

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**CONTROLE DE VAZÕES OUTORGADAS:  
ESTUDO DE CASO DA BACIA DO SÃO FRANCISCO**

**LEONARDO PERES ARAUJO PIAU**

**ORIENTADOR: SERGIO KOIDE**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E  
RECURSOS HÍDRICOS**

**PTARH.DM-195/2016**

**Brasília/DF: DEZEMBRO/2016**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CONTROLE DE VAZÕES OUTORGADAS:  
ESTUDO DE CASO DA BACIA DO SÃO FRANCISCO**

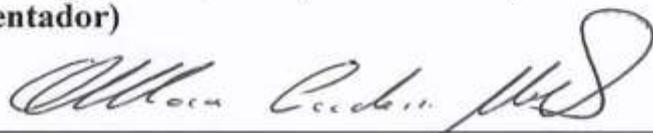
**LEONARDO PERES ARAUJO PIAU**

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS.**

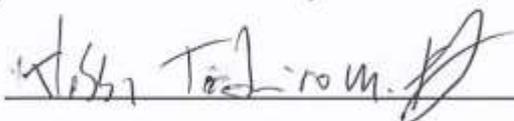
**APROVADA POR:**



\_\_\_\_\_  
**Prof. Sergio Koide, PhD (PTARH-UnB)  
(Orientador)**



\_\_\_\_\_  
**Prof. Oscar de Moraes Cordeiro Netto, Doutor (PTARH -UnB)  
(Examinador Interno)**



\_\_\_\_\_  
**Prof. Klebber Teodoro Martins Formiga, Doutor (UFG)  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO/2016**

## FICHA CATALOGRÁFICA

PIAU, L.P.A.

CONTROLE DE VAZÕES OUTORGADAS: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO SÃO FRANCISCO. xix, 197p., 210 x 297 mm (ENC/FT/ UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2016). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Controle

2. Monitoramento

3. Outorga

4. Sistema de suporte à decisão

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

PIAU, L.P.A. (2016). *Controle das vazões outorgadas: estudo de caso da bacia do São Francisco*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-195/2016, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 197p.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Leonardo Peres Araujo Piau.

TÍTULO: Controle de vazões outorgadas: estudo de caso da bacia do São Francisco

GRAU: Mestre

ANO: 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Leonardo Peres Araujo Piau

Brasília – DF – Brasil.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que me deu a oportunidade de santificar este trabalho, procurando fazê-lo com amor, para glória dEle; de santificar-me neste trabalho, crescendo em virtudes como a humildade, perseverança, paciência e ordem; de santificar os outros com este trabalho, por tê-lo oferecido nas intenções de familiares e amigos.

À Nossa Senhora de Guadalupe; mãe, guia, protetora, refúgio, consoladora, esperança nossa e sede de sabedoria.

À Francine, pela ternura, carinho e dedicação; por ser minha principal motivação para superar todas as dificuldades ao longo destes anos dedicados à dissertação.

A meus filhos, Paloma e Santiago, que me fazem querer ser uma pessoa melhor a cada dia; e ao Chiquinho, meu pequeno que está no céu e cuida de todos nós.

Aos familiares, pais, irmãos, cunhados, sobrinhos e agregados, pela companhia e apoio nos momentos de tristeza e alegria.

Aos amigos, em especial aos "Bancuebas" e aos "Matelitos", a quem pude contar nas horas difíceis e compartilhar os momentos de descontração.

À ANA, pela oportunidade e confiança depositada em minha pessoa, mesmo parecendo improvável o término do trabalho.

Ao Rubens e ao Bruno Collischonn, pela orientação e horas de ajuda no trabalho.

Aos colegas do PTARH, pelo aprendizado e pelo "desespero conjunto", que nos fez unir e tornar possível esse sonho.

Aos professores Oscar e Conceição, pela orientação e luz para trilhar o caminho.

Ao meu orientador, Prof. Koide, a quem muito admiro e estimo.

## RESUMO

A outorga de direito do uso da água é um instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos que possibilita estimar o consumo de água de forma indireta, mas pode se distanciar do real volume de água requerido pelo usuário de recursos hídricos outorgado. Pelo desenvolvimento deste trabalho, verificou-se que o controle das vazões por parte dos usuários outorgados pode auxiliar o instrumento da outorga a fim de aproximar o mundo legal ao mundo real de consumo, observado em campo. Além disso, atende ao normativo legal de obrigação dos usuários outorgados a realizarem o monitoramento das vazões apropriadas por estes.

Definiu-se uma classificação para o controle do uso de recursos hídricos, a partir de três estágios gradativos de monitoramento a serem exigidos aos usuários outorgados, a saber: monitoramento simplificado, onde o usuário pode adotar os valores de projeto para ter conhecimento do uso outorgado; monitoramento intermediário, em que se define um controle objetivo do tempo de utilização do ponto de interferência outorgado, mediante instalação de um dispositivo acumulador de tempo; e monitoramento avançado, com instalação de equipamento de medição de vazão que possa acumular o volume de água outorgado, além de envio de Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos, com os volumes mensais utilizados. Para chegar à referida classificação, foram criados índices absolutos e relativos para determinar a significância de usuários outorgados nos trechos onde estão localizados, bem como indicadores gerais de bacia para distribuição dos usuários nos três estágios de exigência. Para testar e chegar a valores finais desses índices, foi realizado estudo de caso utilizando dados reais de outorgas na bacia do rio São Francisco.

Em seguida, desenvolveu-se a etapa experimental do trabalho, focada na aquisição, instalação e funcionamento de diversos equipamentos de medição constantes de um projeto-piloto na bacia do ribeirão Pípiripau, com resultados de desempenho, operação, manutenção, vantagens, desvantagens e recomendações gerais de cada um dos equipamentos instalados.

Com os valores dos índices definidos do estudo de caso e os resultados dos equipamentos do estudo experimental, e tomando por base um sistema de suporte à decisão existente para auxílio à outorga, o denominado Sistema de Controle de Balanço Hídrico - SCBH, elaborado por Collischonn (2014), chegou-se nesse trabalho ao desenvolvimento de um fluxograma detalhado, representando um subsistema do SCBH, um “módulo auxiliar” chamado SCBH-Fiscalização.

## ABSTRACT

Water Resources Use Rights Grant is an instrument of the National Water Resources Policy that enables to estimate the consumption of indirect water, but can distance himself from the real water required volume. Controlling the amount of the water required by users can assist the grant instrument in order to bring the legal world to the real world consumption.

The goal in this work was controlling the use of water resources, from three incremental stages of monitoring to be required to granted users: simplified monitoring, where the user can adopt the design values of pump; intermediate monitoring, which set a goal control the usage time of the interference given point by installing a device accumulates pain time; and advanced monitoring, with flow measurement equipment installation that may accumulate the volume of water granted in addition to sending Annual Statement of Use of Water Resources, the monthly volumes used. To get to that classification, it was necessary to create absolute and relative indices to determine the significance of granted users in the sections where they are located, To test and reach the final values of these indices was carried out case study using real data grants in the São Francisco river basin.

The experimental work's stage consisted in the acquisition, installation and operation of several constant measuring equipment of a pilot project in Pipiripau stream basin, with performance results, operation, maintenance, advantages, and disadvantages for each of the installed equipment.

With the values of the indexes defined the case study and the results of the experimental study equipment, and building on an existing decision support system to aid grant, called the Balance Control System Hydride – SCBH, elaborated by Collischonn (2014), was reached in this work to the development of a detailed flow chart, representing a subsystem of SCBH an "auxiliary module" called SCBH-Inspection.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	OBJETIVO .....	6
3	REVISÃO TEÓRICA E BIBLIOGRÁFICA.....	7
3.1	O USO DE RECURSOS HÍDRICOS E SEU MONITORAMENTO .....	7
3.1.1	O monitoramento dos recursos hídricos no âmbito legal brasileiro .....	8
3.1.1.1	Exigências da ANA quanto ao monitoramento e medição .....	9
3.1.1.2	Exigências dos órgãos gestores de recursos hídricos estaduais .....	11
3.1.2	Dificuldades para normatização do monitoramento.....	14
3.2	A NECESSIDADE DE MEDIÇÃO DE VAZÃO .....	16
3.2.1	Tipo de interferência .....	20
3.2.2	Vazão outorgada ( $Q_{outorga}$ ) .....	21
3.2.3	Vazão de captação ( $Q_{captação}$ ) .....	22
3.2.4	Vazão de diluição ( $Q_{diluição}$ ).....	22
3.2.5	Vazão indisponível ( $Q_{indisp.}$ ) .....	25
3.2.6	Vazão de demanda ( $Q_{demanda}$ ) .....	25
3.2.7	Vazão de referência ( $Q_{referência}$ ) .....	26
3.2.8	Porte do rio.....	28
3.2.9	Comprometimento individual .....	29
3.2.10	Comprometimento coletivo .....	30
3.3	SOBRE OS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO .....	32
3.3.1	Medição em condutos forçados .....	33
3.3.1.1	Hidrômetros .....	33
3.3.1.2	Eletromagnéticos .....	36
3.3.1.3	Ultrassônicos por tempo de trânsito .....	39
3.3.1.4	Diferenciais de pressão .....	41
3.3.1.5	Estimativa de vazão.....	45
3.3.1.6	Medidores do tempo .....	46
3.3.2	Medição em superfície livre .....	49
3.3.2.1	Medidor ultrassônico de vazão por Efeito Doppler: .....	50
3.3.2.2	Medidores de regime crítico .....	52
3.3.2.3	Medidores de nível: .....	55
3.3.3	Normatização dos equipamentos.....	56
3.4	SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO .....	57
3.4.1	Sistemas de suporte à decisão específicos para a outorga .....	61
3.4.2	O Sistema de Controle de Balanço Hídrico - SCBH .....	63

4	METODOLOGIA .....	71
4.1	EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO .....	71
4.2	CLASSIFICAÇÃO DAS VAZÕES OUTORGADAS .....	72
4.3	ESTUDO DE CASO DA BACIA DO SÃO FRANCISCO .....	75
4.4	FLUXOGRAMA PARA POSSIBILITAR CONSTRUÇÃO DE SSD PARA CONTROLE DAS VAZÕES OUTORGADAS .....	75
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	77
5.1	EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO PARA CADA UM DOS NÍVEIS DE MONITORAMENTO EXIGIDOS .....	77
5.2	SISTEMATIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS PARA CLASSIFICAÇÃO DAS VAZÕES OUTORGADAS .....	78
5.2.1	Divisão da bacia em trechos .....	78
5.2.2	Vazões outorgadas e condições de demanda .....	78
5.2.3	Cálculo do Comprometimento Individual .....	80
5.2.4	Cálculo do Comprometimento Coletivo .....	81
5.2.5	Estabelecimento de níveis de exigência quanto ao monitoramento das vazões outorgadas. 81	
5.2.5.1	Nível 1 - Monitoramento simplificado .....	82
5.2.5.2	Nível 2 - Monitoramento intermediário .....	83
5.2.5.3	Nível 3 - Monitoramento avançado .....	84
5.2.6	Criação de índices para classificação dos pontos de interferência outorgados .....	86
5.2.6.1	Índices Absolutos .....	86
5.2.6.2	Índices Relativos .....	88
5.2.7	Definição de indicadores gerais .....	93
5.2.8	Classificação final dos pontos de interferência .....	98
5.3	ESTUDO DE CASO: A BACIA DO SÃO FRANCISCO .....	98
5.3.1	Obtenção dos dados .....	100
5.3.2	Cálculos iniciais: Vazões de Demanda, Comprometimento Individual e Coletivo .....	108
5.3.3	Cálculo dos Índices Absolutos e Relativos .....	112
5.3.3.1	Cenário 1: Sem índices absolutos, índices relativos mais restritivos .....	112
5.3.3.2	Cenário 2: Sem índices absolutos, índices relativos menos restritivos .....	117
5.3.3.3	Cenário 3: Sem índices absolutos, índices relativos intermediários .....	119
5.3.3.4	Cenário 4 – Final: índices relativos intermediários, com índices absolutos .....	121
5.3.4	Discussão dos resultados do estudo de caso .....	125
5.3.4.1	Quanto aos índices relativos .....	125
5.3.4.2	Quanto aos índices absolutos .....	126
5.3.4.3	Quanto ao estabelecimento de valores únicos dos índices absolutos e relativos .....	127
5.4	FLUXOGRAMA PARA POSSIBILITAR CONSTRUÇÃO DE SSD PARA CONTROLE DAS VAZÕES OUTORGADAS .....	128
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	136
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	138

APÊNDICES.....	147
APÊNDICE A – EXIGÊNCIAS LEGAIS DOS ÓRGÃOS GESTORES ESTADUAIS QUANTO AO MONITORAMENTO DA VAZÃO OUTORGADA.....	147
APÊNDICE B – PLANILHAS DE CONTROLE DE VOLUME.....	151
APÊNDICE C – PROJETO-PILOTO NA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU .....	154
C.1 ESTAÇÕES DE MEDIÇÃO .....	158
C.1.1 Estação 1: Antônio Mazurek.....	158
C.1.2 Estação 2: Areal Campos Agrícola LTDA .....	159
C.1.3 Estação 3: Geraldo Magela .....	160
C.1.4 Estação 4: CAESB .....	161
C.1.5 Estação 5: Canal Santos Dumont .....	162
C.2 AQUISIÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS DO PROJETO-PILOTO .....	163
C.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS EQUIPAMENTOS INSTALADOS.....	167
C.3.1 Estação 1: Antônio Mazurek.....	167
C.3.2 Estação 2: Areal Campos Agrícola LTDA .....	174
C.3.3 Estação 3: Geraldo Magela .....	177
C.3.4 Estação 4: CAESB .....	181
C.3.5 Estação 5: Canal Santos Dumont .....	184
APÊNDICE D – TABELAS RESUMO DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO .....	191

## LISTA DE SÍMBOLOS, NOMECLATURA E ABREVIACÕES

$\Sigma Q_{montante}$	.....somatório das vazões outorgadas a montante
$\Sigma Q_{demanda\_trecho}$	.....somatório das vazões de demanda no trecho considerado
$\gamma$	.....peso específico do fluido
$v$	.....velocidade
A	.....Área
ABNT	.....Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC	.....Acre
ADASA	.....Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal
AL	.....Alagoas
AM	.....Amazonas
ANA	.....Agência Nacional de Águas
AP	.....Amapá
Art.	.....Artigo
BA	.....Bahia
CAESB	.....Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CE	.....Ceará
CF	.....Constituição da República Federativa do Brasil
CHESF	.....Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
CNRH	.....Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COGERH	.....Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará
CODEVASF	.....Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
CONAMA	.....Conselho Nacional do Meio Ambiente
D	.....diâmetro nominal da tubulação
DAURH	.....Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos
DBO	.....Demanda Bioquímica de Oxigênio
$DBO_{5,20}$	.....DBO a uma temperatura média de 20°C, durante 5 dias
$DBO_{efluente}$	.....DBO tratada (ou não) do efluente doméstico ou industrial
$DBO_{permitida}$	.....DBO permitida para o corpo hídrico, dada pelo seu enquadramento
$DBO_{natural}$	.....DBO do corpo hídrico, em suas condições naturais
DF	.....Distrito Federal
EMATER	.....Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
ES	.....Espírito Santo

ETA.....	Estação de Tratamento de Água
GO.....	Goiás
H (ou h).....	altura
ICC.....	Indicador de Comprometimento Coletivo
ICC <sub>máx</sub> .....	Indicador de Comprometimento Coletivo Máximo
ICI.....	Indicador de Comprometimento Individual
ICI <sub>máx</sub> .....	Indicador de Comprometimento Individual Máximo
IGAM.....	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INEMA.....	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
ISO.....	International Organization for Standardization
L.....	largura
l/s.....	litros por segundo
m.....	metro
m <sup>3</sup> .....	metro cúbico
m <sup>3</sup> /h.....	metro cúbico por hora
MA.....	Maranhão
MG.....	Minas Gerais
mg/l.....	miligramas por litro
mm.....	milímetro
monit. ....	monitoramento
MS.....	Mato Grosso do Sul
MT.....	Mato Grosso
N1.....	número de pontos de interferência classificados no 1º estágio
N2.....	número de pontos de interferência classificados no 2º estágio
N3.....	número de pontos de interferência classificados no 3º estágio
N <sub>total</sub> (ou NT).....	número de pontos de interferência outorgados em toda a bacia
NBR.....	Norma Brasileira
P1CI1.....	índice de relevância do ICI <sub>máx</sub> , em trechos de menor comprometimento, 1º estágio
P1CI2.....	índice de relevância do ICI <sub>máx</sub> , em trechos de menor comprometimento, 2º estágio
P2CI1.....	índice de relevância do ICI <sub>máx</sub> , em trechos de maior comprometimento, 1º estágio
P2CI2.....	índice de relevância do ICI <sub>máx</sub> , em trechos de maior comprometimento, 2º estágio
PA.....	Pará
PB.....	Paraíba

PCC.....	índice de relevância do Indicador de Comprometimento Coletivo Máximo
PE.....	Pernambuco
PI.....	Piauí
PNRH.....	Política Nacional de Recursos Hídricos
PR.....	Paraná
pto.....	ponto
Q.....	vazão
Q1.....	somatório das vazões de demanda dos pontos de interferência do 1º estágio
Q2.....	somatório das vazões de demanda dos pontos de interferência do 2º estágio
Q3.....	somatório das vazões de demanda dos pontos de interferência do 3º estágio
Q <sub>7,10</sub> .....	vazão média mínima de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos
Q <sub>90</sub> .....	vazão com garantia de 90% de permanência dentro da série histórica de dados
Q <sub>95</sub> .....	vazão com garantia de 95% de permanência dentro da série histórica de dados
Q <sub>acumulada</sub> .....	vazão acumulada
Q <sub>captação</sub> .....	vazão de captação
Q <sub>demanda (ou Q<sub>dem</sub>)</sub> .....	vazão de demanda
Q <sub>diluição</sub> .....	vazão de diluição
Q <sub>efluente</sub> .....	vazão de lançamento do efluente doméstico ou industrial
Q <sub>indisp.</sub> .....	vazão indisponível
Q <sub>max</sub> .....	vazão máxima instantânea
Q <sub>máx_outorga</sub> .....	vazão máxima outorgada
Q <sub>med/dia</sub> .....	vazão média diária
Q <sub>med/mês</sub> .....	vazão média mensal
Q <sub>outorga</sub> .....	vazão outorgada
Q <sub>referência</sub> .....	vazão de referência
Q <sub>AB1</sub> .....	vazão absoluta mínima, 1º estágio
Q <sub>AB2</sub> .....	vazão absoluta máxima, 3º estágio
Q <sub>total (ou QT)</sub> .....	somatório de todas as vazões de demanda outorgadas na bacia
RJ.....	Rio de Janeiro
RN.....	Rio Grande do Norte
RO.....	Rondônia
RR.....	Roraima
R\$.....	preço em reais

RS.....	Rio Grande do Sul
SC.....	Santa Catarina
SCBH.....	Sistema de Controle de Balanço Hídrico
SE.....	Sergipe
SEMARH.....	Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás
SF.....	São Francisco
SP.....	São Paulo
SSD.....	Sistema de Suporte à Decisão
t.....	tempo
TO.....	Tocantins
ton. ....	tonelada
US\$.....	preço em dólares
V.....	volume

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Mapa de classificação das Unidades Federativas do Brasil quanto às exigências legais para monitoramento dos usos outorgados .....	12
Figura 3.2 – Medidor velocimétrico tipo Woltmann (esq.), horizontal (meio) ou vertical (dir.) - Cortesia: FAE Tecnologia.....	35
Figura 3.3 – Medidor velocimétrico tipo tangencial ou Woltmann para irrigação (esq.), horizontal (meio) ou vertical (dir.) - Cortesia: Ciasey .....	35
Figura 3.4 – Equipamentos eletromagnéticos de inserção (esq.) e carretel (dir.) .....	39
Figura 3.5 – Ultrassônico por tempo de trânsito <i>clamp-on</i> (esq.) e intrusivo (dir.) - Cortesia: GE Panametrics .....	40
Figura 3.6 – Tubo Pitot (esq.) e Venturi (dir.) - Cortesia: Gustavo Carneiro .....	42
Figura 3.7 – Placas de orifício: seções transversais (esq.) e longitudinal no fluxo (dir.) - Cortesia: Nilson Taira.....	44
Figura 3.8 – Bocal de vazão: equipamento (esq.) e longitudinal no fluxo (dir.) - Cortesia: Prestserv .....	44
Figura 3.9 – Curva característica do sistema (esq.) e da bomba (dir.) - Cortesia: Gustavo Carneiro .....	45
Figura 3.10 – Ponto de funcionamento ou de operação - Cortesia: Gustavo Carneiro .....	46
Figura 3.11 – Horímetro analógico (esq.) e digital (dir.) - Cortesia: S&E Instrumentos.....	48
Figura 3.12– Chave de fluxo do tipo palheta (esq.) e pistão (dir.) - Cortesia: Nivetec.....	49
Figura 3.13– Ultrassônicos tipo Doppler em canais abertos (esq.) e dutos fechados (dir.) - Cortesia: Sontek.....	51
Figura 3.14 – Medição a vau com ultrassônicos tipo Doppler ( <i>Flowtracker</i> ) .....	51
Figura 3.15 – Medição com ultrassônicos tipo Doppler em canais e rios de médio e grande porte, com embarcação (Acoustic Doppler Current Profiler - ADCP) .....	51
Figura 3.16 – Calha Parshall instalada (esq.) e calha Palmer-Bowlus (dir.) - Cortesia: Inccer.....	53
Figura 3.17 – Vertedouro retangular (esq.), triangular (centro) e trapezoidal (dir.) .....	54
Figura 3.18 – Sensor de pressão hidrostático (esq.), acoplado externamente (centro) ou submerso (dir.) - Cortesia: GE.....	55
Figura 3.19 – Ultrassônico de nível: aparelho (esq.), trânsito pelo ar (dir.) Cortesia: Endress+Hauser.....	56
Figura 3.20 – Estrutura típica de um sistema de suporte a decisão (Porto e Azevedo, 2002) .....	59

Figura 3.21 - Codificação otto - Cortesia ANA (2006).....	65
Figura 3.22 – Bacias em que o SCBH foi implementado (Collischonn, 2014) .....	66
Figura 3.23 – Acesso ao SCBH via <i>Web</i> pelo endereço: <a href="http://scbh.ana.gov.br">http://scbh.ana.gov.br</a> .....	67
Figura 3.24 – Dados de entrada no SCBH via <i>Web</i> .....	68
Figura 3.25 – Tela de identificação do manancial e município, detalhamento da demanda e regime a ser considerado, SCBH via <i>Web</i> .....	68
Figura 3.26 – Tela com identificação do rio e município e detalhamento dos dados do lançamento de efluentes, SCBH via <i>Web</i> .....	69
Figura 3.27 – Tela com os resultados da análise em termos quantitativos, SCBH via <i>Web</i> .....	70
Figura 3.28 – Tela com os resultados da análise em termos qualitativos, SCBH via <i>Web</i> .....	70
Figura 4.1 – Sistematização do procedimento para classificação das vazões outorgadas .....	75
Figura 5.1 – Fluxograma de entrada de uma vazão outorgada num trecho <i>i</i> , com classificação num dos três níveis de monitoramento pelos índices absolutos e relativos .....	93
Figura 5.2 – Bacia do São Francisco com as sub-bacias e os corpos de água .....	99
Figura 5.3– Representação dos trechos 1 a 3 (em azul escuro), localizados na sub-bacia do Alto São Francisco, Estado de Minas Gerais (Alto SF destacada em Verde Claro) .....	102
Figura 5.4 – Representação dos trechos 4 a 18 (em linhas cor azul claro e escuro), localizados na sub-bacia do Médio São Francisco (pintada em azul claro).....	104
Figura 5.5 – Representação dos trechos 19 a 27 (em linhas cor azul escuro), localizados na sub-bacias do Médio (área em azul claro), Submédio (cinza) e Baixo São Francisco (amarelo).....	105
Figura 5.6 – Pontos de interferência outorgados pela ANA nos trechos 20 e 21, com destaque para os dados referentes à outorga de uso objeto da Resolução ANA 956/2013.....	107
Figura 5.7 – Vazão máxima instantânea da declaração de uso constante no CNARH, como exemplificação de onde se extrai o $Q_{\text{captação}}$ .....	107
Figura 5.8 – Concentração máxima instantânea da DBO do efluente tratado, constante da declaração de uso no CNARH, como exemplificação de onde se extrai a $DBO_{\text{efluente}}$ .....	108
Figura 5.9 – Fluxograma do SSD para classificação das outorgas de domínio da União da bacia do rio São Francisco .....	130
Figura C.1 – Localização das estações hidrométricas - Cortesia: Vector .....	157
Figura C.2 – Arquitetura geral do sistema com as 5 Estações de medição - Cortesia: Vector ..	157
Figura C.3 – Estação 1 Mazurek: tubulação de 300mm para pivô, com equip. instalados.....	158
Figura C.4 – Estação 2 - Areal: ponto de captação com tubulação de diâmetro de 75mm e equipamentos instalados.....	159

Figura C.5 – Estação 3-Geraldo Magela: tubulação de saída com diâm. 50mm e equip. instalados. .....	160
Figura C.6 – Estação 4 CAESB: tubulação de 700mm de diâmetro: acima, equipamento da CAESB já instalado; abaixo, dois equipamentos instalados pelo projeto piloto .....	161
Figura C.7 – Estação 5: Canal de Irrigação Santos Dumont: equipamentos instalados.....	162
Figura C.8 – Mapa com as 5 Estações Hidrométricas (Fonte: <a href="http://ana.vector.com.br">http://ana.vector.com.br</a> ) .....	163
Figura C.9 – Tela principal da Estação Hidrométrica 1 - Mazurek .....	163
Figura C.10 – Gráfico e tabela dos dados de vazão instantânea – intervalo de 5 minutos – Estação Hidrométrica 1 – Mazurek, em 14/09/2014 (Fonte: <a href="http://ana.vector.com.br">http://ana.vector.com.br</a> ) .....	164
Figura C.11 – Gráfico e tabela dos dados de volume totalizado – intervalo de 60 minutos – Estação Hidrométrica 1 – Mazurek, em 14/09/2014 (Fonte: <a href="http://ana.vector.com.br">http://ana.vector.com.br</a> ) .....	165
Figura C.12 – Figura demonstrativa da medição de vazão numa tubulação utilizando a pitometria (esq.) e tubo de Pitot tipo Cole (dir.). Cortesia: Vector .....	166
Figura C.13 – Figura demonstrativa do perfil de velocidades traçado com a pitometria (B), adotando-se uma velocidade média (C) para cálculo da vazão. Cortesia: Gustavo Carneiro ....	166
Figura C.14 – Gráfico dos dados de vazão instantânea – Estação Hidrométrica 1 – Mazurek, entre os dias 21 e 27/05/2014 (Fonte: <a href="http://ana.vector.com.br">http://ana.vector.com.br</a> ).....	168
Figura C.15 – Gráfico dos dados de vazão instantânea – Estação Hidrométrica 1 – Mazurek, entre os dias 21 e 23/10/2015 (Fonte: <a href="http://ana.vector.com.br">http://ana.vector.com.br</a> ).....	169
Figura C.16 – Estação 1 – Mazurek: Medição de vazão utilizando ultrassônico por tempo de trânsito, em 2 de julho de 2015 – vazão média: 157,1 m <sup>3</sup> /h .....	170
Figura C.17 – Estação 1 – Mazurek: Display do eletromagnético de carretel instalado na tubulação (acima, à esq.), retirado em ago/2014 para conserto (abaixo, à esq.) e reinstalado no painel (à direita) .....	171
Figura C.18 – Gráfico dos dados de vazão instantânea – Estação Hidrométrica 1 – Mazurek, entre os dias 1º e 10/06/2014 (Fonte: <a href="http://ana.vector.com.br">http://ana.vector.com.br</a> ) .....	172
Figura C.19 – Estação 1 – Mazurek: Display do eletromagnético sem proteção (esq.) e com chapa de alumínio protegendo contra intempéries (dir.) .....	173
Figura C.20 – Gráfico dos dados de vazão instantânea – Estação Hidrométrica 2 – Areal, entre os dias 16 e 20/12/2013 (Fonte: <a href="http://ana.vector.com.br">http://ana.vector.com.br</a> ) .....	174
Figura C.21 – Estação 2 – Areal: equipamentos sem proteção (esq. – contorno em branco) e com proteção de chapa de alumínio (dir. – contorno em amarelo) .....	175
Figura C.22 – Estação 2 – Areal: retirada e limpeza do medidor de inserção .....	176

Figura C.23 – Estação 2 – Areal: Gráfico da vazão instantânea x tempo, entre os dias 25/02 a 03/03/2015, com detalhe da chave de fluxo estar ligada de forma contínua (linha em preto). Fonte: <a href="http://ana.vector.com.br">http://ana.vector.com.br</a> .....	177
Figura C.24 – Gráfico dos dados de vazão instantânea – Estação Hidrométrica 3 – Magela, entre os dias 13 e 18/10/2015 (Fonte: <a href="http://ana.vector.com.br">http://ana.vector.com.br</a> ).....	178
Figura C.25 – Estação 3 – Magela: detalhe da válvula de pressão instalada no final, para diminuição da vazão, para envio de água às estufas mais próximas.....	179
Figura C.26 – Estação 3 – Magela: limpeza de filtro de disco (esq.).....	180
Figura C.27 – Gráfico dos dados de vazão instantânea – Estação Hidrométrica 4 – CAESB, entre os dias 1º e 5/11/2013 (Fonte: <a href="http://ana.vector.com.br">http://ana.vector.com.br</a> ) .....	181
Figura C.28 – Gráfico dos dados de vazão instantânea do ultrassônico por tempo de trânsito – Estação 4 – CAESB, entre os dias 28/09 e 02/10/2015 (Fonte: <a href="http://ana.vector.com.br">http://ana.vector.com.br</a> ) .....	182
Figura C.29 – Planilha com leituras de vazão instantânea do medidor eletromagnético carretel instalado na ETA Pipiripau – mês outubro de 2015 (Fonte: CAESB).....	183
Figura C.30 – Gráfico dos dados de volume totalizado – Estação Hidrométrica 4 – CAESB, entre os dias 1º e 30/11/2013 (Fonte: <a href="http://ana.vector.com.br">http://ana.vector.com.br</a> ) .....	183
Figura C.31 – Gráfico dos dados de vazão instantânea – Estação Hidrométrica 5 – Santos Dumont, entre os dias 1º e 17/12/2013 (Fonte: <a href="http://ana.vector.com.br">http://ana.vector.com.br</a> ) .....	185
Figura C.32 – Medição de vazão no canal Santos Dumont utilizando medidor ultrassônico doppler denominado Flowtracker, em 21/02/2014 (relatório de medição à direita).....	186
Figura C.33 – Calha Parshall com maior nível d’água nos dois anos de operação, em 19 de fevereiro de 2015, sem afogamento .....	187
Figura C.34 – Localização de instalação dos equipamentos no canal Santos Dumont.....	188
Figura C.35 – Vazamentos em juntas de dilatação entre a calha Parshall e o vertedouro .....	189
Figura C.36 – Vertedouro em regime de operação normal (esq.), em 23/10/2015, e vertedouro afogado na 2ª quinzena de fevereiro de 2015 (dir.), foto tirada em 19/02/2015 .....	189
Figura C.37 – Vertedouro sem a crista de alumínio (esq.), e com a crista reinstalada (dir.) .....	189
Figura C.38 – Gráfico comparativo de medições do vertedouro com a calha Parshall, em julho de 2015. Círculo azul: retirada da chapa; círculo laranja: reinstalação da chapa. (Fonte: <a href="http://ana.vector.com.br">http://ana.vector.com.br</a> ) .....	190

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1– Casos hipotéticos de disponibilidade hídrica em trechos de rio .....	19
Tabela 3.2- Critérios de outorga de direito de uso da água em alguns Estados brasileiros (Benetti <i>et al.</i> , 2003).....	28
Tabela 3.3– Média de preços de hidrômetros Woltmann.....	36
Tabela 3.4– Média de preços de eletromagnéticos de carretel a bateria .....	37
Tabela 5.1 - Exigência para os usuários outorgados, para cada um dos três estágios de classificação quanto ao uso de recursos hídricos.....	85
Tabela 5.2 – Definição dos índices relativos para classificação dos três estágios .....	92
Tabela 5.3– trechos da sub-bacia do Alto São Francisco (Estado de Minas Gerais) .....	101
Tabela 5.4– trechos da sub-bacia do Médio São Francisco.....	102
Tabela 5.5– trechos da sub-bacia do Médio, Submédio e Baixo São Francisco .....	105
Tabela 5.6 – Classificação dos pontos de interferência do trecho 1 – nascente do Rio São Francisco, da confluência com o rio Samburá até o Reservatório de 3 Marias.....	111
Tabela 5.7 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 9 trechos de menor porte – Cenário 1 .....	114
Tabela 5.8 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 18 trechos de maior porte – Cenário 1 .....	114
Tabela 5.9 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 9 trechos de menor porte – Cenário 2 .....	118
Tabela 5.10 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 18 trechos de maior porte – Cenário 2 .....	118
Tabela 5.11 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 9 trechos de menor porte – Cenário 3 .....	120
Tabela 5.12 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 18 trechos de maior porte – Cenário 3 .....	120
Tabela 5.13 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 9 trechos de menor porte – Cenário 4 .....	122
Tabela 5.14 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 18 trechos de maior porte – Cenário 4 .....	122
Tabela 5.15 – Distribuição do número de pontos de interferência nos três estágios de exigência quanto ao monitoramento – Cenário 4.....	123

Tabela 5.16 – Distribuição das vazões outorgadas nos três estágios de exigência quanto ao monitoramento – Cenário 4 .....	124
Tabela C.1 – Comparação entre medições de vazão no canal Santos Dumont.....	186
Tabela D.1 – Tabela resumo dos equipamentos de medição de vazão para condutos forçados (tubulação sob pressão).....	191
Tabela D.2 – Tabela resumo dos equipamentos de medição de vazão para superfície livre (canais abertos).....	195
Tabela D.3 – Tabela resumo dos dispositivos acumuladores de tempo.....	197

# 1 INTRODUÇÃO

A palavra hidráulica significa “condução de água”, formada do grego *hydor* (água) e *aulos* (tubo, condução). De uma maneira geral, a hidráulica compreende o estudo do comportamento da água e de outros líquidos, quer em repouso, quer em movimento (Azevedo Netto *et al.*, 2002).

As aplicações da Hidráulica estão ligadas a diversas áreas onde há utilização dos recursos hídricos. Na área urbana, destacam-se os sistemas de abastecimento de água, esgoto e drenagem pluvial, bem como as instalações prediais. Na área rural, a hidráulica está presente nos sistemas de irrigação e drenagem. A hidráulica também se faz presente nas atividades de navegação, geração de energia e defesa contra inundações.

Outra área de estudos fortemente relacionada aos recursos hídricos é a Hidrologia. De uma maneira geral, a Hidrologia pode ser entendida como o estudo da água sobre a terra, sua ocorrência, distribuição e circulação, bem como suas propriedades e efeitos sobre o meio ambiente e a vida. Em uma definição mais restrita, a hidrologia passou a ser o estudo da parte terrestre do ciclo hidrológico, mais especificamente da precipitação e do escoamento (Santos *et al.*, 2003).

Também há, na Hidrologia, diversas aplicações ligadas às áreas de projetos de recursos hídricos, desde as fases de planejamento e construção, até a operação e manutenção de reservatórios, usinas hidrelétricas, projetos de aquicultura, irrigação, navegação, indústria e abastecimento humano. Objetiva-se, com a Hidrologia, a observação, a medição, o processamento e a previsão de dados relacionados à ocorrência e à circulação da água.

Há uma atividade em comum que perpassa pela Hidráulica e pela Hidrologia: a Hidrometria. Na Hidráulica, Azevedo Netto *et al.* (2002) afirmam que a Hidrometria é a área responsável pela medida de variáveis como profundidade, variação no nível da água, seções de escoamento, pressões, velocidades e vazões ou descargas. Já Santos *et al.* (2003) destacam que a Hidrometria é a responsável pela medição das variáveis hidrológicas (precipitação, evapotranspiração, vazão e armazenamento).

A primeira ideia que vem à mente, quando se fala em medir a variação de nível ou a vazão, é a medição em um rio. Na área da Hidrologia, os dados das medições de chuvas (pluviometria), níveis e vazões em campo, possibilitam a aplicação dos modelos matemáticos que permitem estimar as futuras chuvas e/ou vazões, aos eventos raros (estiagens e cheias) e quantificar as possibilidades do aproveitamento dos recursos hídricos.

Sendo assim, a hidrometria tem papel fundamental para o conhecimento e a previsão do regime de vazões de um determinado corpo d'água, a fim de que se possa planejar a quantidade de água disponível a ser ofertada. Isso porque a água doce tem-se tornado um recurso escasso para atender certas regiões, devido ao aumento populacional, à deterioração da qualidade e à diminuição da quantidade da água pelos impactos das atividades humanas sobre os recursos ambientais. Por isso, a gestão do uso da água e sua conservação são uns dos principais desafios do desenvolvimento sustentável (Carolo, 2007).

Sabendo que no Brasil a água é um bem público e que cabe ao Estado definir o ordenamento de sua utilização, a hidrometria é uma ferramenta importante para a base de dados de cada órgão gestor de recursos hídricos definir a quantidade de água que pode ser ofertada em determinado corpo d'água. Tendo a análise de disponibilidade hídrica em mãos, seu uso é permitido mediante a emissão da outorga de direito do uso da água, havendo, contudo, usos considerados insignificantes (definidos em leis, portarias e resoluções), que independem de outorga.

Carolo (2007) define a outorga como um instrumento de comando e controle, por meio do qual o Poder Público autoriza o uso da água em condições e prazos pré-estabelecidos. A outorga pode ser utilizada na mitigação ou na solução de conflitos pelo acesso à água, tendo em vista o uso múltiplo desse recurso natural.

Ora, diversos podem ser os usuários outorgados responsáveis pela demanda por água disponível, com diferentes finalidades de uso, como abastecimento humano e industrial, lançamento e dispersão de efluentes domésticos e industriais, geração de energia elétrica, irrigação, pecuária, aquicultura, mineração, dentre outros. Aliado a esses usos, deve ser ainda considerada a parcela de água referente à demanda ecológica. Se há monitoramento e controle do Poder Público da quantidade de água em determinado corpo d'água ofertada e disponível para uso, quem controla o outro lado, ou seja, a água retirada do rio pelos usuários?

Para resposta a esse questionamento, surge uma parte da hidrometria, ligada à área da hidráulica, responsável pela medição de vazões em tubos (condutos forçados) e calhas ou canais (superfície livre) para averiguação das reais vazões utilizadas pelos usuários outorgados.

Os equipamentos de medição de vazão de tubos e canais existentes no mercado são normalmente utilizados pelos usuários para um controle interno da quantidade de água de sua produção. Como exemplo, verifica-se a importância de conhecer a quantidade de água para a produção de um determinado bem, quando a mesma é um insumo numa área industrial. Outro caso é o de saber a quantidade de água retirada para tratamento e utilização de químicos, na área de abastecimento público. Também, na irrigação, é importante a medição de água para auxiliar a maximização da produtividade de certa plantação.

Cabe aqui comentar a possibilidade de se estimar o consumo de água de forma indireta, relacionando a produção do bem com a necessidade de água. Esse é justamente o cálculo que o Poder Público utiliza para determinação da vazão outorgada. Como exemplo, na indústria de açúcar e álcool, o consumo médio é de 10m<sup>3</sup> de água para cada tonelada de cana esmagada. Entretanto, esse consumo pode variar de 2 a 20m<sup>3</sup> de água/ton. de cana, dependendo do tipo de usina, do percentual de produção de açúcar e álcool, da tecnologia de produção e do reuso da água (Almeida, 2009). Em outras palavras, no exemplo da indústria sucroalcooleira, a variação do consumo de água chega a ser de 10 vezes entre as usinas de menor consumo, para as de maior consumo.

A medição de forma indireta representa um indicativo de consumo, podendo ter uma grande variabilidade em termos de conhecer o quantitativo de água necessário para a produção de um determinado bem. Sendo assim, não pertence ao escopo do presente projeto, que está focado no real consumo da água, encontrado por meio da medição na forma direta, utilizando equipamentos de medição de vazão de água bruta.

No entanto, antes de se pensar na instalação de equipamentos para saber o quantitativo de água e, assim, chegar à demanda pelo uso da mesma, surge um questionamento anterior: é realmente necessário medir? Alternativamente, um simples controle ou monitoramento por parte dos usuários não é suficiente para o gerenciamento dos recursos hídricos?

Pelo desenvolvimento deste trabalho, verifica-se que o controle das vazões por parte dos usuários outorgados depende de uma série de condições, como a localização e a condição individual ou coletiva dos usos, que levam à necessidade ou não da medição de vazões e, sendo necessário medir, quais tipos de equipamentos seriam recomendados.

Para controle e monitoramento de vazões outorgadas, desenvolveu-se uma metodologia para classificar as vazões em níveis gradativos de exigência quanto ao monitoramento, indo desde a simples declaração da capacidade instalada para captação ou lançamento, até a necessidade de instalar equipamento de medição e de informação do volume de água demandado ao órgão gestor outorgante.

Para verificar a aplicabilidade desta metodologia, foi utilizado como estudo de caso a bacia do rio São Francisco, tendo sido dada em 27 trechos de rio e reservatórios de domínio da União, com condições de demanda e disponibilidade hídrica diversas

O presente trabalho apresenta a seguinte estrutura:

No Capítulo 2, são apresentados os objetivos geral e específicos.

O referencial teórico está contido no Capítulo 3. Esse capítulo é dividido em quatro partes, a primeira delas trata das bases conceituais do uso de recursos hídricos e monitoramento, com ênfase na parte legal do assunto. A segunda relata a necessidade da medição de vazão e as variáveis que influenciam na demanda pelo uso de recursos hídricos. Em sequência, na terceira parte são descritos os principais equipamentos de medição de vazão existentes no mercado, demonstrando o princípio de funcionamento, a aplicabilidade, a necessidade de manutenção e a precisão de medida de cada um. Na última parte são apresentados os conceitos relacionados ao sistema de apoio à decisão, com ênfase àqueles que tratam de outorga de direito do uso de recursos hídricos.

O Capítulo 4 traz a metodologia do trabalho, com as atividades a serem desenvolvidas.

No Capítulo 5, apresentam-se os resultados, tendo sido dividido em quatro partes. Inicialmente, definem-se quais equipamentos de medição de vazão são mais adequados para instalação, dependendo do tipo de uso, sendo tubulação fechada (condutos forçados) ou superfície

livre (canais abertos). Em seguida, é elaborada uma sistematização de procedimentos para que se possa estabelecer um nível de importância para as vazões outorgadas, classificando-as em diferentes níveis de monitoramento em uma determinada bacia. Depois, realiza-se uma verificação dos procedimentos com dados reais de vazões outorgadas na bacia do rio São Francisco, como estudo de caso. Finalmente, elabora-se um fluxograma com os resultados do estudo de caso, de forma a possibilitar a construção de um sistema de suporte à decisão para controle de vazões outorgadas.

O Capítulo 6 contém as conclusões e as recomendações desta dissertação.

Como complementação no que se refere aos equipamentos de medição de vazão, apresenta-se em Apêndice uma etapa experimental do trabalho, que consiste na aquisição, instalação e funcionamento de diversos equipamentos de medição constantes de um projeto-piloto na bacia do ribeirão Pipiripau, com vistas a recomendação de equipamentos adequados para medição de vazão em canais livres e condutos forçados.

## **2 OBJETIVO**

### **OBJETIVO GERAL:**

- Desenvolver procedimentos de classificação de vazões outorgadas, em níveis diferenciados, de forma a estabelecer alternativas de monitoramento.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Elaborar uma metodologia para o monitoramento e medição das vazões outorgadas aos usuários de recursos hídricos de uma bacia, pela criação de indicadores que definem a significância dessas vazões.
- Testar a metodologia desenvolvida nos corpos hídricos de domínio da União da bacia do rio São Francisco, verificando as condições de monitoramento estipuladas aos usuários outorgados na referida bacia.
- Avaliar processos de medição de vazão para recomendação de equipamentos a serem instalados em tubulações fechadas e canais abertos.

### **3 REVISÃO TEÓRICA E BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 O USO DE RECURSOS HÍDRICOS E SEU MONITORAMENTO**

Em nosso país, a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, preconizada pela lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, baseia-se em fundamentos de que a água é um bem de domínio público, sendo um recurso natural limitado e dotado de valor econômico (Brasil, 1997). O domínio público da água advém da Constituição da República Federativa do Brasil - CF, de 1988, preconizando nos Arts. 20, III e 26, I que as águas superficiais de lagos e rios e as subterrâneas constituem bens da União e dos Estados (Brasil, 1998).

No que diz respeito a ser um recurso limitado, os diversos usos da água – abastecimento humano, dessedentação animal, irrigação, indústria, geração de energia elétrica, aquicultura, navegação, lazer, etc. – podem ser concorrentes numa determinada região ou bacia. Há, portanto, uma necessidade de geri-los de modo a atender às demandas presentes e futuras de água (Silva e Monteiro, 2004).

O Poder Público, estadual ou federal, tem a responsabilidade por regular o uso dos recursos hídricos, ou seja, autorizar e verificar o uso de qualquer intervenção num corpo de água. Essa autorização, denominada de outorga de direito de uso de recursos hídricos, é um dos instrumentos criados pela PNRH. A outorga é um ato administrativo do Poder Público outorgante (União, Estados ou Distrito Federal), que faculta ao outorgado (usuário da água) o uso de recurso hídrico, em condições expressas no respectivo ato e por prazo determinado.

Cabe aqui um parêntesis para definir o domínio das águas: segundo a CF1988, as águas de domínio da União são aquelas que banham mais de um estado da Federação, fazem fronteira entre estados nacionais e com outros países. Também estão nessa condição as águas acumuladas em represas construídas com aporte de recursos da União e o Mar Territorial brasileiro, incluindo baías, enseadas e estuários, além das águas que cruzam território de domínio da União (Brasil, 1988). Dessa forma, são exemplos de mananciais cujas águas são de domínio da União: rio Paraná (Brasil, Paraguai e Argentina) e rio Paraíba do Sul (São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro). Por outro lado, são de domínio dos estados e do Distrito Federal as

águas de rios e lagos que se encontram apenas em seus limites, bem como as águas subterâneas. São exemplos: Rio Tietê (São Paulo), Lagoa dos Patos (Rio Grande do Sul) e Rio das Velhas (Minas Gerais).

Em relação ao poder outorgante, de acordo com a Lei 9984, de 19 de dezembro de 2000, a Agência Nacional de Águas - ANA tem a competência de outorgar o direito do uso dos recursos hídricos dos corpos de água de domínio da União (Brasil, 2000a). Em contrapartida, cada estado da Federação possui um órgão gestor responsável pela outorga de direito dos recursos hídricos pertencentes a seu estado.

### **3.1.1 O monitoramento dos recursos hídricos no âmbito legal brasileiro**

Segundo o Art. 11 da Lei 9.433/97, um dos objetivos em relação ao regime de outorga é a necessidade de que seja assegurado um controle quantitativo e qualitativo dos usos da água (Brasil, 1997). Entende-se que tal controle quantitativo das vazões captadas e lançadas significa mais que permitir o uso de determinada quantidade de água (seja para captação da água bruta, seja para diluição de efluentes lançados) por meio do ato da outorga: envolve também o efetivo controle do cumprimento dessas outorgas.

E tal controle deve ser feito, tanto que a Lei 9.433, estabelece, em seu art. 49, como infrações de normas de utilização de recursos hídricos: “utilizar-se dos recursos hídricos ou executar obras ou serviços relacionados com os mesmos em desacordo com as condições estabelecidas na outorga” no inciso IV, além de “fraudar as medições dos volumes de água utilizados ou declarar valores diferentes dos medidos” no inciso VI (Brasil, 1997). Embora a referida Lei não cite, explicitamente, a medição dos volumes utilizados, ao considerar infração a sua fraude ou falsa informação, pressupõe, assim, que tais medições devam ou possam ser realizadas.

O primeiro comando legal relacionado ao monitoramento de vazão de uso de recursos hídricos adveio com a publicação pelo Ministério do Meio Ambiente, então responsável pela outorga de uso de recursos hídricos de domínio da União, da Instrução Normativa n° 4, de 21 de junho de 2000 (Brasil, 2000b), que estabeleceu:

*Art. 44. O outorgado deverá implantar e manter em funcionamento equipamentos de medição para monitoramento contínuo da vazão captada e lançada.*

Posteriormente, a Resolução nº 16 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH, de 8 de maio de 2001, delibera sobre os critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos (Brasil, 2001), determinando:

*Art. 31. “O outorgado deverá implantar e manter o monitoramento da vazão captada e/ou lançada e da qualidade do efluente, encaminhando à autoridade outorgante os dados observados ou medidos na forma preconizada no ato da outorga”.*

### 3.1.1.1 Exigências da ANA quanto ao monitoramento e medição

No âmbito da ANA, a partir da Resolução de Outorga ANA nº 123, de 1º de setembro de 2002, as outorgas de direito de uso de recursos hídricos constam da seguinte exigência: *“O Outorgado deverá implantar e manter em funcionamento equipamentos de medição para monitoramento contínuo da vazão captada”* (Brasil, 2002). Sendo assim, a ANA adota uma exigência mais restritiva que a Resolução nº 16 do CNRH, uma vez que estabelece a implantação de equipamento de medição ao usuário, não somente monitoramento da vazão.

Complementarmente, em relação ao encaminhamento de dados medidos, também preconizados na Resolução nº 16 do CNRH, a Agência publica a Resolução nº 425/2004, onde estabelece a obrigatoriedade da instalação de sistema de medição (mais complexo e dispendioso) e do encaminhamento de uma Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos – DAURH à ANA, contendo uma totalização mensal dos volumes medidos. De acordo com o inciso III do art. 2º da referida Resolução, considera-se “sistema de medição” o conjunto de instalações, equipamentos, acessórios, instrumentos e dispositivos que registra e permite o monitoramento dos volumes retirados e lançados em um corpo hídrico (Brasil, 2004a).

A Resolução nº 425/2004, foi revisada e atualizada pela Resolução nº 782/2009, em que a exigência do envio de informações fica restrita a usuários localizados em bacias críticas (constantes do Anexo I dessa Resolução) e com vazão de captação e/ou lançamento superiores a certo valor de vazão, dependendo da finalidade do uso. Exemplificando, em empreendimentos com as finalidades de indústria e de saneamento, o usuário cuja outorga prevê um valor de vazão captada superior a 20 l/s, ou lançada superior a 15 l/s, deve enviar à ANA os volumes mensais utilizados (Brasil, 2009).

Em 2015, a Agência publicou a Resolução ANA n° 603, de 26 de maio, atualizando a Resolução 782/2009 e estabelecendo um conceito mais abrangente de monitoramento dos usos outorgados que devem preencher a Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos – DAURH e enviar à ANA (Brasil, 2015a). No Art. 4º da Resolução, a ANA define como monitoramento:

- I. O registro dos volumes de captação e/ou lançamento obtidos através de medição de pelo menos um dos seguintes parâmetros: velocidade do fluxo, vazão, volume ou nível d'água;
- II. O registro dos volumes de captação e/ou lançamento obtidos através de medições indiretas ou estimativas, desde que haja aferição do tempo de funcionamento do sistema, ou consumo de energia;
- III. O registro de dados obtidos por meio da análise de um ou mais dos seguintes parâmetros de qualidade do efluente: Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO, temperatura, nitrogênio e/ou fósforo.

A Agência ainda estabelece que os equipamentos a serem instalados pelos usuários outorgados, bem como as estimativas realizadas por estes, devem apresentar dados coerentes. Além disso, que deverá ser considerado o tipo e o porte do empreendimento para adequação dos sistemas de monitoramento, e que estes estarão sujeitos à avaliação da Agência.

Ainda em 2015, foi publicada a Resolução 632, definindo limites a serem observados temporariamente em algumas bacias de domínio da União, para obrigatoriedade de monitoramento e envio da Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos – DAURH (Brasil, 2015b). Em seguida, foram publicadas as Resoluções de n° 126, 127, 128, 129, 130 e 131/2016, para as bacias dos rios Doce, Preto, Bezerra, Quaraí, São Francisco, São Marcos e Verde Grande, respectivamente, estabelecendo vazões mínimas as quais devem ser monitorados os volumes outorgados e enviada a DAURH (Brasil, 2016).

Conseqüentemente, há uma preocupação da Agência em conhecer o volume de água utilizado pelos usuários outorgados, diferenciando os usos por bacia depende da bacia e porte do usuário. Mais que isso, percebe-se que há uma evolução no que diz respeito ao refinamento da atividade de fiscalização do uso de recursos hídricos, no que tange à definição de vazões específicas por bacia, a partir das quais os usuários outorgados são obrigados ao envio de informações.

Entretanto, cabe aqui tecer uma crítica a respeito das obrigações impostas pela ANA: não há clareza nem critérios para definição do tipo de exigência quanto ao monitoramento que o usuário outorgado deve adotar. Num primeiro momento, a partir de 2003, a Agência estabelece que todos usuários por ela outorgados instalem equipamentos de medição de vazão. Depois, a partir da Resolução de 603/2015, diminui as restrições de exigência, e estabelece que os usuários mais significativos, diferenciados por consumo e por bacia, devem realizar monitoramento, que pode ser instalação de equipamento, ou até mesmo verificação indireta por consumo de energia.

Complementando, a Agência informa que o tipo de monitoramento a ser instalado deve ser avaliado, mas não detalha como, nem quem deve instalar. Pelo constatado, exige-se demais num primeiro momento, em 2003, e diminui-se o nível de exigência noutra momento posterior, em 2015, mas não se deixa claro como as outorgas devem atender às demandas relativas ao monitoramento.

### 3.1.1.2 Exigências dos órgãos gestores de recursos hídricos estaduais

Os órgãos gestores estaduais de recursos hídricos, em suas respectivas leis, decretos, portarias e resoluções, estabelecem distintas exigências quanto ao monitoramento da vazão utilizada pelos usuários outorgados, conforme se pode observar no Apêndice A desta dissertação. As exigências legais dos órgãos estaduais são resumidas a seguir:

- Não foi constatada exigência legal: AC, AP, ES, MA, MS, PB e PE (7 Estados);
- Monitorar a vazão ou instalar equipamento de medição: AL, CE, DF, MG, PA, RJ, RN, RR, RS, SC, SP (10 Estados + DF);
- Instalar equipamentos de medição e enviar dados ao órgão outorgante: AM, BA, GO, MT, PI, PR, RO, SE, TO (9 Estados).

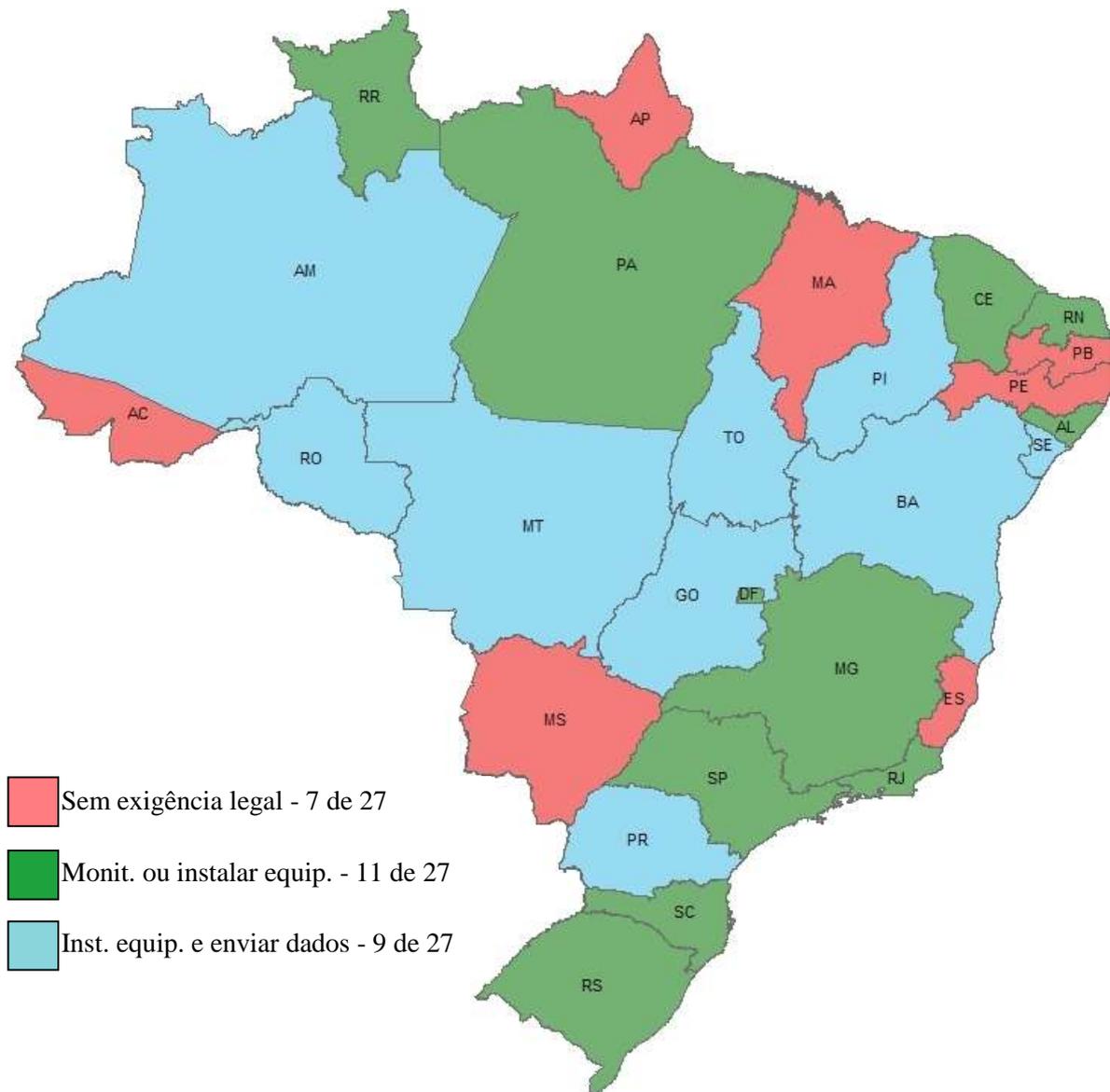


Figura 3.1 – Mapa de classificação das Unidades Federativas do Brasil quanto às exigências legais para monitoramento dos usos outorgados

Conforme pode ser observado pela figura acima, a maioria dos Estados, com destaque em verde e azul, possui exigência legal de, no mínimo, instalação de equipamentos hidrométricos ou monitoramento da vazão. Apesar de existirem essas obrigações em lei, alguns Estados, na prática, sequer implantaram efetivamente o instrumento da outorga de direito de uso de recursos hídricos. Exemplificando: segundo levantamento feito por Couceiro e Hamada (2011), nem todos os Estados da região Norte do Brasil realizam, de fato, a outorga de direito de uso. Além do mais, aqueles que implementaram esse instrumento, o realizam como um processo puramente burocrático, cartorial, sem que haja fiscalização e controle do uso.

Em contrapartida, outros Estados já estão bastante avançados na questão do controle dos usos outorgados. O Ceará, pela falta de disponibilidade hídrica em seus mananciais, é o mais avançado deles, uma vez que essa unidade federativa já realiza a cobrança da água bruta, além da outorga. De acordo com o Decreto Estadual 30.629, de 19 de agosto de 2011, os usuários outorgados devem instalar hidrômetro volumétrico, aferido e lacrado por fiscais da Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará – COGERH (órgão gestor estadual de recursos hídricos), ou realizar medições frequentes de vazões, onde seja inapropriada a instalação de hidrômetros convencionais. Podem também fazer estimativas indiretas de consumo, considerando uma série de fatores, como as dimensões das instalações dos usuários, os diâmetros das tubulações, a carga manométrica da adução, etc. (Ceará, 2011).

No DF, a Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal - ADASA determina, na Resolução nº 350/2006, que o outorgado realize medições diárias de vazão e faça envio das informações mensalmente à ADASA. Além disso, obriga que a medição em poços deva ser feita por hidrômetro e, nos demais usos, pode ser utilizado sistema de medição de vazão compatível ou dispositivo para medição do nível de água (Distrito Federal, 2006).

O Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM, pela Portaria nº 49/2010, determina aos usuários outorgados pelo Estado de Minas Gerais a instalação de equipamento de medição de vazão, tais como vertedouros, hidrômetros e outros, ou a instalação de equipamentos medidores de tempo de uso, tais como horímetros, dependendo da exigência estabelecida na outorga (Minas Gerais, 2010).

Já a Bahia segue a mesma linha adotada da ANA: exige que certos usuários, acima de um limite estabelecido na Instrução Normativa Ingá nº 08-A/2009, devem instalar, operar e manter seu sistema de medição, e transmitir ao Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) a relação dos volumes medidos a cada mês (Bahia, 2010).

Em suma, de todas as unidades federativas brasileiras, três delas (CE, MG e DF) apresentam em sua legislação uma definição dos equipamentos de medição de vazão a serem utilizados. Entretanto, são bastantes vagas no sentido de permitirem qualquer sistema de medição, seja direto, por utilização de hidrômetros, seja indireto, por uso de horímetros ou estimativas de vazão.

De qualquer forma, cristaliza-se assim o conceito que o usuário de recursos hídricos outorgado pela ANA e pela maioria dos órgãos gestores estaduais deve (no sentido de ter a obrigação de) monitorar a vazão que utiliza por meio de equipamentos de medição. Em alguns Estados e na ANA, além da necessidade de medição, há obrigação do envio dos dados medidos ao órgão gestor de recursos hídricos para controle e monitoramento.

### **3.1.2 Dificuldades para normatização do monitoramento**

Conforme visto anteriormente, nas outorgas de direito de uso emitidas pela maioria dos órgãos gestores de recursos hídricos estaduais brasileiros e pela ANA, há uma obrigatoriedade imposta aos usuários para medição das vazões efetivamente captadas ou lançadas. Em alguns casos, há a necessidade de encaminhar os dados de medição, dependendo do ato estabelecido na outorga, do porte do usuário ou da bacia onde se localiza, de acordo com o estabelecido em cada legislação. Entretanto, apesar dessas exigências, somente CE, MG e DF regulamentam, de forma geral e sem aprofundamento da questão, quais tipos de medidores devem ser instalados pelos usuários.

Tal fato se deve à complexidade do tema, uma vez que, para que a fiscalização desses órgãos gestores possa de fato exercer o papel de controle dos usos outorgados, é essencial que os valores dos volumes declarados pelos usuários outorgados tenham confiabilidade. Em outras palavras, é necessária uma definição da adequabilidade na instalação, operação e manutenção dos equipamentos e sistemas de medição de vazão de água bruta instalados pelos usuários.

Exemplificando essa dificuldade de definição de equipamentos e de sistemas de medição, as seguintes variáveis podem influenciar nos resultados dos volumes de água apropriados pelos usuários, dependendo da escolha dos tipos a serem instalados:

- Em relação à forma de adução da água: pela Mecânica dos Fluidos, conforme Streeter (1977), a água pode ser aduzida por tubulação fechada (condutos sobre pressão) ou por superfície livre (canais e calhas). Para cada um desses tipos, existem equipamentos específicos para medição de água;
- Em relação à forma de medição: há equipamentos que medem a velocidade ( $v$ ), e multiplicando pela área da seção ( $A$ ) fornecem a vazão do sistema ( $Q = v \times A$ ). Esses equipamentos podem possuir (ou não) registradores para acumulação dos dados ao

longo do tempo (t), realizando assim apropriação do volume (V) de água utilizado ( $V = Q \times t$ ). Há também equipamentos que relacionam altura de lâmina d'água (H) à vazão por fórmulas do tipo  $Q = a \times H^b$ , sendo “a” e “b” constantes. Há também registradores de tempo, que medem tão somente o período de funcionamento da captação de água;

- Em relação ao tipo de água (bruta ou tratada): Os hidrômetros, equipamentos de medição mais conhecidos, são fabricados para medir a água tratada que chega às residências. Há equipamentos apropriados para medição de água tratada, mas para medição de água bruta não são recomendados, pois as impurezas da água podem comprometer a medição ao longo do tempo (Ex: hidrômetros e pressão diferencial com tubo Pitot). Existem também equipamentos adequados para medição somente da água bruta, pois, na verdade, medem a velocidade das partículas sólidas presentes no fluxo. Finalmente, há equipamentos que podem ser utilizados para medição tanto da água bruta como da tratada;
- Em relação ao preço dos equipamentos: dependendo da precisão, tecnologia envolvida e diâmetro da tubulação, a variação de preços para aquisição dos equipamentos é considerável. De acordo com pesquisas de mercado, os preços dos medidores variam desde R\$ 30 (horímetro mecânico) até R\$ 25.000 (ultrassônico por tempo de trânsito);
- Em relação à precisão de medida: a precisão significa o grau de refinamento com que uma operação é executada ou uma medida é indicada. Segundo Pinto (2003), existe variação na precisão de medida dos equipamentos entre 0,5% a 15%, dependendo da tecnologia adotada e forma de instalação;
- Em relação à forma de instalação: os equipamentos de medição podem apresentar valores discrepantes da realidade, se não forem instalados de forma adequada. Por isso, devem ser instalados segundo as instruções dos fabricantes.

Tendo em vista as variáveis apresentadas, para que haja eficiência no controle do uso de recursos hídricos outorgados pelo Poder Público, é premente a necessidade de se definirem, e de se mais bem conhecerem, os vários tipos de equipamentos de medição de vazão de água

bruta disponíveis no mercado, suas tecnologias, métodos de instalação e adequabilidade em relação à operação, à manutenção e ao registro dos dados de vazão e volume de água.

Complementarmente, nas diversas ações fiscalizatórias dos órgãos gestores de recursos hídricos, para averiguação dos cumprimentos das condições estabelecidas nas respectivas outorgas de direito de uso, verifica-se, em campo, que a grande maioria dos usuários não dispõe de equipamento de medição de vazão instalado. Não havendo legislação específica sobre o tema, a maior parte dos órgãos gestores, em suas atividades de fiscalização, flexibiliza a obrigatoriedade de instalação de equipamentos. E quando exige, como é o caso da fiscalização na ANA, depende da interpretação pessoal de um fiscal, e não de uma norma definida pela instituição.

Por outro lado, segundo informações obtidas junto à ANA e aos órgãos gestores dos Estados da BA, CE, MG e do DF, vários usuários outorgados entram em contato com as respectivas entidades outorgantes questionando qual equipamento devem instalar para cumprir as exigências estabelecidas na outorga, para atenderem aos padrões internacionais exigidos pelas normas ISO (International Organization for Standardization), por exemplo. À exceção do Ceará, que já tem um medidor volumétrico pré-estabelecido pela COGERH, as respostas da Agência e dos demais Estados são dadas de maneira informal pelos especialistas lotados na área de fiscalização, não havendo documento legal para respondê-los. Voltando ao Estado do Ceará, se o usuário outorgado quiser instalar qualquer outro tipo de medidor que não seja o pré-estabelecido pelo órgão gestor, passa pelo mesmo caso dos demais Estados, ou seja, não há norma legal que estabeleça qual medidor pode (ou não) ser instalado.

### **3.2 A NECESSIDADE DE MEDIÇÃO DE VAZÃO**

Conforme explanado anteriormente, a ANA e a maioria dos órgãos gestores de recursos hídricos estaduais exigem que os usuários outorgados devam implantar e manter em funcionamento *equipamentos de medição* para monitoramento contínuo da vazão utilizada. Em contrapartida, o CNRH, órgão máximo que abrange os recursos hídricos de domínio estadual e da União, exige que o outorgado deva implantar um *monitoramento* da vazão captada e/ou lançada e da qualidade do efluente. Em outras palavras, se um usuário preenche uma caderneta com as horas de utilização de uma bomba e conhece o valor nominal máximo de vazão

da bomba, monitora o volume utilizado e atende à exigência do CNRH, sem ter de necessariamente instalar equipamento de medição de vazão.

Antes de entrar no mérito de obrigar ou não o usuário outorgado a medir o volume outorgado, cabe evidenciar a diferenciação entre outorga e uso de recursos hídricos.

No ato da outorga, o órgão gestor de recursos hídricos autoriza um ou mais usuários a utilizar determinado volume de água, baseado nas informações de como o empreendimento irá funcionar. Nesse caso, utiliza-se um método indireto para o cálculo do consumo da água. Exemplificando, no caso da irrigação, essa estimativa é feita normalmente utilizando vários fatores, como o método adotado (aspersão, pivô, gotejamento, etc.), a precipitação e a evaporação na região, a área a ser irrigada, o tipo de cultura, dentre outros.

Já o uso de recursos hídricos é o real volume utilizado, podendo ser calculado de várias formas, como por medição de vazão feita por equipamento, acumulada a determinado tempo, ou por estimativa de volume considerando dados da bomba utilizada para captação, associada ao tempo de utilização da mesma.

Portanto, a vazão outorgada pode ser considerada um valor máximo a ser utilizado por meio de parâmetros indiretos, enquanto o uso de recursos hídricos é uma estimativa real do volume consumido.

Carolo (2007) afirma que a outorga é concedida pelo órgão gestor de recursos hídricos após avaliar a compatibilidade entre as demandas hídricas existentes e a disponibilidade hídrica (oferta) do corpo de água, levando em conta as finalidades do uso e os impactos causados nos recursos hídricos.

Sendo assim, no que tange ao órgão gestor para emissão de novas outorgas, considera-se a disponibilidade de água existente levando em conta os volumes já outorgados. No entanto, a realidade pode se apresentar bem diferente do mundo legal. Por exemplo: pode haver usuário outorgado que sequer utilize uma gota de água. Se ainda estiver na fase de planejamento e instalação de seu empreendimento, o usuário está amparado legalmente pela Resolução 16 do CNRH, de 2001, estabelecendo que qualquer usuário outorgado tem prazo de dois anos para início da implantação do empreendimento objeto da outorga (Brasil, 2001).

Complementando o exemplo acima, dependendo da bacia, em casos de escassez de água no trecho, o quantitativo outorgado pode ser realocado para outros usos, passado o período de dois anos da outorga. Infere-se, nessa situação em específico, uma especulação do empreendimento outorgado, vindo a obter vantagens futuras por possuir uma propriedade “com outorga”. Daí a importância de o órgão gestor conhecer o real uso, não somente àquele outorgado.

Ainda na linha de regiões com escassez hídrica, pode ser que o usuário solicite um valor outorgado inferior ao que realmente utiliza, valor esse que “passaria” pelo crivo de alocação de água determinado pelo órgão gestor ou comitê de bacia dessas regiões. Daí, é mais importante ainda o controle do uso, uma vez que essa água a mais realmente captada pelo usuário, e não prevista legalmente, não estará disponível para outros usuários a jusante.

Outro caso que pode ocorrer é o de um usuário solicitar um volume outorgado bem superior ao que realmente irá utilizar, com fim de conseguir um maior financiamento bancário. Nos empreendimentos de irrigação, por exemplo, onde um banco exija que o empreendedor apresente a outorga de direito de uso para liberação do financiamento para aquisição de maquinários, o empreendedor apresenta outorga com valor superior ao que realmente vai utilizar para receber o financiamento, e não implementa de fato o que foi planejado.

Do raciocínio traçado, delineiam duas importâncias para o órgão gestor em se conhecer o real uso da água em determinada região: saber se o volume outorgado para cada usuário está de acordo com a realidade do seu uso, de forma particular, e quanto das demandas hídricas naquela região corresponde ao total outorgado, de maneira geral.

Surgem então as seguintes questões: quando o usuário precisa medir o volume utilizado? E se precisa medir, qual deve ser o instrumento recomendado para realizar as leituras de vazão? Antes de responder essas perguntas, imaginem-se quatro situações hipotéticas, onde determinado usuário solicita outorga para captação de 1 l/s:

- 1º Caso: a disponibilidade hídrica de um trecho de rio (trecho A) corresponde a 1.000 l/s, não havendo outros usuários no trecho citado.
- 2º Caso: a disponibilidade hídrica de um trecho de rio (trecho B) corresponde a 100 l/s, não havendo outros usuários no trecho citado.

- 3º Caso: a disponibilidade hídrica de um trecho de rio (trecho C) também corresponde a 100 l/s, só que já existem outros usuários outorgados no trecho, totalizando 89 l/s de vazão outorgada. Acrescentando 1 l/s do novo pedido, tem-se 90 l/s de vazão autorizada para captação.
- 4º Caso: a disponibilidade hídrica de um trecho de rio (trecho D) corresponde a 10 l/s, não havendo outros usuários no trecho citado.

Em resumo, pode-se construir a seguinte tabela:

Tabela 3.1– Casos hipotéticos de disponibilidade hídrica em trechos de rio

Trecho do rio	Disponibilidade hídrica	Vazão já outorgada	Novo pedido de outorga	Total de uso no trecho	Comprometimento de uso no trecho (%)
Trecho A	1.000 l/s	--	1 l/s	1 l/s	0,1%
Trecho B	100 l/s	--	1 l/s	1 l/s	1,0%
Trecho C	100 l/s	89 l/s	1 l/s	90 l/s	90,0%
Trecho D	10 l/s	--	1 l/s	1 l/s	10,0%

A partir da tabela 3.1, verifica-se que não há outros usos nos trechos A, B e D, e o pedido de outorga de 1 l/s de um usuário nesses trechos irá ser influenciado pelo porte do rio. No trecho A, de maior porte, a captação de 1 l/s compromete 0,1% de uso; no trecho B, de porte intermediário entre A e D, compromete 1,0% do uso; e no trecho D, de menor porte, 10% do uso fica comprometido. Nesses três trechos, pode-se averiguar que, individualmente, há mais importância em se conhecer o real uso do usuário instalado no trecho D do que o no trecho B e do que no trecho A. Pode-se denominar essa influência como *comprometimento individual*.

Já fazendo uma comparação entre os trechos B e C percebe-se que a disponibilidade hídrica é a mesma, de 100 l/s. O que difere é que em B não há usos outorgados e que em C há 89 l/s outorgados; com a entrada do novo usuário serão 90 l/s. Tem-se aqui o caso de um *comprometimento coletivo* do trecho a ser analisado.

Seria necessária uma exigência de instalação de equipamento de medição de vazão no trecho A, ou mesmo no trecho B? Não seria razoável exigir somente que o usuário do possa monitorar sua vazão captada? Já no trecho C, que tem usos outorgados próximos à disponibilidade hídrica, não é pertinente a instalação de um equipamento de medição para conhecer o real

uso dos principais empreendimentos ali outorgados? Por fim, no trecho D, como determinado usuário já compromete o uso individualmente de forma significativa, não é interessante exigir a instalação de equipamento para melhor conhecimento do uso?

As respostas às perguntas anteriormente feitas passam por uma análise das variáveis que compõem um sistema de oferta e demanda de um corpo hídrico, e de como essas se relacionam para verificar a necessidade do controle de vazões. Apresenta-se, a seguir, a definição de cada uma dessas variáveis.

### **3.2.1 Tipo de interferência**

Em relação à captação, o usuário de recursos hídricos pode retirar a água de um corpo d'água de duas formas: por bombeamento ou por gravidade. No 1º caso, há utilização de energia para a retirada da água, pela utilização de motor movido a energia elétrica ou combustível (diesel), com trecho de tubulação fechada (conduto sob pressão). Já no 2º caso, a gravidade faz com que a água seja transportada a outro lugar dentro da propriedade do usuário, normalmente por um canal, denominado canal de chamada.

Independentemente da maneira como é captada, depois a água será aduzida (levada) à sua destinação final de duas formas: por tubulação fechada (condutos sobre pressão), aproveitando a energia do bombeamento, ou por superfície livre (canais e calhas).

Em relação ao lançamento, cabe primeiramente distinguir o lançamento pontual do difuso. Um lançamento é considerado pontual quando se restringe a um simples ponto, de modo que seja possível determinar a sua localização. Efluentes de Estações de Tratamento de Esgotos e descargas industriais são fontes pontuais. Já os lançamentos difusos caracterizam-se, por sua vez, por estarem distribuídos ao longo da superfície do solo, apresentando múltiplos pontos de descarga resultantes do escoamento em áreas urbanas e agrícolas (Souza *et al.*, 2009). Também são considerados lançamentos não pontuais aqueles que não apresentam um ponto de lançamento específico, sendo despejados ao longo das margens dos rios ou lagos (Meneses e Tucci, 2003).

Nesta dissertação, os lançamentos difusos não serão considerados, pois não há como precisar a localização do ponto e, portanto, não há como medir.

Sendo assim, considerando a tipologia dos lançamentos pontuais, normalmente o corpo d'água receptor está num nível mais baixo que o esgoto produzido (doméstico ou industrial), sendo conduzido pontualmente por um canal (superfície livre). Há também a possibilidade de os resíduos domésticos ou industriais serem conduzidos por tubulação fechada, até para evitarem o mau cheiro, sendo que essa tubulação normalmente não se encontra sob pressão, ou seja, comporta-se como um conduto livre.

Em relação ao tipo de interferência, o que importa é saber se, na captação, adução ou lançamento, como se dá a condução da água, seja por superfície livre ou por conduto forçado. Em resumo, tem-se:

$$\text{Ponto de interferência} \left\{ \begin{array}{l} \text{Captação} \left\{ \begin{array}{l} \text{Superfície livre} \\ \text{Conduto sob pressão} \end{array} \right. \\ \text{Lançamento pontual} \left\{ \begin{array}{l} \text{Superfície livre} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

### 3.2.2 Vazão outorgada ( $Q_{\text{outorga}}$ )

$Q_{\text{outorga}}$  é a vazão outorgada pelo órgão gestor de recursos hídricos, podendo ser de captação ou de lançamento. Diferentes valores podem ser considerados por determinado órgão gestor para deferir uma outorga de direito de uso, dependendo do tempo. Para melhor elucidação, toma-se como exemplo um irrigante que capta água bruta utilizando uma bomba com capacidade máxima de vazão prevista para 100 l/s, 12 horas/dia, 15 dias/mês. Com esses dados, podem ser definidos três tipos de vazão:

- Vazão máxima instantânea ( $Q_{\text{max}}$ ): corresponde ao valor de vazão da capacidade máxima instalada. No exemplo,  $Q_{\text{max}} = 100 \text{ l/s}$ .
- Vazão média diária ( $Q_{\text{med/dia}}$ ): é a vazão média captada ao longo do dia. Pelo exemplo, seria  $Q_{\text{med/dia}} = Q_{\text{max}} \times (12\text{horas/dia}/24\text{horas}) = 50 \text{ l/s}$ .
- Vazão média mensal ( $Q_{\text{med/mês}}$ ): é a vazão média captada ao longo do mês. Pelo exemplo, seria  $Q_{\text{med/mês}} = Q_{\text{med/dia}} \times (15\text{dias/mês}/30\text{dias}) = 25 \text{ l/s}$ .

Há, também, a questão da sazonalidade, que influencia em duas coisas: necessidade ou não de captação, dependendo do mês, e maior ou menor vazão captada, dependendo da demanda para produção.

Em termos de outorga, pode-se levar em conta o número de horas por dia de uso, e outorgar ao usuário uma vazão média diária. Dependendo da finalidade, com destaque para a irrigação, pode-se levar em conta também a sazonalidade, e outorgar a vazão média mensal (Bof *et al.*, 2009).

Assim, a vazão outorgada pode ser considerada como a máxima instantânea, a média diária ou a média mensal. O máximo valor outorgado seria então:

$$Q_{\text{máx\_outorga}} = Q_{\text{máx}} \geq Q_{\text{média\_diária}} \geq Q_{\text{média\_mensal}}$$

### 3.2.3 Vazão de captação ( $Q_{\text{captação}}$ )

Essa variável trata do volume de água do rio que o usuário de recursos hídricos vai se apropriar em termos quantitativos, dado um determinado período de tempo. Em outras palavras, é a vazão de captação retirada do corpo d'água para consumo próprio.

Entretanto, para dimensionamento da tubulação ou canal para adução da água bruta, deve-se levar em conta a  $Q_{\text{max}}$  vista no subitem acima, pois essa é a vazão capaz de retirar a água para o sistema, independentemente do tempo de funcionamento. Essa deve ser a vazão a ser considerada para aquisição e instalação do equipamento, se necessário. Dessa forma, para o presente trabalho, levando em conta que se considera o real uso, que pode ser superior ao outorgado, para definição quanto a uma possível instalação de equipamento de medição, a vazão de captação sempre será maior ou igual à outorgada ( $Q_{\text{captação}} \geq Q_{\text{outorga}}$ ). Explicitando melhor, a vazão de captação será equivalente à máxima instantânea constante no processo de cadastramento ou de outorga, e equivalente à capacidade de instalação do sistema. Assim:

$$Q_{\text{captação}} = Q_{\text{máx\_outorga}} = Q_{\text{máx}} \quad (3.1)$$

### 3.2.4 Vazão de diluição ( $Q_{\text{diluição}}$ )

O ponto de interferência pode ser de captação, conforme visto anteriormente, ou de lançamento. No 2º caso, considera-se a vazão de diluição de efluentes ( $Q_{\text{diluição}}$ ) como a parcela

referente ao aspecto qualitativo da água. No gerenciamento de recursos hídricos, há o princípio de permitir o lançamento no corpo hídrico de uma carga máxima de poluentes, de modo que, após diluição pelo trecho de rio ou corpo d'água receptor, a qualidade da água no referido corpo d'água permaneça satisfatória. Essa condição satisfatória deve ser estabelecida para cada parâmetro relacionado à qualidade da água (Cruz, 2001).

Salim *et al.* (2007) definem a vazão de diluição ( $Q_{\text{diluição}}$ ) como a parcela da vazão comprometida pela emissão de determinado despejo, de forma que, após o lançamento, a concentração de cada parâmetro de qualidade de água seja igual ou inferior à concentração permitida para o trecho do curso de água.

Cabe aqui distinguir, em termos legais e de autorização, o lançamento de efluentes e a vazão de diluição. No Brasil, o lançamento em si é passível de autorização do órgão ambiental. As características da outorga de direito de uso, definidas pelo órgão gestor de recursos hídricos, de fato, não autorizam o lançamento de efluentes, mas sim o uso da água para fins de diluição dos efluentes, apropriando-se de vazões disponíveis no corpo de água para tal finalidade. Sendo assim, cabe à outorga autorizar a utilização da água do corpo receptor para diluição de efluentes e ao licenciamento ambiental autorizar a atividade de lançamento (Garcia, 2011).

Quanto aos parâmetros a serem analisados na avaliação da outorga para diluição de efluentes, Salim *et al.* (2007) estabelecem que devam ser considerados os poluentes que representem impactos mais significativos na bacia, ou seja, aqueles que utilizam maior quantidade de água para o decaimento ou a diluição. A avaliação do pleito de outorga deve se concentrar nos poluentes de maior impacto, enquanto que o licenciamento tem de se preocupar com todos os poluentes que impactam os usos designados. Neves (2005) corrobora que cabe à outorga garantir a disponibilidade hídrica, sendo que o licenciamento, instrumento posterior à outorga, supõe que essa disponibilidade na bacia seja suficiente para transportar os poluentes lançados.

Outra questão a ser respondida na avaliação de pleitos de outorga consiste na escolha dos parâmetros de qualidade a serem adotados. Segundo Kelman (1997), como existem muitos parâmetros, pode-se fazer um balanço para cada um deles e considerar a demanda qualitativa

apenas a maior delas. Entretanto, o autor reconhece que, nesse tipo de abordagem, seria necessária a avaliação da disponibilidade hídrica para cada poluente, uma vez que nem todos os parâmetros seguem a mesma tendência.

Como o parâmetro adotado para análise dos pedidos de outorga nos órgãos gestores estaduais e na ANA é a Demanda bioquímica de Oxigênio – DBO, esse será o parâmetro a ser escolhido para cálculo da vazão de diluição nesta dissertação. Complementa-se aqui a escolha da DBO pelo fato desse parâmetro ser representativo de esgotos domésticos e um dos elementos mais presentes nos diferentes tipos de efluentes industriais.

Sendo assim, o cálculo para a vazão de diluição segue a fórmula proposta por Kelman (1997) e utilizada pelos órgãos gestores de recursos hídricos:

$$Q_{\text{diluição}} = Q_{\text{efluente}} \times \frac{(DBO_{\text{efluente}} - DBO_{\text{permitida}})}{DBO_{\text{permitida}} - DBO_{\text{natural}}} \quad (3.1)$$

Onde:

$Q_{\text{diluição}}$  = vazão de diluição de efluentes (em l/s ou m<sup>3</sup>/h);

$Q_{\text{efluente}}$  = vazão de lançamento do efluente doméstico ou industrial (em l/s ou m<sup>3</sup>/h);

$DBO_{\text{efluente}}$  = DBO tratada (ou não) do efluente doméstico ou industrial (em mg/l);

$DBO_{\text{permitida}}$  = DBO permitida para o corpo hídrico, dada pelo seu enquadramento; e

$DBO_{\text{natural}}$  = DBO do corpo hídrico, em suas condições naturais.

Vale observar que a vazão de lançamento do efluente a ser considerada no presente trabalho ( $Q_{\text{efluente}}$ ) também é igual ou superior à vazão outorgada ( $Q_{\text{efluente}} \geq Q_{\text{outorga}}$ ). Assim, a  $Q_{\text{efluente}}$  a ser considerada aqui é a capacidade instalada pelo sistema para lançamento do efluente, ou a vazão máxima instantânea ( $Q_{\text{efluente}} = Q_{\text{máx}}$ ), por ser a necessária para avaliar um possível tipo de equipamento a ser instalado para medição, conforme visto no subitem anterior.

Cabe observar que o valor da  $DBO_{\text{permitida}}$  pode variar para cada trecho de rio ou corpo d'água a ser analisado, e depende do enquadramento do referido parâmetro, visando o atendimento às metas estabelecidas e de acordo com classes de uso preconizadas na Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (Brasil, 2005). O enquadramento é definido pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos ou pelos Conselhos Estaduais, dependendo da dominialidade do corpo hídrico. Não havendo

resolução dessas entidades que definem o enquadramento do corpo hídrico, o mesmo é enquadrado pelos órgãos gestores estaduais como classe 2, com  $DBO_{\text{permitida}} = 5\text{mg/l}$ , conforme Resolução CONAMA 357/2005.

Pode-se outorgar uma DBO média do efluente tratado, que será menor ou igual à máxima medida ou estipulada no processo de outorga, a depender do tipo de efluente. Uma vez que para o presente trabalho se objetiva distinguir o real uso do uso outorgado, para estabelecimento de controle do referido uso, então também será considerada a  $DBO_{\text{efluente}}$  como o máximo instantâneo constante no processo de cadastro ou outorga, ou seja,  $DBO_{\text{efluente}} = DBO_{\text{máx\_instantânea}}$ .

Finalizando, a vazão de diluição aqui definida será sempre igual ou superior aos parâmetros médios outorgados:

$$Q_{\text{diluição}} = Q_{\text{máx\_outorga}} = Q_{\text{máx}} \quad (3.2)$$

### 3.2.5 Vazão indisponível ( $Q_{\text{indisp.}}$ )

Em termos qualitativos, a vazão da qual o usuário efetivamente se apodera para diluição de efluentes é denominada vazão indisponível, e corresponde à soma da vazão de diluição com a vazão do efluente lançado (Collischonn, 2014). Portanto, a vazão indisponível, também chamada de carga poluente, pode ser expressada pela seguinte equação:

$$Q_{\text{indisp.}} = Q_{\text{efluente}} + Q_{\text{diluição}} \quad (3.3)$$

A vazão indisponível a ser considerada nesta dissertação será sempre igual ou superior aos parâmetros médios outorgados e corresponderá aos valores máximos instantâneos:

$$Q_{\text{indisp.}} = Q_{\text{máx\_outorga}} = Q_{\text{máx}} \quad (3.4)$$

### 3.2.6 Vazão de demanda ( $Q_{\text{demanda}}$ )

Essa variável trata do volume de água do rio que o usuário de recursos hídricos vai se apropriar, dado um determinado período de tempo. Em outras palavras, é a vazão utilizada pelo

usuário para consumo próprio. O ponto de interferência pode ser de captação ou de lançamento, conforme explanado nos itens anteriores. Sendo assim, a vazão de demanda  $Q_{\text{demanda}}$  pode ser expressa pela seguinte equação:

$$Q_{\text{demanda}} = Q_{\text{captação}} \text{ (pto. de captação) ou } Q_{\text{demanda}} = Q_{\text{indisp.}} \text{ (pto. de lançamento)} \quad (3.5)$$

Vale aqui lembrar que a definição da vazão de demanda a ser considerada no presente trabalho será igual ou superior aos parâmetros outorgados, pois levará em conta a capacidade instalada do sistema ou os valores máximos instantâneos:

$$Q_{\text{demanda}} = Q_{\text{máx\_outorga}} = Q_{\text{máx\_instantânea}} \quad (3.6)$$

### 3.2.7 Vazão de referência ( $Q_{\text{referência}}$ )

Silva *et al.* (2006) expressam que a vazão de referência ( $Q_{\text{referência}}$ ) é uma variável que representa o limite superior de utilização da água em um determinado curso d'água. Em termos legais, a Resolução CONAMA 357/2005 define  $Q_{\text{referência}}$  como *a vazão do corpo hídrico utilizada como base para o processo de gestão, tendo em vista o uso múltiplo das águas e a necessária articulação das instâncias do Sistema Nacional de Meio Ambiente - SISNAMA e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos - SINGRH* (Brasil, 2005).

Na prática, os órgãos gestores de recursos hídricos aplicam o critério de vazão de referência como definição da disponibilidade hídrica (oferta de água) que pode ser outorgada aos usuários, levando em conta também uma parcela correspondente à demanda ecológica pela água. A aplicação desse critério se constitui em procedimento adequado para a proteção dos rios, pois as alocações para derivações são feitas, geralmente, a partir de uma vazão de base de pequeno risco (Harris *et al.*, 2000).

No caso das águas superficiais, pode ser considerado, para cada trecho de rio, um determinado valor de  $Q_{\text{referência}}$ . Dessa forma, essa vazão representa as condições de estiagem no trecho de rio e serve de balizamento para avaliação do comprometimento hídrico.  $Q_{\text{referência}}$  é definida a partir de estudos hidrológicos específicos para cada bacia, considerando-se as condições hidrológicas e a infraestrutura existentes, com reservatórios.

No Brasil, cada estado tem adotado critérios particulares pragmáticos para o estabelecimento das vazões de referência para outorga sem, no entanto, apresentar justificativas da adoção desses valores (Silva *et al.*, 2006). Em geral, utilizam-se as seguintes vazões obtidas dos estudos hidrológicos de cada bacia:

- $Q_{7,10}$  - Vazão média mínima de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos;
- $Q_{90}$  - Vazão com garantia de 90% de permanência dentro da série histórica de dados observada;
- $Q_{95}$  - Vazão com garantia de 95% de permanência dentro da série histórica de dados observada.

Em bacias com reservatórios e açudes, a vazão de permanência natural se modifica, sendo também chamada de vazão de regularização. A vazão regularizada pode ser entendida como a quantidade média anual de água que pode ser fornecida por um açude com uma determinada segurança de tempo.

Como exemplificação, segue tabela com os critérios de outorga adotados por alguns Estados brasileiros, utilizando  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90}$  e vazão regularizada.

Tabela 3.2- Critérios de outorga de direito de uso da água em alguns Estados brasileiros (Benetti *et al.*, 2003).

Estado	Vazão referencial	Critério de outorga*	Vazão ecológica indiretamente estabelecida
PR	$-Q_{10}$	50% da vazão referencial	50% da $-Q_{10}$
MG	$-Q_{10}$	30% da vazão referencial em cursos de água usuais	70% da $-Q_{10}$
		Quando o interessado promover regularização, o limite poderá ser superior desde que sejam mantida uma vazão residual de 70% da vazão referencial	
		Poderão ser adotadas vazões residuais inferiores a 70% quando for de interesse público e não causar prejuízos a terceiros	Exceção à regra, quando for do interesse público
PE		80% da vazão referencial quando não houver barramento, ou quando houver barramento em cursos de água perenes	20% da $Q_{90}$
		95% da vazão referencial quando houver barramento em cursos de água intermitentes	5% da $Q_{90}$
BA	$Q_{90}$ diário	80% da vazão referencial quando não houver barramento ou quando houver barramento em cursos de água perenes	20% da $Q_{90}$
		95% da vazão referencial quando houver barramento em cursos de água intermitentes	5% da $Q_{90}$
		Quando o suprimento for para abastecimento humano, o percentual pode atingir 95% da vazão referencial	
		No caso de vazões regularizadas por reservatórios, a vazão residual de 20% da vazão referencial deve escoar para jusante por descarga de fundo ou por qualquer outro dispositivo que não inclua bombas de recalque	20% da $Q_{90}$
		Nenhum usuário individualmente receberá outorga superior a 20% da vazão referencial em um dado manancial	
PB	Vazão regularizada	90% da vazão referencial	10% da $Q_{90}$
RN	com 90% de	90% da vazão referencial	10% da $Q_{90}$
CE	garantia	90% da vazão referencial em cursos de água com barramento; em lagos ou lagoas, 33% da vazão referencial	10% ou 67% da $Q_{90}$

\* Limite de autorizações de retirada de água acumuladas até a seção fluvial.

### 3.2.8 Porte do rio

O porte do manancial pode ser considerado um fator importante pela capacidade de reservação de água, sendo utilizado como critério para definir as vazões a serem outorgadas aos usuários.

Collischonn & Lopes (2009) criaram um sistema de suporte à decisão para análise de outorgas na bacia do rio Paraná, denominado Sistema de Controle de Balanço Hídrico (SCBH), tendo sido aprimorado por Collischonn (2014). Nesse sistema, o porte do rio é levado em conta, sendo feitas considerações gradativas para as vazões dos usuários de recursos hídricos:

- Em rios de menor porte, onde é maior a possibilidade dos diversos usuários ligarem suas bombas de forma praticamente simultânea, são consideradas, para fins de análise de outorga, as vazões máximas instantâneas dos usuários;
- Em rios de maior porte, esse procedimento pode ser considerado excessivamente conservador, sendo mais adequado o uso de médias diárias, pois o amortecimento

natural decorrente da propagação das vazões no rio acaba por diminuir o impacto de captações mais distantes;

- Em grandes reservatórios (ex. Furnas, Marimbondo), adota-se o uso da vazão média mensal, pois estes possuem alta capacidade de regularização.

De qualquer forma, no SCBH, a escala temporal de análise é de livre escolha do técnico que analisa a outorga (Collischonn, 2014).

Levar em consideração a temporalidade da vazão pode ser um critério interessante e menos conversador para análise das vazões a serem outorgadas. Entretanto, para a medição de vazão, é importante o alcance da capacidade instalada no empreendimento, ou seja,  $Q_{\max}$ . Só se pode chegar ao real valor utilizado pelos usuários com equipamentos que permitam medir a vazão máxima instantânea. Sendo assim, para a presente dissertação, adotar-se-á  $Q_{\max}$  como a vazão a ser utilizada para critérios de medição, conforme descrito em 3.2.2.

Finalizando, é importante que o porte do rio seja levado em conta como critério para definição de significância do conhecimento real do uso. Isso porque, um empreendimento de certa magnitude pode influenciar em termo de vazão de consumo num trecho onde o porte do rio é pequeno, e em outro trecho onde o porte do rio é maior, com maior capacidade de diluição.

### 3.2.9 Comprometimento individual

O comprometimento individual é a relação entre duas variáveis: a vazão outorgada ao usuário com a vazão de referência do trecho de rio ou reservatório. Representa, assim, o quanto um usuário individual usa da disponibilidade hídrica local. Intuitivamente, quanto maior o comprometimento individual, maior a necessidade de controle real do uso derivado individualmente. Sendo assim, em termos percentuais, apresenta-se o Indicador de Comprometimento Individual (ICI) como:

$$ICI = ICI_{\text{outorga}} = \frac{Q_{\text{outorga}}}{Q_{\text{referência}}} \quad (3.7)$$

Cabe aqui explicitar que um órgão gestor não concederá outorga a um usuário com vazão superior à vazão de referência por ele adotado. Assim,  $0 \leq ICI_{\text{outorga}} \leq 100\%$ .

O ICI é um indicador adotado como critério para análise de outorgas pelo SCBH, conforme descrito em Collischonn (2014). A Resolução ANA nº 1041, de 19 de agosto de 2013, que define os critérios para análise de balanço hídrico em pedidos de outorga na ANA, adota o comprometimento individual como um indicador para critério de outorga (Brasil, 2013). No caso da Agência, adota-se que os pedidos de outorga devem ser restituídos ou indeferidos, nos casos em que o indicador comprometimento individual seja superior a 20%.

Uma vez que a vazão de demanda ( $Q_{\text{demanda}}$  - item 3.2.6) corresponde à vazão de captação ou à vazão indisponível (lançamento) correspondente aos valores máximos instantâneos, então para o presente trabalho será considerado que um Indicador de Comprometimento Individual Máximo ( $ICI_{\text{máx}}$ ) como uma relação estabelecida entre a vazão de demanda e a vazão de referência, sendo este maior ou igual ao comprometimento individual outorgado. Tem-se então:

$$ICI_{\text{máx}} = ICI_{\text{demanda}} = \frac{Q_{\text{demanda}}}{Q_{\text{referência}}} \quad (3.8)$$

Neste caso, apesar de ser um valor relativo, teoricamente  $ICI_{\text{máx}}$  pode ser maior que 1, pois a vazão de demanda, representada pela máxima instantânea, pode ser superior à outorgada e, dependendo do local instalado, superior à vazão de referência.

### 3.2.10 Comprometimento coletivo

O comprometimento coletivo representa o quanto o corpo hídrico está efetivamente comprometido com todos os usos consuntivos em um determinado trecho. Tomando a vazão de outorgada ( $Q_{\text{outorga}}$ ), e somando a ela todas as demais vazões outorgadas a montante  $\sum Q_{\text{montante}}$ , apresenta-se o Indicador de Comprometimento Coletivo (ICC), que representa a relação desse coletivo de vazões outorgados no trecho com a vazão de referência. Em termos percentuais, tem-se:

$$ICC = ICC_{\text{outorga}} = \frac{Q_{\text{outorga}} + \sum Q_{\text{montante}}}{Q_{\text{referência}}} \quad (3.9)$$

Nesse caso, a ideia é que, em bacias ou regiões onde já exista um comprometimento coletivo considerável, ou seja, onde a situação da bacia se encontra em situação de pouca disponibilidade hídrica restante, é natural que seja necessário um maior controle dos usos outorgados para averiguação do real uso da água na bacia.

Enquanto o indicador de comportamento individual (ICI) representa o quanto um usuário representa, em termos percentuais, o comprometimento em um determinado trecho de rio ou manancial, o indicador de comportamento coletivo (ICC) representa o somatório de todas as vazões demandadas pelos usuários nesse trecho.

Collischonn (2014) também adota o indicador de comprometimento coletivo (ICC) como critério para análise de outorgas pelo SCBH. Da mesma forma, a Resolução ANA nº 1041, de 19 de agosto de 2013, também adota o ICC como um indicador para critério de outorga. No caso da Agência, esse indicador é o mais importante para gerenciamento quantitativo, representando o quanto o corpo hídrico está efetivamente comprometido com usos consuntivos em um determinado trecho (Brasil, 2013).

Seguindo a mesma lógica do ICI, um órgão gestor não concederá outorga a um usuário onde o trecho já esteja comprometido com valor superior à vazão de referência, ou seja, onde o  $ICC > 1$ . Entretanto, há casos de outorgas condicionadas às sazonalidades, ou seja, se o rio estiver em condições favoráveis, na época de cheia, o usuário tem o direito de uso de se apropriar de vazões superiores às de época de seca, como é o caso das outorgas emitidas pela ANA para os rios Verde Grande, Verde Pequeno, Quaraí e Javaés, por exemplo. Mas na época de seca, devem diminuir as vazões apropriadas de forma tal que as vazões coletivas outorgadas num trecho não se ultrapasse a à vazão de referência, ou seja, em condições de estiagem, será obedecida a relação  $0 \leq ICC_{outorga} \leq 100\%$ .

Da mesma forma que se estabeleceu para o comprometimento individual, será considerado para o coletivo um Indicador de Comprometimento Coletivo Máximo ( $ICC_{m\acute{a}x}$ ) como uma relação estabelecida entre a vazão de demanda do usuário e as demais vazões de demanda a montante com a vazão de referência, sendo este maior ou igual ao comprometimento coletivo outorgado. Tem-se então:

$$ICC_{m\acute{a}x} = ICC_{demanda} = \frac{Q_{demanda} + \sum Q_{montante}}{Q_{refer\acute{e}ncia}} \quad (3.10)$$

Neste caso, teoricamente  $ICC_{m\acute{a}x}$  pode ser maior que 1, pelos mesmos argumentos explicados para o  $ICI_{m\acute{a}x}$ .

### 3.3 SOBRE OS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

A vazão ou descarga, numa determinada seção, corresponde ao volume do líquido que atravessa essa seção na unidade de tempo (Azevedo Netto *et al.*, 2002). A determinação dessa grandeza em uma das principais áreas da hidrometria. No Sistema Internacional de Unidades (SI), a vazão é expressa em  $m^3/s$ , que é comumente usada para expressar a vazão em rios de médio e grande porte. Na prática, para as medições de derivações para abastecimento de água, obras de irrigação, consumo industrial, e outras, utilizam-se as unidades  $l/s$  ou  $m^3/h$ .

A medição de vazão pode ser feita de forma direta ou indireta. No 1º caso, determina-se a grandeza vazão pela variação do volume em determinado tempo, ou seja,  $Q = \Delta Vol / \Delta t$ . São dois os métodos utilizados para medição direta da vazão:

- Método volumétrico: baseia-se no tempo gasto para que um determinado fluxo de água ocupe ou escoe de um recipiente de volume conhecido, sendo a vazão expressa por:  $Q = V / t$  (Ramos, 2006). A aplicabilidade desse método em campo fica restrita aos casos de pequenas descargas, como fontes, riachos, bicas e canalizações de pequeno diâmetro (Azevedo Netto *et al.*, 2002), onde há condições de canalizar e coletar toda água num recipiente de volume conhecido por um determinado período de tempo. Na prática, esse método é utilizado em laboratório de hidráulica para calibração de outros equipamentos, sendo que os recipientes para realização desses ensaios são tanques de grandes dimensões. Além dos tanques, são necessárias balanças de grande precisão para a determinação do peso da massa líquida (Frangipani, 2007).
- Método gravimétrico: consiste na pesagem de um determinado volume de água obtido em um determinado intervalo de tempo,  $t$ . O peso obtido é convertido em volume, através do peso específico do líquido (Ramos, 2006). Nesse caso, a vazão é dada por:  $Q = (P_2 - P_1) / \gamma \times t$ , onde  $P_1$  é o peso inicial,  $P_2$  é o peso final e  $\gamma$  é o peso específico do fluido. Na prática, o método gravimétrico é utilizado em laboratórios especializados para calibração de equipamentos, tal qual o método volumétrico.

Os equipamentos de medição usualmente calculam a vazão de forma indireta, ou seja, mede-se a velocidade média da seção transversal e multiplica-se pela área da mesma. Assim, tem-se:  $Q = v \times A$ .

A seguir, apresentam-se os processos ou métodos de medição existentes, classificando-os segundo o regime de escoamento: em conduto forçado (sob pressão, em conduto fechado) e à superfície livre (à pressão atmosférica, por gravidade ou em canal aberto). Foi escolhida tal divisão pelo fato de a captação dos usuários de recursos hídricos ser realizada por um desses dois regimes de escoamento.

### **3.3.1 Medição em condutos forçados**

Os condutos forçados são dutos no qual o fluido escoar à plena seção e sob pressão. Os condutos de seção circular são chamados de tubos ou tubulações, e representam a maioria dos dutos que levam a água bruta bombeada do corpo d'água até a área de produção do usuário de recursos hídricos.

#### **3.3.1.1 Hidrômetros**

Azevedo Netto *et al.* (2002) definem os hidrômetros como aparelhos destinados à medição da quantidade de água que escoar em intervalos de tempo relativamente longos. São comumente utilizados para medir o consumo de água das instalações prediais e industriais. Podem ser classificados como hidrômetros velocimétricos (ou taquimétricos) e volumétricos.

Frangipani (2007) relata que os hidrômetros velocimétricos se baseiam em um rotor de várias pás montadas em ângulos (turbinas), diretamente ou perpendicularmente ao fluxo. A velocidade de rotação da turbina é proporcional à vazão. Já os volumétricos têm como princípio de funcionamento a passagem do fluido através de câmaras de volume perfeitamente conhecido. O próprio fluido faz a movimentação dessas câmaras, sendo o volume obtido por mecanismos que fazem a contagem do número de vezes que as câmaras se enchem e esvaziam.

Segundo Azevedo Netto *et al.* (2002), os hidrômetros de velocidade são mais baratos, mais simples, de reparações mais fáceis e menos sensíveis às impurezas da água. Já os hidrômetros de volume são mais precisos e mais sensíveis, indicando consumos muito pequenos. Por outro lado, os de velocidade são menos exatos e menos sensíveis, não medindo vazões muito

pequenas, fora da faixa de utilização recomendada pelo fabricante. Os medidores volumétricos são mais caros e sofrem, sensivelmente, com eventuais impurezas na água, sendo que suas reparações são mais difíceis. Portanto, neste trabalho, consideram-se, para fins de aplicação, somente os hidrômetros velocimétricos ou taquimétricos, uma vez que essa análise se restringe a aplicações em água bruta, captada diretamente em corpos d'água superficiais que apresentam impurezas.

Os hidrômetros velocimétricos podem ser classificados em três categorias: do tipo monojato, multijato e Woltmann. Nos medidores monojato, a turbina é acionada por um único jato de água, que a atinge de modo tangencial. Já os medidores multijatos são os mais utilizados no Brasil, e possuem na câmara de medição orifícios ou fendas que fazem com que a turbina seja acionada tangencialmente por vários jatos de água. Silva (2008) relata que os hidrômetros do tipo monojato e multijato são largamente utilizados em micromedição, que pode ser entendida como a medição do volume consumido pelos clientes da companhia de saneamento, ou seja, em água tratada, com diâmetros de entrada normalmente inferiores a 50mm.

Entre os medidores taquimétricos, cabe um destaque para o hidrômetro do tipo Woltmann (vide figura 3.2). Recebe essa denominação em homenagem ao Eng. Reinhard Woltmann que, em 1790, introduziu o uso de molinetes nas medições de rios e canais. Tem seu funcionamento baseado num “molinete” ou turbina instalado dentro de um conduto fechado, atuando o fluxo na direção axial em relação ao eixo do molinete e, dependendo de sua posição de instalação em relação ao fluxo, são denominados verticais ou horizontais. São medidores de boa exatidão, baixa perda de carga e robustez. Ainda segundo Silva (2008), normalmente são fabricados em bitolas iguais ou acima de 50 mm, para usuários industriais ou comerciais. Sendo assim, pelas últimas características descritas, os hidrômetros de velocidade do tipo Woltmann são os que mais se adéquam ao perfil dos usuários de recursos hídricos que captam água bruta.



Figura 3.2 – Medidor velocimétrico tipo Woltmann (esq.), horizontal (meio) ou vertical (dir.) - Cortesia: FAE Tecnologia

Uma variação do hidrômetro Woltmann é o denominado hidrômetro tangencial, ou hidrômetro Woltmann para irrigação, que difere do primeiro pela turbina estar localizada na parte superior da cavidade onde passa a água, tendo menos contato com as partículas sólidas. Segundo três fabricantes pesquisados – Ciasey, Diehl e Hidrometer – esses hidrômetros tangenciais tem efetiva medição com até 30% sólido em suspensão na água.



Figura 3.3 – Medidor velocimétrico tipo tangencial ou Woltmann para irrigação (esq.), horizontal (meio) ou vertical (dir.) - Cortesia: Ciasey

Todos os medidores velocimétricos apresentam o inconveniente de necessitarem de manutenção constante devido ao funcionamento através de peças mecânicas em contato direto com o fluido, sendo necessária verificação periódica de seus mecanismos móveis. Por outro lado, possuem custos relativamente baixos para tubulações de pequeno diâmetro e são fáceis de instalar. Cabe também informar que, nos catálogos dos fabricantes dos medidores Woltmann, recomenda-se a instalação de filtro de linha para diminuição das impurezas, quando utilizado em água bruta.

As dimensões dos medidores Woltmann e tangencias variam de 50 a 300mm e apresentam custos diretamente proporcionais ao seu diâmetro. Foi realizada cotação de preços com três fabricantes, sendo apresentado abaixo a média dos preços (em dólares):

Tabela 3.3– Média de preços de hidrômetros Woltmann

Diâmetro nominal (em mm)	Preço (em US\$)	Preço (em R\$) - 14/04/2015
50	500	1.500
80	980	2.940
100	1.140	3.420
150	1.300	3.900
200	1.480	4.440
250	1.750	5.250
300	3.120	9.360

Tanto Pinto (2003) como Frangipani (2007) relatam que os hidrômetros do tipo Woltmann apresentam precisão variada de acordo com o intervalo das vazões de funcionamento, desde a vazão mínima, passando pela vazão nominal, até a vazão de sobrecarga, chegando de  $\pm 2$  a  $\pm 5\%$ . Já no catálogo de fabricantes, a curva de erro mostra que em vazões mínimas pode chegar a  $-5\%$  e, em vazões máximas, a  $+2\%$ . Guimarães (2007) realizou experimento com Woltmann instalado em água bruta e encontrou valores entre  $-1\%$  e  $+2,6\%$ . Pela variação de valores, considera-se, em média, uma precisão de medida de  $7\%$ .

### 3.3.1.2 Eletromagnéticos

O princípio básico dos medidores eletromagnéticos é semelhante ao de um gerador elétrico. Baseiam-se no princípio descoberto por Michael Faraday em 1831, em que o movimento de um fluido condutor atravessando um campo magnético induz uma tensão (Frangipani, 2007). A tensão  $\tau$  pode ser expressa como  $\tau = d \times \lambda \times v$ , onde  $d$  é a densidade do fluido,  $\lambda$  a distância entre os eletrodos e  $v$  a velocidade do fluido. Sendo  $\lambda$  uma distância conhecida e  $d$  uma constante (a água é um líquido incompressível), a tensão  $\tau$  que se forma entre os eletrodos é diretamente proporcional à velocidade  $v$  do fluido. A medida é então transmitida à unidade eletrônica, remota ou incorporada ao tubo medidor, que a transmite via sinal elétrico até a unidade de armazenamento de dados.

Comercialmente, são fabricados dois tipos de medidores eletromagnéticos para medição de vazão em condutos forçados: o do tipo carretel e o de inserção. Em relação aos eletromagnéticos de carretel, Lamon (2006) apresenta diversas vantagens para sua utilização, tais

como: não obstrui o escoamento, não introduz perda de carga ao sistema, não possui partes móveis em contato com o fluido, sinal de saída linear e proporcional à velocidade do escoamento, alta sensibilidade gerando larga faixa de medição, alta precisão ( $\pm 0,25\%$ ). Pinto (2003) afirma que a precisão varia de  $\pm 0,15\%$  a  $\pm 0,5\%$ . Michalski (2001) realizou experimento denominado *moving stream method* (método de fluxo de movimento), estimando erro de medição em torno de 1%. Consultando catálogos dos fabricantes Isoil, Yokogawa e In-control, verifica-se que o erro varia em  $\pm 0,5\%$ . Considera-se, em média, uma precisão de medida de 1%.

Pelos especialistas e hidrometristas, os eletromagnéticos de carretel podem ser considerados o melhor e mais confiável medidor de vazão para condutos forçados disponíveis atualmente no mercado, desde que se respeitem os critérios de instalação conforme recomendações de cada fabricante, sendo sempre necessário manter trechos retos a montante e a jusante do medidor, proporcionais ao diâmetro da tubulação, para tranquilizar as linhas de fluxo no perfil de escoamento da seção. Esses medidores ainda apresentam a vantagem adicional de possuírem custo de manutenção praticamente nulo. Há modelos que utilizam energia, e outros que funcionam com bateria interna.

Por outro lado, apresentam custos relativamente altos em relação a tecnologias mais baratas, variando diretamente com o diâmetro aplicado. Comercialmente, este equipamento é fabricado na faixa de diâmetros entre 50 e 1800mm. Segue tabela de preços levantada pela cotação feita com dois fabricantes, com funcionamento a bateria:

Tabela 3.4– Média de preços de eletromagnéticos de carretel a bateria

Diâmetro (em mm)	Preço (em US\$)	Preço (em R\$) 14/04/2015	Diâmetro (em mm)	Preço (em US\$)	Preço (em R\$) 14/04/2015
50	4.090	12.270	500	12.340	37.020
80	4.300	12.900	600	13.970	41.910
100	4.390	13.170	700	16.780	50.340
150	4.840	14.520	800	19.480	58.440
200	5.600	16.800	900	23.450	70.350
250	7.170	21.510	1000	28.160	84.480
300	7.900	23.700	1200	44.030	132.090
350	8.640	25.920	1400	69.510	208.530
400	9.270	27.810	1600	89.270	267.810
450	11.080	33.240	1800	114.400	343.200

Sua instalação requer que a linha esteja parada para que o tubo medidor possa ser conectado no local adequado. Além disso, torna-se necessário instalar peças hidráulicas adicionais, tais como flanges e juntas de expansão, caixas de concreto e blocos de ancoragem para proteção da linha e dos medidores e requer uma instalação elétrica bem cuidada, tendo-se especial atenção ao sistema de proteção contra surtos e descargas atmosféricas (aterramento).

Em relação ao medidor eletromagnético por inserção, funciona pelo mesmo princípio do anterior (Lei de Faraday), mas fazem medição de vazão num único ponto da tubulação, e deve ser um fator K para estimativa da velocidade média. Os eletrodos do medidor de inserção são inseridos na tubulação através de uma luva ou em TAP previamente instalado na tubulação. Há medidores no mercado brasileiro capazes de serem instalados com a tubulação em carga, sem necessidade de parar o fluxo para sua instalação. Pelo fato de os eletrodos estarem bem mais próximos uns dos outros, comparativamente aos medidores de carretel, esses medidores sofrem mais com interferências ou sujeira nos eletrodos. Dessa maneira, conforme descrito em catálogo de fabricantes, requerem manutenção, com inspeção e limpeza periódica dos eletrodos.

Os medidores por inserção apresentam a vantagem de que um mesmo medidor pode ser instalado em tubulações de diferentes tamanhos, podendo chegar a tubulações de 1.800mm de diâmetro, assim como o carretel. Outra vantagem é que não variam de preço de acordo com o aumento do diâmetro da tubulação. Pela cotação com dois fabricantes, o preço de aquisição e instalação é de US\$ 9.750, ou R\$ 29.250 (em 14/04/2015). Em comparação com a tabela 3.2, verifica-se que o custo do medidor eletromagnético tipo carretel é mais econômico, comparativamente ao medidor eletromagnético de inserção, até o diâmetro de 400 mm. Acima dessa bitola, a tecnologia de medição por inserção torna-se mais econômica. Segue figura representativa de instalação, numa mesma tubulação, de um medidor eletromagnético de carretel e outro de inserção.



Figura 3.4 – Equipamentos eletromagnéticos de inserção (esq.) e carretel (dir.)

Os medidores de inserção fornecem sinal elétrico análogo aos de carretel, apresentando as mesmas necessidades na instalação. Entretanto, apresentam também menor precisão em relação aos de carretel, da ordem de 3 a 5% (Lamon, 2006). Já os catálogos de dois fabricantes apresentam erro de medida variando entre  $\pm 1\%$ .

Cabe aqui descrever que, de acordo com os fabricantes, deve-se tomar cuidado na inserção da haste dos eletrodos no conduto, pois declinações e posicionamentos equivocados podem comprometer a medição das velocidades do fluido.

### 3.3.1.3 Ultrassônicos por tempo de trânsito

O princípio físico de operação dos medidores de velocidade ultrassônicos baseia-se na propagação de ondas de ultrassom, emitidas nas frequências de 100 kHz a 3 MHz aplicadas no meio líquido. A velocidade sônica de propagação é uma característica própria de cada fluido e é função da densidade do mesmo, estando nas faixas de 800 a 2000 m/s (Lamon, 2006). O medidor ultrassônico pode ser de dois tipos: Doppler e tempo de trânsito (*transit time*). Comercialmente, os equipamentos ultrassônicos por efeito Doppler são fabricados para medição de escoamentos de superfície livre, sendo tratados em outro subitem.

Pinto (2003) descreve o método de medição de vazão tipo diferença de tempo de trânsito (*transit time difference*) como o método no qual a velocidade média do fluido pelo trajeto

acústico ( $v$ ) é determinada a partir da diferença do tempo de trânsito de dois sinais ultrassônicos, viajando de montante para jusante e vice-versa, cobrindo a mesma distância no fluxo do fluido. Como o diâmetro da tubulação é também uma variável conhecida, obtêm-se a vazão correspondente. Pinto (2003) também afirma que podem ser empregados em praticamente todos os tipos de água bruta, com desvio de precisão típica de  $\pm 1$  a 2%. Já Lamon (2006) relata um valor maior na faixa de erro de medição, variando de  $\pm 1$  a 5%.

Há duas formas de medição utilizando o ultrassônico por tempo de trânsito: *clamp-on*, onde os transdutores são instalados externamente à tubulação; e intrusivo, onde o equipamento já se encontra instalado numa tubulação pré-fabricada e flangeada, e corta-se um pedaço a tubulação antiga para a instalação do equipamento (vide figura a seguir). O intrusivo tem o inconveniente de parar a produção, seccionar a tubulação antiga e instalar o equipamento. Em compensação, a medição é mais precisa, pois o sinal ultrassônico atravessa diretamente pelo fluido; não há interferência causada pela espessura da tubulação e possíveis incrustações, como há no *clamp-on*. Lynnworth & Liu (2006) fizeram um amplo estudo, com medições em tubulações de diâmetros distintos, e chegaram a resultados de precisão de  $\pm 1\%$  usando *clamp-on* e  $\pm 0,5\%$  pelo método intrusivo.



Figura 3.5 – Ultrassônico por tempo de trânsito *clamp-on* (esq.) e intrusivo (dir.) - Cortesia: GE Panametrics

Analogamente aos medidores eletromagnéticos, os medidores ultrassônicos por tempo de trânsito requerem instalações criteriosas mantendo-se trechos retos de tubulação, recomendados pelos fabricantes, a montante e a jusante do medidor. Os custos para aquisição e instalação desse equipamento giram em torno de US\$17.000 (R\$ 51.000 – 14/05/2014), de

acordo com apreçamento feito com três fabricantes – Lamon, Incontrol e Conaut – e não dependem do diâmetro da tubulação.

### 3.3.1.4 Diferenciais de pressão

A melhor forma de compreender o funcionamento dos medidores diferenciais de pressão é pela aplicação da Equação de Bernoulli entre dois pontos, entre os quais tenha sido inserida uma perda de carga no sistema (Frangipani, 2007):


$$\frac{v_a^2}{2g} + \frac{P_a}{\gamma} + z_a = \frac{v_b^2}{2g} + \frac{P_b}{\gamma} + z_b + h_f$$

Supondo-se que os pontos A e B tenham a mesma cota e estejam suficientemente próximos, a diferença de pressão entre eles será proporcional apenas à diferença de velocidades médias do fluxo em A e B. Sendo assim, a determinação do volume de fluido que atravessa uma seção conhecida é feita por meio do diferencial de pressão entre dois pontos, formulando-se a equação geral dos medidores diferenciais:  $Q = K \times \sqrt{\Delta P}$ , sendo Q a vazão, K uma constante do medidor; e  $\Delta P$  o diferencial de pressão.

Frangipani (2007) relata que o valor da constante “K” engloba correções devidas à seção de escoamento, aceleração da gravidade, deformações da curva de velocidades, perdas de carga no interior do medidor entre outras, sendo essa constante determinada em laboratórios ou em ensaios em campo.

São diversos os equipamentos existentes no mercado que utilizam o método diferencial de pressão para realizar medição de vazão. Os principais equipamentos são listados abaixo, com breve explanação de funcionamento, preço e precisão de medida:

*Tubo Pitot e Venturi:* Segundo Lamon (2006), em 1732, Henri de Pitot realizou a medição da velocidade em águas correntes, mais precisamente no rio Sena, utilizando uma versão esquemática do que hoje se conhece como Tubo de Pitot. Assim como o medidor Venturi, a medição da velocidade no escoamento se dá através da diminuição da pressão proporcional

ao aumento da velocidade, através da redução do diâmetro, numa determinada seção. Por se tratar de um tubo com diâmetro muito menor do que o da seção onde se pretende medir a vazão, introduzido na mesma com uma extremidade recurvada em direção ao fluxo, a diferença de pressão sentida entre o interior do tubo Pitot e a tubulação, denominada  $h$  (vide Figura 3.5), será igual a  $v^2/2g$ , onde  $v$  é a velocidade do fluxo na seção e  $g$  é a aceleração da gravidade. Assim sendo, conhecendo-se os diâmetros de ambos os tubos (Pitot e canalização), fica fácil determinar a vazão no ponto. Vale lembrar que é preciso introduzir um coeficiente de correção “ $c$ ” na fórmula, de acordo com cada tubo Pitot, que deve ser aferido no campo. A medição então será obtida pela fórmula:  $v = c \times \sqrt{2 \times g \times h}$

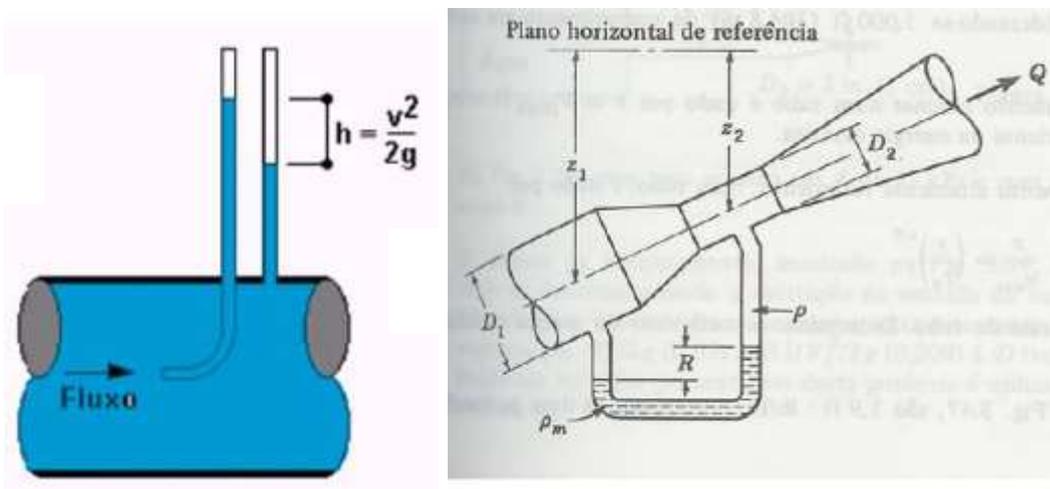


Figura 3.6 – Tubo Pitot (esq.) e Venturi (dir.) - Cortesia: Gustavo Carneiro

O tubo de Pitot pode também ser empregado em escoamento de superfície livre. Entretanto, somente leva a bons resultados no caso de correntes de grande velocidade e, sendo assim, mais empregados nas canalizações fechadas (Azevedo Netto, 2002). Além disso, por se tratar de um elemento primário sujeito a deformações ou entupimentos ao longo do tempo, o tubo deve receber inspeções e manutenções periódicas por especialistas, de maneira a garantir a confiabilidade da medição. Caso contrário, corre-se o risco das medições apresentarem desvios inaceitáveis, mesmo para casos de pequenos consumos, caso haja entupimento, obstrução ou desalinhamento do tubo, problemas normalmente difíceis de serem detectados sem manutenção periódica.

Já o medidor Venturi foi inventado por Clemens Herschel em 1881. O nome Venturi origina-se do nome de um filósofo italiano que foi o primeiro hidráulico a experimentar tubos divergentes (Azevedo Netto, 2002). É um aparelho utilizado para medir vazões dentro de tubulações consistindo de um tubo com uma entrada cônica afinando-se até uma garganta de menor diâmetro, chamada de bocal (entre  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{3}{4}$  do diâmetro da tubulação). Após o bocal, segue um trecho gradualmente divergente denominado difusor. Mede-se a queda de pressão entre o início do aparelho e o bocal e, através da equação de Bernoulli, obtêm-se:  $Q = k \times m \times \sqrt{\Delta h}$ , onde: Q a vazão; k o fator de correção do tubo Venturi; m uma constante dependente da aceleração da gravidade e das áreas das seções da tubulação e do bocal;  $\Delta h$  a diferença de pressão.

Segundo recomendações dos fabricantes, o Venturi exige um trecho reto de tubulação a montante em pelo menos seis vezes o diâmetro da tubulação e todos devem ser aferidos antes de utilizados como elementos de medição.

A precisão desses equipamentos está relacionada à composição de dois elementos: o elemento primário, constituído pelo próprio tubo que provoca o diferencial de pressão, e o elemento secundário, formado pelos demais dispositivos que registram a vazão e totalizam o volume. Segundo Lamon, os erros do elemento primário são da ordem de  $\pm 0,75\%$ . Já Frangipani (2007) discorre que a exatidão de tubos Venturi está diretamente relacionada ao seu projeto e cuidados construtivos, variando de valores de 1 % até 4 %.

Comercialmente, o tubo de Pitot é mais requisitado, e utilizado em medições de vazão por companhias de saneamento. Consultando dois fabricantes – Lamon e Smar - o tubo de Pitot foi orçado em US\$12.500 (R\$ 37.500 – 14/05/2014), incluindo elemento secundário que faz a leitura da vazão, a bateria; e não depende do diâmetro da tubulação. O Venturi é mais utilizado em laboratórios de hidráulica e não foi possível conseguir cotação de preços aos fabricantes consultados.

*Placas de orifício:* o diferencial de pressão é formado pela passagem do fluido através de um orifício feito em uma placa, formando um estrangulamento na seção, conforme demonstrado na Figura 3.7. Existem três tipos de placas: as de orifício concêntrico, excêntrico e segmental, dependendo da posição do orifício em relação à seção (vide Figura 3.7). Azevedo Netto (2002) afirma que o diâmetro do orifício deve estar compreendido entre 30 e 80% do

diâmetro da canalização. Valores inferiores a 30% correspondem a perdas excessivas; superiores a 80% não permitem boa precisão. Em geral, variam entre 50 e 70% do diâmetro da tubulação.

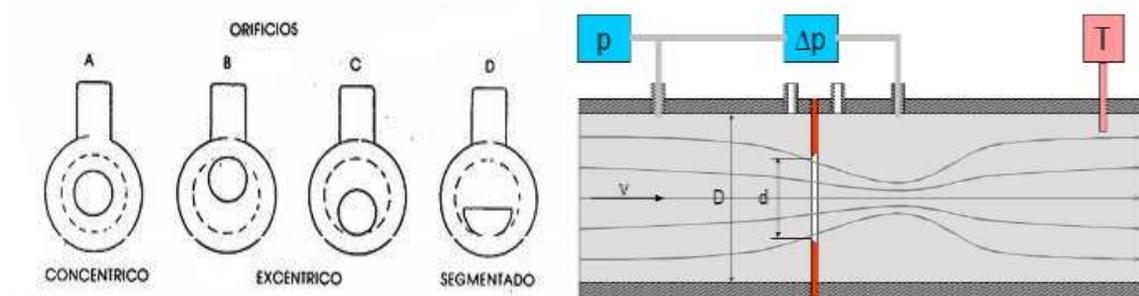


Figura 3.7 – Placas de orifício: seções transversais (esq.) e longitudinal no fluxo (dir.) - Cortesia: Nilson Taira

Frangipani (2007) descreve que a exatidão das placas de orifício varia conforme os critérios de projeto utilizados, podendo variar de 0,5 % até 4 %, apresentando relação direta com o diâmetro do furo.

*Bocais*: os chamados bocais de vazão têm sua característica intermediária entre a placa de orifício e o tubo Venturi, sendo que a perda de carga residual e o custo de fabricação ficam entre esses dois elementos primários. O perfil de entrada é projetado de forma a guiar a veia até atingir a seção estrangulada do elemento de medição, seguindo uma curva elíptica ou pseudoelíptica (Vide Figura 3.8). São bastante utilizados nas indústrias para medição de vapor com alta velocidade. Azevedo Netto *et al.* (2002) relatam que o erro de medida varia entre 2 e 5%.

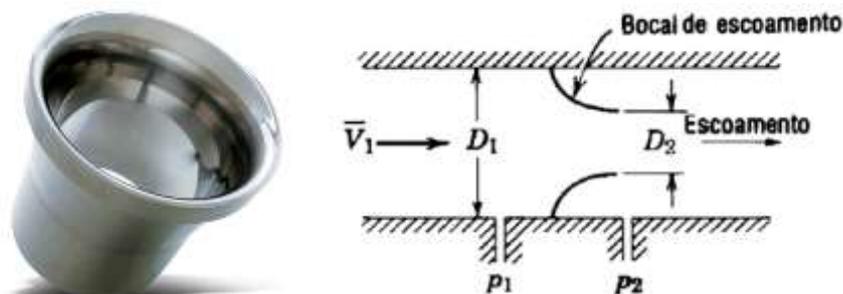


Figura 3.8 – Bocal de vazão: equipamento (esq.) e longitudinal no fluxo (dir.) - Cortesia: Prestserv

Para aquisição e instalação da placa de orifício e do bocal de vazão, o fator mais importante é o diâmetro da tubulação. Comercialmente, o bocal vazão é fabricado para diâmetros menores, de 50 80mm, e as placas de orifício são mais utilizadas para diâmetros a partir de

100mm. Após consulta, foi fornecido somente o preço de venda de bocal de vazão de 80mm, com medidor eletrônico secundário, US\$ 2.900 (R\$8.700 – 14/04/2015).

### 3.3.1.5 Estimativa de vazão

Em hidráulica, pode-se estimar a vazão de funcionamento de uma bomba por meio da elaboração de duas curvas: a curva do sistema e a curva da bomba.

A curva característica do sistema (vide Figura 3.9) é traçada levando em conta a altura necessária para vencer o desnível do ponto de captação ao ponto onde se quer que a água alcance (altura geométrica), acrescida das perdas de carga que compõem todo sistema. Essa altura total requerida, também denominada altura manométrica, é uma função crescente da vazão, uma vez que o aumento da mesma provoca um aumento das perdas de carga na tubulação. Assim, a equação do sistema pode ser descrita como  $H_m = H_g + K \cdot Q^n$  (Porto, 2006), onde  $H_m$  = Altura manométrica (altura requerida pelo sistema);  $H_g$  = Altura geométrica (desnível a ser vencido);  $Q$  = vazão;  $K$  e  $n$  = constantes com valores positivos que definem a perda de carga no sistema.

Para a curva característica da bomba (vide Figura 3.9), a altura total de elevação não é constante com a vazão a ser recalçada, mas é função dela, inversamente proporcional ao aumento da vazão (Porto, 2006). Ou seja, quanto mais água (maior a vazão) se quer bombear, menor a altura que a bomba consegue lançar. Dessa forma, quando a bomba opera em conjunção com um sistema de tubulações, a energia fornecida pela bomba é igual à energia requerida pelo sistema, para a vazão bombeada.

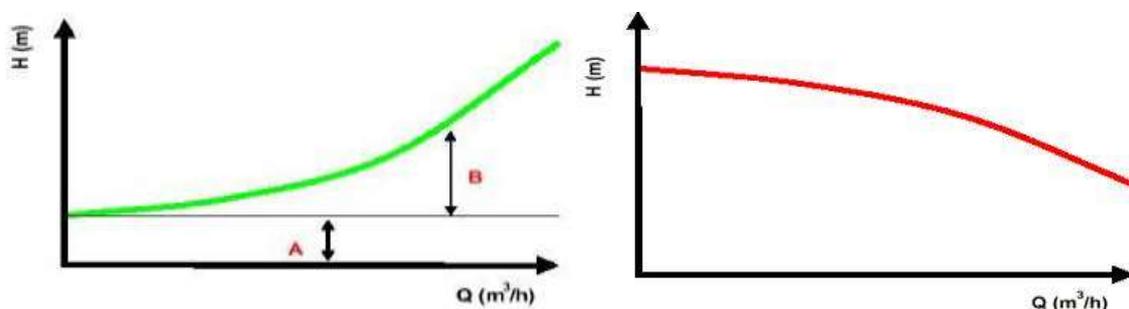


Figura 3.9 – Curva característica do sistema (esq.) e da bomba (dir.) - Cortesia: Gustavo Carneiro

Normalmente, a solução é obtida graficamente com a sobreposição da curva característica do sistema à curva da bomba fornecida pelos fabricantes, conforme representado na figura a seguir. O cruzamento dessas curvas é denominado ponto de funcionamento ou de operação (Porto, 2006).

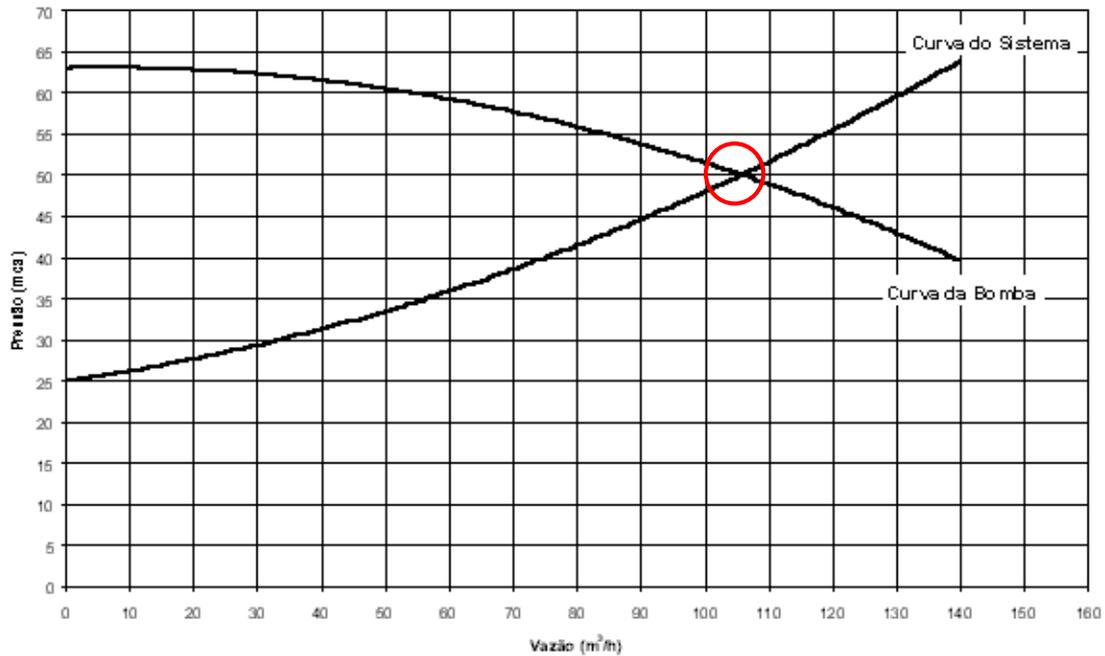


Figura 3.10 – Ponto de funcionamento ou de operação - Cortesia: Gustavo Carneiro

Nesse processo, não há medição de vazão: simplesmente faz-se uma estimativa da vazão de funcionamento, sendo que essa vazão possui um limite superior definido pela vazão nominal da bomba fornecida pelo fabricante. Dessa forma, não há como definir uma precisão de valor, mas se tem uma noção da grandeza do valor, o que pode ser razoável para usos de menor porte.

### 3.3.1.6 Medidores do tempo

Os equipamentos realizam medições de vazão instantâneas e, associados a um armazenador de dados, totalizam a vazão num determinado intervalo de tempo para obtenção do volume utilizado. Em geral, acoplados ao equipamento ou a um mostrador eletrônico próximo, pode-se visualizar a vazão instantânea e o volume total captado.

No caso onde não há instalação do medidor de vazão, pode-se fazer a estimativa pela curva da bomba. Por outro lado, para monitorar o tempo de funcionamento da bomba, pode-se simplesmente anotar em uma caderneta a hora de ligar e desligar a bomba. Entretanto, esse tipo de monitoramento está ligado a erros humanos: informação não segura (pode ser alterada), perda ou esquecimento da anotação.

Em usuários de menor porte, onde se estabelece um limite de vazão (que pode ser a vazão nominal da bomba), torna-se importante chegar ao total de volume utilizado (horas/dias, dias/mês) por meio da instalação dos medidores de tempo: horímetro ou chave de fluxo. O horímetro está ligado ao tempo de funcionamento do conjunto motor-bomba. A chave de fluxo se relaciona à passagem ou não do fluxo de água pelo conduto.

*Horímetro*: também conhecido como temporizador, o horímetro é um dispositivo que indica o número de horas trabalhadas pelo motor ou equipamento, acumulando esse tempo de trabalho. É amplamente utilizado em indústrias, ideal para indicar o momento em que as manutenções preventivas devem ser realizadas.

Dois tipos de horímetros são encontrados no mercado: eletromecânicos (analógicos) ou digitais microprocessados, cuja leitura mostra frações de horas. Conforme demonstrado na Figura 3.11, esses aparelhos possuem um micromotor que, uma vez energizado, movimenta um conjunto numerador que mostra, em horas e centésimos de hora, o tempo durante o qual o totalizador ficou alimentado. Como não possuem nenhum sistema de reset para retornar a indicação a ZERO, o tempo indicado é o valor acumulado de vários intervalos de tempo de trabalho.

Pode-se encontrar no mercado horímetros com faixa de preço variando desde US\$30 (analógicos, mais baratos) a US\$200 (digitais, mais caros). Além do baixo custo de aquisição e instalação, os horímetros são de construção compacta e robusta e têm boa resistência a condições adversas, como intempéries (Pinto, 2003). Entretanto, por estarem ligados à parte elétrica, uma descarga maior de energia pode danificar os aparelhos, deixando de realizar a contagem do tempo e necessitando de proteção contra descargas.



Figura 3.11 – Horímetro analógico (esq.) e digital (dir.) - Cortesia: S&E Instrumentos

*Chave de fluxo:* esse instrumento tem a função de detectar se uma tubulação apresenta ou não fluxo em seu interior. Pode, ainda, acusar se houve aumento ou queda da vazão em relação a um valor pré-estabelecido. As chaves de fluxo são amplamente utilizadas pelos setores de ar condicionado, equipamentos para refrigeração e automação de bombas. Sua função principal é a de detectar se há passagem de fluxo de ar ou água, atuando na maioria das vezes como um dispositivo complementar de segurança e proteção para ligar ou desligar alarmes, motores, máquinas, sinalização em painéis de controle, etc.

Para aplicabilidade da chave de fluxo como medidor de tempo, a mesma deverá ser conectada a um armazenador ou contador, podendo ser do tipo *data logger*, que irá armazenar as informações de forma binária (0 não passa fluxo, 1 passa). Existem dois tipos de chave de fluxo no mercado: do tipo palheta e do tipo pistão.

A chave de fluxo do tipo palheta é composta basicamente por um invólucro, onde se encontra o contato elétrico e o sistema mecânico de acionamento, uma pequena haste e uma palheta de metal. Essa palheta tem a função de detectar a presença de fluxo no interior do tubo ao se opor ao seu movimento, provocando a atuação do contato. Uma mola localizada no interior do invólucro e conectada à haste faz com que a palheta retorne à posição original na ausência de fluxo. O interior do invólucro está totalmente isolado da parte em contato com o meio (palheta). Como vantagem, além de diferentes tamanhos de palheta, esse equipamento não necessita de alimentação elétrica para sua operação.

Os fabricantes recomendam a instalação da chave de fluxo em um trecho reto da tubulação de pelo menos 5 x D.I. (cinco vezes o diâmetro interno) a montante e a jusante. Além disso, sua instalação não deve ocorrer próxima a válvulas, curvas, reduções ou qualquer outro obstáculo que possa comprometer o desenvolvimento normal do fluxo, ou seja, ocorrência de

refluxo que neutraliza a ação da chave ou oscilação que provoca o liga-desliga contínuo. Pode ser instalada em tubulações verticais, tanto com fluxo ascendente como descendente. Encontram-se chaves de fluxo do tipo palheta com faixa de preço variando desde US\$100 a US\$300.

Na chave de fluxo do tipo pistão, a passagem do líquido pelo sensor provoca o deslocamento preciso de um pistão magnético que detecta aumento ou diminuição do fluxo. Foi desenvolvida para uso nas áreas de ar condicionado, segurança de incêndio, indústrias químicas, mecânicas e plásticas, assim como no controle de tratamento de água de piscina ou em qualquer situação em que se necessite ligar ou desligar um equipamento na presença ou não de fluxo. Os valores de preço no mercado variam de US\$150 a US\$700.



Figura 3.12– Chave de fluxo do tipo palheta (esq.) e pistão (dir.) - Cortesia: Nivetec

De uma maneira geral, por questões de preço e aplicabilidade para verificação do fluxo de água em bombas, a utilização de chave de fluxo do tipo palheta é mais vantajosa que a de pistão. Além disso, a chave do tipo palheta é produzida pelos principais fabricantes de equipamentos de medição no Brasil, como a Conaut, Incontrol e Nivetec.

As vantagens da chave de fluxo são: fácil instalação, não necessita de alimentação elétrica, quase não precisa de manutenção. Como desvantagens, tem-se: necessidade de haver trecho reto na tubulação para correta instalação, não totaliza o tempo de passagem do fluxo e deve estar acoplada a um armazenador, o que faz aumentar seu custo.

### 3.3.2 Medição em superfície livre

Um escoamento com superfície livre tem como fronteira superior a superfície livre do próprio líquido, em contato com a atmosfera ou outro meio gasoso, como é o caso das calhas e

dos canais. Pode ocorrer, também, em condutos fechados onde o líquido não preenche totalmente a seção. Em qualquer um dos casos, a linha de pressão do escoamento, também denominada linha piezométrica, coincide com o perfil da superfície livre, estando submetida somente à pressão atmosférica.

#### 3.3.2.1 Medidor ultrassônico de vazão por Efeito Doppler:

O efeito Doppler foi descoberto em 1842 e é utilizado em sistemas de radar (no ar) e sonar (na água), além de estudos médicos e biológicos (Lamon, 2006). O processo baseia-se no fato de que a quantidade e qualidade tonal, ou da frequência, variam em relação a um observador estático quando o alvo está parado ou em movimento (para esse caso, o fluido cuja vazão será medida). Quando a emissão ultrassônica é projetada no fluido, necessariamente com partículas sólidas em suspensão, uma parte dessa frequência é refletida (pelas partículas) de volta para o sensor, que o detecta com uma frequência ligeiramente diferente da original, pelo fato dessas partículas estarem em movimento, com velocidade igual à do fluido. Esse desvio de frequência (denominado desvio Doppler) é diretamente proporcional à velocidade do escoamento.

Suas limitações devem-se ao fato de que o fluido em escoamento deve, necessariamente, apresentar sólidos em suspensão ou bolhas de ar (que, eventualmente, podem ser injetadas em água limpa) e velocidade de escoamento suficiente para manter esses sólidos ou bolhas dispersas e em movimento da corrente (sem decantação). Podem, entretanto, medir a vazão em tubulações parcialmente cheias. Pinto (2003) recomenda a instalação desses medidores apenas para medições de vazão em condutos forçados ou de superfície livre escoando água bruta, efluentes industriais ou esgotos domésticos, todos com sólidos em suspensão ou bolhas de ar.

São diversos os tipos de equipamentos por efeito Doppler, que podem medir vazão em canais e tubos, instalados de forma fixa, conforme Figura 3.13 a seguir. Podem também serem aparelhos portáteis, utilizados para medição a vau em pequenos rios ou canais (vide Figura 3.13). Finalmente, esses equipamentos podem ser acoplados a uma embarcação para medição de vazão em rios de médio e grande porte, de acordo com a Figura 3.14.



Figura 3.13– Ultrassônicos tipo Doppler em canais abertos (esq.) e dutos fechados (dir.) - Cortesia: Sontek



Figura 3.14 – Medição a vau com ultrassônicos tipo Doppler (*Flowtracker*)



Figura 3.15 – Medição com ultrassônicos tipo Doppler em canais e rios de médio e grande porte, com embarcação (Acoustic Doppler Current Profiler - ADCP)

Os critérios de instalação desses medidores devem receber a mesma atenção descrita para os medidores de tempo de trânsito e eletromagnéticos, inclusive no que tange à necessidade de trechos retos de tubulação a montante e a jusante do sensor. Sua precisão pode variar de 1% a 5%, dependendo das características do fluido, da velocidade do escoamento, diâmetro da tubulação e do fabricante (Lamon, 2006). Fluidos muito concentrados podem impedir a penetração das ondas ultrassônicas, impossibilitando a medição.

Em consulta aos fabricantes Argonaut e Nivetec, o ultrassônico doppler instalado, com o dispositivo eletrônico secundário, custa US\$8.700 (R\$26.100 – 14/04/2015).

### 3.3.2.2 Medidores de regime crítico

Os medidores de regime crítico consistem num simples estrangulamento adequado da seção, no rebaixo ou no alteamento do fundo, ou ainda numa combinação dessas singularidades, capaz de ocasionar o regime livre de escoamento (Azevedo Netto *et al.*, 2002).

A Calha Parshall, idealizada em 1918 por R.L. Parshall, engenheiro do Serviço de Irrigação do Departamento de Agricultura dos EUA, constitui-se de um canal de seção retangular com uma seção convergente, seguida de uma estrangulada e outra divergente. Essa calha não apresenta arestas vivas nem obstáculos consideráveis ao escoamento do fluido, sendo excelente para medições tanto de água bruta quanto esgotos e efluentes.

Frangipani (2007) alerta sobre o cuidado de especificar o medidor de acordo com a vazão a ser medida, sendo a referência de suas dimensões a largura na seção estrangulada, denominada pela letra “W” e instalar o medidor ultrassônico de nível (esse medidor secundário será abordado posteriormente) no local exato recomendado pelo fabricante. A determinação desse nível, representado pela letra “H”, fornece a vazão diretamente pela fórmula genérica para esses medidores determinada por:  $Q = \lambda \cdot H^n$ , sendo  $\lambda$  e  $n$  constantes em função de W.

Os fabricantes recomendam a instalação da calha em regiões sem turbulências na seção inicial, a fim de evitar prejuízo para os valores de medição. Os limites práticos dos medidores Parshall vão de  $W=1'$  e  $Q_{\text{mín}}= 0,11$  l/s até  $W=10'$  e  $Q_{\text{máx}} = 5660$  l/s. Há diversos fabricantes disponíveis no Brasil, sendo grande a diversidade de materiais empregados na sua construção. Especificamente, as calhas em Poliéster Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV) vêm sendo bastante utilizadas, apresentando custos acessíveis, resistência química e mecânica, e facilidade na construção (vide Figura 3.15). As calhas Parshall têm precisão de medida em torno de 1% (Lamon, 2006).

As calhas Palmer-Bowlus funcionam de maneira muito semelhante às calhas Parshall. No entanto, apresentam seção semicircular, ideais para instalação direta em tubulações, sem necessidade de construção de canais retangulares (vide figura 3.16). Podem ser fornecidas com

as extremidades flangeadas, com pontas de tubo para conexão com luva de correr ou lisa, conforme instalação no campo. São majoritariamente fabricadas em PRFV e dispõem de larga faixa de medições, determinadas pelo diâmetro “D”, desde  $D = 4''$  e  $Q=3,28$  l/s até  $D = 48''$  e  $Q=1769,51$  l/s. Apresentam precisão de 3% (Lamon, 2006), sendo recomendadas para escoamentos em superfície livre em tubulações circulares (tipo “meia-cana”). As recomendações quanto à escolha da dimensão, material e instalação da Calha Palmer-Bowlus seguem os mesmos princípios descritos para a Calha Parshall.



Figura 3.16 – Calha Parshall instalada (esq.) e calha Palmer-Bowlus (dir.) -  
Cortesia: Inccer

O preço da calha Parshall varia de acordo com o tamanho do canal a ser instalado. Foi apreçado somente o valor da calha apropriada para um canal de 1 metro de largura, que instalada custa US\$3.300 (R\$9.900 – 14/04/2015).

Assim como as calhas supracitadas, os vertedouros são medidores de regime crítico capazes de medir a vazão por meio do conhecimento da altura da lâmina d’água no mesmo. Essa medição pode ser feita com um medidor ultrassônico de nível, relatado a seguir. Igualmente, basta entrar como a medida da altura da lâmina d’água, denominada “h”, na fórmula do vertedouro e obtém-se a vazão escoada pela seção. Existem vários tipos de vertedouros, sendo mais comuns os retangulares, as triangulares e os trapezoidais.

É preferível a utilização de vertedouros que tenham sido bastante experimentados, com sua equação conhecida e consagrada (Frangipani, 2007). Deve-se atentar para que o escoamento seja livre, as bordas bem talhadas, na posição horizontal, sendo que toda a água deve escoar unicamente pelo vertedouro. A medida de h deve ser feita a montante do vertedor, de acordo com a recomendação técnica para o tipo escolhido.

*Vertedouros Trapezoidais:* Segundo Porto (2006), existem diversas fórmulas para o cálculo da vazão em vertedouros retangulares de parede fina, sendo a mais usual a fórmula de Francis, onde  $Q=1,838 \times L \times h^{3/2}$ , sendo L a largura do vertedouro e h a carga medida a montante do mesmo. Para o caso de vertedouros com contrações laterais, a fórmula deve ser corrigida de acordo com o número de contrações. Deve-se ter o cuidado para que seja permitido ao ar circular livremente sob a lâmina vertente, caso contrário a vazão medida será inferior a real devido à contração da veia líquida causada pelo arraste desse ar. Foi apreçado o valor de aquisição e instalação de um vertedouro retangular de soleira delgada para um canal com 1 metro de largura: US\$2200 (R\$6.600 – 14/04/2015).

*Vertedouros Trapezoidais:* Cipoletti determinou o vertedouro trapezoidal com inclinação de 1:4 em suas faces de forma a compensar o arraste de ar. Dessa maneira, calcula-se a vazão diretamente pela fórmula de Francis (Porto, 2006).

*Vertedouros Triangulares:* Porto (2006) recomenda a utilização de o vertedouro triangular com ângulo de  $90^\circ$  entre suas faces. É excelente para vazões reduzidas e obtêm-se o cálculo da vazão por meio da fórmula de Thomson:  $Q=1,40 \times h^{5/2}$ .



Figura 3.17 – Vertedouro retangular (esq.), triangular (centro) e trapezoidal (dir.)

*Outros vertedouros:* Podem ainda ser utilizados outros tipos tais como circulares, tubulares ou tipo Sutro, observando o conhecimento prévio das equações relativas a cada um, instalando-os e/ou construindo-os criteriosamente. É possível comprar vertedouros prontos de diversos fabricantes, principalmente em PRFV, desde que especificadas as vazões mínimas, médias e máximas de escoamento. Os vertedouros são alternativas mais simples e econômicas, se comparados às calhas Parshall e Palmer-Bowlus, cabendo selecionar aquele mais adequado a cada situação e instalar o medidor de nível na distância correta e recomendada.

### 3.3.2.3 Medidores de nível

Os medidores de nível são equipamentos eletrônicos instalados em conjunto com as calhas Parshall e os vertedouros, sendo utilizados como auxiliares a esses medidores, e responsáveis pela leitura do nível d'água em intervalos de tempos pré-definidos, a fim de gerar uma totalização volumétrica do fluxo de água que passa pelos medidores de regime crítico. Podem ser classificados, basicamente, em dois tipos: os transdutores sob pressão e os sensores sem contato com a água.

*Transdutores sob pressão:* também denominados de sensores hidrostáticos, esses medidores de nível são compostos por uma membrana sensível e um sensor acoplados a um circuito eletrônico, encapsulados na extremidade de um cabo. Os transdutores determinam o nível através da medida da pressão da coluna de água, podendo o sensor estar diretamente submerso ou acoplado externamente (vide figura a seguir). A pressão é medida pela resistência elétrica gerada pelo sensor, em intervalos de tempo ajustáveis, por meio do circuito eletrônico, obtendo-se o nível d'água naquele momento. Em consulta aos fabricantes GE e Nivetec, o sensor de pressão custa, em média, US\$800 (R\$2.400 – 14/04/2015).

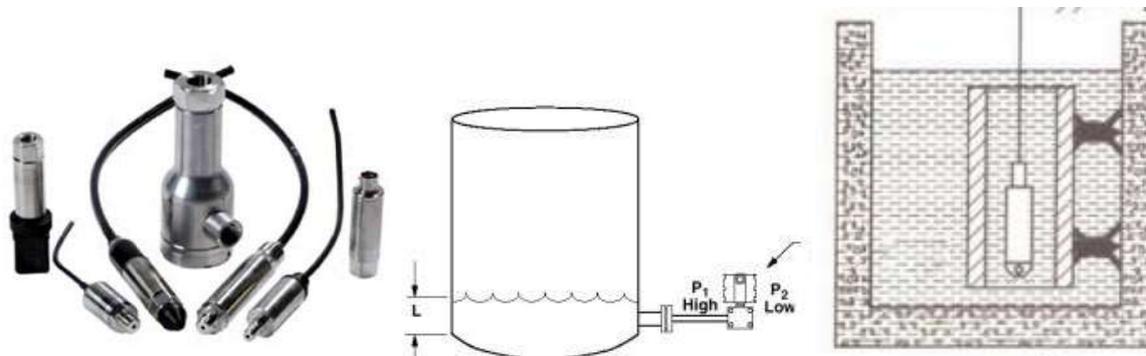


Figura 3.18 – Sensor de pressão hidrostático (esq.), acoplado externamente (centro) ou submerso (dir.) - Cortesia: GE

*Sensores sem contato com a água:* para leitura do nível d'água sem contato com o meio, o princípio mais utilizado comercialmente é o medidor *ultrassônico*. Esse equipamento, eletrônico micro processado, é capaz de registrar a distância entre sua face inferior e um material qualquer pela emissão e recepção de pulsos de ultrassom refletidos no material. Como vantagens desse medidor, tem-se:

- Não apresenta partes móveis nem contato algum com o fluido medido;

- Custo relativamente baixo, se comparado aos outros equipamentos ultrassônicos. Foi orçado valor médio de US\$ 1.200 (R\$3.600) em consulta a três fabricantes;
- Alta precisão (em torno de 0,25%, segundo informações dos fabricantes);
- Permitem montagem integral (sensor e transmissor) ou remota, conforme necessidade local;
- Versáteis em termos de faixa de medição (até 25m para líquidos);
- Facilidade de conexão com um *Data Logger* através de sinal analógico ou de rede, diretamente do transmissor ao referido equipamento de armazenamento de dados.

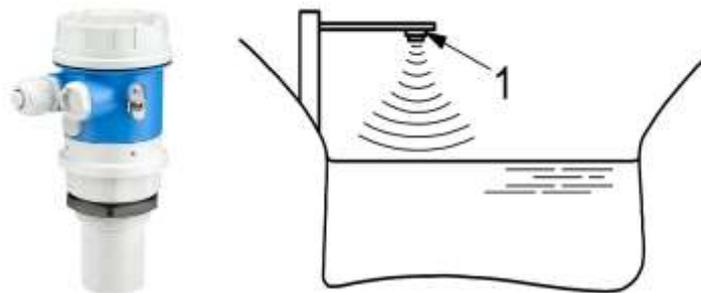


Figura 3.19 – Ultrassônico de nível: aparelho (esq.), trânsito pelo ar (dir.)  
Cortesia: Endress+Hauser

### 3.3.3 Normatização dos equipamentos

De uma maneira geral, todos os instrumentos aqui descritos, desde que adquiridos por meio de fabricantes ou representantes estabelecidos no Brasil e reconhecidos pelo mercado, seguem as normas da ISA – International Society of Automation.

No Brasil, as normas que regulamentam os instrumentos de medição de vazão, nível e pressão, assim como toda instrumentação industrial são as da ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas, sempre prevalecendo a última edição. No caso de inexistência de norma ABNT, as que regularizam são as internacionais, ISA (Instrumentation, Systems and Automation Society), IEC (International Electrotechnical Commission), IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), NEMA (National Electric Manufacturers Association), e ASTM (American Society for Testing and Materials). Como referência, todas as normas de equipamento de medição são publicadas pela ISO (International Organization for Standardization).

No Brasil, no que tange às medições de vazão, as normas elaboradas pela ABNT e em vigor são traduções publicadas. Seguem as normas em vigor relacionadas ao tema:

- ABNT NBR 10396:1988: Medidores de vazão de fluidos – Classificação;
- ABNT NBR 10977:1989: Medidor de vazão de fluidos – Terminologia;
- ABNT NBR ISO 4185:2009: Medição de vazão de líquidos em dutos fechados - Método gravimétrico;
- ABNT NBR ISO 5167-1:2008: Medição de vazão de fluídos por dispositivos de pressão diferencial, inserido em condutos forçados de seção transversal circular. Parte 1: Princípios e requisitos gerais;
- ABNT NBR ISO 5167-1:2008: Medição de vazão de fluídos por dispositivos de pressão diferencial, inserido em condutos forçados de seção transversal circular. Parte 2: Placas de orifício;
- ABNT NBR ISO 6817:1999: Medição de vazão de líquido condutivo em condutos fechados - Método utilizando medidores de vazão eletromagnéticos;
- ABNT NBR ISO 9104:2000: Medição de vazão de fluidos em condutos fechados - Métodos para avaliação de desempenho de medidores de vazão eletromagnéticos para líquidos;
- ABNT NBR ISO 9826:2008: Medição de vazão de líquido em canais abertos - Cálculos Parshall e SANIIRI;
- ABNT NBR ISO 3846:2011: Hidrometria – Medição de vazão em canal aberto utilizando vertedores retangulares de soleira espessa.

### 3.4 SISTEMAS DE SUPORTE À DECISÃO

A abordagem da necessidade de medição e da exigência quanto às vazões outorgadas, ou seja, da fiscalização do uso de recursos hídricos em si, envolve várias questões:

- Demanda pela água (vazão outorgada, se é captação ou lançamento, etc.);
- Oferta da água (localização do empreendimento, vazões de referência, etc.);
- Classificação do uso (comprometimentos individual e coletivo, nível de significância);
- Nível de exigência quanto à classificação: se há necessidade de instalar equipamento;
- Tipos de monitoramento a serem exigidos ou equipamentos a serem instalados.

Observa-se, dessa forma, que propostas de soluções para abordagem do tema exigem grande complexidade, uma vez que o mesmo trata de inúmeras variáveis e incertezas. Sendo assim, torna-se necessário adotar uma abordagem sistêmica para encontrar soluções satisfatórias ao problema decisório.

Lanna (2002) conceitua a abordagem sistêmica à abstração, ou simplificação, de um problema complexo, de tal maneira que apenas sejam mantidas as informações mais relevantes para sua solução.

Dooge (1973 *apud* Tucci, 1998) conceitua sistema como *qualquer estrutura, esquema, ou procedimento, real ou abstrato, que, em um dado tempo de referência, interrelaciona-se com uma entrada, causa ou estímulo de energia ou informação e uma saída, efeito ou resposta de energia ou informação.*

Já o processo de tomada de decisão é a atividade de analisar alternativas e escolher uma delas. Porto *et al.* (2002) relatam que a teoria de decisão procura formalizar e tornar mais objetiva a escolha entre muitas alternativas em um ambiente de incertezas. Como tomar decisão é fazer uma escolha entre ações, é preciso primeiro identificar essas possíveis ações (variáveis de decisão) em uma lista de decisões exaustivas e mutuamente exclusivas (Lindley, 1998).

Scott Morton (1971 *apud* Loucks, 1995), no início da década de 1970, deu início aos chamados Sistemas de Suporte à Decisão – SSD, quando delineou os principais conceitos envolvidos num sistema denominado por ele próprio como Sistema de Decisões Gerenciais. Esse sistema compreendia estruturas computacionais interativas que tinham o objetivo de auxiliar os responsáveis pela tomada de decisões a utilizar dados e modelos para solucionar problemas não muito bem delineados.

Porto e Azevedo (2002) conceituam os sistemas de suporte a decisão como sistemas constituídos por bases de dados e modelos matemáticos que, interagindo entre si, propiciam, através de uma interface gráfica, o diálogo entre o tomador de decisões e o computador. A Figura 3.19 apresenta a estrutura típica de um sistema de suporte a decisão:

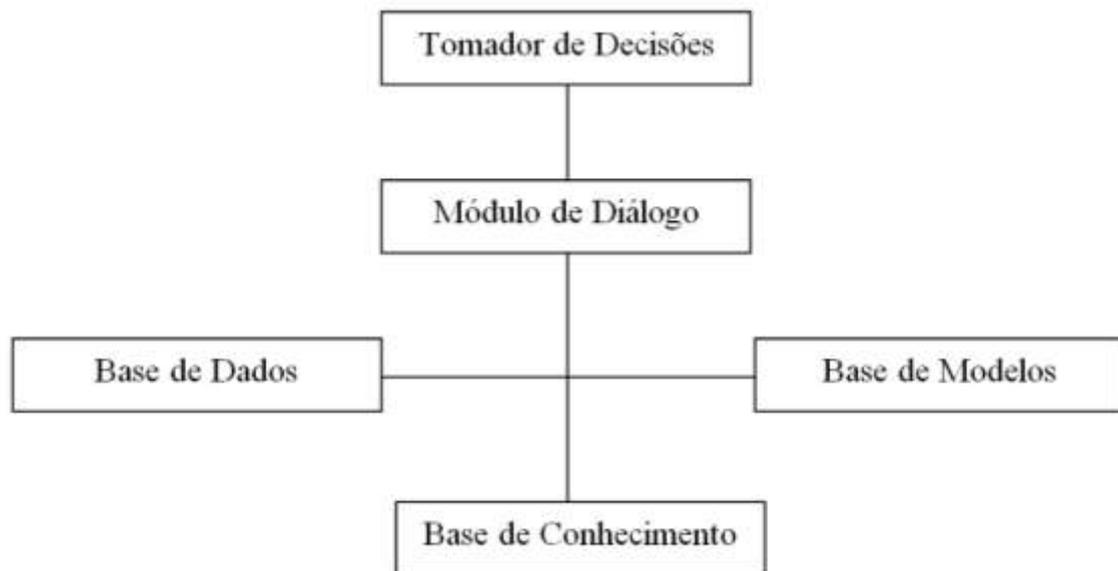


Figura 3.20 – Estrutura típica de um sistema de suporte a decisão (Porto e Azevedo, 2002)

De acordo com a figura acima, um SSD apresenta os seguintes componentes (Porto e Azevedo, 2002):

- Base de Dados: reúne e gerencia as informações do sistema;
- Base de Modelos: contém os modelos utilizados no sistema para atendimento a solução do problema;
- Base de Conhecimentos: conhecimentos que implicam na experiência de especialistas, permitindo geralmente a incorporação de informações que não são passíveis de tratamento pelos módulos anteriores;
- Módulo de Diálogo: responsável pela comunicação do usuário com o computador.

Um conceito importante abordado por Rodrigues (2005) é que a função principal de um SSD seja analisar os fatores envolvidos e oferecer subsídios que auxiliem a tomada de decisão. Complementando, Collischonn (2014) enfatiza que um SSD seja um sistema de apoio, e não de tomada de decisão. Assim, as saídas do sistema devem ser na forma de gráficos, mapas, tabelas ou indicadores de fácil interpretação, e possuir flexibilidade suficiente para não engessar a tomada de decisão.

Cruz (2004) ressalta que um SSD deve possuir um conjunto de recursos em diálogo, dados e construção de modelos, equilibrado e facilmente utilizável por usuários não técnicos. Sendo assim, seu desenvolvimento parte do pressuposto de uma interface autoexplicativa,

priorizando a interatividade entre o sistema e o operador, bem como possibilitando a adaptabilidade e flexibilidade às alterações no ambiente.

Segundo Alter (1980), as principais características de um SSD são a interatividade entre o usuário e a máquina, a acessibilidade – devem ser de fácil uso – e a flexibilidade, a fim de poder se adaptar às necessidades das diversas situações.

Como características principais, Cruz (2004) elenca os seguintes aspectos de um SSD:

- Utilizam modelos ou técnicas analíticas, combinados com funções tradicionais, a fim de acessar e recuperar as informações;
- Concentram-se de forma mais específica em recursos que facilitem seu uso para pessoal não especializado em computação, com ênfase interativa e amigável;
- Possibilitam a adaptação a mudanças no ambiente e na abordagem à tomada de decisões utilizada pelo usuário.

No que tange aos SSD's no âmbito do planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, tendo em vista as diversas variáveis envolvidas, pode-se utilizar as ferramentas desses sistemas de apoio para estruturar os complexos problemas existentes, de modo a propiciar tomadas de decisões mais rápidas e precisas (Cruz, 2001).

Almeida (2006) relata que um SSD na área de recursos hídricos é composto, em geral, por três componentes: um banco de dados, um conjunto de modelos e interfaces de acesso. Relata que, por meio dessas interfaces, o usuário realiza simulações na busca de um gerenciamento e planejamento racional dos recursos hídricos. Exemplificando, simulações hidrológicas que tratem da água em qualidade e quantidade, podem ser realizadas com os SSD's para diversos fins, como alocação de água ou disponibilidade para outorga. Daí a necessidade de um conjunto de modelos, módulos de diálogos e informações armazenadas em bancos de dados.

### 3.4.1 Sistemas de suporte à decisão específicos para a outorga

Verifica-se que, no Brasil, existem diversos trabalhos na área de recursos hídricos que propõem sistemas de suporte à decisão para análise de outorgas. A seguir, será elencada, em ordem cronológica, uma família de SSD's que trata de temas como disponibilidade e alocação de água, significância dos usos consuntivos em uma determinada região, com vistas a auxiliar os processos decisórios relativos à outorga de direito do uso de recursos hídricos. As ferramentas e modelos contidos nesses sistemas constituem uma base para montagem do SSD desenvolvido na presente dissertação.

Ferraz e Braga (1998) desenvolveram um SSD para outorga, em caráter experimental, para a bacia do rio Corumbataí (SP). Um aspecto interessante é que esse sistema contempla, além do aspecto quantitativo, o aspecto qualitativo da outorga para diluição de efluentes.

Silveira *et al.* (1998) apresentam um SSD bastante abrangente para outorga na bacia hidrográfica do rio Santa Maria (RS), levantando em conta um subsistema de cadastro de usuários na bacia (disponibilidade hídrica).

Pereira, P. R. G. (2000) desenvolveu um SSD para análise dos pleitos de outorga denominado DAFNE, com aplicação para o caso da bacia do Lago Descoberto (DF/GO). O trabalho foi concebido em três módulos: o 1º caracteriza sistema de forma geral, indicando os critérios de alocação de água; o 2º corresponde ao balanço hídrico, ou seja, verifica as disponibilidades do recurso água *versus* as demandas pelo seu uso; e o 3º faz um controle das outorgas por meio de registro das informações relevantes do sistema e dos usuários, renovando-as a cada solicitação ou renovação de outorga.

Santana *et. al* (2002) elaboraram um SSD utilizando como ferramenta a planilha MS Excel®, tendo como estudo base a bacia do rio das Fêmeas (BA). Nesse sistema, o balanço hídrico é feito por afluentes, e cada um destes afluentes corresponde a uma nova aba na planilha, o que torna a caracteriza uma topologia hídrica relativamente simples.

Matos (2004) aprimorou o SSD desenvolvido por Pereira (2000), tendo formulado o sistema DAFNE 0.97/2003, incorporando na análise de pleitos de outorga, levando-se em conside-

ração os aspectos de qualidade da água. O trabalho incluiu novos testes numa bacia hidrográfica de características socioeconômicas e hidrológicas diferentes, a bacia do rio Jacuípe, localizada no estado da Bahia.

Rodrigues (2005) concebeu o sistema denominado SSD-RB, constituído pelo modelo de outorga e cobrança pelo uso da água RM1, elaborado pela própria Rodrigues (2000), e pelo modelo de qualidade das águas QUAL2E. A ferramenta foi aplicada à bacia do rio Jundiáí, afluente do rio Tietê, localizado no Estado de São Paulo.

Porto *et al.* (2005) criaram o sistema Acquanet, originado do MODSIM (Roberto, 2002). O Acquanet representa o sistema de recursos hídricos por meio de nós (reservatórios, demandas e confluências) e arcos (trechos de rios, canais e adutoras), tendo sido aplicado principalmente para sistemas de reservatórios.

Brigagão (2006) desenvolveu um aplicativo a ser incorporado ao Acquanet, capaz de auxiliar, sob o ponto de vista econômico ou financeiro, um processo de tomada de decisão relacionado à cobrança, à outorga ou ao enquadramento. O estudo de caso escolhido para este aplicativo foi a bacia da barragem do Descoberto no Distrito Federal.

Marques (2006) criou um SSD denominado Aquora, que diferencia pelo fato da operação do sistema ser possibilitada via internet, em modo multiusuário. O sistema é integrado em rede, e baseia-se na estruturação de um acervo das informações necessárias à gestão de outorgas, em um banco de dados simples e *online*, aplicado à bacia do rio Doce.

Ravanello (2007) elaborou uma adaptação do Acquanet, denominada OutorgaLS, voltada para outorga de uso da água, tendo sido incorporadas facilidades de uso em relação ao Acquanet. Para verificação do funcionamento dessa aplicação, tomou a bacia hidrográfica do rio Ibicuí-RS para estudo.

Lima (2007) criou um sistema de apoio mais abrangente, denominado *Riverhelp!*, utilizado como ferramenta para auxiliar no planejamento e gerenciamento integrado de bacias hidrográficas. Esse SSD inclui ferramentas de análise que permitem considerar fatores ambientais, econômicos e sociais, além das funções para auxiliar os processos de outorga. Ele é composto por quatro módulos principais, com código aberto baseado na tecnologia OpenMI,

o que permite aos usuários alterar e incluir funções. Foi aplicado como estudo e análise para as Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí.

Collischonn&Lopes (2009) criaram um sistema de suporte à decisão para análise de outorgas na bacia do rio Paraná. Denominado Sistema de Controle de Balanço Hídrico (SCBH), esse sistema foi desenvolvido em Matlab 2006 e é capaz de realizar análises do impacto de captações de água e de lançamentos de efluentes na disponibilidade hídrica existente, bem como de identificar trechos de rios críticos.

Pereira (2010) desenvolveu um sistema de suporte à decisão para outorga de captação de água, tomando como estudo de caso a bacia do rio dos Sinos-RS. Uma característica interessante desse SSD é a integração do mesmo com um sistema de informação geográfica (SIG), tornando mais visual o comprometimento hídrico e mais didática a tomada de decisão.

Finalizando, Collischonn (2014) aprimorou o Sistema de Controle de Balanço Hídrico - SCBH criado em 2009, que foi desenvolvido inicialmente em linguagem Matlab e consistia de um sistema local. O novo sistema funciona em computadores individuais ou em grupos de computadores conectados a um mesmo servidor institucional, em linguagem PHP com banco de dados SQL Server. Este SSD vem sendo utilizado na prática para análise de outorgas na Agência Nacional de Águas e em alguns órgãos gestores estaduais e será detalhado a seguir.

### **3.4.2 O Sistema de Controle de Balanço Hídrico - SCBH**

O SCBH permite analisar a interferência conjunta de outorgas para captações e lançamentos em bacias com vários domínios e, conseqüentemente, com participação de vários tomadores de decisão, permitindo uma efetiva integração do gerenciamento de recursos hídricos (Collischonn, 2014).

Um dos propósitos desse sistema foi compatibilizar o domínio (administração) dos recursos hídricos, entre os Estados e a União. Isso porque a lei das águas preveja entre seus fundamentos que a unidade de gestão dos recursos hídricos seja a bacia hidrográfica, a Constituição Federal dividiu em cursos d'água, e não em bacias hidrográficas, a administração do uso da água.

O produto a ser fornecido pelo SCBH são os indicadores de comprometimento, onde o ICI é o indicador de comprometimento individual, ICC é o indicador de comprometimento coletivo, descritos nos itens 3.2.5 e 3.2.6 anteriores.

Collischonn (2014) descreve que, com base na interpretação dos indicadores, o tomador de decisão dá o encaminhamento adequado ao pedido de outorga. Por exemplo, em alguns órgãos gestores, os comprometimentos individual e coletivo não podem superar, digamos, 20% e 80% da vazão de referência. É também por meio do indicador que o tomador de decisão avalia o cumprimento a eventuais normativos referentes a vazões mínimas a serem mantidas no rio.

Para cálculo dos indicadores ICI e ICC, o SCBH extrapola a vazão de referência do ponto onde esta é conhecida (a estação de monitoramento) para o local onde se deseja estima-la (o novo ponto de captação). Isto pode ser feito por meio de uma relação de áreas de drenagem ou uma regionalização de vazões.

Continuando, o balanço hídrico entre demandas e disponibilidade hídrica no SCBH é feito por trechos de rio. Um trecho é a feição da hidrografia situada entre duas confluências. A discretização do sistema por trechos implica que, a cada trecho, corresponde uma única vazão de referência. Dentro de um mesmo trecho, não é possível distinguir qual usuário está a montante e a jusante. Tudo se passa como se todos usuários estivessem no exutório do trecho. Para uma base hidrográfica suficientemente densa, esta discretização não causa maiores problemas.

Da mesma forma, a apresentação dos resultados de indicadores de comprometimento corresponderá ao trecho onde o usuário se encontra, não sendo possível calcular comprometimentos coletivos distintos para usuários em um mesmo trecho.

As informações de cada trecho são armazenadas no SCBH segundo uma metodologia para classificação de cursos d'água conhecida como ottocodificação, desenvolvida pelo engenheiro Otto Pfaffstetter, do extinto DNOS. Ela classificação consiste na atribuição de Algarismos inteiros a cada sub-bacia, sendo que os Algarismos pares são atribuídos às quatro maiores sub-bacias (em área de drenagem), em ordem crescente de jusante para montante.

Já os algarismos ímpares são atribuídos às chamadas interbacias, ou bacias incrementais, situadas entre as sub-bacias principais (ANA, 2006 *apud* Collischonn, 2014). A Figura a seguir mostra um exemplo de codificação de sub-bacias:

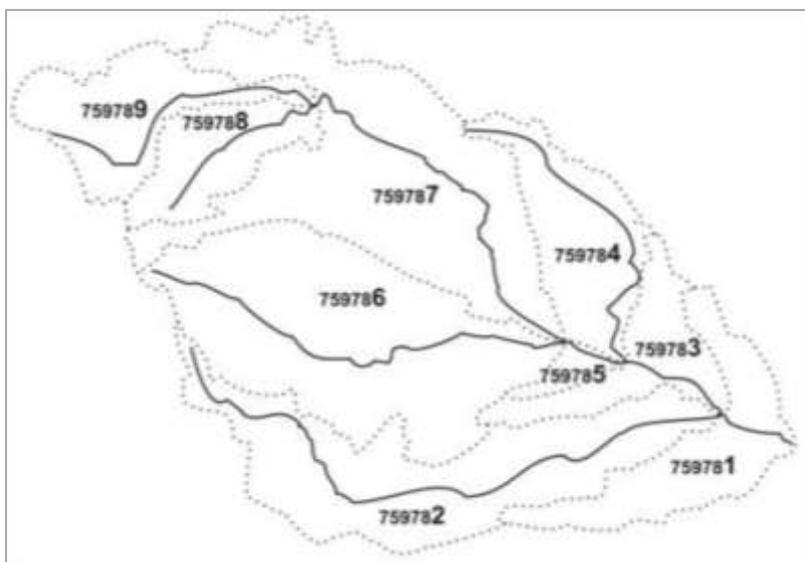


Figura 3.21 - Codificação otto - Cortesia ANA (2006)

A versão local do SCBH, desenvolvida em MATLAB, foi aplicada às bacias do São Francisco, Paraná (exceto bacia do São Marcos), Piranhas-Açu, Paraíba do Sul, Tocantins e Doce. Já a versão *Web* do SCBH está disponível para a bacia do rio Uruguai, em conjunto com a bacia da Lagoa Mirim, bacia do rio São Marcos (DF/GO/MG), bacia do rio Preto (DF/GO/MG), bacia do Itapecuru (MA), além de um sistema dedicado aos reservatórios de domínio da União no semiárido nordestino (Collischonn, 2014). O endereço para acesso do SCBH na versão *Web* é <http://scbh.ana.gov.br>. A Figura a seguir mostra as bacias em que o sistema foi implementado.

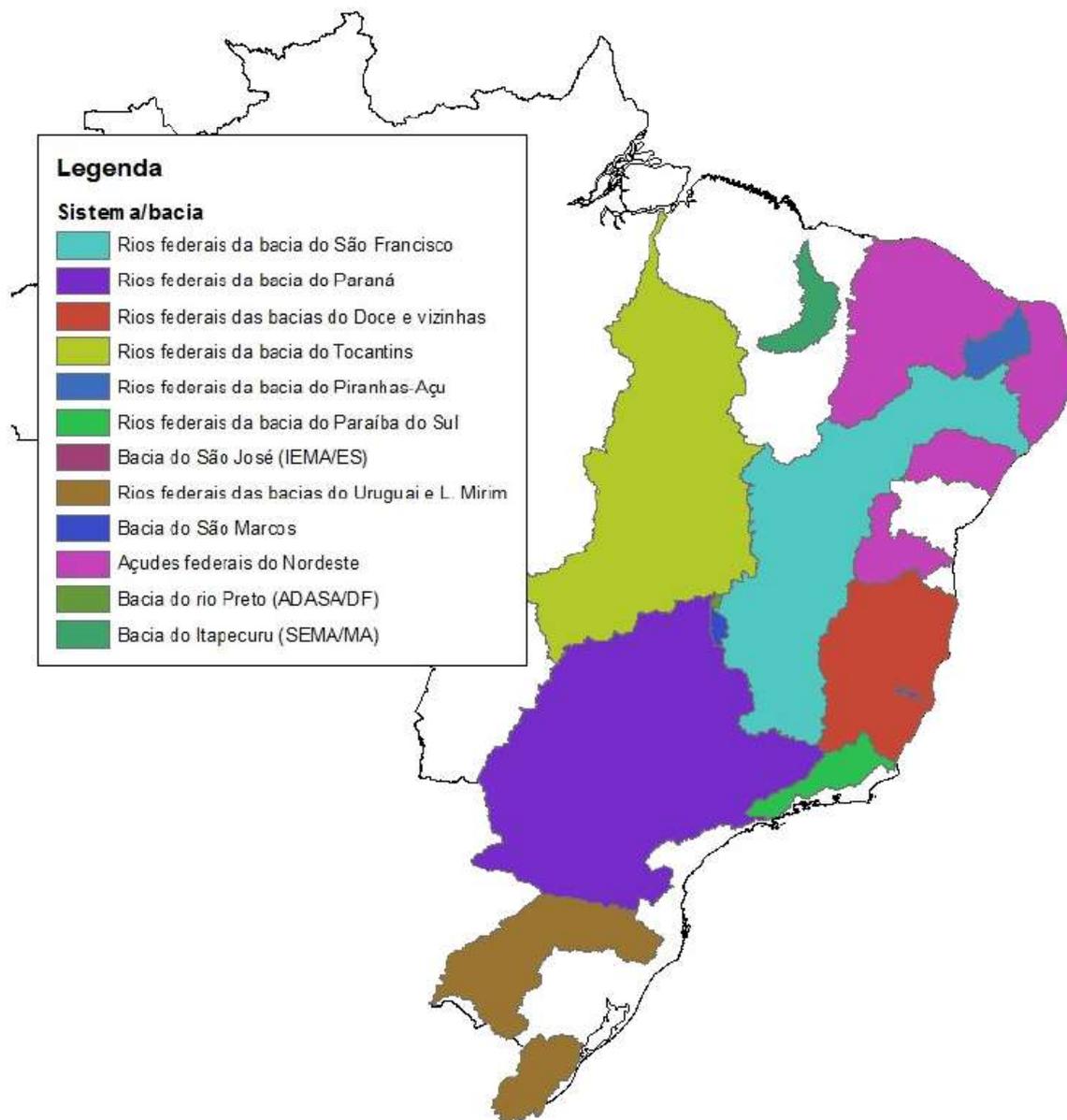


Figura 3.22 – Bacias em que o SCBH foi implementado (Collischonn, 2014)

A versão inicial do SCBH, em linguagem MATLAB, já está sendo adotada pela ANA e por alguns órgãos gestores estaduais para análise de outorgas, nas bacias supracitadas. A inovação desse SSD se dá na versão *Web*, no que diz respeito ao tipo de usuário que pode acessar o sistema e obter resposta quanto ao uso de recursos hídricos a ser outorgado.

Explicitando melhor, na tela inicial, o sistema pergunta se o acesso está sendo realizado por usuário interno ou externo. Por usuário interno entende-se um analista de algum órgão gestor que use o SCBH e que possua permissões de acesso para tal, inserindo *login* e senha. Este usuário irá inserir os dados de um requerimento de outorga, e o sistema irá fornecer informações para a tomada de decisão no que tange a conceder (ou não) a autorização do uso de

recursos hídricos. A partir dos dados de resposta do sistema, o usuário poderá emitir um parecer favorável (ou não) à outorga de direito de uso solicitada.

Já o usuário externo é o público em geral, notadamente potenciais usuários de água ou profissionais da área. O público externo pode consultar se há disponibilidade hídrica no trecho para que o ponto solicitado possa ser outorgado. Ou seja, o usuário externo pode utilizar o sistema para verificação no que tange à possibilidade de seu requerimento de outorga ser aceito. Essa verificação preliminar sobre a disponibilidade hídrica de um dado manancial serve como planejamento ao usuário de recursos hídricos no que tange à solicitação do seu pedido de outorga.

Collischonn (2014) enfatiza a importância ao acesso de usuários externos, potenciais usuários de água, no que tange a conferir transparência ao gerenciamento de recursos hídricos, uma vez que permite ao usuário se familiarizar com os critérios para tomada de decisão, além de antecipar e evitar conflitos futuros. Além disto, esta versão externa também evita uma sobrecarga aos próprios analistas, que frequentemente têm que responder a este tipo de consulta informal.

Demonstra-se, a seguir, a versão *Web* do SCBH. Após a informação inicial sobre o usuário, podendo ser interno (com *login* e senha) ou externo, abre-se uma janela para selecionar qual das bacias se deseja fazer a análise de disponibilidade hídrica (vide Figura abaixo):



Figura 3.23 – Acesso ao SCBH via *Web* pelo endereço: <http://scbh.ana.gov.br>.

Supondo que tenha sido escolhida a bacia do rio Uruguai, o sistema solicita as seguintes informações para entrada de dados: nome do usuário, número do processo, tipo de interferência (captação ou lançamento), vazão máxima e regime de operação (nº de horas/dia e nº de dias/mês), e as coordenadas da interferência (latitude e longitude). Como exemplo, tomou-se uma coordenada conhecida no próprio rio Uruguai e considerou-se uma vazão de 500 m<sup>3</sup>/h, sendo captação de água, conforme figura a seguir:

**Gerência de Regulação**  
SCBH Bacia do rio Uruguai

*Sistema de controle de balanço hídrico - Versão web 0.1*  
*Bacia do rio Uruguai*

**Nome do usuário**

**Processo nº**

**Interferência**

**Vazão máxima**  m<sup>3</sup>/h  horas/dia  dias/mes

**Latitude sul**  graus  min  seg

**Longitude oeste**  graus  min  seg

[Verificar!](#)

Figura 3.24 – Dados de entrada no SCBH via Web

O SCBH verifica as coordenadas geográficas pela ottocodificação e, consultando os códigos nos respectivos bancos de dados, o sistema obtém o município em que se localiza, bem como o nome do manancial e o domínio das águas (se estadual ou federal), conforme figura a seguir.

**Gerência de Regulação**  
SCBH Bacia do rio Uruguai

*Verificação das coordenadas*

**Manancial** Rio Uruguai  
**Domínio** Federal  
**Município** Alecrim-RS  
Caso o manancial não corresponda, verifique as coordenadas.

*Regime de captação*

Mês	Vazão máxima (m <sup>3</sup> /h)	Horas por dia	Dias por mês
Janeiro	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>
Fevereiro	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>
Março	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>
Abril	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>
Maio	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>
Junho	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>
Julho	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>
Agosto	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>
Setembro	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>
Outubro	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>
Novembro	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>
Dezembro	<input type="text" value="500"/>	<input type="text" value="15"/>	<input type="text" value="20"/>

**Regime considerado**

[Verificar!](#)

Vazões máx. instantâneas  
Vazões médias diárias  
Vazões médias mensais  
Vazões médias anuais

Figura 3.25 – Tela de identificação do manancial e município, detalhamento da demanda e regime a ser considerado, SCBH via Web

Além da verificação da localização, o SCBH apresenta uma tabela com os valores de vazão máxima em todos os meses, podendo estes valores serem alterados. No fim da janela, solicita qual regime a ser considerado para cálculo da disponibilidade hídrica: vazão máxima instantânea, média diária, média mensal ou média anual (vide Figura anterior).

Outra tela aparece se o tipo de interferência for de lançamento, de acordo com Figura a seguir. Além da vazão máxima, as informações solicitadas em interferências de lançamento são os parâmetros de qualidade da água do efluente: Temperatura (°C), DBO (mg/l), Nitrogênio Total (mg/l) e Fósforo Total (mg/l).

**Gerência de Regulação**  
SCBH Baía do rio Uruguai

**Verificação das coordenadas**

**Manancial** Rio Uruguai  
**Domínio** Federal  
**Município** Alecrim-RS  
*Caso o manancial não corresponda, verifique as coordenadas*

**Regime de Lançamento**

**Vazão máxima (m<sup>3</sup>/h)** 500  
**Horas por dia** 15  
**Dias por mês** 20  
**Temperatura (°C)** 20  
**DBO<sub>5,20</sub> (mg/l)** 300  
**Nitrogênio total (mg/l)** 5  
**Fósforo total (mg/l)** 5

**Regime considerado** Vazões máx. instantâneas  
Verificar!

Figura 3.26 – Tela com identificação do rio e município e detalhamento dos dados do lançamento de efluentes, SCBH via Web

Finalizando, o SCBH realiza o balanço hídrico com as demais demandas da bacia e o cálculo dos Indicadores de Comprometimento Individual (ICI) e Coletivo (ICC). Em função dos indicadores, o sistema já emite um parecer prévio, indicando que o pedido de outorga pode ou não ser atendido.

**Gerência de Regulação**  
SCBH Bacia do rio Uruguai

Sistema de controle de balanço hídrico - Versão web 0.1

Resultados da análise - Teste de mestrado  
Porcentagem da bacia em território brasileiro: 97,1%

Mês	Vazão de referência (m <sup>3</sup> /s)	Comprometimento individual (%)	Demandas a montante (m <sup>3</sup> /s)	Comprometimento coletivo (%)
Janeiro	309,9	0,04%	16,76	5,45%
Fevereiro	309,9	0,04%	16,76	5,45%
Março	309,9	0,04%	16,76	5,45%
Abril	309,9	0,04%	16,76	5,45%
Mai	309,9	0,04%	16,73	5,44%
Junho	309,9	0,04%	16,73	5,44%
Julho	309,9	0,04%	16,73	5,44%
Agosto	309,9	0,04%	16,76	5,45%
Setembro	309,9	0,04%	16,76	5,45%
Outubro	309,9	0,04%	16,76	5,45%
Novembro	309,9	0,04%	16,76	5,45%
Dezembro	309,9	0,04%	16,76	5,45%

Mês mais crítico: Dezembro

O comprometimento coletivo de 5,45% indica que o pleito pode ser atendido, atendendo também à Resolução ANA nº 467, de 30/10/2006.

Prazo sugerido: 9 / 11 / 2025

[Ver balanço hídrico a jusante](#)  
Incluir!  
[Ver lista de lançamentos](#)

Figura 3.27 – Tela com os resultados da análise em termos quantitativos, SCBH via Web

Se o ponto de interferência for de lançamento, serão apresentadas as vazões de diluição segundo os parâmetros de qualidade, a vazão indisponível no trecho, bem como o cálculo dos Indicadores de Comprometimento Individual (ICI) e Coletivo (ICC).

**Gerência de Regulação**  
SCBH Bacia do rio Uruguai

Sistema de controle de balanço hídrico - Versão web 0.1

Resultados da análise - Teste de mestrado

Vazões de diluição do usuário (m<sup>3</sup>/s)

Temperatura	0,139	DBO	10,243
N total	0,056	P total	7,562
Parâmetro crítico do usuário		DBO	
Vazão indisponibilizada pelo usuário (m <sup>3</sup> /s)			10,302
Comprometimento individual			3,35%

Vazões indisponibilizadas no trecho (m<sup>3</sup>/s)

Temperatura	0,053	DBO	10,923
N total	1,161	P total	18,554
Parâmetro crítico do trecho		Fósforo total	
Vazão remanescente (m <sup>3</sup> /s)			293,1
Comprometimento coletivo			6,33%

O comprometimento coletivo de 6,3% indica que o pleito pode ser atendido.

Prazo sugerido: 9 / 11 / 2025

[Ver balanço hídrico a jusante](#)  
Incluir!  
[Ver lista de lançamentos](#)

Figura 3.28 – Tela com os resultados da análise em termos qualitativos, SCBH via Web

Se estiver de acordo com a análise, o usuário interno, representado pelo órgão gestor, pode clicar em “incluir”. Para o público externo, representado pelo potencial usuário de recursos hídricos, o botão "incluir" não está habilitado. Com isso, sendo o analista do órgão gestor a utilizar, o novo usuário já será incluído no banco de usuários, e futuras análises o levarão em conta.

## **4 METODOLOGIA**

A metodologia desenvolvida procura estabelecer um nível de importância para vazões outorgadas numa determinada bacia e, a partir daí, definir um tipo de monitoramento com níveis de exigência diferenciados para que se tenha um controle dos referidos usos outorgados, inclusive recomendando quais equipamentos de medição de vazão são mais adequados para instalação.

Para tanto, a metodologia ora apresentada para desenvolvimento deste trabalho envolveu a consecução de quatro etapas principais:

- (i) Definição de quais equipamentos de medição de vazão são mais adequados para instalação, dependendo do tipo de uso, sendo tubulação fechada (condutos forçados) ou superfície livre (canais abertos);
- (ii) Sistematização de procedimentos para que se possa estabelecer um nível de importância para as vazões outorgadas, classificando-as em diferentes níveis de monitoramento em uma determinada bacia;
- (iii) Verificação dos procedimentos com dados reais de vazões outorgadas na bacia do rio São Francisco, como estudo de caso; e
- (iv) Elaboração de um fluxograma com os resultados do estudo de caso, de forma a possibilitar a construção de um sistema de suporte à decisão para controle de vazões outorgadas.

Apresenta-se, a seguir, a descrição de cada um desses processos:

### **4.1 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO**

Para o controle e monitoramento das vazões outorgadas, é importante o conhecimento dos processos de medição de vazões em superfícies livres e condutos forçados. Dessa forma, realizou-se trabalho experimental na bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau (DF/GO), verificando o funcionamento de equipamentos de medição de vazão instalados em usuários outorgados na bacia.

Foram construídas 5 estações hidrométricas (de medição de vazão) de uso de recursos hídricos, 4 em tubulações sob pressão e 1 em canal aberto, contemplando a instalação, automação, operação, manutenção, análise comparativa e a verificação da eficiência de diversos equipamentos de medição de vazão e volume de água bruta.

Complementando a parte experimental, considerou-se os estudos teóricos e o referencial bibliográfico constante do item 3.3 – “Sobre os equipamentos de medição”.

Dessa forma, possibilitou-se a verificação de funcionamento, preço, desempenho, operação, manutenção, vantagens, desvantagens e recomendações gerais de cada um dos equipamentos de medição de vazão estudados na revisão teórica e bibliográfica e pesquisados na parte experimental do projeto.

Essa caracterização dos equipamentos é dinâmica e depende de constante atualização em função dos medidores disponíveis no mercado. O estudo dá subsídios à escolha dos equipamentos em função das exigências determinadas pela classificação das vazões outorgadas, conforme item 4.2 a seguir.

#### **4.2 CLASSIFICAÇÃO DAS VAZÕES OUTORGADAS**

Para que se possa estabelecer um nível de importância para as vazões outorgadas, foi elaborada uma sistematização de procedimentos, levando-se em conta inicialmente a questão da localização dessas vazões outorgadas, e em consequência disso, as condições de oferta, ou seja, de disponibilidade hídrica ligada à região dessas vazões.

Para tanto, dividiu-se os corpos d'água de uma bacia ou sub-bacia em trechos, podendo cada trecho ser um rio, ou um afluente de rio, ou um reservatório, levando em conta que a disponibilidade hídrica num determinado trecho influencia outro trecho subsequente. A referida disponibilidade, para cada trecho, foi representada por uma determinada vazão de referência  $Q_{\text{referencia}}(i)$ , vazão esta considerada como limite superior de utilização da água em um determinado curso d'água.

Verificaram-se então as condições de demanda, representadas pelas vazões outorgadas, sendo considerados aspectos quantitativos, levando em conta as vazões de captação, e qualitativos, tendo como principal parâmetro a  $DBO_{5,20}$ , para cálculo da carga orgânica e das vazões de diluição.

Para cada uma das vazões outorgadas, foi relacionado um comprometimento individual, conforme visto no item 3.2.9, sendo este uma relação entre a vazão outorgada ao ponto de interferência com a vazão de referência no trecho de rio. Representa, neste caso, a significância individualizada da vazão outorgada na disponibilidade hídrica do trecho.

Já o comprometimento coletivo, tal qual visto no item 3.2.10, representa o quanto o corpo hídrico está efetivamente comprometido com todos os usos consuntivos em um determinado trecho. Para esse segundo aspecto, tomou-se a influência de todas as vazões outorgadas no trecho  $i$ , bem como as demais vazões outorgadas nos trechos anteriores. Sendo assim, em bacias onde já exista um comprometimento coletivo, ou seja, onde a situação da bacia se encontra em situação de pouca disponibilidade hídrica ou situações de conflito, verificou-se a necessidade de um maior controle dos usos outorgados para averiguação do real uso da água na bacia.

Partindo então do comprometimento individual de cada uma das vazões outorgadas num determinado trecho, e do comprometimento coletivo como um todo, tratou-se em seguida de definir um de controle dos usos outorgados por meio de exigências para estabelecimento de um monitoramento do seu uso, de forma gradativa, a depender da significância que a vazão outorgada demanda para cada trecho. Assim, quanto mais significativa for a vazão outorgada no trecho, maior a exigência para controle do uso, tendo sido classificadas em níveis de exigência distintos, com maior rigor quanto ao tipo de monitoramento.

Levando em conta os conceitos de verificação do *comprometimento individual* de cada vazão outorgada no trecho, do *comprometimento coletivo* instaurado nesse trecho, e partindo da necessidade de estabelecer níveis distintos de exigência para cada vazão outorgada, de acordo com o referido comprometimento, foram criados índices relativos, estabelecendo uma razão entre cada uma das vazões outorgadas em determinado trecho  $i$  com a vazão de referência, tanto de forma individual, quanto de forma coletiva. Tais índices individuais e

coletivos serviram para estabelecer uma classificação final de cada vazão outorgada num determinado trecho *i*, em relação a um nível de exigência para monitoramento dessa vazão.

Além dos índices relativos, foram também estabelecidos índices absolutos, de forma a possibilitar uma classificação quanto ao nível de controle e monitoramento de cada vazão outorgada pelo seu valor em si, independente do trecho onde está localizada.

Entretanto, os índices absolutos e relativos foram criados somente para classificar as vazões outorgadas, havendo então necessidade de estabelecer valores numéricos para os mesmos. Dessa forma, definiram-se indicadores gerais baseados no percentual de volume outorga e de número de vazões outorgadas por trecho, para verificar a distribuição das vazões outorgadas, em termos de número e de valor de volume, finalizando a sistematização de procedimentos para classificação das vazões outorgadas.

A Figura 4.1 apresenta uma sistematização do procedimento para classificação das vazões outorgadas, segundo sua significância em uma determinada bacia:

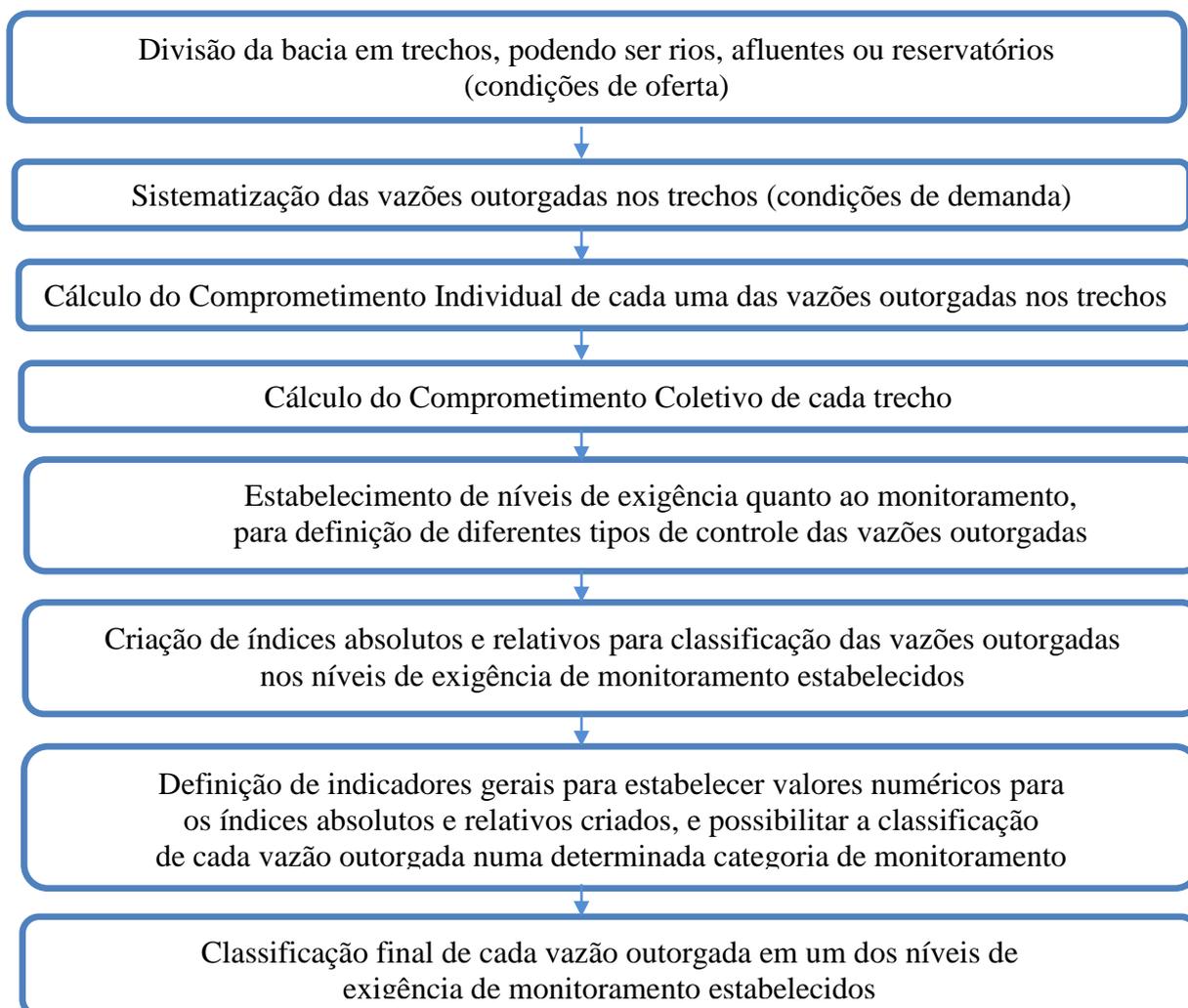


Figura 4.1 – Sistematização do procedimento para classificação das vazões outorgadas

### **4.3 ESTUDO DE CASO DA BACIA DO SÃO FRANCISCO**

Para teste e verificação dos procedimentos para classificação das vazões outorgadas, trabalhou-se com dados reais de trechos de domínio da União (condições de oferta) e vazões outorgadas (condições de demanda) da bacia do rio São Francisco, como estudo de caso deste trabalho.

A bacia do rio São Francisco foi escolhida por possuir trechos com diferentes características (afluentes, reservatórios, calha do rio, etc.), possibilitando então encontrar valores numéricos para os índices relativos, de forma a melhor adequar as vazões outorgadas, nos diferentes trechos, aos indicadores gerais.

Para tanto, foram criados diferentes cenários, reajustando valores para os índices absolutos e relativos, até encontrar resultados próximos aos indicadores gerais de volume e número de vazões estabelecidos nos procedimentos anteriores, levando à classificação final das vazões outorgadas da bacia do São Francisco, objeto do estudo de caso.

### **4.4 FLUXOGRAMA PARA POSSIBILITAR CONSTRUÇÃO DE SSD PARA CONTROLE DAS VAZÕES OUTORGADAS**

Finalizando, com os resultados numéricos do estudo de caso da bacia do rio São Francisco, apresentou-se um fluxograma detalhado de forma a possibilitar a construção de um sistema de suporte de decisão para controle das vazões outorgadas, levando em conta diferentes níveis de exigência quanto ao monitoramento de vazões outorgadas em uma determinada bacia, classificando as vazões outorgadas segundo sua significância no trecho, tanto em termos individuais, como em termos coletivos, e estabelecendo a necessidade de instalação de equipamentos de medição.

O fluxograma partiu de um SSD existente para definição de outorgas, o Sistema de Controle de Bacias Hidrográficas – SCBH – elaborado por Collischonn (2014). Com as informações de oferta e demanda existentes na bacia do São Francisco, objeto do estudo de caso, foram

definidas atividades adicionais ao SSD de outorga, sendo estas atividades um subsistema denominado “SCBH fiscalização”.

Como resposta, para cada vazão outorgada na bacia do São Francisco, o fluxograma indicou um tipo de monitoramento a ser definido, recomendando os equipamentos mais adequados para instalação.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

De acordo com os procedimentos definidos na Metodologia, apresentam-se os resultados em quatro partes:

- Definição dos equipamentos de medição de vazão mais adequados para instalação em condutos forçados e canais abertos;
- Sistematização de procedimentos para classificação das vazões outorgadas e definição de diferentes tipos de monitoramento;
- Verificação dos procedimentos com dados reais de vazões outorgadas na bacia do rio São Francisco, como estudo de caso;
- Elaboração de fluxograma para possibilitar a construção de um sistema de suporte à decisão para controle de vazões outorgadas.

### **5.1 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO PARA CADA UM DOS NÍVEIS DE MONITORAMENTO EXIGIDOS**

Como atividade relacionada ao controle dos usos outorgados, foram elaboradas tabelas com os equipamentos de medição de vazão, contendo informações quanto à aquisição, instalação, operação e manutenção, recomendações gerais, vantagens e desvantagens.

A elaboração dessas tabelas baseou-se em estudos experimentais com equipamentos de medição de vazão instalados na bacia do ribeirão Pipiripau, estudos estes apresentados no Apêndice C do presente trabalho. Além dos estudos práticos realizados com trabalho de campo, foram agregadas informações obtidas em pesquisa, constantes das referências bibliográficas, e consulta aos fabricantes dos referidos equipamentos de medição.

As tabelas contemplam a classificação do ponto de interferência em um dos três níveis de monitoramento, ou seja, são apresentadas tabelas com equipamentos para cada um dos três níveis de exigência, constantes do Apêndice D desta dissertação.

## 5.2 SISTEMATIZAÇÃO DE PROCEDIMENTOS PARA CLASSIFICAÇÃO DAS VAZÕES OUTORGADAS

Conforme descrito no item 4.2 da Metodologia, foram desenvolvidos os procedimentos para classificação das vazões outorgadas, com base nas características da bacia em estudo e na importância absoluta e relativa das referidas vazões. O detalhamento de cada um desses procedimentos é apresentado a seguir:

### 5.2.1 Divisão da bacia em trechos

O primeiro passo do trabalho é a delimitação de uma área, a fim de que se possa estabelecer as informações de disponibilidade hídrica e, por conseguinte, as condições de oferta.

São realizados estudos de vazões outorgadas em águas superficiais, e a área de estudo pode ser um rio, um trecho de rio ou um reservatório. O importante é que nessa região esteja estabelecida uma disponibilidade hídrica, dada por uma vazão de referência, num determinado trecho  $i$  -  $Q_{referencia}(i)$ , vazão esta considerada que representa o limite superior de utilização da água em um determinado curso d'água, podendo ser, por exemplo, a  $Q_{7,10}$  (vazão média mínima de sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos), a  $Q_{90}$  ou a  $Q_{95}$  (vazões com garantia de 90 e 95%, respectivamente, de permanência dentro da série histórica de dados observada).

### 5.2.2 Vazões outorgadas e condições de demanda

A demanda é caracterizada por vazões outorgadas no trecho, que podem ser de captação ou de lançamento. Para cada um dos pontos de interferência relacionados a essas vazões, será associado um valor de vazão de demanda  $Q_{demanda}$ , em l/s.

Para cada ponto de captação,  $Q_{demanda}$  corresponde aos dados de vazão máxima instantânea outorgada, em l/s. Cabe aqui lembrar que o valor máximo instantâneo, normalmente representado pela capacidade nominal do sistema, se diferencia das vazões de análise para a outorga. De fato, a vazão outorgada pelos órgãos gestores de recursos hídricos, em geral, é representada pela vazão média de captação ou lançamento, podendo ser a média diária ou a

média mensal. No entanto, levando-se em conta a necessidade de medição e o valor real apropriado pelo usuário, este valor pode ser maior ou igual ao outorgado.

Conclui-se, para um ponto de captação, a vazão de demanda  $Q_{\text{demanda}} = Q_{\text{máx\_captação}}$ , em l/s, sendo  $Q_{\text{máx\_captação}} \geq Q_{\text{outorgada}}$ .

Para cada ponto de lançamento, deve-se levar em conta a denominada vazão de diluição, representada pela quantidade de água no corpo hídrico necessária para diluir o efluente lançado. O cálculo da vazão de diluição adotado no presente trabalho segue a fórmula proposta por Kelman (1997) e utilizada pelos órgãos gestores de recursos hídricos, adaptada para valores máximos instantâneos. Assim:

$$Q_{\text{máx\_diluição}} = Q_{\text{máx\_efluente}} \times \frac{(DBO_{\text{máx\_efluente}} - DBO_{\text{permitida}})}{DBO_{\text{permitida}} - DBO_{\text{natural}}} \quad (5.1)$$

Em que:

- $Q_{\text{máx\_diluição}}$  = vazão de diluição de efluentes (em l/s);
- $Q_{\text{máx\_efluente}}$  = vazão máxima de lançamento do efluente doméstico ou industrial (em l/s), definida pela capacidade máxima instalada do sistema. No mesmo caso da captação, esta vazão é maior ou igual à outorgada, uma vez que, para os parâmetros de outorga, pode-se levar em conta a média diária ou a média mensal;
- $DBO_{\text{máx\_efluente}} = DBO_{5,20}$ , ou seja, Demanda Bioquímica de Oxigênio, medida durante um período de 5 dias a uma temperatura de 20°C, sendo esta a concentração máxima do efluente doméstico ou industrial outorgado e lançado do rio (tratado ou não), medida em mg/l;
- $DBO_{\text{permitida}} = DBO_{5,20}$  permitida para o corpo hídrico, dada pelo seu enquadramento. Ex: para um corpo hídricos enquadrado na classe 2, a DBO permitida corresponde a 5 mg/l;
- $DBO_{\text{natural}} = DBO_{5,20}$  natural do trecho de rio (mg/l). Admite-se, no presente trabalho, o mesmo valor adotado pelos órgãos gestores de recursos hídricos para outorgas de diluição, sendo  $DBO_{\text{natural}} = 1$  mg/l, valor este definido por Klein (1962) *apud* von Sperling (1998), para um rio bastante limpo, decorrente somente de matéria orgânica oriunda de folhas e galhos de árvore, peixes mortos, fezes de animais, etc.

Após o cálculo da vazão de diluição, para um ponto de lançamento calcula-se a vazão indisponível máxima instantânea, somando a vazão máxima instantânea do efluente lançado ( $Q_{\text{máx\_efluente}}$ ) com a vazão de diluição máxima instantânea ( $Q_{\text{máx\_diluição}}$ ):

$$Q_{\text{máx\_indisp.}} = Q_{\text{máx\_efluente}} + Q_{\text{máx\_diluição}} \quad (5.2)$$

As vazões outorgadas pelos órgãos gestores correspondem à vazão indisponível, e não a vazão de diluição. Lembrando que está sendo considerado, para o presente trabalho, os valores máximos instantâneos de vazão, podendo estes serem iguais ou superiores aos valores outorgados. Portanto,  $Q_{\text{máx\_indisponível}} \geq Q_{\text{indisponível\_outorgado}}$ .

Concluindo, para pontos de lançamento, as vazões de demanda  $Q_{\text{demanda}}$  correspondem às vazões  $Q_{\text{máx\_indisponível}}$ . Assim:  $Q_{\text{demanda}} = Q_{\text{máx\_indisponível}}$  (pto. de lançamento)

No que diz respeito aos dados da demanda, são levados em conta a questão da propagação das vazões outorgadas nos trechos anteriores. Ou seja, para cada trecho de rio, com determinada vazão de referência  $Q_{\text{referencia}}$  (i), está associado, além das vazões outorgadas no próprio trecho i, consideradas neste trabalho como vazões de demanda  $Q_{\text{demanda}}$  (i), as vazões de demanda outorgadas nos trechos anteriores, ou seja,  $\sum_1^{i-1} Q_{\text{demanda}}$  (n), podendo ser denominado somatório das vazões de montante ( $\Sigma Q_{\text{montante}}$ ).

O importante é que, num trecho i específico, o armazenamento de vazões de demanda outorgadas deve possibilitar a entrada de novas vazões. Além disso, que essas novas vazões de demanda outorgadas, inseridas num determinado trecho i, sejam somadas às vazões de montante ( $\Sigma Q_{\text{montante}}$ ) dos trechos subsequentes (i + n), de forma a contemplar a propagação das demandas nos demais trechos da bacia.

### 5.2.3 Cálculo do Comprometimento Individual

Para cada ponto de interferência, seja de captação ou lançamento, tendo sido calculado a  $Q_{\text{demanda}}$  e sabendo qual o trecho em que o referido ponto está localizado, ou seja, sabendo a vazão de referência  $Q_{\text{referencia}}$  do trecho i, tem-se:

$$ICI_{\text{máx}} = ICI_{\text{demanda}} = \frac{Q_{\text{demanda}}}{Q_{\text{referencia}}(i)} \quad (5.3)$$

Tem-se, então a variável denominada **Indicador de Comprometimento Individual Máximo (ICI<sub>máx</sub>)**. Este indicador é adimensional e corresponde ao comprometimento individual de cada ponto de interferência no trecho i, levando em conta que a vazão de demanda é a vazão máxima instantânea.

#### 5.2.4 Cálculo do Comprometimento Coletivo

Tendo sido feito o cálculo do ICI<sub>máx</sub> para cada uma das vazões de demanda outorgadas num trecho i, o próximo passo é o cálculo do **Indicador de Comprometimento Coletivo Máximo (ICC<sub>máx</sub>)**. Este indicador também é adimensional e corresponde ao comprometimento coletivo no trecho i, sendo alterado para cada vazão outorgada que seja inserida no referido. Leva em conta não só as vazões de demanda no trecho i, mas também as vazões de demanda dos trechos de montante. Uma vez que o cálculo das vazões de demanda está associado às vazões máximas instantâneas, então também é denominado "máximo". Calcula-se, então, para cada trecho:

$$ICC_{máx} = \frac{\sum_1^{i-1} Q_{demanda(n)} + \sum Q_{demanda(i)}}{Q_{referência(i)}} = \frac{\sum Q_{montante} + \sum Q_{demanda(i)}}{Q_{referência(i)}} \quad (5.4)$$

#### 5.2.5 Estabelecimento de níveis de exigência quanto ao monitoramento das vazões outorgadas

Como definição inicial para atendimento à necessidade de controle dos usos outorgados, parte-se do pressuposto da Resolução nº 16/2001 do CNRH, de que todo usuário outorgado deve implantar e manter o monitoramento da vazão captada e/ou lançada e da qualidade do efluente.

A necessidade de monitoramento do uso, por parte do outorgado, é condição para obtenção de seu direito de uso. A razoabilidade dessa exigência de monitoramento do uso outorgado vai ao encontro de atingir um dos objetivos da PNRH, preconizado no inciso II do Art. 2º da lei 9.433/1997, que tem como meta utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável (Brasil, 1997).

Dessa forma, tomando um ponto outorgado em um determinado rio, trecho de rio ou reservatório, com uma mesma vazão de referência, definem-se exigências para estabelecimento

de um monitoramento do seu uso, de forma gradativa, a depender da significância do ponto no trecho. Assim, quanto mais significativo for o ponto outorgado no trecho, maior a exigência para controle do uso.

Para monitoramento do uso de recursos hídricos outorgado, a fim de se conhecer o real uso em campo, devem ser controlados, com maior ou menor precisão: a vazão, o tempo de funcionamento, e a  $DBO_{5,20}$ , quando se tratar de outorga de diluição.

Cabe aqui mencionar que deve ser levada em conta a sazonalidade como critério para autorização do uso, conforme recomendado por Cruz (2001) e Rosa de Oliveira *et al.* (2013). Tal fato permite uma melhor utilização do recurso, alocando mais água nos meses de maior disponibilidade e menos nos meses mais críticos.

Leva-se então à autorização de um volume mensal outorgado, que leva em conta a vazão outorgada em l/s, multiplicada pelo n° de horas/dia e pelo n° de dias/mês. No que diz respeito então ao controle do uso e fins de comparação, o monitoramento a ser exigido tem como resposta final o volume mensal utilizado ou apropriado pelo outorgado.

A seguir, definem-se três níveis gradativos para controle do uso outorgado, onde as vazões outorgadas num trecho  $i$  serão classificadas, levando em conta a vazão, o tempo e, por consequência, o volume, além da  $DBO_{5,20}$  do efluente, caso de lançamento.

#### 5.2.5.1 Nível 1 - Monitoramento simplificado

Nesse 1° nível, exige-se que os dados relativos aos parâmetros outorgados sejam simplesmente os declarados pelo usuário. Tem-se que a vazão máxima de captação ( $Q_{\text{máx\_captação}}$ ) ou do efluente lançado ( $Q_{\text{máx\_efluente}}$ ), necessários para o cálculo da vazão de demanda ( $Q_{\text{demanda}}$ ), podem ser os estabelecidos na capacidade nominal do sistema, ou seja, declarados pelo usuário. Sendo assim,  $Q_{\text{demanda}} = Q_{\text{capacidade\_sistema}}$ . Além disso, que a  $DBO_{\text{máx-efluente}}$ , quando a vazão outorgada for de lançamento, também seja um valor de projeto, declarado. Já o tempo de funcionamento do sistema mensal ( $T_{\text{mensal}}$ ) pode ser estabelecido por meio de anotações de horas de uso/dia e de dias/mês, totalizando a estimativa mensal de uso, ou seja,  $T_{\text{estimado}}$ .

O volume mensal apropriado pelo usuário de recursos hídricos, relativa à vazão outorgada, corresponde a uma estimativa da vazão de demanda multiplicado pelas horas de funcionamento mensal anotadas. Assim:

$$V_{\text{mensal\_1ºnível}} = Q_{\text{capacidade\_sistema}} \times T_{\text{estimado}} \quad (5.5)$$

$V_{\text{mensal\_1ºnível}}$  = volume mensal utilizado, 1º nível de exigência, em m<sup>3</sup>/mês;

$Q_{\text{capacidade\_sistema}}$  = vazão máxima (valor de projeto, capacidade do sistema);

$T_{\text{estimado}}$  = anotação de horas/dia e de dias/mês de funcionamento.

Para facilitar e ordenar as informações a serem obtidas, e bem como sistematizá-las, o usuário outorgado deve manter registrados os volumes mensais, de forma a obter, ao longo do ano, dados do volume anual apropriado.

#### 5.2.5.2 Nível 2 - Monitoramento intermediário

O 2º estágio se caracteriza por um nível de exigência maior, com valores medidos. A vazão de demanda ( $Q_{\text{demanda}}$ ) deve ser obtida por meio de um equipamento que faça uma medição instantânea no ponto de interferência, com frequência mínima anual ( $Q_{\text{medida\_anual}}$ ), diferentemente do 1º estágio que pode ser considerada somente a vazão de projeto. De forma similar, em termos qualitativos, a concentração máxima de DBO<sub>5,20</sub> de lançamento pode ser obtida por dados de auto monitoramento ou por laboratório, com frequência mínima anual, sendo capaz de aproveitar os dados já exigidos na licença ambiental.

No que diz respeito ao tempo de funcionamento do sistema instalado, deve haver um monitoramento objetivo de utilização, não somente anotação das horas de funcionamento. Para tanto, requer que seja instalado um horímetro ou uma chave de fluxo, capaz de informar o período de funcionamento do sistema ( $T_{\text{registrado}}$ ). Concluindo, o volume mensal apropriado pelo usuário de recursos hídricos, relativo ao ponto de interferência, corresponde a uma vazão máxima medida, podendo ser pontual (frequência mínima anual), multiplicada pelas horas de funcionamento mensal registradas por contador de tempo. Ou seja:

$$V_{\text{mensal\_2ºnível}} = Q_{\text{medida\_anual}} \times T_{\text{registrado}} \quad (5.6)$$

$V_{\text{mensal\_2ºnível}}$  = volume mensal utilizado, 2º nível de exigência, em m<sup>3</sup>/mês;

$Q_{\text{medida\_anual}}$  = vazão instantânea máxima (medida, frequência mínima anual);

$T_{\text{registrado}}$  = horímetro ou chave de fluxo, ou também equipamento de medição, em h.

Assim como nos usuários enquadrados no 1º nível, para o 2º nível as informações de volumes mensais devem ser registradas, de forma a obter, ao longo do ano, dados do volume anual apropriado.

#### 5.2.5.3 Nível 3 - Monitoramento avançado

Nesse 3º estágio, o usuário deverá instalar um medidor de vazão no ponto de interferência, capaz de realizar a totalização volumétrica demandada pelo referido ponto, pela integralização da vazão instantânea multiplicada pelo tempo de funcionamento.

A instalação do medidor deverá ser de acordo com o tipo de interferência, e seguir as recomendações dos fabricantes. No caso do ponto de lançamento, o usuário deverá possuir os dados de DBO<sub>5,20</sub> feitos por auto monitoramento ou por laboratório, com frequência mínima mensal, podendo ser os dados exigidos na licença ambiental.

$$V_{\text{mensal\_3ºnível}} = V_{\text{calculado\_equipamento}} = Q_{\text{medida\_contínua}} \times T_{\text{registrado}}. \quad (5.7)$$

$V_{\text{mensal\_3ºnível}}$  = volume mensal utilizado, 3º nível de exigência, em m<sup>3</sup>/mês;

$Q_{\text{medida\_contínua}}$  = vazão instantânea medida pelo equipamento, em m<sup>3</sup>/h;

$T_{\text{registrado}}$  = tempo registrado pelo equipamento de medição (totalizador), em h.

No 3º nível, além da questão de instalação de equipamento medidor de vazão com totalização volumétrica, os valores de volumes mensais registrados devem ser enviados ao órgão gestor outorgante, sendo este envio de frequência anual. Uma vez que se exige a instalação de um equipamento de medição, e que o usuário represente uma maior significância se comparado aos de 1º e 2º nível, tanto em termos individuais, quanto em termos coletivos, é razoável que os dados medidos pelo equipamento sirvam para verificação da compatibilidade entre o volume outorgado e o real uso em campo.

Cabe informar que já é adotado, para alguns estados, uma declaração anual contendo os volumes mensais apropriados, denominada Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos (DAURH). Então, como exigência para pontos outorgados que se enquadrem no 3º nível será adotado o envio, com periodicidade anual, da DAURH.

Em bacias com problemas reais de conflito pelo uso de recursos hídricos, como por exemplo as bacias do Paraíba do Sul e do Piracicaba, Capivari e Jundiá nos anos de 2015 e 2016, podem ser estabelecidas mais exigências para as vazões outorgadas e classificadas no nível 3. Isso se deve ao fato da necessidade dos órgãos gestores de recursos hídricos conhecerem a real demanda em períodos mais curtos, como os períodos de seca, e poder fazer um planejamento e estabelecer restrições de uso que minimizem o prejuízo dos usuários outorgados.

Dessa forma, para a contabilização, registro e até mesmo envio dos dados de vazão medidos, além de possuírem o equipamento instalado, as vazões outorgadas no nível 3 em condições críticas devem instalar um *data logger* capaz de armazenar os dados medidos e transmitir ao órgão gestor, numa periodicidade mensal, se assim o exigir.

Resumindo, segue tabela comparativa entre os estágios criados, com detalhe das atividades de monitoramento do uso estabelecidos como exigência para cada um dos três estágios:

Tabela 5.1 - Exigência para os usuários outorgados, para cada um dos três estágios de classificação quanto ao uso de recursos hídricos

<b>Exigência a ser estabelecida</b>	<b>1º Nível: Monitoramento Simplificado</b>	<b>2º Nível: Monitoramento Intermediário</b>	<b>3º Nível: Monitoramento Avançado</b>	<b>3º Nível*: Monitoramento Avançado em bacias críticas</b>
<b>Tempo de utilização</b>	Estimativa (anotação das horas de uso)	Medidor de tempo (horímetro ou chave de fluxo)	Medidor de vazão com totalizador de volume	Armazenamento em <i>data logger</i>
<b>Medição da vazão (captação ou lançamento)</b>	Valor de projeto (capacidade instalada)	Valor medido por equipamento (frequência anual)	Valor medido por equipamento instalado (contínuo)	Valor medido por equipamento e armazenado em <i>data logger</i>
<b>Volume mensal de água consumido</b>	$V_{\text{mensal } 1^{\circ}\text{nível}} = Q_{\text{capac-sistema}} \times T_{\text{estimado}}$	$V_{\text{mensal } 2^{\circ}\text{nível}} = Q_{\text{med-anual}} \times T_{\text{registrado}}$	$V_{\text{mensal } 3^{\circ}\text{nível}} = V_{\text{calculado-equip.}} = Q_{\text{contínua}} \times T_{\text{registrado}}$	$V_{\text{mensal } 3^{\circ}\text{nível}} = V_{\text{calculado-equip.}} = Q_{\text{contínua}} \times T_{\text{armazenado\_logger}}$
<b>DBO máxima</b>	Valor de projeto	Medido (frequência mínima anual)	Medido (frequência mínima mensal)	Medido (frequência mínima mensal)
<b>Envio de informações ao órgão gestor</b>	Não há necessidade	Não há necessidade	Envio dos volumes mensais medidos (frequência anual - DAURH)	Envio dos volumes mensais medidos (frequência mensal – se necessário)

## 5.2.6 Criação de índices para classificação dos pontos de interferência outorgados

Tomando a região espacial definida por um rio, trecho de rio ou reservatório, um trecho  $i$ , com determinada  $Q_{\text{referência}(i)}$ , bem como as vazões outorgadas nesse trecho, e partindo da definição de três níveis para classificação os pontos quanto ao monitoramento (simplificado, intermediário e avançado), criam-se índices, como critérios específicos, para realizar a classificação desses pontos em um dos três níveis gradativos de exigência. Para criação desses índices de classificação, consideram-se dois aspectos:

- Em termos absolutos: deve-se levar em conta valores mínimos e máximos de vazão de cada ponto de interferência outorgado, para estabelecimento comparativo de significância de uso;
- Em termos relativos: deve ser considerada a região onde o empreendimento está instalado, que possui uma certa vazão de referência, a fim de verificar o *comprometimento individual* do usuário no local, e levar em conta também qual o *comprometimento coletivo* instaurado nessa região.

Sendo assim, levando em conta a questão da localização do ponto, e valores de mínimo e máximo, estabelecem-se três índices para classificação do ponto de interferência em termos absolutos e cinco índices em termos relativos. Esses índices vão levar em conta os conceitos anteriormente descritos de Comprometimento Individual e Comprometimento Coletivo.

Esses índices servem para classificar as vazões outorgadas devendo, portanto, serem encontrados valores numéricos. A seguir, apresentam-se os índices, separando-os em termos absolutos e relativos, com definição para cada um deles, estipulando valores numéricos iniciais, tomados como exemplo para definição de critérios de outorga.

### 5.2.6.1 Índices Absolutos

Os índices absolutos levam em conta critérios quantitativos de vazão dos pontos outorgados, além do porte do rio. Separam os pontos outorgados num dos três níveis de classificação pela vazão de demanda de cada um deles em termos de mínimo e máximo. Os pontos outorgados com menor vazão de demanda são classificados no 1º nível (Monitoramento Simplificado), em termos de mínimo, e os pontos com maior vazão de demanda são classificados

nos outros dois níveis (Intermediária e Avançado), em termos de máximo. Seguem as definições de cada um dos índices:

**QAB1** – relacionado a uma vazão absoluta mínima, este parâmetro serve como referência para classificar um usuário no 1º estágio. Sendo assim, se a vazão de demanda do ponto de interferência for menor que QAB1, o ponto de interferência pertencerá ao 1º estágio (monitoramento simplificado).

$$Q_{\text{demanda}} < \text{QAB1} \rightarrow \text{1º Estágio (Monitoramento Simplificado)} \quad (5.8)$$

Como exemplo para definição de valores absolutos de mínimo, para classificação de vazões outorgadas diretamente no Estágio 1 – monitoramento simplificado, toma-se como referência medições de vazão realizadas na prática, em usuários de menor porte. Nas medições de vazão realizadas pela equipe de fiscalização da ANA entre 2004 e 2014, em condutos forçados, utilizando equipamento ultrassônico de vazão por tempo de trânsito, tem-se uma limitação do diâmetro da tubulação para ser efetuada uma correta medição, que deve ser maior ou igual a 3" (75mm). Levando em conta medições em usuários com tubulações de 75 a 100mm, com captação por bomba com motor de 7,5 a 15 cv, verificou-se que, para interferências deste porte, as vazões variam de 5 a 15 l/s. Para usuários outorgados deste porte, até em regiões de conflito, constatou-se em trabalhos realizados pela fiscalização ser mais importante ter o conhecimento de quantas interferências há, e se estão ativas ou não, do que os reais valores de vazão utilizados. Ou seja, apesar de se constituírem vazões outorgadas, não seria necessário ao usuário imputar uma exigência de monitoramento intermediário (horímetro), muito menos avançado (instalação de equipamento), sendo suficiente que ele faça um monitoramento simplificado para que se tenha ciência do funcionamento. Dessa forma, tomando um valor intermediário entre as vazões de menor porte verificadas em campo, adota-se  $\text{QAB1} = 10 \text{ l/s}$ . Ou seja, neste cenário, uma vazão outorgada é classificada automaticamente para Estágio 1 – Simplificado quando  $Q_{\text{demanda}} < 10 \text{ l/s}$ .

**QAB2** – relacionado a uma vazão absoluta máxima, este parâmetro serve como referência para classificar uma vazão outorgada diretamente no 3º estágio. Sendo assim, se  $Q_{\text{demanda}} \geq \text{QAB2}$ , o ponto de interferência deverá ter monitoramento avançado com instalação de equipamento de medição de vazão. Dessa maneira, do índice QAB2 tem-se:

$$Q_{\text{demanda}} > \text{QAB2} \rightarrow \text{3º Estágio (Monitoramento avançado)} \quad (5.9)$$

O valor absoluto máximo QAB2 enquadra um usuário outorgado diretamente no monitoramento de nível 3, ou seja, deve instalar equipamento de medição e enviar informações de consumo ao órgão gestor. Estipula-se uma classificação direta no último nível de monitoramento, independentemente do local instalado, simplesmente pela vazão outorgada.

Para definição de um valor inicial para este índice, tomou-se como exemplo os perímetros de irrigação outorgados à CODEVASF na bacia do rio São Francisco. De acordo com levantamento realizado por Pereira et al (2011), tomando uma média das vazões outorgadas aos perímetros de irrigação na referida bacia, adota-se  $QAB2 = 500 \text{ l/s}$ . Dessa forma, quando  $Q_{\text{demanda}} > 500 \text{ l/s}$ , uma vazão outorgada é classificada automaticamente no Nível 3 – Monitoramento Avançado, com instalação de equipamento de medição, independente das condições locais. A ideia nesse caso é estabelecer que uma vazão outorgada é significativa pelo seu valor em si, independente da região, e que um usuário com  $Q_{\text{demanda}}$  superior a  $500 \text{ l/s}$  deve realizar um monitoramento objetivo do uso outorgado pela instalação de um equipamento de medição de vazão e, além disso, tem condições de fazê-lo, pelo porte do empreendimento.

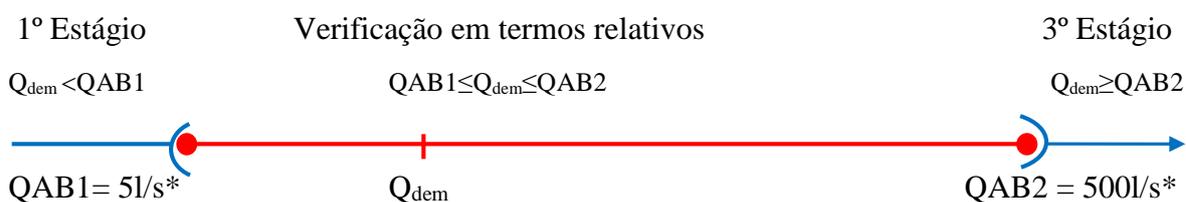
#### 5.2.6.2 Índices Relativos

Tendo sido definidos os limites absolutos, para classificação direta das vazões outorgadas num dos três estágios, sendo de mínimo para o Estágio 1, e de máximo para os Estágios 2 e 3, os valores outorgados que estão entre os limites de mínimo e máximo absoluto são classificados por valores relativos.

Os índices absolutos, portanto, já levam à classificação de algumas vazões num trecho  $i$  a serem classificadas no 1º Nível (Simplificado), tendo em vista valores outorgados abaixo do mínimo absoluto QAB1; e no 3º Nível (Avançado) por vazões de outorga acima do máximo absoluto QAB2. O restante das vazões outorgadas, entre QAB1 e QAB2, são classificadas por índices relativos, que vão levar em conta o Comprometimento Individual (relação entre a vazão de demanda do ponto e a vazão de referência do trecho  $i$ ), e Comprometimento Coletivo (relação entre todas as vazões outorgadas no trecho  $i$  com a vazão de referência do mesmo).

$$QAB1 \leq Q_{\text{demanda}} \leq QAB2 \rightarrow \text{Verificação com base em valores relativos} \quad (5.10)$$

Para melhor visualização, a faixa para classificação da vazão de demanda em termos absolutos e relativos é expressa graficamente a seguir:



\* Valores absolutos iniciais e citados como exemplo, a serem verificados posteriormente

A verificação do estágio, em termos relativos, será de acordo com a comparação da vazão de demanda ( $Q_{demanda}$ ) do ponto de interferência com a vazão de referência  $Q_{referencia}(i)$  do trecho. De acordo com o Indicador de Comprometimento Individual Máximo ( $ICI_{máx}$ ) calculado para cada ponto de interferência, e o Indicador de Comprometimento Coletivo Máximo ( $ICC_{máx}$ ) calculado para cada trecho  $i$ , tem-se:

**PCC** – índice de relevância do Indicador de Comprometimento Coletivo Máximo ( $ICC_{máx}$ ) do trecho. Se  $ICC_{max} < PCC$ , o trecho do rio se encontra com comprometimento coletivo menos relevante. Por outro lado, se  $ICC_{max} \geq PCC$ , o trecho se encontra com comprometimento coletivo mais acentuado.

Quanto a exemplos de valores numéricos para representação do índice coletivo PCC, pode-se levar em consideração os critérios para outorga adotados nos Manuais de Outorga da ANA e dos seguintes Estados Brasileiros:

- Manual de Outorga da ANA: constante do Anexo I da Resolução ANA nº 1041, de 19 de agosto de 2013, prevê a situação de comprometimento coletivo normal, para análise de outorga, quando a disponibilidade hídrica se encontra abaixo de 70%; na situação de alerta, se está no intervalo entre 70 e 100%; e crítica, se está acima de 100% (Brasil, 2013).
- Manual de Outorga da Secretaria de Meio-Ambiente e Recursos Hídricos do Estado de Goiás (Semarh/GO): considera a situação de disponibilidade hídrica normal quando está abaixo de 50%; em situação de alerta no intervalo entre 50 e 80%; moderadamente crítico entre 80 e 100%; e altamente crítico quando for maior que 100% (Goiás, 2012).

- Manual de Outorga da Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenvolvimento sustentável de Minas Gerais (Semad/MG): adota um critério mais conservador e prevê que, para emissão de outorgas, o limite máximo de comprometimento da disponibilidade hídrica deve estar em 30%, e acima disto deve ser atendido somente em casos de uso prioritário, ou seja, de abastecimento humano e dessedentação animal (Minas Gerais, 2010).

Pelos critérios adotados para outorga, um valor de Indicador de Comprometimento Coletivo com maior relevância seria em torno de 50%. Ou seja, para análise de fins para outorga, considera-se que um rio acima de 50% da vazão de referência outorgada já deve ter um olhar especial, em termos de comprometimento do uso. Poderia ser adotado, inicialmente, valores mais conservadores, forçando que os trechos tenham um maior comprometimento coletivo com valores menores que 50%. Pode-se adotar, por exemplo,  $PCC = 0,3$ . Em outras palavras, o Indicador de Comprometimento Coletivo  $ICC_{\max} < 30\%$  teria menor relevância num trecho de rio  $i$ , e  $ICC_{\max} \geq 30\%$  seria considerado um trecho com comprometimento coletivo mais relevante.

A partir desse índice PCC, que está relacionado ao comprometimento coletivo, verifica-se a classificação das vazões outorgadas por índices relacionados ao comprometimento individual  $ICI_{\max}$ , relacionando-as à vazão de referência  $Q_{\text{referência}}(i)$ . Assim:

- Para rios com comprometimento de menor relevância ( $ICC_{\max} < PCC$ ):

**P1CI1** – relacionado a um comprometimento individual mínimo, este parâmetro serve como referência para classificar uma vazão outorgada no 1º estágio, em rios de menor comprometimento coletivo. Sendo assim, se o  $ICI_{\max}$  do ponto de interferência for menor que P1CI1, o ponto de interferência pertencerá ao 1º estágio (monitoramento simplificado).

$$ICI_{\max} < P1CI1 \rightarrow 1^\circ \text{ Estágio (Monitoramento Simplificado)} \quad (5.11)$$

**P1CI2** – relacionado também ao Indicador Comprometimento Individual do ponto de interferência, serve como parâmetro para definição entre o 2º estágio (monit. intermediário) e o 3º estágio (monit. avançado), em rios de menor comprometimento coletivo. Sendo assim, se o  $ICI_{\max}$  do ponto de interferência for menor que P1CI2, a vazão outorgada pertencerá ao 2º estágio, se for maior ou igual a P1CI2, será classificada no 3º estágio.

$$P1CI1 \leq ICI_{\text{máx}} < P1CI2 \rightarrow 2^{\circ} \text{ Estágio (Monitoramento Intermediário)} \quad (5.12)$$

$$ICI_{\text{máx}} \geq P1CI2 \rightarrow 3^{\circ} \text{ Estágio (Monitoramento Avançado)} \quad (5.13)$$

- Para rios com comprometimento de maior relevância ( $ICC_{\text{máx}} \geq PCC$ ):

**P2CI1** – também relacionado a um comprometimento individual mínimo, este parâmetro serve como referência para classificar uma vazão outorgada no 1º estágio, em rios de maior comprometimento coletivo. Sendo assim, se o  $ICI_{\text{máx}}$  do ponto de interferência for menor que  $P2CI1$ , a vazão outorgada pertencerá ao 1º estágio (monitoramento simplificado).

$$ICI_{\text{máx}} < P2CI1 \rightarrow 1^{\circ} \text{ Estágio (Monitoramento Simplificado)} \quad (5.14)$$

**P1CI2** – relacionado também ao Indicador Comprometimento Individual do ponto de interferência, serve como parâmetro para definição entre o 2º estágio (monit. intermediário) e o 3º estágio (monit. avançado), em rios de maior comprometimento coletivo. Sendo assim, se o  $ICI_{\text{máx}}$  da vazão outorgada for menor que  $P1CI2$ , o ponto de interferência pertencerá ao 2º estágio, se for maior ou igual a  $P1CI2$ , a vazão será classificada no 3º estágio.

$$P2CI1 \leq ICI_{\text{máx}} < P2CI2 \rightarrow 2^{\circ} \text{ Estágio (Monitoramento Intermediário)} \quad (5.15)$$

$$ICI_{\text{máx}} \geq P2CI2 \rightarrow 3^{\circ} \text{ Estágio (Monitoramento Avançado)} \quad (5.16)$$

No que tange aos índices relativos individuais ( $P1CI1$ ,  $P1CI2$ ,  $P2CI1$  e  $P2CI2$ ), não há referências para definição de valores iniciais como exemplos. Comparando aos critérios para definição de outorgas, somente no Manual de Outorga da ANA prevê que o limite para outorga individual a um usuário é de 20%. Sendo assim, poder-se-ia partir de valores de exemplo mais conservadores, bem inferiores a 0,2 (20%), adotando, como exemplo,  $P1CI1 = 0,002$  (0,2%) e  $P1CI2 = 0,01$  (1%).

Assim, um ponto de interferência localizado num trecho de menor comprometimento coletivo ( $ICC_{\text{máx}} < 30\%$ ), já seria passível de monitoramento intermediário (2º estágio) com  $ICI_{\text{máx}} \geq 0,2\%$ , e de instalar equipamento de medição (3º estágio) com  $ICI_{\text{máx}} \geq 1\%$ . Já num trecho de maior comprometimento coletivo ( $ICC_{\text{máx}} \geq 30\%$ ), poderiam ser adotados valores pela metade dos de menor comprometimento para classificação entre os estágios, ou seja,  $P2CI1 = 0,001$  (0,1%) e  $P2CI2 = 0,005$  (0,5%). Seguindo esses valores, num trecho com maior comprometimento coletivo, uma vazão outorgada seria classificada no nível de moni-

toramento intermediário (2º estágio) com  $ICI_{m\acute{a}x} \geq 0,1\%$ , e de instalar equipamento de medição (3º estágio) com  $ICI_{m\acute{a}x} \geq 0,5\%$ . A seguinte tabela demonstra a combinação dos índices relativos:

Tabela 5.2 – Definição dos índices relativos para classificação dos três estágios

Indicador de Comprometimento Coletivo Máximo	Indicador de Comprometimento Individual		
	1º Estágio Monit. Simplificado	2º Estágio Monit. Intermediário	3º Estágio Monit. Avançado
$ICC_{max} < 30\%$	$ICI_{max} < 0,2\% *$	$0,2\% * \leq ICI_{max} < 1\% *$	$ICI_{max} \geq 1\% *$
$ICC_{max} \geq 30\%$	$ICI_{max} < 0,1\% *$	$0,1\% * \leq ICI_{max} < 0,5\% *$	$ICI_{max} \geq 0,5\% *$

\* Valores relativos citados como exemplo, a serem obtidos posteriormente

Cabe aqui explicitar que os parâmetros PCC, P1CI1, P1CI2, P2CI1 e P2CI2 estão relacionados aos indicadores de Comprometimento Individual ( $ICI_{m\acute{a}x}$ ) e Coletivo ( $ICC_{m\acute{a}x}$ ). Serão definidos, no presente trabalho, em termos percentuais da vazão de demanda do ponto de interferência em relação à vazão de referência do trecho i.

Finalizando, de acordo com os parâmetros outorgados, tendo sido calculada a vazão de demanda de uma vazão outorgada  $Q_{demanda}$  e conhecida a vazão de referência  $Q_{referencia}$  (i) do trecho, e levando em conta os índices absolutos e relativos criados apresenta-se, a seguir, em forma de fluxograma, a classificação de uma vazão outorgada num dos três níveis de exigência quanto ao monitoramento.

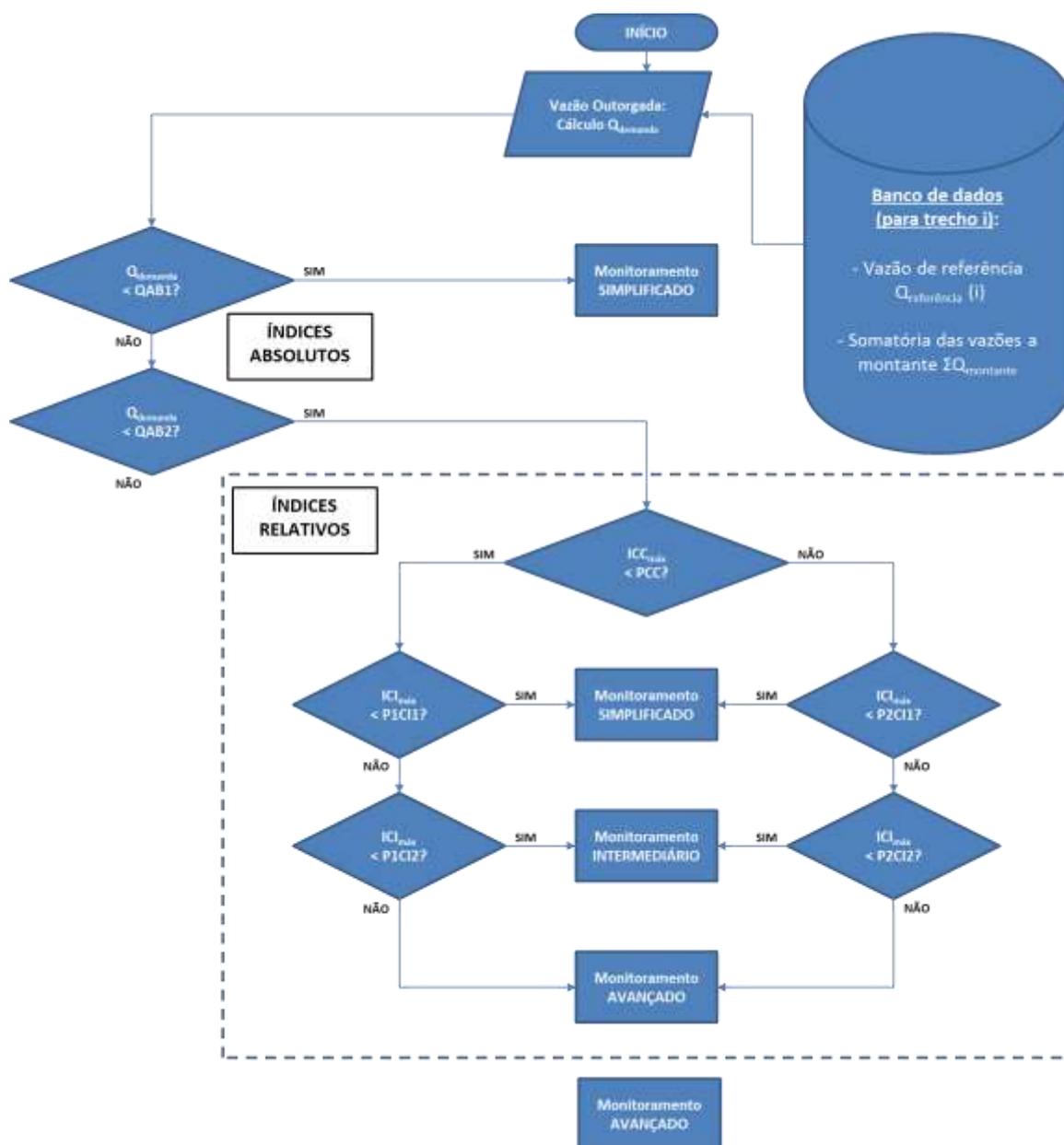


Figura 5.1 – Fluxograma de entrada de uma vazão outorgada num trecho i, com classificação num dos três níveis de monitoramento pelos índices absolutos e relativos

### 5.2.7 Definição de indicadores gerais

Conforme visto anteriormente, foram estipulados índices absolutos (QAB1 e QAB2) e índices relativos (PCC, P1CI1, P1CI2, P2CI1 e P2CI2), para possibilitar a classificação dos pontos de interferência num dos três estágios gradativos de exigência quanto ao monitoramento: Simplificado, Intermediário e Avançado. No entanto, para que esses índices possam ser utilizados, é necessária a obtenção numérica dos valores dos mesmos. Para os índices absolutos,

obtêm-se valores de vazão, em  $\text{m}^3/\text{h}$ ; para os índices relativos, valores percentuais, variando de 0 a 1, ou de 0 a 100%.

Para alcançar o resultado numérico desses índices, é necessário, inicialmente, que se tenha os dados de oferta em determinado trecho de rio ou reservatório, referentes à vazão de referência ( $Q_{\text{referencia}}$ ), em l/s. Além deste, são requeridos os dados de demanda, que consistem nas vazões de outorga dos pontos de interferência localizados num trecho de rio (ou reservatório) determinado, somados às Demandas Bioquímicas de Oxigênio  $\text{DBO}_{5,20}$  do efluente, no caso dos pontos de lançamento, para cálculo das vazões de demanda ( $Q_{\text{demanda}}$ ) de cada um dos pontos, em l/s. Por conseguinte, é também exigido o somatório das vazões de demanda dos trechos de montante ( $\Sigma Q_{\text{montante}}$ ).

De posse desses dados, definem-se Indicadores Gerais para encontrar valores numéricos para os índices absolutos ( $Q_{\text{AB1}}$  e  $Q_{\text{AB2}}$ ) e para os índices relativos ( $\text{PCC}$ ,  $\text{P1CI1}$ ,  $\text{P1CI2}$ ,  $\text{P2CI1}$  e  $\text{P2CI2}$ ). Com a determinação dos índices, uma vazão outorgada pode ser classificada no nível 1 – Monitoramento Simplificado, nível 2 – Monitoramento Intermediário ou nível 3 – Monitoramento Avançado.

Várias formas podem ser utilizadas para criação desses indicadores. Uma vez que a organização espacial adotada para o presente trabalho se dá para cada trecho  $i$ , onde se possui dados das vazões outorgadas, optou-se por criar indicadores gerais que relacionem duas variáveis: os valores das vazões de demanda  $Q_{\text{demanda}}$  outorgadas em  $i$ , bem como o quantitativo  $N$  de vazões outorgadas no referido trecho, sendo que cada vazão outorgada corresponde a um ponto de interferência, podendo ser de captação ou lançamento.

Antes da apresentação dos indicadores, utilizando o conceito de vazão de demanda ( $Q_{\text{demanda}}$ ) e o número de pontos de interferência  $N$  relacionados às vazões outorgadas, bem como os três níveis de controle de monitoramento definidos para classificação das vazões (Nível 1 – Monitoramento Simplificado, 2 – Intermediário e 3 – Avançado), elencam-se as seguintes variáveis:

$\Sigma Q_{\text{demT}}(i)$  - somatório de todas as vazões de demanda outorgadas num trecho  $i$ ;

$\Sigma Q_{\text{dem1}}(i)$  - somatório das vazões de demanda dos pontos de interferência classificados no 1º estágio (monitoramento simplificado);

$\Sigma Q_{dem2} (i)$  - somatório das vazões de demanda dos pontos de interferência classificados no 2º estágio (monitoramento intermediário);

$\Sigma Q_{dem3} (i)$  - somatório das vazões de demanda dos pontos de interferência classificados no 3º estágio (monitoramento avançado);

$NT (i)$  - número total de pontos relacionados às vazões outorgadas num trecho  $i$ ;

$N1 (i)$  - número de vazões classificadas no 1º estágio (Monit. Simplificado);

$N2 (i)$  - número de vazões classificadas no 2º estágio (Monit. Intermediário);

$N3 (i)$  - número de vazões classificadas no 3º estágio (Monit. Avançado).

$$\text{Sabendo que: } \Sigma Q_{dem1} (i) + \Sigma Q_{dem2} (i) + \Sigma Q_{dem3} (i) = \Sigma Q_{demT} (i) \quad (5.18)$$

$$N1 (i) + N2 (i) + N3 (i) = NT (i) \quad (5.19)$$

Traça-se, com a criação dos indicadores, um caminho reverso do fluxograma apresentado na Figura 4.2. Naquele fluxograma, a partir dos dados dos usuários de um determinado trecho de rio e dos índices absolutos e relativos, chega-se à classificação das vazões outorgadas em um dos três estágios de monitoramento. Como ainda não se tem os valores numéricos dos índices, a partir de dados concretos de oferta e demanda de determinado trecho, bem como dos Indicadores Gerais apresentados a seguir, possibilita-se encontrar esses valores para os índices absolutos e relativos.

### **1º Indicador - Controle objetivo do monitoramento**

A ideia central desse indicador é que o órgão gestor de recursos hídricos tenha uma maximização do controle dos volumes reais utilizados, frente ao volume total outorgado aos usuários de recursos hídricos de uma determinada bacia.

Dos três estágios de classificação estipulados, observa-se que os usuários outorgados que estiverem no 1º estágio não serão exigidos um controle objetivo da vazão e da  $DBO_{5,20}$  (lançamento), pois poderão informar somente os valores de projeto, uma vez que serão aceitos somente os valores declarados numa planilha.

Já os usuários pertencentes ao 2º estágio possuirão um controle objetivo do tempo de uso, pela exigência de instalação de horímetro ou similar, bem como da vazão e da  $DBO_{5,20}$ , pela medição desses parâmetros pelo menos uma vez por ano.

Os usuários do 3º estágio já possuem um controle ainda maior, por instalarem equipamentos que meçam a vazão de forma instantânea e que totalizem o tempo. Em termos qualitativos, deverão realizar medições mensais de DBO<sub>5,20</sub>. Além disso, os usuários ainda serão obrigados a enviar ao órgão gestor o volume total utilizado.

Uma vez que os usuários a serem classificados nos estágios 2 e 3 deverão ter um monitoramento objetivo do uso outorgado, tomando então as vazões de demanda dos pontos de interferência classificados nesses dois estágios,  $\Sigma Q_{dem2}(i)$  e  $\Sigma Q_{dem3}(i)$ , deve-se buscar, com esse 1º indicador geral, que o somatório das vazões classificadas nesses estágios 2 e 3 tenham um percentual significativo em relação ao total podendo ser, por exemplo, maior ou igual a 80% da vazão de demanda total outorgada na bacia. Assim:

$$\Sigma Q_{dem2}(i) + \Sigma Q_{dem3}(i) \geq 0,8 \times \Sigma Q_{demT}(i) \quad (5.20)$$

### **2º Indicador - Verificação do real uso outorgado**

Para esse indicador, busca-se que tenha uma maximização da verificação, por parte do órgão gestor de recursos hídricos, do real uso por ele outorgado.

A verificação parte do pressuposto que o órgão gestor tenha em mãos os dados reais da vazão de demanda dos pontos de interferência. Uma vez que esses dados dos volumes reais utilizados são exigidos aos usuários pertencentes ao 3º estágio (monitoramento avançado), então deve-se buscar, para este indicador, que o somatório das vazões de demanda dos pontos de interferência classificados no 3º estágio (Q3) tenham um percentual mínimo em relação à vazão de demanda total outorgada num determinado trecho de rio. Pode-se ensejar, por exemplo, que as vazões outorgadas e classificadas no 3º nível representem pelo menos 40% do total outorgado no trecho. Tem-se, dessa forma:

$$\Sigma Q_{dem3}(i) \geq 0,4 \times \Sigma Q_{demT}(i) \quad (5.21)$$

### **3º Indicador - Otimização do trabalho de fiscalização**

Conforme visto anteriormente, aos usuários do 3º estágio exige-se a aquisição e instalação correta de um medidor de vazão, a coleta e análise mensal da Demanda Bioquímica de Oxigênio (quando o ponto de interferência for de lançamento), e o envio desses dados reais utilizados ao órgão outorgante.

No trabalho de fiscalização do uso de recursos hídricos, deve-se atentar para o fato de que, uma vez imposta uma norma de instalação de equipamento de vazão e exigida aos usuários o envio dos dados medidos, então esses dados devem passar por uma análise por parte do órgão gestor, senão não há o porquê de se onerar os outorgados para obtenção e envio dessas informações.

Face à série de atividades envolvidas em torno de exigências aos usuários pertencentes ao 3º estágio, este indicador busca minimizar o número de usuários classificados nesse estágio. Explicitando melhor, este indicador objetiva que o número de usuários classificados no 3º estágio seja limitado a um número máximo de usuários, para evitar uma quantidade excessiva de atividades fiscalizatórias para o órgão gestor de recursos hídricos outorgante.

Esse indicador representa, de uma forma geral, uma realidade observada nas outorgas de direito de uso de recursos hídricos emitidas pelos órgãos gestores: uma parcela menor de usuários (entre 5 e 15%) é responsável pela maioria do volume outorgado nas bacias (entre 70 e 90%). Como exemplos, pode-se citar a calha do rio Paraíba do Sul, onde 80 dos 729 usuários (11%) possuem 86% do volume outorgado, de acordo com Barcellos *et al.* (2011); na bacia do rio Doce, 75% do total outorgado foi concedido a 12% dos usuários (Dalfior&Sado, 2013); na bacia do rio São Francisco, Vera (2014) verificou que 10% dos usuários são responsáveis por 96% do volume outorgado na bacia.

Deve-se buscar, portanto, com este indicador, que o número de vazões classificadas no 3º estágio - N3 (i) - tenha um percentual menor em relação número total de vazões outorgadas - NT (i). Pode-se estipular, por exemplo, um valor de até 10% do total. Além disso, levando em conta os outros 2 indicadores anteriormente apresentados, que essa parcela menor de usuários outorgados num trecho, tenham uma representatividade significativa em termos de volume outorgado. Assim:

$$N3 (i) \leq 0,10 \times NT (i) \quad (5.22)$$

### 5.2.8 Classificação final dos pontos de interferência

Os três níveis de exigência criados (Monitoramento Simplificado, Intermediário e Avançado) para o controle dos usos outorgados num determinado rio, trecho de rio ou reservatório servem como classificação final das vazões outorgadas.

De acordo com os parâmetros outorgados, calcula-se a vazão de demanda do ponto  $Q_{\text{demanda}}$  e conhecida a vazão de referência  $Q_{\text{referencia}}$  do trecho  $i$  com dados reais de oferta e demanda da bacia do rio São Francisco, como estudo de caso a ser apresentado no capítulo seguinte.

Depois dos cálculos de  $Q_{\text{demanda}}$ , de Comprometimento Individual e Coletivo das vazões outorgadas no estudo de caso, e levando em conta os valores iniciais estabelecidos para os índices absolutos ( $QAB1$  e  $QAB2$ ) e índices relativos ( $PCC$ ,  $P1CI1$ ,  $P1CI2$ ,  $P2CI1$  e  $P2CI2$ ), vistos no item 4.6, verifica-se de uma maneira global, para todos os trechos da bacia objeto do estudo de caso, se as vazões outorgadas atendem aos três indicadores gerais:

1º Indicador - Controle objetivo do monitoramento:  $\Sigma Q_{\text{dem}2}(i) + \Sigma Q_{\text{dem}3}(i) \geq 0,8 \times \Sigma Q_{\text{dem}T}(i)$

2º Indicador - Verificação do real uso outorgado:  $\Sigma Q_{\text{dem}3}(i) \geq 0,4 \times \Sigma Q_{\text{dem}T}(i)$

3º Indicador - Otimização do trabalho de fiscalização:  $N3(i) \leq 0,10 \times NT(i)$

Cabe aqui explicar que os índices absolutos independem do trecho onde está localizado. Eles simplesmente classificam uma diretamente uma vazão outorgada em termos de mínimo e máximo: quando  $Q_{\text{demanda}} < QAB1 \rightarrow 1^\circ$  Estágio (Monitoramento Simplificado) e  $Q_{\text{demanda}} \geq QAB3 \rightarrow 3^\circ$  Estágio (Monitoramento avançado).

### 5.3 ESTUDO DE CASO: A BACIA DO SÃO FRANCISCO

Para controle e monitoramento de pontos de interferência outorgados, verifica-se a necessidade de determinação dos valores numéricos dos índices absolutos e relativos, definidos para classificação desses pontos num dos três estágios gradativos de monitoramento: Simplificado, Intermediário e Avançado.

A fim de se alcançar este objetivo, faz-se necessária a escolha de dados reais de usuários outorgados, como estudo de caso. Obteve-se então junto à Agência Nacional de Águas dados reais de usuários outorgados por aquela Agência, divididos em 27 trechos de rio e reservatórios de domínio da União, com condições de oferta definidas pela vazão de referência Q95 (vazão com garantia de 95% de permanência dentro da série histórica de dados observada), sistema este adotado pela ANA. Todos os trechos estão localizados na bacia do rio São Francisco, contemplando 1760 pontos de interferência outorgados, com os dados de outorga atualizados em novembro de 2015.

A bacia do rio São Francisco é subdividida em quatro sub-bacias, compreendendo o Alto São Francisco, Médio São Francisco, Submédio São Francisco e Baixo São Francisco. Essa divisão foi elaborada pelos desníveis dos terrenos que direcionam a água das áreas mais altas para as mais baixas. A seguir, apresenta-se uma figura com os corpos hídricos de domínio da União pertencentes à bacia do São Francisco, bem como as sub-bacias:



Figura 5.2 – Bacia do São Francisco com as sub-bacias e os corpos de água

A bacia do São Francisco foi escolhida para este trabalho, tendo em vista sua representatividade em diversos aspectos, elencados a seguir:

- Quanto ao porte dos rios e reservatórios: dos 27 trechos objetos do estudo de caso para a bacia do SF, 9 são referentes aos rios Bezerra, Preto, Urucuia, Carinhanha, Verde Grande e Verde Pequeno e o reservatório de UHE Queimado, com vazão de referência menor que 50.000 l/s. Em contrapartida, os outros 18 trechos possuem vazões de referência superiores a 150.000 l/s, sendo 13 destes constituintes da calha do rio São Francisco, e mais 5 reservatórios, a saber: Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Moxotó/Paulo Afonso e Xingó;
- Quanto à variabilidade dos pontos de interferência: dos 1760 pontos de interferência outorgados nos 27 trechos de domínio da União, 1691 são pontos de captação e 69 são pontos de lançamento, com vazões individuais que variam desde 4 l/s, vazão mínima outorgável na bacia, definida pelo Comitê do São Francisco mediante Resolução CNRH nº 113, de 10 de junho de 2010 (Brasil, 2010a) até 60.000 l/s, que corresponde à outorga emitida pela ANA para a Codevasf, pelo uso de recursos hídricos referente ao projeto Baixio de Irecê;
- Quanto à disponibilidade hídrica dos trechos: os trechos escolhidos apresentam uma variação desde 2% de comprometimento hídrico até 145%. Vale comentar que os trechos com mais de 100% de comprometimento na bacia do São Francisco compreendem os rios Verde Pequeno e Verde Grande. Nesses corpos hídricos, apesar de existir comprometimento coletivo superior a 100%, a ANA outorga sob condições especiais, com alocação negociada de água e restrições de uso em períodos de estiagem.

### 5.3.1 Obtenção dos dados

Em primeiro, para definição da disponibilidade hídrica de cada um dos 27 trechos objetos de estudo do estudo de caso, foram obtidas junto à ANA as vazões de referência ( $Q_{referencia}$ ) por meio de utilização do SCBH da bacia do São Francisco, desenvolvido por Collischonn (2014). Vale comentar que esses dados do SCBH são os adotados pela Agência para verificação da disponibilidade hídrica nas principais bacias cuja outorga é de sua responsabilidade, inclusive a do São Francisco.

De acordo com a Resolução ANA nº 1041, de 19 de agosto de 2013, as vazões de referência adotadas para os corpos de água de domínio da União são definidas para três situações (Brasil, 2013):

- Em trechos de rios em condições naturais: vazão natural com alta permanência no tempo ( $Q_{95}$ ), obtida de regionalização ou a partir de estações de monitoramento próximas;
- Dentro de reservatórios:  $Q_{95}$  do rio no local do barramento, quando o reservatório pertence ao Sistema Integrado Nacional (SIN) ou vazão regularizada, em outros reservatórios;
- A jusante de reservatórios de regularização: vazão mínima do reservatório logo a montante, acrescida da  $Q_{95}$  do trecho incremental.

Cabe aqui informar que a ANA disponibiliza, para algumas bacias e reservatórios, via *web* (<http://scbh.ana.gov.br/>), o acesso ao sistema de balanço hídrico adotado por ela, de tal forma que qualquer usuário pode entrar e verificar, informando dados quantitativos e qualitativos, se há disponibilidade de água no trecho escolhido. Entretanto, para a bacia do São Francisco, ainda não há essa disponibilização.

Os dados de disponibilidade hídrica dos trechos, ou seja, as vazões de referência ( $Q_{referencia}$ ) foram obtidas com acesso de *login* e senha de usuário interno da Agência (órgão gestor). A numeração dos trechos foi escolhida de montante para jusante na bacia, por questões de organização de trabalho, a fim de localizar os pontos de interferência com vazões outorgadas por meio do programa *Arc Gis*.

Além das vazões de referência ( $Q_{referencia}$ ), para cada trecho foram obtidos pelo SCBH as vazões outorgadas nos trechos de montante ou anteriores ( $\Sigma Q_{montante}$ ), uma vez que o referido SSD utiliza esses dados para cálculo dos indicadores de comprometimento coletivo (ICC).

Apresentam-se, a seguir, tabelas com os dados dos trechos objetos de estudo, contendo para cada um dos mesmos: localização (rio ou reservatório), as vazões outorgadas à montante ou nos trechos anteriores ( $\Sigma Q_{montante}$ ), vazão de referência ( $Q_{referencia}$ ), e o número dos pontos de interferência outorgados que se localizam no referido trecho.

Tabela 5.3– trechos da sub-bacia do Alto São Francisco (Estado de Minas Gerais)

Nº Trecho	Sub-bacia	Localização	$\Sigma Q_{montante}$ (l/s)	$Q_{referencia}$ (l/s)	Nº pts de interferência
1	Alto SF (MG)	Rio São Francisco, da confluência com o rio Samburá até o Res. 3 Marias	2.511	21.641	29
2	Alto SF (MG)	Reservatório de Três Marias, formado pelo barramento do rio São Francisco	6.552	155.000	57
3	Alto SF (MG)	Rio São Francisco, de jusante do Reservatório de Três Marias até a confluência com o rio das Velhas	8.578	350.100	53

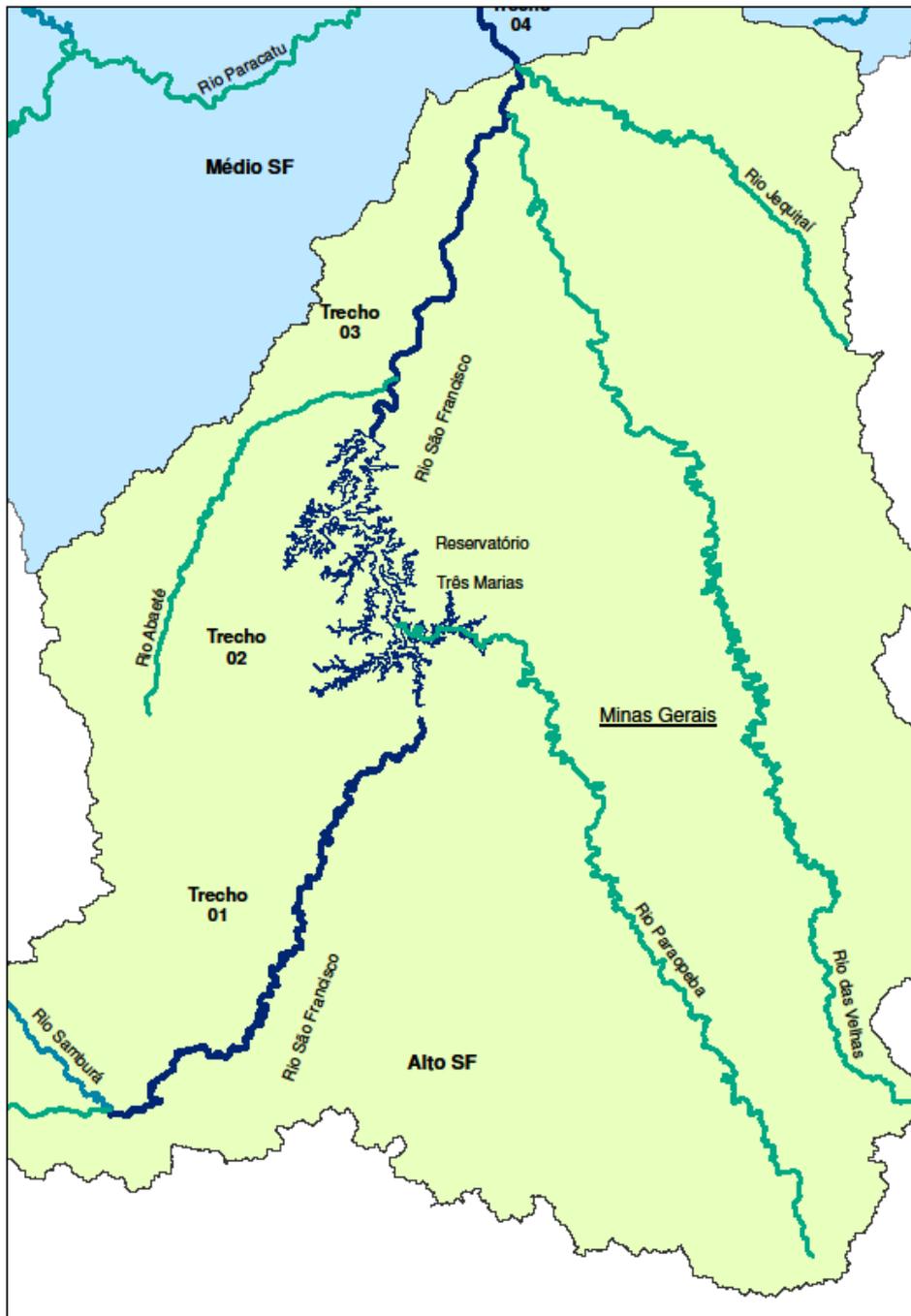


Figura 5.3– Representação dos trechos 1 a 3 (em azul escuro), localizados na sub-bacia do Alto São Francisco, Estado de Minas Gerais (Alto SF destacada em Verde Claro)

Tabela 5.4– trechos da sub-bacia do Médio São Francisco

Nº Trecho	Sub-bacia	Localização	$\Sigma Q_{montante}$ (l/s)	$Q_{referencia}$ (l/s)	Nº pto de interferência
4	Médio SF (MG)	<u>Rio São Francisco</u> , da confluência com rio das Velhas (divisa Alto/Médio SF) até a confluência com o rio Paracatu	35.451	396.100	11
5	Médio SF (DF/GO)	<u>Rio Bezerra</u> , da nascente até foz (deságue no rio Preto)	203	4.000	23
6	Médio SF (DF/GO/MG)	<u>Reservatório de UHE Queimado</u> , formado pelo barramento do rio Preto	323	20.000	43
7	Médio SF (GO/MG)	<u>Rio Preto</u> , de jusante do reservatório UHE Queimado até a confluência com o Ribeirão Roncador	4.320	11.225	38
8	Médio SF (GO/MG)	<u>Rio Preto</u> , da confluência com Ribeirão Roncador até a foz (deságua no Rio Paracatu)	4.482	18.600	42
9	Médio SF (MG)	<u>Rio São Francisco</u> , da confluência com rio Paracatu até a confluência com rio Urucuia	73.591	451.200	10
10	Médio SF (GO/MG)	<u>Rio Urucuia</u> , da nascente até a foz (deságue no Rio São Francisco)	132	26.400	54
11	Médio SF (MG)	<u>Rio São Francisco</u> , da confluência com o rio Urucuia até a confluência com o rio Verde Grande	91.757	478.900	60
12	Médio SF (MG/BA)	<u>Rio Verde Grande</u> , da nascente até a foz (deságue no Rio São Francisco)	323	3.300	131
13	Médio SF (MG/BA)	<u>Rio Verde Pequeno</u> , da nascente até a foz (deságue no Rio Verde Grande)	78	800	45
14	Médio SF (MG/BA)	<u>Rio São Francisco</u> , da confluência com o rio Verde Grande até a confluência com o rio Carinhanha	218.323	530.650	13
15	Médio SF (MG/BA)	<u>Rio Carinhanha</u> , da nascente até a foz (deságue no Rio São Francisco)	601	31.800	27
16	Médio SF (BA)	<u>Rio São Francisco</u> , da confluência com o rio Carinhanha até a confluência com o rio Corrente	235.525	550.100	22
17	Médio SF (BA)	<u>Rio São Francisco</u> , da confluência com o rio Corrente até confluência com o rio Alegre	274.553	595.553	23
18	Médio SF (BA)	<u>Rio São Francisco</u> , da confluência com o rio Alegre até a confluência com o rio Grande	289.247	622.629	12

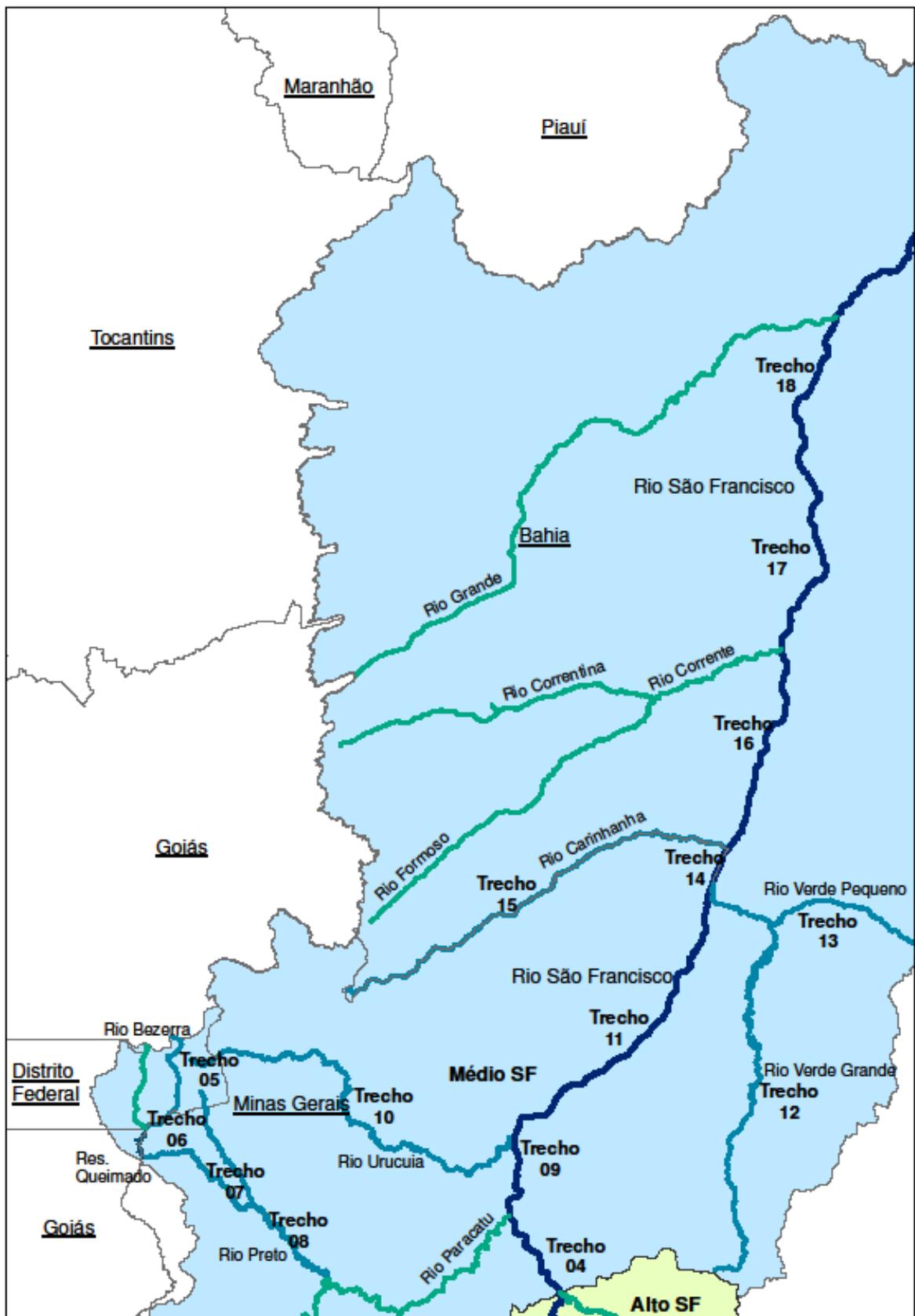


Figura 5.4 – Representação dos trechos 4 a 18 (em linhas cor azul claro e escuro), localizados na sub-bacia do Médio São Francisco (pintada em azul claro)

Tabela 5.5– trechos da sub-bacia do Médio, Submédio e Baixo São Francisco

Nº Trecho	Sub-bacia	Localização	$\Sigma Q_{montante}$ (l/s)	$Q_{referencia}$ (l/s)	Nº pts de interferência
19	Médio SF (BA)	Rio São Francisco, da confluência com o rio Grande até o reservatório de Sobradinho	397.026	717.869	19
20	Médio SF (BA)	Reservatório de Sobradinho, formado pelo barramento do rio São Francisco	430.075	758.934	185
21	SubMédio SF (BA/PE)	Rio São Francisco, jusante do reserv. de Sobradinho até confluência com rio Caraca	430.460	800.000*	283
22	SubMédio SF (BA/PE)	Rio São Francisco, da confluência com o rio Caraca até o reservatório de Itaparica	430.845	800.000*	114
23	SubMédio SF (BA/PE)	Reservatório de Itaparica, formado pelo barramento do rio São Francisco	494.415	800.000*	345
24	SubMédio SF (BA/PE)	Reservatórios de Moxotó e Paulo Afonso, formados pelo barramento do rio SF	501.545	800.000*	36
25	SubMédio SF (BA/AL/SE)	Reservatório de Xingó, formado pelo barramento do rio São Francisco	503.195	800.000*	15
26	Baixo SF (AL/SE)	Rio São Francisco, jusante do reservatório de Xingó até confluência com o rio Ipanema	505.615	800.000*	14
27	Baixo SF (AL/SE)	Rio São Francisco, da confluência com o rio Ipanema até a foz (mar)	534.545	800.000*	56

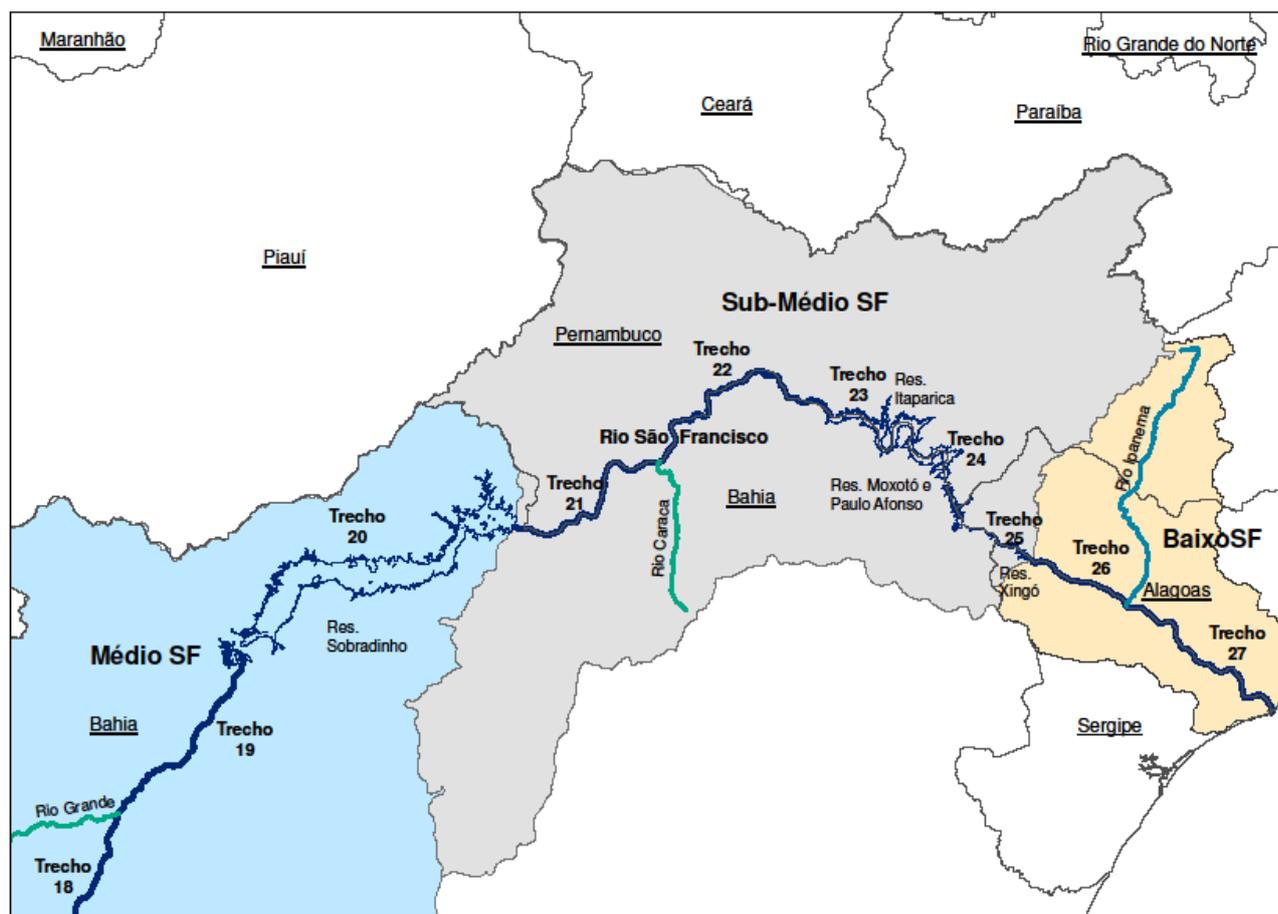


Figura 5.5 – Representação dos trechos 19 a 27 (em linhas cor azul escuro), localizados na sub-bacias do Médio (área em azul claro), Submédio (cinza) e Baixo São Francisco (amarelo)

\* A vazão de referência dos trechos finais do rio São Francisco, a partir do reservatório de Sobradinho, corresponde à descarga mínima instantânea autorizada pela ANA aos reservatórios a jusante do referido reservatório. A bacia do rio São Francisco vem enfrentando condições hidrológicas adversas desde 2013, com vazões e chuvas abaixo da média (ANA, 2016). De 2013 para cá, a ANA tem autorizado diminuição na vazão defluente, que estava inicialmente em 1.300 m<sup>3</sup>/s e diminuiu por último para 800 m<sup>3</sup>/s, de acordo com a Resolução ANA nº 1492, de 18 de dezembro de 2015 (Brasil, 2015).

Os dados dos usuários outorgados pela ANA são públicos e estão disponíveis na internet, pelo *link*: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/uorgs/sof/geout.aspx>. Para o presente trabalho, selecionou-se as outorgas emitidas até novembro de 2015, tendo sido identificados e selecionados 1561 usuários outorgados na bacia do rio São Francisco.

Em seguida, acessou-se o Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (<http://cna rh.ana.gov.br/>) para obter informações relativas aos pontos de interferência destes 1561 usuários outorgados, tendo sido identificados 1760 pontos de interferência outorgados nos 27 trechos na bacia do SF, todos de domínio da União. Lembrando que cada usuário pode ter mais de um ponto outorgado pela ANA.

De posse da localização do ponto, da vazão máxima instantânea de captação ou lançamento, e de qualidade de água (no caso, do parâmetro DBO) de cada um desses pontos de interferência, organizou-se os dados de demanda dos pontos de interferência outorgados em planilha do Excel.

Para cada ponto de interferência outorgado, foram obtidos os seguintes dados:

- Localização geográfica no trecho: com a definição dos 27 trechos da bacia do São Francisco, utilizou-se o Mapa de Outorgas de Direito de uso – ANA, contido no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos ([www.snirh.gov.br](http://www.snirh.gov.br)), para verificar a localização de cada ponto de interferência outorgado pela ANA na bacia do São Francisco, conforme exemplificação dos trechos 20 e 21 apresentados na figura a seguir:

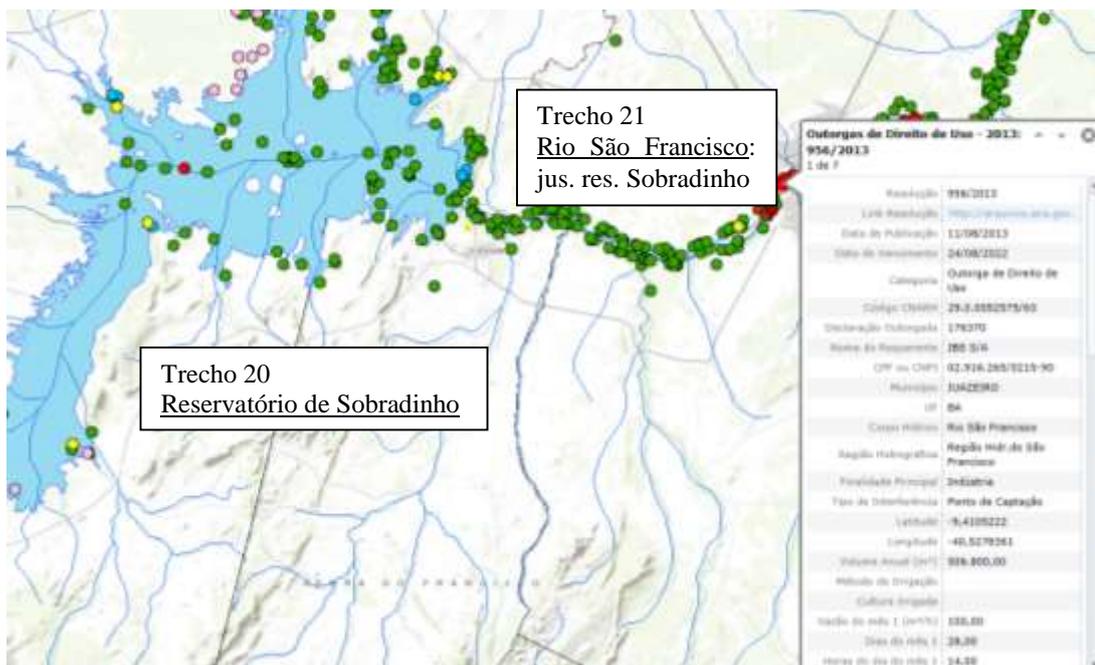


Figura 5.6 – Pontos de interferência outorgados pela ANA nos trechos 20 e 21, com destaque para os dados referentes à outorga de uso objeto da Resolução ANA 956/2013

- Vazão de captação: Sendo o ponto de interferência outorgado como captação, considerou-se  $Q_{\text{captação}}$  = vazão máxima instantânea outorgada para a captação ( $\text{m}^3/\text{h}$ ), verificando no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos a capacidade instalada do usuário. Nota: a ANA outorga uma vazão média, de funcionamento, sendo que a capacidade instalada do funcionamento é maior ou igual à vazão média. Conforme pode ser observado na Figura abaixo, que corresponde aos dados da outorga do ponto de captação Eixo Norte da Transposição do São Francisco, a vazão média outorgada corresponde a  $66408\text{m}^3/\text{h}$ , sendo que a capacidade instalada, considerada como  $Q_{\text{máx\_captação}}$ , é igual a  $95040\text{m}^3/\text{h}$ .

Declaração de Uso de Recursos Hídricos - Nº: 100412				
Ponto Captação	Uso	Vazão Outorgada	Vazão Medida	
<input type="checkbox"/> Existe Sazonalidade				
Vazão Média ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Tempo (h/dia)	Período (dias/mês)	Meses (mês/ano)	Vazão Max Instantânea ( $\text{m}^3/\text{h}$ )
66408,0800	24	30	12	95040,0000
				<b>Volume Total Anual (<math>\text{m}^3/\text{ano}</math>)</b>
				<b>581734780,8</b>
* Vazão estabelecida na outorga de direito de uso de recursos hídricos, ou para o caso de não haver ainda outorga, a vazão passível de ser outorgada				

Figura 5.7 – Vazão máxima instantânea da declaração de uso constante no CNARH, como exemplificação de onde se extrai o  $Q_{\text{captação}}$

- Demanda Bioquímica de Oxigênio do Efluente Tratado: para um ponto de interferência de lançamento, além da vazão, obteve-se também a  $DBO_{m\acute{a}x\_efluente}$ , sendo esta  $DBO_{5,20}$ , ou seja, Demanda Bioquímica de Oxigênio, medida durante um período de 5 dias a uma temperatura de  $20^{\circ}C$ , correspondendo à concentração máxima instantânea do efluente tratado, constante da declaração de uso no CNARH, outorgada pela ANA, em mg/l, conforme apresentada na figura abaixo:

Características do Efluente	Concentração efluente bruto		Concentração efluente Tratado	
	Instantânea Máx.	Média Mensal	Instantânea Máx.	Média Mensal
Temperatura (° C)				
pH				
DBO5 (mg/L)	284,60	284,60	56,93	56,93

Figura 5.8 – Concentração máxima instantânea da DBO do efluente tratado, constante da declaração de uso no CNARH, como exemplificação de onde se extrai a  $DBO_{efluente}$

### 5.3.2 Cálculos iniciais: Vazões de Demanda, Comprometimento Individual e Coletivo

Vazão de Demanda: para cada vazão outorgada de captação,  $Q_{demanda} = Q_{m\acute{a}x\_capta\c{c}\tilde{a}o}$ . Para as vazões de lançamento, calcula-se inicialmente a vazão de diluição. Assim:

$$Q_{m\acute{a}x\_dilui\c{c}\tilde{a}o} = Q_{m\acute{a}x\_efluente} \times \frac{(DBO_{m\acute{a}x\_efluente} - DBO_{permitida})}{DBO_{permitida} - DBO_{natural}}, \text{ dado:}$$

$Q_{m\acute{a}x\_efluente}$  = vazão máxima instantânea outorgada para o lançamento ( $m^3/h$ ), verificando no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos a capacidade instalada do usuário, conforme visto anteriormente.

$DBO_{permitida}$  =  $DBO_{5,20}$  permitida para o trecho, dada pelo seu enquadramento. Na bacia do São Francisco, o Comitê de Bacia Hidrográfica do São Francisco, por intermédio da Deliberação CBHSF N° 12, de 30 de julho de 2004 (Brasil, 2004), adotou o valor de  $5mg/l$ , correspondente à classe 2, como  $DBO_{5,20}$  permitida. Sendo assim, adotou-se a  $DBO_{permitida} = 5 mg/l$  para o presente trabalho;

$DBO_{\text{efluente}}$  = Concentração máxima instantânea do efluente tratado, constante da declaração de uso no CNARH e outorgada pela ANA, obtida conforme descrição anterior, em mg/l;

$DBO_{\text{natural}}$  =  $DBO_{5,20}$  natural do trecho (mg/l). Conforme descrito no item 4.2, adotou-se a  $DBO_{\text{natural}} = 1 \text{ mg/l}$  para o presente trabalho.

- Vazão indisponível: Somando a vazão máxima instantânea do efluente lançado com a vazão de diluição máxima instantânea, obteve-se a vazão indisponível máxima instantânea:

$$Q_{\text{máx\_indisp.}} = Q_{\text{máx\_efluente}} + Q_{\text{máx\_diluição}}$$

$Q_{\text{demanda}}$ : finalizando a organização dos dados por ponto de interferência de captação ou lançamento, calculou-se  $Q_{\text{demanda}}$  como sendo igual à  $Q_{\text{máx\_captação}}$ , sendo o ponto outorgado de captação, ou à  $Q_{\text{máx\_indisponível}}$ , sendo o ponto outorgado de lançamento. Assim:

$$Q_{\text{demanda}} = Q_{\text{máx\_captação}} \text{ (captação) ou } Q_{\text{demanda}} = Q_{\text{máx\_indisponível}} \text{ (lançamento)}$$

Cabe lembrar que, para análise de outorga, a vazão outorgada para um ponto de interferência normalmente é representada pela vazão média de captação ou lançamento, podendo ser a média diária ou a média mensal. No entanto, como o presente trabalho leva em conta a necessidade de medição e cálculo da vazão de demanda  $Q_{\text{demanda}}$ , considerou-se a capacidade máxima instalada no ponto de interferência, ou seja, a vazão máxima instantânea de captação ou de lançamento.

**Comprometimento individual**: para cada ponto de interferência, tendo sido calculado a  $Q_{\text{demanda}}$  e sabendo qual o trecho em que o referido ponto está localizado, ou seja, sabendo a vazão de referência  $Q_{\text{referencia}}$  do trecho, tem-se:

$$ICI_{\text{máx}} = ICI_{\text{demanda}} = \frac{Q_{\text{demanda}}}{Q_{\text{referencia (i)}}}$$

**Comprometimento coletivo**: esse índice adimensional é calculado para cada trecho de rio e, para determinação do mesmo, deve-se achar considerar as vazões de demanda a montante, bem como as vazões de demanda no trecho.

Considerou-se as vazões de demanda a montante  $\sum Q_{\text{montante}}$  retiradas do SCBH, apresentadas nas tabelas 5.1, 5.2 e 5.3 anteriores. Já as vazões de demanda para cada trecho  $i$  foram

somadas, de forma a obter  $\sum Q_{demanda} (i)$ . Tem-se para cada trecho  $i$ , Indicador de Comprometimento Coletivo máximo como:

$$ICC_{m\acute{a}x} = \frac{\sum Q_{montante} + \sum Q_{demanda} (i)}{Q_{refer\acute{e}ncia} (i)}$$

Para cada um dos 27 trechos da bacia do São Francisco, os dados foram organizados em planilha, sendo que as vazões outorgadas foram ordenadas de montante para jusante. Para classificação de cada ponto de interferência num dos três estágios gradativos de exigência quanto ao monitoramento: 1 - simplificado, 2 - intermediário ou 3 – avançado, foram adotados valores iniciais para os índices absolutos (QAB1, QAB2 e QAB3) e os índices relativos (PCC, P1CI1, P1CI2, P2CI1 e P2CI2). A escolha dos valores iniciais para os índices absolutos e relativos será relatada a seguir.

A classificação de cada uma das vazões outorgadas nos três níveis se deu em duas etapas:

- 1º Etapa: classificação quanto aos índices absolutos: passou-se a uma comparação da vazão de demanda  $Q_{demanda}$  do ponto de interferência em relação aos índices absolutos de mínimo e máximo, classificando-o diretamente no estágio 1 (monitoramento simplificado), se  $Q_{demanda} < \text{índice mínimo (QAB1)}$ , ou no estágio 3 (avançado) se  $Q_{demanda} > \text{índice máximo (QAB2)}$ .
- 2ª Etapa: classificação quanto aos índices relativos: estando dentro do intervalo entre os mínimos e máximos absolutos, passou-se a verificação em termos relativos. Primeiro, de forma total no trecho, se o Indicador de Comprometimento Coletivo ( $ICC_{m\acute{a}x}$ ) é superior ou inferior ao índice PCC. Em seguida, classificando cada ponto de interferência num dos três estágios, pela comparação do Indicador de Comprometimento Individual ( $ICI_{m\acute{a}x}$ ) com os índices P1CI1, P1CI2, P2CI1 ou P2CI2.

Dessa forma, para cada trecho, foram dispostos na planilha os dados e os cálculos conforme apresentado na Tabela 5.4 a seguir, que demonstra os cálculos para realizados para o trecho 1 – nascente do Rio São Francisco, da confluência com o rio Samburá até o Reservatório de 3 Marias, levando em conta os valores iniciais dos índices absolutos e relativos estipulados na Metodologia.

Tabela 5.6 – Classificação dos pontos de interferência do trecho 1 – nascente do Rio São Francisco, da confluência com o rio Samburá até o Reservatório de 3 Marias

Ponto de interferência outorgado	Q <sub>máx_capt</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Q <sub>máx_efl</sub> (m <sup>3</sup> /h)	DBO <sub>efl</sub> (mg/L)	Q <sub>demanda</sub> (l/s)	ΣQ <sub>demanda</sub> (l/s)	ICI <sub>máx</sub>	ICC <sub>máx</sub>	Índices Absolutos		Índices Relativos		2ª Etapa Classif. final
								Compara Q <sub>demanda</sub>	Classif. 1ª Etapa	Compara ICC <sub>máx</sub>	Compara ICI <sub>máx</sub>	
Clementino E. da Silva	70,00			19,44	19,44	0,09%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,1%	Simplificado
Total Agroind. Canav-PI	250,00			69,44	88,89	0,32%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,5%	Intermediário
Total Agroind. Canav-PII	155,00			43,06	131,94	0,20%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,5%	Intermediário
Total Agroind. Canav-PIII	300,00			83,33	215,28	0,39%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,5%	Intermediário
Central Energ. Cazanga	700,00			194,44	409,72	0,90%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> ≥ 0,5%	Avançado
Placido Ribeiro Vaz	204,00			56,67	466,39	0,26%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,5%	Intermediário
Iguatemi_Empreend. PI	1536,30			426,75	893,14	1,97%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> ≥ 0,5%	Avançado
Iguatemi_Empreend. PII	1536,30			426,75	1319,89	1,97%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> ≥ 0,5%	Avançado
Daniel Luiz Vieira	28,80			8,00	1327,89	0,04%	30,74%	< 10 L/s	Simplificado	Simplificado	Simplificado	Simplificado
White Martins Ltda - Lanç		1,00	57	3,89	1331,78	0,02%	30,74%	< 10 L/s	Simplificado	Simplificado	Simplificado	Simplificado
White Martins Ltda - Capt	130,00			36,11	1367,89	0,17%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,5%	Intermediário
BIOSEV_S.A.	1800,00			500,00	1867,89	2,31%	30,74%	≥ 500 L/s	Avançado	Avançado	Avançado	Avançado
LDC Bioenergia S.A_PI	1500,00			416,67	2284,56	1,93%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> ≥ 0,5%	Avançado
LDC Bioenergia S.A_PII	600,00			166,67	2451,22	0,77%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> ≥ 0,5%	Avançado
LDC Bioenergia S.A_PIII	600,00			166,67	2617,89	0,77%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> ≥ 0,5%	Avançado
LDC Bioenergia S.A_PIV	1800,00			500,00	3117,89	2,31%	30,74%	≥ 500 L/s	Verificar	Avançado	Avançado	Avançado
Posto_Verde_Luzense	155,00			43,06	3160,94	0,20%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,5%	Intermediário
Vantuil Antônio de Souza	17,90			4,98	3165,94	0,02%	30,74%	< 5L/s	Verificar	Simplificado	Simplificado	Simplificado
Ronaldo V. Gontijo	432,00			120,00	3285,94	0,55%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> ≥ 0,5%	Avançado
Roberto Motta Pereira	500,00			138,89	3424,83	0,64%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> ≥ 0,5%	Avançado
Sklar Agropecuária Ltda	100,00			27,78	3452,61	0,13%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,5%	Intermediário
Geraldo E. dos Santos	120,00			33,33	3485,94	0,15%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,5%	Intermediário
Mª Aparecida C. Santos	120,00			33,33	3519,28	0,15%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,5%	Intermediário
Copasa Martinho Campos		62,00	90	383,19	3902,47	1,77%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> ≥ 0,5%	Avançado
Eugênio A. Costa Filho	180,00			50,00	3952,47	0,23%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,5%	Intermediário
Francisco Lino - PI	91,30			25,36	3977,83	0,12%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,5%	Intermediário
Francisco Lino - PII	119,00			33,06	4010,89	0,15%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,5%	Intermediário
Geraldo M. Valadares	144,00			40,00	4050,89	0,18%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,5%	Intermediário
Fernando Paulo T. Sousa	324,00			90,00	4140,89	0,42%	30,74%	< 500 L/s	Verificar	ICC <sub>máx</sub> ≥30%	ICI <sub>máx</sub> < 0,5%	Intermediário

### 5.3.3 Cálculo dos Índices Absolutos e Relativos

Passando agora para a determinação dos índices absolutos (QAB1 e QAB2) e dos índices relativos (PCC, P1CI1, P1CI2, P2CI1 e P2CI2), verifica-se, para cada trecho  $i$ , se as vazões outorgadas atendem aos três indicadores gerais:

1º Indicador - Controle objetivo do monitoramento:  $\Sigma Q_{dem2}(i) + \Sigma Q_{dem3}(i) \geq 0,8 \times \Sigma Q_{demT}(i)$

2º Indicador - Verificação do real uso outorgado:  $\Sigma Q_{dem3}(i) \geq 0,4 \times \Sigma Q_{demT}(i)$

3º Indicador - Otimização do trabalho de fiscalização:  $N3(i) \leq 0,10 \times NT(i)$

Sendo assim, levando em conta os dados dos 27 trechos da bacia do São Francisco, estabelecem-se a seguir diferentes cenários, com valores de índices absolutos e relativos distintos, a fim de verificar o atendimento aos três indicadores gerais.

#### 5.3.3.1 Cenário 1: Sem índices absolutos, índices relativos mais restritivos

Como Cenário 1, idealizou-se a possibilidade de classificar os pontos de interferência outorgados num dos três estágios de exigência de monitoramento, somente utilizando os Índices de Comprometimento Individual ( $ICI_{m\acute{a}x}$ ) e Coletivo ( $ICC_{m\acute{a}x}$ ), ou seja, levando em conta somente valores relativos da vazão de demanda do ponto outorgado  $Q_{demanda}$  com a vazão de referência  $Q_{refer\acute{e}ncia}$ . A justificativa para criar este cenário é a de se assimilar ao sistema de suporte à decisão do SCBH, no sentido de verificar como um usuário influencia no trecho individualmente e coletivamente, e tomar uma decisão somente com os indicadores ICI e ICC, sem considerar valores de mínimo e máximo de vazão; em outras palavras, sem considerar os índices absolutos para classificação em termos de comparação com a  $Q_{demanda}$  do ponto.

Para montar esse cenário, considerou-se então que os índices absolutos não influenciam na tomada de decisão. Assim, o índice de mínimo absoluto foi igualado a zero, ou seja,  $QAB1=0$ , e o índice de máximo absoluto foi igualado a um valor de 60.000 l/s,  $QAB2 = 60.001$  l/s, valor este superior à maior vazão de demanda outorga em toda a bacia do rio São Francisco, que é o projeto Baixio de Irecê, pertencente à CODEVASF, no município de Xique-Xique/BA, com uma vazão de demanda  $Q_{demanda} = 60.000,00$  l/s.

Para definição de valores para os índices relativos neste Cenário 1, serão considerados valores iniciais descritos no capítulo 4 (Metodologia), apresentados na Tabela 4.2, valores estes mais restritivos e conservadores para os índices PCC, P1CI1, P1CI2, P2CI1 e P2CI2. Com índices relativos mais restritivos, espera-se que as vazões outorgadas, comparadas com a vazão de referência no trecho, sejam mais significativas ao ponto de classificação em termos de monitoramento mais exigentes, no caso, de 2º e 3º nível de exigência (Intermediário e Avançado).

Apresenta-se a classificação dos pontos nos 27 trechos de acordo com as tabelas a seguir:

- 1ª Tabela – Trechos de menor disponibilidade hídrica (ou menor porte): 9 trechos, com vazões de referência  $Q_{\text{referencia}} < 50.000$  l/s, correspondentes à nascente do rio São Francisco (até o Reservatório de Três Marias), aos rios Bezerra, Preto (2 trechos), Urucuia, Carinhanha, Verde Grande e Verde Pequeno e o reservatório de UHE Queimado;
- 2ª Tabela - Trechos de maior disponibilidade hídrica (ou maior porte): 18 trechos, com vazões de referência  $Q_{\text{referencia}} > 150.000$  l/s, sendo 13 destes constituintes da própria calha do rio São Francisco, excetuando a nascente, e de 5 reservatórios localizados na calha do rio: Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Moxotó/Paulo Afonso e Xingó.

A separação dos trechos em duas tabelas, uma contendo os trechos de menor porte, e outra os de maior porte, serve para uma melhor visualização e interpretação dos resultados, uma vez que nos trechos de menor porte os pontos de interferência tendem a ter mais significância em termos individuais e coletivos, pois a vazão de referência nesses trechos é menor.

Tabela 5.7 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 9 trechos de menor porte – Cenário 1

Nº Trecho	Localização	Ref. (l/s)	NT total	ICC (%)	N1 pts	% N1	N2 pts	% N2	N3 pts	% N3	QT (l/s)	Q1 (l/s)	% Q1	Q2 (l/s)	% Q2	Q3 (l/s)	% Q3	Q2+Q3 (l/s)	% Q2+Q3
1	Nasc. R SF	21.641	29	31%	4	14%	14	48%	11	38%	4.141	36	1%	665	16%	3.440	83%	4.105	99%
5	R. Bezerra	4.000	23	88%	0	0%	2	9%	21	91%	3.312	0	0%	11	0%	3.301	100%	3.312	100%
6	Res. Queim.	20.000	43	53%	1	2%	20	47%	22	51%	6.257	18	0%	1.153	18%	5.085	81%	6.239	100%
7	Rio Preto	11.225	38	42%	1	3%	20	53%	17	45%	4.544	8	0%	763	17%	3.773	83%	4.536	100%
8	Rio Preto	18.600	42	91%	0	0%	14	33%	28	67%	12.368	0	0%	834	7%	11.534	93%	12.368	100%
10	R. Urucuia	26.400	54	62%	8	15%	19	35%	27	50%	16.360	109	1%	1.635	10%	14.616	89%	16.251	99%
12	R. Ver Gde	3.300	131	145%	11	8%	64	49%	56	43%	4.797	22	0%	568	12%	4.207	88%	4.775	100%
13	R Ver Peq	800	45	140%	5	11%	22	49%	18	40%	1.122	3	0%	41	4%	1.078	96%	1.119	100%
15	R. Carinhanha	31.800	27	55%	9	33%	10	37%	8	30%	16.760	151	1%	503	3%	16.106	96%	16.608	99%
<b>TOTAIS SF</b>		137.766	432		<b>39</b>	<b>9%</b>	<b>185</b>	<b>43%</b>	<b>208</b>	<b>48%</b>	<b>69.661</b>	<b>348</b>	<b>0%</b>	<b>6.171</b>	<b>9%</b>	<b>63.142</b>	<b>91%</b>	<b>69.313</b>	<b>100%</b>

Tabela 5.8 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 18 trechos de maior porte – Cenário 1

Nº Trecho	Localização	Qref (l/s)	NT total	ICC (%)	N1 pts	% N1	N2 pts	% N2	N3 pts	% N3	QT (l/s)	Q1 (l/s)	% Q1	Q2 (l/s)	% Q2	Q3 (l/s)	% Q3	Q2+Q3 (l/s)	% Q2+Q3
2	3 Marias	155.000	57	10,0%	53	93%	4	7%	0	0%	7.006	5.158	74%	1.849	26%	0	0%	1.849	26%
3	Rio SF	350.100	53	6,3%	44	83%	9	17%	0	0%	15.945	6.789	43%	9.156	57%	0	0%	9.156	57%
4	Rio SF	396.100	11	9,7%	10	91%	1	9%	0	0%	2.831	1.961	69%	870	31%	0	0%	870	31%
9	Rio SF	451.200	10	17,1%	9	90%	1	10%	0	0%	3.404	1.327	39%	2.076	61%	0	0%	2.076	61%
11	Rio SF	478.900	60	37,2%	49	82%	8	13%	3	5%	86.777	3.505	4%	8.016	9%	75.257	87%	83.273	96%
14	Rio SF	530.650	13	41,5%	11	85%	2	15%	0	0%	1.815	300	17%	1.515	83%	0	0%	1.515	83%
16	Rio SF	550.100	22	43,2%	22	100%	0	0%	0	0%	2.449	2.449	100%	0	0%	0	0%	0	0%
17	Rio SF	595.553	23	46,7%	21	91%	2	9%	0	0%	3.775	1.244	33%	2.531	67%	0	0%	2.531	67%
18	Rio SF	622.629	12	46,8%	11	92%	1	8%	0	0%	2.152	1.409	65%	743	35%	0	0%	743	35%
19	Rio SF	717.869	19	64,1%	17	89%	1	5%	1	5%	62.894	2.006	3%	889	1%	60.000	95%	60.889	97%
20	Sobradinho	758.934	185	51,3%	180	97%	4	2%	1	1%	40.903	13.320	33%	4.383	11%	23.200	57%	27.583	67%
21	Rio SF	800.000	282	19,8%	273	97%	6	2%	3	1%	158.123	19.583	12%	33.796	21%	104.744	66%	138.541	88%
22	Rio SF	800.000	115	23,5%	110	96%	3	3%	2	2%	69.321	6.461	9%	10.061	15%	52.800	76%	62.861	91%
23	Itaparica	800.000	345	21,4%	342	99%	3	1%	0	0%	20.493	12.423	61%	8.070	39%	0	0%	8.070	39%
24	Mox/ P. Af.	800.000	36	10,0%	29	81%	5	14%	2	6%	79.067	2.865	4%	22.358	28%	53.843	68%	76.202	96%
25	Xingó	800.000	15	1,9%	13	87%	1	7%	1	7%	13.373	521	4%	3.042	23%	9.810	73%	12.853	96%
26	Rio SF	800.000	14	3,3%	13	93%	1	7%	0	0%	5.487	771	14%	4.716	86%	0	0%	4.716	86%
27	Rio SF	800.000	56	10,1%	49	88%	6	11%	1	2%	55.143	16.348	30%	22.295	40%	16.500	30%	38.795	70%
<b>TOTAIS SF</b>			1.328		1.256	95%	58	4%	14	1%	630.960	98.439	16%	136.366	22%	396.155	63%	532.521	84%

Conforme esperado, observa-se na Tabela 5.7 que, nos trechos de menor porte – rios de domínio da União afluentes do rio São Francisco – as vazões outorgadas foram classificadas, em sua maioria, no estágio 2 (monitoramento intermediário), com  $N2 = 43\%$ , e no estágio 3 (monitoramento avançado com instalação de equipamento), com  $N3 = 48\%$ . Com índices relativos mais restritivos, em corpos d'água de menor porte, as vazões outorgadas terão maior significância, pois a vazão de referência é menor e a relação entre as vazões:  $Q_{\text{demanda}}/Q_{\text{referencia}}$  terá um valor mais significativo, isto é, obteremos valores maiores para  $ICI_{\text{máx}}$  e  $ICC_{\text{máx}}$ , acarretando na classificação dos pontos nos dois estágios de maior exigência.

Neste Cenário 1, para os rios de menor porte, pelo número excessivo de pontos concentrados no 3º estágio, tem-se  $N3 = 0,48 NT$ , o que não atende ao previsto no 3º indicador geral, de se ter um número de pontos no 3º estágio em até em 10% do número total de pontos de interferência ( $N3 \leq 0,1 \times NT$ ). Tem-se ainda um controle de monitoramento entre os estágios 2 e 3 próximos de 100%, ou seja, as vazões de demanda dos pontos classificados entre os estágios 2 e 3 são próximas da vazão total outorgada ( $Q2 + Q3 \cong QT$ ). Além disso,  $Q3 = 0,91 QT$ . Ora, os indicadores gerais 1 ( $Q2 + Q3 \geq 0,8 \times QT$ ) e 2 ( $Q3 \geq 0,4 \times QT$ ) estariam sendo atendidos, mas num número bem acima, indicando um excessivo controle das vazões outorgadas. Levando em conta esses 8 trechos de menor porte (Tabela 5.7), os índices relativos deveriam ser menos restritivos, de forma que se tenha mais pontos de interferência nos estágios 1 e 2, de menor exigência quanto ao monitoramento, e menos pontos no último estágio.

Por outro lado, nos trechos de maior porte – localizados na calha do rio São Francisco e nos reservatórios da calha do referido rio – 95% dos pontos de interferência são  $N1$ , ou seja, estão classificados no estágio 1 (simplificado), 4% são  $N2$ , com monitoramento intermediário, e somente 1% são  $N3$ , com exigência de instalar equipamento de medição. Todos os indicadores gerais estariam sendo atendidos, uma vez que esses 1% dos pontos de interferência estão no 3º nível de exigência, atendendo ao 3º indicador ( $N3 \leq 0,1 NT$ ). Estes pontos são responsáveis por 63% da vazão outorgada ( $Q3 = 0,63 QT$ ), estando de acordo com o 2º indicador geral ( $Q3 \geq 0,4 \times QT$ ) e, além disso, as vazões  $Q2 + Q3 = 0,84 QT$ , atendendo também ao 1º indicador ( $Q2 + Q3 \geq 0,8 \times QT$ ). Considerando somente os trechos de maior porte, os índices relativos menos restritivos já seriam satisfatórios para classificação dos pontos nos três estágios.

Entretanto, no que diz respeito ao número de usuários do tipo N3, apesar de ser satisfatório ( $N3 \leq 0,1NT$ ), não seria um número “otimizado”. Isso porque, ao considerar somente valores relativos, que visam proporcionar a relação  $Q_{\text{demanda}}/Q_{\text{referência}}$ , em rios de maior porte, deixa-se de dar importância às outorgas concedidas aos empreendimentos de maior envergadura como, por exemplo, vários perímetros de irrigação localizados na calha do rio São Francisco. É razoável se pensar que, em relação à fiscalização do uso de recursos hídricos, para um empreendimento de maior envergadura deva ser exigido um monitoramento objetivo com, no mínimo, a instalação de um horímetro (estágio 2) ou de um equipamento de medição (estágio 3), independente do trecho em que se encontra.

Exemplificando: a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco – CHESF foi outorgada pela ANA mediante a Resolução nº 389, de 22 de agosto de 2012, para retirada de água no açude Moxotó, com finalidade de irrigação do Projeto Jusante, cuja  $Q_{\text{demanda}} = 1.200 \text{ l/s}$  (Brasil, 2012). Ora, entre os trechos 21 e 27, ou seja, a jusante da barragem de Sobradinho até a foz do rio São Francisco, a vazão de referência é regularizada em  $800.000 \text{ l/s}$  ( $800 \text{ m}^3/\text{s}$ ) pelos reservatórios em cascata. Este ponto de captação da CHESF teria então uma contribuição individual de  $CI = 1.200/800.000 = 0,0015 = 0,15\%$ . No Trecho 24, correspondente ao açude Moxotó, o  $ICC_{\text{máx}}$  é igual a 10% (vide Tabela 5.8 acima) e, portanto, o comprometimento coletivo neste trecho é baixo, inferior aos 30% estipulados para o índice coletivo PCC. Sendo assim, tomando somente os índices relativos, então este ponto de interferência seria classificado como “monitoramento simplificado”. Um projeto de irrigação com essa  $Q_{\text{demanda}}$  deve, por si só, independentemente da localização, ser classificado com uma exigência de monitoramento intermediário, no mínimo.

Cabe aqui dimensionar o que é um ponto de interferência como esse, que faça captação de  $1.200 \text{ l/s}$ . O cultivo de banana, em termos de irrigação, por exemplo, tem um consumo médio de  $0,72 \text{ l/s/ha}$  (Silva Neto, 2011). Ora,  $1.200 \text{ l/s}$  são suficientes para produção de aproximadamente  $1.700 \text{ ha}$  de banana. Levando em conta que um pivô cobre uma área média de  $107 \text{ ha}$  (Spagnolo *et al.*, 2012), então  $1.200 \text{ l/s}$  é água suficiente para abastecer 16 pivôs centrais para irrigação de banana. Logo, um empreendimento deste porte, localizado no trecho 24, seria classificado como Nível 1, ou seja, como “monitoramento simplificado”.

Verifica-se, portanto, a necessidade de aperfeiçoamento da classificação, criando outros Cenários, por duas medidas:

- 1) Revisão dos índices relativos para valores menos restritivos;
- 2) Inclusão de valores absolutos.

#### 5.3.3.2 Cenário 2: Sem índices absolutos, índices relativos menos restritivos

Como Cenário 2, adotam-se índices relativos menos restritivos, de forma tal que os pontos de interferência nos trechos de menor porte da bacia do São Francisco não fiquem concentrados nas classificações de maior exigência: monitoramento intermediário e avançado. Neste novo Cenário, ainda não se levou em conta os índices absolutos, propositadamente, para ver como a mudança dos índices relativos afetam os trechos.

**Índice relativo coletivo (PCC)** - conforme visto no item 4.6.2, pelos critérios adotados para outorga, um valor de Indicador de Comprometimento Coletivo com maior relevância seria em torno de 0,5 (50%). Numa situação menos restritiva, adota-se agora:  $PCC = 0,7$ , ou seja,  $ICC_{máx} < 70\%$  tem menor relevância, e  $ICC_{máx} \geq 70\%$  é considerado mais relevante.

**Índices relativos individuais (P1CI1, P1CI2, P2CI1 e P2CI2)** - no que tange aos índices individuais, partindo para valores menos conservadores, adotam-se  $P1CI1 = 0,01$  (1,0%) e  $P1CI2 = 0,06$  (6%) para os trechos com  $ICC_{máx} < 70\%$ . Em relação aos trechos mais críticos, com  $ICC_{máx} \geq 70\%$ , tomam-se  $P2CI1 = 0,005$  (0,5%) e  $P2CI2 = 0,03$  (3%).

Os resultados dos cálculos para o Cenário 2 são apresentados nas tabelas 5.9 e 5.10 a seguir, juntando os trechos de menor porte na primeira e os de maior porte na segunda.

Tabela 5.9 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 9 trechos de menor porte – Cenário 2

Nº Trecho	Localização	Qref (l/s)	NT total	ICC (%)	N1 ptos	% N1	N2 ptos	% N2	N3 ptos	% N3	QT (l/s)	Q1 (l/s)	% Q1	Q2 (l/s)	% Q2	Q3 (l/s)	% Q3	Q2+Q3 (l/s)	% Q2+Q3
1	Nasc. R SF	21.641	29	31%	23	79%	6	21%	0	0%	4.141	1.488	36%	2.653	64%	0	0%	2.653	64%
5	R. Bezerra	4.000	23	88%	2	9%	11	48%	10	43%	3.312	11	0%	780	24%	2.521	76%	3.301	100%
6	Res. Queim.	20.000	43	53%	36	84%	7	16%	0	0%	6.257	3.171	51%	3.086	49%	0	0%	3.086	49%
7	Rio Preto	11.225	38	42%	32	84%	5	13%	1	3%	4.544	1.737	38%	1.414	31%	1.393	31%	2.807	62%
8	Rio Preto	18.600	42	91%	14	33%	22	52%	6	14%	12.368	834	7%	4.929	40%	6.606	53%	11.534	93%
10	R. Urucuia	26.400	54	62%	36	67%	17	31%	1	2%	16.360	3.475	21%	10.912	67%	1.973	12%	12.885	79%
12	R. Ver Gde	3.300	131	145%	75	57%	41	31%	15	11%	4.797	590	12%	1.950	41%	2.257	47%	4.207	88%
13	R Ver Peq	800	45	140%	27	60%	16	36%	2	4%	1.122	43	4%	105	9%	974	87%	1.078	96%
15	R. Carinhanha	31.800	27	55%	21	78%	1	4%	5	19%	16.760	1.176	7%	583	3%	15.000	89%	15.583	93%
<b>TOTAIS SF</b>		137.766	432		<b>266</b>	<b>62%</b>	<b>126</b>	<b>29%</b>	<b>40</b>	<b>9%</b>	<b>69.661</b>	<b>12.525</b>	<b>18%</b>	<b>26.412</b>	<b>38%</b>	<b>30.724</b>	<b>44%</b>	<b>57.136</b>	<b>82%</b>

Tabela 5.10 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 18 trechos de maior porte – Cenário 2

Nº Trecho	Localização	Qref (l/s)	NT total	ICC (%)	N1 ptos	% N1	N2 ptos	% N2	N3 ptos	% N3	QT (l/s)	Q1 (l/s)	% Q1	Q2 (l/s)	% Q2	Q3 (l/s)	% Q3	Q2+Q3 (l/s)	% Q2+Q3
2	3 Marias	155.000	57	10,0%	57	100%	0	0%	0	0%	7.006	7.006	100%	0	0%	0	0%	0	0%
3	Rio SF	350.100	53	6,3%	53	100%	0	0%	0	0%	15.945	15.945	100%	0	0%	0	0%	0	0%
4	Rio SF	396.100	11	9,7%	11	100%	0	0%	0	0%	2.831	2.831	100%	0	0%	0	0%	0	0%
9	Rio SF	451.200	10	17,1%	10	100%	0	0%	0	0%	3.404	3.404	100%	0	0%	0	0%	0	0%
11	Rio SF	478.900	60	37,2%	58	97%	1	2%	1	2%	86.777	15.570	18%	13.333	15%	57.874	67%	71.207	82%
14	Rio SF	530.650	13	41,5%	13	100%	0	0%	0	0%	1.815	1.815	100%	0	0%	0	0%	0	0%
16	Rio SF	550.100	22	43,2%	22	100%	0	0%	0	0%	2.449	2.449	100%	0	0%	0	0%	0	0%
17	Rio SF	595.553	23	46,7%	23	100%	0	0%	0	0%	3.775	3.775	100%	0	0%	0	0%	0	0%
18	Rio SF	622.629	12	46,8%	12	100%	0	0%	0	0%	2.152	2.152	100%	0	0%	0	0%	0	0%
19	Rio SF	717.869	19	64,1%	18	95%	0	0%	1	5%	62.894	2.894	5%	0	0%	60.000	95%	60.000	95%
20	Sobradinho	758.934	185	51,3%	184	99%	1	1%	0	0%	40.903	17.703	43%	23.200	57%	0	0%	23.200	57%
21	Rio SF	800.000	282	19,8%	279	99%	3	1%	0	0%	158.123	53.379	34%	104.744	66%	0	0%	104.744	66%
22	Rio SF	800.000	115	23,5%	113	98%	2	2%	0	0%	69.321	16.521	24%	52.800	76%	0	0%	52.800	76%
23	Itaparica	800.000	345	21,4%	345	100%	0	0%	0	0%	20.493	20.493	100%	0	0%	0	0%	0	0%
24	Mox/ P. Af.	800.000	36	10,0%	34	94%	2	6%	0	0%	79.067	25.223	32%	53.843	68%	0	0%	53.843	68%
25	Xingó	800.000	15	1,9%	14	93%	1	7%	0	0%	13.373	3.563	27%	9.810	73%	0	0%	9.810	73%
26	Rio SF	800.000	14	3,3%	14	100%	0	0%	0	0%	5.487	5.487	100%	0	0%	0	0%	0	0%
27	Rio SF	800.000	56	10,1%	55	98%	1	2%	0	0%	55.143	38.643	70%	16.500	30%	0	0%	16.500	30%
<b>TOTAIS SF</b>			1.328		1.315	99%	11	1%	2	0%	630.960	238.855	38%	274.232	43%	117.874	19%	392.105	62%

Pelos resultados apresentados no Cenário 2, constata-se uma melhor conformação nos rios de menor porte (vide Tabela 5.9) no que diz respeito à distribuição dos pontos de interferência classificados, estando em conformação com os três indicadores gerais. Tem-se um número reduzido de 40 dos 432 pontos nesses trechos ( $N3 = 0,09NT$ ) no estágio 3 (com maior exigência) correspondendo à 44% da vazão outorgada ( $Q3 = 0,44QT$ ) e, além disso, o total da vazão do controle objetivo correspondem à praticamente 100% da vazão outorgada ( $Q2 + Q3 \cong QT$ ).

Entretanto, para os trechos de maior porte, verifica-se que somente 2 pontos dentre os 1.328 encontram-se no maior nível de exigência (estágio 3), 11 estão no estágio 2, e 1315 (99%) são classificados como monitoramento simplificado (estágio 1). Com isso, os indicadores gerais 1 e 2 não são atendidos:  $Q3$  corresponde à 19% de  $QT$ , sendo que o Indicador 1 prevê que  $Q3 \geq 0,4 QT$ ; e  $Q2 + Q3$  iguala à 62% de  $QT$ , mas o Indicador 2 prevê  $Q2 + Q3 \geq 0,8 QT$ .

#### 5.3.3.3 Cenário 3: Sem índices absolutos, índices relativos intermediários

Para o Cenário 3, adotam-se índices relativos intermediários, a fim de verificar uma melhor conformação de classificação das vazões outorgadas, tanto nos trechos de menor porte, quanto nos de maior porte. Neste Cenário, também não se levou em conta os índices absolutos, propositadamente, para ver como a mudança dos índices relativos afetam os trechos.

**Índice relativo coletivo (PCC)** - conforme visto no item 4.6.2, pelos critérios adotados para outorga, um valor de Indicador de Comprometimento Coletivo com maior relevância seria em torno de 0,5 (50%), adotando este valor como índice intermediário em termos coletivos, ou seja,  $PCC = 0,5$ .

**Índices relativos individuais (P1CI1, P1CI2, P2CI1 e P2CI2)** - no que tange aos índices individuais, partindo para valores intermediários entre o Cenário 1 e o Cenário 2, adotam-se  $P1CI1 = 0,005$  (0,5%) e  $P1CI2 = 0,05$  (5%) para os trechos com  $ICC_{m\acute{a}x} < 50\%$ . Em relação aos trechos mais críticos, com  $ICC_{m\acute{a}x} \geq 70\%$ , tomam-se  $P2CI1 = 0,003$  (0,3%) e  $P2CI2 = 0,03$  (3%). Os resultados dos cálculos para o Cenário 3 são apresentados nas tabelas 5.11 e 5.12 a seguir:

Tabela 5.11 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 9 trechos de menor porte – Cenário 3

Nº Trecho	Localização	Qref (l/s)	NT total	ICC (%)	N1 pts	% N1	N2 pts	% N2	N3 pts	% N3	QT (l/s)	Q1 (l/s)	% Q1	Q2 (l/s)	% Q2	Q3 (l/s)	% Q3	Q2+Q3 (l/s)	% Q2+Q3
1	Nasc. R SF	21.641	29	31%	18	62%	11	38%	0	0%	4.141	701	17%	3.440	83%	0	0%	3.440	83%
5	R. Bezerra	4.000	23	88%	2	9%	11	48%	10	43%	3.312	11	0%	780	24%	2.521	76%	3.301	100%
6	Res. Queim.	20.000	43	53%	12	28%	30	70%	1	2%	6.257	457	7%	5.100	82%	700	11%	5.800	93%
7	Rio Preto	11.225	38	42%	21	55%	16	42%	1	3%	4.544	771	17%	2.380	52%	1.393	31%	3.773	83%
8	Rio Preto	18.600	42	91%	6	14%	30	71%	6	14%	12.368	252	2%	5.511	45%	6.606	53%	12.117	98%
10	R. Urucuia	26.400	54	62%	15	28%	32	59%	7	13%	16.360	468	3%	7.736	47%	8.157	50%	15.893	97%
12	R. Ver Gde	3.300	131	145%	52	40%	64	49%	15	11%	4.797	305	6%	2.235	47%	2.257	47%	4.492	94%
13	R Ver Peq	800	45	140%	20	44%	23	51%	2	4%	1.122	23	2%	125	11%	974	87%	1.099	98%
15	R. Carinhanha	31.800	27	55%	19	70%	3	11%	5	19%	16.760	654	4%	1.106	7%	15.000	89%	16.106	96%
<b>TOTAIS SF</b>		137.766	<b>432</b>		<b>165</b>	<b>38%</b>	<b>220</b>	<b>51%</b>	<b>47</b>	<b>11%</b>	<b>69.661</b>	<b>3.641</b>	<b>5%</b>	<b>28.413</b>	<b>41%</b>	<b>37.607</b>	<b>54%</b>	<b>66.020</b>	<b>95%</b>

Tabela 5.12 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 18 trechos de maior porte – Cenário 3

Nº Trecho	Localização	Qref (l/s)	NT total	ICC (%)	N1 pts	% N1	N2 pts	% N2	N3 pts	% N3	QT (l/s)	Q1 (l/s)	% Q1	Q2 (l/s)	% Q2	Q3 (l/s)	% Q3	Q2+Q3 (l/s)	% Q2+Q3
2	3 Marias	155.000	57	10,0%	57	100%	0	0%	0	0%	7.006	7.006	100%	0	0%	0	0%	0	0%
3	Rio SF	350.100	53	6,3%	52	98%	1	2%	0	0%	15.945	13.884	87%	2.061	13%	0	0%	2.061	13%
4	Rio SF	396.100	11	9,7%	11	100%	0	0%	0	0%	2.831	2.831	100%	0	0%	0	0%	0	0%
9	Rio SF	451.200	10	17,1%	10	100%	0	0%	0	0%	3.404	3.404	100%	0	0%	0	0%	0	0%
11	Rio SF	478.900	60	37,2%	57	95%	2	3%	1	2%	86.777	11.521	13%	17.383	20%	57.874	67%	75.257	87%
14	Rio SF	530.650	13	41,5%	13	100%	0	0%	0	0%	1.815	1.815	100%	0	0%	0	0%	0	0%
16	Rio SF	550.100	22	43,2%	22	100%	0	0%	0	0%	2.449	2.449	100%	0	0%	0	0%	0	0%
17	Rio SF	595.553	23	46,7%	23	100%	0	0%	0	0%	3.775	3.775	100%	0	0%	0	0%	0	0%
18	Rio SF	622.629	12	46,8%	12	100%	0	0%	0	0%	2.152	2.152	100%	0	0%	0	0%	0	0%
19	Rio SF	717.869	19	64,1%	18	95%	0	0%	1	5%	62.894	2.894	5%	0	0%	60.000	95%	60.000	95%
20	Sobradinho	758.934	185	51,3%	184	99%	0	0%	1	1%	40.903	17.703	43%	0	0%	23.200	57%	23.200	57%
21	Rio SF	800.000	282	19,8%	274	97%	6	2%	2	1%	158.123	21.305	13%	51.874	33%	84.944	54%	136.819	87%
22	Rio SF	800.000	115	23,5%	112	97%	3	3%	0	0%	69.321	11.100	16%	58.222	84%	0	0%	58.222	84%
23	Itaparica	800.000	345	21,4%	345	100%	0	0%	0	0%	20.493	20.493	100%	0	0%	0	0%	0	0%
24	Mox/ P. Af.	800.000	36	10,0%	31	86%	4	11%	1	3%	79.067	8.906	11%	24.328	31%	45.833	58%	70.161	89%
25	Xingó	800.000	15	1,9%	14	93%	1	7%	0	0%	13.373	3.563	27%	9.810	73%	0	0%	9.810	73%
26	Rio SF	800.000	14	3,3%	13	93%	1	7%	0	0%	5.487	771	14%	4.716	86%	0	0%	4.716	86%
27	Rio SF	800.000	56	10,1%	52	93%	4	7%	0	0%	55.143	23.250	42%	31.893	58%	0	0%	31.893	58%
<b>TOTAIS SF</b>			1.328		1.300	98%	22	2%	6	0%	630.960	158.822	25%	200.287	32%	271.852	43%	472.138	75%

Utilizando valores relativos intermediários, verifica-se nos trechos de menor porte (Tabela 5.11) que o número de vazões outorgadas no estágio 3 (avançado) chega a 11% ( $N3 = 0,11NT$ ), com 47 dos 432 pontos classificados neste nível de maior exigência, valor este um pouco superior ao previsto no 3º Indicador ( $N3 \leq 0,10 NT$ ). Em termos de vazões, tem-se 54% das vazões outorgadas no nível 3 ( $Q3 = 0,54QT$ ), atendendo ao 2º indicador ( $Q3 \geq 0,4QT$ ) e 95% das vazões nos níveis 2 e 3, atendendo ao 1º indicador ( $Q2+Q3 \geq 0,8QT$ ).

Já nos trechos de maior porte, o número de vazões outorgadas e classificadas no 3º estágio ( $N3$ ) continuam insignificantes em relação ao total, sendo 6 pontos em 1328. Mesmo assim, de forma geral, estas vazões representam 43% do volume total outorgado ( $Q3 = 0,43QT$ ), atendendo ao 2º indicador ( $Q3 \geq 0,4QT$ ) e as vazões classificadas nos níveis 2 e 3 representam 75% do volume total ( $Q2 + Q3 = 0,75 QT$ ), valor pouco inferior ao 1º indicador ( $Q2+Q3 \geq 0,8QT$ ).

#### 5.3.3.4 Cenário 4 – Final: índices relativos intermediários, com índices absolutos

Neste Cenário 4 mantém-se os mesmos valores para os índices relativos do Cenário 3, acrescentando agora os índices absolutos de mínimo e máximo descritos no item 4.6.1. Dessa forma, independente do trecho, onde  $Q_{\text{demanda}} < 10 \text{ l/s}$ , classifica-se automaticamente a vazão outorgada no Estágio 1 – Simplificado (índice absoluto mínimo); por outro lado, sendo  $Q_{\text{demanda}} > 500 \text{ l/s}$ , a vazão outorgada é classificada automaticamente no Estágio 3 – Monitoramento Avançado, com instalação de equipamento de medição, independente das condições locais (índice absoluto máximo).

Os resultados dos cálculos para o Cenário 4 são apresentados nas tabelas 5.13 e 5.14 a seguir:

Tabela 5.13 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 9 trechos de menor porte – Cenário 4

Nº Trecho	Localização	Qref (l/s)	NT total	ICC (%)	N1 pto	% N1	N2 pto	% N2	N3 pto	% N3	QT (l/s)	Q1 (l/s)	% Q1	Q2 (l/s)	% Q2	Q3 (l/s)	% Q3	Q2+Q3 (l/s)	% Q2+Q3
1	Nasc. R SF	21.641	29	31%	18	62%	11	38%	0	0%	4.141	701	17%	3.440	83%	0	0%	3.440	83%
5	R. Bezerra	4.000	23	88%	2	9%	11	48%	10	43%	3.312	11	0%	780	24%	2.521	76%	3.301	100%
6	Res. Queim.	20.000	43	53%	12	28%	29	67%	2	5%	6.257	457	7%	4.593	73%	1.208	19%	5.800	93%
7	Rio Preto	11.225	38	42%	21	55%	15	39%	2	5%	4.544	771	17%	1.869	41%	1.904	42%	3.773	83%
8	Rio Preto	18.600	42	91%	6	14%	28	67%	8	19%	12.368	252	2%	4.450	36%	7.667	62%	12.117	98%
10	R. Urucuia	26.400	54	62%	15	28%	29	54%	10	19%	16.360	468	3%	5.956	36%	9.937	61%	15.893	97%
12	R. Ver Gde	3.300	131	145%	52	40%	64	49%	15	11%	4.797	305	6%	2.235	47%	2.257	47%	4.492	94%
13	R Ver Peq	800	45	140%	42	93%	1	2%	2	4%	1.122	136	12%	12	1%	974	87%	986	88%
15	R. Carinhanha	31.800	27	55%	19	70%	2	7%	6	22%	16.760	654	4%	522	3%	15.583	93%	16.106	96%
<b>TOTAIS SF</b>		137.766	432		<b>187</b>	<b>43%</b>	<b>190</b>	<b>44%</b>	<b>55</b>	<b>13%</b>	<b>69.661</b>	<b>3.754</b>	<b>5%</b>	<b>23.857</b>	<b>34%</b>	<b>42.049</b>	<b>60%</b>	<b>65.907</b>	<b>95%</b>

Tabela 5.14 – Classificação dos pontos de interferência localizados nos 18 trechos de maior porte – Cenário 4

Nº Trecho	Localização	Qref (l/s)	NT total	ICC (%)	N1 pto	% N1	N2 pto	% N2	N3 pto	% N3	QT (l/s)	Q1 (l/s)	% Q1	Q2 (l/s)	% Q2	Q3 (l/s)	% Q3	Q2+Q3 (l/s)	% Q2+Q3
2	3 Marias	155.000	57	10,0%	56	98%	0	0%	1	2%	7.006	6.421	92%	0	0%	586	8%	586	8%
3	Rio SF	350.100	53	6,3%	40	75%	0	0%	13	25%	15.945	4.416	28%	0	0%	11.530	72%	11.530	72%
4	Rio SF	396.100	11	9,7%	9	82%	0	0%	2	18%	2.831	1.304	46%	0	0%	1.527	54%	1.527	54%
9	Rio SF	451.200	10	17,1%	9	90%	0	0%	1	10%	3.404	1.327	39%	0	0%	2.076	61%	2.076	61%
11	Rio SF	478.900	60	37,2%	50	83%	0	0%	10	17%	86.777	3.996	5%	0	0%	82.781	95%	82.781	95%
14	Rio SF	530.650	13	41,5%	11	85%	0	0%	2	15%	1.815	300	17%	0	0%	1.515	83%	1.515	83%
16	Rio SF	550.100	22	43,2%	22	100%	0	0%	0	0%	2.449	2.449	100%	0	0%	0	0%	0	0%
17	Rio SF	595.553	23	46,7%	21	91%	0	0%	2	9%	3.775	1.244	33%	0	0%	2.531	67%	2.531	67%
18	Rio SF	622.629	12	46,8%	11	92%	0	0%	1	8%	2.152	1.409	65%	0	0%	743	35%	743	35%
19	Rio SF	717.869	19	64,1%	17	89%	0	0%	2	11%	62.894	2.006	3%	0	0%	60.889	97%	60.889	97%
20	Sobradinho	758.934	185	51,3%	176	95%	1	1%	8	4%	40.903	11.048	27%	500	1%	29.355	72%	29.855	73%
21	Rio SF	800.000	282	19,8%	267	95%	0	0%	15	5%	158.123	15.535	10%	0	0%	142.588	90%	142.588	90%
22	Rio SF	800.000	115	23,5%	108	94%	0	0%	7	6%	69.321	5.351	8%	0	0%	63.971	92%	63.971	92%
23	Itaparica	800.000	345	21,4%	341	99%	0	0%	4	1%	20.493	11.543	56%	0	0%	8.950	44%	8.950	44%
24	Mox/ P. Af.	800.000	36	10,0%	27	75%	0	0%	9	25%	79.067	852	1%	0	0%	78.215	99%	78.215	99%
25	Xingó	800.000	15	1,9%	13	87%	0	0%	2	13%	13.373	521	4%	0	0%	12.853	96%	12.853	96%
26	Rio SF	800.000	14	3,3%	13	93%	0	0%	1	7%	5.487	771	14%	0	0%	4.716	86%	4.716	86%
27	Rio SF	800.000	56	10,1%	38	68%	0	0%	18	32%	55.143	3.949	7%	0	0%	51.193	93%	51.193	93%
<b>TOTAIS SF</b>			1.328		1.229	93%	1	0%	98	7%	630.960	74.443	12%	500	0%	556.018	88%	556.518	88%

Em termos de números de pontos de vazões outorgadas classificadas em cada um dos três níveis, podem-se resumir os dados acima na seguinte tabela:

Tabela 5.15 – Distribuição do número de pontos de interferência nos três estágios de exigência quanto ao monitoramento – Cenário 4

Porte	Nº pts outorgados	N1 – Nº pts Estágio1 (Simplificado)	% N1	N2 – Nº pts Estágio2 (Intermediário)	% N2	N3 – Nº pts Estágio3 (Avançado)	% N3 Ind. Geral 3
Menor Porte (Afluentes)	432	187	43%	190	44%	55	13%
Maior Porte (rio SF e reservatórios)	1.328	1.229	93%	1	0%	98	7%
<b>TOTAL BACIA SF</b>	<b>1.760</b>	<b>1.416</b>	<b>80%</b>	<b>191</b>	<b>11%</b>	<b>153</b>	<b>9%</b>

Em termos da distribuição dos pontos em toda a bacia do SF, o Indicador Geral 3 é atendido, somando 153 (N3) o total de pontos classificados no estágio 3 (instalação de equipamento), correspondente a 9% do total de 1.760 (NT) pontos outorgados nos trechos analisados, ou seja,  $N3 \leq 0,1 NT$ .

Entretanto, ao verificarmos os rios de distribuição com menor porte – afluentes do rio São Francisco, observa-se que o número de vazões outorgadas classificadas como Estágio 3 é bem superior, em termos percentuais, sendo que 55 dos 432 pontos (13%) desses trechos foram classificados neste nível, sendo este índice superior ao Indicador 3.

Observa-se também que há somente uma vazão outorgada classificada como nível 2 – Intermediário entre todas as 1328 vazões localizadas nos trechos de maior porte. Isso porque foi criado índice absoluto máximo prevendo somente classificação direta para o estágio 3 – Avançado, e deixou-se para classificação no nível 2 somente para os índices relativos. Como esses trechos de maior porte tem mais disponibilidade hídrica, então a maioria das vazões possuem Comprometimento Individual pouco significativo, e relação  $Q_{\text{demanda}}/Q_{\text{referencia}}$  classificou a maioria das vazões (1229 em 1328, ou seja, 93%) como nível 1 – Monitoramento Simplificado.

Em termos de vazão outorgada, podem-se resumir os dados das tabelas 5.13 e 5.14 do Cenário 4 na tabela 5.16 a seguir:

Tabela 5.16 – Distribuição das vazões outorgadas nos três estágios de exigência quanto ao monitoramento – Cenário 4

Porte	QT - Vazão Total Outorgada	Q1 - Vazão Estágio1 (Simplif)	%Q1	Q2 - Vazão Estágio2 (Intermediário)	%Q2	Q3 - Vazão Estágio3 (Avançado)	%Q3 - Indicador Geral 2	Q2+Q3	%Q2+Q3 - Indicador Geral 1
Menor Porte	69.661	3.754	5%	23.857	34%	42.049	60%	65.907	95%
Maior Porte	630.960	74.443	12%	500	0%	556.018	88%	556.518	88%
<b>TOTAL BACIA SF</b>	<b>700.621</b>	<b>78.197</b>	<b>11%</b>	<b>24.357</b>	<b>3%</b>	<b>598.067</b>	<b>85%</b>	<b>622.424</b>	<b>89%</b>

Pelas vazões outorgadas, tanto o 1º Indicador - Controle objetivo do monitoramento ( $Q2 + Q3 \geq 0,8 \times Q_{total}$ ), quanto o 2º Indicador - Verificação do real uso outorgado ( $Q3 \geq 0,4 \times Q_{total}$ ) são atendidos, pois  $Q3 = 0,80 \times QT$  e  $Q2 + Q3 = 0,89 \times QT$ . Esses resultados são atendidos em toda a bacia, e também em separado, nos trechos de menor porte e nos de maior porte.

Cabe aqui observar, no entanto, que em termos de vazão outorgada, a classificação final deste Cenário 4, em termos de número de pontos e de volume outorgado, que 153 pontos foram classificados no 3º estágio (Monitoramento Avançado) e que esses números correspondem à 85% do volume total outorgado. Ou seja, em termos gerais, uma minoria de usuários (9% do total) é responsável pela maioria do volume outorgado.

E essa proporção é diferenciada nos trechos de menor porte e de maior porte. Nos trechos de menor porte, 13% dos usuários tipo N3 são responsáveis por 60% da vazão outorgada a ser monitorada por equipamentos (Q3). Já nas regiões onde os portes são maiores, na calha do São Francisco e nos reservatórios ao longo do rio, contendo perímetros de irrigação da CO-DEVASF, da CHESF e a Transposição do rio São Francisco, 7% do número de usuários classificados no 3º estágio (N3) são responsáveis por 88% da vazão com monitoramento de maior controle, do tipo Q3.

A seguir, apresenta-se uma discussão dos resultados de forma mais detalhada, levando em conta a distribuição das vazões outorgadas num dos três níveis de monitoramento para os 27 trechos da bacia do São Francisco, com ênfase na referida classificação em alguns trechos da bacia.

### 5.3.4 Discussão dos resultados do estudo de caso

Pelos resultados obtidos nos quatro cenários anteriores, podem-se tecer algumas observações gerais:

#### 5.3.4.1 Quanto aos índices relativos

Os índices relativos (PCC, P1CI1, P1CI2, P2CI1 e P2CI2) mais restritivos promovem um peso maior ao Comportamento Individual e Coletivo de um ponto de interferência no trecho onde está localizado, de forma a classificá-los em níveis de monitoramento mais exigentes (2 - instalação de horímetro ou 3 - de equipamento), tal como apresentado no Cenário 1. Como são índices relativos, em locais com vazão de referência menor, ou seja, em rios de menor porte, classificam os pontos de forma excessiva nos estágios 2 e 3, ou seja, torna importante quanto à exigência de monitoramento, de forma a classificar a maioria das vazões outorgadas nesses estágios. Já em trechos de maior porte, onde a vazão de referência é maior, classifica os pontos de interferência de forma mais adequada, de forma atender aos três indicadores gerais previamente estipulados: 1º Indicador ( $Q2 + Q3 \geq 0,8 \times Q_{total}$ ), 2º Indicador ( $Q3 \geq 0,4 \times Q_{total}$ ), 3º Indicador ( $N3 \leq 0,1 \times N_{total}$ ). No entanto, nesses trechos de maior porte, apesar de as vazões classificadas no 3º nível representarem um percentual significativo em termos de volume ( $Q3 = 63\%$  de QT), somente 14 das 1328 vazões ( $N3 = 1\%$  de NT) foram distribuídas nesse 3º nível;

Já os índices relativos (PCC, P1CI1, P1CI2, P2CI1 e P2CI2) menos restritivos fazem com que o ponto de interferência no trecho seja menos influente para classificação em estágios de exigência maiores, no que diz respeito ao Comportamento Individual e Coletivo do referido ponto. Pelo Cenário 2, verificou-se que, em trechos de menor porte, os índices relativos promoveram uma classificação dos pontos de interferência de forma mais adequada, de forma atender aos três indicadores gerais e a não criar um excessivo número de pontos no estágio 3 (instalação de equipamento). Já nos trechos de maior porte, com vazões de referência menores, quase todos os pontos foram classificados no estágio 1 (monitoramento simplificado), de forma tal que, quase não havendo pontos nos estágios 2 e 3, o 1º Indicador ( $Q2 + Q3 \geq 0,8 \times Q_{total}$ ) e 2º Indicador ( $Q3 \geq 0,4 \times Q_{total}$ ) não puderam ser atendidos;

Quanto aos índices relativos (PCC, P1CI1, P1CI2, P2CI1 e P2CI2) com valores intermediários, melhoram a distribuição na classificação das vazões outorgadas de uma forma geral, tanto nos trechos de menor porte quanto no de maior porte, atendendo à maioria dos indicadores gerais. Entretanto, continuam a classificar as vazões outorgadas em níveis de exigência superiores (2 e 3) para os trechos de menor porte e no nível 1 (simplificado) para os trechos de maior porte.

#### 5.3.4.2 Quanto aos índices absolutos

Pelo observado no Cenário 4, a inclusão de índice absoluto mínimo ( $Q_{demanda} < 10 \text{ l/s} \rightarrow$  Estágio 1 - Simplificado) promoveu alteração somente no trecho 13 – rio Verde Pequeno, que possui 45 vazões outorgadas, das quais 22 outorgas são menores que 10 l/s, passando do Estágio 2 (Intermediário) para o Estágio 1 (Simplificado). Em termos de controle do volume outorgado, não houve alteração significativa, uma vez que as 4 maiores vazões outorgadas para este trecho, que correspondem a 87% do volume outorgado, continuaram classificadas como nível 3 – Avançado. Ou seja, o índice absoluto mínimo serviu para simplificar as exigências de monitoramento de alguns usuários e somente num trecho.

Já a inclusão de índice absoluto máximo ( $Q_{demanda} > 500 \text{ l/s} \rightarrow$  Estágio 3 – Avançado) serviu para classificar diversas outorgas no nível 3, com exigência de instalação de equipamentos, e que antes estavam simplesmente no nível 1, principalmente nos trechos de maior porte. Exemplo disso é a captação da Companhia Pernambucana de Saneamento – Compesa, no município de Petrolina/PE, localizada no trecho 21 – rio São Francisco, a jusante da barragem de Sobradinho, com  $Q_{demanda} = 780 \text{ l/s}$ . Em termos de comprometimento individual no trecho, tem-se que  $ICImáx = 0,1\%$ , classificando em termos relativos como nível 1. No entanto, trata-se de um empreendimento porte considerável, responsável pelo abastecimento de água de todo o município de Petrolina/PE, e é razoável a exigência de um monitoramento avançado a um empreendimento outorgado deste porte, independentemente de sua localização.

Com o resultado da inclusão do índice absoluto máximo, 91 outorgas classificadas nos níveis 1 e 2, localizadas nos trechos de maior porte, foram automaticamente classificadas como nível 3. Porém, nesses 18 trechos de maior porte, somente 1 usuário dos 1328 ficou como

classificação final no nível 2. Assim que a distribuição final deveria revista, com a possibilidade de, por exemplo, criar um índice absoluto máximo para classificação direta para o nível 2 (intermediário), senão não faz sentido criar 3 níveis de exigência.

#### 5.3.4.3 Quanto ao estabelecimento de valores únicos dos índices absolutos e relativos

Em termos gerais, o melhor cenário que representa valores fixos para os índices absolutos e relativos é o Cenário 4. Entretanto, para este Cenário, se forem analisados cada trecho em específico, constatam-se diversas distorções, sendo exemplificadas duas, uma num trecho de menor porte, e outra num trecho de maior porte, a seguir:

- No rio Bezerra (trecho 5), das 23 vazões outorgadas, 10 (43%) foram classificadas no nível 3, e todas estas vazões possuem  $Q_{\text{demanda}}$  acima de 200 l/s, e correspondem a 73% do volume outorgado. Tomando somente 4 das maiores vazões outorgadas (18% do total), teria se alcançaria 40% do volume outorgado (Indicador 3 – verificação do real uso outorgado);
- No trecho 16, calha do rio São Francisco, da confluência com o rio Carinhanha até a confluência com o rio Corrente, todas as 22 vazões outorgadas foram classificadas como nível 1 – Monitoramento Simplificado, ou seja, não se distribuiu neste trecho nenhuma vazão para os níveis 2 e 3. Neste trecho, existem 3 vazões com  $Q_{\text{demanda}}$  próximos de 450 l/s que, somados, possuem 57% do volume total outorgado no trecho. Como são vazões de demanda inferiores a 500 l/s, foram classificadas como nível 1.

Resumindo, verifica-se pelos trechos de domínio da União da bacia do São Francisco, objetos do presente estudo de caso, diversas disponibilidades hídricas, além da variabilidade das 1328 vazões outorgadas em termos de parâmetros outorgados. Dessa forma, por mais que se tente reajustar valores numéricos para os índices absolutos e relativos, não se chega a uma classificação satisfatória num dos três níveis de monitoramento criados (simplificado, intermediário e avançado) para todos os trechos ao mesmo tempo.

Entretanto, para maioria das vazões outorgadas na bacia do São Francisco, os valores dos índices absolutos e relativos do Cenário 4 foram capazes, em linhas gerais, de apresentar uma classificação adequada no que tange aos três níveis de monitoramento. Adota-se, então, os valores dos índices relativos e absolutos do Cenário 4 para realização da classificação das vazões outorgadas no São Francisco num dos três níveis de monitoramento, valores estes apresentados a seguir:

- Índices relativos: PCC= 0,5 (50%); P1CI1 = 0,005 (0,5%); P1CI2 = 0,05 (5%); P2CI1 = 0,003 (0,3%); P2CI2 = 0,03 (3%).
- Índices absolutos: QAB1 = 10 l/s; QAB2 = 500 l/s

#### **5.4 FLUXOGRAMA PARA POSSIBILITAR CONSTRUÇÃO DE SSD PARA CONTROLE DAS VAZÕES OUTORGADAS**

Como trabalho consolidado da presente dissertação, apresenta-se a seguir um fluxograma detalhado, que servirá de base para criação de programa computacional de SSD para controle de vazões de domínio da União outorgadas na bacia do São Francisco.

Para chegar à montagem desse fluxograma, utilizaram-se os resultados dos índices absolutos (QAB1 e QAB2) e dos índices relativos (PCC, P1CI1, P1CI2, P2CI1 e P2CI2) encontrados no estudo de caso da bacia do São Francisco, além dos resultados sobre os equipamentos de medição de vazão, constantes dos Apêndices C e D.

O fluxograma representa um subsistema do Sistema de Controle de Balanço Hídrico (SCBH), elaborado por Collischonn (2014), específico para outorgas de domínio da União da bacia do São Francisco. A escolha de um “módulo auxiliar” ao SCBH se dá pelo fato de esse sistema ser elaborado por bacia, cada uma dividida em trechos, contendo Indicadores de Comprometimento Individual e Coletivo, tal qual foi desenvolvido neste trabalho.

Além disso, o SCBH é um sistema de apoio a decisão de outorga em rios federais utilizado para outras bacias, além da do São Francisco: Paraná, Piranhas-Açu, Paraíba do Sul, Tocantins, Doce e Uruguai. Além desses rios, o sistema abrange toda a bacia (rios federais e estaduais) do rio São Marcos (DF/GO/MG), do rio Preto (DF/GO/MG), e do Itapecuru (MA).

Encontrando resultados numéricos dos índices absolutos e relativos para outras bacias, o fluxograma a seguir apresentado pode ser adaptado para as duas versões do SCBH: tanto para a versão local, desenvolvida em Matlab, que funciona em computadores individuais ou em grupos de computadores conectados a um mesmo servidor institucional, como para a versão Web, desenvolvida em linguagem PHP com banco de dados SQL Server. Isso porque a entrada de dados e a resposta de saída das duas versões são idênticas, e o que diferencia uma versão está na parte da inteligência geográfica e na forma de acumulação das demandas (Collischonn, 2014), mas que não afeta na utilização de cada uma das versões como base para o SSD proposto na presente dissertação.

Segue representação gráfica do fluxograma 1 – extensão do SCBH para as outorgas de domínio da União da bacia do São Francisco, seguido dos dados de entrada, dos cálculos a serem feitos e das respostas a serem fornecidas como subsídio para decisão de enquadramento do ponto de interferência num dos três estágios pré-determinados: simplificado, intermediário e avançado:

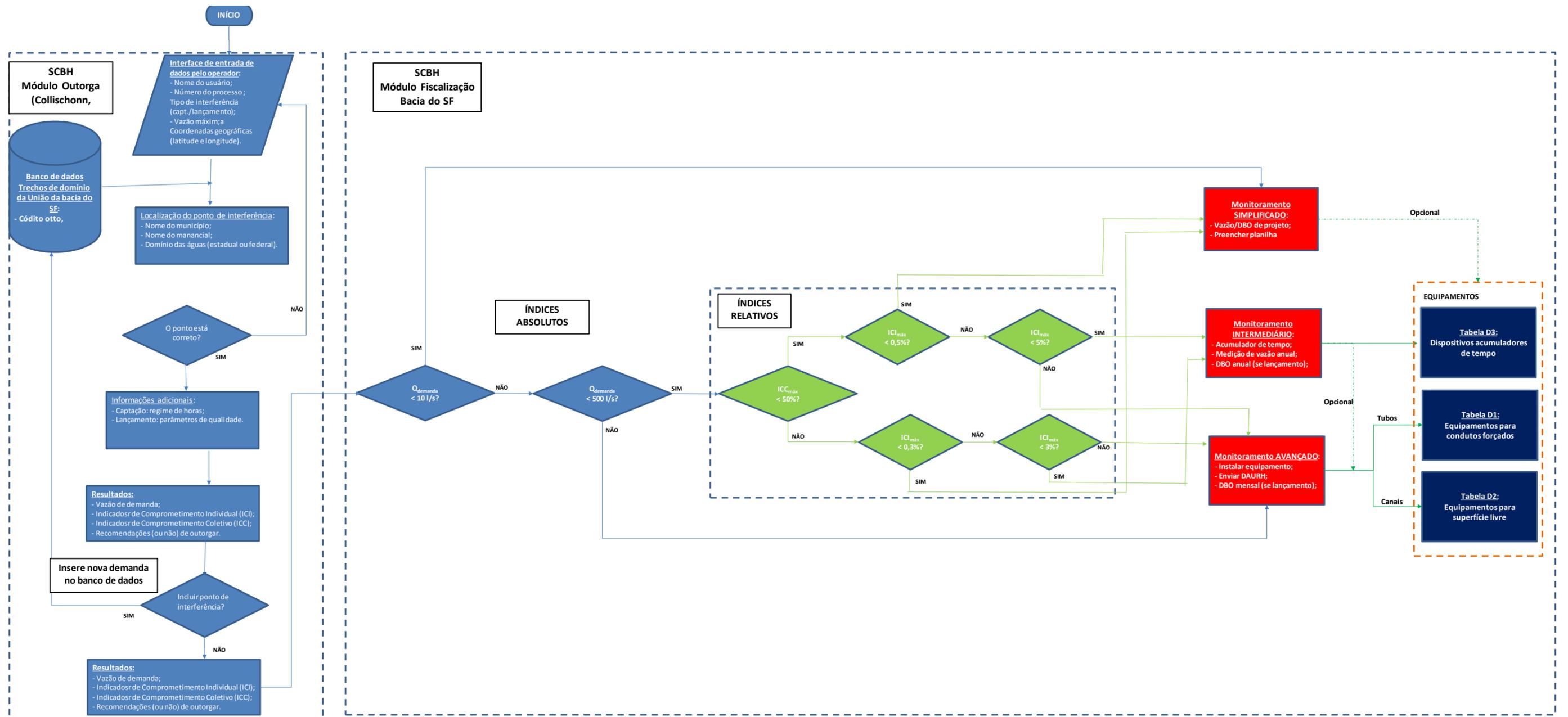


Figura 5.9 – Fluxograma do SSD para classificação das outorgas de domínio da União da bacia do rio São Francisco

Em linhas gerais, o subsistema auxiliar ao SCBH pode ser entendido como um "módulo de fiscalização" complementar. Busca-se, com o novo "SCBH-fiscalização", a continuidade no que tange de suporte à decisão para análise de outorgas nas bacias onde está implementado, com o acréscimo de servir de apoio ao controle dos usuários outorgados, classificando os pontos de interferência nos três estágios gradativos criados: monitoramento simplificado, monitoramento intermediário ou monitoramento avançado, com instalação de equipamento.

A seguir, apresenta-se um passo-a-passo do funcionamento do programa, dividido em duas partes: a do SCBH normal, e a módulo adicional ou "SCBH fiscalização".

### **1) SCBH Normal**

Passo 1 – Dados de entrada do usuário: inicialmente, são inseridos os dados de entrada requeridos pelo SCBH.

- Nome do usuário;
- Número do processo (opcional);
- Tipo de interferência (captação ou lançamento);
- Vazão máxima e regime de operação (nº de horas/dia e nº de dias/mês);
- Coordenadas geográficas da interferência (latitude e longitude).

Passo 2 – Divisão da bacia em trechos e dados de disponibilidade hídrica: a partir dos dados iniciais de localização do usuário, o SCBH acessa o banco de dados por bacia (no caso, da bacia do SF) e identifica, pelas coordenadas geográficas, o trecho onde está situado o ponto de interferência, sendo este ottocodificado, conforme explanado no item 3.4.2 do presente trabalho. Obtém-se, então, as seguintes informações do trecho, para confirmação:

- Município em que se localiza o ponto de interferência;
- Nome do manancial;
- Domínio das águas (se estadual ou federal).

Não sendo essas as informações, o sistema requer que sejam alteradas as coordenadas geográficas e volta-se ao início do passo 2.

Passo 3 – Informações adicionais do ponto de interferência: o SCBH requer informações complementares a respeito do ponto de interferência, dividindo em dois tipos:

Se o ponto for de captação:

- Valores mensais de vazão máxima, nº de horas por dia e nº dias de mês;
- Regime de vazões: máx. instantânea, média diária, média mensal, média anual.

Se o ponto for de lançamento:

- Repete a vazão máxima e regime de operação (nº de horas/dia e nº de dias/mês) do Passo 1 e o usuário pode alterar;
- Parâmetros de qualidade da água do efluente: Temperatura (°C), DBO (mg/l), Nitrogênio Total (mg/l) e Fósforo Total (mg/l).
- Regime de vazões: máx. instantânea, média diária, média mensal, média anual.

#### Passo 4 – Cálculo dos Indicadores de Comprometimento Individual (ICI) e Coletivo (ICC):

o sistema calcula os indicadores e informa se o pleito de outorga pode ou não ser atendido, de acordo com as recomendações previstas dentro da legislação do órgão gestor, e ainda sugere um prazo de outorga a ser concedido. Como informações adicionais no processo de tomada de decisão, o programa pode gerar dois relatórios, onde o operador do programa é capaz de visualizar:

- Balanço hídrico de jusante;
- Lista completa de usuários.

Passo 5 – Inclusão do ponto de interferência: na versão interna, em Matlab, essa opção de incluir o ponto de interferência no SCBH é aberta. Após inclusão do ponto, as informações serão adicionadas ao banco de dados, a fim de que possam ser computadas no cálculo dos futuros pontos de interferência. Já na versão *Web*, a opção de inclusão só é habilitada para operador com *login* e senha de órgão gestor; entrando como usuário de recursos hídricos, as informações servirão somente como consulta para verificação da disponibilidade hídrica no trecho e possibilidade (ou não) de outorga do ponto.

## 2) “SCBH fiscalização”

Passo 6 – Tipologia da interferência: adicional ao porte do trecho, essa é a segunda informação complementar a ser inserida no SCBH-fiscalização, para definição das recomendações de tipo de equipamentos a serem instalados. Três opções são possíveis:

- Tubulação sob pressão;
- Superfície livre; ou

- Ambos (existem captações que utilizam bombeamento por gravidade para lançarem água num canal, que distribui por superfície livre).

Passo 7 – Definição dos índices absolutos e relativos: para o módulo de fiscalização do SCBH, deve-se definir os índices absolutos, que levam em conta comparativos de mínimo e máximo em termos de vazão demandada pelo ponto de interferência, e os índices relativos, que estabelece a disponibilidade hídrica no trecho, relacionando as vazões de demanda -  $Q_{\text{demanda}}$  - com as vazões de referência para cada trecho  $i$  -  $Q_{\text{referencia}}(i)$ .

No caso da bacia do São Francisco, os índices foram calculados como estudo de caso e pré-estabelecidos no item 5.4.3. Assim:

- Índices absolutos:  $QAB1 = 10$  l/s (absoluto mínimo: 1º estágio);  $QAB2 = 500$  l/s (absoluto máximo: 3º estágio).
- Índices relativos:  $PCC = 0,5$  (50%) – coletivo;  $P1CI1 = 0,005$  (0,5%) – individual, divide 1º e 2º estágios, trecho com menor comprometimento;  $P1CI2 = 0,05$  (5%) – individual, divide 2º e 3º estágios, trecho com menor comprometimento;  $P2CI1 = 0,003$  (0,3%) – individual, divide 1º e 2º estágios, trecho com maior comprometimento;  $P2CI2 = 0,03$  (3%) – individual, divide 2º e 3º estágios, trecho com maior comprometimento.

Passo 8 – Cálculo da vazão de demanda ( $Q_{\text{demanda}}$ ) e dos Indicadores de Comprometimento Individual Máximo ( $ICI_{\text{max}}$ ) e Coletivo Máximo ( $ICC_{\text{máx}}$ ): esse passo é nada mais que um processo interno do SCBH, contando com os dados de entrada já inseridos. Considera-se a vazão de demanda ( $Q_{\text{demanda}}$ ) como a máxima instantânea inserida pelo operador tanto na captação, quanto no lançamento (vide Passo 3). Em outras palavras, adota-se como regime de vazões o de máxima instantânea, pois é este regime que deve ser considerado para possibilidade de medir a vazão, critério diferente adotado na outorga.

Passo 9 – Classificação do ponto quanto ao monitoramento: calculada a vazão  $Q_{\text{demanda}}$  e os indicadores  $ICI_{\text{max}}$  e  $ICC_{\text{max}}$ , classifica-se o ponto de interferência num dos três estágios pré-definidos: monitoramento simplificado; monitoramento intermediário; ou monitoramento avançado, com a instalação de equipamento de medição. Para tanto, compara-se a vazão de demanda com os índices absolutos mínimos e máximos, já classificando o ponto de interferência diretamente no estágio 1 (mínimo) ou estágio 3 (máximo), se  $Q_{\text{demanda}}$  for menor que

o mínimo ou maior que o máximo. Entretanto, estando o mesmo nos valores intermediários entre os valores de mínimo e máximo absolutos, classifica-se o ponto de interferência num dos três estágios pelos índices relativos, comparando-os com os Indicadores de Comprometimento Individual ( $ICI_{máx}$ ) e Coletivo ( $ICC_{máx}$ ).

Passo 11 – Resposta do “SCBH fiscalização”: o sistema informa ao operador em que estágio de monitoramento está enquadrado: simplificado, intermediário ou avançado. No último caso, além da obrigação para instalação de equipamento, deve ser enviada a Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos. Sendo assim, como relatório de saída para cada um desses estágios, apresenta-se uma Planilha de Controle deve ser utilizada (Apêndice B) e quais equipamentos ou dispositivos recomenda-se a instalação (Apêndice D):

#### Monitoramento Simplificado:

- Envio da Planilha de Controle B.1;
- Disponibilização das tabelas e dispositivos acumuladores de tempo como opcional, se o usuário tiver interesse em instalação de algum equipamento de medição.

#### Monitoramento Intermediário:

- Envio da Planilha de Controle B.2;
- Disponibilização da tabela D.3 com dispositivos acumuladores de tempo;
- Disponibilização da tabela D.1 (se tubulação sob pressão), D2 (se superfície livre) como opcional, se o usuário tiver interesse em instalação de algum equipamento de medição;
- Realizar medição de vazão com equipamento, frequência mínima anual, e manter comprovante no empreendimento, e enviar ao órgão gestor, se requerido;
- Realizar análise laboratorial de  $DBO_{5,20}$ , frequência mínima anual, manter comprovante no empreendimento e enviar ao órgão gestor, se requerido.

#### Monitoramento Avançado:

- Envio da Planilha de Controle B.3;
- Preenchimento e envio ao órgão gestor, por parte do usuário, da Planilha de Controle B.3, como Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos – DAURH. A mesma pode ser preenchida eletronicamente ou *online*, conforme o órgão gestor estabeleça;

- Disponibilização da tabela D.1 (se tubulação sob pressão), D2 (se superfície livre), como opção para escolha do tipo de equipamento a ser instalado;
- Prazo para instalação de equipamento de medição após emissão da outorga – 180 (cento e oitenta) dias, por exemplo;
- Realizar análise laboratorial de  $DBO_{5,20}$ , frequência mínima mensal, manter comprovante no empreendimento e enviar ao órgão gestor, se requerido.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho teve como ponto central a elaboração de um fluxograma como base para um sistema de suporte à decisão para controle de vazões outorgadas, tendo sido escolhido como estudo de caso os corpos hídricos de domínio da União da bacia do rio São Francisco. Para efetivação do controle das vazões outorgadas, utilizou-se o conceito de obrigação de monitoramento, por parte do usuário, do uso outorgado, definindo três estágios gradativos de exigência:

- Monitoramento simplificado, onde o usuário pode adotar os valores de projeto para ter conhecimento do uso outorgado, preenche os valores numa planilha;
- Monitoramento intermediário, em que se define um controle objetivo do tempo de utilização do ponto de interferência outorgado, mediante instalação de um dispositivo acumulador de tempo, e com adoção de medição de vazão máxima e de análise de  $DBO_{5,20}$  (se o ponto for de lançamento) com frequência mínima anual;
- Monitoramento avançado, com instalação de equipamento de medição de vazão que possa acumular o volume de água apropriado pelo ponto de interferência outorgado, além de envio de Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos, com os volumes mensais utilizados, e de análise de  $DBO_{5,20}$  (se o ponto for de lançamento) com frequência mínima mensal.

Pelo argumentado na parte teórica, verificou-se que o instrumento da outorga, sem o devido controle, pode apresentar uma considerável distância da realidade do uso numa determinada bacia ou trecho, o que diminui a eficiência de seu desempenho como um instrumento de regulação do uso da água.

Dessa forma, desenvolveu-se uma metodologia para classificação de usuários outorgados num dos três níveis de monitoramento estipulados (simplificado, intermediário e final), com índices que levam em conta critérios absolutos (vazão) e relativos (relação com vazão de referencia), tendo sido verificados em 27 trechos na bacia do rio São Francisco. Para teste e

avaliação desses índices, foram criados indicadores gerais que levaram em conta a distribuição das vazões outorgadas e o número de usuários num dos três níveis de monitoramento. Foram criados 4 cenários com diferentes valores para os índices, tendo sido encontrados valores intermediários para os índices relativos absolutos e valores fixos para os índices absolutos.

Para a maioria das vazões outorgadas na bacia do São Francisco, os valores dos índices absolutos e relativos foram capazes, em linhas gerais, de apresentar uma classificação adequada no que tange aos três níveis de monitoramento, podendo adotar valores numéricos para construção de fluxograma do “módulo auxiliar” do SCBH para os trechos de domínio de União da bacia do São Francisco.

Entretanto, para alguns trechos em específico, tanto de menor porte (afluentes do rio São Francisco, tanto de maior porte (calha do rio São Francisco e principais reservatórios), verificou-se que a distribuição das vazões outorgadas num dos três níveis de exigência quanto ao monitoramento, não foi adequada, havendo um excesso de vazões classificadas nos níveis de exigência 2 (intermediário) e 3 (avançado) nos trechos de menor porte e, por outro lado, uma concentração das vazões outorgadas no nível 1 (simplificado) nos trechos de maior porte.

Tal fato se deve à dimensão da bacia do rio São Francisco: tendo sido dividida em 27 trechos, comporta uma grande diversidade em termos de disponibilidade de recursos hídricos, principalmente no que tange à variabilidade das vazões de referência, desde  $Q_{\text{referência}} = 800 \text{ l/s}$  (trecho 13 = rio Verde Pequeno) a  $Q_{\text{referência}} = 8000.000 \text{ l/s}$  (trechos 21 a 27 – calha do rio São Francisco e reservatórios, a jusante da barragem de Sobradinho até a foz).

Como alternativa para este problema identificado, pode-se adotar uma metodologia diferente, definindo índices relativos mais restritivos para os trechos de menor porte (afluentes do rio São Francisco) e índices relativos menos restritivos para os trechos de maior porte (calha do rio e reservatórios).

Outra recomendação, para fins de teste e verificação da classificação das vazões outorgadas quanto ao tipo de monitoramento, seria avaliar a metodologia apresentada em bacias menores, como, por exemplo, a bacia do Descoberto (DF/GO).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acre. Lei nº 1500 - 15 jul. (2003). Institui a Política Estadual de Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Acre, dispõe sobre infrações e penalidades aplicáveis e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Acre*, 16 jul. 2003.
- Alagoas. Decreto nº 6 - 23 jan. (2001). Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos prevista na lei n.º 5.965, de 10 de novembro de 1997, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Estadual de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de Alagoas*, 24 jan. 2001.
- Almeida, J. C. (2009). *A indústria sucroalcooleira-energética e os recursos hídricos: rio Santo Antônio Grande, Alagoas*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 90p.
- Alter, S.L. (1980). “Decision Support System: current practices and continuing challenges”. Addison Wesley Publishing Company.
- Agência Nacional de Águas (2006). *Topologia hídrica: método de construção e modelagem da base hidrográfica para suporte à gestão de recursos hídricos: versão 1.11*. Superintendência de Gestão da Informação, Brasília, Brasil, 29 p.
- Agência Nacional de Águas - ANA (2016). Vazão mínima defluente de Sobradinho e Xingó permanece em 800m<sup>3</sup>/s até 31 de março. Disponível em: <[http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id\\_noticia=12924](http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=12924)> acesso em 11 de fevereiro de 2016.
- Amapá. Lei nº 686 - 7 jun. (2002). Dispõe sobre a política de gerenciamento dos recursos hídricos do Estado do Amapá e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Amapá*, 7 jun. 2002.
- Amazonas. Decreto nº 28.678 - 16 jun. (2009). Regulamenta a Lei n.º3.167, de 27 de agosto de 2007, que reformula as normas disciplinadoras da Política Estadual de Recursos Hídricos e do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Amazonas*, 16 jun. 2009.
- Azevedo Netto, J. M. *et al.* (2002). *Manual de Hidráulica*. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, Brasil, 680p.
- Bahia. Instituto de Gestão das Águas e Clima - Ingá. Instrução Normativa nº 08-A - 30 dez. (2010). Dispõe sobre critérios técnicos para a medição do volume de água captado em corpos de água de domínio do Estado da Bahia e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado da Bahia*, 6 jan. 2010.
- Bahia. Decreto nº 6.296 - 21 mar (1997). Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos, infração e penalidades e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado da Bahia*, 21 mar. 1997.
- Barcellos, F. C.; Acselrad, M. V.; Costa, V. G. (2011). “Efetividade na aplicação de recursos obtidos com a cobrança pelo uso da água bruta na porção fluminense da Bacia do Paraíba do Sul”. *Revibec: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 16 (1), 1-15.
- Benetti, A. D.; Lanna, E.; Cobalchini, M. S. (2003). “Metodologias para determinação de vazões ecológicas em rios” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 8(2), 149-160.

- Brasil. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988. *Diário Oficial da União*, Brasília, 5 out. Atualização disponível em: [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Constituicao/Constituicao.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm).
- Brasil. Lei nº 9.433 - 8 jan. (1997). Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 9 jan, 470-474.
- Brasil. Lei nº 9.984 - 17 jul. (2000a). Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 18 jul, 1-4.
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 4 - 21 jun. (2000b). Aprova os procedimentos administrativos para a emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos, em corpos d'água de domínio da União. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 3 jul, 25-30.
- Brasil. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Resolução nº 16 - 8 mai. (2001). Estabelece critérios gerais para a outorga de direito de uso de recursos hídricos. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 14 mai, 269-270.
- Brasil. Agência Nacional de Águas - ANA. Resolução nº 123 - 1 jul. (2002). Direito de Outorga – Carlos Lucas Mendes. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 5 jul, 162.
- Brasil. Agência Nacional de Águas - ANA. Resolução nº 425 - 4 ago. (2004a). Estabelece critérios para medição de volume de água captada em corpos de água de domínio da União. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 30 ago, 116.
- Brasil. Agência Nacional de Águas - ANA. Resolução nº 707 - 4 ago. (2004b). Dispõe sobre procedimentos de natureza técnica e administrativa a serem observados no exame de pedidos de outorga, e dá outras providências. *Boletim de Pessoal e Serviço nº 12*, Brasília, 3 jan. 2005.
- Brasil. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 357 – 17 mar. (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. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 18 mar, 58-63.
- Brasil. Agência Nacional de Águas - ANA. Resolução nº 340 - 10 ago. (2006a). Direito de Outorga - Usuários de recursos hídricos na bacia do Ribeirão Pipiripau. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 18 ago, 51-52.
- Brasil. Agência Nacional de Águas - ANA. Resolução nº 127 - 3 abr. (2006b). Estabelece o marco regulatório de procedimentos e critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos na Bacia do Ribeirão Pipiripau, considerando a regularização das intervenções e usos atuais. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 25 abr, 70-71.
- Brasil. Agência Nacional de Águas - ANA. Resolução nº 782 - 27 out. (2009). Estabelece critérios para o envio dos dados dos volumes medidos em pontos de interferência outorgados em corpos de água de domínio da União. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 5 nov, 84.

- Brasil. Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH. Resolução nº 113 - 10 jun. (2010a). Aprova os parâmetros para usos de pouca expressão para isenção da obrigatoriedade da outorga de uso de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 28 jun, 116.
- Brasil. Agência Nacional de Águas - ANA. Resolução nº 77 - 22 mar. (2010b). Delega competência para emissão de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos de domínio da União no âmbito do Distrito Federal, e dá outras providências na implementação da Agenda Operativa. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 23 mar, 51.
- Brasil. Agência Nacional de Águas - ANA. Resolução nº 389 – 22 ago. (2012). Direito de Outorga – Companhia Hidro Elétrica do São Francisco - CHESF, Reservatório da UHE de Apolônio Salles/Moxotó (rio São Francisco), Município de Glória/Bahia, irrigação. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 24 ago, 94.
- Brasil. Agência Nacional de Águas - ANA. Resolução nº 1041 - 19 ago. (2013). Define os critérios para análise de balanço hídrico em pedidos de outorga preventiva e de direito de uso de recursos hídricos para captação de água e lançamento de efluentes com fins de diluição, bem como para prazos de validade das outorgas de direito de uso de recursos hídricos e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 27 ago, 107.
- Brasil. Agência Nacional de Águas - ANA. Resolução nº 1492 - 18 dez. (2015). Dispõe sobre a redução temporária da descarga mínima defluente dos reservatórios de Sobradinho e Xingó, no rio São Francisco. *Diário Oficial da União*, Brasília, Seção 1, 22 dez, 175.
- Brigagão, E. N. (2006). *Integração de análise econômica e financeira a sistemas de apoio a decisão de enquadramento, outorga e cobrança de recursos hídricos: aplicação à bacia da barragem do Descoberto no Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 133p.
- Bof, L. H. N.; Pruski, F. F. & Souza, W. A. M. (2009). “Impacto do uso de diversos critérios para a concessão de outorga”. *XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 22 a 26 de novembro de 2009, Campo Grande, MS, Brasil.
- Carolo, F. (2007). *Outorga de direito de uso de recursos hídricos: Instrumento para o desenvolvimento sustentável? Estudos das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí*. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, DF, 203 p.
- Ceará. Decreto nº 30.629 - 19 ago. (2011). Dispõe sobre a cobrança pelo uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos de domínio do estado do Ceará ou da União por delegação de competência, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Ceará*, 23 ago. 2011.
- Ceará. Secretaria dos Recursos Hídricos - SRH. Instrução Normativa SRH n °01 - 2 jun. (2004). Estabelece os procedimentos gerais de leitura, faturamento, operacionalização técnica de medição, recursos e direito dos usuários de água. *Diário Oficial do Estado do Ceará*, 14 jul. 2004.
- Chaves, H. M. L. & Piau, L. P. A. (2008) “Efeito da variabilidade da precipitação pluvial e do uso e manejo do solo sobre o escoamento superficial e o aporte de sedimento de uma bacia hidrográfica do Distrito Federal”. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **32**(1), 333-343.

- Collischonn, B. (2014). “*Sistema de apoio à decisão para outorga de direito de uso de recursos hídricos*”. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 177p.
- Collischonn, B. & Lopes, A.V. (2009). “Sistema de apoio à decisão para análise de outorga na bacia do rio Paraná”. *XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 22 a 26 de novembro de 2009, Campo Grande, MS, Brasil.
- Couceiro, S. R. M.; Hamada, N. (2011). “Os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos na região norte do Brasil”. *Oecologia Australis*, **15**(4), 762-774.
- Cruz, J. C. (2001). *Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 189p.
- Cruz, M. A. S. (2004). *Otimização do controle da drenagem em macrobacias urbanas*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 190p.
- Dalfior, J. S.; Sado, R. R. (2013). “Resultado das ações de fiscalização em rios federais na bacia do rio Doce”. *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 17 a 22 de novembro de 2013, Bento Gonçalves, RS, Brasil.
- Distrito Federal. Decreto nº 22.359 - 31 ago. (2001). Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos no território do Distrito Federal e dá outras providências. *Diário Oficial do Distrito Federal*, 3 set. 2001.
- Distrito Federal. Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal – Adasa. Resolução nº 350 - 23 jun. (2006). Estabelece os procedimentos gerais para requerimento e obtenção de outorga do direito de uso dos recursos hídricos em corpos de água de domínio do Distrito Federal e em corpos de água delegados pela União e Estados. *Diário Oficial do Distrito Federal*, 10 jul. 2006.
- Distrito Federal. Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal – Adasa. Nota Técnica nº 27 - 5 nov. (2012a). Estabelece os procedimentos e critérios a serem utilizados para determinar os valores de vazão a serem outorgados aos usuários localizados na bacia do ribeirão Pípiripau.
- Distrito Federal. Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal – Adasa. Resolução nº 6 - 23 nov. (2012b). Outorga à Associação dos Usuários do Canal Santos Dumont o direito de uso de água superficial captada no ribeirão Pípiripau, para atender a(s) finalidade(s) de abastecimento humano, criação de animais e irrigação. *Diário Oficial do Distrito Federal*, 26 nov., 64.
- Distrito Federal. Agência Reguladora de Águas e Saneamento do Distrito Federal – Adasa. Resolução nº 9 - 23 nov. (2012c). Outorga à Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal o direito de uso de água superficial captada no ribeirão Pípiripau, para atender a finalidade de abastecimento humano. *Diário Oficial do Distrito Federal*, 26 nov., 64.
- Espírito Santo. Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Iema. Instrução Normativa nº 019 - 4 Out. (2005). Estabelece procedimentos administrativos e critérios técnicos referentes à outorga de direito de uso de recursos hídricos em corpos de água do domínio do Estado do Espírito Santo. *Diário Oficial do Estado do Espírito Santo*, 6 out. 2005.

- Ferraz, A. R. G.; Braga, B. (1998). “Modelo Decisório para a outorga de direito de uso da água no Estado de São Paulo”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **3**(2), 5-19.
- Frangipani, M. (2007). *Guias práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água – Volume 1: Macromedicação*. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Brasília, Brasil, 79p.
- Garcia, J. I. B. (2011). *Sistema de suporte a decisão para o lançamento de efluentes*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 162p.
- Giboshi, M. L.; Rodrigues, L. H. A.; Lombardi Neto, F. (2006). “Sistema de suporte à decisão para recomendação de uso e manejo da terra”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **10**(4), 861-866.
- Goiás. Conselho Estadual de Recursos Hídricos - CERHI-GO. Resolução nº 09 - 4 mai. (2005). Estabelece o Regulamento do Sistema de outorga das águas de domínio do Estado de Goiás e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de Goiás*, 2 jun. 2005.
- Goiás. Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e dos Recursos Hídricos. Instrução Normativa nº 015 - 1 out. (2012). Dispõe sobre os procedimentos de outorga para usos de recursos hídricos no Estado de Goiás e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de Goiás*, 1 out, p. 8.
- Guimarães, A. B. (2007). *Medidor de vazão proporcional para a quantificação do consumo de água na irrigação*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 113p.
- Harris, N. M.; Gurnell, A. M.; Hannah, D. M.; Petts, G. E. (2000). “Classification of river regimes: a context for hydroecology”. *Hydrological Processes*, **14**(1), 2831-2848.
- Kelman, J. (1997). “Gerenciamento de recursos hídricos: parte I – outorga”. *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Vol. 1, 123-128, Vitória, ES, Brasil.
- Lamon, G. P. S. (2006). *Pitometria e macromedicação nas empresas de saneamento*. Unigraf, Belo Horizonte, Brasil, 180p.
- Lanna, A. E. L. (2002). “Cap. 1: Introdução”. In: Porto, R.L.L. (org.) *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, Editora da UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 15-41.
- Lynnworth, L.C.; Liu, Y. (2006). “Ultrasonic flowmeters: Half-century progress report, 1955–2005”. *Ultrasonics*, **44** (1), 1371-1378.
- Loucks, D.P. (1995). “Developing and implementing decision support systems: A critique and a challenge”. *Water Resources Bulletin*, **31**(4), 571-582.
- Maranhão. Lei nº 8.149 - 15 jun. (2004). Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Maranhão*, 23 jun. 2004.
- Marques, F. A. (2006). *Sistema multiusuário de gestão de recursos hídricos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 112p.
- Mato Grosso. Decreto nº 336 - 6 jun. (2007). Regulamenta a outorga de direitos de uso dos recursos hídricos e adota outras providências. *Diário Oficial do Estado do Mato Grosso*, 6 jun. 2007.

- Mato Grosso do Sul. Lei nº 2.406 - 29 Jan. (2002). Institui a Política Estadual dos Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Mato Grosso do Sul*, 30 jan. 2012.
- Matos, J. C. (2004). *Suporte metodológico para avaliação de pleitos de outorga dos recursos hídricos - aplicação para o caso da bacia hidrográfica do rio Jacuípe no estado da Bahia*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 153p.
- Meneses Filho, A. S.; Tucci, C. E. M. (2003). “Impacto da urbanização na produção anual de cargas poluentes, com incerteza”. *Anais do 6º Simpósio de hidráulica e recursos hídricos dos países de língua oficial portuguesa*, Vol. I, 889-901, Cabo Verde.
- Michalski, A. (2001). “A new approach to estimating the main error of a primary transducer for an electromagnetic flowmeter”. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*, **50**(3), 764-767.
- Minas Gerais. Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM. Portaria Administrativa nº 10 - 30 dez. (1998). Regulamenta o processo de outorga de direito de uso de águas de domínio do Estado de Minas Gerais. *Diário Oficial do Estado de Minas Gerais*, 23 jan. 1999.
- Minas Gerais. Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM. Portaria Administrativa nº 49 - 1 jul. (2010). Estabelece os procedimentos para a regularização do uso de recursos hídricos do domínio do Estado de Minas Gerais. *Diário Oficial do Estado de Minas Gerais*, 6 jul. 2010.
- Neves, M. M. (2005). *Potencial da metodologia TMDL como mecanismo de enquadramento de corpos de água*. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 256 p.
- Pará. Conselho Estadual dos Recursos Hídricos - Cerh. Resolução nº. 003 - 3 set. (2008). Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Pará*, 3 set. 2008.
- Pereira, P. R. G. (2000). *Suporte Metodológico de Apoio a decisões no Processo de Outorga dos Direitos de Uso de Recursos Hídricos, aplicação para o caso da bacia do Lago Descoberto (Distrito Federal / Goiás)*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 128p.
- Pernambuco. Lei Estadual nº 12.984 - 30 dez. (2005). Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Pernambuco*, 31 dez. 2005.
- Paraíba. Decreto nº 19.260 - 31 out. (1997). Regulamenta a outorga do direito de uso dos recursos hídricos e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado da Paraíba*, 1 nov. 1997.
- Paraná. Decreto nº 4646 - 31 ago. (2001). Dispõe sobre o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos e adota outras providências. *Diário Oficial do Estado do Paraná*, 31 ago. 2001.
- Pereira, C. C. G.; Thomas, P. T.; Alves, R. F. F. (2011). “Processo de regularização de usos e operacionalização da cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica Rio São Francisco” *XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 27 de novembro a 1 de dezembro de 2011, Maceió, Al, Brasil.

- Piauí. Decreto nº 11.341 - 22 mar. (2004). Regulamenta a outorga preventiva de uso e a outorga de direito de uso de recursos hídricos do Estado do Piauí, nos termos da Lei nº. 5.165, de 17 de agosto de 2000. *Diário Oficial do Estado do Piauí*, 25 mar. 2005.
- Pinto, L. C. B. (2003). *Procedimento alternativo para totalização volumétrica indireta de água bruta*. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, SP, 104p.
- Porto, R. M. (2006). *Hidráulica Básica*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 540p.
- Porto, R. L.; Azevedo, L. G. T; Zahed F°, K. (2002). “Cap.4: Modelos de simulação e de rede de fluxo”. In: Porto, R. L. L. (org.). *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, Editora da UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 165-238.
- Porto, R. L.; Azevedo, L. G. T. (2002). “Cap.2: Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos”. In: Porto, R. L. L. (org.). *Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, Editora da UFRGS, Porto Alegre, Brasil, 42-95.
- Porto, R. L.; Roberto, A. N.; Mello Junior, A. V.; Palos, J. C. F. (2005). “AcquaNet: arquitetura, estratégias e ferramentas”. *XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 20 a 24 de novembro de 2005, João Pessoa, PB, Brasil.
- Pozzebon, E.; Cunha, P.; Cavalcante, A. C.; Carrari, E.; Silva, L. M. C. (2003). “Demanda hídrica para agricultura irrigada e sua influência nas análises de pedidos de outorga de direito de uso da água”. *XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 23 a 27 de novembro de 2003, Curitiba, PR, Brasil.
- Ramos, V. S. (2006). *Uso das técnicas de radiotraçadores e de contagem total em medidas de vazão de sistemas abertos*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia - COPPE, Rio de Janeiro, RJ, 79 p.
- Ravanello, M. (2007). *Análise técnica, legal e social para subsídios à outorga de direito de uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Ibicuí-RS*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 123p.
- Rio de Janeiro. Instituto Estadual do Ambiente - Inea. Portaria Serla nº 567 - 7 mai. (2007). Estabelece critérios gerais e procedimentos técnicos e administrativos para cadastro, requerimento e emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos de domínio do Estado do Rio de Janeiro, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro*, 7 mai. 2007.
- Rio Grande do Norte. Decreto nº 13.283 - 22 mar. (1997). Regulamenta os incisos III do art. 4º da Lei nº 6.908, de 01 de julho de 1996, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Norte*, 22 mar. 1997.
- Rio Grande do Sul. Decreto nº 37.033 - 21 nov. (1996). Regulamenta a outorga do direito de uso da água no estado do Rio Grande do Sul, prevista nos artigos 29, 30 E 31 DA Lei n.º 10.350, de 30 de dezembro de 1994. *Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul*, 22 nov. 1996.

- Roberto, A. N. (2002) *Modelos de rede de fluxo para alocação da água entre múltiplos usos em uma bacia hidrográfica*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 105p.
- Rodrigues, R. B. (2000). *Metodologia de apoio à concessão de outorga para lançamento de efluentes e cobrança pelo uso da água – O modelo RM1*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 140p.
- Rodrigues, R. B. (2005). *SSD RB - Sistema de suporte a decisão proposto para a gestão quali-quantitativa dos processos de outorga e cobrança pelo uso da água*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 155p.
- Rondônia. Decreto nº 10.114 - 20 set. (2002). Regulamenta a Lei Complementar nº 255, de 25 de janeiro de 2002, que institui a política, cria o sistema de gerenciamento e o fundo de recursos hídricos do Estado de Rondônia, e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado de Rondônia*, 20 set. 2002.
- Roraima. Decreto nº 8.123-E - 12 jul. (2007). Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos no território do Estado de Roraima. *Diário Oficial do Estado de Rondônia*, 12 jul. 2007.
- Rosa de Oliveira, J.; Pruski, F.; Araújo Nunes, A. (2013). “Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais do ribeirão Entre Ribeiros”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18 (4), 157-172.
- Salim, F. P. C.; Roques, T. V. P.; Souza, W. G. (2007). “Definição de critérios técnicos de análise de outorga para diluição de efluentes em cursos de água: o caso do Estado do Espírito Santo”. *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos* Vol. 1, 523-534, São Paulo, SP, Brasil.
- Santa Catarina. Decreto nº 4.778 - 11 out. (2006). Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos, de domínio do Estado, de que trata a Lei Estadual nº 9.748, de 30 de novembro de 1994, e estabelece outras providências. *Diário Oficial do Estado de Santa Catarina*, 11 out. 2006.
- Santana, A. G; Cardoso, E.; da Silva, F. F.; Pereira, J. S. (2002). “Metodologia para controle das outorgas de uso da água em bacias hidrográficas”. *VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, 3 a 6 de dezembro de 2002, Maceió, AL, Brasil.
- Santos, I. *et al.* (2003). *Hidrometria aplicada*. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, Brasil, 372p.
- São Paulo. Decreto nº 41.258 - 31 out. (1996). Aprova o regulamento da outorga de direitos de uso dos recursos hídricos, de que tratam os artigos 9º a 13 da Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. *Diário Oficial do Estado de São Paulo*, 1 nov. 1996.
- Sergipe. Decreto nº 18.456 - 3 dez. (1999). Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos, de domínio do Estado, de que trata a Lei nº 3.870, de 25 de setembro de 1997, e dá providências correlatas. *Diário Oficial de Sergipe*, 3 dez. 1999.
- Silva, L. M. C.; Monteiro, R. A. (2004). “Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens”. In: Machado, C. J. S. (org.). *Gestão de Águas Doces*. Interciência, Rio de Janeiro, Brasil, 135-178.
- Silva, A. M.; Oliveira, P. M., Mello, C. R., Pierangeli, C. (2006). “Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(2), 374-380.

- Silva Neto, A. R. (2011). *Cenários de abastecimento futuro de Palmas-TO com base na simulação da disponibilidade hídrica do Ribeirão Taquarussu Grande*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 78 p.
- Silveira, G. L.; Robaina, A. D.; Giotto, E.; Dewes, R. (1998). “Outorga para uso dos recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado”. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 3 (3), 5-16.
- Souza, J. D.; Sluter, C. R.; Braga, M. C. B. (2009). “Modelo espaço-temporal em SIG para análise de qualidade da água em uma bacia hidrográfica”. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 15(2), 224-244.
- Spagnolo, T. F. O.; Gomes, R. A. T.; Junior, O. A. C.; Guimarães, R. F.; de Sousa Martins, É.; & Junior, A. F. C. (2012). Dinâmica da expansão agrícola do município de São Desidério-BA entre os anos de 1984 a 2008, importante produtor nacional de soja, algodão e milho. *Geo UERJ*, 2(23), 603-618.
- Streeter, V. L. (1977). *Mecânica dos Fluidos*. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, Brasil, 585 p.
- Tocantins. Decreto nº 2.432 – 6 jun. (2005). Regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos de que dispõem os artigos 8º, 9º e 10 da Lei 1.307, de 22 de março de 2002. *Diário Oficial do Estado de Tocantins*, 7 jun. 2005.
- Vera, L. H. A. (2014). *Atuação da cobrança pelo uso da água de domínio da união como instrumento de gestão de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 165p.
- Waldman, M. (2003). “Mais água, menos lixo: reciclar ou repensar?”, *Boletim Paulista de Geografia (BPG)*, 79, 91-106.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – EXIGÊNCIAS LEGAIS DOS ÓRGÃOS GESTORES ESTADUAIS QUANTO AO MONITORAMENTO DA VAZÃO OUTORGADA

Estado	Órgão Gestor de Recursos Hídricos	Referência Legal	Exigências quanto ao monitoramento da vazão outorgada
AC	<b>Imac</b> - Instituto de Meio Ambiente do Acre	Lei nº 1.500 (Acre, 2003)	Não foi identificado decreto que regulamenta a Lei, nem instrução normativa ou resolução do órgão gestor.
AL	<b>Semarh</b> - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos	Decreto nº 6 (Alagoas, 2001)	<i>Art. 23 - Deverá constar no ato de outorga:...</i> <i>VII - condição de que o outorgado deverá implantar e manter em funcionamento equipamentos de medição para monitoramento contínuo da vazão captada e lançada.</i>
AM	<b>Ipaam</b> - Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas	Decreto n.º 28.678 (Amazonas, 2009)	<i>Art. 54 - Deverá o outorgado: ...</i> <i>VI. Instalar e operar estações e equipamentos hidrométricos, encaminhando ao IPAAM os dados observados e medidos, na forma preconizada no ato de outorga e nas normas de procedimentos estabelecidas, mediante Instrução Normativa* da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SDS).</i> * OBS: Não foi identificada publicação de Instrução Normativa por parte da SDS
AP	<b>Imap</b> - Instituto do Meio Ambiente e de Ordenamento Territorial do Estado do Amapá	Lei nº 686 (Amapá, 2002)	Não foi identificado decreto que regulamenta a Lei, nem instrução normativa ou resolução do órgão gestor.
BA	<b>Inema</b> - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos	Decreto nº 6.296 (Bahia, 1997).	<i>Art. 9º - Quando considerado conveniente, os outorgados deverão instalar e operar estações e equipamentos hidrométricos, ou arcar com os respectivos custos, ficando obrigados a encaminhar os dados observados e medidos à SRH*, na forma preconizada no ato de outorga e de conformidade com as normas e procedimentos estabelecidos.</i> *OBS: SRH - Secretaria de Recursos Hídricos (atual Inema)
CE	<b>Cogerh</b> - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos	Instrução Normativa SRH nº 01 (Ceará, 2004)	<i>Art. 4º. Qualquer pessoa, física ou jurídica, poderá formular consulta por escrito à COGERH, para verificar a possibilidade de disponibilização de água bruta. Parágrafo único. A COGERH responderá ao interessado, informando-o sobre a:</i> <i>I – obrigatoriedade de:</i> <i>a) obter, junto à SRH, a outorga de direito de uso da água;...</i> <i>e) custear o conjunto dos instrumentos de medição da água bruta a serem instalados na unidade usuária, conforme especificações definidas pela COGERH;</i> <i>f) instalação pelo interessado, na forma exigida pela COGERH, em locais apropriados e de livre acesso, de caixas ou cubículos destinados à instalação de hidrômetros e/ou outros equipamentos responsáveis pela medição do volume utilizado.</i>
DF	<b>Adasa</b> - Agência Reguladora de Água, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal	Decreto nº 22.359 (Distrito Federal, 2001).	<i>Art. 27. Para permitir o controle do uso de recursos hídricos, a Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos poderá exigir que o outorgado instale e opere equipamentos hidrométricos.</i>

<b>Estado</b>	<b>Órgão Gestor de Recursos Hídricos</b>	<b>Referência Legal</b>	<b>Exigências quanto ao monitoramento da vazão outorgada</b>
ES	<b>Iema</b> - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos	Instrução Normativa nº 019 (Espírito Santo, 2005)	Não foi identificada exigência alguma quanto à instalação de equipamento ou monitoramento da vazão outorgada.
GO	<b>Semarh</b> - Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos	Resolução Cerhi nº 09 (Goiás, 2005)	<i>Art. 28. A Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás poderá determinar que os outorgados instalem e operem estações e equipamentos hidrométricos, promovam estudos de caráter hidrológico, ou a reembolso dos respectivos custos, ficando obrigados a encaminhar-lhe os dados observados e medidos, na forma preconizada no ato de outorga e de conformidade com as normas e procedimentos por ele estabelecidos.</i>
MA	<b>Sema</b> - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais	Lei nº 8.149 (Maranhão, 2004)	Não foi identificado decreto que regulamenta a Lei, nem instrução normativa ou resolução do órgão gestor.
MG	<b>Igam</b> - Instituto Mineiro de Gestão das Águas	Portaria Admin. nº 10 (Minas Gerais, 1999)	<i>Art. 12 - Determinar que toda outorga sempre que tecnicamente indicada e a critério do IGAM, somente seja concedida, em princípio, se o usuário implantar e operar, às suas expensas, equipamentos de monitoração de acordo com recomendações da Diretoria Controle das Águas do IGAM.</i>
MS	<b>Imasul</b> - Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul	Lei nº 2.406 (Mato Grosso do Sul, 2002)	Não foi identificado decreto que regulamenta a Lei, nem instrução normativa ou resolução do órgão gestor.
MT	<b>Sema</b> - Secretaria de Estado do Meio Ambiente	Decreto nº 336 (Mato Grosso, 2007)	<i>Art. 21. São obrigações do outorgado: ... V - instalar e operar, quando preconizados no ato de outorga, estações e equipamentos de monitoramento hidrométrico e de qualidade da água, nas condições especificadas pela SEMA, encaminhando-lhe os dados medidos e os resultados de análises laboratoriais.</i>
PA	<b>Sema</b> - Secretaria de Estado de Meio Ambiente	Resolução Cerh nº. 003 (Pará, 2008)	<i>Art. 23 Os outorgados são obrigados a: ... III - construir e manter, quando e onde determinado pela autoridade outorgante, as instalações necessárias às observações hidrométricas das águas extraídas e lançadas;</i>
PB	<b>Aesa</b> - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba	Decreto nº 19.260 (Paraíba, 1997)	Não foi identificada exigência alguma quanto à instalação de equipamento ou monitoramento da vazão outorgada.
PE	<b>Apac</b> - Agência Pernambucana de Águas e Clima	Lei nº 12.984 (Pernambuco, 2005)	Não foi identificado decreto que regulamenta a Lei, nem instrução normativa ou resolução do órgão gestor.
PI	<b>Semar</b> - Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais	Decreto nº 11.341 (Piauí, 2004)	<i>Art. 27 - Quando a análise do pedido de outorga do direito de uso de recursos hídricos apontar a necessidade de monitoramento no ponto de captação, a SEMAR/PI pode exigir do outorgado, às suas expensas, instalação e operação de estações e equipamentos hidrometeorológicos e de qualidade da água, ou arcar com os respectivos custos quando essas exigências forem implementadas por terceiros. Parágrafo Único. Quando da instalação e operação das estações e equipamentos referidos no caput deste artigo, o outorgado deverá fornecer periodicamente à SEMAR/PI todas as informações coletadas.</i>

Estado	Órgão Gestor de Recursos Hídricos	Referência Legal	Exigências quanto ao monitoramento da vazão outorgada
PR	<b>ÁguasParaná</b> - Instituto das Águas do Paraná	Decreto nº 4.646, de 31/08/2001.	<i>Art. 31. Obriga-se o outorgado a: ... V - instalar e operar, quando preconizados no ato de outorga e em outros atos administrativos, estações e equipamentos de monitoramento hidrométrico e de qualidade da água, nas condições especificadas pelo Poder Público Outorgante, de acordo com diretrizes determinadas pelo Manual Técnico de Outorgas, encaminhando-lhe os dados medidos e os resultados de análises laboratoriais.</i>
RJ	<b>Inea</b> - Instituto Estadual do Ambiente	Portaria Serla nº 567 (Rio de Janeiro, 2007)	<i>Art. 24º - Do ato administrativo de outorga deverão constar, no mínimo, as seguintes informações: ... VII - Obrigação de instalar e manter em funcionamento equipamentos de medição para monitoramento contínuo das vazões captadas e lançadas a ser disponibilizadas sempre que for solicitado pela SERLA;</i>
RN	<b>Semarh</b> - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos	Decreto nº 13.283 (Rio Grande do Norte, 1997)	<i>Art. 11. § 1º - O instrumento de outorga especificará a vazão máxima outorgada, a obrigatoriedade de o outorgado implantar e manter infraestrutura de medição de água, prazo de vigência e demais elementos técnico-econômicos relevantes, para caracterizar claramente os direitos e obrigações do beneficiário.</i>
RO	<b>Sedam</b> - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental	Decreto nº 10.114 (Rondônia, 2002)	<i>Art. 47. A SEDAM poderá determinar que os outorgados instalem e operem estações e equipamentos hidrométricos, promovam estudos de caráter hidrológicos, ou efetuem o reembolso dos respectivos custos, ficando obrigados a encaminhar-lhe os dados observados e medidos, na forma preconizada no ato de outorga e em conformidade com as normas e procedimentos estabelecidos.</i>
RR	<b>Femarh</b> - Fundação Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Roraima	Decreto nº 8.123-E (Roraima, 2003)	<i>Art. 51. Para permitir o controle do uso de recursos hídricos, a Fundação Estadual do Meio Ambiente, Ciência e Tecnologia deverá exigir que o outorgado instale e opere equipamentos hidrométricos.</i>
RS	<b>DRH</b> - Departamento de Recursos Hídricos da Secretaria das Obras Públicas, Saneamento e Habitação	Decreto nº 37.033 (Rio Grande do Sul, 1996)	<i>Art. 20. Serão consideradas Bacias Especiais aquelas em que a disponibilidade e a demanda estiverem muito próximas, de acordo com critérios definidos pelo DRH e pela FEPAM. § 1º - A Bacia que for considerada Especial será objeto de gerenciamento diferenciado que levará em conta, pelo menos: I - o monitoramento da qualidade e da quantidade dos recursos hídricos, de forma a permitir previsões que orientem o racionamento ou medidas especiais de controle de derivações de águas e de lançamento de efluentes.</i>
SC	<b>SDS</b> - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável	Decreto n.º 4.778 (Santa Catarina, 2006)	<i>Art. 36. Obriga-se o outorgado a: ... V – instalar, manter e operar, quando preconizados no ato de outorga e em outros atos administrativos, estações e equipamentos de monitoramento hidrométrico e de qualidade da água, nas condições especificadas pelo Órgão Outorgante.</i>

Estado	Órgão Gestor de Recursos Hídricos	Referência Legal	Exigências quanto ao monitoramento da vazão outorgada
SE	<b>Semarh</b> - Secretaria de Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos	Decreto nº 18.456 (Sergipe, 1999).	<p>Art. 12. § 2º - O outorgado deve implantar e manter em funcionamento equipamento de medição para monitoramento contínuo da vazão captada ou lançada.</p> <p>Art. 32. Quando a análise do pedido de outorga do direito de uso de recursos hídricos apontarem a necessidade de monitoramento no ponto de captação, a Seplantec pode exigir do outorgado, às suas expensas, instalação e operação de estações e equipamentos hidrometeorológicos e de qualidade da água, ou arcar com os respectivos custos quando essas exigências forem implementadas por terceiros.</p> <p>Parágrafo único. Quando da instalação e operação das estações e equipamentos referidos no “caput” deste artigo, o outorgado deve se obrigar a fornecer periodicamente, ao poder público outorgante, todas as informações coletadas.</p>
SP	<b>Daee</b> - Departamento de Águas e Energia Elétrica	Decreto nº 41.258 (São Paulo, 1996).	<p>Art. 6º - Obriga-se o outorgado a: ...</p> <p>VI - instalar e operar estações e equipamentos hidrométricos, encaminhando ao Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE os dados observados e medidos, na forma preconizada no ato de outorga e nas normas de procedimento estabelecidas pelo DAEE, mediante portaria do Superintendente da Autarquia.</p>
TO	<b>Naturatins</b> - Instituto Natureza do Tocantins	Decreto nº 2.432 (Tocantins, 2005)	<p>Art. 21. A outorga do direito de uso de recursos hídricos obriga o outorgado: ...</p> <p>IV - instalar, manter e operar: ...</p> <p>b) estações e equipamentos de monitoramento hidrométrico e de qualidade da água, encaminhando ao NATURATINS os dados medidos e os resultados de análises laboratoriais;</p>

## APÊNDICE B – PLANILHAS DE CONTROLE DE VOLUME

### Planilha de Controle Nível 1 - MONITORAMENTO SIMPLIFICADO

**Ano de referência:**

Nome/Razão Social:		CPF/CNPJ:	
Nº Cadastro:	Nº Outorga:	Órgão:	
Ponto de interferência:		Tipo: <input type="checkbox"/> Captação <input type="checkbox"/> Lançamento	
Vazão máxima de projeto:	m <sup>3</sup> /h	DBO máxima de projeto:	mg/l

Data:	Horas de uso
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	

Data:	Horas de uso
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	

Data:	Horas de uso
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	

**TOTAL MENSAL: Preenchimento obrigatório**

Mês	Total de Uso (horas)	Volume Mensal (m <sup>3</sup> )
<b>Janeiro</b>		
<b>Fevereiro</b>		
<b>Março</b>		
<b>Abril</b>		
<b>Mai</b>		
<b>Junho</b>		

Mês	Total de Uso (horas)	Volume Mensal (m <sup>3</sup> )
<b>Julho</b>		
<b>Agosto</b>		
<b>Setembro</b>		
<b>Outubro</b>		
<b>Novembro</b>		
<b>Dezembro</b>		
<b>TOTAL ANUAL (m<sup>3</sup>)</b>		

**Planilha de Controle Nível 2 - MONITORAMENTO INTERMEDIÁRIO**

**Ano de referência:**

Nome/Razão Social:		CPF/CNPJ:	
Nº Cadastro:	Nº Outorga:	Órgão:	
Ponto de interferência:		Tipo: <input type="checkbox"/> Captação <input type="checkbox"/> Lançamento	
Vazão máxima de projeto:	m³/h	DBO máxima de projeto:	mg/l
Vazão máxima medida:	m³/h	Data da medição de vazão:	/ /
DBO máxima medida:	mg/l	Data da medição de DBO:	/ /

Data:	Reg. horímetro
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	

Data:	Reg. horímetro
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	

Data:	Reg. horímetro
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	
/ /	

**TOTAL MENSAL: Preenchimento obrigatório**

Mês	Total de Uso (horas)	Volume Mensal (m³)
Janeiro		
Fevereiro		
Março		
Abril		
Maiο		
Junho		

Mês	Total de Uso (horas)	Volume Mensal (m³)
Julho		
Agosto		
Setembro		
Outubro		
Novembro		
Dezembro		
<b>TOTAL ANUAL (m³)</b>		



## APÊNDICE C – PROJETO-PILOTO NA BACIA DO RIBEIRÃO PIPIRIPAU

Como parte complementar para recomendações quanto à instalação dos equipamentos de medição de vazão, para composição do SSD, faz-se necessário o entendimento dos processos de medição de vazões em superfícies livres e condutos forçados, mediante a verificação de funcionamento de equipamentos de medição de vazão instalados na bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau (DF/GO).

O projeto-piloto na bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau (DF/GO) envolve a contratação de empresa privada, pela Agência Nacional de Águas, para prestação de serviços técnicos especializados de engenharia num período de três anos. Os serviços de engenharia se constituem de instalação de estações hidrométricas (de medição de vazão) de uso de recursos hídricos, contemplando a instalação, automação, operação, manutenção, análise comparativa e a verificação da eficiência de diversos sistemas de medição de vazão e volume de água bruta e sua integração com a base de dados da ANA.

Foram instalados diversos equipamentos de medição de vazão em 5 (cinco) estações hidrométricas na bacia do Pipiripau. Os resultados desse estudo experimental são apresentados no Apêndice C da presente dissertação.

Aliado aos estudos experimentais, para composição dos dados de equipamentos de medição para o SSD, considerou-se os estudos teóricos e o referencial bibliográfico constante do item 3.3 – “Sobre os equipamentos de medição”. Foram utilizados livros, artigos e catálogos de fabricantes, bem como consulta aos preços de mercados e normas existentes para instalação, para composição final dos processos de medições de vazões.

O projeto-piloto na bacia hidrográfica do ribeirão Pipiripau (DF/GO) envolve a contratação de empresa privada, pela Agência Nacional de Águas, para prestação de serviços técnicos especializados de engenharia num período de três anos. Os serviços de engenharia se constituem de instalação de estações hidrométricas de uso de recursos hídricos, contemplando a instalação, automação, operação, manutenção, análise comparativa e a verificação da eficiência de diversos sistemas de medição de vazão e volume de água bruta e sua integração com a base de dados da ANA.

O contrato da ANA com a empresa especializada denominada Vector Engenharia e Sistemas de Automação foi firmado em novembro de 2011, em virtude de licitação, do tipo concorrência, modalidade menor preço através de empreitada integral.

O ribeirão Pípiripau, corpo hídrico de domínio da União, tem sua nascente localizada nos limites do Município de Formosa – GO, estendendo-se pela porção nordeste do Distrito Federal, vindo a formar o rio São Bartolomeu, bacia hidrográfica do Paraná. A bacia do ribeirão Pípiripau compreende uma área de drenagem de aproximadamente 235 km<sup>2</sup>. A maior parte da área da bacia está inserida no Distrito Federal (90,3%), sendo que em Goiás encontram-se as nascentes mais a montante da bacia (Chaves&Piau, 2008).

A bacia do Pípiripau possui pouca disponibilidade hídrica para os usos instalados. Em busca de solução dos conflitos pelo uso da água instalados na região, a ANA publicou a Resolução n° 127, de 3 de abril de 2006, estabelecendo o marco regulatório de procedimentos e critérios de outorga de direito de uso de recursos hídricos na bacia do ribeirão Pípiripau (Brasil, 2006a). Destaca-se, na Resolução 127/2006, a criação de 5 (cinco) Pontos de Controle onde são monitoradas condições de vazões mínimas remanescentes que verificam a disponibilidade hídrica na bacia, em termos quantitativos.

Os usuários de domínio da União da bacia do ribeirão Pípiripau, localizados no Distrito Federal, são outorgados pela Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal – ADASA, uma vez que a ANA delegou a competência das outorgas dos rios federais àquela agência pela Resolução n° 77, de 22 de março de 2010 (Brasil, 2010b).

Além dos usuários de domínio da União, a ADASA também outorga o uso de recursos hídricos aos usuários que utilizam corpos hídricos de domínio do Distrito Federal na bacia do ribeirão Pípiripau, como o rio Taquara, por exemplo, bem como os poços instalados (água subterrânea). As outorgas da ADASA são individuais, emitidas nos meses de novembro e dezembro de 2012 por intermédio de portarias e resoluções, com vigência de 5 anos, ou seja, válidas até o final de 2017 (Distrito Federal, 2012a).

A parte goiana da bacia representa menos de 10% da área. Nesta região, a própria ANA analisa e emite as outorgas dos usuários de domínio da União, uma vez que não há delegação de outorga da Agência à Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado de Goiás – SEMARH, órgão gestor de recursos hídricos daquele estado. Em relação aos usuários de domínio do Estado de Goiás, não foram constatadas outorgas pelo referido órgão gestor.

Dessa forma, entre usuários de domínio da União e do Distrito Federal, 116 usuários estão outorgados na bacia, totalizando 173 pontos de interferência. O volume total outorgado – e em vigência até 2017 – é de 1195 l/s.

Segundo informações da fiscalização da ANA, nos anos de 2007, 2008, 2009, 2011 e 2014, durante o período de seca em Brasília – julho a outubro – foram observados valores inferiores às vazões remanescentes. Tal fato provocou a realização de reuniões da Comissão de Acompanhamento instituída pela Resolução ANA n° 127/2006, responsável pelo acompanhamento da gestão dos recursos hídricos da bacia, resultando no estabelecimento de medidas de racionamento, como revezamento de horário de captação dos usuários (Brasil, 2006a).

Para melhoria na gestão dos recursos hídricos da bacia, além de se realizar o monitoramento da disponibilidade hídrica pelos Pontos de Controle, é muito importante se conhecer a real demanda na bacia. Daí a importância, para a ANA, da instalação de equipamentos de medição nos usuários da bacia e o conhecimento das informações dos volumes captados.

Além disso, e não menos importante, a escolha da bacia do Pipiripau se dá pela proximidade da mesma à sede da ANA, em Brasília, onde está lotada a Superintendência de Fiscalização - SFI, responsável pelo acompanhamento técnico e pela gestão do contrato com a empresa Vector. Dessa forma, a SFI pode acompanhar o trabalho de perto e com maior frequência, desde a montagem dos equipamentos até o funcionamento dos sistemas, economizando custos com deslocamentos, passagens e diárias.

Por razões de racionalidade, foram escolhidos para o projeto-piloto 5 (cinco) usuários da bacia para monitoramento, a saber: Antônio Mazurek (estação 1), Campos Agrícola Ltda. – Areal (estação 2), Geraldo Magela (estação 3), CAESB (estação 4) e Canal de Irrigação Santos Dumont (estação 5). Em termo de significância, a soma dos volumes outorgados para esses usuários é significativa, pois representa 64% do total outorgado na bacia.

O projeto-piloto prevê ainda um ponto de apoio na EMATER, onde uma estação central (Estação 06) foi instalada para a recepção e retransmissão para a ANA dos dados obtidos nas cinco estações de medição.

A seguir, apresentam-se duas figuras: a Figura 4.1 representa um plano altimétrico da bacia do ribeirão Pipiripau, com a localização das 6 Estações; e a Figura 4.2 mostra um esquema geral da arquitetura do sistema de medição instalado na referida bacia.

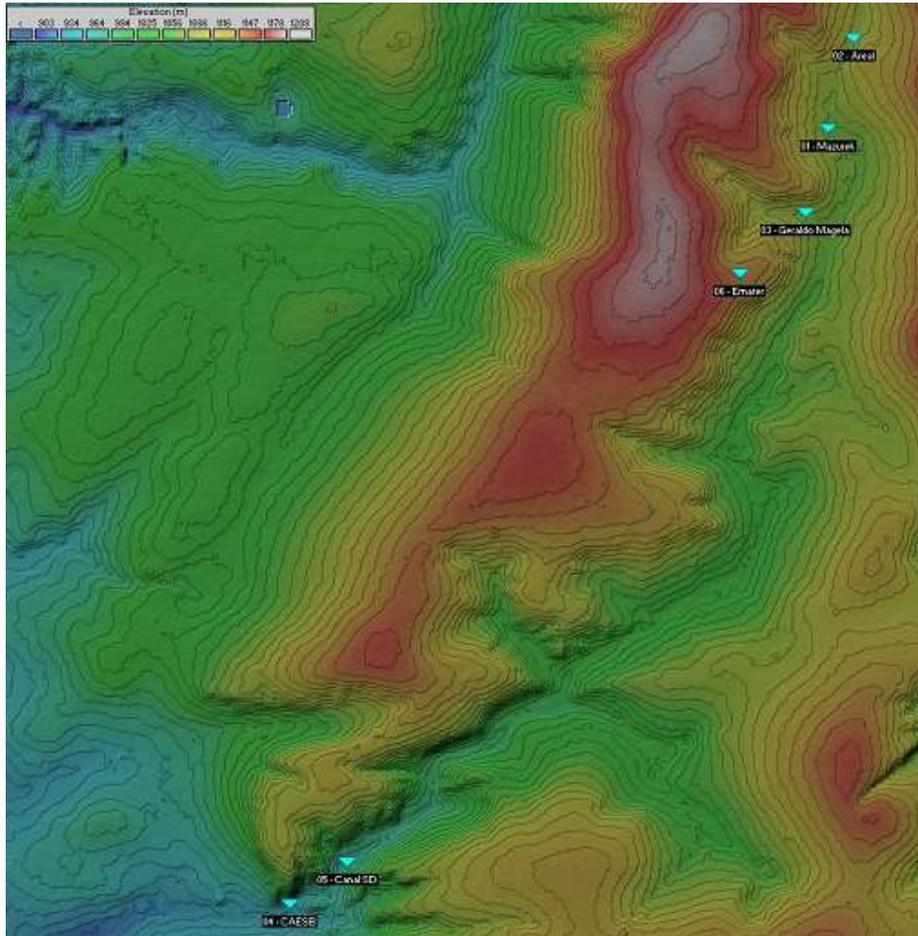


Figura C.1 – Localização das estações hidrométricas - Cortesia: Vector

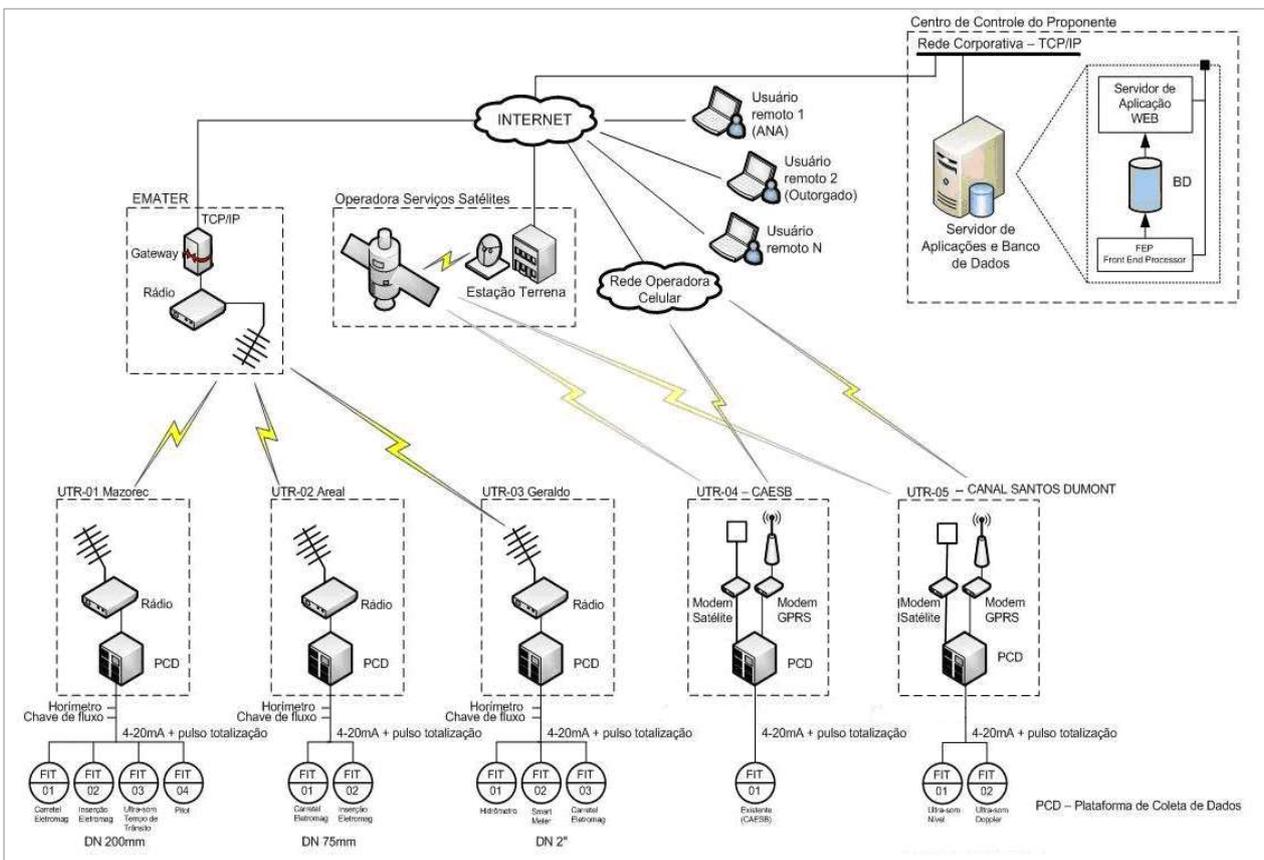


Figura C.2 – Arquitetura geral do sistema com as 5 Estações de medição - Cortesia: Vector

## C.1 ESTAÇÕES DE MEDIÇÃO

Apresentam-se, a seguir, as estações hidrométricas e os equipamentos instalados:

### C.1.1 Estação 1: Antônio Mazurek

A propriedade do Sr. Antônio Mazurek é a única em toda a bacia que utiliza pivô central para irrigação de café. Dessa forma, é o principal usuário individual irrigação na bacia, com 36,5 l/s de vazão outorgada, representando 3% do volume total outorgado na bacia. Possui o único pivô central instalado na bacia.

Para realização da captação de água para abastecer o pivô, o usuário utiliza um conjunto motor-bomba que leva água pressurizada por meio de tubulação em chapa de zinco com 200 mm de diâmetro, tendo sido instalados os seguintes equipamentos:

- Eletromagnético de carretel;
- 2 Eletromagnéticos de inserção (o 1º foi instalado no período inicial, em novembro de 2013, e o 2º foi instalado 1 ano depois, em novembro de 2014);
- Medidor de vazão Annubar (espécie de tubo Pitot);
- Horímetro por detector de corrente (instalado dentro da casa de bombas);
- Chave de fluxo (instalada dentro da casa de bombas).

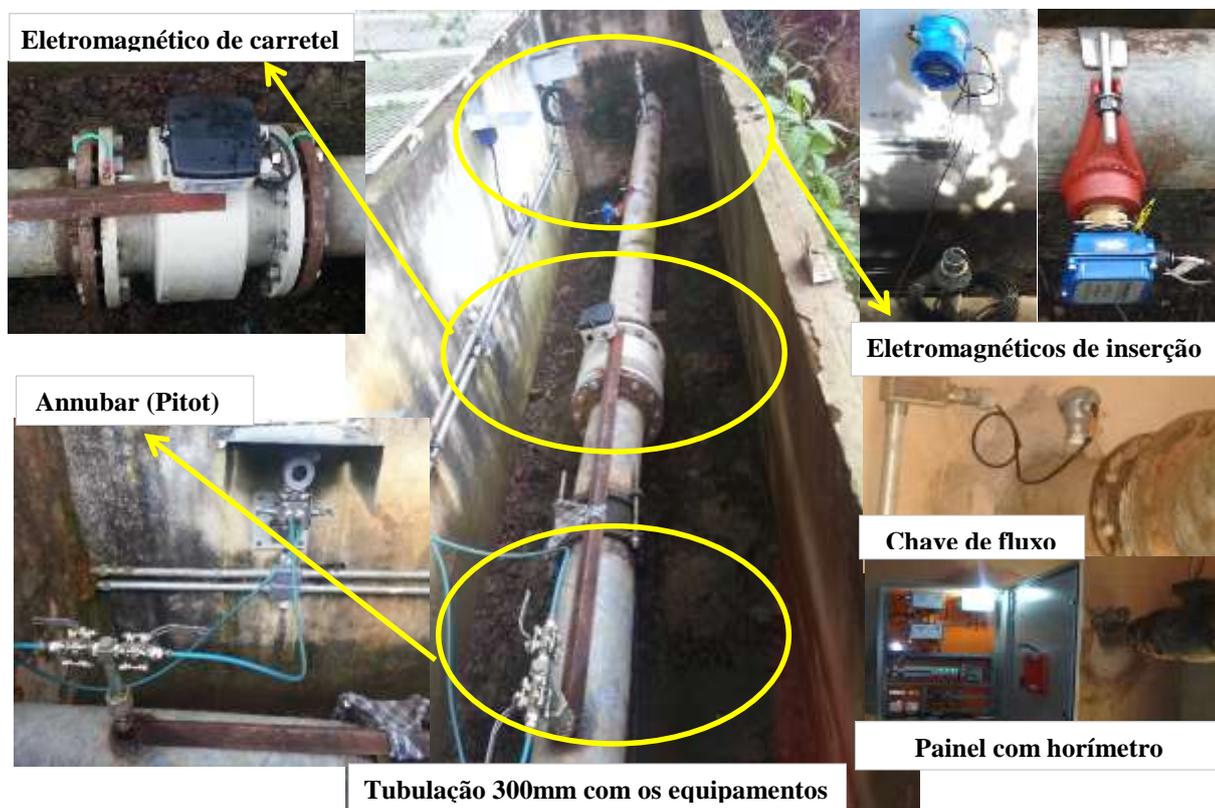


Figura C.3 – Estação 1 Mazurek: tubulação de 300mm para pivô, com equip. instalados.

### C.1.2 Estação 2: Areal Campos Agrícola LTDA

Usuário de mineração, retira água do Pipiripau para lavagem e beneficiamento da areia. É o único outorgado de recursos hídricos outorgado diretamente pela ANA, pois se localiza na cabeceira da bacia, no município de Formosa/GO. Cabe aqui informar que não há delegação de outorga da ANA para o órgão gestor de recursos hídricos do Estado de Goiás.

A propriedade é do Sr. Zanquetti e possui outorga de 15,3 l/s, o que representa 1,3% do volume outorgado. O ponto de captação é formado por um conjunto motor-bomba que leva água pressurizada por meio de tubulação em ferro galvanizado, com 75mm de diâmetro. Neste ponto, foram instalados os seguintes equipamentos:

- Bocal de vazão;
- Eletromagnético do tipo carretel;
- Eletromagnético de inserção;
- Horímetro por detector de corrente (instalado dentro da casa de bombas);
- Chave de Fluxo (instalada dentro da casa de bombas).



Figura C.4 – Estação 2 - Areal: ponto de captação com tubulação de diâmetro de 75mm e equipamentos instalados.

### C.1.3 Estação 3: Geraldo Magela

O Sr. Magela utiliza água para plantio de hortaliças irrigando por gotejamento, com captação em tubulação de PVC com diâmetro nominal de 50mm. Possui vazão outorgada de 3,5 l/s, que corresponde a 0,3% do total autorizado.

A escolha dessa propriedade para estação de medição se deu por dois fatores:

- 1) Representa a maioria dos usuários da bacia, ou seja, pode ser considerado como um “usuário tipo”, uma vez que 80 dos 116 usuários (69%) possui esse sistema de captação e método de irrigação;
- 2) O Sr. Magela é funcionário da EMATER do Núcleo Rural Pípiripau, sendo uma pessoa de referência aos demais usuários da região, por trabalhar na área de consultoria técnica.

Para esta estação de medição, foram instalados os seguintes equipamentos:

- Hidrômetro de velocidade tipo Woltmann;
- Eletromagnético de carretel;
- Ultrassônico por tempo de trânsito;
- Horímetro por detector de corrente (instalado dentro da casa de bombas);
- Chave de Fluxo

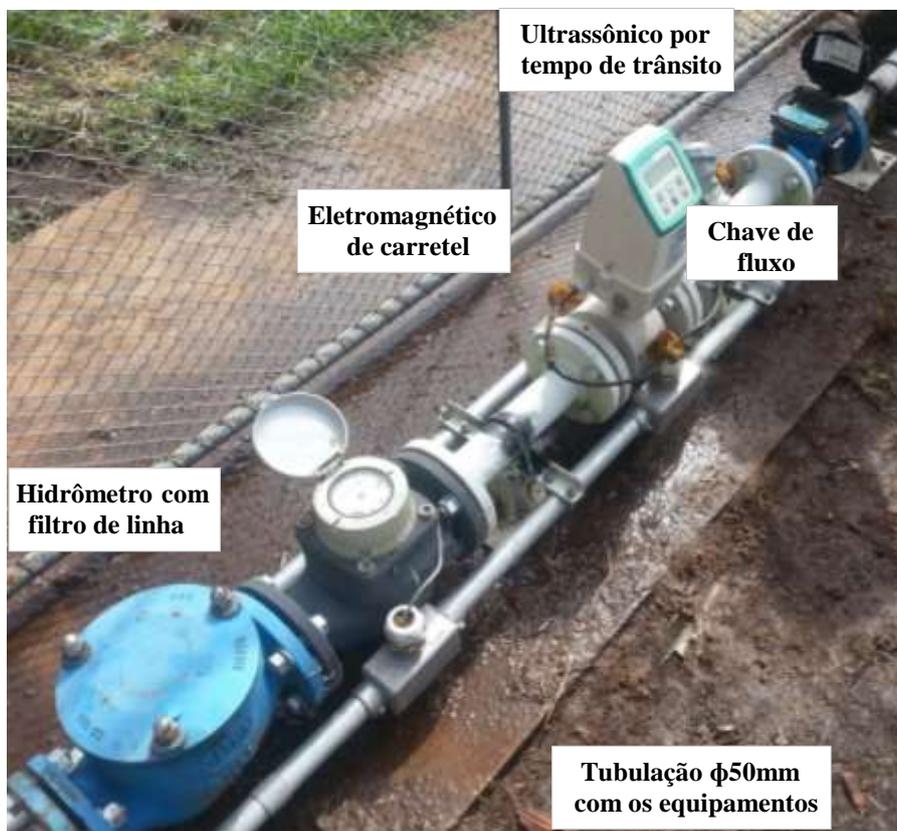


Figura C.5 – Estação 3-Geraldo Magela: tubulação de saída com diâm. 50mm e equip. instalados.

#### C.1.4 Estação 4: CAESB

A Companhia de Saneamento Ambiental do DF - CAESB possui outorga de 400 l/s, segundo Resolução ADASA nº 9, de 23 de novembro de 2012 (Distrito Federal, 2012b). Esse valor corresponde a 33% do total outorgado, o maior volume outorgado na bacia. A água captada no ribeirão Pipiripau é aduzida até a estação de tratamento de água denominada ETA Pipiripau, tratada e depois distribuída para abastecimento das Regiões Administrativas de Planaltina e Sobradinho (DF).

O ponto de captação é formado por dois conjuntos motor-bomba que levam água pressurizada por meio de tubulação em ferro fundido, com 700mm de diâmetro, existindo ainda um terceiro conjunto motor-bomba de reserva. Há três tipos de funcionamento desse sistema de captação: desligado, com uma bomba ligada ou com as duas bombas ligadas.

A Caesb já possui sistema de medição do tipo eletromagnético de carretel na entrada da ETA Planaltina. Portanto, como já existe um equipamento instalado e, por questões de economicidade do Projeto Piloto, foi realizada a instalação de somente dois novos equipamentos, 100m a montante do eletromagnético de carretel já instalado, a saber:

- Eletromagnético de inserção;
- Ultrassônico por tempo de trânsito.



Figura C.6 – Estação 4 CAESB: tubulação de 700mm de diâmetro: acima, equipamento da CAESB já instalado; abaixo, dois equipamentos instalados pelo projeto piloto

### C.1.5 Estação 5: Canal Santos Dumont

A Associação de Usuários do Canal de Abastecimento de Água do Núcleo Rural Santos Dumont possui outorga sazonal, com vazão máxima instantânea de 327 l/s, segundo Resolução ADASA nº 06, de 23 de novembro de 2012 (Distrito Federal, 2012c). O volume outorgado corresponde a 27% do total disponível na bacia para outorga - o segundo maior em volume.

A associação possui ponto de captação por meio de derivação da água do ribeirão Pípiripau, para entrada num canal com o 1º trecho em concreto de formato retangular, com 1,5 metro de largura e altura máxima de 95cm. O 2º trecho é escavado em terra, sem revestimento, com forma trapezoidal, e leva água por gravidade (conduto de superfície livre, sem pressão) até o Núcleo Rural Santos Dumont. Os seguintes equipamentos foram instalados no trecho retangular:

- Calha Parshall pré-fabricada com garganta de 3” (largura da garganta = 0,914m) + ultrassônico de nível posicionado em suporte acima da calha;
- Ultrassônico por efeito Doppler no fundo do canal;
- Vertedouro retangular de soleira delgada (1,5m de largura), com chapa de material tipo PRFV (Polietileno reforçado com fibra de vidro) + medidor de nível tipo diferencial de pressão hidrostática (no fundo do canal).



Figura C.7 – Estação 5: Canal de Irrigação Santos Dumont: equipamentos instalados

## C.2 AQUISIÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS DO PROJETO-PILOTO

Os dados de medição de vazão dos equipamentos instalados no Pípiripau, constantes do Projeto Piloto, estão sendo produzidos desde o dia 1º de novembro de 2013. A obtenção dos mesmos pode ser feita via Webservice, no site <http://ana.vector.com.br>. O acesso à informação deve ser feito com USUÁRIO:“sfi\_ana” e SENHA:“pipiripau”.

Ao acessar o site, aparece um mapa da bacia do Pípiripau, com a localização geográfica das 5 (cinco) Estações Hidrométricas (de medição de vazão), conforme figura a seguir. Ao clicar no número correspondente a cada Estação, abre-se uma janela com os dados de medição de todos os equipamentos referentes à Estação selecionada.



Figura C.8 – Mapa com as 5 Estações Hidrométricas (Fonte: <http://ana.vector.com.br>)

Clicando-se em uma das 5 (cinco) Estações, visualiza-se uma tela principal, com o esquema de montagem dos equipamentos da Estação selecionada. Na Figura a seguir, apresenta-se a tela principal da Estação 1 – Mazurek, como exemplo.

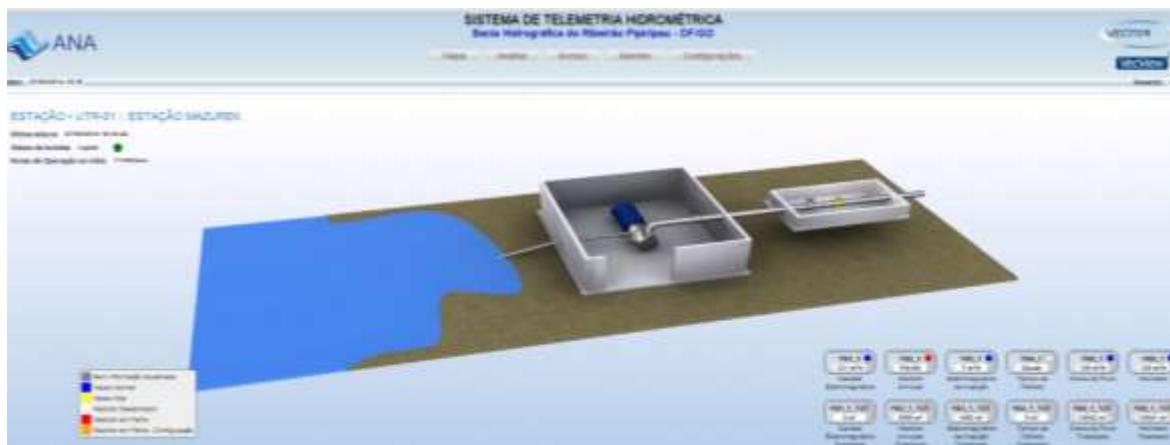


Figura C.9 – Tela principal da Estação Hidrométrica 1 - Mazurek

Essa tela inicial contém as seguintes informações:

- Nome da Estação;
- Data e hora da última leitura dos medidores de vazão;
- “Status” da bomba: se está ligada ou desligada;
- Vazão instantânea de cada um dos equipamentos de medição de vazão instalados;
- “Status” dos equipamentos de medição: vazão normal (até 80% do valor outorgado), vazão alta (acima de 80% do valor outorgado), ou medidor em falha;
- Vazão totalizada de cada um dos equipamentos de medição de vazão instalados.

Dessa tela principal, podem-se visualizar os valores de vazão transmitidos de forma instantânea e totalizados clicando na aba “Análise”. Tanto os valores instantâneos quanto os totalizados são dados fornecidos pelos equipamentos, transmitidos via Webservice e disponibilizados no site. Isso quer dizer que o sistema não faz cálculo de totalização dos volumes, são os equipamentos que fazem esses cálculos. O sistema apenas reproduz os valores disponibilizados pelos equipamentos.

As informações de vazão dos equipamentos disponibilizadas em termos instantâneos são registradas com o intervalo de 5 minutos. Os dados são visualizados de duas formas: como tabela, e como gráfico. Segue figura com os dados gráficos e em forma de tabela da vazão instantânea em 14/09/2014, relativos à Estação 3 – Mazurek, como exemplo.



Figura C.10 – Gráfico e tabela dos dados de vazão instantânea – intervalo de 5 minutos – Estação Hidrométrica 1 – Mazurek, em 14/09/2014 (Fonte: <http://ana.vector.com.br>)

Já o volume totalizado é apresentado. A seguir, apresenta-se figura com os dados gráficos e em forma de tabela do volume totalizado no dia 14 de setembro de 2014, relativos à Estação 1 – Mazurek, como exemplo.



Figura C.11 – Gráfico e tabela dos dados de volume totalizado – intervalo de 60 minutos – Estação Hidrométrica 1 – Mazurek, em 14/09/2014 (Fonte: <http://ana.vector.com.br>)

As medições de vazão foram realizadas num período de 2 anos, entre os dias 1º de novembro de 2013 a 31 de outubro de 2015, onde se verificou a resposta para cada equipamento nas 5 estações de medição, fazendo uma análise de desempenho de cada um.

Para efeito de comparação com outros medidores, foram estipulados valores fixos de vazão aos horímetros e às chaves de fluxo instalados nas Estações 1-Mazurek, 2-Areal e 3-Magela. Vale dizer que estes dispositivos são acumuladores de tempo, ou seja, não medem a vazão propriamente dita. Sendo assim, ao ligar a bomba - no caso do horímetro - e ao passar água na tubulação - para a chave de fluxo - os gráficos de vazão do *site* estipularam um valor fixo para cada um desses dispositivos.

Para estipular o valor fixo de vazão quando do acionamento dos horímetros e chaves de fluxo, foram realizadas medições de vazão que passa pela tubulação de cada uma dessas estações, utilizando uma técnica denominada pitometria, para se encontrar um valor de referência da vazão. Lamon (2006) define pitometria como a obtenção de velocidades de escoamento da água na tubulação, através da diferença de pressões, com a utilização do tubo de Pitot. No projeto do Pípiripau, o tubo de Pitot utilizado foi do tipo Cole (vide figuras a seguir).

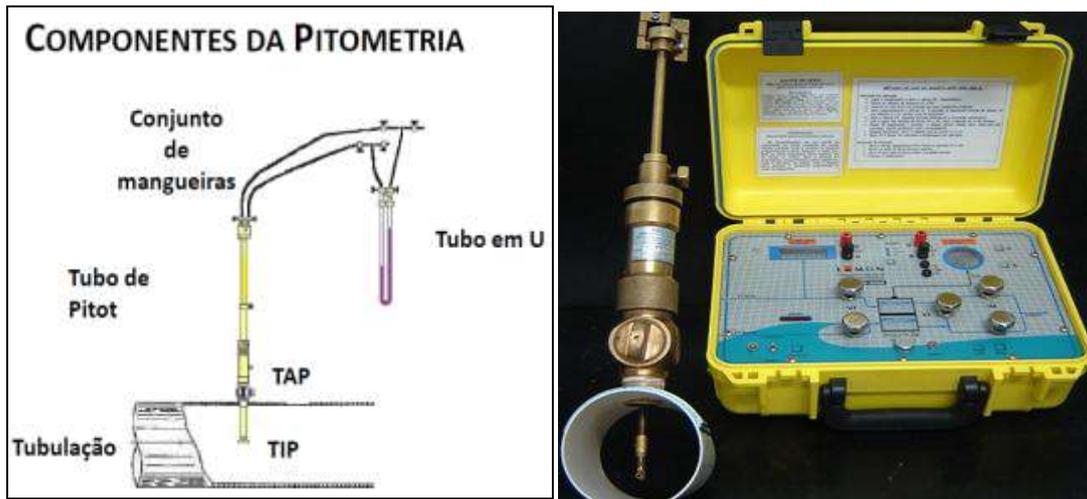


Figura C.12 – Figura demonstrativa da medição de vazão numa tubulação utilizando a pitometria (esq.) e tubo de Pitot tipo Cole (dir.). Cortesia: Vector

Lamon (2006) fez um estudo comparativo da técnica da pitometria com os métodos gravimétricos e volumétricos, ditos laboratoriais e de referência, e constatou ser este um dos métodos mais precisos para determinação da vazão instantânea em tubulações sob pressão. A técnica consiste, basicamente, em medição da velocidade em diversos pontos da seção transversal da tubulação, sendo possível traçar um perfil de velocidades e encontrar a velocidade média da tubulação (vide figura a seguir). A partir daí, tendo o diâmetro da tubulação, calcula-se a vazão no ponto.

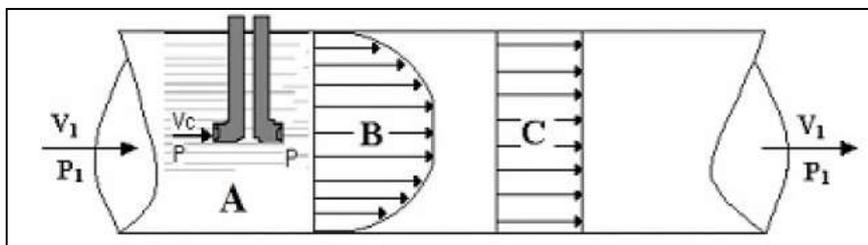


Figura C.13 – Figura demonstrativa do perfil de velocidades traçado com a pitometria (B), adotando-se uma velocidade média (C) para cálculo da vazão. Cortesia: Gustavo Carneiro

Dessa forma, foram determinados, em outubro de 2013, os valores de referência vazão pela pitometria, tendo sido estipulados aos horímetros e chaves de fluxo as seguintes vazões:

- Estação 1 - Mazurek: 130 m<sup>3</sup>/h;
- Estação 2 - Areal: 41 m<sup>3</sup>/h; e
- Estação 3 - Magela: 10 m<sup>3</sup>/h.

O funcionamento das estações de medição, no que tange à aquisição e transmissão dos dados de vazão, se deu num período de 2 anos, entre os dias 1º de novembro de 2013 a 31 de outubro de 2015. Durante este período, foi possível verificar a resposta para cada equipamento nas 5 estações de medição, fazendo uma análise de desempenho de cada um, a ser apresentada a seguir.

Além dos dados de vazão disponíveis, foram realizados 8 (oito) Relatórios Trimestrais nesse período de 2 (dois) anos, contendo os serviços de operação e manutenção dos equipamentos, bem como de eventuais paralisações de medição por mau funcionamento ou defeito, com as justificativas de ocorrência dos fatos. Esses dados também foram considerados para análise de desempenho dos equipamentos em campo, instalados sob efeito de intempéries, para recomendações do que se deve fazer ou evitar no que tange à instalação e manutenção.

### **C.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES DOS EQUIPAMENTOS INSTALADOS**

Apresentam-se os resultados de desempenho quanto aos valores medidos, bem como a parte de instalação e manutenção dos equipamentos. Para facilidade de visualização, os resultados são apresentados por estação de medição e, em cada uma dessas, por equipamento instalado.

#### **C.3.1 Estação 1: Antônio Mazurek**

Em épocas de estiagem, a Fazenda Paraná - de propriedade do sr. Antônio Mazurek - capta água proveniente do Ribeirão Pipuripau, destinada à irrigação no plantio de café.

Nos dias de maior precipitação pluvial, não há necessidade de acionamento do conjunto moto-bomba (captação) para irrigação. Dessa forma, o conjunto moto-bomba permaneceu desligado entre os meses de nov/2013 a abr/2014, e de nov/2014 a mai/2015, por se tratar de período chuvoso. Entretanto, entre os dias 30/jan e 13/fev de 2014, bem como de 12 a 22/jan de 2015, houve captação de água por parte do usuário, tendo em vista a ocorrência de curtos períodos de estiagem na época de chuvas, comumente denominados de "veranico".

Dessa forma, a análise dos dados e a verificação do comportamento dos equipamentos compreendeu os períodos entre: 29/abr a 24/out de 2014 (6 meses) e 25/mai a 28/out de 2015 (5 meses), período seco onde houve regularidade de captação.

Relativo ao período seco de 2014, apresenta-se gráfico comparativo das vazões instantâneas registradas pelos equipamentos, em m<sup>3</sup>/h, ao longo do tempo, tomando como exemplo o período entre os dias 21 e 27 de maio de 2014:



Figura C.14 – Gráfico dos dados de vazão instantânea – Estação Hidrométrica 1 – Mazurek, entre os dias 21 e 27/05/2014 (Fonte: <http://ana.vector.com.br>)

Como informado anteriormente, o horímetro (destaque em roxo) e a chave de fluxo (destaque em laranja) são acumuladores de tempo, isto é, não medem a vazão propriamente dita. Dessa forma, quando não estão em funcionamento, as medições aparecem no gráfico comparativo como 0 e, quando estão registrando corrente (horímetro) e passagem de água pela tubulação (chave de fluxo), aparecem no gráfico como 130 m<sup>3</sup>/h, valor de referência medido pela pitometria.

No período seco de 2014, foram registradas 17.583 medições. O eletromagnético de carretel (linha azul) foi o equipamento que apresentou vazão média mais próximo do valor de referência, com 130,8 m<sup>3</sup>/h, e menor desvio padrão, com 17,5 m<sup>3</sup>/h. Já o tubo de Pitot (ou Annubar), representado pela linha verde, mediu valores amplitude maior, tal qual representado no gráfico, com média também próxima do valor de referência, de 133,1 m<sup>3</sup>/h e desvio de 28,6 m<sup>3</sup>/h. Por fim, o eletromagnético de inserção 1 (linha vermelha) mediu valores bem inferiores ao valor de referência, com 22,0 de média e desvio de 22,4 m<sup>3</sup>/h. Tendo em vista os registros inconsistentes do medidor de inserção 1 em 2014, foi adquirido um medidor de inserção 2, que funcionou somente no período seco de 2015.

Em 2015, o sistema de captação do empreendimento foi ligado bem menos que em 2014: foram 6.842 registros de medições, ou seja, o conjunto motor-bomba funcionou em 40% do tempo, se comparado a 2014. O principal fator para essa diminuição foi a contratação de profissional na área de irrigação que instalou tensiômetros para verificação da quantidade ótima de água para o plantio de café, tendo diminuído o número de horas diárias captação. Outro motivo foi o período seco de 2015, que foi de 5 meses, sendo o de 2014 com 6 meses sem chuvas.

Como último aspecto, mais importante para o objeto do presente trabalho, a fazenda Mazurek realizou reparos no sistema de captação para o ano de 2015, com substituição de tubulações com vazamentos, retificação do conjunto motor-bomba e alteração da locação da base do pivô. Todas essas alternativas geraram uma alteração no valor médio das vazões. Segue gráfico representativo do 2º período seco, no ano de 2015, tomando como exemplo o intervalo entre os dias 21 a 23 de outubro de 2015:



Figura C.15 – Gráfico dos dados de vazão instantânea – Estação Hidrométrica 1 – Mazurek, entre os dias 21 e 23/10/2015 (Fonte: <http://ana.vector.com.br>)

O eletromagnético de carretel (linha azul) apresentou vazão média de 159,2 m<sup>3</sup>/h, e desvio de 7,9 m<sup>3</sup>/h. O eletromagnético de inserção 2 (linha preta) foi o equipamento que mediu mais próximo do carretel, com 160,9 m<sup>3</sup>/h de média e 9,3 m<sup>3</sup>/h de desvio. Já o Annubar, para vazões maiores, apresentou valores médios de 202,9 m<sup>3</sup>/h e desvio de 21,0m<sup>3</sup>/h. Ou seja, o Annubar (linha verde) registrou, em média, vazões 27% superiores às medições do carretel. Por fim, o eletromagnético de inserção 1 (linha vermelha) mediu valores bem inferiores ao valor de referência, com 27,6 de média e desvio de 4,7 m<sup>3</sup>/h.

Uma vez identificada a alteração nas vazões do empreendimento, e não havendo previsão contratual de realização de nova pitometria para determinar um valor de referência para 2015, optou-se por realizar medição de vazão com outro equipamento de medição: ultrassônico de vazão por tempo de trânsito, portátil, medição esta realizada em 2 de julho de 2015. Este equipamento é utilizado pela fiscalização da ANA em campanhas de fiscalização para averiguação do uso, e tem como erro de medição teórico, em manuais, de 5%. Foram registradas 200 medições, em 1 hora de funcionamento, com média de 157,1 m<sup>3</sup>/h (vide figura abaixo).



Figura C.16 – Estação 1 – Mazurek: Medição de vazão utilizando ultrassônico por tempo de trânsito, em 2 de julho de 2015 – vazão média: 157,1 m<sup>3</sup>/h

Em termos de desempenho, operação e manutenção, temos a seguinte análise para cada equipamento:

Eletromagnético de carretel: pelos registros em 2014, comparados com o valor de referência medido, confirmou-se o que foi visto na revisão teórica do presente trabalho: este medidor possui boa precisão, ou seja, seus registros de vazão são próximos do real. Os valores de 2015 não podem ser comparados à medição feita pela pitometria de 2014. Em compensação, para se ter uma ideia de grandeza de valores, pela medição realizada com o ultrassônico em 2 de julho de 2015, com vazão média de 157,1 m<sup>3</sup>/h, verifica-se que os valores médios do carretel em 2015, de 159,2 m<sup>3</sup>/h, estão bem próximos, o que corrobora o aumento dos valores médios de vazão registrados pelo eletromagnético em 2015.

No que tange à parte de operação e manutenção, houve um vazamento da tubulação em agosto/2014, próximo ao local onde o medidor de carretel estava instalado, que provocou falhas no display do equipamento. Após conserto, a mesma foi reinstalada no painel elétrico, e não houve mais necessidade de manutenção (vide figura abaixo).



Figura C.17 – Estação 1 – Mazurek: Display do eletromagnético de carretel instalado na tubulação (acima, à esq.), retirado em ago/2014 para conserto (abaixo, à esq.) e reinstalado no painel (à direita)

Annubar: em termo de desempenho, verificou-se que este sensor registrou valores próximos da vazão de referência em 2014; porém, em 2015, os valores medidos foram, em média superiores em 27%, se comparados com o eletromagnético de carretel, com o eletromagnético de inserção 2 e com as medições realizadas com o ultrassônico no dia 2 de julho de 2015. A razão para esta diferença a mais provavelmente está ligada às configurações do aparelho. Isso porque o equipamento solicita, como dados de entrada, vazões de mínima, média e máxima. O equipamento foi calibrado em 2014 e não foi alterado em 2015. Uma vez que os valores reais foram majorados em 2015 pelas mudanças no empreendimento anteriormente relacionadas, pode ter causado distorções nos valores medidos pelo equipamento em 2015.

Outro fato foi constatado no desempenho do Annubar: com a bomba desligada, mediu valores diferentes de zero, conforme pode ser observado na figura a seguir, com destaque circulado de preto:

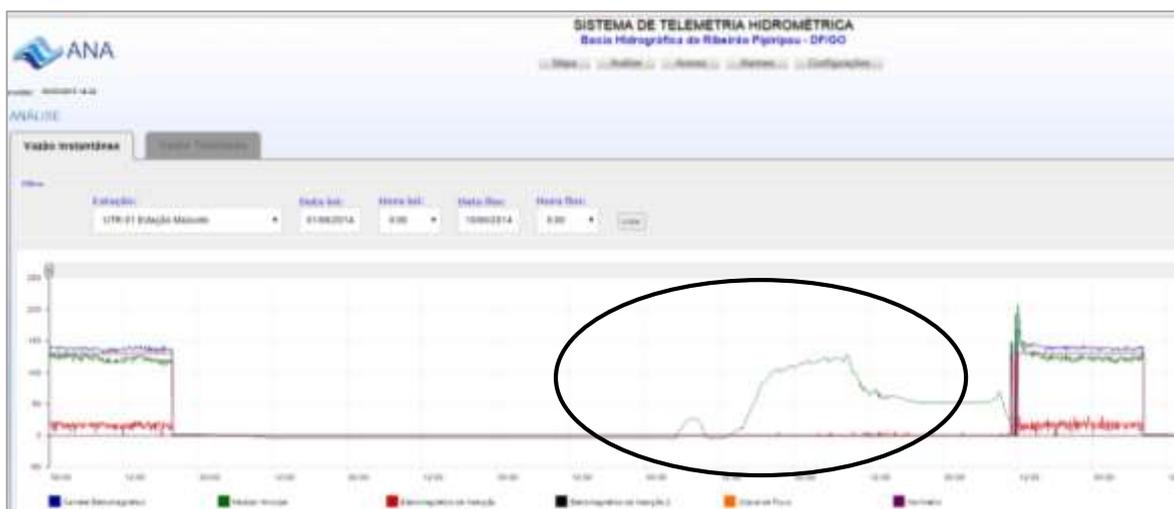


Figura C.18 – Gráfico dos dados de vazão instantânea – Estação Hidrométrica 1 – Mazurek, entre os dias 1º e 10/06/2014 (Fonte: <http://ana.vector.com.br>)

O sensor Annubar mede a vazão em função da pressão diferencial, sendo sensível às mínimas variações de pressão no interior da tubulação de recalque. A válvula de retenção existente na linha de recalque do Mazurek estava danificada, e não retinha água após o desligamento da bomba. Sendo assim, ao se desligar a bomba, toda a tubulação se esvazia, visto que a captação se encontra em nível inferior ao do pivô de irrigação. Com a tubulação vazia, sem água, a diferença topográfica e térmica entre o ponto onde o sensor Annubar está instalado e o pivô de irrigação provoca um fluxo de ar ascendente (convecção térmica) no interior da tubulação, e este fluxo é 'captado' pelas câmaras do sensor Annubar, fazendo com que o equipamento faça medidas de pressão diferencial, sem ter água passando pelo tubo.

No que tange à operação, constatou-se vazamento na conexão do sensor Annubar à tubulação de recalque, quando a moto-bomba estava em funcionamento, tendo sido verificado que desgaste na conexão por ressecamento. Em relação à manutenção, verificou-se, na manutenção preventiva realizada pela equipe técnica, necessidade de retirada do sensor primário de vazão (haste), para limpeza dos furos, num período de dois em dois meses. Conclusão: para funcionamento deste equipamento, verificou-se necessidade de manutenção periódica.

Eletromagnético de inserção 1: apresentou inconsistências nas medições, tanto em 2014, quanto em 2015. Segundo parecer técnico do fabricante, as medições incorretas foram causadas por acúmulo de sólidos no sensor do equipamento, por excesso de vibração na tubulação e/ou pela presença de ar. Aliado a isto, constatou-se que a tensão trifásica fornecida nesta estação estava em 347Vac, sendo que esta tensão baixa provoque uma tensão de alimentação do medidor de 201Vac. No manual do equipamento, consta que a faixa de alimentação tolerada pelo medidor seja de 220Vac +/- 5%

(209Vac a 231Vac), ou seja, o valor da tensão real estava abaixo do limiar mínimo requerido pelo fabricante. Além disso, em termos de operação e manutenção, dois fatos merecem destaque: em primeiro, houve queima do display do equipamento pela exposição às intempéries, tendo sido trocado e protegido o novo com chapa de alumínio; em segundo, verificou-se a necessidade de limpeza periódica do equipamento, mensal, devido ao acúmulo de sedimentos no sensor.



Figura C.19 – Estação 1 – Mazurek: Display do eletromagnético sem proteção (esq.) e com chapa de alumínio protegendo contra intempéries (dir.)

Eletromagnético de inserção 2: pelas inconsistências do eletromagnético de inserção 1, e por haver espaço na tubulação e no sistema de recepção e transmissão de dados da Estação 1 para instalação de mais um medidor, foi possível colocar um eletromagnético de inserção de outro fabricante, no final de 2014, sendo possível a análise dos dados no período de 2015. No que diz respeito ao desempenho, apresentou valores similares ao eletromagnético de carretel e ao ultrassônico por tempo de trânsito, diferente da resposta do outro medidor de inserção. Em termos de operação, funcionou em todo o período de 2015, sem apresentar problemas, na parte de manutenção, verificou-se também a necessidade de limpeza periódica do equipamento, mensal, devido ao acúmulo de sedimentos no sensor.

Horímetro: em termos de desempenho, não há o que ser analisado, uma vez que o dispositivo não mede valores, somente registra se o conjunto motor-bomba está ligado ou desligado. Cabe somente frisar que, havendo alterações na vazão do sistema, conforme houve na Estação 1 - Mazurek do ano 2014 para o ano 2015, este equipamento não irá verificar a mudança. Na parte da operação, funcionou normalmente: quando houve acionamento da bomba, fez a contagem do tempo; quando estava desligada, a contagem não foi computada. Não foi necessária manutenção para o horímetro.

Chave de fluxo: tal qual o horímetro, em termos de desempenho, não há o que ser analisado, uma vez que o dispositivo não mede valores, somente registra se o conjunto motor-bomba está ligado ou desligado. Na parte da operação, funcionou normalmente: quando houve acionamento da bomba, fez a contagem do tempo; quando estava desligada, a contagem não foi computada. Não foi necessária manutenção para a chave de fluxo.

### C.3.2 Estação 2: Areal Campos Agrícola LTDA

A empresa Areal Campos Agrícola capta água do ribeirão Pipiripau para lavagem e beneficiamento de areia e para consumo humano dos funcionários locais. O sistema de captação é composto por um conjunto moto-bomba que funciona durante todo o período comercial, ou seja, de segunda a sexta-feira das 8h às 18h. Aos sábados, o acionamento do conjunto moto-bomba é esporádico.

Dessa forma, a análise dos dados e a verificação do comportamento dos equipamentos foi compreendida os dois anos de funcionamento, isto é, entre nov/13 e out/2015.

Apresenta-se gráfico comparativo das vazões instantâneas registradas pelos equipamentos, em m<sup>3</sup>/h, ao longo do tempo, tomando como exemplo o período entre os dias 21 e 27 de maio de 2014:



Figura C.20 – Gráfico dos dados de vazão instantânea – Estação Hidrométrica 2 – Areal, entre os dias 16 e 20/12/2013 (Fonte: <http://ana.vector.com.br>)

Como informado anteriormente, o horímetro (destaque em laranja) e a chave de fluxo (destaque em preto) são acumuladores de tempo, isto é, não medem a vazão propriamente dita. Dessa forma, quando não estão em funcionamento, as medições aparecem no gráfico comparativo como 0 e, quando estão registrando corrente (horímetro) e passagem de água pela tubulação (chave de fluxo), aparecem no gráfico como 41 m<sup>3</sup>/h, valor de referência medido pela pitometria.

Em todo o período de funcionamento foram registradas 19.908 medições. O eletromagnético de carretel (linha azul) foi o equipamento que apresentou vazão média mais próxima do valor de referência,

com 42,1 m<sup>3</sup>/h, e menor desvio padrão, com 3,7 m<sup>3</sup>/h. Já o bocal de vazão, representado pela linha vermelha, registrou valores com média um pouco inferior ao valor de referência, de 36,5 m<sup>3</sup>/h e desvio de 6,3 m<sup>3</sup>/h, ou seja, apresentou valores com amplitude maior. Por fim, percebe-se nitidamente pelo gráfico que o eletromagnético de inserção (linha azul) mediu valores bem inferiores ao valor de referência, com 16,2 de média e desvio de 5,6 m<sup>3</sup>/h.

Tratando de desempenho, operação e manutenção dos equipamentos, tem-se:

Eletromagnético de carretel: além do medidor carretel instalado na Estação 1, confirmou-se também nesta Estação o previsto na revisão bibliográfica: o referido equipamento possui boa precisão, ou seja, seus registros de vazão são próximos do real. No que tange à parte de operação e manutenção, houve um problema de queima do display exposição às intempéries, tendo sido trocado e protegido o novo com chapa de alumínio, procedimento também adotado para os displays do bocal e do eletromagnético de inserção (vide figura a seguir). Vale comentar que o problema do display não acarretou problemas na medição, pois o equipamento continuou registrando e enviando as vazões medidas por celular; o único comprometimento foi com a leitura da vazão *in loco*.



Figura C.21 – Estação 2 – Areal: equipamentos sem proteção (esq. – contorno em branco) e com proteção de chapa de alumínio (dir. – contorno em amarelo)

Bocal de vazão: em termo de desempenho, verificou-se que este sensor registrou valores próximos da vazão de referência. Entretanto, no que tange à operação, o medidor apresentou problemas ao longo dos dois anos, e o equipamento foi retirado da linha para reparos/consertos por três vezes, e ficou sem registros por quase a metade do tempo de funcionamento. Verificaram-se problemas de desconfiguração (sem o técnico conseguir configurar novamente) e de desligamento do equipamento sem constatação de anomalias externas (curto, saída analógica danificada, fusível rompido, proteção de surto, ou umidade) que pudesse causar o não funcionamento do equipamento. No que tange à operação, vale aqui comentar que, aparentemente, a água bruta captada pelo areal apresentava maior

quantidade de sedimentos, havendo necessidade de retirada das mangueiras do diferencial de pressão para limpeza.

Eletromagnético de inserção 1: apresentou inconsistências nas medições. Tal qual o Mazurek, também na Estação Areal a tensão real estava abaixo do limiar mínimo requerido pelo fabricante: verificou-se tensão 193Vac, sendo que a tensão deveria estar no intervalo entre 209Vac a 231Vac. Além disso, no que concerne à manutenção, verificou-se um excesso de acúmulo de impurezas no sensor, com necessidade de limpeza periódica do equipamento, conforme figura a seguir.



Figura C.22 – Estação 2 – Areal: retirada e limpeza do medidor de inserção

Horímetro: em termos de desempenho, não há o que ser analisado, uma vez que o dispositivo não mede valores, somente registra se o conjunto motor-bomba está ligado ou desligado. Na parte da operação, funcionou normalmente: quando houve acionamento da bomba, fez a contagem do tempo; quando estava desligada, a contagem não foi computada. Não foi necessária manutenção para o horímetro.

Chave de fluxo: tal qual o horímetro, em termos de desempenho, não há o que ser analisado, uma vez que o dispositivo não mede valores, somente registra se o conjunto motor-bomba está ligado ou desligado. Entretanto, na parte da operação, a chave de fluxo travou por 5 vezes, tendo em vista acúmulo

de sedimentos na palheta, provocando que a mesma ficasse levantada, mesmo não havendo passagem de água. Todas as vezes que ocorreu a medição contínua da chave de fluxo, conforme demonstra o gráfico a seguir, o técnico de manutenção retirou o dispositivo da tubulação, efetuou a limpeza e reinstalou, voltando a funcionar novamente. Tendo em vista o ocorrido, realizou-se limpeza periódica na chave.

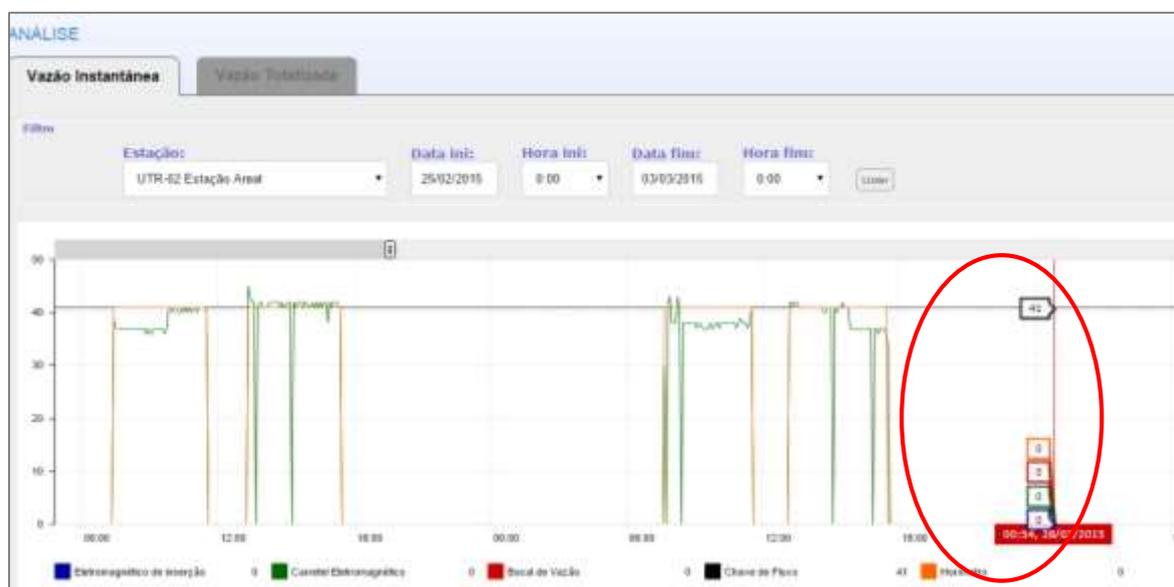


Figura C.23 – Estação 2 – Areal: Gráfico da vazão instantânea x tempo, entre os dias 25/02 a 03/03/2015, com detalhe da chave de fluxo estar ligada de forma contínua (linha em preto). Fonte: <http://ana.vector.com.br>

### C.3.3 Estação 3: Geraldo Magela

Na propriedade do Sr. Geraldo Magela, realiza-se captação de água de um afluente do ribeirão Pipiripau para irrigação de hortaliças em cultivo protegido. O sistema de captação é composto por um conjunto moto-bomba além de uma bomba injetora de fertilizante e um filtro de discos.

Em tempos de chuva, diferentemente da Estação 1 – Mazurek, que quase não acionou o bombeamento, na Estação 3 houve somente uma diminuição do tempo de uso, mas não houve uma paralisação. Nos períodos chuvosos de nov/2013 a abr/2014, e de nov/2014 a mai/2015, a bomba foi acionada em 40% dos dias, e 3 horas/dia, em média. Já no período seco, compreendido entre os meses de mai/2014 a out/2014, e de jun/2015 a out/2015, houve captação em 70% dos dias com, aproximadamente, 4,5 horas/dia de uso.

Apresenta-se gráfico comparativo das vazões instantâneas registradas pelos equipamentos, em m<sup>3</sup>/h, ao longo do tempo, tomando como exemplo o período entre os dias 13 e 18 de outubro de 2015:



Figura C.24 – Gráfico dos dados de vazão instantânea – Estação Hidrométrica 3 – Magela, entre os dias 13 e 18/10/2015 (Fonte: <http://ana.vector.com.br>)

Como informado anteriormente, o horímetro (destaque em laranja) e a chave de fluxo (destaque em preto) são acumuladores de tempo, isto é, não medem a vazão propriamente dita. Dessa forma, quando não estão em funcionamento, as medições aparecem no gráfico comparativo como 0 e, quando estão registrando corrente (horímetro) e passagem de água pela tubulação (chave de fluxo), aparecem no gráfico como 10 m<sup>3</sup>/h, valor de referência medido pela pitometria.

Em todo o período de funcionamento foram registradas 6.405 medições. O hidrômetro tipo Woltmann (linha verde) apresentou média de 9,84 m<sup>3</sup>/h e desvio de 1,45 m<sup>3</sup>/h. Já o ultrassônico por tempo de trânsito (linha vermelha) registrou valores médios de 9,29 m<sup>3</sup>/h e desvio de 1,50 m<sup>3</sup>/h, valores bem próximos do eletromagnético de carretel, este com 9,24 m<sup>3</sup>/h de média e 1,42 m<sup>3</sup>/h de desvio.

A título de explicação, em relação ao contorno n° 1 (em azul) e ao gráfico azul representado acima, corresponde as medições de vazão instantânea do eletromagnético de carretel, que na verdade aparecem na Estação 6 – Emater, e foram resgatadas dessa outra estação para comparação de dados. Isso porque o projeto do Pípiripau previu testes de comparação de tipos de transmissão, e os dados de vazão do carretel instalado no Magela foram transmitidos via rádio para a Estação 6 – Emater, sendo possível acessá-los somente nesta outra estação. Mas em nada prejudicaram no trabalho de comparação entre os valores medidos.

Já o contorno em 2, em vermelho, representa uma peculiaridade observada na medição de vazão instantânea: apesar da vazão de referência ser de 10 m<sup>3</sup>/h, foram medidos valores instantâneos bem inferiores aos de referência, da ordem de 4 a 5 m<sup>3</sup>/h.

Verificou-se que o sistema de irrigação instalado pelo Sr. Geraldo Magela possui uma válvula de pressão na saída da tubulação. Esta válvula controla a quantidade de água a ser enviada para as hor-

taliças, de forma que, quando parcialmente fechada, diminui a vazão na tubulação (vide figura a seguir). Isso se deve ao fato do operador da bomba fechar parcialmente a válvula quando precisava molhar somente as estufas próximas ao ponto de captação, diminuindo a vazão do sistema.



Figura C.25 – Estação 3 – Magela: detalhe da válvula de pressão instalada no final, para diminuição da vazão, para envio de água às estufas mais próximas

Tratando de desempenho, operação e manutenção dos equipamentos, tem-se:

Eletromagnético de carretel: na Estação 3 - Magela, verificou-se mais uma vez que o medidor carretel possui confiabilidade nas medições e, tal qual os equipamentos instalados nas Estações 1 e 2, a resposta deste eletromagnético da Estação 3 foi positiva, com seus registros de vazão são próximos do real. No que tange à parte de operação e manutenção, apesar de não ter havido problema de queima do display, como houve na Estação 2, optou-se também por protegê-lo com chapa de alumínio, procedimento este recomendado pelo fabricante no manual (vide detalhe em amarelo na figura anterior).

Ultrassônico por tempo de trânsito: este ultrassônico instalado foi do tipo intrusivo, ou seja, já vem preparado de fábrica com as distâncias entre dois os transdutores: o emissor e o receptor do sinal ultrassônico. Apesar de ter sido instalado próximo aos outros dispositivos, foi respeitada a distância mínima de trecho reto requerida pelo fabricante. Constatou-se desempenho similar ao carretel, em termos de medição. Quanto à operação e manutenção: não houve necessidade alguma de intervenção do técnico ao longo dos dois anos.

Hidrômetro Woltmann: no que tange à medição, os valores de vazão ficaram 6,5% superiores ao do carretel e ao do ultrassônico, quase que sistematicamente em todas as medições. Pelos resultados, apesar da diferença não ter sido muito representativa, verifica-se uma necessidade de correção dos

valores. Em relação à operação, funcionou normalmente, sem necessidade de conserto. Já quanto à manutenção, pelas inspeções periódicas na estação, verificou-se a necessidade de limpeza do filtro de disco, instalado antes do hidrômetro.



Figura C.26 – Estação 3 – Magela: limpeza de filtro de disco (esq.) instalado antes do hidrômetro (dir.)

Horímetro: em termos de desempenho, não há o que ser analisado, uma vez que o dispositivo não mede valores, somente registra se o conjunto motor-bomba está ligado ou desligado. Entretanto, uma vez que o horímetro ficou programado com o valor de referência, de  $10\text{m}^3/\text{h}$ , que é um valor constante e inserido no sistema, a vazão instantânea e o volume totalizado desse dispositivo foi superior aos medidores de velocidade: hidrômetro, ultrassônico por tempo de trânsito e eletromagnético de carretel. Isso porque há uma válvula de retenção instalada a jusante dos equipamentos, utilizada pelo usuário para diminuir a pressão do sistema quando é necessário enviar água às regiões mais próximas, conforme mencionado anteriormente. Na parte da operação, funcionou normalmente: quando houve acionamento da bomba, fez a contagem do tempo; quando estava desligada, a contagem não foi computada. Não foi necessária manutenção para o horímetro.

Chave de fluxo: tal qual o horímetro, em termos de desempenho, registrou valores superiores aos medidores de velocidade, conforme mencionado anteriormente. No que diz respeito à parte da operação, a chave de fluxo funcionou normalmente, e não teve problemas de travar pelo acúmulo de sedimentos na palheta, como houve na Estação 2 – Areal. Também não houve necessidade de manutenção.

### C.3.4 Estação 4: CAESB

A CAESB realiza captação de água do ribeirão Pípiripau com a finalidade de abastecimento público das regiões de Sobradinho/DF e Planaltina/DF. O sistema de captação, composto por dois conjuntos moto-bomba, é operado quase continuamente, em torno de 20 horas por dia, possibilitando a coleta de dados por um longo período.

Apresenta-se gráfico comparativo das vazões instantâneas registradas pelos equipamentos (em m<sup>3</sup>/h) vs. tempo, tomando de exemplo o intervalo entre 1º e 5 de novembro de 2013:



Figura C.27 – Gráfico dos dados de vazão instantânea – Estação Hidrométrica 4 – CAESB, entre os dias 1º e 5/11/2013 (Fonte: <http://ana.vector.com.br>)

Na Estação 4 – CAESB foram instalados somente dois equipamentos: ultrassônico por tempo de trânsito, externo, tipo *clamp-on* (linha verde) e eletromagnético de inserção (linha azul). Em todo o período de funcionamento foram registradas 70.340 medições. Nesta estação, de uma maneira geral, verificou-se um funcionamento quase que integral do bombeamento pelas medições realizadas pelo equipamento ultrassônico, assinalado no gráfico acima pela linha verde. Já o eletromagnético de inserção registrou valores iguais a zero na maioria do tempo, com picos de medição com valores inferiores, iguais ou superiores ao ultrassônico, conforme pode ser observada na Figura anterior. Detalha-se o desempenho, operação e manutenção de cada um desses dois equipamentos:

Ultrassônico por tempo de trânsito externo: no que diz aos registros de vazão, o equipamento fez basicamente três tipos de leitura (vide figura a seguir):

V1 = 0, quando o bombeamento estava desligado, em média de 3 a 4 horas/dia;

V2 = valores entre 400 e 600 m<sup>3</sup>/h, quando havia o acionamento de apenas uma bomba de captação;

V3 = 800 m<sup>3</sup>/h, aproximadamente, quando o sistema funcionada de forma plena, com o acionamento das duas bombas.



Figura C.28 – Gráfico dos dados de vazão instantânea do ultrassônico por tempo de trânsito – Estação 4 – CAESB, entre os dias 28/09 e 02/10/2015 (Fonte: <http://ana.vector.com.br>)

Em termos de desempenho, os valores registrados pelo ultrassônico são próximos aos do eletromagnético de carretel instalado da CAESB. Explicitando melhor, a referida Companhia forneceu informações de vazão instantânea medidas pelo carretel instalado na tubulação, leituras diárias efetuadas no horário de 24:00 horas, conforme demonstrado na planilha a seguir. O valor médio das leituras da CAESB foi de 228,2 l/s, ou seja, 821,5 m<sup>3</sup>/h. Já as leituras registradas pelo ultrassônico nestes horários, tiveram média de 800,9 m<sup>3</sup>/h, ou seja, uma diferença de 2,6% entre os medidores.

Leitura nos Medidores de Vazão de Água Bruta														Mês/Ano: 10/2015		
Dia	Barragem				Furna				Piripirau				Lagoa Pitua		Água Reservoir	
	hora	instântanea	horária	total	hora	instântanea	horária	total	hora	instântanea	horária	total	hora	instântanea	horária	total
1	34	6014	27692	133	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
2	33	4932	26218	133	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
3	33	1123	9932	133	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
4	33	1406	72246	132	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
5	33	1637	13320	132	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
6	33	1853	37814	131	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
7	33	2125	72216	131	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
8	34	2293	77156	132	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
9	33	2510	32320	133	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
10	32	28057	32209	131	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
11	32	30816	73928	131	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
12	32	33216	74932	133	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
13	33	35304	77376	132	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
14	35	38216	81994	132	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
15	33	40027	77023	162	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
16	33	42123	78827	163	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
17	33	44926	78071	163	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
18	32	47614	12084	166	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
19	30	50027	11112	162	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
20	32	52461	38742	131	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
21	32	54325	78143	131	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
22	33	56027	78071	162	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
23	32	57726	37323	131	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
24	32	57726	72222	132	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
25	35	60451	38261	131	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
26	35	62348	72224	131	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
27	34	65298	12208	131	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
28	34	67613	12322	136	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
29	34	67153	22356	131	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
30	32	6822	38220	131	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102
31	32	33225	38122	132	142023	68725	261	1014516	68772	00	143119	68185	25	217214	6877	24102

Figura C.29 – Planilha com leituras de vazão instantânea do medidor eletromagnético carretel instalado na ETA Piripirau – mês outubro de 2015 (Fonte: CAESB)

No que diz respeito à operação, foram constatadas quedas de desempenho deste equipamento nas medições, a partir do dia 10 mês de novembro de 2013 (vide gráfico abaixo), apresentando valores iguais a zero em horas de funcionamento da bomba. Constatou-se o ressecamento do gel aplicado entre os sensores que emitem o sinal ultrassônico e o tubo. O gel acoplador acústico tem a função de excluir o ar da região de contato entre os transdutores e o tubo, eliminando assim ruídos e perda gradativa do sinal. Sendo o gel reaplicado em 26/11/2013, o instrumento voltou a funcionar normalmente.

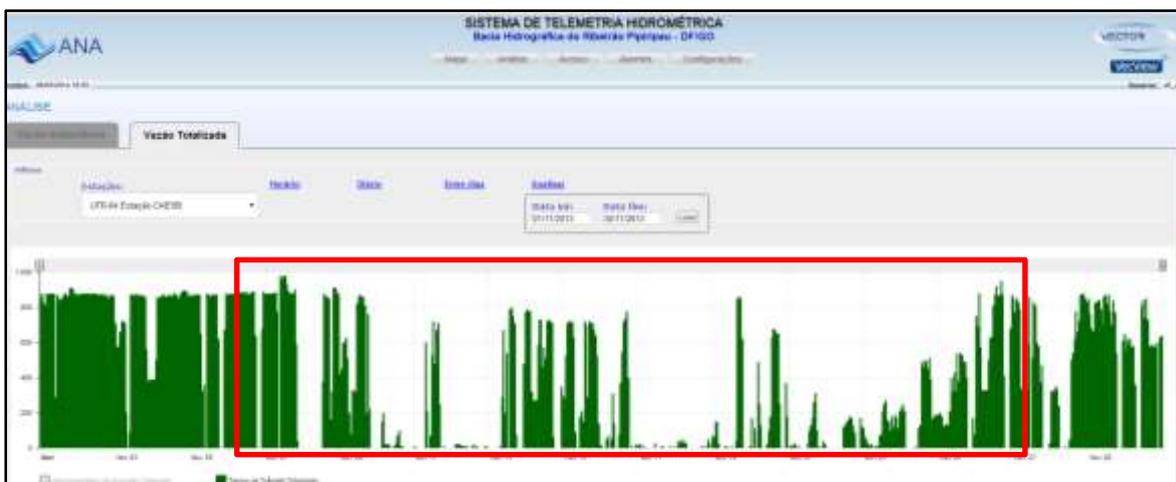


Figura C.30 – Gráfico dos dados de volume totalizado – Estação Hidrométrica 4 – CAESB, entre os dias 1º e 30/11/2013 (Fonte: <http://ana.vector.com.br>)

Além do problema com o gel, em dezembro de 2014 houve um vazamento da tubulação da CAESB no local de instalação dos sensores do ultrassônico, tendo sido constatada instabilidade na leitura de vazão do medidor. Verificou-se a presença de água no interior dos sensores ultrassônicos, tendo sido retirados para manutenção em fábrica. Não havendo possibilidade de conserto, os mesmos foram substituídos.

Em relação à manutenção, após constatação de problemas de ressecamento do gel acoplador, o mesmo foi trocado mensalmente, não havendo mais problemas dessa natureza.

Eletr magnético de inserção: apresentou mais inconsistências nas medições nesta Estação do que nas Estações 1 – Mazurek e 2 – Areal, tendo registrado valores iguais a zero quando a bomba estava em funcionamento, provavelmente pela maior trepidação da tubulação e sensibilidade do sensor, conforme afirmou laudo técnico do fabricante. Em termos de manutenção, foi feita a limpeza periódica do equipamento, mensal, para evitar o acúmulo de sedimentos no sensor.

### **C.3.5 Estação 5: Canal Santos Dumont**

A Associação dos Usuários do Canal Santos Dumont utiliza água do Ribeirão Pipiripau com a finalidade de irrigação. A água captada é conduzida por um canal até as propriedades dos associados, sendo, portanto, a única estação na qual serão testados equipamentos de medição para canal aberto. A comporta que controla a entrada de água no canal Santos Dumont é mantida aberta pela associação durante o ano todo, sendo possível a obtenção de dados de forma contínua. Durante os dois anos de funcionamento, de nov/13 a dez/15, observou-se que as vazões eram maiores no período chuvoso (novembro a março), uma vez que a vazão natural do ribeirão Pipiripau era maior, exercendo mais pressão na comporta de entrada para o canal, aumentando a velocidade e o nível da água no canal e, por consequência, a vazão no mesmo.

Apresenta-se gráfico comparativo das vazões instantâneas registradas pelos equipamentos, em m<sup>3</sup>/h, ao longo do tempo, tomando como exemplo o período entre os dias 13 e 18 de outubro de 2015:

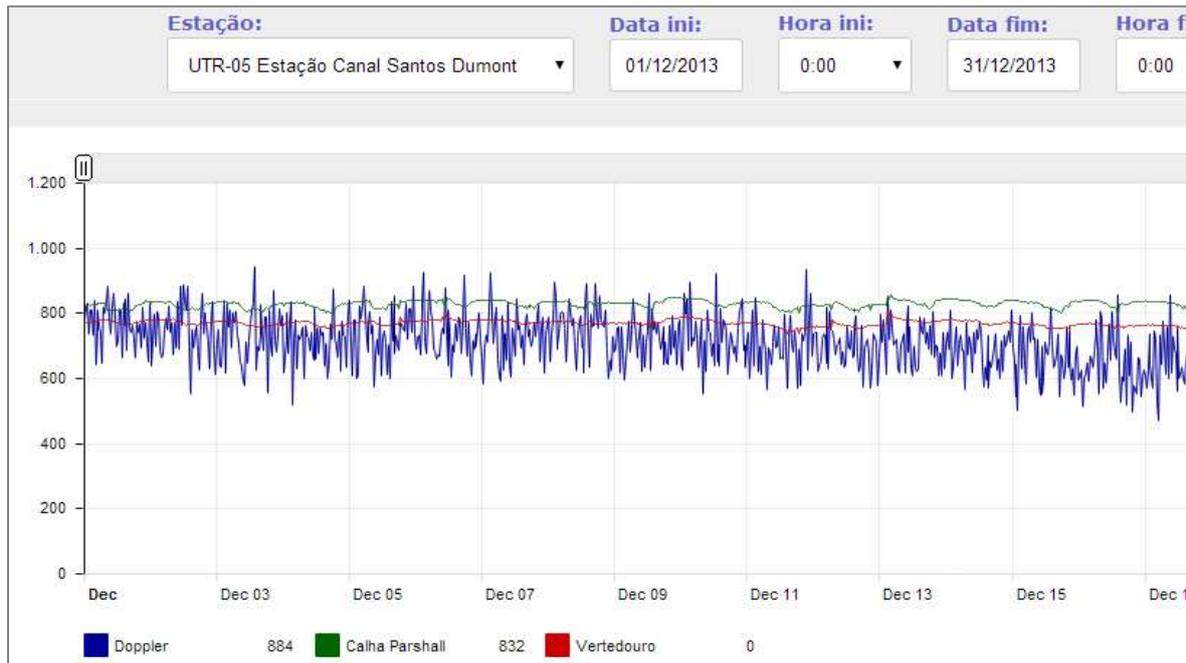


Figura C.31 – Gráfico dos dados de vazão instantânea – Estação Hidrométrica 5 – Santos Dumont, entre os dias 1º e 17/12/2013 (Fonte: <http://ana.vector.com.br>)

Em todo o período de funcionamento foram totalizadas 210.240 medições. Dessas, foram descartadas as medições que tiveram falhas de algum equipamento, ou na transmissão dos dados. Dessa forma, foram contabilizados 140.579 registros. A calha Parshall (linha verde) apresentou média de 994,4 m³/h e desvio de 128,2 m³/h. Já o ultrassônico por efeito doppler (linha azul) registrou valores médios mais próximos da calha Parshall, com 981,8 m³/h de média, mas com o maior desvio, de 223,9 m³/h. Já o vertedouro apresentou valores com menor média, de 912,4 m³/h, e desvio de 158,5 m³/h.

Não há, no canal, uma medição que seja tida como referência. Entretanto, para efeito comparativo, foram realizadas três medições utilizando medidor acústico de vazão, também por efeito doppler, denominado Flowtracker, nos dias 21/02/2014, 24/06/2014 e 03/07/2015, próximo à instalação da calha Parshall (vide figura a seguir).



Figura C.32 – Medição de vazão no canal Santos Dumont utilizando medidor ultrassônico doppler denominado Flowtracker, em 21/02/2014 (relatório de medição à direita)

Segue tabela comparativa com os resultados dessas medições com os registros dos equipamentos:

Tabela C.1 – Comparação entre medições de vazão no canal Santos Dumont

Data da Medição	Flowtracker	Calha Parshall		Vertedouro		Ultrassônico	
	Vazão 1 (m³/h)	Vazão 2 (m³/h)	Dif. 1/2 (%)	Vazão 3 (m³/h)	Dif. 1/3 (%)	Vazão 4 (m³/h)	Dif. 1/4 (%)
21/02/2014 10:27	811	860	6,0%	760	-6,3%	802	-1,1%
24/06/2014 16:05	932	974	4,5%	888	-4,7%	903	-3,1%
03/07/2015 11:44h	1085	1050	-3,2%	1028	-5,2%	1079	-0,5%

Observa-se que os resultados dos equipamentos instalados apresentam valores próximos às medições *in loco* feitas com o medidor acústico, com diferença máxima de 6,3%. O vertedouro apresentou os menores valores, tal qual comparativo geral, e será explanado a seguir. Já o ultrassônico doppler apresentou valores quase que idênticos, tendo em vista que o método de medição desse com o medidor acústico é o mesmo. Detalha-se o desempenho, operação e manutenção de cada um dos equipamentos instalados no canal Santos Dumont:

Ultrassônico por efeito doppler: no que diz respeito à resposta quanto aos valores medidos, apesar de este equipamento ter apresentado as maiores variações em termos de desvio, a média das vazões medidas corresponde a um valor próximo dos outros dois equipamentos., Tendo sido questionado ao fabricante do equipamento o porquê desses resultados, o mesmo elaborou laudo técnico informando que estas variações de velocidades são inerentes ao princípio de medição (efeito doppler) utilizado no elemento sensor, que possui maior sensibilidade para medição das velocidades, tendo em vista que

responde a um sinal das partículas sólidas que acompanham o meio líquido. Em novembro de 2013, na tentativa de “amortizar” a variação de velocidades, alterou-se o tempo de medição de vazão instantânea (denominado “dumping”), que estava parametrizado em 30 segundos, passando a leitura a cada 5 minutos. Entretanto, não foi observada qualquer alteração nas variações.

No que diz respeito à operação, verificou-se logo no início da operação, em dezembro de 2013, uma diminuição dos valores de vazão medidos, tendo sido identificada interferência na medição pelo acúmulo gradual de limbo no elemento sensor do equipamento, proveniente de resíduos da vegetação que passa pelo canal. Dessa forma, definiu-se como manutenção preventiva a limpeza periódica do equipamento, mensal, não tendo sido identificado novos problemas.

Calha Parshall: em termos de resultado, todos os equipamentos apresentaram valores médio próximos, mas a calha foi a que teve menor desvio padrão nos valores de vazão instantânea medidos. No que tange à operação, a calha foi projetada para trabalhar em superfície livre, com parametrização da fórmula de cálculo sem considerar afogamento. Em fevereiro de 2015 houve uma cheia no ribeirão Pípiripau e a água derivada para o canal atingiu o maior nível nos dois anos de operação, passando pela garganta da calha Parshall com altura de 88cm (vide figura abaixo), sendo que o canal atinge altura de 92cm. Em 19/02/2015, foi registrada a maior vazão pela calha, com 1582 m<sup>3</sup>/h. Concluindo, não houve problemas que necessitassem de manutenção na calha.



Figura C.33 – Calha Parshall com maior nível d’água nos dois anos de operação, em 19 de fevereiro de 2015, sem afogamento

Ultrassônico de nível: equipamento instalado em conjunto com a calha para registro dos valores medidos, conforme pode ser observado na figura anterior, instalado na parte superior da calha, sem contato com o meio líquido. O ultrassônico registrou os valores programados, não havendo quaisquer problemas de operação e manutenção.

Vertedouro retangular de soleira delgada: assim como a calha Parshall, o vertedouro também foi projetado para funcionamento como superfície livre, ou seja, sem afogamento. Pelo projeto de hidráulica, em consequência da baixa declividade do canal, para evitar afogamento pelo efeito de remanso, instalou-se o vertedouro 542,5 metros a jusante da calha Parshall, distância esta percorrendo a linha do canal.



Figura C.34 – Localização de instalação dos equipamentos no canal Santos Dumont

Com a instalação dos medidores, houve uma elevação de nível d'água do canal nesse trecho entre a calha e o vertedouro, pelo barramento que os próprios dispositivos fazem para funcionarem como medidores de vazão. Dessa forma, a partir do mês de maio de 2014, percebeu-se vazamentos em algumas juntas de dilatação no trecho entre a calha e o vertedouro (vide figura a seguir), causadas pelo aumento de nível d'água no canal e pelo ressecamento dessas juntas, uma vez que o canal foi construído em 1963 e não teve substituição dessas juntas desde sua construção. Dessa forma, com a perda de água nessas juntas, um comparativo de valores de vazão medidos pelo vertedouro com a calha Parshall e o ultrassônico doppler, instalados a montante, fica comprometido. Pelo menos, há uma coerência no que tange aos valores médios registrados pelo vertedouro apresentarem um resultado final 8,5% inferiores ao da calha Parshall e 7% inferiores ao do ultrassônico doppler.



Figura C.35 – Vazamentos em juntas de dilatação entre a calha Parshall e o vertedouro

No que concerne à operação, com a cheia do Pípiripau em fevereiro de 2015, onde vertedouro ficou em regime afogado por 20 dias (vide foto a seguir) registrando valores na ordem de 1550 m<sup>3</sup>/h, superiores ao demais que registraram vazões em torno de 1200 m<sup>3</sup>/h.



Figura C.36 – Vertedouro em regime de operação normal (esq.), em 23/10/2015, e vertedouro afogado na 2<sup>a</sup> quinzena de fevereiro de 2015 (dir.), foto tirada em 19/02/2015

No dia 3 de julho de 2015, percebeu-se uma diminuição brusca nas medições registradas pelo vertedouro, tendo sido constatado que a crista do mesmo, formada por uma chapa de alumínio, havia sido retirada, provavelmente por vandalismo (vide figura a seguir).



Figura C.37 – Vertedouro sem a crista de alumínio (esq.), e com a crista reinstalada (dir.)

Após reinstalação da crista do vertedouro, o mesmo passou a medir valores coerentes com a Calha Parshall, conforme destaque em laranja no gráfico da figura a seguir, que compara os valores instantâneos da Calha Parshall (em verde) e do vertedouro (em vermelho). Em relação à manutenção, fora o problema de reinstalação da crista, não houve necessidade de interferência no dispositivo após sua instalação.



Figura C.38 – Gráfico comparativo de medições do vertedouro com a calha Parshall, em julho de 2015. Círculo azul: retirada da chapa; círculo laranja: reinstalação da chapa. (Fonte: <http://ana.vector.com.br>)

Ultrassônico de nível: equipamento instalado em conjunto com a calha para registro dos valores medidos, conforme pode ser observado na figura anterior, instalado na parte superior da calha, sem contato com o meio líquido. O ultrassônico registrou os valores programados, não havendo quaisquer problemas de operação e manutenção.

Sensor hidrostático: equipamento instalado em conjunto com o vertedouro para registro de nível da água por pressão hidrostática, instalado no fundo do canal, ou seja, em regime de submersão. O sensor teve problemas de funcionamento no início, entre os meses de novembro de 2013 a julho de 2014, parando o funcionamento por três vezes, até a queima do sensor. Todos os problemas foram de origem elétrica, por surto de descarga atmosférica. Após instalação de um suporte do tipo gaiola de Faraday, não houve mais problemas de funcionamento do equipamento. No que tange à manutenção, por estar submerso, foi realizada retirada para limpeza mensal, para evitar interferências nas medições por acúmulo de lodo.

RESUMO: no apêndice D, apresentam-se três tabelas, com informações gerais de funcionamento, preço, desempenho, operação, manutenção, vantagens desvantagens e recomendações gerais de cada um dos equipamentos de medição de vazão estudados na revisão teórica e bibliográfica e pesquisados na parte experimental do projeto. Esse apêndice constará como adicional ao SSD.

## APÊNDICE D – TABELAS RESUMO DOS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DE VAZÃO

Tabela D.1 – Tabela resumo dos equipamentos de medição de vazão para condutos forçados (tubulação sob pressão)

Equipamento	Funcionamento	Preço		Vantagens	Desvantagens	Recomendações gerais
		$\phi$ (mm)	R\$			
<p>1. Eletromagnético de carretel</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baseado na lei da indução eletromagnética de Faraday;</li> <li>- A passagem de um fluido (condutor elétrico) num campo magnético gera uma corrente elétrica proporcional à velocidade desse fluido;</li> <li>- Os eletrodos se localizam de um extremo a outro da tubulação, sem contato com o fluido, calculando velocidade média de toda a seção.</li> </ul>	50	14.700	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior precisão: erro varia <math>\pm 0,5\%</math>;</li> <li>- Mede velocidade média de toda a seção transversal, podendo ser adotado como referência;</li> <li>- Não há custo de manutenção;</li> <li>- Dois tipos: a bateria (sem necessidade de energia) e elétrico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exige trechos retilíneos à montante e à jusante para instalação;</li> <li>- Deve-se seccionar a tubulação para instalar o carretel entre flanges ou juntas;</li> <li>- Preço elevado, se comparado com outros equipamentos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalação dos displays no painel elétrico ou a devida proteção dos mesmos, quando não for possível;</li> <li>- Escolha de local para instalação é fundamental para garantia de resultados confiáveis. Exige trechos retilíneos à montante (5X o diâmetro) e à jusante (2X o diâmetro) para instalação.</li> </ul>
		80	15.500			
		100	15.800			
		150	17.400			
		200	20.200			
		250	25.800			
		300	28.500			
		350	31.100			
		400	33.400			
		500	44.400			
		600	50.300			
		700	60.400			
		800	70.100			
900	84.400					
1000	101.400					
<p>2. Eletromagnético de inserção</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baseado na lei da indução eletromagnética de Faraday;</li> <li>- A passagem de um fluido (condutor elétrico) num campo magnético gera uma corrente elétrica proporcional à velocidade desse fluido;</li> <li>- Os eletrodos se situam próximos, calculando a velocidade de forma pontual;</li> <li>- Define um fator “K”: relação entre a velocidade pontual e a média da tubulação.</li> </ul>	R\$ 30.000 - 35.000		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para tubulações com diâmetros maiores que 400mm, é mais barato que o carretel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problemas com ar, sujeira e trepidação: medidas incoerentes;</li> <li>- Fabricantes não recomendam para água bruta;</li> <li>- Deve-se furar tubulação para instalação;</li> <li>- Manutenção constante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recomendada a instalação somente com aval de técnico especializado, que deve fazer traçar perfil de velocidade e definir fator “k”;</li> <li>- Deve-se fazer testes de operação antes de instalação definitiva;</li> <li>- Deve-se realizar manutenção periódica para limpeza dos eletrodos.</li> </ul>

Equipamento	Funcionamento	Preço	Vantagens	Desvantagens	Recomendações gerais												
<p>3. Ultrassônico por tempo de trânsito tipo clamp-on</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mede velocidade média na seção através do tempo de deslocamento da onda ultrassônica entre os sensores (emissor-receptor) do instrumento;</li> <li>- Parâmetros para medição são definidos <i>in loco</i>, a depender do tipo de tubulação, espessura, e diâmetro da mesma.</li> </ul>	R\$45.000 – 50.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Boa precisão: erro varia <math>\pm 1,0\%</math>;</li> <li>- Preço independe do diâmetro. Para diâmetros a partir de 700mm, torna-se mais barato que o carretel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preços altos para diâmetros menores que 500mm;</li> <li>- Manutenção constante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requer a troca periódica do gel acoplador acústico, como manutenção preventiva;</li> <li>- Escolha de local para instalação é fundamental para garantia de resultados confiáveis. Exige trechos retilíneos à montante (10X o diâmetro) e à jusante (5X o diâmetro) para instalação;</li> <li>- Devem ser instalados em lugar protegido das intempéries, sob risco de não realizar medições.</li> </ul>												
<p>4. Ultrassônico por tempo de trânsito intrusivo</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mede velocidade média na seção através do tempo de deslocamento da onda ultrassônica entre os sensores (emissor-receptor) do instrumento;</li> <li>- Parâmetros para medição já vem de fábrica previamente preparado para se instalar na tubulação, para diâmetros até 200mm.</li> <li>- Para diâmetros maiores que 200mm, o sensor é instalado furando a tubulação (intrusivo)</li> </ul>	<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>\phi</math>(mm)</th> <th>R\$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50</td> <td>4.000</td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>6.200</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>6.900</td> </tr> <tr> <td>150</td> <td>9.200</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>10.600</td> </tr> </tbody> </table> <p>- Para diâmetros maiores que 200mm: R\$55.000 – 60.000</p>	$\phi$ (mm)	R\$	50	4.000	80	6.200	100	6.900	150	9.200	200	10.600	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior precisão: erro varia <math>\pm 0,5\%</math>;</li> <li>- Não há custo de manutenção, como o clamp-on;</li> <li>- Preços compatíveis com outros equipamentos, para diâmetros até 200mm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exige trechos retilíneos à montante e à jusante para instalação;</li> <li>- Cortar a tubulação para instalar os de diâmetro &lt; 200mm;</li> <li>- Furar a tubulação para instalar os sensores com diâmetro &gt; 200mm;</li> <li>- Mais caro que o clamp-on, para diâmetro &gt; 200mm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Escolha de local para instalação é fundamental para garantia de resultados confiáveis. Exige trechos retilíneos à montante (10X o diâmetro) e à jusante (5X o diâmetro) para instalação.</li> </ul>
$\phi$ (mm)	R\$																
50	4.000																
80	6.200																
100	6.900																
150	9.200																
200	10.600																

<b>Equipamento</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Preço</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>	<b>Recomendações gerais</b>
5. Transmissores de pressão diferencial tipo Pitot ou Annubar 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vazão calculada pela diferença de pressão entre os pontos de montante e jusante;</li> <li>- o Annubar é uma variação do Tubo de Pitot, e possui 5 furos para entrada de água, perfazendo a velocidade média em toda a tubulação;</li> <li>- o Pitot possui 1 furo e calcula define um fator “K”: relação entre a velocidade pontual e a média da tubulação.</li> </ul>	R\$35.000 – 40.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Precisão razoável: com erro de <math>\pm 2,5\%</math>;</li> <li>- Preço pode variar com o diâmetro da tubulação e possui preços compatíveis para diâmetros maiores que 500mm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exige trechos retilíneos à montante e à jusante para instalação;</li> <li>- Deve-se furar tubulação para instalação;</li> <li>- Manutenção constante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A tubulação deve estar sempre cheia, senão pode medir diferenças de pressão causadas por enchimento de ar na tubulação;</li> <li>- Requer manutenção periódica para limpeza dos furos;</li> <li>- Instalação deve ser feita por técnico especializado, p/traçar perfil de velocidade e definir fator “k” (Pitot);</li> <li>- Recomenda-se instalar em locais que se tenha equipe técnica de manutenção, tais como indústrias e comp. de saneamento.</li> </ul>
6. Transmissores de pressão diferencial tipo orifício, bocal de vazão ou Venturi 	<p>Vazão calculada pela diferença de pressão entre os pontos de montante e jusante;</p> <p>A medição da velocidade no escoamento se dá através da diminuição da pressão proporcional ao aumento da velocidade, através da redução do diâmetro, numa determinada seção.</p>	R\$10.000 – 15.000 (para diâmetros até 300mm)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Precisão razoável: com erro de <math>\pm 2,5\%</math>;</li> <li>- Preços compatíveis com outros equip. de diâmetro até 300mm;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exige trechos retilíneos à montante e à jusante para instalação;</li> <li>- Deve-se furar tubulação para instalação;</li> <li>- Manutenção constante;</li> <li>- Pouco robusto, pode acarretar problemas de operação como desconfiguração</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A tubulação deve estar sempre cheia, senão pode medir diferenças de pressão causadas por enchimento de ar na tubulação;</li> <li>- Requer manutenção periódica para limpeza dos furos e eventuais problemas de funcionamento;</li> <li>- Recomenda-se instalar em locais que se tenha equipe técnica de manutenção, tais como indústrias e comp. de saneamento.</li> </ul>

Equipamento	Funcionamento	Preço		Vantagens	Desvantagens	Recomendações gerais
		$\phi$ (mm)	R\$			
7. Hidrômetro tipo Woltmann ou tangencial 	- Vazão calculada no próprio instrumento (relojoaria) por processo mecânico com peças móveis (turbina) e registro de pulso elétrico a cada volta completa da peça.	50	1.800	- Menor preço, se comparado com outros equip. de diâmetro até 300mm.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Precisão não pode ser definida;</li> <li>- Foi idealizado para água tratada e adaptado para a água bruta; não possui garantia de bom funcionamento;</li> <li>- Possui partes móveis, em contato com o fluido, a medição pode ser prejudicada pelos sólidos na água bruta;</li> <li>- Não há dados sobre duração e longevidade;</li> <li>- Manutenção constante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Para água bruta, deve-se instalar filtro de linha, a montante do medidor, para diminuir problemas de sólidos afetarem o medidor;</li> <li>- Requer manutenção periódica para limpeza do filtro de linha, sob risco de não fazer leituras ou de medir a menos, por acúmulo de sedimentos;</li> <li>- Para irrigantes, por exemplo, é recomendável para aqueles que já fazem a filtração da água bruta para não prejudicar o sistema de irrigação, como os processos de gotejamento e micro aspersão;</li> <li>- Em regiões de conflito, onde se requer precisão de medida para regulação do uso, não é recomendável a instalação desse dispositivo.</li> </ul>
		80	3.500			
		100	4.100			
		150	4.700			
		200	5.400			
		250	6.300			
		300	11.300			

Tabela D.2 – Tabela resumo dos equipamentos de medição de vazão para superfície livre (canais abertos)

Equipamento	Funcionamento	Preço	Vantagens	Desvantagens	Recomendações gerais
<p>8. Vertedouros</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidores de regime crítico, que provocam um escoamento onde existe somente uma relação entre a altura (H) e a vazão (Q);</li> <li>- Cálculo pela equação do vertedouro, onde a vazão Q tem uma relação exponencial com o nível d'água (H).</li> </ul>	<p>R\$7.900</p> <p>Referência: vertedouro retangular de soleira delgada (1m de largura)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baixo custo em relação a outros medidores de superfície livre;</li> <li>- Solução simples e adequada para medição de vazão em dutos circulares e pequenos canais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalação: feita por profissional especializado;</li> <li>- Obra civil: fluxo interrompido ou desviado por 7 dias (mínimo);</li> <li>- Riscos de afogamento em canais com largura superior a 1 metro;</li> <li>- Medição contínua: deve ser instalado um sensor de nível auxiliar.</li> </ul>	<p>Instalação deve ser criteriosa, feita por profissional: o escoamento deve estar livre, com as bordas bem talhadas, na posição horizontal, sendo que toda a água deve escoar unicamente pelo vertedouro.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Solução simples e adequada para medição de dutos circulares e pequenos canais. Ex: lançamentos de efluentes domésticos e industriais; ETAs (abastecimento público).</li> </ul>
<p>9. Calhas Parshall e Palmer -Bowlus</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Medidores de regime crítico, que provocam um escoamento onde existe somente uma relação entre a altura (H) e a vazão (Q);</li> <li>- Calha Parshall: canais retangulares; Calha Palmer-Bowlus: apresenta seção semicircular, para instalação direta em tubulações</li> <li>- Cálculo pela equação própria das calhas Parshall e Palmer, onde a vazão Q tem uma relação exponencial com o nível d'água (H).</li> </ul>	<p>R\$11.900</p> <p>Referência: Calha Parshall apropriada para 1m de largura</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Confiabilidade dos resultados, com erro da ordem de <math>\pm 1,0\%</math>;</li> <li>- Robustez, durabilidade e sem custo de manutenção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Custo maior para canais com base menor que 1m de largura;</li> <li>- Instalação: feita por profissional especializado;</li> <li>- Obra civil: fluxo interrompido ou desviado por 7 dias (mínimo);</li> <li>- Medição contínua: deve ser instalado um sensor de nível auxiliar.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalação deve ser criteriosa, feita por profissional, principalmente no que tange à horizontalidade. Qualquer diferença de nível pode provocar erros na medição;</li> <li>- Levando em conta o previsto na norma ABNT NBR ISO 9826:2008 para correto dimensionamento;</li> <li>- se estiver em regime de afogamento, devem ser feitas duas leituras de nível e correção da fórmula de cálculo.</li> </ul>

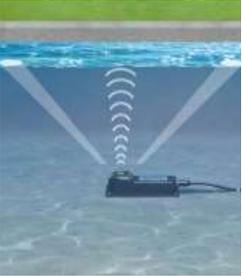
<b>Equipamento</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Preço</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>	<b>Recomendações gerais</b>
10. Ultrassônico de vazão por efeito Doppler 	<p>- Vazão calculada pela medição da velocidade média na seção através dos ecos dos pulsos de ultrassom que o sensor emite para o receptor do próprio instrumento;</p> <p>Os pulsos são refletidos em pequenas bolhas de ar e/ou sólidos presente na água bruta.</p>	R\$30.000 – 33.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalação rápida: fluxo interrompido ou desviado somente para fixação do elemento;</li> <li>- Calcula a vazão de forma integralizada, sem necessidade de dispositivo auxiliar para medição de nível, como é o caso do vertedouro e da Calha Parshall.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior custo inicial para aquisição;</li> <li>- Instalação: feita por profissional especializado para calibração e testes;</li> <li>- Maior oscilação das vazões instantâneas: presença de partículas sólidas e bolhas de ar, apresentando maior desvio padrão nas medições;</li> <li>- Necessita manutenção periódica: contato direto com a água</li> </ul>	<p>- Deve-se atentar para manutenção periódica, a depender a qualidade da água e da presença de vegetais que passam pelo canal, que pode acarretar problemas quanto à leitura, pelo acúmulo gradual de limbo no elemento sensor do equipamento, por estar instalado em contato direto com a água.</p>
11. Transmissor de nível por pressão hidrostática 	<p>Os sensores hidrostáticos medem o nível d'água pela pressão da coluna de água, podendo o sensor estar diretamente submerso ou acoplado externamente.</p>	R\$3.000 – 3.500	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preço menor, se comparado com ultrassônico de nível;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Requer manutenção periódica, por estar em contato direto com o meio líquido;</li> <li>- Mais sensível a problemas elétricos, e de surtos por descarga atmosférica, por estar no meio líquido.</li> </ul>	<p>- Deve-se atentar para manutenção periódica, a depender a qualidade da água e da presença de vegetais que passam pelo canal, que pode acarretar problemas quanto à leitura, pelo acúmulo gradual de limbo no sensor hidrostático, por estar instalado em contato direto com a água.</p>
12. Transmissor de nível ultrassônico 	<p>Envia e recebe ondas ultrassônicas que são refletidas quando tocam a superfície da água</p>	R\$4.000 – 4.500	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maior precisão: erro varia <math>\pm 0,5\%</math>;</li> <li>- Não requer manutenção, por não ter contato com o meio líquido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preço menor, se comparado com sensor hidrostático.</li> </ul>	<p>- Instalação deve ser feita por profissional para calibração da altura de medida.</p>

Tabela D.3 – Tabela resumo dos dispositivos acumuladores de tempo

Dispositivo	Funcionamento	Preço	Vantagens	Desvantagens	Recomendações gerais
<p>1. Horímetro</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contato seco instalado junto à chave de partida do conjunto motobomba;</li> <li>- A contagem de tempo está associada à energia, ao funcionamento do motor.</li> </ul>	R\$350 – 1.000	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preço acessível para aquisição;</li> <li>- Não há necessidade de técnico especializado para instalação;</li> <li>- Não há custo de manutenção.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Não mede vazão: somente acumula o tempo de funcionamento;</li> <li>- Instalações em paralelo: um horímetro para cada conjunto motor-bomba;</li> <li>- Não funciona para captação com motor a diesel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Em empreendimentos onde é necessária a medição de vazão e a totalização do volume, pode ser utilizado como auxiliar a um equipamento principal, como acumulador do tempo. Entretanto, por não medir vazão, não deve ser utilizado como dispositivo único.</li> </ul>
<p>2. Chave de fluxo</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- A chave de fluxo mais comum no mercado é a do tipo palheta.</li> <li>- Sistema mecânico de acionamento, com haste e palheta de metal. Detecta a presença de fluxo no interior do tubo ao se opor ao seu movimento.</li> <li>- A contagem de tempo está associada ao fluxo de água que passa pela tubulação, não à energia.</li> </ul>	R\$550 – 2.500	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Está ligado ao fluxo, instalada diretamente na tubulação, não depende de energia;</li> <li>- Preço acessível para instalação.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mais caro que o horímetro;</li> <li>- Necessidade de furo no tubo para instalação;</li> <li>- Instalada por profissional especializado;</li> <li>- Água bruta com sólidos em suspensão: mau funcionamento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção periódica para água bruta, a fim de evitar que a palheta fique emperrada pela presença de sólidos.</li> </ul>