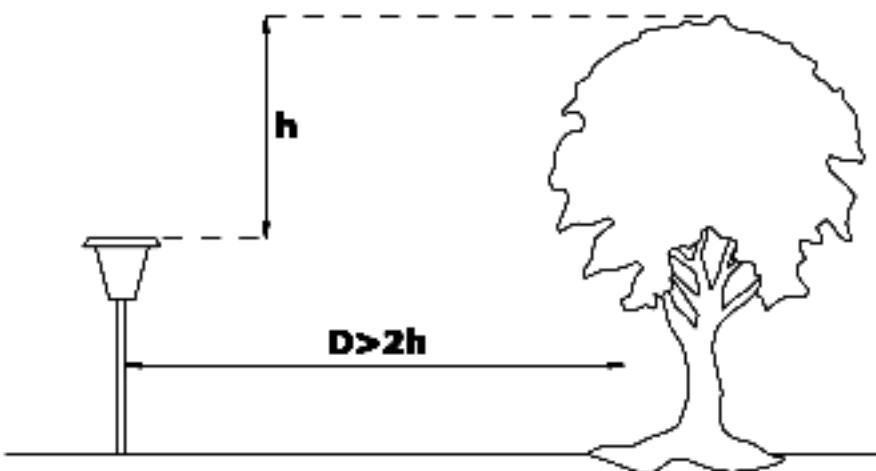
Há basicamente duas maneiras de medir a chuva:

- com uso de pluviômetros e pluviógrafos, pontualmente; e
- com satélites e radares, espacialmente.

Os pluviômetros são equipamentos de monitoramento pontual que medem volumes simples, de fácil operação e de menor custo que os pluviógrafos. Nos pluviômetros, há a necessidade de um observador com intervalos de tempo fixos enquanto, nos pluviógrafos, o registro é automático. Porém a instalação de um pluviógrafo não prescinde do observador, pois é necessário estar atento a quaisquer problemas com o equipamento.

Tanto os pluviômetros quanto os pluviógrafos devem ser instalados conforme as recomendações do fabricante. Geralmente, são instalados de forma que a chuva seja interceptada a uma altura entre 1,00 m e 1,5 m acima da superfície e a uma distância entre o equipamento e o maior obstáculo que possa interferir nas medidas conforme a Figura 27. A Figura 28 mostra a instalação de um pluviômetro tipo Ville de Paris.

FIGURA 27 – Instalação do pluviômetro/pluviógrafo



Fonte: adaptado de Chevallier (2012).

O cálculo da altura d'água precipitada P obtida por um pluviômetro é feito pela seguinte equação:

$$P = 10 \frac{V}{A}$$

Em que:

- P é a precipitação acumulada, em mm.
- V o volume coletado, em cm^3 ou ml.
- A é a área de interceptação em cm^2 ; nos equipamentos mais comuns, têm-se áreas de 100 cm^2 , 200 cm^2 , 314 cm^2 , 400 cm^2 ou 1.000 cm^2 .

A Fonte: apresenta um pluviômetro Ville de Paris instalado na bacia do Rio Santa Maria/RS.

FIGURA 28 – Pluviômetro Ville de Paris



Fonte: acervo Grupo Gerhi/UFSM/CNPq

Como a medição com o pluviômetro é realizada uma vez a cada 24 horas, a intensidade da chuva não é registrada. Isso pode ser medido com o uso do pluviógrafo, com intervalos de medição inferiores ao do pluviômetro.

Existem pluviógrafos, sistemas mais antigos, em que o registro é realizado em papel enrolado em um tambor com rotação sincronizada no tempo. Os mais modernos utilizam as tecnologias digitais com a memorização em meio digital e, até mesmo, com transmissão em tempo real. O registro é feito com base no princípio de funcionamento do equipamento, que pode ser enchimento e esvaziamento de um volume em cubas basculantes, ou pelo movimento de uma boia, ou ainda pela pesagem de um reservatório suspenso. Para cada tipo, há um erro associado que depende do valor da precipitação, do tempo e da área de interceptação.

Já o monitoramento por satélite permite observar o deslocamento de grandes massas na atmosfera sobre uma região geográfica, oferecendo dados para estimativa de quantidade de água precipitável em um ponto ou área por meio de métodos específicos. O princípio das imagens de satélite é a interpretação dos espectros de radiação emitida pelos objetos ao nível do solo (reflectância) e capturados pelos sensores.

Outra modalidade de monitoramento espacial das chuvas é realizada por radares que oferecem uma mediação volumétrica da precipitação com qualidade superior de detalhe e a sua distribuição no espaço. O princípio do radar consiste em localizar um objeto por meio da emissão de um sinal e da recepção da resposta da reflexão do sinal pelo objeto. Ou seja, um transmissor emite um sinal de energia eletromagnética que viaja na velocidade da luz até o encontro do objeto-alvo, no caso as gotículas de água. As partículas de água refletem parte do sinal de volta para o gerador, onde os dados são avaliados e convertidos em parâmetros de precipitação.

4.2.2 FLUVIOMETRIA

O escoamento fluvial é variável ao longo da bacia e ao longo do tempo, sendo controlado pela distribuição espacial e temporal da precipitação. O seu monitoramento é realizado nas estações fluviométricas, cujo interesse é a medição da vazão. A medição da vazão em uma seção fluviométrica envolve recursos humanos e materiais expressivos, como o uso de molinete fluviométrico ou ADCP (Acoustic Doppler Current Profile ou correntômetro acústico por efeito Doppler), barco, entre outros. Isto limita a sua realização para intervalos de tempo longos. Nas estações fluviométricas do sistema nacional de monitoramento hidrológico da Agência Nacional de Águas, são realizadas de 3 a 4 medições de vazões anuais.

Assim, para a determinação da vazão horária ou diária, é realizada a medida da cota fluviométrica. Para isto é preciso estabelecer uma relação entre a cota fluviométrica e a vazão, denominada curva chave, com medidas periódicas. Tendo-se medições para diferentes valores de cotas, estabelece-se a curva chave que permitirá a transformação da cota fluviométrica em vazão. É importante ressaltar que a curva chave sofre os efeitos de alteração nas características da seção de medida da vazão, como erosão da margem ou sedimentação, necessitando ser revista periodicamente.

Nas estações fluviométricas convencionais, a cota fluviométrica é lida na régua fluviométrica por um observador, as 7 e as 17h. Com estas leituras, é determinada a vazão média diária. Nos últimos anos, com a popularização e redução dos custos dos equipamentos, a medição da cota fluviométrica tem sido realizada de forma automática, com o emprego de sensores de nível, como sensor de pressão, sensor de boia e sensor ultrassônico. Neste caso, a leitura do nível pode ser realizada para diferentes intervalos de tempo, como minutos ou horas. Os dados podem ser transmitidos on-line ou armazenados em datalogger, para posterior coleta das informações. A redução do intervalo de tempo de leitura da cota fluviométrica consiste em importante vantagem da medição automática, em especial em bacias pequenas, cuja resposta do escoamento superficial é muito rápida e a onda de cheia pode acontecer entre um intervalo de medida e outro, sem ser observada nas leituras manuais. No entanto, os dispositivos

(conclusão)

eletrônicos são sensíveis a diferentes fatores ambientais e apresentam vida útil relativamente curta, requerendo manutenção preventiva e corretiva sistemática. Isto envolve calibração dos sensores, substituição de componentes ou equipamentos completos, requerendo previsão orçamentária para este tipo de despesa, cujos valores, em geral, são elevados.

Se o objetivo do monitoramento é o estudo das cheias e a gestão das mesmas, a leitura em intervalos de tempo menores é importante para avaliar o processo do escoamento superficial. Porém, se o objetivo do monitoramento é conhecer as disponibilidades hídricas, estudos demonstram que, mesmo com uma leitura diária, mesmo em pequenas bacias

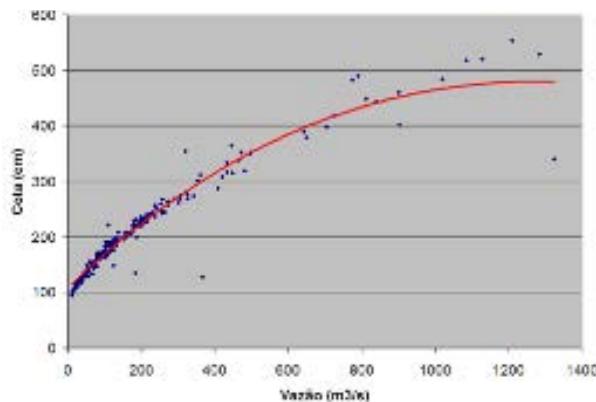
Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas. In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade.** 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

4.2.3 CURVA-CHAVE

A construção das séries de vazões observadas utiliza-se da curva-chave. A curva-chave é construída com base na relação entre alguns níveis da água e a respectiva vazão na seção de controle. A curva-chave é, portanto, a relação biunívoca entre a vazão e o nível d'água. Para determinar a curva-chave de uma seção de controle, são plotados graficamente os pares cota–vazão com as medições realizadas pelos métodos descritos anteriormente (Figura 29)

Na escolha da seção, deve-se atentar para as recomendações que garantem a manutenção dessa relação cota–vazão ao longo do tempo, como a escolha por uma seção de fácil acesso, com forma regular, em um trecho de rio com margens estáveis, retilíneo e com declividade constante. O controle pode referir-se ao regime uniforme, fluvial ou crítico. Em ambos os casos, as características geométricas da seção (A , R_h , P) são função da altura da água, o que significa que a vazão é uma função indireta do nível da água.

FIGURA 29 – Exemplo de curva-chave



Fonte: elaboração própria.

4.2.4 MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA

A legislação federal e estadual estabelece valores limites aceitáveis para as variáveis indicadoras da qualidade das águas, conhecidas como “padrões de qualidade”. A Resolução do Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 357/2005, alterada pela Resolução Conama nº 397/2008 e complementada pela Resolução Conama 430/2011, estabelece os padrões de qualidade para a classificação da qualidade de corpos de águas superficiais em função do uso preponderante estabelecido para o recurso hídrico. A Resolução Conama nº 396/2008 dispõe sobre a classificação e as diretrizes ambientais para enquadramento das águas subterrâneas.

De forma equivocada, em várias ocasiões, os padrões de qualidade estabelecidos nestas resoluções para a classificação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos são considerados na definição da potabilidade da água. O padrão de potabilidade, definido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011, é requerido em água para consumo humano, de modo que não ofereça risco à saúde. Águas naturais não atendem, necessariamente, aos padrões de potabilidade.

Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas. In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade.** 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

Ademais, a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (Lei nº 9.433/1997) instituiu como instrumento de gestão de recursos hídricos o enquadramento das águas segundo os usos preponderantes. Para atender a essa normativa, é preciso estudar o estado atual da qualidade das águas na bacia, entender as origens das causas das alterações na qualidade e estabelecer um pacto para alcançar um grau de qualidade (padrão de qualidade) adequado para cada trecho de rio. Ou seja, é preciso monitorar a qualidade sistematicamente.

Os padrões de qualidade são estabelecidos em termos de concentrações máximas. No entanto, na análise do lançamento de efluentes, o balanço de massa deve ser realizado para a condição da vazão de referência. Esta análise somente pode ser desenvolvida a partir do conhecimento da vazão escoada no rio.

Em resumo, no processo de monitoramento visando a gestão sustentável dos recursos hídricos, as variáveis qualitativas (parâmetros de qualidade) devem ser medidas simultaneamente com a vazão. Por sua vez, a medição da vazão implica na leitura da cota fluviométrica. Estas duas vinculações impõem a necessidade de instalação de uma seção fluviométrica, com estabelecimento de referencial de nível (zero da régua) e construção de uma curva chave, atualizada periodicamente. ANA (2012a, b) apresenta os protocolos para instalação pluviométrica, fluviométrica e sedimentométrica e coleta e análise de consistência dos dados.

Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas. In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade.** 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

Vários Estados brasileiros monitoram a qualidade das águas superficiais em seus territórios e repassam para a Agência Nacional de Águas (ANA). Mas, como cada região usa diferentes critérios e parâmetros, a comparação dos dados, em nível nacional, nem sempre é possível.

Para contornar a situação, em 2013, a ANA lançou a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade da Água (RNQA), que conta com uma estratégia de cooperação entre os operadores das redes de monitoramento, padronizando e ampliando o monitoramento em nível nacional. Assim, os Estados continuam sendo os principais responsáveis pelo estabelecimento e operação de redes de qualidade da água, mas os dados gerados ficam mais fáceis de serem interpretados e os custos de implementação e operação são reduzidos.

Fonte: disponível em: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/qualidade-da-agua/rnqa>. Acesso 8 nov. 2019.

Apesar da grande disponibilidade de dados, ainda há grandes vazios de informação no país. Algumas UFs não realizam qualquer monitoramento de qualidade da água. Onde há monitoramento, existem deficiências quanto à representatividade temporal e espacial. Em nível nacional, observa-se marcantes diferenças entre as UFs quanto à capacidade operacional, divulgação e disponibilização dos resultados do monitoramento. Para solucionar esses problemas, algumas ações têm sido empreendidas, tais como o Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), a Rede Nacional de Monitoramento da Qualidade de Água (RNQA) e o Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água (Qualiágua).

Lançado pela ANA em julho de 2014, o Qualiágua incorporou todos os componentes do PNQA: RNQA, Padronização, Laboratórios e Capacitação e Avaliação. O Qualiágua objetiva garantir a sustentabilidade financeira da operação da RNQA nas UFs por meio da premiação por metas alcançadas de pontos e parâmetros monitorados, padronizados em escala nacional. Suas atividades devem ser desenvolvidas sem prejuízo do monitoramento já existente. Até 2016, 23 Estados e o DF já haviam solicitado adesão ao programa.

A RNQA foi desenhada a partir de metodologia da ANA, com alocação dos pontos de monitoramento baseada na vazão dos rios e nas descargas pontuais de esgotos domésticos, e com a definição da densidade de pontos e frequência de monitoramento adequadas.

Fonte: Conjuntura/ANA (2017).

A rede de monitoramento de qualidade da água, com identificação do ano de início, pode ser conferida no endereço: <<http://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=e745db7488f64e1a9a2e4e150e41b08e>>

4.3 TEMPO DE RETORNO

As séries históricas de determinado local representam as ocorrências no passado e permitem uma representação das condições climáticas. Quanto mais longa a série e mínimas as interrupções ou lacunas, melhor é a representatividade dos dados.

Um dos conceitos mais utilizados em hidrologia é o tempo de retorno ou tempo de recorrência (TR) de determinado evento, seja de máximos ou de mínimos, ou seja, por exemplo, chuvas máximas, vazões máximas, vazões mínimas (estiagem).

O tempo de retorno corresponde à probabilidade de que, em um período de tempo médio (medido em anos), determinado evento seja igualado ou superado pelo menos uma vez. O TR expressa a chance de que determinado evento extremo ocorra, sendo importante ao dimensionamento de estruturas hidráulicas e sua vida útil e, também, sendo utilizado em indicadores de estiagem, como a vazão de sete dias de duração e dez anos de tempo de retorno, indicador utilizado em muitas bacias hidrográficas como referência para outorga e enquadramento.

A *probabilidade – P* de um evento (por exemplo de chuva pr) ser igualado ou superado pode ser estimada a partir da *frequência amostral – FR* ou *frequência de excedência* dada por:

$$FR_{pr} = \frac{\text{Número de ocorrências } \geq pr}{\text{Tamanho da amostra}} \rightarrow P(Pr \geq pr) = P_{pr}$$

O *TR em anos* pode ser expresso como o inverso da probabilidade:

$$TR_{pr} = \frac{1}{P_{tr}}$$

Para mais detalhes, consultar:

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2012.

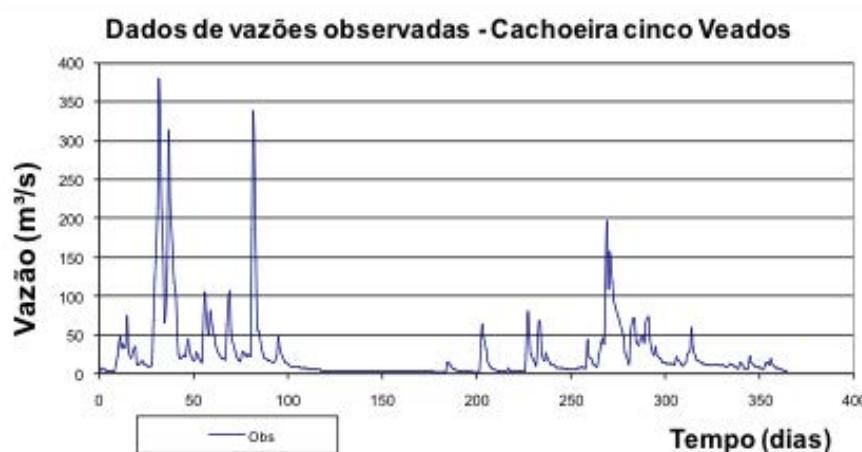
4.4 ESTIMATIVAS DE VAZÕES

4.4.1 HIDROGRAMA E FLUVIOGRAMAS

O escoamento resultante de uma precipitação em um curso d'água de uma bacia hidrográfica é representado pela **vazão** do curso d'água, também conhecida como descarga, *runoff*, contribuição da bacia ou deflúvio. Todos esses termos são sinônimos e expressos em termos de volume por certa unidade de tempo.

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é determinado por inúmeros fatores que influenciam o escoamento das águas, produzindo uma imensa variabilidade de vazões ao longo do tempo, bem como no espaço. De certa maneira, cada corpo hídrico possui um regime hidrológico, que é o resultado da integração dos diferentes processos citados. O regime é caracterizado por uma série temporal de vazões, o fluviograma (Figura 30) que, conforme o jargão de estudos ambientais, representa a **assinatura hidrológica do corpo hídrico** na seção considerada.

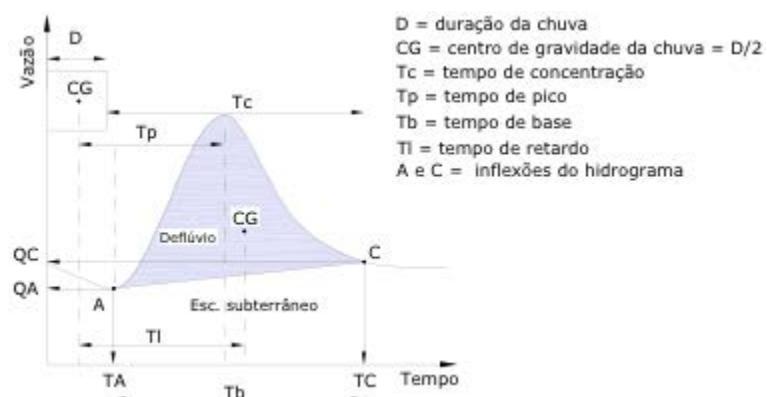
FIGURA 30 – Série de dados de vazões diárias observadas de um ponto de monitoramento



Fonte: acervo do grupo Gerhi/UFSM/CNPq.

O sistema hídrico como uma bacia hidrográfica “tem como saída uma vazão que varia temporalmente, além de também variar espacialmente dentro da mesma” (CRUZ, 2001). Nesse sistema, determinada entrada (um evento de precipitações) pode ser representada pelo hietograma (histograma de precipitações) e pela saída (vazões) pelo hidrograma (variação da resposta à precipitação em forma de vazão no tempo). Na Figura 31, tem-se a representação do comportamento do hidrograma depois da ocorrência das precipitações.-

FIGURA 31 – Apresentação dos componentes principais do hidrograma



Fonte: adaptado de Magalhães (1989); Tucci (2012).

O hidrograma pode ser dividido em três partes: região de ascensão, região do pico e de recessão. Na ascensão, a vazão aumenta conforme a intensidade da precipitação. Na região do pico, a vazão começa a diminuir pela diminuição da chuva e por causa do efeito de amortecimento da bacia. Na região da recessão, não há contribuição do escoamento superficial na vazão, restando a contribuição da parcela subterrânea, também conhecida como curva de depleção do escoamento subterrâneo.

Pode-se observar que, após o início da chuva, há um intervalo de tempo para que a vazão comece a aumentar por causa do escoamento superficial na bacia. Este tempo, denominado tempo de retardo, T_l , deve-se às perdas iniciais com a interceptação e pelo deslocamento da água até o exutório. A partir deste ponto (A), os níveis elevam-se até atingir a vazão máxima durante o tempo de pico – T_p . Após, o hidrograma apresenta a curva de recessão em que se observa o ponto de inflexão (C). O ponto (C) do hidrograma representa o fim do escoamento superficial, permanecendo o escoamento subterrâneo, que possui um tempo de retardo maior. O escoamento subterrâneo é resultado da parcela da água da infiltração que percola para as camadas mais profundas, aumentando o nível do aquífero.

O tempo de concentração (T_c) é o tempo entre o fim da precipitação e o fim do escoamento superficial, ou ponto de inflexão (C).

O tempo de base (T_b) é o tempo entre o início da chuva e quando o rio retorna às condições anteriores ao evento.

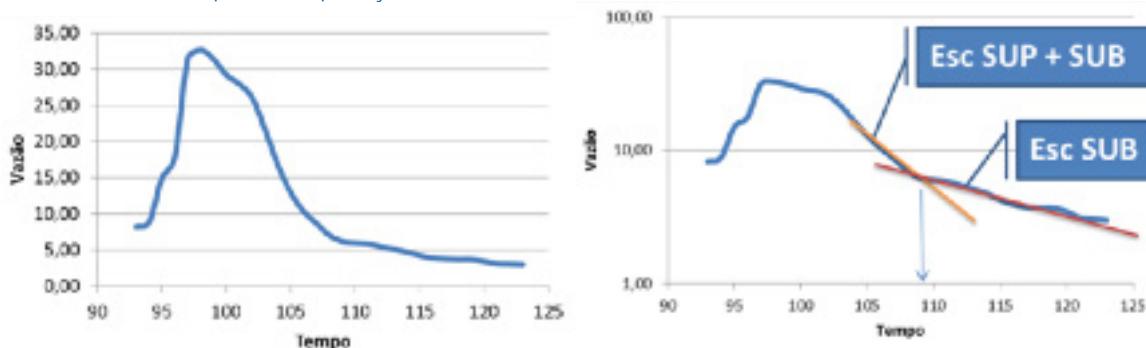
A forma do hidrograma depende das características fisiográficas, do solo e do uso e da cobertura da terra na bacia, assim como das interferências de obras, como reservatórios de regularização, canais, etc.

As características da precipitação – como a duração, a intensidade e a localização/distribuição das chuvas sobre a bacia – podem produzir hidrogramas de formas diversas. Se a chuva se concentra na região superior da bacia, o tempo para que o escoamento chegue ao exutório aumenta, e a vazão de pico é menor. Se a chuva se concentra na parte inferior, ocorre o oposto. Também pode ocorrer uma chuva que se inicia na parte inferior e depois avança para a parte superior. Nesse caso, o hidrograma pode apresentar dois picos de vazões.

Por representar o volume que gera a vazão de pico, o escoamento superficial é de grande interesse para os projetos de engenharia, como pontes, galerias de drenagem, obras para prevenção ou controle de cheias, etc. Para tanto, é necessário separar o escoamento superficial do escoamento subterrâneo no hidrograma e conhecer a precipitação que gera o escoamento superficial, denominada chuva efetiva.

Como a recessão do escoamento superficial e o escoamento subterrâneo tem como modelo um decaimento exponencial, pode-se plotar o hidrograma em um papel monolog, colocando as vazões no eixo com escala logarítmica, de modo que a curva descendente do hidrograma fique em forma de reta. No momento que cessa o escoamento superficial, a reta troca de declividade, indicando que, a partir desse instante (ponto C), há somente contribuição do escoamento subterrâneo na calha do curso d'água (Figura 32).

FIGURA 32 – Exemplo de separação dos escoamentos



Fonte: elaboração própria.

A partir do hidrograma, então, é possível estimar a **parcela do escoamento superficial**, a qual corresponde à **chuva efetiva**. Para isso, os métodos consideram uma linha que liga as inflexões A e C no hidrograma (como sendo a linha divisória entre os dois escoamentos). Um dos métodos frequentemente utilizado considera essa linha como uma reta, dependendo do tipo de solo mais frequente da bacia. Assim, o volume de escoamento superficial direto (deflúvio) pode ser definido pela área acima da reta AC. Porém, esse método de análise do hidrograma é bastante empírico, resultando em uma estimativa dos valores. Mas, mesmo com as limitações, o método tende a representar bem os processos de formação do escoamento, pois toma por base os dados observados na bacia.

A precipitação efetiva, parcela do total precipitado que gera escoamento superficial, portanto, é igual ao volume do escoamento superficial:

$$\text{Precipitação efetiva} = \frac{\text{Volume escoamento superficial (área sob o hidrograma)}}{\text{Área da bacia}}$$

A diferença entre a precipitação total do evento e a precipitação efetiva representa as perdas nos processos de evaporação (incluindo interceptação), evapotranspiração e infiltração em toda a bacia hidrográfica. A análise do hidrograma e das perdas permite melhorar a previsão de eventos extremos e reduzir a incerteza em projetos de segurança das obras hidráulicas, já que é o escoamento superficial que provoca as cheias.

O **tempo de concentração (TC)** pode ser obtido a partir da separação dos escoamentos, podendo ser avaliado para cada bacia. O TC pode ser calculado como sendo o tempo entre o final da chuva que gera o escoamento superficial e o final do escoamento superficial.

O TC também pode ser estimado por inúmeras equações que foram desenvolvidas para sua estimativa. As equações relacionam as características da bacia, como a área, o comprimento do talvegue, as declividades e a cobertura da terra. Essas equações foram desenvolvidas com base em estudos de uma ou mais áreas com características semelhantes. Algumas foram desenvolvidas a partir dos dados de pequenas bacias, enquanto outras foram desenvolvidas para bacias maiores e, dependendo da equação, tem-se um TC mais representativo quanto aos efeitos da translação e do armazenamento.

Efeitos de translação e do amortecimento na bacia hidrográfica são os efeitos da resistência ao escoamento da água dado pelas características naturais do terreno. O efeito da translação é dado pela defasagem de tempo para que as águas contribuintes à formação do escoamento cheguem à saída da bacia, e o efeito do amortecimento é dado pela diminuição da lâmina de água formada sobre a superfície.

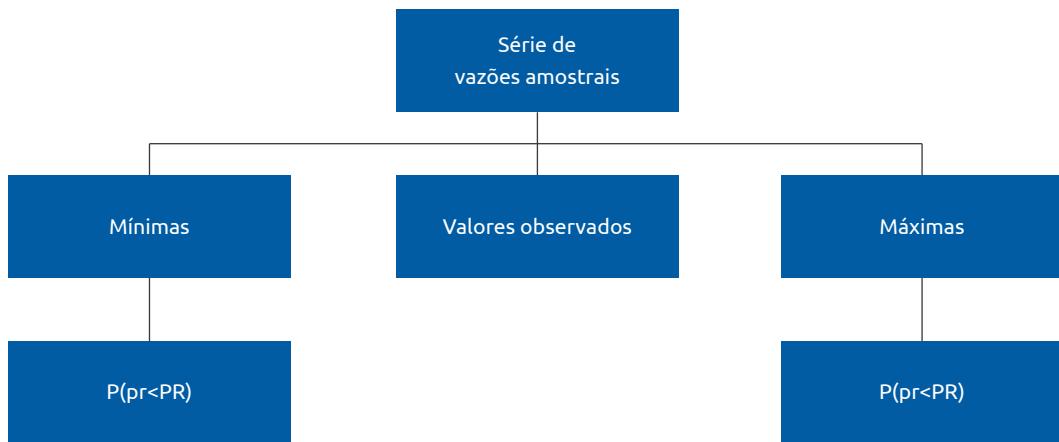
Os **fluviogramas** são a sequência de hidrogramas ao longo do tempo, como resposta a todos os eventos de chuva. A análise dos fluviogramas é que permite avaliar a **disponibilidade hídrica** de uma bacia.

4.4.2 TÉCNICAS DE ESTIMATIVAS DE VAZÕES

Técnicas de estimativa de vazões são aplicadas por diversos motivos. A estimativa de vazões é importante tanto para determinação da disponibilidade hídrica quanto para dimensionamento e operação de estruturas hidráulicas e planejamento de recursos hídricos.

Ainda que se disponha de uma boa série histórica, a mesma dificilmente contempla os valores extremos (Figura 33), como, por exemplo, cheias extremas com tempos de retorno elevados, de modo a permitir o correto dimensionamento das obras de segurança das estruturas hidráulicas e minimizar os riscos de acidentes. Além disso, muitas vezes, as séries históricas estão impactadas pelas mudanças na bacia hidrográfica, de modo que as estatísticas não representam as condições atuais da mesma, sendo necessário usar outras técnicas para reduzir as incertezas nas séries históricas.

FIGURA 33 – Avaliação de séries históricas



Fonte: elaboração própria.

Entre as técnicas de estimativa de vazões, além das abordagens estatísticas aplicadas aos dados das séries históricas, têm-se modelos hidrológicos e modelos estocásticos.

Os modelos permitem explorar os dados e aumentar a informação contida nos mesmos, tanto em termos espaciais quanto temporais. Assim, dependendo do tipo do modelo, eles possibilitam melhorar o entendimento do comportamento hidrológico na bacia; realizar previsão de vazões, como, por exemplo, representativas do comportamento de afluências em reservatórios – seja para dimensionamento do reservatório, seja como previsões de cheias em tempo real para tomada de decisão dos operadores; realizar consistência e preenchimento de falhas; estimar disponibilidade da água; avaliar impactos resultantes da modificação do uso do solo; analisar cenários de planejamento de uso dos recursos hídricos; estender as séries históricas, entre outros.

Os modelos podem ser concentrados ou distribuídos. No modelo concentrado, as simulações utilizam os valores médios na bacia das variáveis e a resposta concentrada no exutório da bacia. Exemplos são os modelos hidrológicos IPH II (TUCCI et al., 1981) e SMAP (LOPES et al., 1981). Já os modelos distribuídos simulam os processos de forma distribuída ou variáveis na área da bacia. Tem-se como exemplo o modelo MGB-IPH (COLLISCHONN; TUCCI, 2001). Os modelos hidrológicos distribuídos são adequados para representar as variações de uso e ocupação do solo, contemplando os processos que ocorrem no canal fluvial, como escoamento fluvial, operação de reservatório, entre outros.

A estimativa de vazões com a finalidade de gestão recai frequentemente na situação da estimativa de vazões para seções sem monitoramento hidrológico ou com série estatisticamente pequena. Os procedimentos utilizados são:

- interpolação;
- regionalização hidrológica; e
- modelos.

a) Processo *interpolativo*

É a metodologia usual de estimativa de vazões pela simples proporção de área, proporção de vazões ou regressão entre vazões ou entre uma vazão e outra variável, com base sempre em referenciais provenientes de seções hidrológicas, sobre as quais se dispõem informações. O modelo proporção de áreas – sugerido pelo manual de pequenas centrais hidrelétricas com a recomendação de alguns cuidados na sua aplicação, como a indicação de estabelecer um limite de utilização em bacias que possuam a razão maior ou igual de 1/3 entre as áreas de drenagem da menor e da maior – é expresso por:

$$Q_{alvo} = Q_{fonte} * \frac{A_{alvo}}{A_{fonte}}$$

Em que:

- Q_{alvo} é a vazão no local de interesse.
- Q_{fonte} é a vazão na seção com dados.
- A_{alvo} é a área da bacia hidrográfica de contribuição à seção de interesse.
- A_{fonte} é a área da bacia hidrográfica de contribuição à seção com dados.

b) Regionalização hidrológica

A regionalização caracteriza-se pela síntese regional de um grande volume de dados, sendo as regiões homogêneas estabelecidas pelo agrupamento espacial de distribuições estatísticas semelhantes. A regionalização hidrológica “consiste num conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, visando à estimativa das variáveis, funções ou parâmetros hidrológicos em regiões com limitados dados” (TUCCI, 2012, p. 573).

Basicamente, são definidas regiões hidrologicamente homogêneas, que são regiões onde a variável regionalizada possui tendências hidrológicas semelhantes. Ao ser identificada a semelhança, a partir de relações extraídas de dados reais medidos em bacias da região de estudo, a mesma é sintetizada em funções obtidas a partir de ajustes de distribuições estatísticas a variáveis, parâmetros ou funções hidrológicas, combinadas

com a regressão desses próprios ou de parâmetros de suas distribuições estatísticas com características físicas das bacias (área contribuinte, extensão do rio principal, declividades diversas e densidade de drenagem, normalmente) e hidrometeorológicas (pluviometria anual, geralmente).

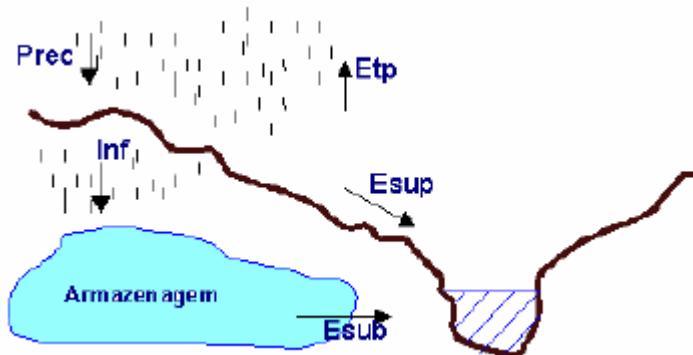
$$Q_{alvo} = f\zeta (\text{fisiografia, chuvas, etc.})$$

c) Modelos em hidrologia podem ser:

- Conceituais, com base em processos: buscam a representação, a partir do equacionamento físico do problema e dos processos envolvidos. Em geral, são mais complexos que os empíricos, uma vez que procuram descrever todos os processos que envolvem determinado fenômeno estudado.
- Empíricos: quando utilizam relações baseadas em observações e fazem uso de ajustes de equações a partir do comportamento observado em um sistema. Esses modelos são específicos para região e condições para as quais as relações foram estimadas. Além disso, os modelos empíricos não possibilitam fazer simulações de mudanças em condições para os quais o modelo não previu, tais como: chuvas extremamente altas, mudança de uso da terra, etc.
- Estocástico: quando pelo menos uma das variáveis envolvidas admite um comportamento aleatório, ou seja, os modelos admitem a relação entre entrada e saída dado por um comportamento estatístico.
- Determinísticos: respondem sempre da mesma forma a uma mesma entrada, os conceitos de probabilidade não são considerados durante elaboração do modelo.

Os modelos hidrológicos conceituais podem ser utilizados para a obtenção de vazões em locais carentes de dados de vazão, a partir de um ajuste a poucos dados e posterior simulação do modelo chuva-vazão, tendo como dados de entrada as séries de chuvas, dados geralmente mais disponíveis que das vazões.

Os modelos chuva-vazão realizam, basicamente, um balanço hídrico em que a entrada é a chuva e a evapotranspiração, e as saídas são expressas pelas vazões e as estimativas da evapotranspiração exercida ou real (CRUZ, 2001). São compostos por conjuntos de algoritmos que representam os diferentes processos hidrológicos (Figura 34). Existem inúmeros modelos desenvolvidos com boa aplicabilidade, mas é importante salientar que o tipo de modelo empregado é condicionado pelo objetivo do estudo, pela disponibilidade de dados e pelas dimensões da bacia e que todo o modelo contém incertezas associadas tanto à estrutura do modelo quanto à qualidade e abundância dos dados de entrada.

FIGURA 34 – Método Silveira

Fonte: Silveira (1997).

A família dos modelos estocásticos é muito utilizada para estimativa de vazões. O método considera que as séries de vazões são séries temporais (observações de uma variável dispostas sequencialmente no tempo) e que cada observação está associada a uma probabilidade de ocorrência da observação. Em geral, tem uma estrutura que considera as autocorrelações entre os valores sequenciais da série temporal e um termo que insere a aleatoriedade, como o clássico ARIMA (BOX et al., 1994). Atualmente, há inúmeras abordagens, inclusive com uso de redes neurais artificiais, inferência fuzzy, entre outros.

Esses modelos são construídos para gerar séries sintéticas a partir das amostras (série histórica de vazões), objetivando preservar as estatísticas mensais (curta dependência) e anuais (longa dependência). Assim, por meio dessa abordagem, podem ser geradas quantas séries se imaginar, cada uma delas preservando o quanto possível as características da série amostral, sendo usadas para o planejamento de recursos hídricos como um todo e, em particular, para o dimensionamento e a definição de regras operativas em reservatórios com uso múltiplo das águas e otimização eletroenergética.

A seguir são apresentadas, para exemplificar, algumas técnicas usuais de estimativa de vazões.

4.4.2.1 Método Silveira

O uso de informações de vazões históricas ou mesmo de amostragens específicas, pequenas amostragens em períodos de estiagem (com ausência de escoamento superficial), pode conferir maior confiabilidade aos resultados de técnicas de estimativa de vazões

mínimas ou de suas características estatísticas. A taxa de deplecionamento das vazões na ausência de recarga, caracterizada pelo coeficiente de depleção **k_b** foi, por exemplo, a estratégia utilizada por Silveira (1997) para o ajuste de um modelo chuva-vazão focado no comportamento da bacia na estiagem, para estimar curvas de permanência de vazões em pequenas bacias sem dados, visando à determinação de disponibilidade hídrica (Figura 35).

O método reduz as incertezas produzidas nas vazões de referências pelos métodos de regionalização aplicados a pequenas bacias hidrográficas. Sua proposta teve como base a utilização de uma amostra reduzida de vazões para definir uma curva de depleção vinculada ao local sem dados. Esse método, que vincula as vazões estimadas às características do local, foi testado em bacias pequenas (SILVEIRA et al., 1998; TAMIOSSO, 2012) e em bacias de até 1.000 km² (HORN, 2012; FRIEDRICH, 2017).

O método Silveira baseia-se na combinação de um modelo chuva-vazão com uma amostragem reduzida de vazões, através de algumas medições locais em períodos de estiagem, o que constitui uma solução alternativa à necessidade da obtenção de séries contínuas de vazões, que é feita por um monitoramento convencional. O método considera que uma rápida interação com o meio conduz a uma boa avaliação da disponibilidade hídrica através de um modelo chuva-vazão, pois o deplecionamento fluvial de uma bacia é um retrato do seu comportamento após a ocorrência das precipitações. Desta forma, obtidas algumas medições que reproduzem o comportamento da bacia nas estiagens, busca-se representar a sua resposta através da técnica da simulação por meio da transformação da precipitação em vazão. O significado da curva de depleção medida é dado por uma simulação de balanço hídrico diário que tenta reproduzi-la, a partir da cronologia de precipitações e estiagens. Reproduzindo prioritariamente os períodos de estiagem, o método é indicado para estudo de vazões de maior freqüência. Em resumo, a metodologia Silveira consiste de duas etapas básicas:

I. Amostragem de vazões - levantamento de uma amostra reduzida de vazões em período de descarga do aquífero num curto espaço de tempo (uma a duas semanas), sem necessidade de instalações tradicionais de funcionamento contínuo (linígrafos). A caracterização do deplecionamento fluvial em termos de magnitude e taxa de decaimento das vazões exige um mínimo de três medições de descargas na seção de interesse espaçadas de alguns dias, em período de estiagem, de modo a se avaliar a estabilidade do decaimento de vazões.

Simulação de série de vazões – envolve as etapas:

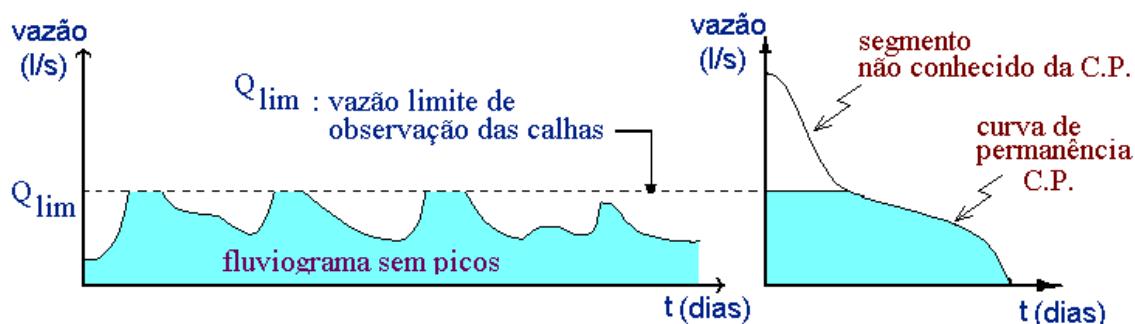
- ajuste de um modelo chuva-vazão com a amostra reduzida, ou seja, com poucos valores de vazão conhecidos;
- síntese de vazões diárias a partir do histórico de precipitações e evapotranspirações regionais através do **modelo chuva-vazão simplificado**; e,
- determinação da curva de permanência.

MODELO Silveira 2 parâmetros

O modelo proposto por Silveira (1997) para avaliação de disponibilidade hídrica baseia-se na estimativa do comportamento da bacia na estiagem. O deplecionamento fluvial de uma bacia é um retrato do seu comportamento, após a ocorrência das precipitações. Em pequenas bacias esse processo é mais marcante devido a resposta rápida da bacia a precipitações, função do pequeno tempo de concentração. Assim o escoamento superficial produzido ocorre normalmente nos próprios dias chuvosos e os períodos de recessão representam o período mais longo de tempo no fluviograma.

Fonte: Rede: FINEP/CT-HIDRO VERTENTES. **Bacias vertentes:** estratégias metodológicas para monitoramento, modelagem e gestão (2008-2014) – Rede de pesquisa UFSM/USP/IPH-UFRGS.

FIGURA 35 – O hidrograma e os períodos de recessão

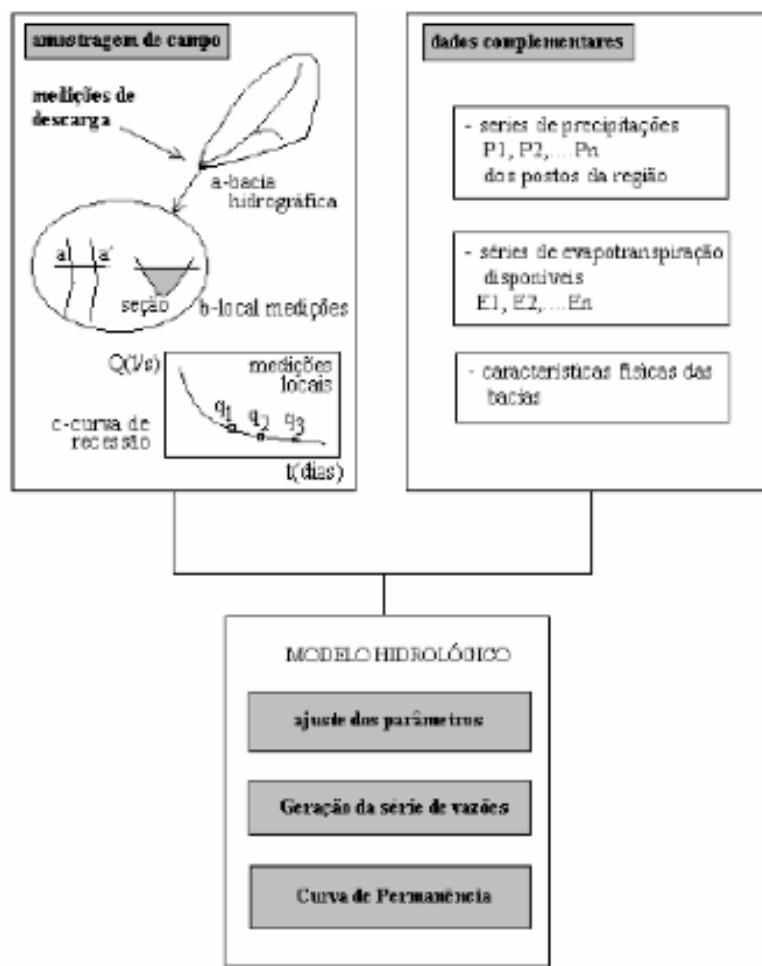


Fonte: Silveira (1997).

O método proposto considera que uma rápida interação com o meio através de algumas medições locais conduz a uma boa avaliação da disponibilidade hídrica, por um modelo chuva-vazão com dois parâmetros.

A caracterização preliminar do deplecionamento fluvial em termos de magnitude e taxa de decaimento das vazões exige um mínimo de três medições de descargas na seção de interesse espaçadas de alguns dias, em período de estiagem, de modo a se avaliar a estabilidade do decaimento de vazões, Roche (1963) citado em Silveira (1997).

O deplecionamento fluvial é o conceito-chave que sustenta um balanço hídrico dedicado a estimar as vazões mínimas em bacias sem dados - a partir de três medições de vazão na seção fluvial de interesse. Utiliza-se, neste processo, um modelo matemático de dois parâmetros, um relacionado ao balanço hídrico, C_{inf} , e outro ao deplecionamento fluvial, o K_{sub} . Na Figura 36, apresenta-se a estrutura do modelo.

FIGURA 36 – Estrutura metodológica

Fonte: Silveira (1997).

Um modelo chuva-vazão em particular, desenvolvido por Silveira et al. (1998), tem sido muito aplicado em pequenas bacias de cabeceira nas proximidades do Distrito Federal. Este modelo requer a realização de pelo menos três medições de vazão no manancial de interesse, durante um mesmo período sem ocorrência de chuvas, para caracterização da recessão (estiagem) do rio. Esta abordagem preenche as lacunas das demais técnicas, uma vez que a regionalização de vazões em geral não é aplicável em bacias com área de drenagem inferior a 100 km².

[...]

A disponibilidade hídrica que se quer referir neste manual é aquela vazão ou volume de água que, tomados como referência e analisados sob aspectos técnicos e processuais, possibilitam a emissão das respectivas outorgas de direito de uso de recursos hídricos demandadas pelos diversos usuários requerentes.

Fonte: ANA. **Manual de Procedimentos Técnicos e Administrativos de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas.** [S.l.:s.n.]: 2013.

4.4.2.2 Regionalização de vazão

A regionalização de vazões consiste em uma técnica de espacialização de dados pontuais de vazão. Ela é empregada para transferir índices estatísticos das vazões medidas nas estações fluviométricas para outras seções da bacia ou região, possibilitando a estimativa de valores em pontos sem medição.

Aos estudos de regionalização estão associadas significativas limitações e muitas incertezas, as quais se devem a diferenças nas escalas espaciais e temporais entre o grupo de estações utilizadas, a especificidades locais do meio físico (inclusive uso da terra e diferentes complexos hidrogeológicos, principalmente em pequenas bacias) e a dificuldades de obtenção de dados confiáveis convencionais, em especial para as vazões mínimas. Essas limitações impõem restrições ao seu uso para projetos e seu uso em instrumentos de gestão de recursos hídricos, como outorga e enquadramento. Porém, o método é ferramenta útil para planejamento e análises globais.

Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas. In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade.** 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

Para a realidade brasileira, os estudos de regionalização hidrológica, por serem definidos a partir de uma base de dados com poucas bacias pequenas, podem produzir resultados inadequados. Essas limitações devem-se principalmente aos seguintes fatores:

- *diferenças nas escalas espaciais e temporais dos mecanismos chuva-vazão;*
- *caracterização difícil de regiões hidrologicamente homogêneas para bacias pequenas;*
- *dificuldades de obtenção de dados confiáveis de vazões mínimas, mesmo em bacias grandes (problemas de curva-chave).*

Fonte: SILVEIRA, Geraldo Lopes da; CRUZ, Jussara Cabral; SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Capítulo 4 – Avaliações Hidrológicas. In: SILVEIRA, Geraldo Lopes da; CRUZ, Jussara Cabral (Org.). **Seleção Ambiental de Barragens: análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica.** 2. Ed. Revista e Ampliada. Santa Maria: UFSM/ABRHidro., 2019, v. 1, p. 119-172.

Estudos de regionalização são possíveis quando existir uma densidade suficiente de estações fluviométricas instaladas na bacia, que permita a obtenção das equações regionais. Estudos de regionalização não devem ser aplicados fora dos limites estabelecidos pelas equações regionais. Para a realidade nacional, por exemplo, geralmente, a regionalização é realizada a partir de uma base de dados proveniente de bacias maiores (área de drenagem superior a 500 km²), o que indica que não se recomenda a utilização em bacias consideradas pequenas (área de drenagem menor do que 100 km²).

No método tradicional de regionalização, as vazões de interesse são descritas por variáveis físicas da bacia contribuinte, como área da bacia, declividade, densidade de drenagem, variáveis climáticas, como precipitação e variáveis hidrológicas, como coeficiente da curva de recessão, vazão média, entre outras, denominadas variáveis explicativas ou independentes. Funções matemáticas são estabelecidas relacionando

(continuação)

a variável de interesse com as variáveis explicativas, em geral por meio de regressões múltiplas, para descrever as relações entre as variáveis de interesse e as explicativas. Essas equações podem ser do tipo linear, potência, polinomial, exponencial, logarítmica, entre outras. As equações regionais são determinadas para cada região hidrológica homogênea (região onde o comportamento hidrológico é considerado uniforme) e cuja identificação é apoiada por indicadores estatísticos utilizados na avaliação do desempenho do modelo regional estabelecido.

*Dentre as estratégias de regionalização, além da tradicional, têm-se os métodos de proporcionalidade de vazões e conservação de massas. Um exemplo de aplicação para regionalização de vazões média de longa duração e vazão média mínima de sete dias de duração e período de retorno na bacia do rio Paraopeba pode ser conferido em Moreira e Silva (2014). Também é possível regionalizar parâmetros de funções ou modelos hidrológicos, como os exemplos da função ajustada para a curva de permanência (COSTA et al., 2012) e da função para parâmetros de modelo chuva-vazão (Saraiva et al., 2011; "Vendrusculo, 2005"**). Por sua vez, no estudo de Santa Catarina (2006) foram regionalizadas as vazões médias de longo período, vazões médias mínimas para diferentes durações e diferentes períodos de retorno e as vazões para as frequências de permanência de 5 a 100%.*

Uma abordagem possível que pode ser adotada é a adaptação do método da cheia-índice às funções hidrológicas (ANEEL/UFRGS/IPH, 2001), baseado no fato de que "as funções hidrológicas em uma região homogênea, para alguma vazão característica (média, máxima ou mínima), podem ser representadas graficamente por curvas paralelas". Neste caso, a estratégia é adimensionalizar as vazões de cada estação pelas respectivas médias das séries históricas, e para essas médias, identificar variáveis que as relacionam com características físico-climatológicas de cada bacia. Essa estratégia foi utilizada nos estudos de ANEEL/UFRGS/IPH (2001) e ANEEL/UFSM (2001), os quais regionalizaram para todo o estado do Rio Grande do Sul a vazão média, vazão de longo período, vazão máxima, vazão média de cheia, vazão mínima de duração t, vazão mínima de duração t média de longo período, curvas de permanência (de longo período e mensais) e curvas de regularização.

Como a aplicação de estudos de regionalização para pequenas bacias hidrográficas produz incertezas nas vazões de referências (SOARES et al., 2010; GARBOSSA; PINHEIRO, 2015), Silveira (1997) desenvolveu um método para a estimativa de vazões em pequenas bacias sem dados, visando superar essa dificuldade (item 7.3.2.1). Esse método, que vincula as vazões estimadas às características do local, foi testado em bacias pequenas (SILVEIRA et al., 1998; TAMIOSSO, 2012) e em bacias de até 1000 km² (HORN, 2012; FRIEDRICH, 2017).

Além disso, para estimativas de vazões em bacias maiores, Silveira et al. (2005) realizaram a regionalização de vazão por meio da proposta do método regio-depleção vinculado a medições locais de vazões. A estratégia de Silveira et al. (2005) foi realizar medidas de vazões durante um mesmo deplecionamento na bacia, em várias seções hidrológicas, calcular as respectivas vazões específicas (m³/s por km²) e com elas determinar um α regional. Considerando que a vazão mínima média com determinada duração pode ser representada por qmin=A^bL^cS^d, onde A é a área de drenagem, L é o comprimento do rio principal e S é a declividade do rio principal, e considerando que existem tantos conjuntos de Q, A, L, S, e t quanto

(continua)

(conclusão)

o número de vazões medidas na depleção; é possível encontrar os coeficientes b, c, d, por exemplo, por meio do método de mínimos quadrados. Considerando que o modelo de proporcionalidade das vazões medidas em duas seções fluviométricas, identificadas como i e j, pode ser expresso em função de indicadores regionais... Silveira et al. (2005) propuseram usar a variável de vazão da estação "fonte" com série histórica longa), por exemplo, a vazão mínima com p% de frequência de permanência, para determinar a vazão de referência para a seção hidrológica de interesse sem dados, dado que os valores dos indicadores A, L, S são determináveis.

Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas. In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade.** 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

A seguir, há um exemplo de equação de regionalização:

Q₉₅ dado por: $Q_p = e^{\alpha p + \beta}$

Em que:

$$\alpha = -\frac{1}{0,45} \ln \left(\frac{Q_{50}}{Q_{95}} \right) \quad \beta = \ln Q_{50} - 0,50\alpha \quad p = \text{permanência em \%}$$

A equação de regressão de Q_p (p = 50% ou 95%) para cada região homogênea pode ter a seguinte forma:

$$Q_p = aA^bL^cS^dN^eP^f$$

Área da bacia contribuinte	A	(km ²)
Comprimento do rio principal	L	(km)
Declividade média do rio principal	S	(m/km)
Número de afluentes ao rio principal	N	(nº)
Precipitação média anual na bacia contribuinte	P	(m)

4.4.2.3 Regularização de vazões

Os usuários das águas necessitam, para seu planejamento, que as águas disponíveis para atendimento de suas necessidades estejam associadas a determinada garantia de atendimento. Os regimes de vazões dos rios possuem flutuações em função do regime das chuvas, passando alternadamente por períodos úmidos e secos (Figura 37), de modo que as vazões de maior permanência no tempo (maior garantia de atendimento) são as de valores menores.

As cheias são eventos raros vinculados a precipitações extremas e, portanto, com tempos de recorrência elevados e que podem resultar em consequências, como inundações,

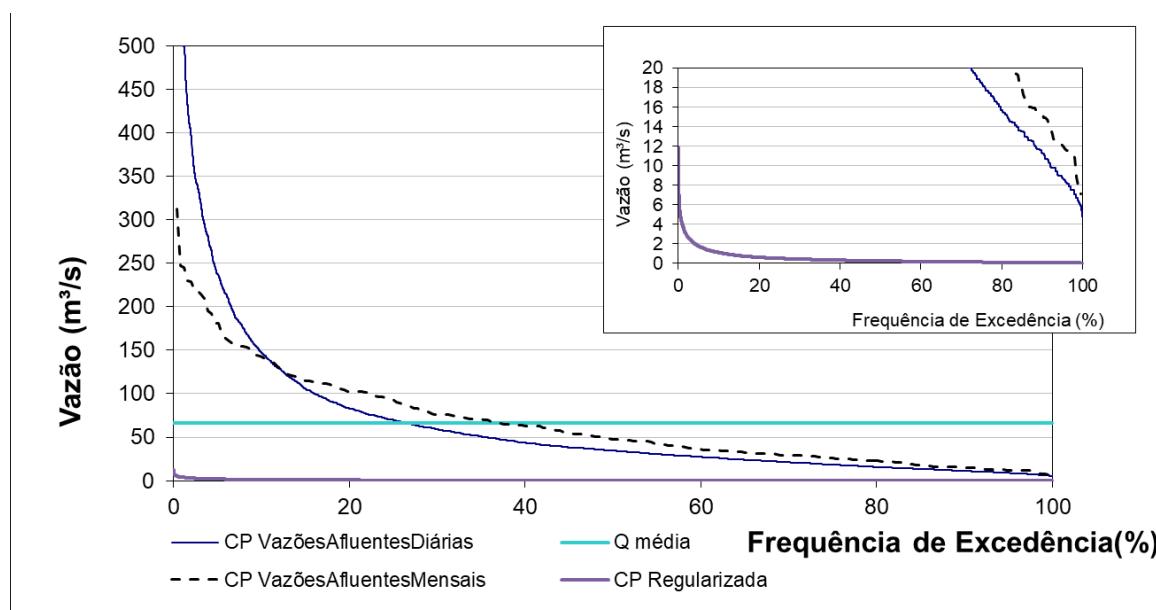
com perdas econômicas, materiais e, até mesmo, de vidas humanas. O controle de cheias pode ser realizado com a combinação de diversas estratégias, podendo ser estruturais (quando envolve execução de obras diretamente ligadas ao curso d'água) e não estruturais (quanto envolve ações de planejamento do uso das terras nas áreas alagáveis (zoneamento), seguro contra cheias, sistemas de alertas contra cheias, etc.).

A construção de reservatórios de água permite a retenção dos volumes excedentes de água provenientes de períodos com vazões maiores (inclusive as cheias maiores) para posterior uso nos períodos de estiagem, realizando uma redistribuição no tempo das vazões do curso d'água. Ou seja, os reservatórios promovem uma regularização das vazões reduzindo picos de cheias e um aumento da disponibilidade hídrica, proporcionando melhor aproveitamento dos recursos hídricos ao longo do ano, sem as restrições dos períodos críticos de estiagem.

A função dos reservatórios para controlar os escoamentos e minimizar os efeitos das cheias é efetivada por meio da manutenção de um volume vazio, chamado **volume de espera**, o qual tem a função de receber as vazões resultantes do evento da cheia, para liberação com menores vazões a jusante, em outro momento. O resultado é uma lamination da cheia, reduzindo a vazão máxima da onda que passa pelo reservatório.

No exemplo a seguir (Figura 37), pode-se ver o efeito da regularização nas vazões de um reservatório, expresso pela mudança na curva de permanência – CP (4.5.1.2):

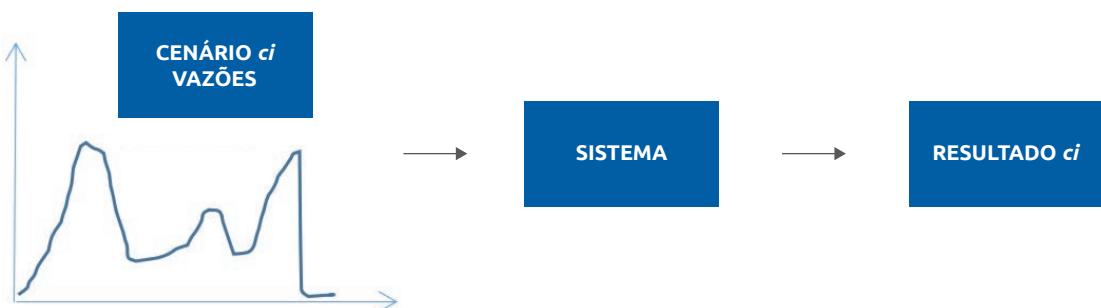
FIGURA 37 – Efeito da regularização na curva de permanência



Fonte: elaboração própria.

O dimensionamento e a definição das regras de operação de reservatórios são realizados a partir do conhecimento das vazões afluentes aos mesmos. As vazões afluentes a serem utilizadas podem ser a série histórica amostral ou séries de vazões estimadas, por modelos hidrológicos ou por modelos estocásticos (sintéticas). Cada série de vazões utilizada é um cenário de vazões. Os cenários podem ser definidos como futuros possíveis e devem preservar as características estocásticas da amostra. Ou seja, é possível simular um número grandes de vazões prováveis para simular os sistemas (Figura 38) e, com base nas análises dos resultados, minimizar os riscos de possíveis inadequações nos projetos.

FIGURA 38 – Cenários de afluências



Fonte: elaboração própria.

Para o dimensionamento das estruturas de segurança de obras hidráulicas ou para zoneamento de áreas sujeita a riscos de cheias, são utilizados modelos de previsão de cheias, estimando as vazões para tempos de retorno elevados. Em geral, utiliza-se o modelo chuva-vazão para gerar as vazões, e os cenários de chuvas são construídos com base em diferentes tempos de recorrência, gerando diferentes cenários de vazões de cheias.

4.5 DISPONIBILIDADE HÍDRICA – QUANTIDADE

A disponibilidade hídrica é a informação básica de apoio à decisão sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos, que tem como objetivos “assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água”, conforme disposto no artigo 11 da Lei Federal nº 9.433 (BRASIL, 1997). Ainda, segundo a mesma Lei nº 9.433, art. 7º, parágrafo III, a outorga deve estar vinculada a estudos referentes ao “balanço entre disponibilidades e demandas futuras dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, com identificação de conflitos potenciais”. Estes artigos atendem aos objetivos da **Agenda 21** (capítulo 18, item 18.2)

A disponibilidade hídrica para outorga não corresponde ao total escoado (vazões aleatórias, variáveis no tempo em função de sazonalidade do clima e também da variabilidade

interanual climática), mas a uma parcela do mesmo, **vinculada a certa garantia**, compatível com a responsabilidade intrínseca do poder outorgante, frente aos direitos concedidos aos usuários junto à outorga.

A informação quantitativa relativa aos recursos hídricos é a informação básica, no entanto, o conhecimento da mesma é dependente do conhecimento da vazão natural do rio e dos parâmetros de qualidade. Pela vazão natural, que é uma grandeza de difícil avaliação por causa da ação antrópica, percebe-se que essa provoca e desenvolve modificações na superfície do solo. Assim, alteram-se suas condições de permeabilidade, as características hidráulicas e o processo de separação dos escoamentos.

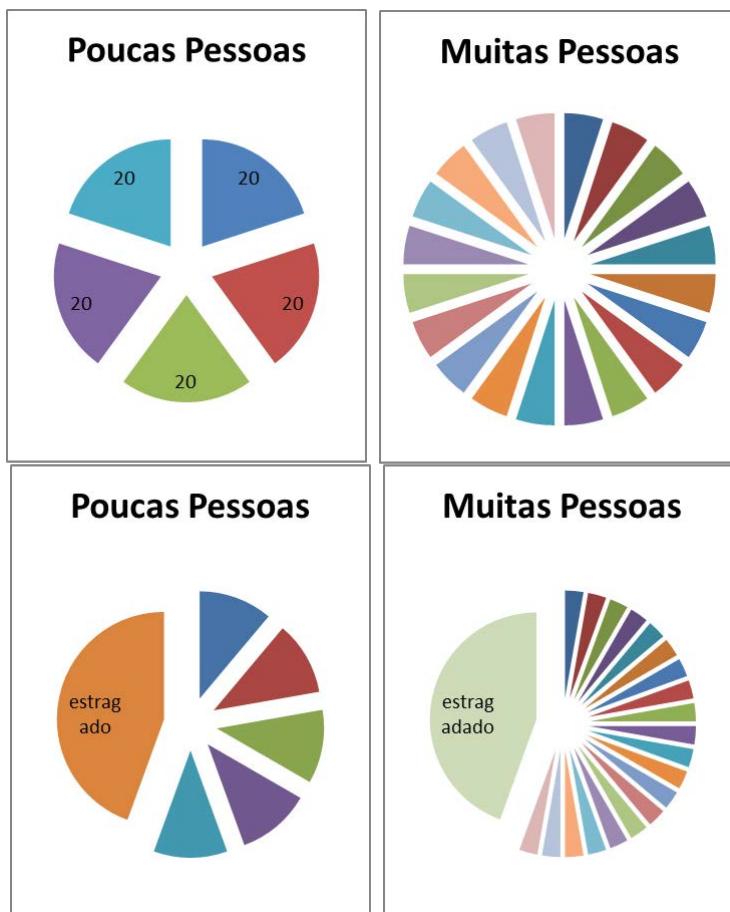
Ainda, a vazão medida também não corresponde exatamente ao que seria a vazão natural, dado que ela está afetada dos usos a montante, ou seja, é a sobra de todos os volumes utilizados a montante. Esses fatos vêm – aliado à inexistência ou às poucas informações tanto de vazões históricas quanto sobre os usos históricos e seus volumes – conferir elevado grau de incertezas na estimativa da disponibilidade.

Cabe também considerar que mudanças no uso do solo têm consequências em termos quantitativos, influenciando no armazenamento de água subterrânea, no regime das nascentes e, também, nos cursos d’água (PINTO et al., 2004). Isto porque a água tem maior facilidade para escoar superficialmente em áreas onde o solo se encontra desprotegido, o que diminui a capacidade de retenção dessa água e, como consequência, a infiltração deixa de abastecer o lençol freático, podendo reduzir a vazão dos rios em época de estiagem. Outro resultado é o favorecimento ao assoreamento desses corpos d’água, por causa do aumento de processos erosivos. Todos esses processos tendem a reduzir a disponibilidade hídrica.

Além disso, a disponibilidade para outorga do direito de uso das águas não se refere apenas à quantidade de água, mas a condições relativas aos parâmetros qualitativos, que podem indicar maior ou menor capacidade de diluição de poluentes. Em outras palavras, muito embora possa haver uma vazão ou volume razoável para suprir as necessidades dos usuários, essa água pode estar comprometida com a qualidade (Figura 39), de modo que, dependendo do uso, essa quantidade não possa ser utilizada, ou nem mesmo derivada sem que as condições de qualidade do manancial se agravem a níveis incompatíveis com a sustentabilidade e com o enquadramento dos recursos hídricos da bacia (CRUZ, 2001).

Finalmente, a legislação prevê a necessidade de resguardar uma reserva ambiental, também chamada vazão ambiental, para a preservação do ecossistema aquático e que deve estar presente no manancial e, portanto, constitui-se de uma restrição ao uso e deve ser considerado na outorga e no enquadramento.

FIGURA 39 – Distribuição do bolo: à esquerda para demanda pequena, à direita para demanda alta, nas situações com toda oferta em boas condições (figuras de cima) e com parte da oferta de baixa qualidade (figuras de baixo)



Fonte: elaboração própria.

A disponibilidade hídrica, portanto, é a parcela da disponibilidade no sistema que ficará disponibilizada para os diversos usos da água, porém sua determinação é dependente da legislação, do sistema jurídico, da escolha entre diferentes critérios possíveis de definição de reservas ambientais, de prioridades de uso atuais e de gerações futuras, os quais podem advir de negociações entre usuários e sociedade.

4.5.1 VAZÃO DE REFERÊNCIA PARA GESTÃO

A aplicação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos tem por base o estabelecimento de vazão referência para a seção fluviométrica de interesse. O valor adotado é um critério a ser definido segundo as decisões colegiadas ou do órgão gestor, dependendo do grau de implementação dos instrumentos e da legislação de cada unidade da União. Em geral, essa vazão de referência é um valor de vazão que passa a representar

o limite superior de utilização da água em um curso de água (RIBEIRO, 2000), já que as alocações para derivações devem ter como base um pequeno risco de falha.

O critério da vazão referencial está presente nas leis de vários estados brasileiros. Os termos vazão outorgável e vazão residual são ambos citados e relacionados às leis das águas estaduais e federais brasileiras, caracterizando uma situação de nomenclatura não homogênea, dependendo de sua interpretação de cada peça legal. Muitas vezes, o termo de vazão residual aparece com o significado de vazão ecológica, como referência para conservação ambiental. Por isso, é importante prestar atenção aos textos das leis. No Brasil, cada estado tem adotado critérios particulares pragmáticos para o estabelecimento das vazões de referência para outorga, sem, porém, apresentar justificativas da adoção desses valores (CRUZ, 2001).

Ainda, quando a sazonalidade do regime hidrológico é significativa, ela pode tornar-se um fator importante a ser considerado para a definição da vazão outorgável, com a vantagem evidente da possibilidade de outorga de maiores valores em épocas mais úmidas (CRUZ; TUCCI, 2005; CRUZ, 2001). No Brasil, a ideia de considerar esse aspecto da sazonalidade do regime hidrológico, por meio da estimativa de uma curva de permanência para cada mês do ano, foi sugerida por Kelman (1997), Ribeiro (2000, 2003), entre outros. Atualmente, já há exemplos de bacias que adotam a sazonalidade para a outorga.

Diferentes índices de vazões podem ser determinados para representar valores de referência. No Brasil, dois tipos de índices têm sido empregados na definição das vazões de referência: a vazão mínima com sete dias de duração e dez anos de tempo de retorno $Q_{7\text{ dias}}^{10\text{ anos}}$, obtida a partir de uma função de probabilidade de mínimos, e percentis da curva de permanência de vazões, sendo que as mais frequentemente utilizadas são as vazões dos percentis 90% e 95% de permanência ($Q_{90\%}$ ou $Q_{95\%}$).

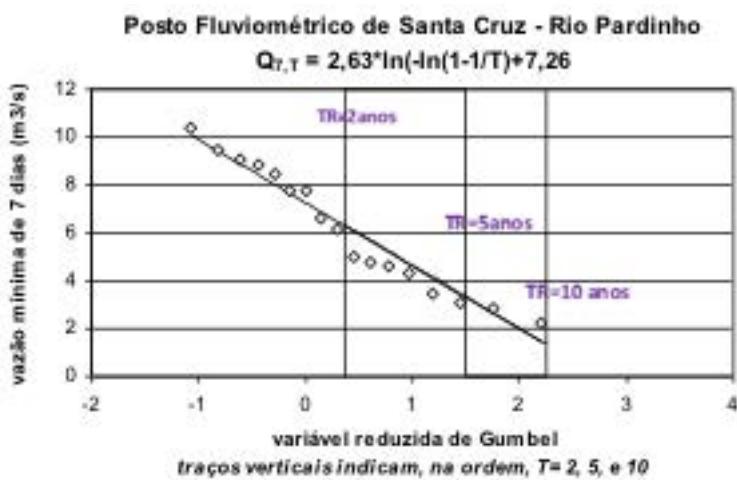
4.5.1.1 Curvas de vazões mínimas

Curvas de vazões são obtidas por meio da aplicação de uma função “densidade de probabilidade de extremos” à série histórica de vazões mínimas. Em geral, utiliza-se a “vazão mínima média de sete dias de duração e dez anos de período de retorno”. O período de retorno da vazão mínima permite avaliar quão extrema é a condição de estiagem para a duração t.

$$\text{Período de retorno das vazões mínimas} = \frac{1}{\text{Probabilidade de não excedência}}$$

Período de retorno de dez anos de uma vazão Q , significa que a chance de que ocorra um evento de vazão mínima menor que Q , é de uma vez em dez anos. A Figura 40 mostra um exemplo de curva de ajuste de uma função de probabilidades de Gumbel a uma série de vazões mínimas com sete dias de duração.

FIGURA 40 – Ajuste da distribuição de Gumbel a vazões mínimas



Fonte: Silveira; Cruz; Silveira (2019, v. 1, p. 119-172).

A função densidade de probabilidade é aplicada para séries parciais de mínimos anuais, podendo ser usadas diferentes durações na determinação da vazão mínima média, como sete dias. Obtém-se um valor representativo da variabilidade hídrica anual. Para regiões com ano hidrológico bem definido, o valor mínimo pode representar o período seco. Para situações onde a variável sazonal é importante, como a demanda de água para a irrigação de culturas temporárias, como a rizicultura na região sul do Brasil, ou demanda para abastecimento público de água potável em períodos de elevado fluxo turístico, a vazão mínima obtida com base em uma informação anual pode não ser adequada. Neste caso, é possível utilizar séries de mínimos considerando apenas um determinado mês ou grupo de meses (CRUZ; TUCCI, 2008; CRUZ, 2001).

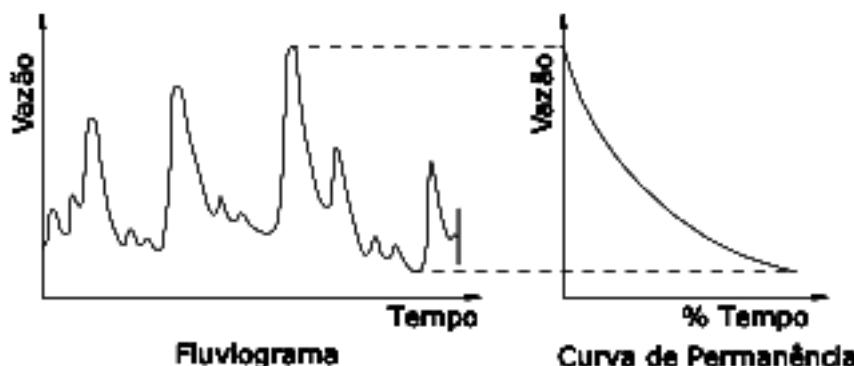
Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas. In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade**. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

4.5.1.2 Curvas de permanência

A curva de permanência de vazões (Figura 41), também conhecida como curva de duração das vazões, relaciona a vazão (geralmente no eixo das ordenadas) e a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada sobre todo o período histórico utilizado para sua construção (geralmente no eixo das abscissas). Construída sob bases anuais, em muitos casos, pode haver necessidade de uso de um critério alternativo de cálculo,

para incorporar aspectos de sazonalidade e de variabilidade interanual da disponibilidade hídrica (CRUZ, 2001). A vazão nominada como $Q_p\%$ ou Q_p indica que esse valor é superado em $(p)\%$ do tempo. Assim, para a vazão $Q_{95\%}$, tem-se que, em 95% do tempo, o valor da vazão é igualado ou superado.

FIGURA 41 – Representação esquemática do fluvíograma e a respectiva curva de permanência



Fonte: adaptado de Cruz (2001).

O método consiste em atribuir a cada vazão q uma probabilidade de excedência p :

$$p = 1 - P\{Q \leq q\} \quad \text{ou} \quad (11)$$

$$p = 1 - F_Q(q) \quad (12)$$

Em que:

- p = frequência de excedência.
- q = vazão.
- P = função de probabilidade.
- $F_Q(q)$ = função densidade cumulativa de probabilidade das vazões.

A vazão (percentil) $Q_p\%$ pode ser estimada a partir de uma função empírica de percentis (probabilidades acumuladas), mediante a escolha de uma posição de plotagem. Uma das mais utilizadas para a determinação das curvas de permanência é a equação de Weibull (CRUZ, 2001).

Sendo i o número de ordem do iésimo valor ordenado de vazão q (i), e n o número de dados ordenados, tem-se que a probabilidade de excedência p_i de q (i) é dada por:

$$p_i = 1 - F_Q[q(i)] \quad (13)$$

A posição de plotagem de Weibull correspondente é dada por:

$$P_i = \frac{i}{n+1} \quad (14)$$

A curva pode ser construída a partir de todos os dados da série histórica, por dois métodos, conforme sugerido por Cruz (2001):

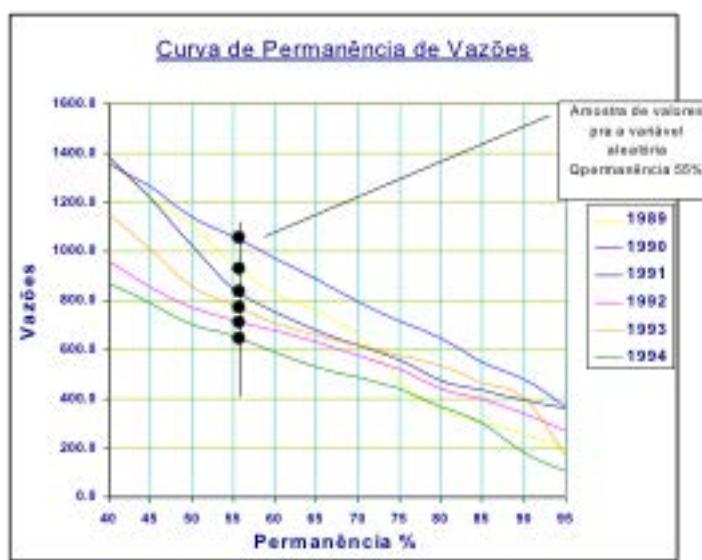
1. Método da série toda – curvas empíricas

- Uma curva com todos os valores de toda a série histórica.
- Uma por mês, com os valores de todas as vazões de cada mês, de todos os anos. Dessa forma, elas apresentam as variações de sazonalidade

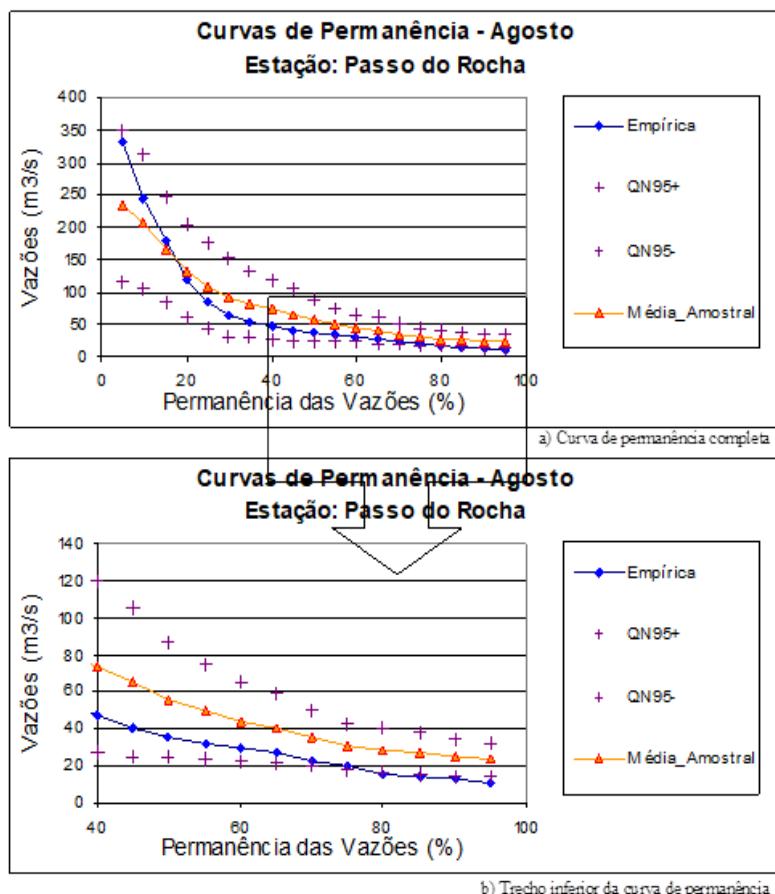
2. Método ano a ano – curvas estatísticas

- Uma por ano, com os valores de todas as vazões do ano (Figura 42). Dessa forma, é possível encontrar uma curva de permanência média, com intervalos de confiança, de modo a apresentar a variabilidade interanual das vazões (Figura 43).
- Uma por mês, para cada ano, com os valores de todas as vazões de cada mês de cada ano. Dessa forma, é possível encontrar uma curva de permanência média, com intervalos de confiança, de modo a mostrar como a sazonalidade varia entre anos (Figura 44).

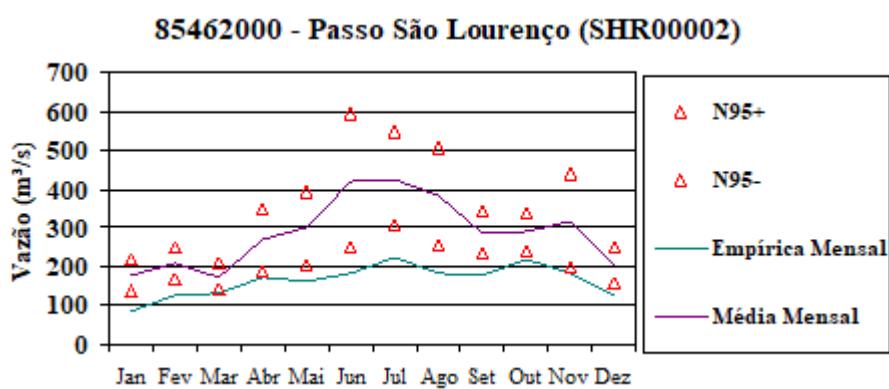
FIGURA 42 – Conjunto de dados das variáveis aleatórias “vazão de permanência X%”



Fonte: Cruz (2001).

FIGURA 43 – Curva de permanência em Passo do Rocha – 85480000

Fonte: Cruz (2001).

FIGURA 44 – Vazões de 95% de permanência – dois métodos de cálculo

Fonte: Cruz (2001).

Todas essas técnicas podem ser conferidas em:

CRUZ, J. C. **Disponibilidade Hídrica Para Outorga:** Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais. 2001 Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, v. 13, n. 1, p. 111-124, jan./mar. 2008.

SILVEIRA, Geraldo Lopes da; CRUZ, Jussara Cabral; SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Capítulo 4 – Avaliações Hidrológicas. In: **SILVEIRA, Geraldo Lopes da; CRUZ, Jussara Cabral (Org.). Seleção Ambiental de Barragens: análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica.** 2. Ed. Revista e Ampliada. Santa Maria: UFSM/ABRHidro., 2019.

A seguir, há um exemplo de construção da curva de permanência ano a ano (Tabela 3).

TABELA 3 – Curvas de permanência ano a ano

Permanência %	Anos							
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
40	161,1	70,9	120,6	43,0	205,5	128,9	318,1	67,9
45	135,0	69,7	85,4	42,0	167,3	117,8	267,7	42,5
50	123,4	64,7	65,9	39,1	149,8	111,1	237,5	33,0
55	111,4	63,6	54,4	38,5	138,3	76,8	212,7	28,8
60	109,6	63,4	48,6	34,7	123,8	51,5	179,6	28,1
65	108,4	60,7	48,6	29,5	97,6	37,7	150,6	27,5
70	104,0	58,2	46,8	29,0	89,8	35,7	133,0	25,7
75	99,4	52,7	45,6	29,0	76,8	33,9	121,8	24,5
80	99,4	51,0	42,2	28,2	70,7	29,8	117,2	21,7
85	91,7	47,0	38,7	28,2	67,1	29,0	114,4	18,3
90	83,1	43,1	36,6	27,6	60,7	25,4	108,4	16,9
95	78,8	40,0	34,2	27,2	39,0	23,2	99,8	15,8

Fonte: elaboração própria.

A seguir, há um exemplo de construção da curva de permanência média de ano a ano (Tabela 4). Na Tabela 5 os valores para o cálculo dos intervalos de confiança.

TABELA 4 – Exemplo de cálculo da curva de permanência média

Permanência %	Média Q_{mdAA}	Desvio-padrão Q_{dvAA}	Limite inferior do intervalo de confiança	Limite superior do intervalo de confiança
40	139,5	89,7	77,3	201,7
45	115,9	75,6	63,5	168,3
50	103,1	68,2	55,8	150,4
55	90,6	61,4	48,1	133,1
60	79,9	52,8	43,3	116,5
65	70,1	44,3	39,4	100,8
70	65,3	39,3	38,0	92,6
75	60,5	35,5	35,9	85,1
80	57,5	35,2	33,1	81,9
85	54,3	34,0	30,7	77,9
90	50,2	31,7	28,2	72,2
95	44,8	29,2	24,6	65,0

Fonte: elaboração própria.

TABELA 5 – Valores de k

Intervalo de confiança (%)	k
90	1,645
95	1,96
98	2,327
99	2,575

Fonte: elaboração própria.

4.5.1.3 Curvas de vazões médias

A vazão média anual é uma medida da disponibilidade hídrica de cada ano hidrológico na bacia hidrográfica contribuinte. É o resultado do balanço hídrico anual, que pode ser estabelecido aproximadamente pela diferença entre os fluxos anuais médios da precipitação e da evapotranspiração real.

A cada ano hidrológico, em cada ponto da rede hidrográfica, define-se como vazão média anual a razão entre o volume acumulado de escoamento no ano pelo tempo de um ano. Em postos fluviométricos com disponibilidade de vazões médias diárias, a vazão média anual é a média dos 365 dias (ou 366, no caso de ano bissexto). De preferência, deve-se considerar o ano hidrológico centralizado no período úmido.

(continua)

(conclusão)

A série de vazões médias anuais de um ponto da rede hidrográfica oscila entre valores mais altos e valores mais baixos, isto é, enquadra-se em um comportamento natural a existência de uma variabilidade interanual, sendo que é normal o escoamento variar significativamente numa faixa entre anos secos e úmidos. A abordagem clássica estatística considera a série de vazões médias anuais como uma série independente, estacionária e não periódica, o que permite analisar suas frequências por meio do ajuste de uma distribuição de probabilidades. Evidentemente, se a série não tiver as características citadas, haverá distorção nas frequências, em maior ou menor grau, dependendo do grau de afastamento das condições referidas.

A vazão média anual, quando associada a um período de retorno ou frequência de excedência, permite avaliar sua posição entre anos secos e úmidos. A média das vazões médias anuais é a vazão média de longo período. O valor esperado, em linguagem estatística, das vazões médias de um ponto da rede hidrográfica, corresponde à vazão média de longo período desse ponto. Em uma série estacionária, é o valor em torno do qual flutuarão as vazões médias anuais, sendo, por isso, um parâmetro importante da distribuição das vazões médias.

A vazão média de longo período espelha a disponibilidade hídrica média (ou esperada) da bacia contribuinte a um ponto da rede hidrográfica. Teoricamente, desconsiderando-se qualquer perda, é a maior vazão possível de ser regularizada através de uma barragem, por regularização total, numa bacia hidrográfica.

Fonte: SILVEIRA, Geraldo Lopes da; CRUZ, Jussara Cabral; SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Capítulo 4 – Avaliações Hidrológicas. In: SILVEIRA, Geraldo Lopes da; CRUZ, Jussara Cabral (Org.). **Seleção Ambiental de Barragens: análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica.** 2. Ed. Revista e Ampliada. Santa Maria: UFSM/ABRHidro., 2019, v. 1, p. 119-172.

4.5.2 VAZÃO AMBIENTAL

Na distribuição da vazão aos diversos usos dos recursos hídricos, deve ser assegurada a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos naturais, por meio da vazão ambiental. Esta vazão deve permitir a manutenção das funções dos ecossistemas que compõem o rio e seu entorno, preservando as condições de pulso hidrológico, transporte de sedimentos e nutrientes, sincronicidade com o ciclo da vida das espécies silvestres, da fauna, da flora e taxas de perturbação necessárias à renovação e funcionamento dos ecossistemas associados ao corpo de água (CRUZ, 2005).

É importante compreender que os rios são ecossistemas abertos, com interação entre atmosfera, água e terra, tendo componentes de entrada (vazão de entrada, escoamento lateral, precipitação, infiltração e os rios efluentes) e de saída (vazão escoada; evaporação, transpiração e o fluxo nos rios influentes), os quais compõem as principais situações de movimento da água associado ao escoamento nos períodos chuvosos e de estiagem (MEDEIROS et al., 2011). Eles apresentam fluxo e heterogeneidade longitudinal, produzindo zonas ao longo da direção de escoamento, com funções ecossistêmicas variáveis espacial e temporalmente. Estas variabilidades estão integradas formando um contínuo no rio, e uma descontinuidade na escala de trechos de rios. É importante notar, ainda, que os rios também são influenciados por aspectos socioeconômicos, sofrendo os efeitos das ações antrópicas sobre os recursos hídricos (PINTO et al., 2016).

(continua)

(conclusão)

A biota aquática e do entorno dos corpos de água superficial apresentam requerimentos específicos para cada espécie. Os organismos tendem a selecionar as condições ambientais que lhe são mais favoráveis, correspondendo a cada variável de micro-habitat, como velocidade, profundidade, substrato e cobertura. As espécies de plantas e de animais estão adaptadas para viverem em zonas com características específicas, como correntes mais lentas ou mais rápidas das seções transversais de rios. O estabelecimento da vazão ambiental deve levar em consideração as interações atuantes no ecossistema aquático e as comunidades ou espécies presentes. Diferentes metodologias têm sido recomendadas, as quais são classificadas em quatro grupos: hidrológicas, hidráulicas, de habitat e holísticas (BENETTI et al., 2003; SARMENTO, 2007; PINTO et al., 2016). Esta classificação tem por base os fatores considerados na metodologia.

As metodologias hidrológicas levam em consideração dados das séries históricas de vazão. Foram as primeiras metodologias apresentadas. A vazão ambiental é definida como uma proporção de um índice estatístico da série histórica ou uma combinação de índices, representativo de pulsos produzidos ao longo do tempo. O valor ou valores definidos não apresentam relação com os requerimentos da biota aquática ou do entorno do sistema fluvial.

No Brasil, três índices hidrológicos são correntemente empregados: vazão média mínima Q_{7,10}, vazão de permanência Q_{90%} ou outro valor de permanência e vazão regularizada (Tabela 1). As legislações têm apresentado a vazão outorgável, de modo que a vazão ambiental pode ser obtida pelo complemento deste valor. Assim, se a vazão outorgável é 50% da Q_{98%}, a outra parte (50%) desta vazão de referência será considerada como ambiental. Outros métodos são apresentados, como Método Tennant/Montana, Método da Vazão Aquática de Base, Método da Mediana das Vazões Mensais, Método da Área de Drenagem.

Garcia e Andreazza (2004) definiram como princípios para a definição da vazão ecológica:

- i) deve ser um valor variável no tempo, que permita manter o pulso natural do rio, com suas variações intra e interanuais;
- ii) deve ser menor ou igual à vazão afluente, de forma a preservar os usos múltiplos previstos para o aproveitamento, bem como sua viabilidade técnico-econômica;
- iii) deve ser proporcional à vazão afluente, ou seja, quanto maior a disponibilidade hídrica, maior a vazão que pode ser direcionada para atender a demanda ambiental;
- iv) a relação entre vazão ecológica e vazão afluente deve ser tanto maior quanto menor a disponibilidade hídrica, ou seja, em período de seca, a parcela relativa direcionada para atender à vazão ambiental será maior do que em períodos de cheias e,
- v) existe um limite de vazão para cada período ou mês do ano, acima do qual os incrementos de vazão não trazem benefícios ambientais incrementais significativos.

Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas. In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade.** 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

A aplicação destes princípios resulta em:

$$Qamb = \alpha_i Q_{afl} + Q_{oi} \text{ (eq. 9)}$$

em que $Qamb$ é vazão ambiental ou vazão efluente mínima,

$Qafl$ é vazão afluente,

α_i e Qoi são respectivamente a inclinação e a interceptação da reta para o mês j .

Os parâmetros da reta podem ser obtidos por:

$$\alpha_i = (Ks.Qas_i - Ki.Qai_j) / (Qs_i - Qi_j) \text{ (eq. 10)}$$

$$\text{e } Qoi = (Ki - \alpha_i) Qi_j \text{ (eq. 11)}$$

onde Qi é a vazão afluente inferior,

Qs a vazão afluente superior,

Qai é a vazão ambiental inferior e

Qsi é a vazão ambiental superior;

Ki e Ks são os coeficientes de sustentabilidade hidroambiental.

Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas.

In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade.** 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

Vale ressaltar que a análise para definição da vazão ecológica, segundo os métodos hidrológicos, tem apenas o caráter quantitativo do fluxo, sem representar qualquer embasamento de cunho ecológico. No entanto, pode expressar uma condição de variabilidade das vazões representando o que é natural aos rios. Além disso, outras metodologias podem requerer informações e recursos materiais e humanos que nem sempre estão disponíveis.

Os métodos hidráulicos relacionam a vazão ambiental com características hidráulicas do escoamento na seção transversal, as quais são consideradas fatores limitantes aos habitats. As relações são estabelecidas a partir de levantamentos batimétricos e aplicações de funções hidráulicas, permitindo obter relações entre a vazão e uma ou mais características hidráulicas, como relação entre perímetro molhado e vazão, largura e vazão, entre outras. Estes métodos não consideram as necessidades ecossistêmicas do ambiente aquático.

Collischonn et al. (2005) apresentaram a metodologia denominada hidrograma ecológico (Figura 45). Ela é organizada em 6 passos, compreendendo: i) estimar necessidades de vazão para conservar os ecossistemas naturais associados ao rio; ii) estimar as necessidades de vazão atuais e futuras para uso humano; iii) avaliar os conflitos entre usos humanos e necessidades dos ecossistemas; iv) buscar soluções para os conflitos de forma colaborativa; v) realizar experimentos práticos de manejo de água; vi) desenvolver um programa de manejo adaptativo, baseado no monitoramento hidrológico e ambiental, com o objetivo de reduzir as incertezas envolvidas na resolução dos conflitos. Esta metodologia é focada em vários aspectos do regime hidrológico e não apenas em vazões mínimas.

Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas.

In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade.** 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

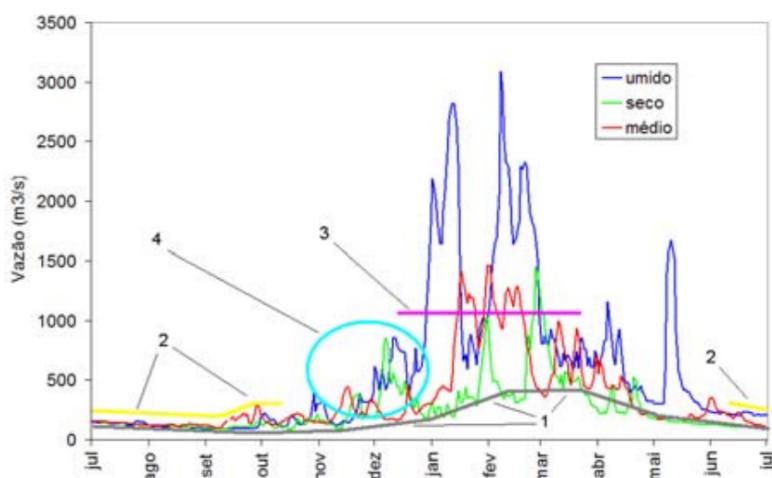
Cruz (2005) estruturou uma proposta para a definição de vazão ecológica baseada na **análise do regime de pulsos hidrológicos**, em busca da identificação da intensidade e da temporalidade dos componentes previsíveis dos hidrogramas. Ele propôs que as prescrições das vazões ambientais deveriam conservar ao máximo as características de variabilidade intra e interanual (pulsos) dos componentes previsíveis do hidrograma, cujo intervalo de variação (filtrado com a ferramenta Fftsint em CRUZ, 2005; CRUZ et al., 2015) foi chamado de **franja de tensão** (NEIFF, 1990). A ideia posta é que a distribuição das espécies vegetais mantém correlação com a frequência de inundações que estão sujeitas à variabilidade das vazões, sendo então proposta a correlação da franja de tensão com a distribuição vertical de características funcionais de plantas nas margens dos cursos de água.

Silveira et al. (2010), com base na proposta de Cruz (2005), buscaram aplicar a abordagem **da proposta do hidrograma ecológico para trechos de vazão alterada (TVA) por hidrelétricas**, em especial aqueles em que há trechos com redução da vazão em função de desvios para turbinas para aproveitar maior desnível do terreno. Os autores propuseram uma forma de mitigar estes efeitos partindo do pressuposto de que a franja de tensão das vazões pode ser mantida em diferentes faixas de cotas (Figura 46).

A proposta visa fazer uma prescrição que mantenha as características da franja de tensão em níveis mais baixos de cotas, permitindo, em longo prazo, que os processos de sucessão ecológica resultem em uma migração da comunidade inteira para cotas mais baixas. Esta proposta implica que esta maneabilidade tem limites, em função de fatores como geologia e viabilidade de migração de peixes, e possibilita estabelecer o limite inferior da franja de tensão em vários valores, permitindo-se ajustar outros objetivos, como a geração de energia, manutenção do enquadramento, navegação, migração de ictiofauna, níveis de desborde de ecossistemas ribeirinhos para garantir a conectividade transversal, entre outros.

Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas. In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade**. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

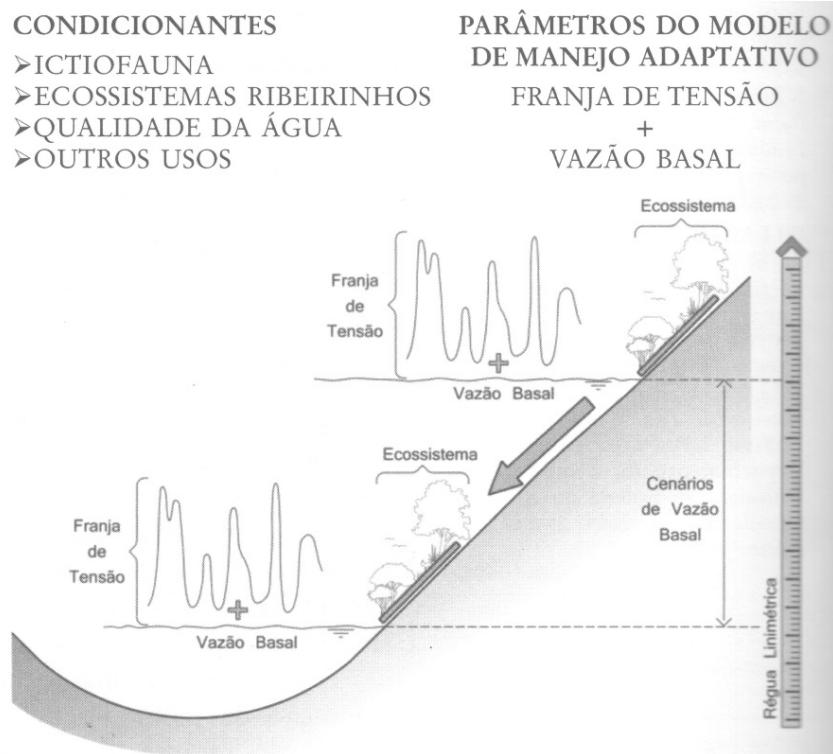
FIGURA 45 – Exemplo de hidrograma ecológico: (1) vazão mínima em cada mês (necessária para não reduzir o tamanho do **habitat**); (2) máxima vazão durante a estiagem; (3) mínima vazão de cheia; (4) pequenas cheias no início do verão



Fonte: Collischonn et al. (2005).

O método é composto basicamente por cinco fases. Na fase 1, chamada *Avaliação Hidrológica*, é definida a série histórica de vazões afluentes ao empreendimento. Na fase 2, *Avaliação Ecológica*, se define-se o intervalo de cotas que deve ser minimamente preservado no trecho: a franja de tensão. Na fase 3, *Determinação de Vazão Basal*, avaliam-se os limites inferiores de vazões de base (mínimas) que devem ser escoadas no trecho de vazão alterada em cada período do ano – mês a mês, para manter o padrão de qualidade da água do rio, dentro do enquadramento atual, e os outros usos existentes. Na fase 4, *Prescrição de Cenários de Regimes de Vazão Alterada ou Reduzida*, são simuladas as vazões de base com a sobreposição da franja de tensão para a manter a flutuação de níveis com interesse ecológico. E, finalmente, na fase 5, chamada *Validação da Regras Operativas*, realiza-se a simulação da operação da usina, obedecendo aos diferentes cenários estabelecidos na fase 4.

FIGURA 46 – Proposta de rebaixamento da franja de tensão sobre diferentes vazões basais e resultado esperado sobre o processo de sucessão ecológica ao longo do tempo



Fonte: Silveira et al. (2010).

Os métodos de habitat incorporam as condições abióticas requeridas pelos organismos aquáticos para sua sobrevivência e persistência. Os organismos tendem a selecionar condições abióticas adequadas para seu habitat. Estas condições influenciam na composição e na abundância de espécies dos organismos. A profundidade da lâmina de água, a velocidade do escoamento, a cobertura e a composição do substrato constituem variáveis físicas importantes ao habitat para organismos aquáticos (VADAS Jr.; ORTH, 2001; AHMADI-NEDUSHAN et al., 2006).

A metodologia IFIM – Instream Flow Incremental Methodology (BOVEE et al., 1998) é largamente utilizada para a avaliação do efeito da alteração do fluxo de água sobre o habitat, permitindo a determinação da vazão ambiental em função de condições físicas do sistema. A metodologia IFIM baseia-se no princípio de que a distribuição dos organismos lóticos, em particular os peixes, é determinada, entre outros fatores, pelas características hidráulicas, estruturais e morfológicas dos cursos de água. Cada organismo tende a selecionar no rio as condições que lhe são mais favoráveis, correspondendo a cada variável ambiental um grau de preferência que é proporcional à aptidão do valor da variável para a espécie, representado pelos Índices de Aptidão de Habitat.

A variável de decisão gerada pelo IFIM é a área de habitat disponível para as espécies piscícolas, definida em função da vazão, na qual são estimadas as alterações na área de habitat físico disponível em face das alterações no regime hidrológico do curso d'água. As principais variáveis de habitat físico utilizadas são a geomorfologia do leito, a profundidade e a velocidade do escoamento. Dentre as características geomorfológicas do leito, a composição granulométrica do material aluvionar (substrato) e a cobertura das margens e leito (vegetação submersa ou aérea) são as que mais se destacam (BOVEE et al., 1998). Diferentes programas computacionais estão disponíveis, como PHABSIM – Physical Habitat Simulation (MILHOUS; WADDLE, 2012) e Casimir Computer-Aided Simulation Model for Instream Flow Requirements 1D/2D (SCHNEIDER et al., 2010).

Índices têm sido estabelecidos para correlacionar variáveis físicas adequadas aos habitats das espécies aquáticas. Eles podem ser estabelecidos a partir da experiência profissional, do uso de habitat ou da preferência de habitat (AHMADI-NEDUSHAN et al., 2006).

Os métodos holísticos incorporam as necessidades dos ecossistemas aquáticos de maneira global, não privilegiando espécies alvos particulares. As metodologias requerem conhecimentos multidisciplinares em termos de hidrologia, condições hidráulicas dos habitats, geomorfologia, qualidade da água e de ecossistema (vegetação aquática e ciliar, macroinvertebrados, peixes e outros invertebrados). Elas se apoiam na opinião dos especialistas ou na modelização.

O BBM – Building Block Methodology (ARTHINGTON et al., 1992) é uma das principais metodologias holísticas. Ela está baseada em três hipóteses: i) a biota do ecossistema fluvial pode competir com condições naturais de vazão baixa que ocorrem habitualmente, podendo necessitar de condições de vazão

(continua)

(conclusão)

específicas, sazonais e vazões altas, mas condições de vazões atípicas constituem uma perturbação e podem causar mudanças fundamentais no comportamento dessa biota; ii) a identificação dos componentes mais importantes do regime natural de vazões e a sua incorporação no regime modificado podem contribuir para a manutenção da biota natural e funções ecossistêmicas; e iii) vazões que possuem uma influência muito grande na geomorfologia do canal devem ser incluídas no regime modificado de vazões para auxiliar na manutenção da estrutura natural do canal e na diversidade de biótopos físicos.

A metodologia BBM enfoca ecossistemas em lugar de espécies, podendo ser aplicada onde as disponibilidades de informações e tempo são limitadas (KING; LOUW, 1998). O regime de vazões é identificado e descrito em termos de tempo de ocorrência, duração e magnitude. São considerados blocos de vazões, considerando vazão de base em período de estiagem, vazões de base em períodos de chuvas, enchentes nas estações chuvosas, pulsos de curta duração e vazões subsuperficiais na estação seca. Os mínimos volumes de água para cada bloco são determinados por meio da definição de um regime de vazões para manter os ecossistemas aquáticos (BENETTI et al., 2003).

4.6 BALANÇO HÍDRICO E A QUESTÃO DA ALOCAÇÃO

Uma bacia hidrográfica consiste em sistema aberto, com limites bem-estabelecidos, tendo como saída uma vazão que varia temporalmente, além de também variar espacialmente dentro da mesma, como função das variáveis de entrada (hidrológicas, demandas, prioridades entre usuários, qualidade da água) e das variáveis de saída (volumes outorgados, vazões remanescentes, qualidade da água). Neste sistema, é fundamental a realização do balanço de massa, seja para água, conhecido como balanço hídrico, seja para constituintes, como poluentes específicos (ex.: matéria orgânica medida pela DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio). O balanço hídrico permite avaliar a disponibilidade hídrica a partir da condição de uso consuntivo da água na bacia. O balanço de massa associado a poluentes permite estabelecer condições de sustentabilidade ambiental da bacia. O balanço hídrico pode ser realizado para a totalidade ou parte da bacia ou do sistema de drenagem.

Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas. In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade.** 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

Pode-se conceber balanços hídricos para uma diversidade de problemas. Na gestão de recursos hídricos, a **alocação de água** para implementação do instrumento de outorga de direito de uso das águas é um instrumento de gestão, previsto na Lei das Águas, que permite melhor aproveitamento da água para os usos múltiplos, como a geração hidrelétrica, a irrigação de culturas agrícolas e a captação para abastecimento urbano ou diluição de cargas poluidoras, etc., evitando maiores conflitos. Para isso, é necessário o cotejo de duas grandezas fundamentais: a disponibilidade hídrica (oferta) e a demanda, considerando a conservação ambiental, por meio de um balanço hídrico do sistema.

A seguir, apresenta-se a lógica do problema de alocação, por meio da apresentação de um modelo simplificado proposto por Cruz (2001). O texto a seguir é uma adaptação de Cruz (2001).

Cabe lembrar que a vazão em cada Seção Hidrológica de Referência (SHR) representa a disponibilidade hídrica remanescente da demanda atual exercida, já que a mesma consiste no resultado do balanço hídrico em escala real, considerando as retiradas e os despejos que ocorreram em toda a bacia contribuinte devido aos usuários atuais e antigos, isto é, que ocorreram possivelmente diferente no passado e que estão inclusos na série histórica de vazões.

Em decorrência da dificuldade de reconstituição das vazões naturais, uma estratégia é estabelecer um marco inicial para desenvolver o cotejo das duas variáveis básicas (disponibilidade e demanda) no equacionamento do balanço hídrico para a outorga. Nessa estratégia, reconhece-se que a disponibilidade hídrica do manancial calculada atualmente traz embutidos os usos quantitativos da água exercidos de um período histórico até o presente, e essa vazão denomina-se de *disponibilidade marco zero (Dmz)*.

Porém, essa vazão não representa ainda a vazão outorgável, já que, constitucionalmente, existe uma porção que é indisponível e que representa a vazão de conservação ambiental (Q_p), a qual pode ser função variável no tempo vinculada a condicionantes ambientais. A vazão disponível Dmz (disponibilidade atual remanescente) diminuída da vazão de conservação ambiental é, então, a verdadeira vazão/disponibilidade remanescente ($D_{remanescente}$) passível de processo de outorga.

$$D_{remanescente} = Dmz - Q_p$$

O resultado expressa três possibilidades para essa vazão remanescente: menor, igual ou maior do que zero.

No **primeiro caso**, não há vazão remanescente, pelo contrário, o consumo na SHR é maior do que poderia ser, uma vez que ultrapassa os limites impostos pela vazão de proteção ambiental. Nesse caso, duas possibilidades de gestão são aplicáveis. A primeira diz respeito à restrição de uso (racionamento). A segunda refere-se à possibilidade de investimentos na bacia para fins de redistribuir no tempo as vazões, por meio de obras e/ou intervenções destinadas ao armazenamento nos períodos de superávit, no mínimo para garantir uma vazão regularizada igual à de conservação ambiental nos períodos em que foram identificados os déficits.

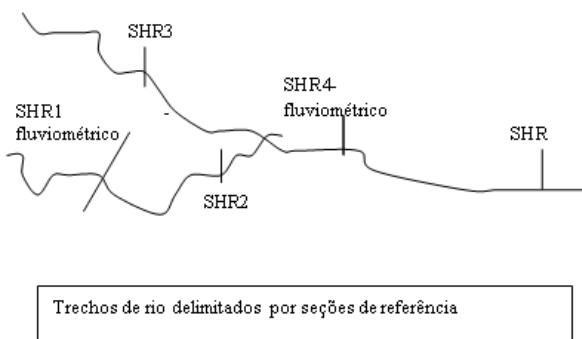
O **segundo caso**, no qual o resultado da diferença é igual a zero, expressa uma SHR para a qual a demanda está no limite de seu crescimento. Qualquer crescimento adicional requer investimentos adicionais de regularização.

Finalmente, a **terceira possibilidade**, quando a diferença é maior do que zero, indica que é possível aumentar a demanda até o limite do valor resultante, isto é, expressa a vazão que poderá ser outorgada para novos usuários ou para ampliação de usos.

O modelo de balanço hídrico proposto por Cruz (2001) baseia-se na divisão do rio em trechos divididos por "n" SHRs (Seções Hidrológicas de Referência), mesclando as concepções de Kelman (1997) e Silveira et al. (1998).

- Modulação da rede (*Fonte: Cruz (2001)*.): locação de SHRs (ou seções com demanda) na rede de drenagem da bacia. Ver exemplo na Figura 47.

FIGURA 47 – Modulação da Rede



Fonte: Cruz (2001).

- Definição das demandas referentes a cada trecho delimitado por duas SHRs, agrupadas por tipo de usuário dentro dos trechos e concentradas na SHR de montante.
- As vazões de retorno foram consideradas compensadas no próprio trecho de gerenciamento, de modo que, no balanço hídrico, apenas as parcelas consuntivas das demandas foram contabilizadas.
- Estimativa de disponibilidades hídricas nas SHRs.
- Balanço hídrico otimizado integrado na bacia para planejamento de alocação das disponibilidades hídricas entre as SHRs por meio da equação:

$$Qr^i = Qd^i - Qe^i - \sum_{j=1}^{ni} Qu^j$$

Em que:

- Qr^i é a vazão outorgável na seção i , ni representa o número de seções a montante de i , inclusive i .
- Qd^i é a vazão real da bacia remanescente dos usos atuais exercidos na $SHRi$.
- Qe^i representa a vazão de conservação ambiental na $SHRi$.
- $\sum_{j=1}^{ni} Qu^j$ é a demanda da $SHRi$ acumulada com as " j " demandas de montante.

Cada vazão outorgada em determinada SHRI fica indisponibilizada tanto para usuários a jusante, quanto para a montante, uma vez que o corpo hídrico é único. A demanda que influencia diretamente a disponibilidade hídrica e que entra explicitamente na equação do balanço hídrico da seção é o somatório de todas as demandas acumuladas das seções a montante mais a demanda da própria seção (D_{acum}) (KELMAN, 1997). A equação do balanço hídrico em cada seção fica, portanto:

$$D_{remanescente}^i = Dmz^i - Q_{amb}^i - \sum_{j=1}^{ni} D^j$$

Em que:

- $D_{remanescente}^i$ é a vazão remanescente disponível para uso e passível de outorga na futura na SHRI, após a outorga na seção, descontadas as outorgas a montante de i , reservado um volume para a conservação ambiental.
- ni representa o número de seções a montante de i , inclusive i .
- $\sum_{j=1}^{ni} D^j = D_{acum}^i$ é a demanda acumulada na SHRI.
- Dmz^i é a disponibilidade marco zero na SHRI.
- Q_{amb}^i representa a vazão de conservação ambiental na SHRI, conforme convenção neste trabalho como Q7,10.

No procedimento de outorga, o equacionamento pode ser continuamente melhorado para incorporar particularidades. Por exemplo, pode-se prever um retorno de água de usuários que a retiram em um trecho, mas uma parcela retorna mais a jusante. Nesse caso, a equação ficaria adicionada de $Q_{retorno}$:

$$D_{remanescente}^i = Dmz^i - Q_{amb}^i - \sum_{j=1}^{ni} (D^j - Q_{retorno}^j)$$

As equações podem ser extrapoladas para uso com diferentes riscos, para conferir outorgas escalonadas. Nesse caso, primeiro promove-se o balanço hídrico para as vazões de maior garantia. Em uma segunda etapa, então, promove-se o balanço para vazões de menor garantia, isto é, vazões diferenciais, como $Q_{95\%}$ na primeira fase, $Q_{90\%}-Q_{95\%}$ na segunda fase, e assim por diante.

Kelman (1997) apresenta, de forma clara, uma proposta de equacionamento em que a parcela correspondente à demanda em cada seção pode ser generalizada para corresponder a uma demanda puramente quantitativa (derivação) em conjunto com a **reserva de diluição de poluentes**, inclusive considerando o decaimento das concentrações dos parâmetros não conservativos.

Embora, na planilha de alocação, os dados de demanda utilizados sejam de ordem quantitativa, é possível estender as conclusões obtidas nesse exercício para **situações de outorga quali-quantitativa**. A diferença, nesse caso, é que a planilha de vazões remanescentes deverá ser específica para cada parâmetro de outorga, em função de sua carga. Obviamente, para processamento das outorgas quantitativas, deverá ser considerada como vazão de reserva de outorga qualitativa a maior vazão outorgada entre os diferentes parâmetros e, a cada outorga quantitativa, o valor correspondente deverá ser subtraído de todas as tabelas de parâmetros qualitativos.

Sendo D^j a demanda solicitada pelos usuários do trecho entre SHR_j , e a próxima seção a jusante SHR_{j+1} , cada vez que parte ou toda demanda for outorgada para a seção j , esse valor será debitado das disponibilidades das seções a jusante e ficará indisponibilizado para os usuários a montante de j . Se a vazão remanescente em j for zero após a outorga, então, nenhuma demanda adicional poderá ser concedida para os usuários a montante. Da mesma forma, se, na jusante de j , alguma seção ficar com demanda negativa, não será possível outorgar toda a demanda de j , mas somente o valor disponível na seção de jusante.

Para exemplificar o problema, considere a bacia hidrográfica da *Fonte: Cruz (2001)*. e as cinco seções hidrológicas de referência.

Com a finalidade de melhor compreender o sequenciamento dos cálculos, ensaiia-se um balanço hídrico hipotético (*vide Tabela 6 – Simulação de concessão de outorga de montante para jusante 7*). Nelas, constam os dados para o exemplo considerado, em que, na segunda coluna, estão as disponibilidades hídricas remanescentes da outorga ambiental, isto é, Dmz menos $Q_{ambiental}$, obtidas a partir de vazões observadas ou estimadas. A terceira coluna contém os dados de demandas futuras (valor global requerido em cada seção correspondente a apenas a parcela consuntiva, isto é, total retirado menos retorno) dos usuários de cada trecho, acumulados na seção imediatamente após a montante, conforme proposição do modelo de outorga. Na quarta coluna, mostram-se as demandas acumuladas a montante da seção. Na quinta coluna, as demandas são acumuladas *de montante para jusante*, incluindo as demandas da própria seção, o que permite visualizar a influência das demandas de montante nas vazões disponíveis nas seções a jusante. As colunas de outorga seguem a mesma lógica.

TABELA 6 – Simulação de concessão de outorga de montante para jusante

Seção	Disponibilidade Marco Zero menos $Q_{ambiente}$	Demandâ	Demandâ acumulada a montante da seção	Demandâ acumulada na seção	Outorga (1)	Outorga (2)	Outorga acumulada a montante da seção	Outorga acumulada na seção	Vazão remanescente
SHR1	8	6	6	6	6		6	6	2
SHR2	12	8	14	14		6	12	12	0
SHR3	10	7	7	7	7		7	7	3
SHR4	31	20	21	41	31-19 =12		19	31	0
SHR5	45	20	41	61	45-31=14		31	45	0

Fonte: elaboração própria.

Obs.: (1) outorga integral; (2) outorga parcial.

A Tabela 6 –apresenta a sequência de cálculo da outorga feito *de montante para jusante*, concedendo as vazões para as seções hidrológicas de referência na ordem numérica crescente. Considerando que, na SHR1, a disponibilidade é de 8 m³/s e a demanda na seção é de 6 m³/s, pode-se outorgar o total da demanda, restando na seção a disponibilidade de 2 m³/s. A seguir, passa-se a outorgar para a SHR2. A disponibilidade hídrica na seção é de 12 m³/s, porém, após a outorga para SHR1, a disponibilidade na seção ficou em 6 m³/s, sendo que não é possível contemplar os usuários com a demanda total. Nesse caso, outorgam-se apenas os 6 m³/s e a disponibilidade remanescente na seção fica nula. A SHR3, por ser uma seção de cabeceira, não sofre influência direta nas outorgas das seções 1 e 2 e tem disponibilidade de 10 m³/s e demanda de 7, a qual pode ser atendida. A disponibilidade remanescente em SHR3 é de 3 m³/s. A disponibilidade hídrica na seção 4 é de 31 m³/s, porém a quantidade outorgada a montante é de 19 m³/s, o que significa que a disponibilidade remanescente para outorgar em SHR4 é de 31 menos 19, ou seja, 12 m³/s. Esta é a vazão possível de ser outorgada em SHR4, após as outorgas a montante. O raciocínio repete-se para a SHR5.

O balanço hídrico, assim descrito, pode ser aplicado em dois tipos de situação: fase de planejamento e fase operacional da outorga no dia a dia.

Situação diversa da apresentada pela Tabela 6 –ocorre quando se aplica o modelo de outorga *de jusante para montante*, na ordem numérica inversa (Tabela 7). Nesse caso, o cálculo inicia-se na SHR5. Sendo 45 m³/s a disponibilidade hídrica e a demanda 20 m³/s, não há problema em outorgar toda demanda solicitada, ficando a disponibilidade remanescente em 25 m³/s. A segunda seção a receber outorga é a SHR4. Esta seção tem disponibilidade hídrica de 31 m³/s, capaz de atender à demanda de 20 m³/s. Porém é preciso verificar, antes de outorgar, se a demanda de SHR4 é superior ou inferior à disponibilidade remanescente em SHR5. Como este valor é de 25 m³/s, então, há água para ser outorgada em SHR4.

A próxima seção (SHR3) possui disponibilidade hídrica de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ e demanda de $7 \text{ m}^3/\text{s}$. Porém, após a outorga em SHR4, a remanescente em SHR4 é de $11 \text{ m}^3/\text{s}$ e, em SHR5, é de $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta última é a restrição de outorga em SHR3, pois não é possível outorgar mais de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ sem prejudicar os usuários já outorgados a jusante. Após a outorga em SHR3, ficam suspensos acréscimos de outorgas, pois não há mais oferta de água para uso.

Ao analisar as diferenças entre a distribuição dos volumes no primeiro e segundo casos, ilustrados nesses exemplos de outorga entre cinco seções, percebe-se que o processo de outorgar, durante a fase de planejamento, é um *problema de alocação de volumes* entre seções e usuários.

TABELA 7 – Simulação de concessão de outorga de jusante para montante

Seção	Disponibilidade: Marco Zero menos $Q_{ambiental}$	Demandas	Demandas acumuladas	Outorgado	Outorga acumulada	Vazão remanescente
SHR1	8	6	6			8
SHR2	12	8	14			12
SHR3	10	7	7			10
SHR4	31	20	41			31
SHR5	45	20	61	20	20	25
2ª etapa						
Seção	Disponibilidade remanescente da 1ª etapa	Demandas	Demandas acumuladas	Outorgado	Outorga acumulada	Vazão remanescente
SHR1	8	6	6			8
SHR2	12	8	14			12
SHR3	10	7	7			10
SHR4	31	20	41	20	20	11
SHR5	25	20	61	20	40	5
3ª etapa						
Seção	Disponibilidade remanescente da 2ª etapa	Demandas	Demandas acumuladas	Outorgado	Outorga acumulada	Vazão remanescente
SHR1	8	6	6	–	–	8
SHR2	12	8	14	–	–	12
SHR3	10	7	7	5	5	5
SHR4	11	20	41	20	25	6
SHR5	5	20	61	20	45	0

Fonte: elaboração própria.

Obs.: (1) outorga integral; (2) outorga parcial.

As equações de balanço hídrico podem ser aplicadas para cada solicitação de outorga, simulando uma situação de atendimento de rotina da outorga. Porém, como pode ser observado, nem sempre a liberação do pedido de outorga por ordem de chegada, sem conhecimento da situação futura das necessidades de água, promove a melhor distribuição na bacia. Isso nos remete a pensar em um planejamento global da bacia, considerando os cenários possíveis de demanda, problema que pode ser resolvido por técnicas de otimização. Estas constituem-se de algoritmos matemáticos que procuram maximizar uma função “objetivo”. Canedo (1989) faz uma revisão sobre as funções objetivo comumente utilizadas para aplicações em ajuste de modelos de simulação de recursos hídricos, listando seis possibilidades, que podem ser escolhidas de acordo com o problema, a otimização dos valores globais, dos máximos ou dos valores mínimos. Esse modelo otimizado foi utilizado para vários estudos em bacias no Rio Grande do Sul e os resultados das alocações foram utilizados para subsidiar processos de outorga. Em especial, em uma das bacias, dada a escassez em anos secos, o processo foi utilizado para realizar alocação otimizada para racionamento de água nas seções de referência.

4.7 QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água pode ser representada por diversos parâmetros que traduzem suas principais características físicas, químicas e biológicas. A determinação desses parâmetros, por meio de processos analíticos em laboratório, permite avaliar as condições da água quanto à sua utilização para consumo humano, lazer, pesca, agricultura e produção de energia (MORTARI; SILVA, 2009).

A qualidade da água está relacionada às concentrações de elementos ou compostos que podem estar presentes na água. Uma água com qualidade tem limites para essas concentrações compatíveis com determinados usos e finalidades. Esses limites são regulamentados por resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama).

O controle da poluição está diretamente relacionado à proteção da saúde, à garantia do meio ambiente ecologicamente equilibrado e à melhoria da qualidade de vida. A alteração na qualidade da água implica restrições para seus usos, podendo resultar em situações de competição entre usuários.

4.7.1 PARÂMETROS DE QUALIDADE

No quadro 2, estão descritos e apresentados alguns exemplos de parâmetros com suas definições e características correspondentes.

QUADRO 2 – Parâmetros de qualidade da água e características correspondentes

Parâmetro	Características
Temperatura	Atua como um catalisador de reações químicas, interfere na solubilidade das substâncias e no metabolismo dos organismos aquáticos. Sua variação depende, de maneira geral, da radiação solar, pela influência do clima e, quando de origem antrópica, do lançamento de efluentes industriais. As temperaturas influenciam a capacidade de solubilidade de oxigênio dissolvido no meio aquático.
Turbidez	Diretamente relacionada à quantidade de sólidos presentes na água, o que, por sua vez, interfere na passagem de luz solar no maciço aquático e, consequentemente, pode ocasionar a redução da fotossíntese das vegetações submersas e das algas, resultando na limitação da produção de oxigênio.
Potencial hidrogeniônico (pH)	Informa o grau de acidez ou de alcalinidade: <ul style="list-style-type: none"> • pH 7 – águas neutras. • pH < 7 – águas ácidas. • pH > 7 – águas alcalinas. Influi no grau de solubilidade e no potencial de toxicidade de diversas substâncias. As alterações de pH nos cursos d'água podem ser decorrentes de atividade de algas (fotossíntese ou respiração dos organismos), da dissolução de rochas e do lançamento de efluentes domésticos e industriais.
Alcalinidade	A alcalinidade total de uma água é devida ao conjunto das alcalinidades por causa da concentração de hidróxidos, carbonatos e bicarbonatos (de cálcio ou de magnésio; de sódio ou de potássio). <ul style="list-style-type: none"> • Sódio e potássio – interferem no processo de tratamento da água. • Cálcio e magnésio (conferem dureza à água), podendo provocar incrustações nas tubulações.
Condutividade elétrica (CE)	A condutividade elétrica constitui na capacidade de a água transmitir corrente elétrica em decorrência da presença de sais dissolvidos. Representa uma medida indireta da concentração de poluentes, relacionando-se com a concentração de sólidos dissolvidos, uma vez que, à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade elétrica tende a aumentar.
Oxigênio dissolvido (OD)	Considerado um dos principais indicadores de qualidade da água, o oxigênio dissolvido é fundamental para a manutenção dos organismos nos ambientes aquáticos. Águas encontradas sob maior pressão atmosférica terão maior concentração de OD. Quanto maior a temperatura, menor a concentração de gás dissolvido na água. Em relação à salinidade, à medida que a concentração aumenta, podendo ser decorrente de atividades poluidoras, a solubilidade de OD diminui.
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	A demanda bioquímica de oxigênio corresponde à quantidade de oxigênio necessário aos microrganismos para oxidar a matéria orgânica biodegradável presente no ambiente aquático. Elevados teores de DBO indicam a presença de matéria orgânica na água, normalmente proveniente do despejo de efluentes.

(continua)

(conclusão)

Parâmetro	Características
Coliformes totais e <i>Escherichia coli</i>	A determinação da potencialidade de uma água transmitir doenças pode ser feita de forma indireta, por meio dos organismos indicadores de contaminação fecal, pertencentes, principalmente, ao grupo dos coliformes. Os coliformes totais englobam amplo grupo de bactérias de origem exclusivamente fecal, podendo ser encontrados naturalmente em amostras de plantas, águas e solos poluídos e não poluídos, bem como em fezes de seres humanos e animais de sangue quente. O grupo de coliformes termotolerantes, representados predominantemente pelos grupos <i>Escherichia coli</i> , são encontrados em fezes humanas e de animais, bem como em solos, plantas ou qualquer efluente que contenha matéria orgânica.
Sólidos totais, em suspensão e dissolvidos	Em se tratando de sólidos nas águas, admite-se que esses correspondem a toda matéria que permanece como resíduo após processos de evaporação, secagem ou calcinação de uma amostra. A soma dos sólidos dissolvidos e dos sólidos em suspensão definem a concentração dos sólidos totais. O aumento da concentração de sólidos nos cursos d'água, em muitos casos, ocorrem pelos processos erosivos decorrentes dos períodos chuvosos. A ausência de mata ciliar, somada às atividades agrícolas, seguidas de técnicas inadequadas de preparo e conservação de solo, faz com que grande quantidade de solo seja levada para dentro dos rios, contribuindo com esse aumento.
Cloreto	Os cloretos podem ter origem na dissolução de minerais ou de presença de intrusão salina, como podem ser por causa da presença de esgotos domésticos ou industriais; altas concentrações conferem sabor salgado à água ou propriedades laxativas.
Ferro e manganês	A presença de ferro e manganês pode ter origem na dissolução de compostos do solo ou de despejos industriais. Eles conferem aspecto avermelhado à água, no caso do ferro, ou marrom, no caso do manganês, manchando roupas e outros produtos industrializados.
	São responsáveis por conferir sabor metálico à água.
	As águas ferruginosas favorecem o desenvolvimento das ferrobactérias, que causam maus odores e coloração à água e obstruem as canalizações.
Substâncias inorgânicas	Podem indicar presença de efluentes industriais ou de atividades agrícolas, de garimpo e de mineração: <ul style="list-style-type: none"> • Metais pesados são tóxicos ao homem, como: arsênio, cádmio, cromo, chumbo, mercúrio, prata, cobre e zinco; além dos metais, pode-se citar os cianetos.
Fluoretos	Um dos elementos mais abundantes na natureza: <ul style="list-style-type: none"> • Faz parte da composição de ossos e dentes; • Em concentrações elevadas, podem causar fluorose nos dentes; • Valores elevados podem indicar poluição de origem da agricultura e de indústrias de fertilizantes. • Ser devido à origem geológica (águas sub).
Nitrogênio	Pode ser originado da presença de esgotos domésticos e industriais, fertilizantes e excrementos de animais. <ul style="list-style-type: none"> • Formas: molecular, amônia, nitrito, nitrato. • Provoca crescimento de algas – eutrofização. • Nitrato: metemoglobinemia.
Fósforo	Esgotos domésticos e industriais podem indicar presença de matéria orgânica em decomposição; fertilizantes; detergentes; excrementos de animais. Pode ter origem também da dissolução de compostos do solo. <ul style="list-style-type: none"> • Formas: ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. • Provoca crescimento de algas – eutrofização.

Fonte: ampliada e adaptada de: FRIEDRICH, Marciano; Todeschini, Raul; Cruz, Jussara Cabral. Capítulo 12 – Monitoramento Quali-Quantitativo da Água de Nascentes. In: FOLETO, Eliane Maria (Org.). *A conservação da água sob diferentes olhares*. 1. ed. Curitiba: CRV, 2019, v. 1, p. 261-287.

4.7.2 BALANÇO DE MASSAS

O balanço de massa de constituintes físicos, químicos ou biológico em um trecho de rio é expresso pela taxa de variação temporal, como:

$$\Delta M / \Delta t = M_e - M_s + M_p - M_c, \text{ onde}$$

M_e é a massa de entrada do trecho (ex.: massa transportada pelo rio, obtida pelo produto da vazão, da concentração e do intervalo de tempo, ou massa lançada por despejos ao longo do trecho).

M_s é a massa de saída (ex.: massa transportada pela vazão fluvial, calculada por **Q.C.Δt** ou a massa retirada no trecho pela captação de água).

M_p é a massa produzida no trecho (ex.: transformação bioquímica de nitrogênio orgânico em nitrato, se o constituinte for o nitrato).

M_c é a massa consumida no trecho (ex.: adsorção de nitrato como nutriente pelo fitoplâncton).

Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas.

In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade**. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

A avaliação qualitativa divide-se em duas etapas:

- Levantamento dos parâmetros de qualidade propriamente ditos.
- Medição da descarga no momento da coleta.

O cálculo das cargas de DBO5,20, objeto do presente estudo, é definido pela expressão:

$$\text{Carga} = \text{concentração} \times \text{vazão}$$

ou

$$C = \text{Carga}/Q$$

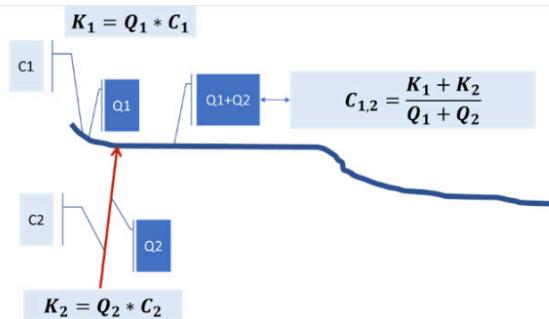
- C: concentração do parâmetro analisado em mg L⁻¹.
- Carga: carga média do parâmetro analisado em mg s⁻¹.
- Q: vazão (L s⁻¹).

$$\text{Carga média} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i * C_i}{n}$$

Em que:

- n : número de valores da amostra.
- Q : vazão do curso d'água no momento da amostragem de água.
- C : concentração do parâmetro de qualidade da água considerado.

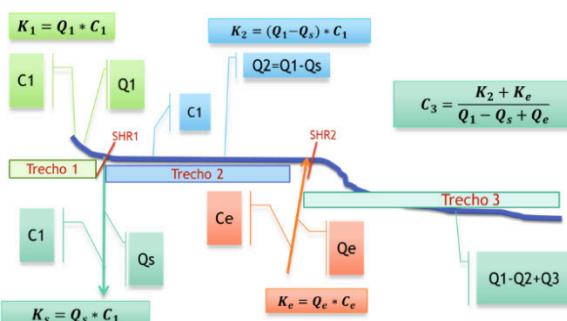
A seguir, há três situações simples para compreensão:



Trecho	pessoas	Concentração	Q	Q	carga
		mg/L - kg/m³	L/s	m³/dia	Kg/dia
1		1	400	34560	34.560
2	60.000	350	139	12000	4.200.000
c _{1,2}		91			
consumo = 0,2 L/dia/pessoa					

Curso: "Enquadramento dos Corpos de Água Superficiais e Subterrâneos" Prof. Drª Jussara Cabral Cruz

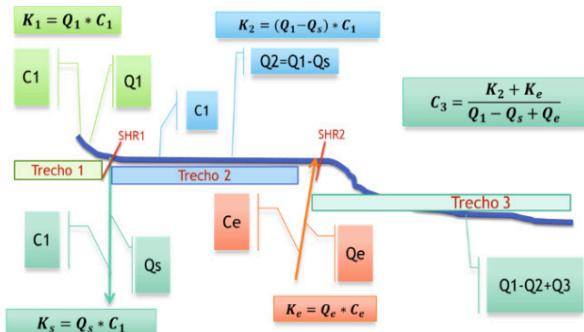
Fonte: elaboração própria.



	pessoas	Concentração	Q	Q	carga
		mg/L - kg/m³	L/s	m³/dia	Kg/dia
1 arroio		1	400	34560	34.560
3 saída		1	30	2592	2.592
trecho 2		1		31968	31.968
2 cidade	60.000	350	139	12000	4.200.000
trecho 3		96		43968	4.231.968
efluente = 0,2 L/dia/pessoa					

Curso: "Enquadramento dos Corpos de Água Superficiais e Subterrâneos" Prof. Drª Jussara Cabral Cruz

Fonte: elaboração própria.



	pessoas	Concentração	Q	Q	carga
		mg/L - kg/m3	L/s	m3/dia	Kg/dia
1 arroio		1	400	34560	34.560
3 saída		1	30	2592	2.592
trecho 2		1		31968	31.968
2 cidade	60.000	350	139	12000	4.200.000
trecho 3		96		43968	4.231.968
efluente = 0,2 L/dia/pessoa					

Curso: "Enquadramento dos Corpos de Água Superficiais e Subterrâneos" Prof. Drª Jussara Cabral Cruz

Fonte: elaboração própria.

4.7.3 CURVAS DE PERMANÊNCIA DE QUALIDADE DA ÁGUA

Curvas de permanência de vazões podem ser úteis para avaliar o enquadramento de qualidade da água; a diluição da carga da variável tem sido proposta como alternativa para considerar a variabilidade inerente dos mananciais (BRITTES et al., 2007; CRUZ; SILVEIRA, 2007; FORMIGONI et al., 2011). A curva de permanência relaciona a vazão de um corpo hídrico com a porcentagem do tempo em que ela é superada ou igualada, a qual sintetiza a variabilidade das vazões, caracterizando a base de comportamento para a sustentabilidade de sistemas aquáticos (CRUZ, 2001).

Quando essa função hidrológica é aplicada às variáveis de qualidade da água, ela passa a informar a distribuição de frequências da concentração de determinado parâmetro.

Essa relação, curvas de permanência de vazões e qualidade da água, por meio de dados de monitoramento, permite observar o comportamento de determinada variável indicativa de qualidade ao longo do tempo (SILVEIRA et al., 2003). A partir desses dados e com outras informações sobre a bacia, pode-se ter ideia de como a qualidade da água responde a diferentes vazões e, assim, planejar ações de controle de carga poluente em função do risco de atendimento aos padrões de qualidade compatíveis com os usos da água (FORMIGONI et al., 2011).

Trata-se de uma distribuição de frequência acumulada para determinados parâmetros, em que é possível a avaliação da permanência das variáveis de qualidade da água em diferentes concentrações. Essa técnica permite, ainda, que, a partir do tempo de permanência dos parâmetros, se identifique o grau de atendimento do enquadramento estabelecido para um curso hídrico (CRUZ; TUCCI, 2008; BURIN, 2011).

A grande questão que se coloca é: como definir (ou inferir) qual a quantidade de água para servir de parâmetro guia no controle da qualidade de água, já que a concentração de um soluto depende da vazão e que esta é extremamente variável ao longo do tempo?

A avaliação das condições de qualidade das águas na bacia, portanto, são realizadas a partir da comparação dos resultados da diluição das cargas nas vazões de referência com os padrões estabelecidos pela Resolução Conama 357/2005 (ver exemplo na tabela 1). Essa abordagem permite ao gestor uma visão mais abrangente da situação de variabilidade da qualidade da água, associado a um grau de risco de ocorrência, função do percentil correspondente na curva de permanência das vazões.

O exemplo da Bacia Escola do Campus da UFSM (10 km² de área) pode ser conferido na Tabela 1: a Calha da Gráfica (35% da área da bacia hidrográfica) corresponde a uma sub-bacia cuja ocupação é predominantemente urbana e localiza-se a montante da bacia de contribuição à Calha Pains. A parcela da bacia compreendida entre a calha da Gráfica e a do Pains (65% da área da bacia), corresponde a área ocupada pelo Campus da Universidade Federal de Santa Maria.



(continua)

(conclusão)

TABELA 1
Exemplo de diluição das cargas nas curvas
de permanência: seções localizadas na Bacia Escola
do Campus da UFSM/RS

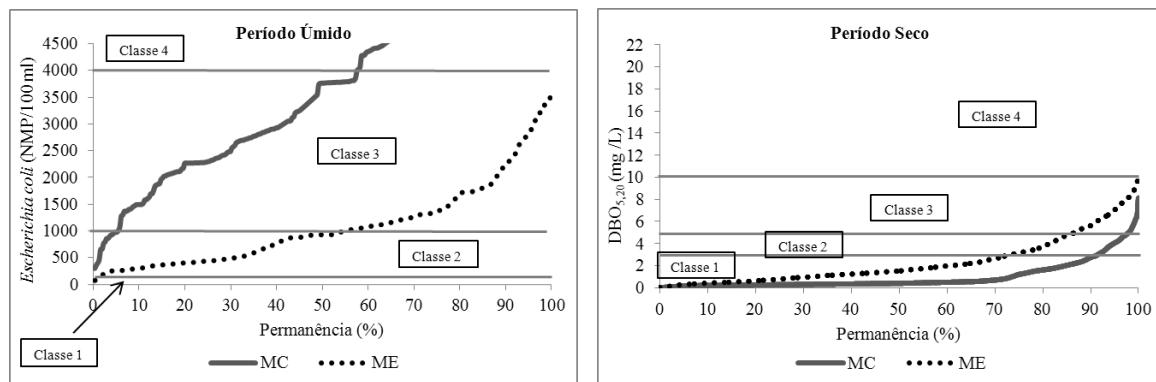
Vazões de Diluição	Calha Gráfica		Calha Pains	
	$\text{DBO}_{5,20}$		$\text{DBO}_{5,20}$	
	(mg/L)	Classe	(mg/L)	Classe
$Q_{50\%}$	11,1	4	4,2	2
$Q_{60\%}$	13,3	4	5,7	3
$Q_{70\%}$	16,6	4	7,1	3
$Q_{80\%}$	19,0	4	9,8	3
$Q_{90\%}$	22,5	4	10,7	3
$Q_{95\%}$	27,6	4	12,4	4

Fonte: Silveira et al (2003)

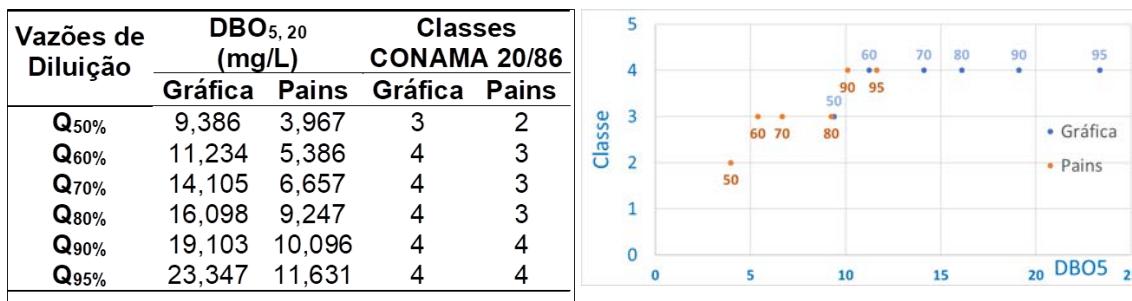
Fonte: CRUZ; SILVEIRA. **Revista de Gestão de Águas da América Latina (Rega)**, v. 4, p. 51-64, 2007. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/70/b3ddfea8780ea5216190ad209442067_f03fe402dcbb6878e1bd82cdd579e499.pdf

A seguir, há alguns exemplos de curvas de permanência aplicados à gestão da qualidade das águas (Figuras 48 a .

FIGURA 48 – Exemplo da permanência de variáveis de qualidade da água em cada classe da Resolução Conama nº 357, de 2005, em microbacias de usos campo nativo (MC) e uso eucalipto (ME) em Rosário do Sul. Período úmido e período seco



Fonte: Valente et al. (2016).

FIGURA 49 – Curvas de permanência da qualidade em classes – bacia do Campus UFSM

Uma proposta diferenciada para uso desse conceito (Figura 50) foi apresentada por Cunha et al. (CUNHA, Davi Gasparini Fernandes; CALIJURI, Maria do Carmo; MENDIONDO, Eduardo Mario. Integração entre curvas de permanência de quantidade e qualidade da água como uma ferramenta para a gestão eficiente dos recursos hídricos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17(4), p. 369-376, 1º dez., 2012):

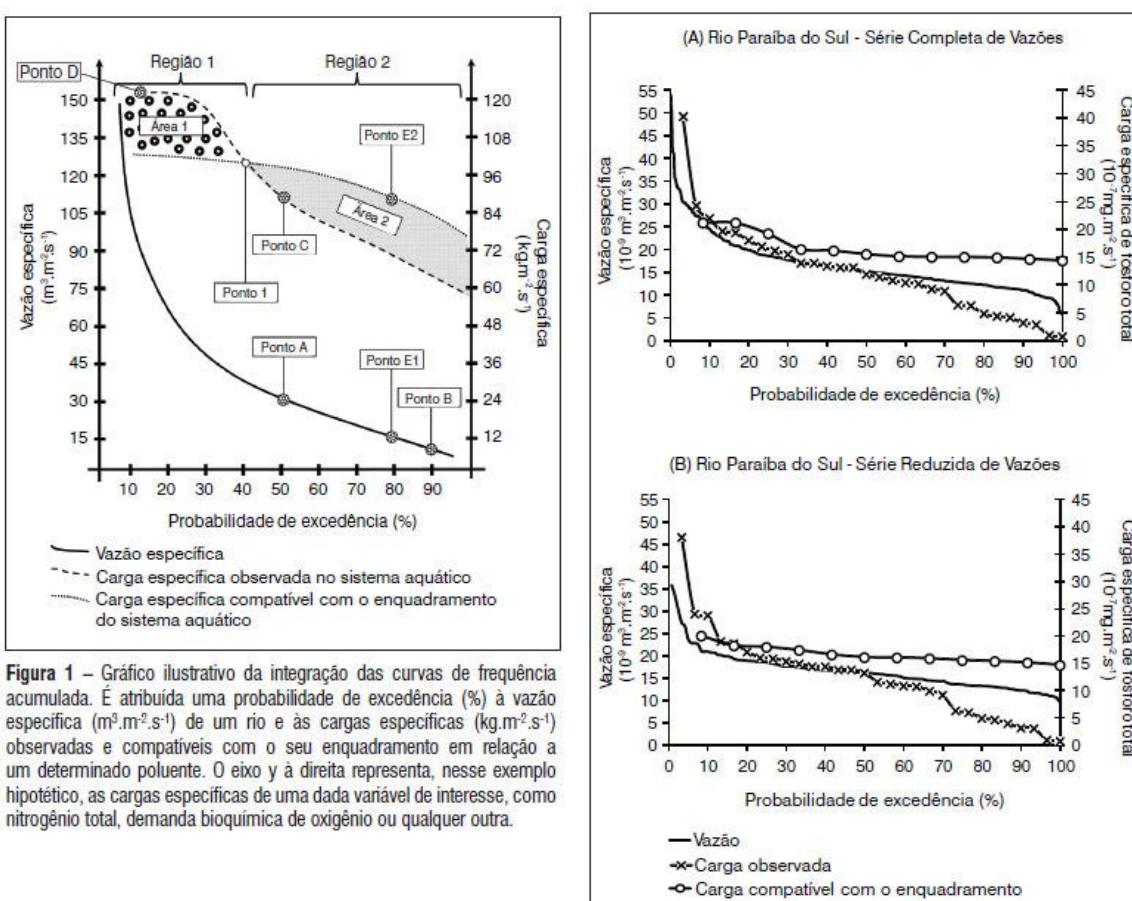
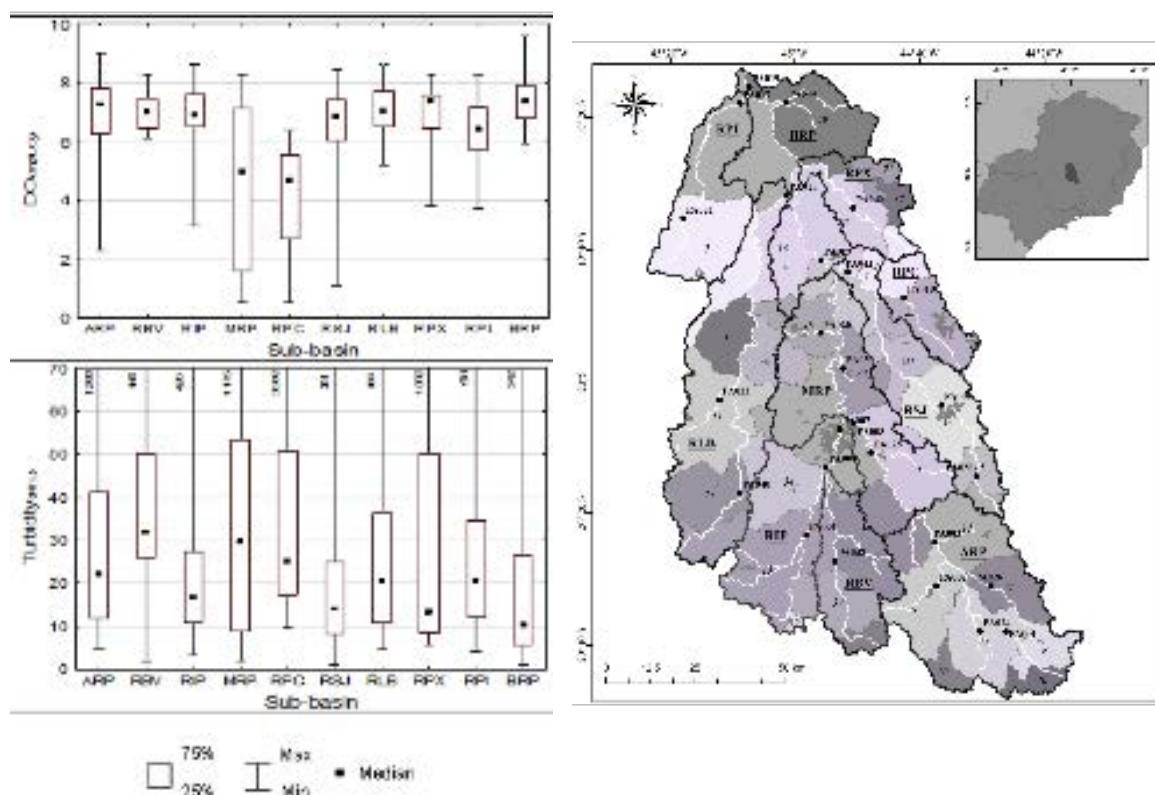
FIGURA 50 – Integração Curva de permanência e qualidade proposta de Cunha et al.

Figura 1 – Gráfico ilustrativo da integração das curvas de frequência acumulada. É atribuída uma probabilidade de excedência (%) à vazão específica ($m^3 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) de um rio e às cargas específicas ($kg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) observadas e compatíveis com o seu enquadramento em relação a um determinado poluente. O eixo y à direita representa, nesse exemplo hipotético, as cargas específicas de uma dada variável de interesse, como nitrogênio total, demanda bioquímica de oxigênio ou qualquer outra.

Figura 2 – Curvas de permanência (em termos de probabilidade de excedência, %) de vazão específica ($10^{-9} m^3 \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) e de carga específica ($10^{-7} mg \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) observada e compatível com o enquadramento no Rio Paraíba do Sul para uma série reduzida (A) e completa (B) de vazões.

Outra proposta (Figura 51) foi apresentada por Oliveira et al. (OLIVEIRA, Josiani de; MAIA, Kelly; CASTRO, Nara de; OLIVEIRA, Sílvia. Spatial-temporal analysis of the surface water quality of the Pará River Basin through statistical techniques. In: **Revista Ambiente & Água**, v. 14(1), p.1-14, 2019):

FIGURA 51 – Análise espacial da qualidade da água



4.7.4 ÍNDICES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

Índices de Qualidade das Águas (IQAs) são geralmente utilizados com a finalidade de verificar e avaliar as alterações na qualidade das águas, bem como de facilitar a compreensão das possíveis interferências antrópicas e das causas naturais dessas alterações (FRANCO et al., 2014). Conforme Toledo e Nicolella (2002), a utilização dos IQAs possibilita o acompanhamento sazonal da degradação potencial ou efetiva dos recursos hídricos ao longo de uma bacia hidrográfica, constituindo-se em uma ferramenta de apoio ao monitoramento qualitativo dos sistemas hídricos superficiais.

Nesse contexto, o IQA permite, por meio de determinações matemáticas e de informações resumidas, realizar a caracterização da água e transformá-la num valor simples e de fácil interpretação, sendo usados no controle e gerenciamento dos recursos hídricos por planejadores, pesquisadores e o público em geral (CARVALHO et al., 2009). Consoante com Pinto et al. (2012), o IQA consiste em um dispositivo imprescindível para os órgãos públicos em termos de gestão ambiental, em razão dos baixos custos, bem como pela importância na tomada de decisão em áreas pouco estudadas, porém se faz necessária uma investigação mais detalhada que aponte o melhor indicador ambiental.

(continua)

(conclusão)

Desenvolvido pela National Sanitation Foundation (NSF), dos Estados Unidos, no ano de 1970, o IQA baseia-se na utilização de nove principais parâmetros físicos, químicos e biológicos de qualidade da água, onde à cada variável é atribuído um peso de acordo com a sua importância na estrutura global de qualidade, sendo essa técnica adotada por diversos países (VON SPERLING, 2005; ANA, 2016).

FRIEDRICH, Marciano; TODESCHINI, Raul; CRUZ, Jussara Cabral. Capítulo 12: Monitoramento Quali-Quantitativo da Água de Nascentes. In: FOLETO, Eliane Maria (Org.). **A conservação da água sob diferentes olhares.** 1. ed. Curitiba: CRV, 2019, v. 1, p. 261-287

O Índice de Qualidade das Águas (IQA) é o principal indicador qualitativo usado no país. Foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água para o abastecimento público, após o tratamento convencional. A interpretação dos resultados da avaliação do IQA deve levar em consideração este uso da água. Por exemplo, um valor baixo de IQA indica a má qualidade da água para abastecimento, mas essa mesma água pode ser utilizada em usos menos exigentes, como a navegação ou geração de energia.

O IQA é calculado com base nos seguintes parâmetros: temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, resíduo total, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total e turbidez.

Acesse o mapa interativo com dados históricos do IQA. <http://portal1.snh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=b3d9cbc0b05b466a9cb4c014eba748b3>

Fonte: disponível: <https://www.ana.gov.br/panorama-das-aguas/qualidade-da-agua/indicadores-de-qualidade>. Acesso em: 8 nov. 2019

Em geral, um índice de qualidade da água é um número adimensional, expresso em uma escala, definida por profissionais, como de 0 a 100. O valor é obtido da agregação das variáveis descritoras da qualidade consideradas, abrangendo características físicas, químicas e microbiológicas, por meio de metodologias específicas. No Brasil, o índice de qualidade de água (IQA) adaptado pelo CETESB (1979) a partir do índice desenvolvido pela National Sanitation Foundation, tem sido largamente utilizado. Este índice incorpora nove parâmetros (turbidez, sólidos totais, temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total e coliformes termotolerantes), que foram escolhidos por especialistas, como sendo os mais relevantes para serem incluídos na avaliação das águas destinadas ao abastecimento público. Ele é indicado na detecção da degradação da qualidade por esgotos domésticos. Sugere-se a classificação da qualidade da água de acordo com as seguintes faixas: IQA de 80 a 100 classifica a água como ótima, IQA de 52 a 79 como boa, de 37 a 51 como aceitável, de 20 a 36 como ruim e, de 0 a 19 como péssima.

A partir de 1998, a CETESB desenvolveu o IAP (Índice de Qualidade da Água Bruta para fins de Abastecimento Público) e o IVA (Índice de Proteção da Vida Aquática). O IAP utiliza uma ponderação do IQA original e os valores do Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas - ISTO, que engloba o teste de Ames, metais, fenóis e a presença de substâncias químicas com potencial para a formação de trihalometanos.

(continua)

(conclusão)

Desta forma, o IAP, integrado pelo IQA e o ISTO, se torna mais abrangente, pois fornece informações não só sobre os parâmetros básicos de qualidade da água, mas também outras variáveis relevantes em termos de saúde pública.

Outros índices estão disponíveis para síntese da qualidade das águas, com destaque para o índice de estado trófico utilizado para caracterizar o grau de eutrofização em rios, lagos e reservatórios (LAMPARELLI, 2004). O índice do estado trófico é composto pelo Índice do Estado Trófico de Clorofila-a (IETCL) e o Índice do Estado Trófico de Fósforo (IETP), modificados. O IET permite avaliar a qualidade da água devido ao seu enriquecimento por nutrientes e os efeitos representados pelo crescimento excessivo de algas ou o aumento de macrófitas aquáticas. Os resultados relacionados ao fósforo indicam o potencial de eutrofização, uma vez que este nutriente atua como agente causador do processo. A Clorofila-a representa o nível de crescimento de algas, como resposta do corpo hídrico ao agente causador.

Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas. In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade**. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

4.7.5 MODELOS DE SIMULAÇÃO DE QUALIDADE DA ÁGUA

Os processos de transporte e dispersão de poluentes na bacia e/ou no sistema de drenagem fluvial podem ser simulados e representados por modelos de qualidade da água que descrevem o balanço de massa no sistema.

Consideram as entradas, como lançamento de efluentes e saídas, como captação de água para abastecimento urbano, e transformações no interior do sistema, como reações biogeoquímicas. Diferentes modelos estão disponíveis para estudos de qualidade das águas. Descreveremos brevemente aqueles que têm sido utilizados com maior frequência, como o modelo QUAL2EU (BROWN; BARNWELL JUNIOR, 1987), desenvolvido pelo USEPA – United States Environmental Protection Agency e sua versão nacional Qual-UFMG (SPERLING, 2007), e o modelo SWAT (ARNOLD et al., 1998; NEITSCH et al., 2005; BRESSIANI et al., 2015). É importante destacar os trabalhos desenvolvidos por equipes nacionais, como IPH-ECO (FRAGOSO Jr., 2009) e SIHQUAL (FERREIRA et al., 2016).

O modelo QUAL2EU é um modelo de estado estacionário (vazão constante no trecho), para aplicação em rios e lagos bem-misturados, podendo simular quinze variáveis de qualidade da água superficial, entre elas a demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅, 20°C), o oxigênio dissolvido (OD), nutrientes, coliformes totais ou termotolerantes. Ele permite a simulação de cenários de qualidade de água para uma condição de escoamento fluvial, como uma vazão de referência, que pode variar ao longo do rio, mas se mantém constante no trecho de simulação. Em cada trecho podem ocorrer entrada, saídas e processos de transformação. As entradas podem ser pontuais ou distribuídas.

[...]

(continua)

(continuação)

O modelo IPH-ECO é um modelo hidrodinâmico e de qualidade da água tridimensional para ecossistemas aquáticos continentais, tais como lagos, reservatórios e estuários. Ele é constituído pelo modelo numérico que resolve as equações diferenciais parciais do módulo hidrodinâmico e do módulo de qualidade das águas. O primeiro módulo descreve os fluxos de água, obtendo-se os campos de velocidade e do nível de água e, o módulo de qualidade da água representa os mecanismos de transporte de nutrientes e as interações de organismos aquáticos da cadeia alimentar.

As aplicações do modelo IPH-ECO compreendem fluxos de maré e de vento, fluxo induzidos por estratificação de densidade, fluxo de rio, simulações em lagos e reservatórios profundos, simulação de ressaltos hidráulicos e planícies de inundação, efeito de descargas de rios de água doce em baías, intrusão salina, estratificação térmica em lagos, estuários e reservatórios, entradas de água de resfriamento e saídas de águas residuais, transporte de material dissolvido e particulado, transporte de sedimentos e mudanças de morfologia, efeito das contribuições barotrópicas e baroclínicas na pressão hidrostática, efeito de Coriolis e termos de fricção horizontais na circulação da água, dinâmica e transporte de nutrientes e, interações da cadeia alimentar aquática.

O SIHQQUAL é um modelo hidrodinâmico de transporte e dispersão de poluente, para simulação em rio, sendo considerado unidimensional. Ele resolve as equações completas de Saint Venant, compreendendo a conservação da massa e da quantidade de movimento e, as equações de transporte de constituintes químicos, considerando a advecção, dispersão e reação. O modelo permite a simulação de séries contínuas de vazão e variáveis de qualidade das águas, importantes à gestão de recursos hídricos...

O Soil and Water Assessment Tool (SWAT) é um modelo hidrológico de base física e parâmetros distribuídos, desenvolvido para simular o escoamento, a produção de sedimentos e o aporte de nutrientes e pesticidas em bacias hidrográficas. Ele permite descrever diferentes processos físicos de forma sequencial, em diferentes escalas temporais e espaciais, possibilitando quantificar os impactos das alterações de uso e ocupação das terras no escoamento superficial e subsuperficial, na erosão e deposição de sedimentos e na qualidade de água devido a nutrientes e pesticidas.

Nos anos 1990, foram desenvolvidos os modelos baseados em agentes (sistemas multiagentes), os quais interagem entre si e com o sistema. Agentes são unidades heterogêneas, regidos por regras de transição e autônomos de decisão, que impactam e são impactados pelo meio, bem como interagem ao longo do tempo em busca dos seus objetivos, como reprodução, ganho econômico, status, sobrevivência, entre outros. Procura-se sempre associar inteligência nos agentes, para que estes façam escolhas e tomem decisões fundamentadas na racionalidade (BOUSQUET; LE PAGE, 2004). Ducrot et al. (2008) aplicaram a modelagem multiagentes para resolução de conflitos na bacia hidrográfica do Alto Tietê, pertencente à Região Metropolitana de São Paulo. Duas situações ambientais foram abordadas: i) a relação entre mercado fundiário, situação de moradia, acesso a serviços de saneamento e controle da qualidade das águas superficiais, aliada às questões de planejamento e uso do solo e do desenvolvimento local; e ii) as tensões da gestão conjunta da **quantidade e da qualidade da água no planejamento de seu uso** no âmbito da bacia hidrográfica. Foram desenvolvidos os modelos multiagentes denominados Ter'Aguas e AguAloca. O modelo Ter'Aguas simula a negociação sobre planejamento foram representados:

(continua)

(conclusão)

i) o prefeito, responsável pelo desenvolvimento de serviços de infraestrutura urbana; ii) a empresa de saneamento; iii) quatro representantes de bairros defendendo os interesses dos moradores locais; iv) dois pequenos agricultores dos arredores dos bairros; v) dois grandes proprietários fundiários com interesses/estratégias especulativas e eleitorais; e vi) o dono de sítio de lazer que também defende a preservação ambiental da bacia virtual.

[...]

Os modelos multiagentes potencializam a mediação entre atores que participam da gestão ambiental, incluindo os técnicos e pesquisadores, e combinam a representação das dinâmicas naturais e sociais. Constitui-se uma plataforma de aprendizagem coletiva, visando construir uma visão integrada e interdisciplinar sobre a realidade entre tomadores de decisões e atores locais, facilitar o diálogo, compartilhar conhecimentos e tomar decisões face à realidade, promovendo a reflexão sobre os processos envolvidos e a compreensão/visualização de cenários futuros.

Fonte: PINHEIRO, Adilson; CRUZ, Jussara Cabral. Cap. 2 – Bases para a gestão de bacias hidrográficas. In: PHILIPPI Jr., Arlindo; SOBRAL, Maria do Carmo. (Org.). **Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade.** 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2019, p. 19-53.

Consultar também:

Modelagem da qualidade de água em reservatórios:

Disponível em: <http://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/70?mode=simple>.



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Disponibilidade Hídrica em Pequenas Bacias.** Nota Técnica nº 113, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017:** relatório pleno. Brasília: ANA, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017:** informe anual-versão atualizada. Brasília: ANA, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Orientações para operação de estações hidrométricas.** Brasília: ANA; SGH, 2012a. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/OrientacoesParaOperacaoDeEstacoesHidrometricas-VersaoJun12.pdf>. Acesso em: 16 set. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Orientações para consistência de dados fluviométricos.** Brasília: ANA; SGH, 2012b. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/cadastro/OrientacoesParaConsistenciaDadosFluviometricos-Versao-Jul12.pdf>. Acesso em: 22 ago. 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil:** regiões hidrográficas brasileiras. Brasília: ANA, 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Bacia hidrográfica do Rio São Francisco.** Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/paginas/servicos/saladesituacao/v2/saofrancisco.aspx>. Acesso em: 01 nov. 2019.

AHMADI-NEDUSHAN, B. ET AL.; ST-HILAIRE, A.; BÉRUBÉ, M.; ROBICHAUD, É.; THIÉMONGE, N.; BOBÉE, B. A review of statistical methods for the evaluation of aquatic habitat suitability for instream flow assessment. **River research and application**, v. 22, p. 503–523, 2006.

ARNOLD, J. G.; MORIASI, D. N.; GASSMAN, P. W.; ABBASPOUR, K. C.; WHITE, M. J.; SRINIVASAN, R.; SANTHI, C.; HARMEL, R. D.; GRIENSVEN, A.; VAN LIEW, M. W.; KANNAN, N.; JHA, M. K. SWAT: model use, calibration, and validation. **Transactions of the ASABE**, v. 55, n. 4, p. 1491-1508, 2012.

ARTHINGTON, A. H.; KING, J. M.; O`KEEFE, J. H.; BUUN, S. E.; DAY, J. A.; PUSEY, B. J.; BLUHDORN, D. R.; THARME, R. Development of an holistic approach for assessing environmental flow requirements of riverine ecosystems. In: PIGRAM, J. J.; HOOPER, B. P. (Eds.). **Proceedings of an International Seminar and Workshop on water allocation for the environment.** Armindale: University of New England, 1992.

BENETTI, A. D.; LANNA, A. E.; COBALCHINI, M. S. Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios. **RBRH**, v. 8, n. 2, p. 149–160, 2003.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Brasília: Senado Federal, 1988.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1997/lei-9433-8-janeiro-1997-374778-normaatualizada-pl.html>. Acesso em: 18 jul. 2016.

BRESSIANI, D. A.; GASSMAN, P. W.; FERNANDES, J. G.; GARBOSSA, L. H. P.; SRINIVASAN, R.; BONUMÁ, N. B.; MENDIONDO, E. M. Review of soil and water assessment tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, Beijing, v. 8, n. 3, p. 9-35, 2015. Disponível em: <https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/1765>. Acesso em: 10 abr. 2016.

BRITTES, A. P. Z.; PORTO, M. F. A.; FERNANDES, C. S. **Proposta de uma ferramenta de auxílio para aplicação do enquadramento dos corpos d'água.** In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17. São Paulo, 2007.

BROWN, L. C.; BARNWELL JUNIOR, T. O. **The enhanced stream water quality model QUAL2E and QUAL2EUNCAS:** computer program documentation and user manual. Athens: United States Environmental Protection Agency, 1987.

BOX, G. E. P., JENKINS, G. M., REINSEL, G. C. **Time series analysis:** forecasting and control. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 1994.

BOUSQUET, F.; LE PAGE, C. Multi-agent simulations and ecosystem management: a review. **Ecological Modelling**, v. 176, n. 3-4, p. 313-332, 2004.

BOVEE, K. D.; LAMB, B. L.; BARTHOLOW, J. M.; STALNAKER, C. B.; TAYLOR, J.; HENRIKSEN, J. **Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology.** Colorado: [s.n.], 1998.

BURIN, R. **Variabilidade da qualidade da água e do estado trófico do reservatório do Vacacaí Mirim.** 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

CARVALHO, A. de P.; MORAES NETO, J. M.; LIMA, V. L. A. Determinação espacial e temporal do IQA do açude Soledade em Soledade-PB. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 293- 305, maio/ago. 2009.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Modelo matemático para cálculo do índice de qualidade de água (IQA)**. São Paulo: CETESB, 1979.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. **Resolução CNRH nº 65, 'de 7 de dezembro de 2006**. Estabelece diretrizes de articulação dos procedimentos para obtenção da outorga de direito de uso de recursos hídricos com os procedimentos de licenciamento ambiental. Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/ligislacao/resolucoes-cnrh/resolucao-cnrh%2065.pdf> Acesso em: 15 nov. 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA, 2005. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2016.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS-CNRH. **Resolução No 32, de 15 de outubro de 2003**. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional, em regiões hidrográficas. Disponível em: http://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/CCR4/importacao/institucional/grupos-de-trabalho/encerrados/gt-aguas/documentos-diversos/docs_legislacao/resolucao_32.pdf. Acesso em: 23 mar. 2020.

COLLISCHONN, W.; SOUZA, C. F.; FREITAS, G. K.; PRIANTE, G. R.; AGRA, S.G.; TASSI, R. Em busca do hidrograma ecológico. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2005, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: ABRH, 2005.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de grandes bacias. **RBRH**, v. 6, n.1, p. 95-118, 2001.

COSTA, A. S.; CARIELLO, B. L.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. Regionalização de curvas de permanência de vazão de regiões hidrográficas do estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 413 - 422, 2012.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga:** avaliação de aspectos técnicos e conceituais. 2001 Tese (Doutorado Em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

CRUZ, J. C. O uso do histograma tempo-área geoprocessado na potencialização de métodos hidrológicos. In: **Fórum geo-bio-hidrologia:** estudo em vertentes e microbacias hidrográficas, v. 1., 1998, Paraná. Anais... Curitiba, Paraná: [s.n.], 1998. p.114-122.

CRUZ, J. C.; SILVEIRA, G. L. Disponibilidade hídrica para outorga em bacias com elevado uso consuntivo (I) : avaliação por Shr. **Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v. 4, n. 2, p. 51-64, jul./dez. 2007.

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

CRUZ, R. C. 2005. **Prescrição de vazão ecológica:** aspectos conceituais e técnicos para bacias com carência de dados. Tese (Doutorado em Ecologia). Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CRUZ, R. C.; PORTO, M. L.; SILVEIRA, G. L.; CRUZ, J. C.; PEREIRA, R. D.; DARU, R. L. FFTSINT: A tool for recurrence analysis of peaks in the spectral analysis of daily hydrologic series. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 33, p. 426-444, 2015.

DUCROT, R.; JACOBI, P. R.; BARBAN, V.; CARVALHO, Y.; GUNTHER, W. R.; SENDACZ, S.; FRANÇA, T.; CAMARGO, M. E. Elaboração multidisciplinar e participativa de jogos de papéis: uma experiência de modelagem de acompanhamento em torno da gestão dos mananciais da Região Metropolitana de São Paulo. **Ambiente e Sociedade**, Campinas, v. 11, p. 355-372, 2008.

DEUS, M. L. D. De. **Séries temporais aplicadas ao planejamento da operação do sistema interligado nacional-sin.** Dissertação (Mestrado). PUC-Rio, 2008.

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER; UFSM - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Análise de fragilidades ambientais da bacia hidrográfica dos rios Apuaê-Inhandava, situada na região hidrográfica do rio Uruguai.** Relatório Técnico Final. Santa Maria: FEPAM/UFSM, 2005.

FERREIRA, V. H. **Operação de Sistemas de Potência.** Niterói: Universidade Federal de Fluminense, 2016.

FONTES, A. S.; OLIVEIRA, J. I. R.; MEDEIROS, Y. D. P. **A evaporação em açudes no semi-árido nordestino do brasil e a gestão das águas.** SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15. Curitiba, 23-27 nov. 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture (Solaw): managing systems at risk.** Londres: FAO, 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e.pdf>. Acesso em: 2 jul. 2015.

FORMIGONI, Y. B. et. al. Análise crítica da curva de permanência de qualidade da água com base em dados históricos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19. 2011. Maceió. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2011.

FRAGOSO JUNIOR, C. R.; FERREIRA, T. F.; MOTTA MARQUES, D. M. L. **Modelagem ecológica em ecossistemas aquáticos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

FRANCO, M. C.; SCOPEL, I.; ASSUNÇÃO, H. F. Índice de Qualidade da Água no Rio Claro, no Córrego do Queixada e no Ribeirão Jataí, Junto à Área Urbanizada na Cidade de Jataí (GO). **Revista Eletrônica de Geografia**, v. 6, n. 16, p. 26-45, maio 2014.

FRIEDRICH, M. **Influência da Precipitação no Uso do Método Silveira para bacias hidrográficas entre 800 e 1000 km².** 2017. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

GARCIA, L. A. V.; ANDREAZZA, A. M. P. Estabelecimento de vazões ambientais efluentes de barragens: sugestão metodológica. **RHRH**, v. 9, n. 2, p 5-18, 2004.

GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. da. Estimativa dos parâmetros do Modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 4, p. 103-120, 1998.

HORN, J. F. C. **Regime Hidrológico de duas microbacias contíguas: um comparativo entre uso urbano e rural.** 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

KELMAN, J. Gerenciamento de recursos hídricos. Parte I: Outorga. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13. 1997, Vitória. **Anais...** Vitória: ABRH, 16 a 20 nov. 1997, CD-ROM.

KING, J.; LOUW, M. D. Instream flow assessments for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology. **Aquatic Ecosystem Health and Management**, v. 1, n. 2, p. 109-124, 1998.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo:** avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. 235 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.

LINSLEY, R. K.; FRANZINI, J. B. **Water-resources engineering.** [São Paulo]: Ed. da Universidade de São Paulo, 1978.

LYTLE, D. A.; POFF, N. L. Adaptation to Natural Flow Regimes. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 19, p. 94-100, 2004.

LOPES, J. E. G.; BRAGA JUNIOR, B. P. F.; CONEJO, J. G. L. Simulação hidrológica: Aplicações de um modelo simplificado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 3., 1981, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: Associação Brasileira de Hidrologia e Recursos Hídricos, 1981, v. 2, p. 42-62.

MAGALHÃES, P. C. **Engenharia hidrológica:** hidrologia superficial. Rio de Janeiro: Ed. da UFRJ, 1989.

MAZIERO, E. **Histograma Tempo/Área Geoprocessado:** uso em modelo chuva-vazão concentrado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). UFSM, 2010.

MEDEIROS, P. C.; SOUZA, F. A. S.; RIBEIRO, M. M. R. Aspectos conceituais sobre o regime hidrológico para a definição do hidrograma ambiental. **Revista Ambiente & Água**, v. 6, n. 1, p. 131-147, 2011.

MILHOUS, R. T.; WADDLE, T. J. **Physical Habitat Simulation (PHABSIM) Software for Windows.** Fort Collins: USGS Fort Collins Science Center, 2012. (version 1.5.1).

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica.** Brasília: MMA, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Ilustração do Ciclo Hidrológico.** 2016. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>. Acesso em: 23 mar. 2020.

MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. Análise de Métodos para Estimativa das Vazões da Bacia do Rio Paraopeba, **RBRH**, v. 19, n. 2, p. 313-324, 2014.

NEIFF, J. J. Ideas para la interpretación ecológica del Paraná. **Interciênciac**, v. 15, n. 6, p. 424-441. 1990.

NEITSCH, S. L.; ARNOLD, J. G.; KINIRY, J. R.; WILLIAMS, J. R. **Soil and water assessment tool:** theoretical documentation: version 2005. Disponível em: <https://swat.tamu.edu/media/1292/SWAT2005theory.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2020.

PINTO, V. G.; MELO RIBEIRO, C. B.; SILVA, D. D. Vazão ecológica e o arcabouço legal brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 91-109, 2016.

PINTO, L. V. A.; ROMA, T. N.; BALIEIRO, K. R. C. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 495-505, jul./set. 2012.

PINTO, V. A. P.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FERREIRA, E. Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba. n. 65, p.197-206, 2004.

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para outorga e a cobrança pelo uso da água: simulação de um caso.** 200 p. Tese (Doutorado do programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

RIBEIRO, M. M. R.; LANNA, A. E. L. A outorga integrada das vazões de captação e diluição. **RBRH**, v. 8, n. 3, p. 151-168, 2003.

SARMENTO, R. **Estado da arte da vazão ecológica no Brasil e no mundo.** [S.l.]: UNESCO; ANA; CBHSF, 2007.

SCHNEIDER, M.; NOACK, M.; GEBLER, T.; KOPECKI, I. **Handbook for the habitat simulation Model:** casimir fish. Stuttgart: Institut für Wasserbau; Universität Stuttgart, 2010.

SILVEIRA, A. L. da. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. da Universidade, 2012. p. 35-51.

SILVEIRA, A. L. da. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. revista brasileira de recursos hídricos. **RBRH**, v. 10, n. 1, p. 05-23, jan./mar. 2005.

SILVEIRA, Geraldo Lopes da; CRUZ, Jussara Cabral; SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Avaliações hidrológicas. In: SILVEIRA, Geraldo Lopes da; CRUZ, Jussara Cabral (Orgs.). **Seleção ambiental de barragens:** análise de favorabilidades ambientais em escala de bacia hidrográfica. 2. ed. Rev. e Ampl. Santa Maria: UFSM/ABRHidro., 2019. v. 1, p. 119-172.

SILVEIRA, G. L.; CRUZ, R. C.; CRUZ, J. C.; VILLELA, F. S. Vazões ecológicas e remanescentes em rios alterados por barragens: metodologia proposta para prescrição. **Ciência & Ambiente**, n. 41, 161-176, 2010.

SILVEIRA, G. L.; SILVA, C. E.; IRION, C. A. O.; CRUZ, J. C.; RETZ, E. F. Balanço de Cargas Poluidoras pelo Monitoramento Quali-quantitativo dos Recursos Hídricos em Pequena Bacia Hidrográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1. 2003. p.5-11.

SILVEIRA, G. L.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. **RBRH**, v. 3, n. 3, p. 111-131, 1998.

SILVEIRA, G. L. **Quantificação de vazão em pequenas bacias com carência de dados fluviométricos.** 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 452 p. v. 1.

SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios.** Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2007.

SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA - SAR DA AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Evolução da Rede Hidrometeorológica Nacional**, v. 1, n. 1. Brasília: Ana, 2007. Disponível Em: <http://arquivos.ana.gov.br/infohidrologicas/evolucaodaredehidrometeorologicanacional.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2016.

TAMIOSSO, M. **Avaliação do método Silveira com uso de dois modelos chuva-vazão para estimativa da disponibilidade hídrica em pequenas bacias com pequenas amostragens de vazão.** 2012. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

TOLEDO, L. G.; NICOLELLA, G. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 1, p.181-186, 2002.

TOMAZ, P. **Poluição difusa.** [S.l.]: Editora Navegar, 2006,

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia:** ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS; Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2012.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos.** 2. ed. Porto Alegre: UFRGS; Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2005.

TUCCI, C. E. M.; ORDONEZ, J. S.; SIMÕES LOPES, M. Modelo matemático precipitação-vazão IPH II alguns resultados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 3., 1981, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, ABRH, 1981.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME – WWAP. **World water development report 3:** water in a changing world. [S.l.]: Unesco, 2009.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME – WWAP. **The united nations world water development report 2014:** water and energy. [S.l.]: Unesco, 2014.

UFSM; UNIPAMPA. **Relatório etapa 2 do projeto FRAGRIO:** desenvolvimento metodológico e tecnológico para avaliação ambiental integrada aplicada ao processo de análise de viabilidade de hidrelétricas. Santa Maria: UFSM;UNIPAMPA;FINEP, 2012.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. **Implantação plena da outorga:** análise das condições de contorno ao balanço hídrico em sistema de apoio a decisão, em bases socialmente sustentadas - SIOGA. Santa Maria: [s.n.], 2007. (Relatório Final Finep).

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – UFSM; FEPAM. **Desenvolvimento de metodologias de avaliação de impacto de condicionantes significativas do meio físico (vazão remanescente e qualidade da água) e sua relação com as variáveis operacionais do sistema de geração de energia hidrelétrica para subsidiar sistema de apoio à tomada de decisões para licenciamento ambiental de empreendimentos hidrelétricos no estado do Rio Grande do Sul.** [S.l.]: FEPAM, 2006. (Relatório Final da Etapa 2).

VADAS JUNIOR, R. L.; ORTH, D. J. Formulation of habitat suitability models for stream fish guilds: do the standard methods work? **Transactions of the American Fisheries Society**, v. 130, n. 2, p. 217–235. 2001.

VALENTE, M. L.; CRUZ, J. C.; BOGGIOTTO, C. Enquadramento de mananciais rurais com diferentes usos do solo no bioma Pampa: um instrumento para a gestão de bacias hidrográficas. **REGA**, v. 13, n. 1, p. 43-53, 2016.

VENDRUSCOLO, Janice. **Regionalização dos parâmetros de um modelo chuva-vazão para estimativa de vazões em bacias sem monitoramento sistemático.** 2005. 100 F. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, 2005.



LINKS DE INTERESSE

<http://www.snirh.gov.br/>

<http://www.cnrh.gov.br/>

www.abrh.org.br

<http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&PUBLICACAO=RBRH>

<http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=2>

QUALIDADE DA ÁGUA E ENQUADRAMENTO

DOI: [10.21168/rega.v14e3](https://doi.org/10.21168/rega.v14e3)

Confiabilidade dos parâmetros monitorados em águas por sonda multiparâmetros. Angela Maria Mendonça, Francisco Rossarolla Forgiarini, Geraldo Lopes Da Silveira, Jussara Cabral Cruz

DOI: [10.21168/rega.v13n1.p43-53](https://doi.org/10.21168/rega.v13n1.p43-53)

Enquadramento de mananciais rurais com diferentes usos do solo no bioma Pampa: um instrumento para a gestão de bacias hidrográficas. Mirian Lago Valente, Jussara Cabral Cruz, Carine Baggiotto

DOI: [10.21168/rbrh.v8n1.p5-11](https://doi.org/10.21168/rbrh.v8n1.p5-11)

Balanço de Cargas Poluidoras pelo Monitoramento Quali-quantitativo dos Recursos Hídricos em Pequena Bacia Hidrográfica. Carlos Alberto Oliveria Irion, Carlos Ernando Da Silva, Emilene Fenh Retz, Geraldo Lopes Da Silveira, Jussara Cabral Cruz

DOI: [10.1590/2318-0331.011616015](https://doi.org/10.1590/2318-0331.011616015)

SciELO:http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2318-03312016000300636&lng=en&nrm=iso&tlang=pt

Qualitative characteristics of water resulting from the introduction of *Eucalyptus* silviculture in Pampa biome, RS. Jussara Cabral Cruz, Mirian Lago Valente, Carine Baggiotto, Edner Baumhardt

Mirian Lago Valente. Mestrado. 2013. Alteração nas características físico-químicas e biológicas da água com a introdução da atividade de silvicultura de eucalipto em microbacias na região do Pampa - RS.

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8718/VALENTE,%20MIRIAN%20LAGO.pdf>

O Modelo PEIR e Base SIG no Diagnóstico da Qualidade Ambiental em Sub-bacia Hidrográfica Urbana. Revista Brasileira de Recursos Hídricos ISSN 2318-0331.

DOI: [10.21168/rbrh.v19n2.p281-298](https://doi.org/10.21168/rbrh.v19n2.p281-298)

<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=165&SUMARIO=4757>

Raul Todeschini. Mestrado. 2016 Qualidade da água em nascentes da bacia do Vacacaí-Mirim com diferentes usos e coberturas do solo.

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7933/TODESCHINI%2c%20RAUL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tatiana Reckziegel. PPGEC. 2012. Modelo conceitual de contaminação por emissão de efluente no solo – Bacia Escola Campus/UFSM.

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7796/RECKZIEGEL%2c%20TATIANA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

OUTORGA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Disponibilidade hidrica para outorga (I): avaliação por seção hidrológica de referência. Jussara Cabral Cruz, Geraldo Lopes Da Silveira. REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina - ISSN 2359-1919. VOLUME. 4 - Nº. 2 - JUL/DEZ - 2007

https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/70/b3ddfea8780ea5216190ad209442067_f03fe402dcbb6878e1bd82cdd579e499.pdf

Disponibilidade hidrica para outorga (ii): avaliação integrada por bacia. Jussara Cabral Cruz, Geraldo Lopes Da Silveira. REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina - ISSN 2359-1919. VOLUME. 4 - Nº. 2 - JUL/DEZ - 2007

https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/70/f816425d4c297991afebfe6be93e-01c7_82be40ae2e991ba1f045c5e1187f8666.pdf

DOI: [10.21168/rbrh.v10n3.p75-91](https://doi.org/10.21168/rbrh.v10n3.p75-91)

Otimização e Simulação Comparativa de Cenários de Outorga. Jussara Cabral Cruz, Carlos Eduardo Morelli Tucci

DOI: [10.21168/rbrh.v13n1.p111-124](https://doi.org/10.21168/rbrh.v13n1.p111-124)

Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. Jussara Cabral Cruz, Carlos Eduardo Morelli Tucci

Estratégia evolutiva de outorga de uso da água: caso de usuários hidroagrícolas no Rio Grande do Sul, Brasil. Jussara Cabral Cruz, Rogério Dewes. REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina - ISSN 2359-1919. VOLUME. 3 - Nº. 1 - JAN/JUN - 2006

https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/67/a769f031c456fb16b6711b3456df-2fac_2b5aea83b21dd17eb4f48e9d6368b516.pdf

Pedro Brites Pascotini. Mestrado. 2014. Automonitoramento dos recursos hídricos em lavouras de arroz irrigado utilizando vertedores triangulares.

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7635/PASCOTINI%2c%20PEDRO%20BRITES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Glaucio de Oliveira da Luz. Mestrado. 2011. Comparação entre dois sistemas hidráulicos de medição de água de irrigação de arroz. Fev.

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7760/LUZ%2c%20GLAUZO%20DE%20OLIVEIRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

AVALIAÇÃO COMPETITIVA DE USOS DOS RECURSOS HÍDRICOS EM TRECHOS DE GERENCIAMENTO DE RIO: ESTRATÉGIA PARA SUBSIDIAR O LICENCIAMENTO AMBIENTAL. Elisandra Maziero, 2015. <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3633>

Edner Baumhardt. TESE. 2014. Hidrologia de Bacia de Cabeceira com campo nativo e eucaliptocultura em região da Campanha Gaúcha

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/3771/BAUMHARDT%2C%20EDNER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Edner Baumhardt. Mestrado. 2010. Balanço hídrico de microbacia com eucalipto e pastagem nativa na região da campanha do RS.

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7745/BAUMHARDT%2c%20EDNER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

ESTIMATIVA DE VAZÕES E VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS

ESTIMATIVA DE VAZÃO COM DADOS ESCASSOS: NOVAS HIPÓTESES PARA O MÉTODO SILVEIRA. João Francisco Carlexo Horn, 2016. TESE. <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3641>

Marciano Friedrich. Mestrado. 2017. Influência da precipitação no uso do método Silveira para bacias hidrográficas entre 800 a 1000 km².

https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12185/DIS_PPGEC_2017_FRIEDRICH_MARCIANO.pdf?sequence=1

ESTRATÉGIA DE MONITORAMENTO EM APOIO AO LICENCIAMENTO AMBIENTAL EM TRECHO DE VAZÃO REDUZIDA Regis Leandro Lopes da Silva, 2012.

<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7804>

REGIME HIDROLÓGICO DE DUAS MICROBACIAS CONTÍGUAS: UM COMPARATIVO ENTRE USO URBANO E RURAL. João Francisco Carlexo Horn, 2012. Mestrado.

<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7782>

Monitoramento fluviométrico de duas bacias hidrográficas vizinhas: comparação de vazões em períodos concomitantes. Revista Brasileira de Recursos Hídricos ISSN 2318-0331

DOI: [10.21168/rbrh.v20n3.p809-816](https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n3.p809-816)

<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=182&SUMARIO=5109>

Elisandra Maziero. Mestrado. 2010. Histograma tempo/área geoprocessado: uso em modelo chuva-vazão concentrado.

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7746/MAZIERO%2c%20ELISANDRA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Calinca Barão de Avila. PPGEF. 2014. Variação da infiltração devido a alterações de uso do solo: estudo de caso de implantação de floresta em Bioma Pampa.

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8749/AVILA%2c%20CALINCA%20BARAO%20DE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Catarine Barcellos Consensa. Mestrado. 2012. Precipitação pluvioimétrica e interna em povoamento de eucalipto em Rosário do Sul, RS.

<http://coral.ufsm.br/ppgef/images/Diss2012/Catarine-Barcellos-Consensa.pdf>

VAZÕES ECOLÓGICAS

ARTIGOS EM ANEXO NO PENDRIVE.

Vazões Ecológicas e Remanescentes em Rios Alterados por Barragens: Metodologia Proposta para a Prescrição. Revista Ciência&Ambiente.

Vazões Ecológicas e Remanescentes em Rios Alterados por Barragens: Estudo de Caso. 2010. Revista Ciência&Ambiente

LINKS

FFTSINT: A TOOL FOR RECURRENCE ANALYSIS OF PEAKS IN THE SPECTRAL ANALYSIS OF DAILY HYDROLOGIC SERIES. Revista Brasileira de Biometria
<http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/37>

AVALIAÇÃO INTEGRADA

Avaliação Ambiental Integrada do Meio Físico nas Bacias do Alto e Médio Rio Uruguai: Análise Desagregada. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. ISSN 2318-0331.

<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=165&SUMARIO=4761> DOI: 10.21168/rbrh.v19n2.p237-249

Índice Ambiental de Perda por Fragmentação (IAPF). Revista Brasileira de Recursos Hídricos ISSN 2318-0331.

DOI: [10.21168/rbrh.v20n3.p763-773](https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n3.p763-773)

<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=182&SUMARIO=5105>

Sensibilidade de Fatores para Valoração do Ambiente com o Uso de Avaliação Multicritério e Geoprocessamento Digital. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. ISSN 2318-0331.

<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=3&SUMARIO=35>

Damáris Gonçalves Padilha. TESE. 2014. Modelo de apoio à decisão aplicado ao planejamento territorial de silvicultura baseado em análise multicritério de redes neurais artificiais,
https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/14841/TES_PPGEF_2014_PADILHA_DAMARIS.pdf?sequence=1&isAllowed=

ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE DE UM RIO E ANÁLISE DA LEGISLAÇÃO DE PROTEÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA. Revista Ciência Florestal. ISSN 1980-5098.

<http://www.scielo.br/pdf/cflo/v27n3/1980-5098-cflo-27-03-00831.pdf>

Tendências na Análise de Impactos da Implementação de Barragens: Lições do Estudo de Caso das Barragens de Uso Múltiplo da Bacia do Rio Santa Maria. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. ISSN 2318-0331.

<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=8&SUMARIO=110>

DIAGNÓSTICO DA QUALIDADE AMBIENTAL EM BACIA HIDROGRÁFICA URBANA. Estudo de caso A sub-bacia do Arroio Cadena Santa Maria RS Vaz, Cézar Augusto Bastianello (2009-11-16).

<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7739>

Romário Moraes Carvalho Neto. TESE. 2016. Análise de incertezas do balanço hídrico climatológico espacializado.

<http://coral.ufsm.br/ppgef/images/Teses2016/Romrio-Moraes-Carvalho-Neto.pdf>

Fernanda Dias dos Santos. Mestrado. 2018. Construção de um índice de fragilidade baseado na perda de solo e balanço hídrico climatológico.

https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/14757/DIS_PPGEF_2018_SANTOS_FERNANDA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Elenice Broetto Weiler. PPGEF. 2017. Indicadores de perda de solo espacializados como ferramenta de apoio a decisão para gestão ambiental integrada de bacias hidrográficas.
https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/12836/DIS_PPGEF_2017_WEILER_ELENICE.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Josita Soares Monteiro. TESE. 2014. Indicadores de fragilidade à erosão no apoio à definição de Áreas de Preservação Permanente em rios.

<http://coral.ufsm.br/ppgef/images/Teses2014/Josita-Soares-Monteiro.pdf>

Teiva Fernanda Schettert. Mestrado. 2015. Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) de parâmetros físicos indicadores de erosão em taludes fluviais.

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7911/SCHETTERT,%20TEIVA%20FER-NANDA.pdf?sequence=1>

Lidiane Radtke. Mestrado. 2015. Protocolo de avaliação rápida para avaliação ambiental de cursos d'água inseridos em zonas urbanas.

<https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/7883/RADTKE%2C%20LIDIANE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

DIRETORIA DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA - DIRET

Rafael Esmeraldo Lucchesi Ramaciotti
Diretor de Educação e Tecnologia

DIRETORIA DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS - DRI

Mônica Messenberg Guimarães
Diretora de Relações Internacionais

Gerência Executiva de Meio Ambiente e Sustentabilidade - GEMAS

Davi Bomtempo
Gerente-Executivo de Meio Ambiente e Sustentabilidade

José Quadrelli Neto
Maria do Socorro Lima Castello Branco
Equipe Técnica

DIRETORIA DE COMUNICAÇÃO - DIRCOM

Ana Maria Curado Matta
Diretora de Comunicação

Gerência de Publicidade e Propaganda

Armando Uema
Gerente de Publicidade e Propaganda

Katia Rocha
Coordenadora de Gestão Editorial

André Oliveira
Produção Editorial

DIRETORIA DE SERVIÇOS CORPORATIVOS – DSC

Fernando Augusto Trivellato
Diretor de Serviços Corporativos

Superintendência de Administração - SUPAD

Maurício Vasconcelos de Carvalho
Superintendente Administrativo

Alberto Nemoto Yamaguti
Normalização

Jussara Cabral Cruz
Elaboração

Renata Portella
Revisão Gramatical

Editorar Multimídia
Projeto Gráfico e Diagramação

 www.cni.com.br

 [/cnibrasil](https://www.facebook.com/cnibrasil)

 [@CNI_br](https://twitter.com/CNI_br)

 [@cnibr](https://www.instagram.com/cnibr)

 [/cniweb](https://www.youtube.com/cnibrasil)

 [/company/cni-brasil](https://www.linkedin.com/company/cni-brasil)

ISBN 978-65-86075-29-8



9 786586 075298



Confederação Nacional da Indústria

PELO FUTURO DA INDÚSTRIA