



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS
DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS**



ENÉAS DANTAS DA SILVA NETO

**MODELO DE COBRANÇA PELO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS
EM SISTEMAS CONTROLADOS POR RESERVATÓRIOS**

**Campina Grande – PB
AGOSTO/2018**

ENÉAS DANTAS DA SILVA NETO

**MODELO DE COBRANÇA PELO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS
EM SISTEMAS CONTROLADOS POR RESERVATÓRIOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais - PPGRN (Doutorado) da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG para a obtenção do título de Doutor.

Área de Concentração: Sociedade e Recursos Naturais

Linhas de Pesquisa: Gestão de Recursos Naturais

Professor Orientador: Dr. Wilson Fadlo Curi

Professor Co-orientador: Dr. Valterlin da Silva Santos

**Campina Grande – PB
AGOSTO/2018**

ENÉAS DANTAS DA SILVA NETO

“MODELO DE COBRANÇA PELO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM SISTEMAS CONTROLADOS POR RESERVATÓRIOS”.

APROVADO EM: 29/08/2018

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. **WILSON FADLO CURI**
Orientador principal



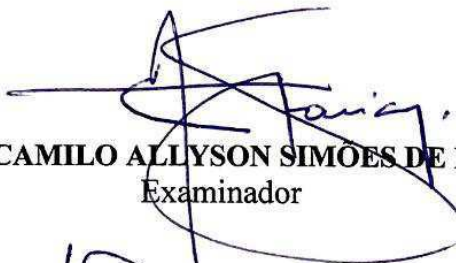
Prof. Dr. **VALTERLIN DA SILVA SANTOS**
Segundo orientador



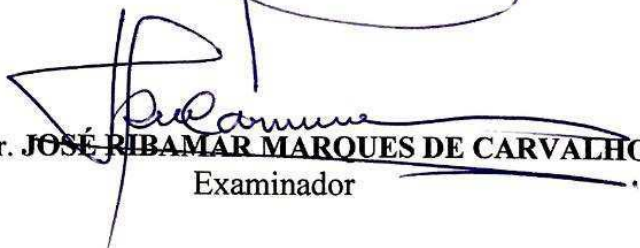
Prof. Dr. **JOSÉ DANTAS NETO**
Examinador



Prof. Dr. **FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUZA**
Examinador



Prof. Dr. **CAMILO ALLYSON SIMÕES DE FARIAS**
Examinador



Prof. Dr. **JOSÉ RIBAMAR MARQUES DE CARVALHO**
Examinador

GRADECIMENTOS

A

A Deus por ele ser sempre o meu grande Pastor e nada me deixou faltar.

Ao meu filho Bernardo, razão de tudo, por entender a ausência nas horas que precisou de mim e eu não pude estar presente.

Aos meus pais, por toda luta, todo carinho, ensinamentos, incentivos e sempre acreditar em mim.

A meu orientador Dr. Wilson Fadlo Curi por seus ensinamentos e dedicação a este estudo.

A meu co-orientador Dr. Valterlin da Silva Santos por toda dedicação, zelo e atenção com a realização da pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ) pelo incentivo financeiro, facilitando a realização deste estudo.

A todos(as) que fazem parte do PPGRN/UFMG pela atenção merecida e apoio.

Aos colegas do CCJS/UFMG por depositarem em mim toda confiança.

D

EDICATÓRIA

A Deus em primeiro momento, fonte maior da minha existência. Por tantas bênçãos concedidas. Por iluminar meu caminho e proporcionar forças para superar todas as adversidades e, assim, alcançar os meus objetivos, principalmente, mesmo com toda a dificuldade, nesta reta final, não me desamparando.

Ao meu filho Bernardo, motivo que me impulsiona a buscar sempre o melhor para nossas vidas, razão de cada passo meu, por brilhar os olhos a cada possível encontro, mesmo não entendendo tanta correria e as pedras que são colocadas no nosso caminho. Como é grande o meu amor por você.

A meus pais. A minha mãe, pelo amor incondicional, por incentivar e, muitas vezes, facilitar e minimizar os problemas que passei neste período de desenvolvimento da pesquisa, tanto de vida, quanto acadêmico. A meu pai, que, apesar de não ser um conhecedor do mundo acadêmico, sempre me ajudou e me apoiou em tudo que precisei.

A Gabrielle Batista Braga, minha melhor amiga, minha namorada, minha cúmplice, minha companheira, que sempre me apoiou com paciência, principalmente nas horas mais difíceis, que com tanta sabedoria e carinho, soube conduzir os períodos de tensão, estresse, incertezas e cansaço desse momento.

RESUMO

MODELO DE COBRANÇA PELO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS EM SISTEMAS CONTROLADOS POR RESERVATÓRIOS

SILVA NETO, Enéas Dantas da. **Modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos em sistemas controlados por reservatórios**. 149f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, 2018.

Apesar de ter se passado mais de quatro décadas após o início efetivo das discussões em torno do desenvolvimento sustentável, muitos países ainda enfrentam graves problemas relacionados ao meio ambiente e principalmente em relação aos recursos hídricos. De fato, o crescente processo de degradação ambiental, assim como as diretrizes estabelecidas pela Lei 9.433/97 tem instituído a obrigatoriedade e impulsionado a criação de sistemas de outorga de direito e cobrança pelo uso de recursos hídricos, visando uma maior eficiência na utilização dos recursos hídricos no Brasil. A cobrança pelo uso, enquanto um dos instrumentos de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), passou a ser um dos principais mecanismos utilizado pelos estados federativos para gerir seus recursos hídricos. Nesse sentido, o objetivo da pesquisa foi desenvolver um modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos capaz de induzir o uso mais racional da água através de maior objetividade, completeza, parcimônia e transparência dos processos envolvidos em sistemas de recursos hídricos controlados por reservatórios. No Brasil, a gestão dos recursos hídricos tem seu aparato legal e institucional, como principal elemento regulatório, amparado pela Lei 9.433/97, que é a base da PNRH do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). De acordo com a Lei 9.433/97, serão cobrados os recursos hídricos que foram submetidos ao processo de outorga, conforme as diretrizes estabelecidas. Neste sentido, tendo como base os modelos ora existentes, avançou-se na implementação de novos processos em um modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos superficiais em sistemas controlados por reservatórios. Dentre as características pretendidas e incorporadas ao modelo, destaca-se sua capacidade de inter-relacionar os conceitos de outorga e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos com escopo voltado para a indução do uso racional. Além disso, foi incluído outros aspectos possíveis e operacionalmente viáveis que possam existir em qualquer sistema de recursos hídricos controlado por reservatórios. A forma como o mesmo foi idealizado permite a sua perfeita adequação, implantação e operação, principalmente, em relação a bacias hidrográficas da região semiárida brasileira. Como estudo de caso, a região constituída da Unidade de Planejamento do Alto Piranhas (UPHAP), na Bacia Hidrográfica dos Rios Piancó-Piranhas-Açu, que contempla dois reservatórios interdependentes (Engenheiro Ávidos e São Gonçalo), foi utilizada. Tal característica foi de fundamental importância para a construção e validação do modelo de cobrança pelo uso da água vinculado aos limites de vazão concedidos pela outorga de direito de uso dos recursos hídricos. A partir dos dados obtidos, foi analisado, de forma integrada via modelo de otimização, as vazões fornecidas pelo sistema para o atendimento das outorgas, os volumes dos reservatórios, bem como as vazões no trecho do rio entre os dois reservatórios. Realizou-se quatro otimizações

da operação do sistema assumindo dois cenários possíveis: envolvendo ou não a transposição do Rio São Francisco. Para cada um destes cenários duas situações distintas foram admitidas: demandas com ou sem medição de vazão. O ensaio demonstrou: 1. Que os valores cobrados pelo metro cúbico de água são compatíveis com a realidade local e nacional; 2. Possibilidade de incitar, através do modelo, o uso racional da água; inibindo usos ineficientes da água, prática de reservas de água, via outorga, e potenciais captações extras de água por parte dos usuários; 3. A capacidade de adequação do modelo a diversas realidades e cenários, principalmente em se tratando da região semiárida; 4. Que o modelo de cobrança proposto pode ser aplicado em qualquer bacia hidrográfica, sendo possível redimensionar os valores dos parâmetros utilizados através de um processo mais participativo e democrático no âmbito do comitê de bacia; e 5. A parcimônia e eficiência do modelo.

Palavras - Chave: Semiárido; Bacia hidrográfica; Gestão de recursos hídricos; Uso racional da água.

ABSTRACT

PAYMENT MODEL FOR THE USE OF WATER RESOURCES IN SYSTEMS CONTROLLED BY RESERVOIRS

SILVA NETO, Enéas Dantas da. **Payment model for the use of water resources in systems controlled by reservoirs.** 149f. Thesis (Doctorate in Natural Resources) - Post-Graduate Program in Natural Resources, Federal University of Campina Grande, Campina Grande, PB, 2018.

Despite the fact that more than four decades have passed since the actual start of discussions on sustainable development, many countries still face serious problems related to the environment and especially to water resources. In fact, the growing process of environmental degradation, as well as the guidelines established by Law 9.433/97, has established mandatory and driven the creation of systems of law grant and charging for the use of water resources, aiming at a greater efficiency in the use of resources water resources in Brazil. The charging for the use, while one of the management tools of the National Water Resources Policy (PNRH), has become one of the main mechanisms used by the federative states to manage their water resources. In this sense, the goal of this research was to develop a charging model for the water resources use capable of inducing a more rational water use through greater objectivity, completeness, parsimony and transparency of the processes involved in water resource systems controlled by reservoirs. In Brazil, water management has your legal and institutional apparatus, as main regulatory element, supported by the Law 9,433/97, which is the basis of the PNRH of the National System of Water Resources Management (SNGRH). According to the Law 9,433/97, water resources that were submitted to the granting process will be charged, in accordance with the established guidelines. In this sense, based on the existing models, progress has been made in the implementation of new processes in a water charging model for the use of surface water resources in systems controlled by reservoirs. Among the characteristics intended and incorporated into the model, it's worth to point out the interrelation between water resources granting and charging with the scope of the rational water use induction. In addition, was included other possible and operationally viable aspects that may exist in any water resources system controlled by reservoirs. The way it was designed allows its perfect adequacy, implementation and operation, especially in the brazilian semi-arid region watersheds. As a case study, the region made up of the Planning Unit of the Alto Piranhas (UPHAP), in the Piancó-Piranhas-Açu/PB river basin, which includes two interdependent reservoirs (Engenheiro Ávidos and São Gonçalo), was used. This characteristic was of fundamental importance for the construction and validation of the water use charging model linked to the amount of water flow allowed by the granted water resources use right. From the obtained data, , it was analyzed, integrated through an optimization model, the flows provided by the system to attend the water use licenses, the

volume of reservoirs, as well as the flows in the stretch of the river between the two reservoirs. Four system operation optimizations were performed assuming two possible scenarios: involving or not the transposition of the São Francisco River. For each of these two scenarios, two distinct situations were considered: water demands with or without flow measurement. The test demonstrated: 1. The values charged by the cubic meter of water are compatible with local and national reality; 2. Possibility of encourage, through the model, the rational use of water, inhibiting the inefficient uses of water, practice of reservation of water, through grants, and potential extra abstractions of water by users; 3. The ability to adapt the model to various realities and scenarios, especially in the semi-arid region; 4. The proposed water charging model can be applied in any watershed, being possible to resize the used parameter values via a more participatory and democratic process within the river basin Committee; and 5. The parsimony and efficiency of the model.

Keywords: Semiarid; River basin; Management of water resources; Rational use of water.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABH - Agência de Bacia Hidrográfica;

ABH – Agência de Bacia Hidrográfica;

ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos;

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba;

ANA - Agência Nacional de Águas;

BHPCJ - Bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá;

BHPS - Bacia do Rio Paraíba do Sul;

BHRD - Bacia do Rio Doce;

BHRP - Bacia do Rio Parnaíba;

BHRPPA – Bacia Hidrográfica dos Rios Piancó-Piranhas-Açu;

BHRSF – Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco;

BHRVG - Bacia do Rio Verde Grande;

C1 – Cenário 1;

C2 – Cenário 2;

CAGEPA - Companhia de Água e Esgotos da Paraíba;

CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica;

CERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos;

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos;

CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento;

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente;

DAURH - Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos;

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio;

DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica;

DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra a Seca;

GIRH – Gestão Integrada de Recursos Hídricos;

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano;

IGARN - Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte;

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia;

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais;

IQA - Índices de Qualidade das Águas;

MMA - Ministério do Meio Ambiente;

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico;

ONU – Organização da Nações Unidas;

PBS - Comitê do Rio Paraíba do Sul;

PCJ - Comitê dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí;

PIRSF – Projeto de Integração do Rio São Francisco;

PISG – Perímetro Irrigado de São Gonçalo;

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos;

PPU – Preço Público Unitário;

PRH - Plano de Recursos Hídricos;

PRHBH – Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica;

PSA - Pagamento por Serviços Ambientais;

PSE - Pagamento pelos Serviços Ecossistêmicos;

RHNO - Região Hidrográfica do Nordeste Oriental;

S1 – Situação 1;

S2 – Situação 2;

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo;

SCS/USDA - Soil Conservation Service do United States Department of Agriculture;

SEMARH/PB - Secretaria de Estado do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Ciência e Tecnologia da Paraíba;

SEMARH/RN - Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte;

SIGRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

SNGREH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos;

SNRH - Sistema Nacional de Recursos Hídricos;

SUDEMA - Superintendência de Administração do Meio Ambiente do Estado da Paraíba;

UPHAP – Unidade de Planejamento Hidrográfico do Alto Piranhas;

VTC – Valor Total da Cobrança.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Tipologia e instrumentos de política ambiental.....	31
Quadro 2 – Visão geral do aparato legal e institucional da cobrança.....	53
Quadro 3 – Classificação da receita cobrança pelo uso dos recursos hídricos.....	54
Quadro 4 – Estrutura básica dos mecanismos de cobrança pelo uso dos recursos hídricos.....	59
Quadro 5 - Equações praticadas por cada bacia hidrográfica interestadual para a cobrança total pelo uso dos recursos hídricos.....	62
Quadro 6 - Vazões de retirada (demanda), de retorno e de consumo, em m ³ /s e para usos consuntivos.....	99
Quadro 7 - Postos selecionados para o cálculo da vazão afluente.....	109
Quadro 8 - Postos pluviométricos utilizados para os reservatórios e áreas agrícolas..	109
Quadro 9 – Situações e cenários estudados.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cobrança pela captação de água em alguns países da OCDE.....	50
Tabela 2 - Preços unitários de cobrança pelo uso dos recursos hídricos no mundo.....	60
Tabela 3 – Variáveis empregadas nas metodologias de cobrança pelo uso da água em bacia hidrográficas controladas pela União.....	63
Tabela 4 - Metodologias de cobrança pelo uso da água em Bacias hidrográficas interestaduais em aplicação no Brasil I.....	65
Tabela 5 - Metodologias de cobrança pelo uso da água em Bacias hidrográficas interestaduais em aplicação no Brasil II.....	67
Tabela 6 - Metodologias de cobrança pelo uso da água em Bacias hidrográficas interestaduais em aplicação no Brasil III.....	69
Tabela 7 – Valores de Kg conforme níveis de garantia atendimento da outorga.....	86
Tabela 8 – Valores de Ke conforme tecnologia utilizada na irrigação.....	87
Tabela 9 – Índice de Perdas de Distribuição (%).....	87
Tabela 10 – Índice de Reciclagem de água no processo (para IRC) e Índice de Reuso de água no processo (para IRU).....	88
Tabela 11 – Valores de Ke para o lançamento de efluentes.....	88
Tabela 12 – Valores de Kc.....	80
Tabela 13 - Valor da vazão outorgada para o abastecimento dos núcleos urbanos.....	106
Tabela 14 - Número de outorgas das áreas agrícola difusas.....	106
Tabela 15 – Áreas das culturas agrícolas cultivadas no sistema.....	108
Tabela 16 - Parâmetros de calibração do modelo SMAP mensal.....	109
Tabela 17 - Dados da Evapotranspiração, da evaporação do tanque “Classe A” e do coeficiente kt.....	110
Tabela 18 - Dados volumétricos e a vazão vertida máxima dos reservatórios.....	111
Tabela 19 - Características físicas do tubo de descarga de fundo dos reservatórios estudados.....	111

Tabela 20 – Coeficientes de ponderação utilizados para cada situação..... 115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz e funcionamento do SINGREH.....	36
Figura 2 – Gestão em Bacias Hidrográficas no Brasil.....	39
Figura 3 – Cronograma de implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil.....	55
Figura 4 – Evolução da implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil – Bacias Estaduais.....	56
Figura 5 – Evolução da implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil – Bacias Federais.....	56
Figura 6 – Situação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos por Estados.....	57
Figura 7 - Situação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos por bacias federais.....	57
Figura 8 – Ciclo de implementação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos..	71
Figura 9 - Matriz institucional do SINGREH e os CBS.....	76
Figura 10 – Situação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos em 2018.....	78
Figura 11 – Componentes do valor total da cobrança.....	84
Figura 12 – Componentes do valor outorga.....	85
Figura 13 – Componentes do valor captação.....	89
Figura 14 – Componentes do valor captação para uso na irrigação.....	91
Figura 15 – Componentes do valor transposição.....	92
Figura 16 – Componentes do valor lançamento de efluentes.....	93
Figura 17 – Componentes do valor gestão.....	94
Figura 18 – Componentes do valor captação para uso na irrigação.....	95
Figura 19 – Componentes do nível de armazenamento de água do sistema.....	95
Figura 20 – Fluxograma operacional do modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos proposto.....	97

Figura 21 – Estruturação do problema de pesquisa.....	92
Figura 22 - A Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental - RHNO e suas 23 unidades hidrográficas (Sub-2).....	94
Figura 23 – Localização da BHRPA.....	95
Figura 24 – Principais reservatórios localizados na BHRPPA e na UPHAP.....	97
Figura 25 – Mapa esquemático da BHRPPA.....	98
Figura 26 – Principais municípios produtores de culturas agrícolas temporárias e permanentes.....	100
Figura 27 – Índice de Qualidade das Águas na BHRPA.....	101
Figura 28 – Unidade de Planejamento Hidrológico do Alto Piranhas - UPHAP..	103
Figura 29 - Dominialidade do Rio Piancó-Piranhas-Açu.....	104
Figura 30 – Layout do sistema estudado.....	106

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução da criação de CBHs no Brasil no período de 1988 a 2017.....	78
Gráfico 2 - Distribuição dos recursos hídricos, superfície e população por regiões do Brasil.....	80
Gráfico 3 - Distribuição percentual das demandas estimadas na bacia.....	99
Gráfico 4 - Atendimento da demanda do PISG.....	117
Gráfico 5 - Volume de água, vazão vertida e vazão de descarga de fundo do reservatório Engenheiro Ávidos.....	118
Gráfico 6 - Volume de água, vazão vertida e vazão de descarga de fundo do reservatório São Gonçalo.....	118
Gráfico 7 – Componentes do VTC para o abastecimento urbano na situação S1 do cenário C1(S1-C1).....	120
Gráfico 8 – Componentes do VTC para o abastecimento urbano na situação S2 do cenário C1(S2-C1).....	121
Gráfico 9 – Composição do VTC para o abastecimento urbano na situação S1 do cenário C1 (S1-C1).....	122
Gráfico 10 – Composição do VTC para o abastecimento urbano na situação S2 do cenário C1 (S2-C1).....	122
Gráfico 11 – Componentes do VTC para o irrigante_A na situação S1 do cenário C1(S1-C1).....	123
Gráfico 12 – Componentes do VTC para o irrigante_A na situação S2 do cenário C1 (S2-C1).....	124
Gráfico 13 – Composição do VTC para o irrigante_A na situação S1 do cenário C1 (S1-C1).....	124
Gráfico 14 – Composição do VTC para o irrigante_A na situação S2 do cenário C1 (S2-C1).....	125
Gráfico 15 – Componentes do VTC para o irrigante_B na situação S1 do cenário C1 (S1-C1).....	125
Gráfico 16 – Componentes do VTC para o irrigante_B na situação S2 do cenário C1 (S2-C1).....	126
Gráfico 17 – Composição do VTC para o irrigante_B na situação S1 do cenário C1	

(S1-C1).....	127
Gráfico 18 – Composição do VTC para o irrigante_B na situação S2 do cenário C1 (S2-C1).....	127
Gráfico 19 – Componentes do VTC para o abastecimento urbano na situação S1, do cenário C2 (S1-C2).....	128
Gráfico 20 – Componentes do VTC para o abastecimento urbano na situação S2, do cenário C2 (S2-C2).....	128
Gráfico 21 – Composição do VTC para o abastecimento urbano na situação S1 do cenário C2 (S1-C2).....	129
Gráfico 22 – Composição do VTC para o abastecimento urbano na situação S2 do cenário C2 (S2-C2).....	130
Gráfico 23 – Componentes do VTC para o irrigante_A na situação S1 do cenário C2 (S1-C2).....	130
Gráfico 24 – Componentes do VTC para o irrigante_A na situação S2 do cenário C2 (S2-C2).....	131
Gráfico 25 – Composição do VTC para o irrigante_A na situação S1 do cenário C2 (S1-C2).....	132
Gráfico 26 – Composição do VTC para o irrigante_A na situação S2 do cenário C2 (S2-C2).....	132
Gráfico 27 – Componentes do VTC para o irrigante_B na situação S1 do cenário C2 (S1-C2).....	133
Gráfico 28 – Componentes do VTC para o irrigante_B na situação S2 do cenário C2 (S2-C2).....	133
Gráfico 29 – Composição do VTC para o irrigante_B na situação S1 do cenário C2 (S1-C2).....	134
Gráfico 30 – Composição do VTC para o irrigante_B na situação S2 do cenário C2 (S2-C2).....	135
Gráfico 31 – Comparativo do VTC do Abastecimento Urbano em todos os cenários e situações analisadas.....	136
Gráfico 32 – Comparativo do VTC do Irrigante_A em todos os cenários e situações analisadas.....	136
Gráfico 33 – Comparativo do VTC do Irrigante_B em todos os cenários e situações analisadas.....	136

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	22
<i>1.1 Objetivos.....</i>	<i>27</i>
1.1.1 Geral.....	27
1.1.2 Específicos.....	27
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	28
2.1 A gestão dos recursos hídricos: complexidades e conceitos.....	28
2.2 Aparato legal e institucional da gestão dos recursos hídricos no Brasil: aspectos gerais da Lei 9.433/97.....	33
2.3 O processo de outorga de direito de uso dos recursos hídricos.....	40
2.4 A cobrança pelo uso dos recursos hídricos.....	45
2.4.1 Experiências internacionais com a cobrança pelo uso dos recursos hídricos: breves considerações.....	48
2.4.2 A cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil.....	53
2.4.2.1 A cobrança pelo uso dos recursos hídricos em bacias hidrográficas controladas pela União.....	59
2.5 A cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Estado da Paraíba – PB.....	73
2.6 Os Comitês de Bacias Hidrográficas – CBHs.....	75
2.7 A questão dos recursos hídricos na região Nordeste do Brasil: breves considerações.....	79
3. MODELO DE COBRANÇA PELO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS PROPOSTO.....	83
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	90
4.1 Caracterização da pesquisa.....	90
4.2 A abordagem do problema de pesquisa.....	91
4.3 O caso em estudo: recorte espacial e características gerais.....	93
4.4 Descrição do sistema de recursos hídricos estudado.....	102
4.5 Dados do sistema de recursos hídricos estudado.....	105
4.5.1 Outorgas emitidas.....	105
4.5.2 Estimativas hídricas das culturas agrícolas irrigadas.....	107
4.5.3 Vazões afluentes.....	108

4.5.4 Precipitação.....	109
4.5.5 Evaporação e evapotranspiração.....	110
4.5.6 Dados dos reservatórios estudados.....	111
4.6 Modelo de Otimização Multiobjetivo.....	111
4.7 Cenários estudados.....	112
4.8 Seleção dos usuários para a apresentação dos resultados, coeficientes de ponderação e Preços Públicos Unitários - PPU's utilizados.....	114
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	117
5.1 Processo de otimização quantitativa do sistema de recursos hídricos.....	117
5.2 Análise da cobrança pelo uso dos recursos hídricos do cenário C1 na situação S1 e situação S2.....	119
5.3 Análise da cobrança pelo uso dos recursos hídricos do cenário C2 na situação S1 e situação S2.....	128
CONCLUSÃO.....	137
REFERÊNCIAS.....	141

S586m

Silva Neto, Enéas Dantas da.

Modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos em sistemas controlados por reservatórios / Enéas Dantas da Silva Neto. - Campina Grande, 2018.

150 f. : il. color.

Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2018.

"Orientação: Prof. Dr. Wilson Fadlo Curi, Prof. Dr. Valterlin da Silva Santos".

Referências.

1. Uso dos Recursos Hídricos. 2. Recursos Hídricos - Consumo Consciente. 3. Sistemas de Recursos Hídricos Controlados por Reservatórios. 4. Gestão de Recursos Hídricos. I. Curi, Wilson Fadlo. II. Santos, Valterlin da Silva. III. Título.

CDU 556.18(043)

I INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, fica cada vez mais evidente que o processo de degradação ambiental tem impactado negativamente o estoque hídrico disponível, ampliando, portanto, a necessidade do uso racional. Por outro lado, o crescimento econômico mundial tem gerado pressões significativas sobre os recursos hídricos, prejudicando sua governança, o que, por sua vez, intensificou as discussões em torno da preservação, manutenção e uso de forma sustentável de tais recursos.

Observa-se, também, que a crescente demanda mundial por água está alicerçada, principalmente, em aspectos como o crescimento populacional, assim como também é influenciada pelas políticas de crescimento, urbanização, segurança alimentar e energética, além dos processos macroeconômicos e tecnológicos como o crescimento do comércio, da indústria e as alterações nos padrões de consumo da sociedade. As dificuldades de alocação eficiente da água, em face da concorrência entre os setores demandantes, têm provocado o acirramento dos conflitos em torno da questão, assim como vem alterando o padrão de bem-estar da sociedade mundial em função do seu uso (WWAP, 2015).

Apesar de ter se passado mais de quatro décadas após o início efetivo das discussões em torno do desenvolvimento sustentável, muitos países ainda enfrentam graves problemas relacionados ao meio ambiente e, principalmente, em relação aos recursos hídricos. Estima-se que cerca de 748 milhões de habitantes não têm acesso a uma fonte de água potável e que, frente ao atual ritmo de crescimento econômico mundial, a demanda por água para o processo produtivo, por exemplo, crescerá algo em torno de 400% no período de 2000 a 2050. Nesta perspectiva, projeta-se para 2050 um crescimento da demanda em torno de 55% decorrente do crescimento da produção, geração de energia e consumo doméstico (WWAP, 2015).

No caso do Brasil, país com um território de aproximadamente 852 milhões de hectares, a disponibilidade de água doce é relativamente generosa. O país possui, em média, um volume precipitado anual de 14.995 Km³ e um volume de recursos hídricos renováveis de 8.647 Km³/ano, dos quais 5.661 Km³/ano (65%) são recursos renováveis internamente, conforme dados da FAO-AguaSTAT (2017).

Em termos de distribuição espacial dos recursos hídricos, o país possui aproximadamente 55% desses recursos concentrados nas bacias do Amazonas e Tocantins-Araguaia. A bacia do Amazonas detém 73,6% dos recursos hídricos na superfície interna. O restante (26,4%) está dividido da seguinte forma: 7,7% na bacia Tocantins-Araguaia, 1,6% na

bacia do São Francisco, 1,4% na parte Oeste das bacias do Atlântico Nordeste, 0,4% na parte leste das bacias do Atlântico Nordeste, 0,4% na bacia do Parnaíba, 0,8 % na bacia leste do Atlântico, 1,8% na bacia Sudeste do Atlântico, 2,3% na bacia do Sul do Atlântico e 10% na bacia do rio da Prata, distribuída entre os rios Paraná (6,4%), Paraguai (1,3%) e Uruguai (2,3%) (FAO-AguaSTAT, 2015).

Dessa forma, observa-se que, apesar de possuir uma abundância relativa de recursos hídricos (com aproximadamente 12% da água doce do mundo de acordo com a Agência Nacional de Águas - ANA), o Brasil enfrenta sérios problemas de escassez decorrente, dentre outros aspectos, das condições climáticas e da distribuição desses recursos em seu território, haja vista a alta concentração apenas na região Norte, que, por sua vez, detém a segunda menor proporção de habitantes por região. Por outro lado, observando-se a região Nordeste, esta possui o menor volume de recursos hídricos e uma das maiores concentrações demográficas relativa.

O advento da Lei 9.433/97, também conhecida na literatura como “Lei das águas”, institucionalizou instrumentos para o processo de gestão dos recursos hídricos no país. O uso do instrumento da outorga de direito, assim como da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, tem desempenhado um papel importante na busca por eficiência nesse processo. A partir do momento que esse tipo de instrumento tem, como prerrogativa, a redução dos desperdícios e o controle mais efetivo dos níveis de qualidade e quantidade disponíveis, ele se torna de grande importância para a manutenção do estoque hídrico, pois, além de estimular o uso racional, pode angariar fundos para impulsionar e manter programas e políticas públicas voltadas para a ampliação dos níveis de eficiência da gestão.

O crescente processo de degradação ambiental, assim como as diretrizes estabelecidas pela Lei 9.433/97, tem instituído a obrigatoriedade e impulsionado a criação de sistemas de outorga de direito e cobrança pelo uso de recursos hídricos, visando uma maior eficiência na utilização dos recursos hídricos. Esses sistemas, enquanto instrumentos de controle e execução da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), atuam como indutores do uso mais racional a partir de um melhor gerenciamento do processo.

É notório que, apesar da Lei 9.433/97 instituir a obrigatoriedade de tais mecanismos de gestão, um dos problemas centrais de todo o processo repousa na existência de complexas relações políticas e nas especificidades de cada sistema hídrico em relação aos diversos usuários, gerando, assim, barreiras para a implantação da referida lei. Toda essa complexidade tem dificultado a criação de sistemas de cobrança pelo uso dos recursos hídricos mais eficientes e que, ao mesmo tempo, sejam capazes de refletir o seu verdadeiro objetivo de gestão, estimular

o uso racional, que, de certa forma, provoca uma baixa aceitação por parte dos diversos usuários envolvidos.

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos, enquanto um dos instrumentos de gestão da PNRH, passou a ser um dos principais mecanismos utilizados pelos estados federativos para gerir seus recursos hídricos. Principalmente em relação às bacias hidrográficas controladas pela União, a implantação desse instrumento de gestão tem se dado de forma relativamente lenta, já que as complexas relações políticas inerentes têm dificultado, de certa forma, todo processo. Além do mais, os modelos de cobrança implantados não têm sido capazes de induzir uma maior racionalidade desejada no uso dos recursos hídricos por parte dos usuários.

De acordo com Garcia e Romero (2013), os modelos de cobrança pelo uso de recursos hídricos implantados no Brasil possuem como característica básica o objetivo de determinar o valor total da cobrança e não o preço unitário básico pelo uso da água ou “preço da água”. O preço da água, por sua vez, representa o componente do valor econômico em todos os modelos de cobrança que, sem sombra de dúvida, é considerado o pilar para promover o uso racional. De uma forma geral, o valor total da cobrança determinado nos modelos implantados é formado pelo preço unitário básico e pela quantidade utilizada pelos diversos usuários.

Frente a esse contexto, o que se pode observar é que os atuais modelos instituídos, implantados e discutidos na literatura especializada, por exemplo, como Dias, Barros e Souza (2010), Lanna e Laigneau (2010), ANA (2014), Finkler *et al.* (2015), Acserald, Azevedo e Formiga-Johnsson (2015), Sales *et al.* (2015), Gama Engenharia (2016), Vera, Montenegro e Silva (2017) e OCDE (2017), nem sempre conseguem contemplar os aspectos específicos da outorga de direito e da cobrança pelo uso dos recursos hídricos de forma direta, integrada e transparente. Além disso, na maior parte dos casos, principalmente nas bacias hidrográficas federais, os modelos nem sempre refletem objetividade (possuir a capacidade de vincular diretamente outorga de direito e cobrança pelo uso dos recursos hídricos), parcimônia (ser economicamente parcimonioso), completeza (possuir potencial de reajustes a novas situações) e transparência (apresentar forma explícita de cálculo) em relação ao entendimento de seus aspectos metodológicos, tornando-as ferramentas complexas, o que, de certa forma, tem dificultado a implantação dos sistemas de cobrança pelo uso dos recursos hídricos em todo o país.

No que tange respeito à definição do preço da água e, conseqüentemente, ao valor total da cobrança pelos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs), Garcia e Romero (2013) comentam que este se baseia unicamente no impacto econômico sobre os usuários, ou seja, o

principal critério para determinação de tal preço é o menor impacto possível nos custos de produção, já que o critério adotado é sempre de natureza político-econômica, deixando de lado critérios essenciais como a própria sustentabilidade das atividades desenvolvidas no âmbito do sistema de recursos hídricos ou a própria importância da água para esse sistema.

Neste sentido, a elaboração de um modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos capaz de induzir ao uso racional da água e que, ao mesmo tempo, permita maior objetividade, parcimônia, completeza e transparência do processo, é uma prerrogativa substancialmente importante para a melhoria do sistema de gestão desses recursos no Brasil, principalmente em se tratando de bacias hidrográficas controladas pela União. Além disso, tal modelo deve considerar, de forma direta, a relação entre as outorgas de direito concedidas e o processo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos, já que, ao longo da literatura especializada, não se observa relatos de modelos que possuam essas características.

No caso da região Nordeste, em especial, os problemas decorrentes da escassez hídrica são constantes. A região vivenciou, entre 2012 e 2018, um dos mais prolongados períodos de estiagem. Os volumes armazenados na grande maioria dos reservatórios de captação de águas superficiais (uma das principais fontes de água da região, cujo embasamento é, na sua maioria, cristalino) atingiu níveis críticos, o que tem preocupado e mobilizado usuários e gestores de toda região em torno da questão da escassez de recursos hídricos e, conseqüentemente, do armazenamento e gestão destes recursos. Fatos similares também ocorreram em outras regiões do país.

Assim como em muitas bacias hidrográficas da região, a Bacia Hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu (BHRPPA), mais especificamente a Unidade de Planejamento Hidrográfico do Alto Piranhas (UPHAP), no sertão do estado da Paraíba-PB, tem enfrentado, nos últimos anos, os efeitos do longo período de estiagem. A UPHAP contempla dois importantes reservatórios do estado da Paraíba-PB (Engenheiro Ávidos com capacidade de 255 milhões de metros cúbicos e São Gonçalo com capacidade de 44,6 milhões de metros cúbicos, segundo dados da Agência Executiva de Gestão de Águas do estado da Paraíba (AESPA) e é considerada parte estratégica do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PIRSF), já que é uma das portas de entrada do eixo norte. Além disso, a ausência de instrumentos de gestão mais efetivos como a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, conforme institui a Lei 9.433/97, tem sido mais um problema a ser resolvido.

Portanto, a elaboração de um modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos que se adapte à realidade da UPHAP, pautado, dentre outros aspectos, pela objetividade,

parcimônia, completeza, transparência em relação aos seus elementos metodológicos e operacionais e que ao mesmo tempo induza o uso racional da água, se apresenta como um verdadeiro desafio a ser vencido, além de representar uma significativa contribuição para os estudos voltados à gestão dos recursos hídricos na região e no Brasil.

Nesta perspectiva, a pesquisa em pauta foi delimitada com base na seguinte problemática: **Como desenvolver um modelo que vincule outorga de direito e cobrança pelo uso dos recursos hídricos capaz de induzir o uso racional da água em um sistema controlado por reservatórios?**

A pesquisa pode ser considerada como sendo inovadora e de significativa relevância para os estudos voltados para a área da gestão de recursos hídricos. Por outro lado, do ponto de vista da interdisciplinaridade intrínseca ao processo, a pesquisa contempla os requisitos básicos fundamentais exigidos, já que aborda os diversos elementos relacionados à outorga de direito e à cobrança pelo uso dos recursos hídricos, permeando, assim, suas dimensões: **1. Ambiental:** na medida em que visa a melhoria na gestão dos recursos hídricos da região estudada, a partir do estímulo ao uso mais racional da água; **2. Social:** ao analisar aspectos como a distribuição dos recursos hídricos na região e sua relação com os atores sociais e os diversos usos; **3. Econômica:** ao operar no sentido de estabelecer o valor monetário a ser cobrado pelo uso dos recursos hídricos; e **4. Técnica:** ao analisar os dados hidroclimáticos e hidroagrícolas, como também outras variáveis (demandas hídricas, características físicas dos componentes etc.) identificadas no estudo do sistema hídrico.

Para tanto, além deste capítulo inicial, a pesquisa foi estruturada em outros cinco capítulos. No segundo capítulo são abordados os temas e conceitos que nortearam a fundamentação teórica. Nele foram destacados temas como: gestão dos recursos hídricos, aspectos gerais da Lei 9.433/97, a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, os modelos de cobrança pelo uso dos recursos hídricos implantados em bacias hidrográficas federais no Brasil, os CBHs e a questão dos recursos hídricos no nordeste brasileiro. Já o terceiro capítulo foi reservado para a descrição do modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos proposto. No quarto capítulo, são apresentados os aspectos metodológicos que contemplam desde a caracterização da pesquisa até as informações e a descrição do sistema de recursos hídricos analisados, assim como são apresentadas as características do modelo de otimização quantitativa multiobjetivo utilizado para obtenção dos dados operacionais para viabilizar a aplicação da proposta de cobrança. No quinto capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos com a aplicação do modelo de otimização

quantitativa multiobjetivo e com a proposta de cobrança, fruto desta tese. Por fim, são apresentados os pontos conclusivos do estudo e as sugestões por ora levantadas, para melhorar a gestão dos recursos hídricos no sistema de analisado.

1.1 Objetivos da pesquisa

1.1.1 Objetivo geral

Elaborar um modelo que vincule outorga de direito e cobrança pelo uso dos recursos hídricos superficiais, que seja capaz de induzir ao uso mais racional da água em um sistema controlado por reservatórios.

1.1.2 Objetivos específicos

- Estruturar o modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos tomando como base as principais metodologias implantadas em bacias hidrográficas federais no Brasil;
- Aplicar o modelo de otimização quantitativa multiobjetivo junto ao sistema de recursos hídricos selecionado, de forma a obter as informações operacionais necessárias para a aplicação do modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos proposto;
- Simular a proposta de cobrança pelo uso dos recursos hídricos em diferentes cenários possíveis, analisando suas condições de objetividade, parcimônia, completeza e transparência;
- Fornecer subsídios para a elaboração de políticas públicas voltadas para as melhorias na gestão dos recursos hídricos do sistema.

2

REFERENCIAL TEÓRICO

O ritmo de crescimento das transformações no ambiente de negócios, centrado, principalmente, na busca pela ampliação do nível de competitividade produtiva, tem impulsionado, a cada dia, reflexões sobre o tema desenvolvimento sustentável. Principalmente a partir da década de 1970, essa temática vem ganhando força e tem norteado os debates na busca das respostas para a redução dos impactos ambientais gerados pelo uso crescente e ineficiente dos recursos naturais em todo o mundo. Esse contexto tem despertado o interesse pelo estudo de temas como gestão ambiental, haja vista que, deste então, a busca pelo entendimento dos problemas originados pela gestão ineficiente desses recursos tem sido o elemento chave para as nações que têm o interesse no crescimento econômico e ao mesmo tempo no desenvolvimento sustentável.

2.1 A gestão dos recursos hídricos: complexidades e conceitos

Os recursos hídricos representam toda “água disponível ou que possa ser disponibilizada para uso, em quantidade suficiente e qualidade adequada, em um local e durante um período de tempo adequado para uma demanda identificável” (WNO & UNESCO, 2012, p. 377). Por outro lado, a WNO & UNESCO (2012, p. 378) definem a gestão de recursos hídricos como sendo o “processo de decisão diretamente relacionada com a administração, supervisão e controle de um sistema de recursos hídricos”.

Os primeiros debates em torno dos problemas ocasionados em virtude de relações antrópicas sobre os recursos hídricos ocorreram durante a década de 1970, quando a Organização das Nações Unidas – ONU, em Mar Del Plata no ano de 1977, colocou em pauta o assunto de forma mais específica, destacando a questão da água como mais um dos problemas de impacto global a ser enfrentado por todos (MEJÍA *et al.*, 2012).

Ainda de acordo com os autores, por uma série de razões políticas e institucionais, o assunto saiu de pauta das rodadas de debates internacionais por, praticamente, 15 anos. As preocupações e debates em torno da água e suas condições enquanto estoque na natureza passaram novamente a serem tratadas como algo de relevância para o futuro da humanidade durante a Eco92 no Rio de Janeiro, onde um dos capítulos da chamada Agenda 21 foi destinado às discussões em torno dos recursos hídricos. A partir de então, o assunto água foi criando visibilidade e várias instituições e organizações preocupadas com o assunto foram criadas por

todo o mundo com objetivos de estudar, propor, alertar e implantar ações capazes de frear o atual ritmo de degradação sobre o estoque de recursos hídricos no meio ambiente.

A questão sobre a água está atualmente no centro dos debates ambientais em virtude do rápido crescimento populacional e do aumento da poluição. Tal problemática torna-se mais visível com o passar do tempo, haja vista o rápido processo de degradação em virtude do uso descontrolado e da carga de efluentes lançados no meio ambiente pelos seus diversos usuários. De acordo com Loucks e Beek (2005), os sistemas de recursos hídricos têm beneficiado as pessoas e as suas economias durante muitos séculos. Os serviços prestados por tais sistemas são múltiplos. No entanto, em muitas regiões no mundo, esses sistemas não são capazes de atender às demandas ou mesmo às necessidades básicas por água potável, nem podem apoiar e manter os diversos ecossistemas resilientes.

No Brasil, por exemplo, os impactos negativos sobre os recursos hídricos são variados e de diversas magnitudes, dos quais o lançamento de esgoto doméstico caracteriza-se como um dos principais problemas a serem enfrentados, dado que apenas 47% dos municípios possuem rede coletora e apenas 18% do esgoto é tratado (SANTIN; GOELLNER, 2013).

Conforme destaca Mijía *et al.* (2012), usando-se das bases teóricas dos Princípios de Dublin¹, os recursos hídricos devem ser tratados de acordo com quatro princípios fundamentais:

1. A água fresca é um recurso finito e de suma importância para o desenvolvimento da vida humana e do meio ambiente, além de bastante vulnerável;
2. O planejamento dos recursos hídricos deve ser delimitado, dentre outros aspectos, pela participação dos diversos usuários, planejadores e dos formuladores de políticas públicas;
3. A mulher deve desempenhar um papel importante na provisão, administração, gestão e proteção dos recursos hídricos;
4. A água é um bem público dotado de valor econômico e social em todas as formas de uso.

Por outro lado, de um ponto de vista holístico, a gestão dos recursos hídricos deve ser encarada sob um enfoque de Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). Esse tipo de gestão pode ser um dos caminhos capazes de romper com as atuais ações pontuais e fragmentadas em torno da questão, permitindo a integração de diversos atores sociais, institucionais e privados, que vão deste os diversos tipos de indústrias e usuários, até a

¹ A menção a palavra Dublin ocorre em virtude da realização da Conferência Internacional da Água e do Meio Ambiente na cidade de Dublin, na Irlanda em 1992. (GRUPOS ÁGUAS DE PORTUGAL, 2015).

elaboração de políticas públicas e educacionais em função de uma melhor gestão dos recursos hídricos (MEJÍA *et al.*, 2012). Os autores vão além, destacando que a sustentabilidade desses recursos está condicionada a essa visão de gestão integrada, haja vista que as potencialidades, os problemas e as diversas demandas pelos recursos hídricos dependerão das inter-relações estabelecidas entre os diversos atores envolvidos em todo processo. Neste sentido, a GIRH pode ser entendida como sendo o “desenvolvimento e exploração de recursos hídricos regionais, tendo em conta aspectos hidrológicos e técnicos, bem como as dimensões socioeconômicas, políticas e ambientais” (WNO & UNESCO, 2012, p.187). Na visão de Garcia e Romeiro (2013), com base no conceito de GIRH, deve-se partir do princípio de que a bacia hidrográfica é o elemento/recorte geográfico determinante e fundamental para o gerenciamento dos recursos hídricos, que, por sua vez, deverá levar em consideração todas as fases do ciclo hidrológico e todas as inter-relações ecossistêmicas existentes, reconhecendo que a água e todos os recursos naturais possuem valor ecológico, sociocultural e econômico.

De acordo com Smith *et al.* (2008), a bacia hidrográfica é a área de terra que alimenta a água de um rio, por meio do processo de precipitação, drenando água através da paisagem, em afluentes e no canal principal do rio. Sendo também chamadas de “bacias” ou “bacias de drenagem”. Para a ANA,

A bacia hidrográfica é a região compreendida por um território e por diversos cursos d'água. Da chuva que cai no interior da bacia, parte escoia pela superfície e parte infiltra no solo. A água superficial escoia até um curso d'água (rio principal) ou um sistema conectado de cursos d'água afluentes; essas águas, normalmente, são descarregadas por meio de uma única foz (ou exutório) localizada no ponto mais baixo da região. Da parte infiltrada, uma parcela escoia para os leitos dos rios, outra parcela é evaporada por meio da transpiração da vegetação e outra é armazenada no subsolo compondo os aquíferos subterrâneos. (ANA, 2011, p. 11)

Conforme argumentam Vargas da Silva *et al.* (2011), em se tratando de gestão dos recursos hídricos, a abordagem sistêmica também tem sido uma alternativa viável, assim como tem contribuído para avanços na análise das nuances que permeiam a gestão desses recursos no meio ambiente. Segundo os autores, um enfoque sistêmico baseado na perspectiva de bacia hidrográfica, enquanto sistema hídrico, permite integrar os diversos sub-sistemas naturais e construídos com os demais sub-sistemas sócio-organizacional, socioeconômico e produtivo, de forma a viabilizar uma visão mais integrada e um processo de gestão mais eficaz. Logo, destacam Vargas da Silva *et al.* (2011, p. 1), “a busca por metodologias de análise e ferramentas para auxiliar na gestão dos recursos hídricos deve considerar as relações sociais, econômicas,

políticas e ambientais”. Nessa perspectiva, “a abordagem metodológica adotada deve propiciar a análise da paisagem de forma integrada.”

Ao parafrasear Vargues da Silva *et al.* (2011), observa-se que os mesmos consideram a visão sistêmica como elemento importante na gestão dos recursos hídricos, já que o principal objetivo é interpretar o processo interativo entre as diversas partes desse sistema, buscando entender em sua totalidade, dependendo, obviamente, da visão de mundo que se tenha. Assim, a vivência dentro do sistema e as suas experiências vividas, sejam elas econômicas, sociais, culturais, ambientais, filosóficas e psicológicas, moldaram a visão de mundo de cada agente envolvido no processo.

Nesta perspectiva, Vargues da Silva *et al.* (2011, p. 3) reforçam que

Enquanto a visão sistêmica parte do entendimento das unidades buscando a totalidade, a visão holística parte do todo para entender as partes, de forma que, quanto mais abrangente for a visão do pesquisador maior será a chance de compreensão desse todo. Associando essas duas visões consegue-se então compreender tanto o todo como as partes. O objetivo de trabalhar com a visão sistêmica holística é compreender o sistema como um todo, estudando os elementos ou partes, buscando o entendimento a partir de variáveis do sistema, entendendo as sequências dos processos que envolvem que são desencadeados por diversos fluxos de energia.

Ainda de acordo com Vargues da Silva *et al.* (2011), as diversas estruturas básicas de um sistema são alvos de compreensão por diversos autores na literatura especializada. Porém, Beni (2002 *apud* VARGES DA SILVA, 2011, p. 5) reúne essas estruturas em 8 grupos básicos, a saber:

1. Meio ambiente – conjunto de todos os objetos que não fazem parte do sistema em questão, mas que exercem influências sobre a operação do mesmo; **2. Elementos ou unidades** – as partes componentes do sistema; **3. Relações** – os elementos integrantes do sistema encontram-se inter-relacionados, uns dependendo dos outros, através de ligações que denunciam os fluxos; **4. Atributos** – são as qualidades que se atribuem aos elementos ou ao sistema, a fim de caracterizá-los; **5. Entrada (input)** – constituída por aquilo que o sistema recebe. Cada sistema é alimentado por determinado tipo de entradas; **6. Saída (output)** – produto final dos processos de transformação a que se submete o conteúdo da entrada; **7. Realimentação (feedback)** – processo de controle para manter o sistema em equilíbrio; **8. Modelo** – é a representação do sistema. Constitui uma abstração para facilitar o projeto e/ou análise do sistema. É utilizado por dois motivos básicos: porque simplifica o estudo do sistema, permitindo a análise de causa e efeito entre os seus elementos para conclusão de maior precisão; e pela impossibilidade de abranger a complexa totalidade das características e aspectos da realidade objeto de estudo.

Na busca por uma maior eficácia (atingir os objetivos ou metas independentemente do caminho a ser seguido) e eficiência (atingir os objetivos ou metas através do melhor caminho) na gestão dos recursos hídricos, diversos são os instrumentos desenvolvidos e alguns até

colocados em prática como o caso da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, da educação ambiental e da legislação ambiental. É notória a necessidade do aumento do nível de preservação e de sensibilização da população em torno da questão hídrica, principalmente nas regiões onde há baixa disponibilidade e elevada utilização (SANTIN; GOELLNER, 2013). Esses elementos, associados a um entendimento de GIRH sob a ótica da visão sistêmica holística, são decisivos para a construção de ações mais eficazes em torno do problema dos recursos hídricos em todo o mundo.

Neste sentido, define-se política ambiental como “o conjunto de metas e instrumentos que visam a reduzir os impactos negativos da ação antrópica sobre o meio ambiente” (LUTOSA; CÁNEPA; YOUNG, 2003 p. 135). Segundo os autores, “a política ambiental é necessária porque induz ou força os agentes econômicos a adotarem posturas e procedimentos menos agressivos ao meio, ou seja, reduzir a quantidade de poluentes lançados no meio ambiente e minimizar a depleção dos recursos naturais” (LUTOSA; CÁNEPA; YOUNG, 2003 p. 139).

Para implantar uma política ambiental que vise a redução da degradação do meio ambiente por meio de mecanismos de gestão ambiental, se faz necessária a criação de instrumentos que viabilizem, ou, pelo menos, permitam atingir tal objetivo. Na visão de Lutosa, Cánepa e Young (2003), os instrumentos de política ambiental têm a função de internalizar os custos gerados pelas externalidades ambientais e podem ser agrupados em três categorias, conforme descreve o Quadro 1:

Quadro 1 – Tipologia e instrumentos de política ambiental.

Comando e controle	Instrumentos econômicos	Instrumentos de comunicação
<ul style="list-style-type: none"> » Controle ou proibição de produto » Controle de Processo » Proibição ou restrição de atividades » Especificações tecnológicas » Controle de uso de recursos naturais » Padrões de poluição para fontes específicas. 	<ul style="list-style-type: none"> » Taxas e tarifas » Subsídios » Certificados de emissão transacionáveis » Sistemas de devolução de depósitos 	<ul style="list-style-type: none"> » Fornecimento de informação » Acordos » Criação de redes » Sistemas de gestão ambiental » Selos ambientais » Marketing ambiental

Fonte: Lutosa; Cánepa e Young (2003, p. 142).

1. Instrumentos de comando e controle: são também conhecidos como instrumentos diretos, pelo fato de atuarem *in loco*, onde são emitidos os poluentes. Geralmente,

um órgão regulador estabelece um conjunto de normas e regras que, uma vez quebradas pelo poluidor, este será punido a partir da cobrança de multas, cancelamento de licenças etc.;

2. Instrumentos econômicos: estes atuam no sentido de internalizar as externalidades geradas pelo poluidor ou usuário;
3. Instrumentos de comunicação: utilizados para conscientizar e informar os agentes poluidores e diversos agentes envolvidos acerca dos mais variados temas ambientais: danos ambientais gerados por empresas, atitudes preventivas e ecologicamente corretas por parte de empreendimentos, tecnologias menos agressivas ao meio ambiente etc.

Cabe frisar, ainda, que, em detrimento aos outros instrumentos de política ambiental (comando/controle e instrumentos de comunicação), os instrumentos econômicos carregam consigo um conjunto de vantagens. São elas:

1. Permitir a geração de receitas fiscais e tarifárias por meio do instrumento da cobrança, sendo considerado um duplo dividendo, pois geram receitas e reduzem a degradação ambiental;
2. Considerar as diferenças de custos de controle entre os agentes, alocando de forma mais eficiente os recursos econômicos disponíveis;
3. Possibilitar tecnologia menos intensiva no uso de recursos naturais;
4. Atuar no início do processo de uso dos bens e serviços ambientais;
5. Evitar dispêndios em pendências judiciais para a aplicação de penalidades;
6. Programar um sistema de taxação progressiva ou de alocação inicial de certificados, segundo critérios distributivos em que a capacidade pagamento do agente seja levada em consideração (LUTOSA; CÁNEPA; YOUNG, 2003).

2.2 Aparato legal e institucional da gestão dos recursos hídricos no Brasil: aspectos gerais da Lei 9.433/97

No que diz respeito à gestão dos recursos hídricos no Brasil e do seu aparato legal e institucional, o principal elemento regulatório é a Lei 9.433/97 ou “Lei das Águas”, que é a base da PNRH e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Para Muñoz (2000, p.13),

Ela institucionaliza a gestão participativa não só entre os níveis estadual e federal mas, também, em nível de base. É uma lei que, por ser avançada no sentido de introduzir mecanismos de democracia participativa num sistema

administrativo pautado nos mecanismos da democracia representativa, apresenta muitos desafios para sua implementação.

A elaboração da chamada Lei das Águas foi discutida em diversas rodadas de debates, praticamente durante 14 anos, quando se iniciaram as discussões em torno da referida questão durante o Seminário Internacional de Gestão de Recursos Hídricos, no âmbito do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), em 1983. Deste então, diversos encontros e reuniões foram realizados, principalmente no período de 1983 a 1988, para institucionalizar, constitucionalmente, em 1988, o SINGREH. Ao longo dos anos, várias audiências públicas foram realizadas em todo o país em torno da discussão do projeto de lei que, futuramente, daria origem a Lei das Águas. Paralelo a todo esse processo, a Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) desempenhou um papel importante e fundamental nas discussões voltadas à criação das bases legais da referida lei (MUÑOZ, 2000).

Desde 1987 a ABRH vem contribuindo com o debate em torno das questões político-institucionais que subsidiaram a criação da Lei das Águas. Em 1991, a chamada Carta do Rio de Janeiro² apontou e consolidou a necessidade urgente de reversão da atual situação de degradação dos corpos d'água, assim como destacou a importância e necessidade de uma gestão mais integrada dos recursos hídricos, o que posteriormente foi implantado no texto final da Lei das Águas (MUÑOZ, 2000).

Consoante Muñoz (2000),

O resultado de todo o processo de discussão foi uma lei avançada e moderna, coerente com os princípios básicos da Declaração de Dublin sobre Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável (1992) e que atende as recomendações contidas na Agenda 21, principal instrumento programático resultante da CNUMAD-RIO92.

O autor destaca ainda que,

As discussões para a implementação da lei, regulamentando os aspectos que precisam de esclarecimentos ou detalhamentos, têm-se centrado, fundamentalmente, na questão dos instrumentos da outorga e da cobrança, por uma parte, e na questão da regulamentação do sistema nacional de gerenciamento, englobando aí a discussão sobre a criação e atribuições de uma Agência Nacional de Águas – ANA. Mas a lei 9.433/97 estabelece, também, no seu artigo 3º, diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. Constam, entre estas: a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental; a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo; a integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras; e, a articulação do planejamento de recursos hídricos com o de setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional.

² “Aprovada em Assembleia Geral Ordinária realizada em 14 de novembro de 1991, no Rio de Janeiro, na sessão de encerramento do IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos”. (ABRH, 2015).

Na visão de Pagnoccheschi (2000), a PNRH pode ser considerada um avanço significativo em torno do problema dos recursos hídricos no Brasil. Para o autor, durante o processo de concepção da referida política houve uma grande preocupação com o aparato legal, representado pela necessidade e prioridade de uma maior sinergia entre leis e normas que permeiam o setor, deixando de lado o ritmo de transformações do próprio Estado e da sociedade. Neste sentido, mesmo não contemplando tais transformações, a PNRH, ao incorporar o aspecto participativo nas decisões em relação aos recursos hídricos, representou e representa um avanço substancial em torno da questão, apesar da relativa desconexão com os setores produtivos, por não incorporar instrumentos mais efetivos de gerenciamento direcionados ao aspecto econômico.

Promulgada em janeiro de 1997, a Lei 9.433/97 é considerada um marco em torno da problemática dos recursos hídricos no Brasil. Em virtude da complexidade e diversidade na qual se pretendia contemplar, grandes definições foram remetidas às etapas de regulamentação, sendo assim, uma Lei mais “enxuta” foi necessária, o que, de certa forma, facilitou e agilizou o processo de aprovação (PAGNOCCHESCHI, 2000). De acordo com Barth (1999 apud Pagnoccheschi, 2000), “o fato das leis estaduais de recursos hídricos terem sido promulgadas anteriormente à lei nacional fez com que esta se tornasse mais flexível, permitindo adaptações às diferentes situações existentes nos estados brasileiros”.

Segundo Serrano e Carvalho (2013), o SINGREH dispõe de instrumentos de gestão que são usados com o objetivo de buscar um maior uso sustentável dos recursos hídricos e fornecê-los em quantidade e qualidade para os diversos usuários. Conforme a ANA (2015), os principais instrumentos de execução da PNRH são:

1. Planos de recursos hídricos: constantes nos art. 6º e 7º que tratam da criação do SINGREH, a Lei

estabelece que os Planos de Recursos Hídricos são diretores e de longo prazo e visam a fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos, [...] com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos (ANA, 2015).

Neste sentido, cabe a ANA dar o suporte necessário à elaboração dos planos de recursos hídricos através de estudo e diagnósticos que permitam a aplicação de recursos financeiros da União, visando os serviços e obras de manutenção, melhoramento e enquadramento dos cursos d’água, a distribuição e alocação de recursos hídricos, além de buscar um maior controle sobre a poluição desses recursos. A Lei 9.433/97 em seu art. 9º

estabelece que “o objetivo é assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição, mediante ações preventivas permanentes”.

2. Enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água: tem como principal objetivo, estabelecer o nível de qualidade dos corpos d’água e mantê-los ao longo do tempo.

Mais do que uma simples classificação, o enquadramento deve ser visto como um instrumento de planejamento, pois deve tomar como base os níveis de qualidade que deveriam possuir ou ser mantidos para atender às necessidades estabelecidas pela sociedade e não apenas a condição atual do corpo d’água em questão (ANA, 2015).

Tomando-se como base o uso da água, o enquadramento em classes deve ser caracterizado por um pacto realizado entre a sociedade e o Estado levando-se em consideração os usos prioritários. Todo esse processo ocorrerá em nível de SINGREH e servirá de referência para outros instrumentos de gestão, como é o caso da outorga, da cobrança, do licenciamento e monitoramento ambiental (ANA, 2015).

3. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH): corresponde a “um amplo sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos, bem como fatores intervenientes para sua gestão”. Todos os dados devem ser disponibilizados no portal da ANA, os quais são referentes à telemetria dos recursos hídricos, cadastro de usuários, mapas dos recursos hídricos, domínio de cursos d’água, abastecimentos urbanos etc. (ANA, 2015).

4. Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos: a ANA, amparada na legislação específica (Lei nº 9.433/1997, Lei nº 9.984/2000³ e no Decreto nº 3.692/2000⁴), é responsável pela fiscalização dos corpos d’água como rege a Carta Magna, monitorando, fiscalizando e controlando os múltiplos usos conforme a PNRH. Todo esse processo tem como prerrogativa a repressão e prevenção através de ações que visem o cumprimento da legislação por parte dos diversos usuários. Logo, a outorga “tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso aos recursos hídricos”. Desta forma, é dever da ANA, “emitir a Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos

³ “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, e dá outras providências” (BRASIL, 2000a).

⁴ “Dispõe sobre a instalação, aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos Comissionados e dos Cargos Comissionados Técnicos da Agência Nacional de Águas - ANA, e dá outras providências” (BRASIL, 2000b).

(DAURH), que torna obrigatória aos usuários a declaração dos volumes de água captados mensalmente durante o ano” (ANA, 2015).

5. Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos: como mais um instrumento de gestão da PNRH, a cobrança tem como objetivo: “i) dar ao usuário uma indicação do real valor da água; ii) incentivar o uso racional da água; e iii) obter recursos financeiros para recuperação das bacias hidrográficas do país”. Cabe ressaltar que a cobrança pelo uso dos recursos hídricos não é considerada um imposto, mas uma remuneração estabelecida pelos CBHs pelo uso dos recursos hídricos (ANA, 2015). Os CBHs são formados por representantes da União, dos Estados e do Distrito Federal, dos Municípios, dos Usuários e entidades ligadas aos recursos hídricos (BRASIL, 1997). É importante ressaltar que estas representações dependerão da área de atuação de cada comitê que, por sua vez, será definido de acordo com a localização geográfica de cada bacia hidrográfica, enquanto unidade de gestão.

A Figura 1 apresenta a matriz de funcionamento do SINGREH. Nela estão organizados, hierarquicamente, todos os órgãos e colegiados responsáveis pela gestão dos recursos hídricos no Brasil.

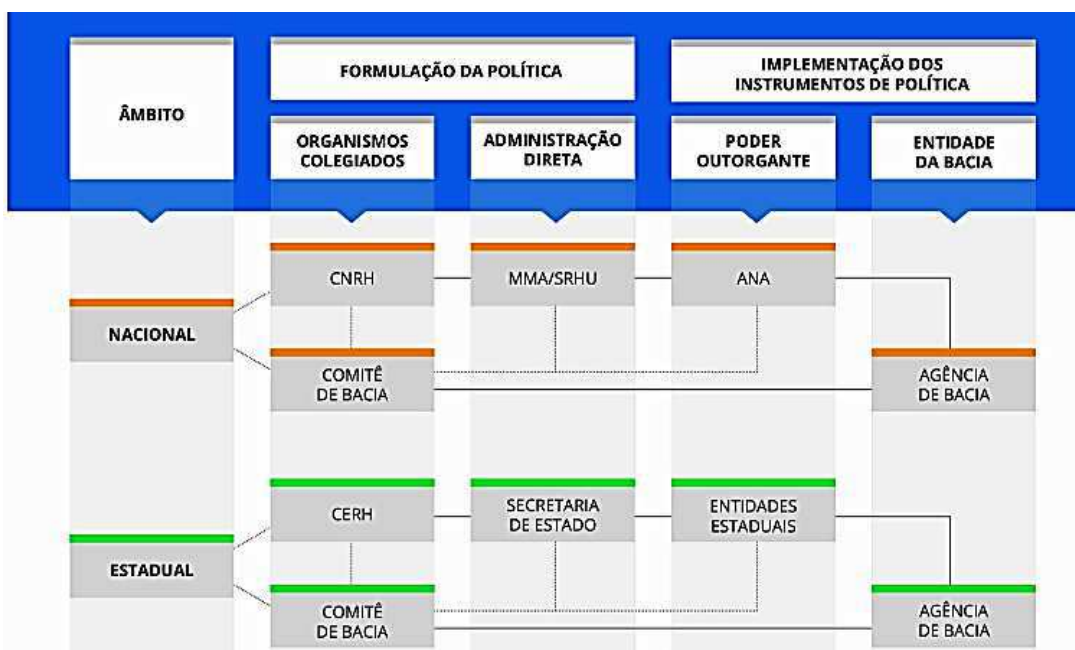


Figura 1 – Matriz e funcionamento do SINGREH
Fonte: ANA (2017)

De acordo com a ANA (2017) a principal atribuição do SINGREH é coordenar o processo de gestão dos recursos hídricos de forma mais democrática e participativa possível. Ele tem como principais objetivos:

1. “Coordenar a gestão integrada das águas”;
2. “Arbitrar administrativamente os conflitos relacionados aos recursos hídricos”;
3. “Planejar, regular e controlar o uso, bem como a recuperação dos corpos d’água”;
4. “Promover a cobrança pelo uso da água”.

No âmbito nacional, a formulação de políticas públicas direcionadas à gestão dos recursos hídricos é função tanto do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), que objetiva “subsidiar a formulação da Política de Recursos Hídricos e dirimir conflitos” quanto do Ministério do Meio Ambiente (MMA/SRHU), que visa “formular a Política Nacional de Recursos Hídricos e subsidiar a formulação do Orçamento da União”. Em relação a ANA, sua função é “implementar o Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNRH), outorgar e fiscalizar o uso de recursos hídricos de domínio da União”, no que diz respeito a implementação dos instrumentos de política. No âmbito estadual, é de responsabilidade dos Órgãos Estaduais (Secretaria de Estado e Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH)) “outorgar e fiscalizar o uso de recursos hídricos de domínio do Estado”. Quanto aos CBHs, cabe a estes “decidir sobre o Plano de Recursos Hídricos (quando, quanto e para quem cobrar pelo uso de recursos hídricos)”. Já as agências de bacia funcionam como escritórios técnicos dos CBHs (MMA, 2015).

Neste sentido, baseado na Lei 9.433/97, Garcia e Romeiro (2013) sintetizam os instrumentos da PNRH em três grupos. O primeiro, de ordem institucional, é composto pelo: CNRH, CERHs, CBHs e a Agência de Águas. O segundo grupo, de natureza técnica, é formado pelos: Planos de Recursos Hídricos (PRH), Enquadramento dos corpos d’água e Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Por fim, o terceiro grupo, de carácter econômico, é constituído pelos instrumentos de: Cobrança pelo uso da água e pelo Pagamento por Serviços Ambientais (PSAs).

Para Garcia (2012, p.14),

A Lei Federal nº 9.433/1997 não contempla orientações para uma participação mais ativa do município, indicando apenas que os poderes executivos do Distrito Federal e dos municípios deverão promover a integração de suas políticas de saneamento básico, uso, ocupação e conservação do solo e ambiental com as das esferas federal e estadual de gestão hídrica. Embora uma nova modalidade de gestão territorial tenha ganhado espaço no período recente, a criação de consórcios municipais. A coordenação integrada da gestão, arbitragem administrativa dos conflitos, implantação da PNRH, planejamento, regulação e controle do uso da água, assim como a preservação e recuperação hídrica e a promoção da cobrança pelo direito de uso da água são competências do SINGREH.

Com base no art. 41 e 42 da Lei 9.433/97, “as Agências de Água exercerão a função de secretaria executiva do respectivo ou respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica” e “terão a mesma área de atuação de um ou mais Comitês de Bacia Hidrográfica”. Para Pinhatti (1998 *apud* Garcia, 2012, p.17) a Agência de Bacia Hidrográfica (ABH) “é uma entidade jurídica de direito privado com estrutura administrativo-financeira própria, porém sem fins lucrativos”.

Conforme destaca o art. 43, para criação de uma ABH, é necessário atender as seguintes exigências mínimas de “I - prévia existência do respectivo ou respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica”; e “II - viabilidade financeira assegurada pela cobrança do uso dos recursos hídricos em sua área de atuação”. Já em seu art. 44, são objetivos das ABH,

I - manter balanço atualizado da disponibilidade de recursos hídricos em sua área de atuação; II - manter o cadastro de usuários de recursos hídricos; III - efetuar, mediante delegação do outorgante, a cobrança pelo uso de recursos hídricos; IV - analisar e emitir pareceres sobre os projetos e obras a serem financiados com recursos gerados pela cobrança pelo uso de Recursos Hídricos e encaminhá-los à instituição financeira responsável pela administração desses recursos; V - acompanhar a administração financeira dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos em sua área de atuação; VI - gerir o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos em sua área de atuação; VII - celebrar convênios e contratar financiamentos e serviços para a execução de suas competências; VIII - elaborar a sua proposta orçamentária e submetê-la à apreciação do respectivo ou respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica; IX - promover os estudos necessários para a gestão dos recursos hídricos em sua área de atuação; X - elaborar o Plano de Recursos Hídricos para apreciação do respectivo Comitê de Bacia Hidrográfica; XI - propor ao respectivo ou respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica (BRASIL, 97, art. 44).

Observa-se, portanto, que a Lei 9.433/97 implantou um modelo de gestão hídrica caracterizado, dentre outros aspectos, pelo caráter descentralizador das ações, definindo, para tanto, as unidades de gestão e a participação dos diversos usuários no processo deliberativo através dos CBHs e da ABHs, que, por sua vez, se utilizam do instrumento de cobrança como principal fonte de financiamento no processo de gerenciamento dos recursos hídricos (GARCIA; ROMEIRO, 2013).

A Figura 2 representa o esquema da gestão de bacias hidrográfica no Brasil. Observa-se que a gestão está dividida em cinco dimensões: implementação, decisões, planejamento, financiamento e participações.

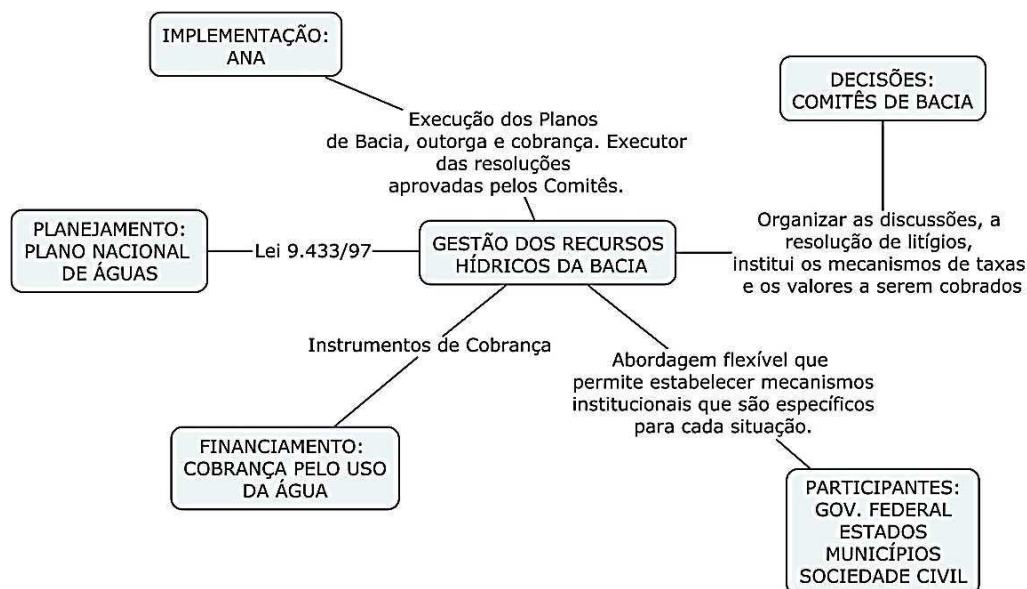


Figura 2 – Gestão em Bacias Hidrográficas no Brasil
Fonte: (Adaptado de CARVALHO; MAGRINI, 2006)

No Brasil, país de dimensões continentais, uma mesma bacia hidrográfica pode servir a mais de um Estado da Federação, o que, por sua vez, representa uma fonte de conflito no que diz respeito ao uso da água. Os conflitos em bacias hidrográficas no Brasil, segundo Carvalho e Magrini (2006), surgem a partir da forte concorrência pelo uso da água em primeiro lugar e, em um segundo momento, pela emissão de efluentes. Além desses dois motivos, Haftendorn (1999 *apud* Rufino, Vieira e Ribeiro, 2006) aponta que esses tipos de conflitos também decorrem em razão do “acesso equitativo aos recursos em situação de escassez absoluta ou relativa.”.

De acordo com Serrano e Carvalho (2013), a elaboração do plano de bacia pelo CBH, enquanto sua principal função, tem o objetivo de contemplar a antecipação dos diversos usos possíveis, o diagnóstico do cenário atual, a elaboração dos balanços hídricos e serve de base para ações concretas na busca pelo desenvolvimento dos recursos hídricos.

2.3 O processo de outorga de direito de uso dos recursos hídricos

Uma vez enquadrados e classificados os diversos corpos d’água ao longo do sistema de recursos hídricos, tendo como referência a qualidade desejada e almejada, os diversos usuários são cadastrados e, assim, o instrumento de outorga de direito de uso é aplicado. A aplicação da outorga de direito de uso configura-se como um processo legal no qual se

estabelece uma autorização ao usuário para utilizar uma determinada quantidade d'água do sistema de recursos hídricos. O uso é condicionado e não é dada, portanto, a apropriação do recurso, mas sim o direito a utilizar determinada quantidade, podendo ser revogada a qualquer momento, haja vista a situação do sistema (SERRANO; CARVALHO, 2013).

Neste sentido, a outorga do direito de uso dos recursos hídricos pode ser definida como “um instrumento em que o poder público confere o direito de uso do recurso a um ente público ou privado, considerando a quantidade, qualidade, a finalidade de uso e o tempo a ser utilizado” (FRANTZ; CRUZ, 2010, p. 2).

Nas palavras de Lanna (2000, p. 89), a “outorga do uso da água será o primeiro instrumento a ser aplicado ao longo da implantação de sistemas de gerenciamento de recursos escassos. Apenas os usuários que já contam com outorga deverão ser objeto de cobrança”. De acordo com o autor, esse instrumento tem como função, objetivando a melhor situação possível para a sociedade, distribuir recursos de forma a atender os diversos usuários, tomando-se como base as alterações no cenário econômico, a equidade social e a sustentabilidade ambiental.

Neste sentido, em função da complexidade e da disponibilidade do recurso água no sistema, a gestão da distribuição é de suma importância para atender as diversas demandas, sendo, assim, uma tarefa árdua, haja vista que nem sempre haverá disponibilidade em determinadas localidades (LANNA, 2000).

Gerenciar a disponibilidade dos recursos hídricos significa buscar avaliar e realizar projeções em torno da quantidade disponível e da situação hidrológica do sistema, dado o nível de reservatórios, as vazões regularizadas ou mesmo as possíveis transposições. Uma vez concedida, o processo de outorga deverá levar também em conta, além do montante concedido, a vulnerabilidade do sistema como um todo face as possibilidades de racionamento em situações de estiagem. O prazo também é um fator importante em todo o processo, já que é eminente a possibilidade do detentor da outorga utilizar-se de volumes desnecessários com o intuito meramente de garantias futuras ou mesmo eliminarem a concorrência na demanda pelos recursos hídricos (LANNA, 2000).

Apesar destes aspectos, Santos e Cunha (2013) destacam que, de uma forma geral, o que se observa, ao longo da literatura sobre o processo de outorga no Brasil, é a baixa relevância dada aos aspectos relacionados à preocupação com os serviços ecossistêmicos. Isto faz do processo de outorga um processo que apenas autoriza a retirada de recursos hídricos nos diversos sistemas ao longo do país. Os autores chamam a atenção para tal aspecto em virtude da importância relativa do processo de outorga com a determinação de vazões ecológicas, que,

por sua vez, será determinante para a realização de todo o processo. Outro aspecto interessante também destacado pelos autores é o fato de que em situações de escassez, conforme a Lei 9.433/97, as prioridades de uso serão exclusivamente para o consumo humano e a dessedentação animal, sendo, assim, não considerado o aspecto ecossistêmico como mais um uso dentro do sistema.

Destaca-se ainda em relação a todo o processo, o fato de que cabe a ANA determinar a outorga em sistemas hídricos de jurisdição federal, sendo objetivo de cada Estado estabelecer suas próprias legislações quando se trata de sistemas de jurisdição estadual. Assim, é imprescindível, para a eficácia do sistema de gerenciamento hídrico, o cumprimento do devido papel desempenhado pelo processo de outorga (SANTOS; CUNHA, 2013).

Conforme a Lei 9.433/97, em seu art. 7, “as prioridades para outorga de direitos de uso de recursos hídricos” é um dos requisitos mínimos para a elaboração dos PRHs. Em seu art. 11, a Lei estabelece ainda que “o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água” (BRASIL, 1997). Já o art. 12 frisa que o processo de outorga dos recursos hídricos pelo poder público será aplicado na(o):

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

Cabe ressaltar que o processo deverá estar em consonância com os PRHs e os usos prioritários estabelecidos por estes, além de respeitar o enquadramento dos corpos d'água e as condições de captação dos recursos hídricos (BRASIL, 1997, art. 13). Além disso, é função dos poderes executivos Federal e Estadual a efetivação todo o processo (BRASIL, 1997, art. 14).

O processo de outorga deverá passar por uma avaliação, considerando os seguintes aspectos:

I - não cumprimento pelo outorgado dos termos da outorga; II - ausência de uso por três anos consecutivos; III - necessidade premente de água para atender a situações de calamidade, inclusive as decorrentes de condições climáticas adversas; IV - necessidade de se prevenir ou reverter grave degradação ambiental; V - necessidade de se atender a usos prioritários, de interesse coletivo, para os quais não se disponha de fontes alternativas; VI - necessidade de serem mantidas as características de navegabilidade do corpo de água (BRASIL, 1997, art. 14).

A outorga configura-se, além de um instrumento de garantia ao direito de uso da água, como um mecanismo que permite ao poder público acompanhar a evolução e o comportamento dos recursos hídricos em suas diversas atividades, o que, apesar da complexidade envolvida em todo o processo, não é garantia para uma alocação eficiente de tais recursos. De certa forma, a outorga representa um avanço junto a todos os outros instrumentos de gestão em torno do problema dos recursos hídricos, principalmente em se tratando do ratear para os diversos usos e prioridades frente aos problemas de escassez.

Conforme Pires (1996 *apud* RODRIGUES *et al.*, 2011, p.84),

Somente através da outorga pode-se alcançar quase todos os objetivos fundamentais e específicos do gerenciamento. Embora seja um instrumento regulatório, a outorga tem o poder de aplicar, dentro de si, outros instrumentos como, por exemplo, o econômico, por meio da cobrança; inclusive pelo volume de água outorgado, mas não utilizado; e o zoneamento de regiões de proteção permanente, onde quase ou nenhum tipo de uso pode ser outorgado.

De um ponto de vista prático, Curi *et al.* (2011), ao analisarem a literatura especializada, constatam que, apesar da existência de diversos modelos para o processo de outorga em bacias hidrográficas no Brasil, a maior parte das outorgas aplicadas é respaldada em modelos que se utilizam de técnicas de simulação. Para os autores, este fato representa um problema, pois nem sempre é possível adaptar tais modelos a diferentes contextos. A constatação de tal aspecto só foi possível depois de diversas tentativas de adaptação dos modelos disponíveis ao caso da bacia do Rio Piancó no estado da Paraíba-PB.

Em um primeiro momento, Curi *et al.* (2011) verificaram que os modelos de simulação que utilizam vazão regularizável apresentaram limitações. No caso do Acquanet⁵ (vazão regularizada com 90% de garantia),

o modelo impedia que a análise de mais de um pedido de outorga fosse realizada para um mesmo reservatório, pois, apesar do Acquanet trabalhar com prioridade de atendimento, não assegurava que as garantias de atendimento às demandas prioritárias fossem mantidas constantes, e, portanto, não conseguia convergir para uma solução viável. [...] Em outras palavras, a cada nova demanda inserida no modelo, uma nova análise dos pedidos anteriores deve ser feita para todo o horizonte de planejamento e só deve ser alocada a água (caso existir) para essa nova demanda se não houver comprometimento dos pedidos de outorga já concedidos (anteriores), salvo se a demanda for prioritária em relação as já autorizadas. [...] A princípio imaginou-se que as limitações estariam no Acquanet e tentou-se, ao longo do estudo, “driblar” de várias maneiras o problema, mas a simulação conseguia realizar, com sucesso, apenas a primeira interação. Optou-se, então, por criar um modelo de simulação em linguagem MatLab e, após algumas versões sem sucesso, concluiu-se que não é possível realizar esse estudo através apenas de um modelo de simulação (CURI *et al.*, 2011, p.62).

⁵ “É um modelo de rede de fluxo desenvolvido pelo LabSid da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) (2002) e baseado no MODSIMP32, programa criado por John Labadie na Colorado State University” (LABADIE *et al.*, 1984 e AZEVEDO *et al.*, 1997 *apud* CURI *et al.*, 2011 p.61).

Em seguida, os autores lançaram mão da utilização de modelos de simulação baseados em vazão excedente. De acordo com os mesmos,

este método, ao invés de fixar uma vazão de referência, fixa a quantidade de falhas de atendimento para cada nível de prioridade. Neste caso, o usuário ao receber o direito de uso da água fica ciente do risco de não suprimento da sua demanda e, caso ocorram falhas de atendimento, os usos menos prioritários são imediatamente atingidos. Porém, essa metodologia também mostrou-se falha porque, para a bacia estudada, os valores representativos da vazão excedente eram muito pequenos (devido à própria natureza de acumulação do reservatório para transferências intra e inter-anuais no atendimento às demandas outorgadas, o que reduz a variabilidade das vazões outorgáveis, ou seja, vazões excedentes), o que inviabilizava o uso do modelo (CURI *et al.*, 2011, p.63).

Diante das dificuldades encontradas, em uma última tentativa, CURI *et al.* (2011, p. 63-64) passaram a utilizar modelos com critérios estáticos e dinâmicos em linguagem MatLab⁶,

onde um valor fixo era estabelecido para outorga a partir da série histórica de aflúncias do reservatório e baseado na vazão regularizada com 90% de garantia (critério estático), no entanto, era calculada uma vazão excedente para ser liberada em cada mês a novos usuários (critério dinâmico). Esse excedente poderia ser variável mês a mês, porém deveria ser limitado, para não comprometer as demandas prioritárias. Para isso fixava-se as vazões já outorgadas a cada mês e decidia-se o que mais poderia ser outorgar nos outros meses com uma determinada garantia. Essa metodologia também não apresentou resultados satisfatórios, porque, igualmente ao caso anterior, para a Bacia do Rio Piancó as vazões excedentes eram muito pequenas.

Após diversas rodadas de análises, os autores chegaram a conclusão de que os modelos utilizados não foram capazes de otimizar o processo de outorga direito de uso dada as limitações que os mesmos apresentaram em situações de simulação.

Assim, para superar tais limitações,

o processo de outorga deve se basear na otimização de uma função objetivo, sujeita a restrições, que incluem as equações mensais do balanço hídrico, e tem como resposta a garantia de atendimento às demandas solicitadas. A partir dessa garantia, pode-se analisar a viabilidade de concessão da outorga de água para o usuário (RODRIGUES *et al.*, 2011, p. 85).

Nesta perspectiva, afirmam os autores, para que o processo de outorga atenda seus objetivos básicos, é necessário lançar mão de um modelo capaz de otimizar o uso da água e gerar confiabilidade do atendimento da demanda em detrimento aos modelos de simulação, já que esses são critérios fundamentais em regiões semiáridas.

⁶ O MATLAB (MATrix LABoratory) “é uma linguagem de alto desempenho para computação técnica. Integra computação, visualização e programação em um ambiente de fácil uso onde problemas e soluções são expressos em linguagem matemática. Usos típicos: matemática e computação; desenvolvimento de algoritmos; aquisição de dados; modelagem, simulação e prototipagem; análise de dados, exploração e visualização; construção de interface visual do usuário” (HARAMURA JUNIOR, 2014, p. 2)

2.4 A cobrança pelo uso dos recursos hídricos

Ao longo da história recente, principalmente a partir da segunda metade do século XX, a crescente onda do chamado ambientalismo moderno fez surgir a criação de subdisciplinas na área da economia, com o objetivo de analisar os problemas ambientais. A crescente divergência entre teóricos das ciências do meio ambiente e das ciências econômicas ao longo do tempo – de um lado os ambientalistas conservacionistas, preocupados com os impactos sobre o meio ambiente, e do outro os economistas neoclássicos, ortodoxos que restringiam suas análises basicamente sobre os bens e serviços ecossistêmicos capazes de serem precificados e doravante ilimitados – deu origem a novas abordagens alternativas (no final dos anos 1980) voltadas para a análise ecológica sistêmica, assim como fez crescer o surgimento de economistas heterodoxos preocupados com a relação homem-natureza (GÓMEZ-BAGGETHUN *et al.*, 2010).

Todo esse contexto incentivou os estudos em torno das técnicas de avaliação monetária dos serviços ecossistêmicos em geral ao longo dos últimos anos. Essas técnicas, geralmente balizadas, na maioria dos casos, na análise do comportamento do consumidor (em mercados hipotéticos), utilizam-se da ferramenta da entrevista com o objetivo de capturar preferências de um grupo de consumidores/usuários, como é o caso da técnica de avaliação contingente⁷. Porém, a partir desses estudos, outras técnicas puderam ser criadas e aprimoradas ao longo dos anos. Buscou-se, dentre outros aspectos, avaliar as transferências de benefícios dos bens e serviços ecossistêmicos enquanto eixo central, dando origem a uma nova economia dos ecossistemas (GÓMEZ-BAGGETHUN *et al.*, 2010).

Neste sentido, uma questão importante diante de tudo isso consiste em estabelecer que a relação entre os serviços ecossistêmicos e a sua avaliação econômica, enquanto linguagem comum, deve considerar como principal elemento a relação entre os aspectos dominantes do ponto de vista político, assim como do ponto de vista econômico. O foco sobre a valorização monetária e formulação de políticas baseadas no mercado tem contribuído muito para integrar a ciência e os serviços ecossistêmicos e, ao mesmo tempo, atrair apoio político para a sua conservação. Desta forma, os Pagamentos pelos Serviços Ecossistêmicos (PSEs) estão atraindo o interesse pela busca de mecanismos capazes de melhorar, conservar e alcançar resultados mais satisfatórios em torno dos problemas relacionados às ações antrópicas geradoras de impactos negativos sobre o meio ambiente (GÓMEZ-BAGGETHUN *et al.*, 2010).

⁷ Método que busca determinar a preferência das pessoas pelo bem ou serviço ambiental a partir de perguntas ou cenários nos quais se pode retratar a disposição destas a pagar pelo recurso ambiental valorado (ORTIZ, 2003).

De acordo com Vuletić *et al.* (2011), o conceito de serviços ecossistêmicos foi introduzindo no início da década de 1980, e, por definição, refere-se a todos os serviços prestados de uma forma geral pelos recursos naturais. Para os autores, só a partir da década de 1990 que tal conceito ganhou uma maior importância política, dada a expansão dos métodos de avaliação do capital natural mundial e seus serviços prestados à sociedade.

Para Norgaard (2010), aproximadamente durante 15 anos ocorreu um processo de despertar da sociedade acerca dos impactos gerados em decorrência do consumo crescente de energia a partir do uso de recursos naturais. Esse processo, por sua vez, impulsionou a busca por modelos de gestão ambiental capazes de transformar as atuais relações antrópicas e seus impactos. Outrora, todo esse contexto fez crescer a indústria de profissionais preocupados em assessorar e, ao mesmo tempo, aperfeiçoar a utilização dos serviços ecossistêmicos, assim como pressionou a sociedade em torno da criação de novas instituições globais e mais dedicadas à governança dos recursos naturais, a partir da ideia de avaliação dos serviços ecossistêmicos.

Na visão de Martin-Ortega, Ojea e Roux (2012), o PSE tem recebido uma atenção crescente pela literatura especializada, já que os conhecimentos adquiridos ao longo dos anos sobre o assunto têm contribuído para melhorar a eficácia dos programas de conservação. Os autores destacam ainda que, no caso da América Latina, a maior parte das experiências com PSEs tem sido direcionada para os problemas decorrentes das diversas demandas pelos recursos hídricos.

Neste caso específico, o uso do instrumento da cobrança tem desempenhado um papel importante na busca por um processo mais eficiente de gerenciamento. A partir do momento que esse tipo de instrumento tem como prerrogativa a redução dos desperdícios e o controle dos níveis de qualidade e quantidade disponíveis, ele se torna de grande importância para a manutenção do estoque hídrico, pois, além de estimular o uso racional, pode angariar fundos para a ampliação e manutenção de programas e políticas públicas voltadas para a ampliação dos níveis de eficiência da gestão.

O PSE em bacias hidrográficas é de fundamental importância para a manutenção dos serviços prestados aos diversos usuários a jusante, além de representar uma forma inovadora de atingir a segurança hídrica do sistema. Desta forma, para que um programa de PSEs seja bem sucedido, se faz necessário que as ações e mudanças a montante resultem em benefícios à jusante, ou seja, as claras relações de causa e efeito, entre as práticas de uso da terra e da água a montante e a prestação de serviços para os usuários a jusante precisam ser identificadas, variando em grau de caso para caso (SMITH *et al.*, 2008). Os autores destacam, ainda, que é

importante definir os objetivos do processo de cobrança, levando-se em consideração tais relações de causa e efeito, pois, ao criar metas claras e tangíveis, possibilita-se identificar quais serão os locais alvos de ações dentro do sistema, assim como pode gerar maior transparência e confiança entre os diversos usuários.

Na perspectiva de Fodor (2014, p. 217) “os serviços ecossistêmicos são essenciais, não substituíveis e mal compreendidos. Hoje em dia existem custos reais para a sua proteção e disposição. Portanto, alguém tem de pagar esses custos. Mas, no entanto, os pagamentos não necessitam de mercantilização”.

Por outro lado, ao estudar as experiências europeias, Godoy (2011) reforça o fato de que ainda são identificadas barreiras a serem enfrentadas na busca pela eficácia do sistema de cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Para o autor, os diversos trabalhos sobre o tema têm defendido a ideia de que o preço mais adequado a ser praticado é aquele que atenda as necessidades de equilíbrio (oferta e demanda), permitindo o acesso aos recursos no longo prazo e, ao mesmo tempo, impulse a mudança de comportamento dos usuários. Porém, afirma o autor, é preciso levar em consideração outros elementos, como é o caso dos impactos que as negociações exercem em torno da determinação do preço, o que, por sua vez, exige uma nova forma de abordar o tema. Neste sentido, Godoy (2011) considera a necessidade de uma nova abordagem alternativa que leve em conta os aspectos relacionados ao ambiente de negociação, de disputa e suas dinâmicas sociais no âmbito dos comitês de bacias.

Logo,

O ambiente de disputa e negociação é que, de um lado, existem os agentes que tentam manter ou trazer para seus grupos privilégios e/ou rendas de outros grupos e, do outro lado, aqueles que desejam modificar a situação existente ou que visam à disponibilidade do recurso com qualidade para toda a sociedade (GODOY, 2011, p. 202).

Desta forma,

Entende-se, portanto, que a gestão dos recursos hídricos nos comitês e agências de bacia é permeada por relações sociais, culturais, econômicas e de poder que influenciam as ações do governo e são influenciadas pelo mesmo na busca de alternativas para os problemas de escassez e/ou qualidade da água e sustentabilidade de longo prazo (GODY, 2011, p. 203).

A determinação da cobrança no âmbito dos comitês de bacia é influenciada tanto por questões de ordem técnica, como a disponibilidade dos recursos hídricos, as diversas demandas, os diagnósticos e os diversos cenários, por exemplo, quanto por questões permeadas pelas negociações entre grupos. Tais relações de negociações podem ser alteradas ao longo do tempo na medida em que surgem novos grupos ou atores sociais que possuam força suficiente para

enfrentar o grupo dominante. Geralmente estes grupos são compostos por atores sociais carregados de assimetrias de informações e de conhecimentos, além de ocuparem posições distintas no âmbito econômico, social e político em todo o sistema de recursos hídricos (GODOY, 2011).

Frente a essa situação, “o valor estipulado será definido no processo de negociação social, ou seja, será fruto de acordo no âmbito do CBH e não o ponto de equilíbrio entre oferta e demanda e nem o valor monetário, que permite a internalização das externalidades” (GODOY, 2011 p. 207).

Outro aspecto importante a ser destacado, em relação ao processo de cobrança, é a necessidade de distinção entre os conceitos de usos consuntivos e não consuntivos dos recursos hídricos. Os usos consuntivos correspondem às retiradas dos mananciais para diversos fins, retornando ao sistema uma quantidade e/ou qualidade inferiores a da retirada. Já os de usos não consuntivos correspondem aos recursos hídricos que, uma vez utilizados, continuam no interior do sistema (JARDIM; BURSZTYN, 2015). São exemplos de uso consuntivos: irrigação, abastecimento urbano e industrial. No caso dos não consuntivos pode-se citar: a geração de energia pelas hidroelétricas, a pesca, o turismo, etc.

2.4.1 Experiências internacionais com a cobrança pelo uso dos recursos hídricos: breves considerações

De um ponto de vista geral, pode-se dizer que a maior parte dos países no mundo são detentores de recursos hídricos necessários para atender suas demandas, sejam elas domésticas, industriais, agrícolas e ambientais. A questão central em torno da problemática dos recursos hídricos em todo o mundo está basicamente centrada na gestão desses recursos.

Na visão de Dias, Barros e Souza (2010), no mundo inteiro, principalmente na Europa, os diversos países procuraram desenvolver mecanismos mais eficientes e eficazes na busca por soluções que visão minimizar os problemas decorrentes do processo de gestão dos recursos hídricos. Segundo os autores, a França e a Alemanha, por exemplo, procuraram desenvolver mecanismos de gestão focados principalmente na gestão participativa e descentralizada, onde as decisões coletivas entre os diversos usuários tornam-se o ponto central na definição dos planos de investimentos de bacia, das outorgas de direito e da cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

Ao analisar o instrumento da cobrança pelo uso dos recursos hídricos em diversos países pelo mundo, a OCDE (2017) destaca algumas características importantes:

1. Nos casos mais avançados, a cobrança é gerenciada comumente em níveis subnacionais. Por exemplo: na França a nível de bacia hidrográfica, na Bélgica é administrada regionalmente, na Alemanha administrada em nível estadual e no Reino Unido administrada por quatro administrações descentralizadas;
2. O valor cobrado, na maioria dos casos, é função principalmente da origem da água (subterrânea ou superficial) e do tipo de usuários (doméstico, industrial e agrícola);
3. A cobrança visa principalmente as empresas do ramo industrial ligadas de alguma forma ao setor de recursos hídricos que pagam um custo relativamente mais elevado em relação ao setor agrícola, que, por sua vez, se beneficia de descontos ou isenções.

Para a OCDE (2017, p. 79),

4contrariamente ao Brasil, o objetivo da cobrança nem sempre é declarado nos países revisados, particularmente no que seria esperado concretizar do ponto de vista ambiental. Uma exceção é o texto institucional introdutório sobre a cobrança pela captação de água em Baden-Württemberg (um dos estados alemães). O texto deixou claro, como no caso brasileiro, que a cobrança pretendia ter três objetivos principais: conscientizar através da aplicação do princípio da precaução; incentivar os usuários a economizar água; e reequilibrar a competitividade (captações próprias versus oferta através de redes de distribuição).

Na França, por exemplo, país com mais 40 anos de experiência com a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, três tipos de cobrança são realizadas: pela poluição, pela captação de água e pela modificação do regime da água. Desde 1975 que a cobrança pelos usos dos recursos hídricos foi implantada a nível nacional. O sistema de cobrança francês também utiliza-se de descontos para os usuários que adotam sistemas de tratamento de efluentes. Em 2008 o modelo francês foi alterado e passou a contemplar sete tipos de cobrança: captação de água, poluição da água, modernização das redes de coleta de esgoto, poluições difusas, armazenamento de água em período de estiagem, obstáculos em cursos de água (barramentos) e proteção dos ecossistemas aquáticos (LANNA; LAIGNEAU, 2010). Nele “a cobrança pela captação de água é a principal ferramenta utilizada para a gestão da quantidade de água” (OCDE, 2017 p. 79).

No caso da Austrália, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos foi instituída na década de 1990 por diretrizes estabelecidas pela National Water Initiative (NWI). Desde então, a NWI instituiu taxas e tarifas com o objetivo de recuperar os custos de manutenção dos sistemas hidráulicos e os investimentos realizados na bacia hidrográfica. Em razão dos problemas decorrente da escassez hídrica em grande parte do território australiano, vários estados se obrigaram a adotarem posturas diferenciadas em relação a cobrança pelo uso dos recursos hídricos mesmo tendo que seguir as diretrizes estabelecidas pela NWI. Em geral, no caso

australiano, a outorga de direito não está ligada ao terreno e sim a bacia hidrográfica. Neste sentido, as outorgas de direito de uso são comercializáveis em qualquer local dentro dos limites geográficos da bacia, criando assim um mercado específico. Ou seja, na Austrália há um mercado de outorgas de direito de uso baseada na cobrança pelo volume captado por parte do usuário final (GAMA ENGENHARIA, 2016).

No Chile, o Código da Águas data de 1981 e estabelece a água como um bem de propriedade nacional e de uso público. O Código também garante a transferência de outorgas de direito de uso entre os diversos usuários visando obter mais eficiência alocativa dos recursos hídricos, estabelecendo, assim, um mercado de outorga de direito pelo uso da água. Em geral, a cobrança é realizada com base em duas tarifas: uma variável (que visa a recuperação de custos e a maximização do bem-estar da sociedade) e a outra fixa (que tem como objetivo principal a recuperação total dos custos) (GAMA ENGENHARIA, 2016).

O Código das Águas (1981) foi elaborado para proteger os costumes e tradições em termos de direitos de uso de água, e para abrigar realocações, por meio de transferências de mercado que sejam economicamente benéficas. Os mercados de água prevalecem nas áreas de escassez, como resultado da demanda por usos de água altamente avaliados e facilitados por transações com custos baixos, nos mercados onde associações de usuários e infraestruturas hídricas auxiliam as transferências de água. Na ausência dessas condições, a comercialização dos direitos de água tem sido baixa e rara, e os mercados de água não foram institucionalizados (GAMA ENGENHARIA 2016 p. 29).

No norte do Chile, é comum a vigência de valores permanentes para compra do direito de uso de água, o que indica que o mercado reflete o cenário de escassez hídrica. Como resultado da reforma promovida pelo Código, combinado com o desempenho da Comissão de Defesa da Concorrência, a distorção monopolista devido à especulação e os direitos de usos não empregados, a acumulação de direitos foi reduzida. Por sua vez, direitos de água que ainda não são utilizados não representam, geralmente, um grande obstáculo para o desenvolvimento de atividades econômicas nas bacias hidrográficas, sendo que a tendência é que os direitos não utilizados diminuam ao longo do tempo, devido aos aumentos previstos para as tarifas de não-uso (GAMA ENGENHARIA 2016 p. 29).

Na Bélgica a cobrança pelo uso dos recursos hídricos é variada e depende do volume captado. Os usuários pagam um valor unitário por cada metro cúbico captado. Por outro lado, também ocorre o pagamento em função de valores fixos em relação a quantidade de hectares em propriedade agrícolas e por megawatt-hora no caso da geração de energia elétrica. Em relação a cobrança baseada em águas subterrâneas, os valores cobrados podem ser crescentes considerando o consumo de cada usuário. Em contrapartida, para águas superficiais, a cobrança pode assumir valores decrescentes dependendo também da forma de consumo (OCDE, 2017).

Na Inglaterra e País de Gales, destaca a Gama Engenharia (2016), a cobrança pelo uso dos recursos hídricos é bastante estruturada e está em vigor desde 1965. O sistema de cobrança

inglês visa a recuperação dos custos totais relacionados as operações do chamando Regulador Ambiental, que por sua vez, é encarregado tecnicamente por todas as questões e aspectos inerentes aos recursos hídricos.

Na Espanha, a preocupação com a recuperação dos custos financeiros também é um aspecto central em relação a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. No país, a cobrança é realizada pela autoridade de bacia hidrográfica ou pela administração tributária. Cabe destacar que o processo de recuperação dos custos financeiros leva em consideração a eficiência do uso dos recursos hídricos, além das metas ambientais pré-estabelecidas. Em linhas gerais, pode-se dizer que o sistema espanhol de cobrança pelo uso dos recursos hídricos incide sobre as finalidades de abastecimento doméstico, agricultura e uso industrial, baseado em um processo transparente (OCDE, 2017).

Em Portugal, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos ocorre desde 2008 por força de Lei. A cobrança leva em consideração aspectos que vão mais além do que meramente a captação de água. No país é contemplado a cobrança: pela poluição; por ocupação da superfície, leitos e margens de corpos d'água; pela mineração de areia e pelos custos relativos a gestão dos recursos hídricos. Além desses aspectos, a cobrança leva, também, em consideração os efeitos da escassez hídrica de cada região do território português (OCDE, 2017).

A Tabela 1 apresenta uma síntese das principais características da cobrança pelos usos dos recursos hídricos nos países analisados pela OCDE em relação, principalmente, aos aspectos relativos a captação de água. Nela são estabelecidas as bases de cálculo, os níveis de valores cobrados e as autoridades responsáveis pela cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

Tabela 1 – Cobrança pela captação de água em alguns países da OCDE

País	Bases da cobrança		Unidades (m ³ , ha, MWh)	Níveis de valores (EUR/1.000m ³)	Autoridade responsável/ Arrecadado por
	Águas subterrâneas (GW) ou águas superficiais (SW)	Outra			
Austrália (Território da Capital da Austrália)	Sem diferenciação		m ³	Abastecimento Urbano: EUR 360 (2013) Outros: EUR 175 (2013)	Governo do território da capital da Austrália
Bélgica (Flandres)	GW	Varia com o aquífero	m ³ + IBT	500 – 30.000 m ³ : EUR 50 Acima de 30.000 m ³ : EUR 62	Autoridade regional
Bélgica (Flandres)	SW		m ³ + IBT	< 1 Mm ³ : EUR 63	Autoridade regional
Bélgica (Wallonia)	GW apenas		m ³ + IBT	3.000 - 20.000 m ³ : EUR 25 20.000 – 100.000 m ³ : EUR 74	Autoridade regional

Tabela 1 – Cobrança pela captação de água em alguns países da OCDE

Continuação:

República Tcheca	SW	Varia com a bacia	m ³	Média nacional: EUR 115 (2014) < 6.000 m ³ por ano: isento	Comissões de rios
República Tcheca	GW		m ³	Média nacional: EUR 35 (2013)	
Estônia	GW, SW e água mineral	Varia com o aquífero	m ³	GW: EUR 60 - 160* SW: EUR 2 - 38	
França	Diferenciada entre GW e SW	Área de distribuição de água (ZRE)	m ³ se medido; com proxies ou fixas se não medido	Abastecimento de água potável: EUR 35-51 (2009) Irrigação: EUR 2 – 16 (2009)** Hidrelétrica: EUR 0,17 – 0,64 (2009)	Agências de água (Nível de bacia hidrográfica)
Alemanha (Baden-Württemberg)	GW			Abastecimento público, produção térmica e outros (Incl. Irrigação): EUR 51	Governo estadual
Alemanha (Baden-Württemberg)	SW			Abastecimento público: EUR 51 Produção térmica e outros (Não incl. Irrigação): EUR 10	Governo estadual
Hungria	Diferenciada de acordo com o tipo de água (e. g. água superficial, água termal)		m ³ ou estimação própria para irrigação	EUR 0 – 100	Direção regional da água
Polônia	GW		m ³	EUR 15 – 25/1.000m ³ (2011)	
	SW		m ³	EUR 9 – 13/1.000m ³ (2011)	
Portugal	GW, SW, mas cobranças diferentes porque a GW é considerada água privada	Os valores unitários variam muito para diferentes usos e variam para diferentes regiões, refletindo a escassez hídrica.	m ³	Agricultura e Aquicultura: EUR 0,003/m ³ ; Energia térmica refrigerante: EUR 0,0027/m ³ ; Abastecimento municipal: EUR 0,013/m ³ ; Outros usos: EUR 0,015/m ³ ; Podem aplicar-se alguns coeficientes que refletem circunstâncias específicas estabelecidas em lei.	Arrecadados pela administração da bacia do rio. 40% necessariamente utilizados na bacia hidrográfica onde são arrecadados, 50% podem ser distribuídos por todas as bacias hidrográficas de acordo com suas necessidades, 10% podem ser usados pela agência central.
Eslovênia			m ³ com a exceção da produção de energia e da energia hidrelétrica (MWh)	Abastecimento de água potável: EUR 55 *** Irrigação de terras agrícolas: EUR 1 Centrais hidrelétricas acima de 10 MW: EUR 1.500 Centrais hidrelétricas abaixo de 10 MW: EUR 190	

Notas: *Bancos de dados da OCDE sobre instrumentos econômicos (sem data fornecida); ** Imposto aplicado à irrigação não gravitacional; *** Bancos de dados da OCDE sobre instrumentos econômicos (sem data fornecida);

Fonte: (OCDE, 2017)

2.4.2 A cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil

No Brasil, dentre os instrumentos da PNRH, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos tem como objetivos I – “reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor”; II – “incentivar a racionalização do uso da água”; e III – “obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos” (BRASIL, 1997, art. 19).

De acordo com a Lei 9.433/97, serão cobrados os recursos hídricos que forem submetidos ao processo de outorga de direito de uso. Assim,

Usos não sujeitos à Outorga não estão, conseqüentemente, sujeitos à Cobrança. Eles são definidos pela Lei nº 9.433 como usos de pouca expressão, ou insignificantes. Como devem ser estabelecidos a partir de propostas dos Comitês de Bacia, cabe a esses colegiados definir aqueles usos que devem ter garantido o uso independentemente da autorização legal e que não precisam contribuir obrigatoriamente com recursos arrecadados por meio da Cobrança (ANA, 2014a, p. 20).

É importante aduzir também que o processo da cobrança pelo uso dos recursos hídricos deve levar em consideração, para a determinação de valores a serem cobrados, pelo menos os seguintes aspectos: I – “nas derivações, captações e extrações de água, o volume retirado e seu regime de variação”; e II – “nos lançamentos de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, o volume lançado e seu regime de variação e as características físico-químicas, biológicas e de toxicidade do afluente” (BRASIL, 1997 art. 21).

Consoante a ANA (2007), a cobrança pelo uso da água no Brasil é considerada um grande avanço na implantação do Sistema Integrado de Gestão dos Recursos Hídricos (SIGRH). Ao mesmo tempo, configura-se também como um processo importante na busca pela racionalização do uso dos recursos hídricos, pois visa estimular o uso racional e evitar desperdícios, assim como reduzir a carga de efluentes nos corpos d’água.

O Quadro 2 apresenta uma visão geral do aparato legal e institucional da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil ao longo dos anos:

Quadro 2 – Visão geral do aparato legal e institucional da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil.

<i>ANO</i>	<i>MECANISMO LEGAL/INSTITUCIONAL</i>
<i>1916</i>	<i>Código Civil:</i> “Possibilidade de cobrar pelo uso do bem público, de acordo com as leis federais, estaduais e municipais”.
<i>1934</i>	<i>Código das águas:</i> “Possibilidade de cobrar pelo uso dos recursos hídricos. Considerou a água como propriedade privada quando situadas em terras privadas”.

Quadro 2 – Visão geral do aparato legal e institucional da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil.

Continuação:

1981	Plano Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938/81): “Obrigação dos poluidores de compensar os danos ambientais e pagar pela exploração de recursos ambientais com fins econômicos”.
1988	Constituição Federal: “Exclusão da água como propriedade privada e consolidação do duplo domínio”.
1997	Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97): “Estabelecimento da cobrança pelo uso dos recursos hídricos”.
2000	Lei nº 9.984/2000: “Criação da Agência Nacional de Águas – ANA e definição dos seus papéis, incluindo a implementação, juntamente com os CBHs, das cobranças pelo uso de recursos hídricos de domínio da União”.
2004	Lei nº 10.881/2004: “Regulamentação dos contratos de gestão entre a ANA e as entidades delegatárias de funções de agências de água”.
2005	Resolução CNRH nº 48/2005: “Critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos”.
Posterior a 2005	Legislações Estaduais: “Em geral, reaplicação dos objetivos estabelecidos pela Lei das águas nº 9.433/97”.

Fonte: OCDE (2017, p. 39).

A ideia da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil não é tão recente. Já em 1916, o Código Civil brasileiro considerava os recursos hídricos como bens públicos de uso comum e gratuito ou com retribuição, portanto, apareciam os primeiros sinais legais do processo. Com a elaboração do Código das Águas em 1934 a partir do decreto 24.643/34, os sinais em torno da normatização da cobrança já eram mais evidentes. Só em 1997, com a Lei 9.433/97, que a cobrança foi finalmente alvo de legislação específica. De acordo com a “Lei da Águas”, a cobrança é considerada condicionada a um processo pelo qual os diversos usos dos recursos hídricos devem levar em consideração aspectos como as características quantitativas, no processo de captação, e qualitativas, no processo de diluição de efluentes (ANA, 2007).

Neste sentido, em relação aos recursos hídricos e suas características enquanto bens públicos,

uma maneira de induzir ao melhor uso seria utilizando seu valor econômico enquanto insumo produtivo. Esse é o fundamento consagrado na Lei nº 9.433, de 1997, e que sustenta a implantação da Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos como instrumento de gestão da nova política para as águas (ANA, 2014a, p. 13).

De acordo com a ANA (2014a), a cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil teve como base fundamental o modelo francês de gestão, o que, de certa forma, pode ser considerado um aspecto inovador para o país. Portanto,

com tal realidade institucional, própria de um país federativo com múltiplos domínios das águas, o grande desafio da implantação da Cobrança é também aquele da política brasileira: articular a gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, independentemente do domínio a que esses estejam submetidos, permitindo que esse instrumento possa ser efetivo na solução dos problemas hídricos (ANA, 2014a, p.14).

O Quadro 3 abaixo destaca as características da cobrança pelo uso dos recursos hídricos em detrimento ao uso de taxas, tarifas e contribuições de melhoria.

Quadro 3 – Classificação da receita cobrança pelo uso dos recursos hídricos

		TAXA	TARIFA	CONTRIBUIÇÃO DE MELHORIA	PREÇO PÚBLICO
Classificação da receita		Tributária	Por serviços públicos	Tributária	Patrimonial
Base de cálculo (aplica-se a)		Exercício do poder de polícia ou serviço público essencial	Serviço público não essencial por meio de concessão ou permissão	Obras que promovam ganho patrimonial a terceiros	Uso de bem ou serviço público por meio de autorização
Mensuração do uso ou serviço	Sim		X	X	X
	Não	X			
Situação do uso do serviço	Efeitivamente prestado	Aplicável a ambos os casos	X	X	X
	Compulsório				
Instrumentos para o estabelecimento		Lei	Decreto executivo	Lei	Contrato ou Resolução que o efetive
Competência para a arrecadação		Poder público	Concessionário de serviço	Poder público	Poder público
Possibilidade de delegação		Delegável somente a ente público	Delegável a prestador privado	Delegável somente a ente público	Delegável somente a ente público
Vigência temporal		A partir de 1º de janeiro	A partir da vigência do Decreto	A partir de 1º de janeiro	A partir da vigência do contratual
Exemplos práticos		Taxa de fiscalização / taxa de limpeza pública	Serviços de água e esgoto	Serviços de asfaltamento urbano	Cobrança pelo uso da água

Fonte: ANA (2014a).

Conforme pode-se observar, a cobrança se classifica como um preço público que é estabelecido via resolução ou contrato e, a partir disso, dá origem a receitas decorrentes de patrimônio. Ela não pode ser considerada como imposto, mas como um preço público que se materializa de forma diferenciada em relação aos outros instrumentos de políticas públicas, pois sua determinação é fruto de debates e discussões no âmbito dos CBHs através de um pacto social oriundo de aprovação, e não por determinações isoladas do poder público (ANA, 2014a).

De um ponto de vista histórico, a Figura 3 apresenta o cronograma da implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil.

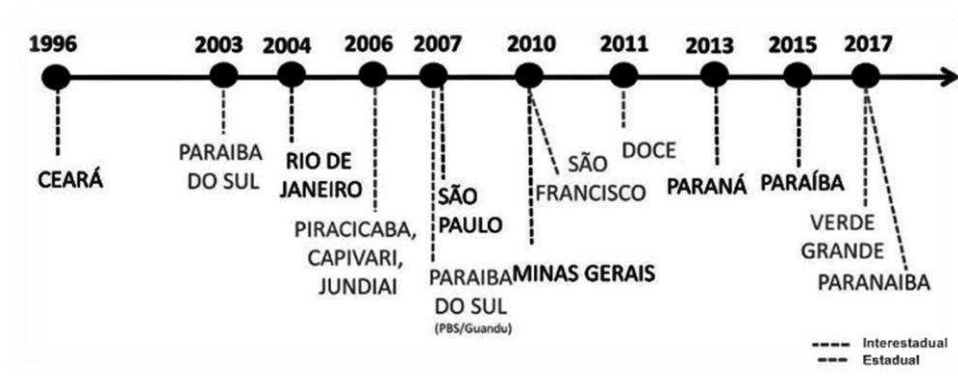


Figura 3 – Cronograma de implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil

Fonte: OCDE (2017)

Conforme observa-se, o Estado do Ceará - CE foi o pioneiro na implantação da cobrança, seguido pelos estados do Rio de Janeiro - RJ, São Paulo - SP, Minas Gerais - MG, Paraná - PR e a mais recentemente o estado da Paraíba - PB.

Em relação a evolução do processo de implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos a nível de Estado, a Figura 4 apresenta o histórico.

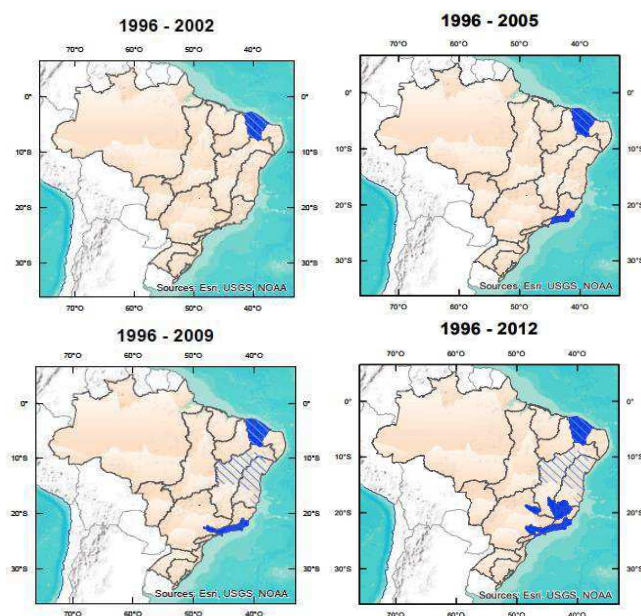


Figura 4 – Evolução da implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos – Bacias Estaduais

Fonte: (ANA, 2018)

Já no que diz respeito às bacias hidrográficas controladas pela União, a Figura 5 apresenta o cronograma de evolução do processo de implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

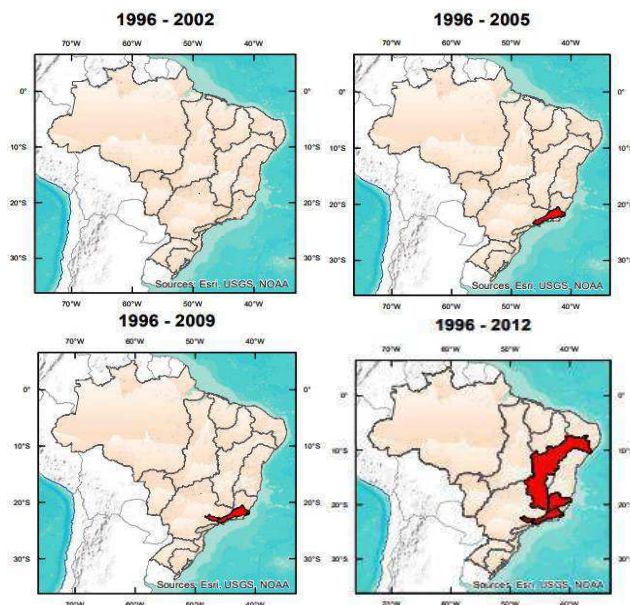


Figura 5 – Evolução da implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos – Bacias Federais

Fonte: (ANA, 2018)

A Figura 6 por sua vez, apresenta em nível estadual o atual momento da implementação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos destacando as situações onde a cobrança já foi implementada e as situações onde o processo ainda encontra-se em fase de implementação.



Figura 6 – Situação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos por Estados

Fonte: (ANA, 2018)

Por outro lado, a Figura 7 apresenta a bacias hidrográficas controladas pela União onde a cobrança pelo uso dos recursos hídricos já foi implementada.

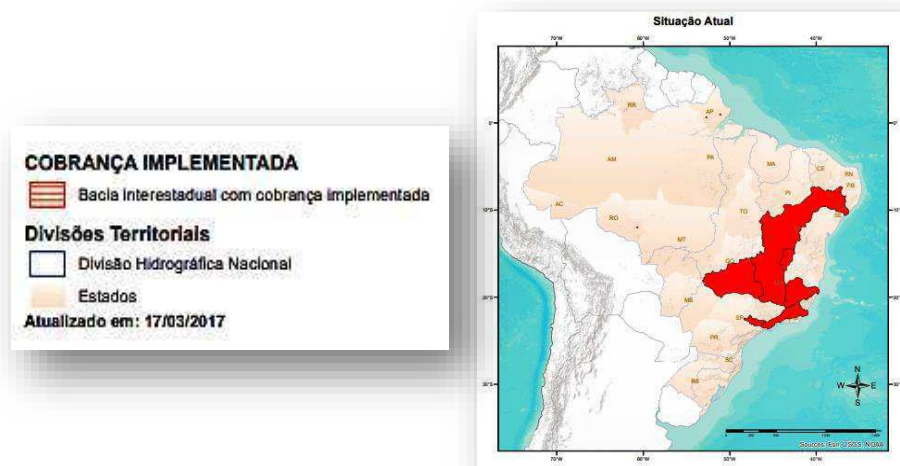


Figura 7 – Situação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos por bacias Federais
Fonte: (ANA, 2018)

Portanto, pode-se observar que mesmo já tendo iniciado em 1996 a implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, o Brasil ainda apresenta um processo lento e que atualmente não contempla todas as bacias hidrográficas em nível estadual assim como as bacias hidrográficas controladas pela União.

2.4.2.1 A cobrança pelo uso dos recursos hídricos em bacias hidrográficas controladas pela União.

No que diz respeito aos modelos de cobrança pelo uso dos recursos hídricos implantados no Brasil, conforme reforçam Rodrigues e Aquino (2014), as metodologias apresentam elementos estruturantes semelhantes entre si. Com exceção da metodologia adotada pelo estado do Ceará, as diferenças entre elas estão centradas principalmente em relação aos seus coeficientes setoriais e de adequação.

No caso do Ceará, pioneiro na implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, o instrumento da cobrança foi implantado um ano antes de promulgada a Lei 9.433/97, através do Decreto n. 24.264, de 12 de novembro de 1996. De acordo com Silva, Souza Filho e Aquino (2015, p. 49), a cobrança pelo uso da água na época

tinha o intuito de possibilitar meios de sustentabilidade para o sistema de gerenciamento dos recursos hídricos através do custeio da operação e manutenção da infraestrutura hídrica, além de apoiar a organização de usuários e o funcionamento dos Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará.

De acordo com Vianna (2011), o modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos implantado no Estado do Ceará – CE se diferencia em relação aos demais modelos implantados no Brasil pois inicialmente teve como principal característica a sua forma binomial baseada no custo marginal do gerenciamento dos recursos hídricos e na capacidade de pagamento dos usuários. Basicamente a cobrança pelo uso dos recursos hídricos cearense foi estruturada na cobrança de tarifas de demanda e em tarifas de consumo. Conforme destaca Finkler *et al.* (2015), com o passar dos anos, a necessidade de maior compreensão e aceitação por parte dos usuários, o modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos cearense evoluiu para sua forma monomial, sendo praticada apenas tarifas com base no volume de recursos hídricos consumido.

Urge destacar que “a cobrança no Estado do Ceará não faz uso de nenhum modelo específico de tarifação. Na verdade, a definição dos valores da cobrança sempre ocorreu por meio de acordos bilaterais entre a Companhia de Gestão e os grupos de usuários de água” (SILVA *et al.* 2015, p. 49).

Logo, na mesma linha de raciocínio, Finkler *et al.* (2015) apontam que a estrutura de cobrança pelo uso dos recursos hídricos no estado do Ceará atende as seguintes características:

$$T(u) = (T \times V_{ef}) \quad (1)$$

sendo “T(u)” a tarifa do usuário; “T” a tarifa padrão sobre volume consumido e “V_{ef}” o volume mensal consumido pelo usuário.

Por outro lado, pode-se dizer que a estrutura metodológica mais encontrada na literatura sobre cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil obedece basicamente a estrutura descrita pelo Quadro 4:

Quadro 4 – Estrutura básica dos mecanismos de cobrança pelo uso dos recursos hídricos

Valor da cobrança = Base de cálculo x Preço unitário x [Coeficientes]	
COMPONENTE	DESCRIÇÃO
Valor da cobrança	Valor financeiro total correspondente à Cobrança pelo uso de recursos hídricos.
Base de cálculo	Visa a quantificar o volume utilizado de água para captação, consumo, lançamento (e/ou diluição) e transposição.
Preço unitário	Define o valor financeiro unitário de determinado volume de uso da água, com base nos objetivos do instrumento da Cobrança.
Coeficientes	Visa adaptar os mecanismos definidos a objetivos, particularidades da bacia, ou usos específicos.

Fonte: ANA (2014, p. 37)

Nessa estrutura, cada um dos três elementos tem sua importância relativa. A base de cálculo, por exemplo, desempenha a função de quantificação do uso, seja ele na captação, no consumo e no lançamento de efluentes junto às fontes de recursos hídricos. De acordo com a ANA (2014a), a captação é definida como sendo a “retirada de água do corpo hídrico, que pode ser quantificada pelo volume anual de água captado”. Já o consumo é representado pela “parcela do volume captado que não é devolvida ao corpo hídrico e pode ser quantificada pela diferença entre o volume anual de água captado e o volume anual de água que retorna à fonte”. O lançamento, por sua vez, é definido como a “quantidade de água necessária para diluir a carga poluente lançada no corpo hídrico⁸”.

O preço público unitário (PPU) representa o pagamento pelo uso do bem público (no caso a água) e a sua definição pode obedecer a diversos critérios metodológicos que, de certa forma, podem ser classificados em dois grupos distintos: os critérios baseados em modelos de otimização e os critérios baseados em modelos “*ad hoc*”, sendo estes últimos considerados aqueles dos quais não possuem nenhuma fundamentação na Teoria Econômica (RODRIGUES; AQUINO, 2014). Logo, “os preços unitários são os valores financeiros correspondentes a determinado volume de água utilizado para cada tipo de uso (captação, consumo, lançamento ou transposição), de acordo com os objetivos da Cobrança” (ANA, 2014a, p. 38).

Os preços unitários básicos aprovados pelos CBHs e praticados no Brasil são considerados relativamente baixos quando associados às demandas inseridas nos Planos de Recursos Hídricos e a outras realidades pelo mundo (ver Tabela 1), o que, por sua vez, não estimula o uso racional dos recursos (ANA, 2014a). Conforme destaca a Tabela 2, no Brasil tais preços giram em torno de R\$ 0,0008 a R\$ 0,16.

Tabela 2 - Preços unitários de cobrança pelo uso dos recursos hídricos no mundo

País	Preços Unitários (R\$/m ³)
Brasil	0,0008 a 0,16
Inglaterra	0,04 a 0,12
República Tcheca	0,15 a 0,52
Peru	0,0001 a 0,05
Holanda	0,0748 a 0,45
Alemanha	0,03 a 0,15

Fonte: ANA (2014, p. 38)

⁸ “Os Comitês de Bacia têm adotado a carga de DBO lançada, em Kg, como base para a Cobrança de lançamento, sob justificativa de que tal procedimento é mais facilmente compreendido pelos seus membros. Entretanto, o ideal seria adotar a vazão de água necessária à diluição do efluente lançado calculada a partir da sua máxima concentração permitida em função da classe de uso na qual estiver enquadrado o corpo d’água. Agindo dessa forma, seria possível expressar o lançamento nas mesmas unidades da vazão captada ou consumida e, eventualmente, a vazão de diluição poderia ser cobrada com o mesmo preço adotado para a vazão de captação” (ANA, 2014a, p. 37).

O terceiro elemento estruturante da equação básica da cobrança, os coeficientes de ponderação, representam as particularidades regionais e setoriais. Seus valores são definidos geralmente em rodadas de negociações entre os diversos grupos sociais relacionados a cada bacia hidrográfica onde a metodologia é utilizada (RODRIGUES; AQUINO, 2014). Os coeficientes assumem, de forma geral, o papel de mecanismos adaptadores à realidade local e regional na estrutura básica da cobrança.

Para Thomas (2002, p. 58),

Apesar dos coeficientes serem amplamente utilizados para adequar os mecanismos de cobrança aos diversos objetivos específicos [...], nem sempre são quantificados de forma precisa sendo, por vezes, determinados através de negociações políticas. Compreende-se que as negociações políticas devam fazer parte da determinação do valor final dos coeficientes. Contudo, se as negociações políticas partirem de valores calculados de forma precisa e abrangente, haverá maior possibilidade dos coeficientes atenderem aos objetivos específicos da gestão de recursos hídricos do que aos interesses particulares de certos grupos de pressão. Além disso, ao calcular os coeficientes de forma precisa e abrangente, o mecanismo de cobrança ganha transparência e, conseqüentemente, credibilidade.

É importante frisar ainda que, “mesmo tendo respaldo na Lei Federal nº 9.433/97 e nas políticas de recursos hídricos dos Estados, a cobrança pela água nas bacias hidrográficas brasileiras está sendo efetivada de forma muito lenta” (RODRIGUES; AQUINO, 2014, p. 40).

Urge destacar também que, apesar das experiências bem sucedidas já existentes (o caso, por exemplo, dos rios Paraíba do Sul, PCJ, Doce e São Francisco) no Brasil ainda há espaço para avanços em relação ao controle da demanda hídrica via instrumentos econômicos. Um exemplo claro disso ocorreu no Estado de São Paulo quando o governo usou as tarifas da Companhia de Saneamento Básico do estado de São Paulo (SABESP) como mecanismo para reduzir a demanda hídrica em plena crise de 2015. Outro exemplo de avanço no uso de instrumentos econômicos para controle de demanda ocorreu com a criação de bandeiras tarifárias pelo setor energético nos anos recentes, visando reduzir o consumo de energia elétrica. Na irrigação, o uso de tarifa para boa manutenção de perímetro irrigado também pode ser destacado, haja vista a implantação desse instrumento no Distrito Nilo Coelho, na bacia hidrográfica do Rio São Francisco (GAMA ENGENHARIA, 2016).

Impende dizer ainda, conforme afirma a Gama Engenharia (2016), que no caso da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, o uso da política de tarifas sobre o consumo d'água na agricultura irrigada, com o objetivo de incitar a substituição de métodos menos eficientes de irrigação, garantir, recuperar e manter um serviço adequado, vêm surtindo efeito na medida em que a demanda hídrica tem sido menor do que a demanda projetada para o início das atividades no Distrito Nilo Coelho. Desta forma, a Gama Engenharia argumenta que existe uma trajetória

de sucesso testada tanto aqui como fora do Brasil em relação ao uso de instrumentos econômicos para a redução da demanda.

Ainda de acordo com a Gama Engenharia (2016), em um ponto de vista geral, ao analisar o histórico da cobrança pelo uso dos recursos hídricos em bacias hidrográficas controladas pela União, observa-se que as experiências brasileiras têm se aproveitado, ao longo dos anos, de experiências passadas para evoluir. Como resultado atual, o que se tem são modelos de cobranças pelo uso dos recursos hídricos, semelhantes em sua estrutura básica, com diferenciações pautadas, principalmente, em questões como as particularidades de cada região e nos avanços no campo teórico em relação à cobrança dos recursos hídricos.

No que tange aos modelos de cobrança pelo uso dos recursos hídricos implantados em bacias hidrográficas federalizadas atualmente, segundo argumentam Finkler *et al.* (2015), estão estruturados, basicamente, em função de seis elementos: captação, consumo, lançamento, geração de energia, consumo agropecuário e transposição. Conforme o Quadro 5 a seguir:

Quadro 5 - Equações praticadas por cada bacia hidrográfica interestadual para a cobrança total pelo uso dos recursos hídricos.

Bacia Hidrográfica do Rio	Equação básica da Cobrança pelo uso dos recursos hídricos
São Francisco	$\text{Valor}_{\text{total}} = (\text{Valor}_{\text{cap}} + \text{Valor}_{\text{cons}} + \text{Valor}_{\text{DBO}} + \text{Valor}_{\text{aloc ext}}) \times K_{\text{gestão}}$
PCJ	$\text{Valor}_{\text{total}} = (\text{Valor}_{\text{cap}} + \text{Valor}_{\text{cons}} + \text{Valor}_{\text{DBO}} + \text{Valor}_{\text{PCH}} + \text{Valor}_{\text{transp}}) \times K_{\text{gestão}}$
Paraíba do Sul	$\text{Valor}_{\text{total}} = (\text{Valor}_{\text{cap}} + \text{Valor}_{\text{cons}} + \text{Valor}_{\text{DBO}} + \text{Valor}_{\text{PCH}} + \text{Valor}_{\text{transp}}) \times K_{\text{gestão}}$
Doce	$\text{Valor}_{\text{total}} = (\text{Valor}_{\text{cap}} + \text{Valor}_{\text{lanç}} + \text{Valor}_{\text{PCH}} + \text{Valor}_{\text{transp}}) \times K_{\text{gestão}}$
Parnaíba	$\text{Valor}_{\text{total}} = (\text{Valor}_{\text{cap}} + \text{Valor}_{\text{lanç}}) \times K_{\text{gestão}}$
Verde Grande	$\text{Valor}_{\text{total}} = (\text{Valor}_{\text{cap}} + \text{Valor}_{\text{cons}} + \text{Valor}_{\text{DBO}}) \times K_{\text{gestão}}$

Fonte: Gama Engenharia (2016).

Sendo “Valor_{total}” o valor total da cobrança; “Valor_{cap}” o valor da captação; “Valor_{cons}” o valor do consumo; “Valor_{DBO}” o valor pelo lançamentos de carga orgânica; “Valor_{aloc ext}” o valor pela alocação extra ou transposição; “K_{gestão}” o coeficiente que leva em conta o efetivo retorno à bacia dos recursos arrecadados com a cobrança pelo uso da água; “Valor_{PCH}” o valor da geração de energia; “Valor_{transp.}” o valor da transposição e “Valor_{lanç}” o valor do lançamento de efluentes.

Em relação ao elemento captação, todos os modelos apresentam o componente que, basicamente, é calculado em função da existência ou não do fator medição de vazão. No caso do Rio São Francisco, o cálculo do volume captado não apresenta tal característica.

Quanto ao consumo, com exceção do Rio Doce, todos os outros modelos apresentam o componente relativo ao consumo efetivo de água. Em relação a esse aspecto, pode-se dizer que os modelos indicam, para o usuário, que o uso racional, em termos de redução do consumo,

resultará, conseqüentemente, em um menor pagamento pelo uso da água. Para o lançamento de efluentes, apenas o modelo implantado nos Rios PCJ leva em consideração um coeficiente específico de ponderação para o desconto do valor cobrado em relação a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), o que, por sua vez, induz a adoções de tecnologias menos poluentes. No que diz respeito ao componente geração de energia elétrica, com exceção do Rio São Francisco, que não apresenta tal componente de cobrança, todos estabelecem cálculo específico. Quanto ao consumo agropecuário, com exceção do Rio Doce, os demais modelos de cobrança considera-o um componente presente em suas equações produtórias, seja na forma de consumo ou como coeficiente específico, já que este setor representa a maior parcela do consumo de recursos hídricos em todos os casos (FINKLER *et al.*, 2015; GAMA ENGENHARIA, 2016).

O modelo implantado nos Rios PCJ possui um maior detalhamento relativo, o que, de certa forma, é decorrente das experiências adquiridas ao longo do tempo. Tal modelo apresenta elemento compensatório que o diferencia dos demais, principalmente em se tratando do lançamento de efluentes e a adoção de medidas mitigadoras previstas no plano de bacia. Neste modelo, “o mecanismo de progressividade pode aumentar a aceitação da cobrança e reduzir o impacto econômico imediato sobre os usuários” (FINKLER *et al.*, 2015, p. 47).

Por fim, é importante destacar que, apesar de algumas bacias hidrográficas, como as citadas acima, já possuírem sistemas de cobrança, tal instrumento por si só não é capaz de arcar com todas as responsabilidades em relação às externalidades geradas. Com o passar dos anos, observou-se que os recursos financeiros arrecadados não conseguem contemplar integralmente as ações mitigadoras, sendo necessário, portanto, buscar recursos de outras fontes para apoiar todo o processo (FINKLER *et al.*, 2015; GAMA ENGENHARIA, 2016).

Ademais, merece, no entanto, ser reproduzido, *in verbis*:

o que se constata na avaliação dessas experiências de cobrança pelos usos de águas de domínio federal é que não existe o processo do CEIVAP, outro do PCJ e mais um do São Francisco e Doce. O que existe é um único processo de implantação da cobrança pelo uso de água no Brasil, que foi iniciado pelo CEIVAP, aperfeiçoado pelo PCJ, acatado em grande parte pelo CEIVAP em um segundo momento, e que inspirou os Comitês das Bacias Hidrográficas dos Rios São Francisco e Doce, após adaptações condizentes com a sua realidade, e os demais comitês estaduais e federais que implementaram a cobrança na sequência. Esta integração de esforços é louvável, e o papel integrador nele exercido pela Agência Nacional de Águas – ANA não pode ser ignorado. Mas, também, deve ser ressaltada a decisão dos comitês envolvidos em buscar o que melhor se ajusta às suas realidades, sem querer “redescobrir a roda”, e adaptando o que melhor existe na experiência nacional.

De uma forma geral, conforme a Tabela 3 pode-se destacar as seguintes variáveis em relação aos modelos:

Tabela 3 – Variáveis empregadas nas metodologias de cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas controladas pela União.

Variável	Definição	Bacia*
K_{out}	Peso atribuído ao volume anual de captação outorgado	1, 2, 4 e 6
$Q_{cap\ out}$	Volume anual de água captado conforme outorga	1, 2, 4 e 6
K_{med}	Peso atribuído ao volume anual de captação medido	1 e 6
Q_{capmed}	Volume anual de água captado, conforme medição	1 e 6
PPU_x	Preço público unitário para cada tipo de uso	1, 3, 4, 5 e 6
$K_{cap\ classe}$	Coefficiente relacionado à classe do corpo hídrico no ponto de captação	1, 4 e 6
Q_{capT}	Volume anual de água captado total	1
$Q_{lançT}$	Volume anual de água lançado total	1
K_{cons}	Coefficiente que leva em conta a parte da água utilizada	3
K_{cap}	Coefficiente que considera objetivos específicos pela captação	3, 5 e 6
$K_{lanç}$	Coefficiente que considera objetivos específicos pelo lançamento	3, 5 e 6
$K_{irrigação}$	Coefficiente que considera a parte da água utilizada na irrigação	1
Q_{areia}	Volume anual de água captado para mineração	1 e 5
U	Teor de umidade da areia produzida	1 e 5
C_{DBO}	$DBO_{5,20}$ média anual do efluente lançado	1, 2, 3 e 4
$Q_{lanç}$	Volume anual de água lançado	1, 2 e 4
GH/EH	Total anual da energia efetivamente gerada por uma PCH	1 e 4
$K_{cons\ irrigação}$	Coefficiente que considera boas práticas de uso na irrigação	3 e 5
$Q_{lanç}$	Volume anual de efluente lançado	1, 2, 3 e 4
K_{prior}	Coefficiente que considera a prioridade de uso estabelecida	3
TAR	Tarifa Atualizada de Referência	1 e 4
P	Percentual definido a título de cobrança	1 e 4
$K_{agroepc}$	Coefficiente que considera as boas práticas de uso	1
PUB	Preço unitário básico para cada tipo de uso	3
$K_{sist\ irrigação}$	Coefficiente que visa quantificar a água consumida na irrigação	2
$K_{lanç\ classe}$	Coefficiente relacionado à classe do corpo hídrico no ponto de lançamento	2
K_{PR}	Coefficiente que considera a remoção percentual de carga orgânica	2
K_t	Coefficiente que considera as boas práticas de uso e conservação	2 e 4
$Q_{transp\ out}$	Volume anual utilizado na transposição, conforme outorga	2 e 4
$Q_{transpmed}$	Volume anual utilizado na transposição, conforme medição	2 e 4
$K_{gestão}$	Coefficiente que considera o efetivo retorno à bacia dos recursos arrecadados	1, 2, 3 e 4
Q_{cap}^{out}	Volume anual de água captado, em m^3/ano , segundo valores da outorga.	5 e 6
Q_{cons}	Volume anual consumido, em m^3/ano ;	5

Tabela 3 – Variáveis empregadas nas metodologias de cobrança pelo uso da água em bacias hidrográficas controladas pela União.

Continuação:

Q_{cap}	Volume anual de água captado, em m ³ /ano, segundo valores da outorga ou verificados pelo organismo outorgante, em processo de regularização, em corpos d'água de domínio da União (ou do Estado, no caso de bacia estadual);	5
CO_{DBO}	Carga anual de $DBO_{5,20}$ (Demanda Bioquímica por Oxigênio após 5 dias a 20°C) efetivamente lançada, em kg/ano.	5 e 6
$Valor_{MD}$	Valor correspondente ao mecanismo diferenciado de cobrança pelo uso de recursos hídricos	6
K^{PR}	Coeficiente que leva em consideração a percentagem de remoção (PR) de carga orgânica ($DBO_{5,20}$), na Estação de Tratamento de Efluentes Líquidos (ETEL) (industriais e domésticos), a ser apurada por meio de amostragem representativa dos efluentes brutos e tratados (final) efetuada pelo usuário.	6

* 1 = Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (BHRPS); 2 = Bacia Hidrográfica dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (BHRPCJ); 3 = Bacia hidrográfica do Rio São Francisco (BHRSF); 4 = Bacia Hidrográfica do rio Doce (BHRD); 5 = Bacia Hidrográfica do Rio Verde Grande (BHVG); 6 = Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (BHRP).

Fonte: (Adaptado de FINKLER *et al.*, 2015 e GAMA ENGENHARIA, 2016).

De forma mais detalhada, tais modelos são estruturados, matematicamente, conforme as Tabelas 4, 5 e 6 (FINKLER *et al.*, 2015; GAMA ENGENHARIA, 2016):

Tabela 4 - Metodologias de cobrança pelo uso da água em Bacias hidrográficas interestaduais em aplicação no Brasil I.

<i>Bacia Hidrográfica</i>	<i>Paraíba do Sul</i>	<i>Piracicaba, Capivari e Jundiá</i>
Equação básica da cobrança V_{total}	$(V_{cap} + V_{cons} + V_{DBO} + V_{PCH} + V_{agropec} + V_{transp}) \times K_{gestão}$	$(V_{cap} + V_{cons} + V_{DBO} + V_{PCH} + V_{Agropec} + V_{trasnp}) \times K_{gestão}$
Captação V_{cap}	$\left[\begin{array}{l} K_{out} \times Q_{cap\ out} + K_{med} \times Q_{cap\ med} \\ + K_{med\ extra} \times (0,7 \times Q_{cap\ out} - Q_{cap\ med}) \end{array} \right] \times PPU_{cap} \times K_{cap\ classe}$ <p>Quando houver medição de vazão</p> $Q_{cap\ out} \times PPU_{cap} \times K_{cap\ classe}$	$(K_{out} \times Q_{cap\ out} + K_{med} \times Q_{cap\ med}) \times PUB_{cap} \times K_{cap\ classe}$ <p>Quando houver medição de vazão</p> $Q_{cap\ out} \times PPU_{cap} \times K_{cap\ classe}$
	$(Q_{capT} - Q_{lançT}) \times PPU_{cons}$ <p>Quando houver medição do volume anual de efluente lançado</p> $Q_{cap} \times PPU_{cons} \times K_{cons}$	$(Q_{capT} - Q_{lançT}) \times PPU_{cons} \times \left(\frac{Q_{cap}}{Q_{capT}} \right)$
Consumo V_{cons}	$(Q_{capT} - Q_{lançT}) \times PPU_{cons} \times \left(\frac{Q_{cap}}{Q_{capT}} \right)$ <p>Consumo por dominialidade</p> $Q_{cap} \times PPU_{cons} \times K_{irrigação}$ <p>Consumo para irrigação</p> $Q_{areia} \times U \times PPU_{cons}$ <p>Consumo para mineração de areia</p>	$Q_{cap} \times K_{sist\ irrigação} \times PUB_{cons}$ <p>Consumo para irrigação</p>
Lanç. de DBO V_{DBO}	$C_{DBO} \times Q_{lanç} \times PPU_{DBO}$	$C_{DBO} \times Q_{lanç} \times PPU_{DBO} \times K_{lanç\ classe} \times K_{PR}$

Tabela 4 - Metodologias de cobrança pelo uso da água em Bacias hidrográficas interestaduais em aplicação no Brasil I.

Continuação:

Geração de energia elétrica V_{PCH}	$GH \times TAR \times P$	Calculado de acordo com o que dispuser a legislação federal e atos normativos das autoridades competentes
Agropecuário $V_{agropec}$	$(V_{cap} + V_{cons}) \times K_{agropec}$	$(V_{cap} + V_{cons}) \times K_t$
Transposição V_{transp}	$V_{total} \times 1,15$ Bacia Hidrográfica do Rio Gandu	$(Q_{transp\ out} \times K_{out} + Q_{transp\ med} \times K_{med}) \times PUB_{transp} \times K_{cap\ classe}$

Fonte: (FINKLER *et al.*, 2015); (GAMA ENGENHARIA, 2016).

Tabela 5 - Metodologias de cobrança pelo uso da água em Bacias hidrográficas interestaduais em aplicação no Brasil II.

Bacia Hidrográfica	São Francisco	Doce
Equação básica da cobrança V_{total}	$(V_{cap} + V_{cons} + V_{DBO} + V_{transp}) \times K_{gestão}$	$(V_{cap} + V_{DBO} + V_{transp} + V_{PCH}) \times K_{gestão}$
Captação V_{cap}	$Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{cap}$	$Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{cap\ classe} + K_t$ $(K_{out} \times Q_{cap\ out} + K_{med} \times Q_{cap\ med}) \times PUB_{cap} \times K_{cap\ classe}$ Quando houver medição de vazão
Consumo V_{cons}	$(Q_{capT} - Q_{lançT}) \times PPU_{cons} \times K_{cons}$ $(Q_{cap} \times K_{sist\ irrigação}) \times PUB_{cons} \times K_{cons}$ Consumo para irrigação	Não estabelece
Lançamentos de DBO V_{DBO}	$C_{DBO} \times Q_{lanç} \times PPU_{lanç} \times K_{lanç}$	$C_{DBO} \times Q_{lanç} \times PPU_{DBO}$
Geração de energia elétrica V_{PCH}	Não estabelece	$EH \times TAR \times K$
Agropecuário $V_{agropec}$	Não estabelece	Não estabelece

Tabela 5 - Metodologias de cobrança pelo uso da água em Bacias hidrográficas interestaduais em aplicação no Brasil II.

Continuação

Transposição	$(Q_{\text{cap}} \times \text{PPU}_{\text{cap}} + Q_{\text{cons}} \times \text{PPU}_{\text{cons}}) \times K_{\text{cap classe}} \times K_{\text{prior}} \times K_{\text{gestão}}$	$Q_{\text{transp}} \times \text{PPU}_{\text{transp out}} \times K_{\text{classe}}$
V_{transp}	$(Q_{\text{cap med}} \times \text{PPU}_{\text{cap}} + Q_{\text{cons}} \times \text{PPU}_{\text{cons}}) \times K_{\text{cap classe}} \times K_{\text{prior}} \times K_{\text{gestão}}$	
	Quando a vazão efetivamente utilizada for superior à vazão firme outorgada	

Fonte: (FINKLER *et al.*, 2015); (GAMA ENGENHARIA, 2016).

Tabela 6 - Metodologias de cobrança pelo uso da água em Bacias hidrográficas interestaduais em aplicação no Brasil III.

Bacia Hidrográfica	Verde Grande	Parnaíba
Equação básica da cobrança V_{total}	$(Valor_{cap} + Valor_{cons} + Valor_{DBO}) \times K_{gestão}$	$(Valor_{cap} + Valor_{lanç}) \times K_{gestão}$
Captação V_{cap}	$Q_{cap}^{out} \times PPU_{cap} \times k_{cap}$	$\left[\begin{array}{l} K_{out} \times Q_{cap\ out} + K_{med} \times Q_{cap\ med} \\ + K_{med\ extra} \times (0,7 \times Q_{cap\ out} - Q_{cap\ med}) \end{array} \right] \times PPU_{cap}$ $\times K_{cap\ classe} - Valor_{md}$ <p>Quando houver medição de vazão</p> <hr/> $Q_{cap}^{out} \times PPU_{cap} \times k_{cap} - Valor_{md}$
Consumo V_{cons}	$Q_{cons} \times PPU_{cons} \times k_{cons}$	Não estabelece
	$Q_{cons} = Q_{cap} \times K_{cons\ irrig}$ Consumo para irrigação	
	$Q_{cons} = Q_{cap} - Q_{lanç}$ Consumo para demais usos	
	$Q_{areia} \times U \times PPU_{cons}$ Consumo para mineração de areia	
Lançamentos de DBO V_{DBO}	$CO_{DBO} \times PPU_{lanç} \times k_{lanç}$	$CO_{DBO} \times PPU_{lanç} \times k_{lanç} \times k^{PR}$

Tabela 6 - Metodologias de cobrança pelo uso da água em Bacias hidrográficas interestaduais em aplicação no Brasil III.

Continuação:

Geração de energia elétrica V_{PCH}	Não estabelece	Não estabelece
Agropecuário $V_{agropec}$	Não estabelece	Não estabelece
Transposição V_{transp}	Não estabelece	Não estabelece

Fonte: (FINKLER *et al.*, 2015); (GAMA ENGENHARIA, 2016).

Urge destacar que, segundo informações da OCDE (2017), no Brasil, nos locais onde a cobrança pelo uso dos recursos hídricos foi implantada, algumas questões são perceptíveis e foram constatadas ao longo dos anos. São elas:

1. Os valores cobrados são considerados muito baixos, de forma a não induzem mudanças comportamentais em grande parte dos usuários ou mesmo financiar a política de águas no país;
2. Não é possível perceber que as receitas oriundas do processo são capazes de exercer benefícios diretamente aos usuários, assim como não são capazes de atender a demanda por financiamentos das bacias hidrográficas;
3. O conjunto de preços e níveis de valores praticados é semelhante em todo território, o que, de certa forma, não reflete as características inerentes de cada bacia hidrográfica;
4. A cobrança pelo uso dos recursos hídricos não atende a questões como: custo de oportunidade de uso, riscos, consequências da poluição e a capacidade de diluição da água;
5. Por fim, os objetivos centrais da cobrança pelo uso dos recursos hídricos têm seus escopos voltados, basicamente, para a capacidade de pagamentos dos usuários e a competitividade.

No que tange a implementação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos, a Figura 8 sintetiza todo o processo:

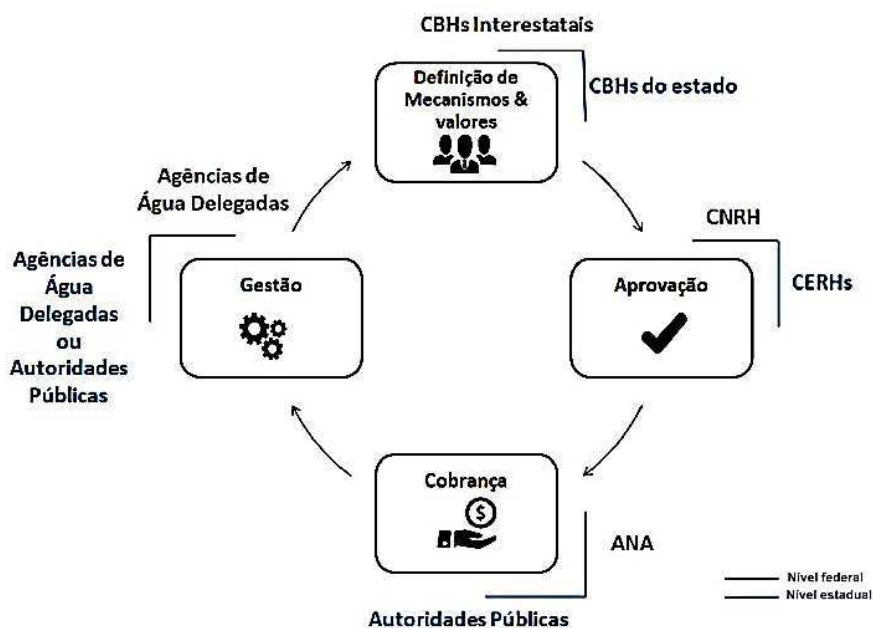


Figura 8 – Ciclo de implementação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos
Fonte: OCDE (2017, p. 44)

Neste diapasão, é imperativo dizer que a implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil obedece, basicamente, a um processo que se torna semelhante tanto nas esferas federal como estadual. De forma geral, a Lei nº 9.433/97 estabelece que as entidades delegatórias proponham aos CBHs os valores a serem cobrados. Nos âmbitos dos comitês são discutidos tais preços a nível de grupo de estudo, levando-se em consideração uma análise técnica da viabilidade de todo o processo. Posteriormente, a proposta é apresentada e discutida entre os demais representantes do CBH para apreciações e posterior deliberação. Um vez aprovada, a proposta de cobrança pelo uso dos recursos hídricos é remetida aos Conselhos de Recursos Hídricos que aprovam e destinam o processo para a ANA ou para as autoridades públicas estaduais, ou, dependendo do caso, para a implantação da cobrança (OCDE, 2017).

2.5 A cobrança pelo uso dos recursos hídricos no estado da Paraíba

A cobrança pelo uso dos recursos hídricos no estado da Paraíba foi efetivamente regulamentada em 2012, através de Decreto nº 33.613. Apesar do CBH do rio Paraíba do Norte ter deliberado e aprovado, já em 2008, através da Deliberação CBH-PB 01/08, a normatização dos valores a serem cobrados na bacia, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos só foi regulamentada 4 anos depois.

O Decreto nº 33.613/12 veio atender a Lei nº 6.308/96 que instituiu “a cobrança do uso da água bruta de domínio do Estado da Paraíba, como instrumento gerencial da política estadual de recursos hídricos” (PARAÍBA, 2012). O referido decreto veio reafirmar o disposto na Lei nº 9.733/97, ao estabelecer que a cobrança pelo uso dos recursos hídricos tem como objetivo reconhecer a água como bem econômico e incentivar o uso racional.

Consoante a OCDE (2017), o estado da Paraíba, no ano de 2015, já havia implementado a cobrança em todas as unidades de gestão, com exceção das unidades pertencentes a BHRPPA. Para a OCDE (2017), a implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos na Paraíba ocorreu de forma tardia, haja vista que desde 1996 o estado já havia regulamentado a cobrança através da Lei Estadual nº 6308/96 que, estabelecia a gestão das águas de domínio estadual. Fato semelhante ao ocorreu nos estados do Ceará e em São Paulo, onde a cobrança pelo uso dos recursos hídricos só se efetivou após o decreto governamental.

De acordo com o Decreto nº 33.613/12, no Estado da Paraíba estão sujeitos a cobrança pelo uso dos recursos hídricos os seguintes usos:

I – as derivações ou captações de água por concessionária encarregada pela prestação de serviço público de abastecimento de água e esgotamento sanitário e por outras entidades responsáveis pela administração de sistemas de abastecimento de água, cujo somatório das demandas, em manancial único ou separado, registradas nas respectivas outorgas, seja igual ou superior a duzentos mil metros cúbicos por ano; II – as derivações ou captações de água por indústria, para utilização como insumo de processo produtivo, cujo somatório das demandas, em manancial único ou separado, registradas nas respectivas outorgas, seja igual ou superior a duzentos mil metros cúbicos por ano; III – as derivações ou captações de água para uso agropecuário, por empresa ou produtor rural, cujo somatório das demandas, em manancial único ou separado, registradas nas respectivas outorgas, seja igual ou superior ao valor do volume anual mínimo, estabelecido para as seguintes bacias hidrográficas: a) do Litoral Sul: 1.500.000m³; b) do rio Paraíba: 350.000m³; c) do Litoral Norte: 350.000m³; d) sem comitê instituído: 350.000m³; IV – o lançamento em corpo de água de esgotos e demais efluentes, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final; V – outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água (PARAÍBA, 2012, Art. 3).

No que diz respeito ao modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos estabelecido no Art. 5 do Decreto nº 33.613/12, este é composto dos seguintes elementos:

$$VT = k \times P \times Vol. \quad (2)$$

sendo “VT” o valor total anual a ser cobrado em R\$; “k” o conjunto de coeficientes de características específicas (adimensional); “P” o preço unitário para cada tipo de uso (R\$/m³); e “Vol.” o volume anual outorgado em metros cúbicos. De acordo com o parágrafo primeiro do art. 5, durante os três primeiros anos o valor assumido por “k” será igual a 1, sendo posteriormente substituído por outros valores que deverão se pautar em estudos técnicos realizados pela AESA. Neste sentido, deverá “k” assumir valores que levem em consideração aspectos como:

I – natureza do corpo de água; II – classe em que estiver enquadrado o corpo de água; III – disponibilidade hídrica; IV – vazão reservada, captada, extraída ou derivada e seu regime de variação; V – vazão consumida; VI – carga de lançamento e seu regime de variação, ponderando-se os parâmetros biológicos, físico-químicos e de toxicidade dos efluentes; VII – finalidade a que se destinam; VIII – sazonalidade; IX – características físicas, químicas e biológicas da água; X – práticas de racionalização, conservação, recuperação e manejo do solo e da água; XI – condições técnicas, econômicas, sociais e ambientais existentes; XII – sustentabilidade econômica da cobrança por parte dos segmentos usuários” (PARAÍBA, 2012, Art. 5).

Ao analisar tal modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos, Almeida e Curi (2016, p. 8), destacam que “essa metodologia não leva em consideração as reservas de água, bem como não proporciona diferenciações com o emprego de coeficientes que

considere a classe de uso dos corpos hídricos, a disponibilidade hídrica local, a eficiência do uso da água, entre outros aspectos”.

Oportuno salientar também que, assim como outras realidades brasileiras, as receitas provenientes da cobrança pelo uso dos recursos hídricos na Paraíba não são capazes de superar os custos operacionais dos planos de bacia. Para se ter uma ideia, em 2016 foram arrecadados cerca de R\$ 1.000.000,00, o que, por sua vez, representa apenas 16% do que foi devidamente cobrado para o mesmo período (OCDE, 2017). De acordo com a OCDE, o estado da Paraíba já encontra-se bastante embasado em relação ao aparato legal e institucional da cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Porém, os problemas decorrentes do longo período de estiagem na região acabaram dificultando a operacionalização da cobrança, principalmente em virtude de questões de ordem política e social, que, de certa forma, travam todo o processo.

Ainda com base na OCDE (2017), salienta-se que uma estimativa de preço na ordem de R\$ 0,43/m³ seria necessária para atender as demandas dos planos de bacia. Um valor relativamente elevado, se comparado com um preço de R\$ 0,01/m³ atualmente instituído. Para a OCDE (2017), de forma geral, pode-se dizer que o caminho a ser seguido pela gestão dos recursos hídricos, em relação a cobrança na Paraíba deve se pautar principalmente na revisão das atuais taxas, dos limites de isenção e na política de fiscalização. Isso posto, o processo como um todo deve primordialmente ser protegido de interferências políticas, assim como respaldado em estudos de natureza técnica para que possa lograr êxito nos anos vindouros.

2.6 Os Comitês de Bacias Hidrográficas - CBHs

Os CBHs são considerados verdadeiros parlamentos ou órgãos colegiados caracterizados por uma forma de atuação descentralizada. Eles são formados por representantes do sistema de recursos hídricos (do poder público, da sociedade civil e dos usuários), que articulam-se, dentre outros aspectos, para elaborar os planos de bacia, projetos e ações relacionadas ao melhor e mais eficaz processo de gerenciamentos dos recursos hídricos (ANA, 2007).

De acordo com a Lei 9.433/97, cabe aos CBHs,

I - promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes; II - arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos; III - aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia; IV - acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas; V - propor ao Conselho

Nacional e aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão, para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, de acordo com os domínios destes; VI - estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados; IX - estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo. (BRASIL, 1997, art. 38).

Do ponto de vista **deliberativo**, cabe aos CBHs: “arbitrar em primeira instância administrativa os conflitos pelo uso da água”; “aprovar o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica (PRHBH)”; “estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos”; e “estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo”. Já com relação às atribuições de ordem **propositiva**, o CBHs devem: “acompanhar a execução dos PRHBH necessários ao cumprimento de suas metas”; “indicar a Agência de Água para aprovação do Conselho de Recursos Hídricos competente”; “propor os usos não outorgáveis ou de pouca expressão ao Conselho de Recursos Hídricos competente”; “escolher a alternativa para enquadramento dos corpos d’água e encaminhá-la aos conselhos de recursos hídricos competentes”; “sugerir os valores a serem cobrados pelo uso da água”; “propor aos conselhos de recursos hídricos a criação de áreas de restrição de uso, com vista à proteção dos recursos hídricos”; “propor aos conselhos de recursos hídricos as prioridades para aplicação de recursos oriundos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos do setor elétrico na bacia”. Por fim, é uma atribuição de carácter consultivo dos CBHs: “Promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes” (ANA, 2011, p. 29).

A indicação e o número de membros serão determinados conforme os respectivos regimentos de cada CBH, que, por sua vez, será dirigido por um secretário executivo eleito entre as partes. A composição das representações no âmbito dos CBHs deverá limitar-se a 50% das vagas para representantes dos poderes executivos da União, Estados, Distrito Federal e Municípios. Caso a bacia hidrográfica, enquanto unidade de gestão, geograficamente esteja inserida em parte de terras indígenas, caberá ao CBH possuir uma representação desses povos. No caso de bacias de domínio estadual, cabe ao CBH determinar, regimentalmente, a participação da União (BRASIL, 1997).

A Figura 9 representa, dentro da Matriz Institucional do SINGREH, o posicionamento dos CBHs. Nela, pode-se observar que os CBHs estão no nível de bacia hidrográfica e se relaciona estrategicamente com os demais níveis do SINGREH.

A necessidade de um arranjo institucional impulsionou a criação dos CBHs, instituídos por Lei, uma vez que eles são capazes de promover os acordos entre o poder público e os diversos atores sociais envolvidos com o sistema de recursos hídricos. Tais acordos objetivam a busca de tomada de decisão em torno dos recursos para o melhor gerenciamento do sistema e, conseqüentemente, maior sustentabilidade (ANA, 2011).

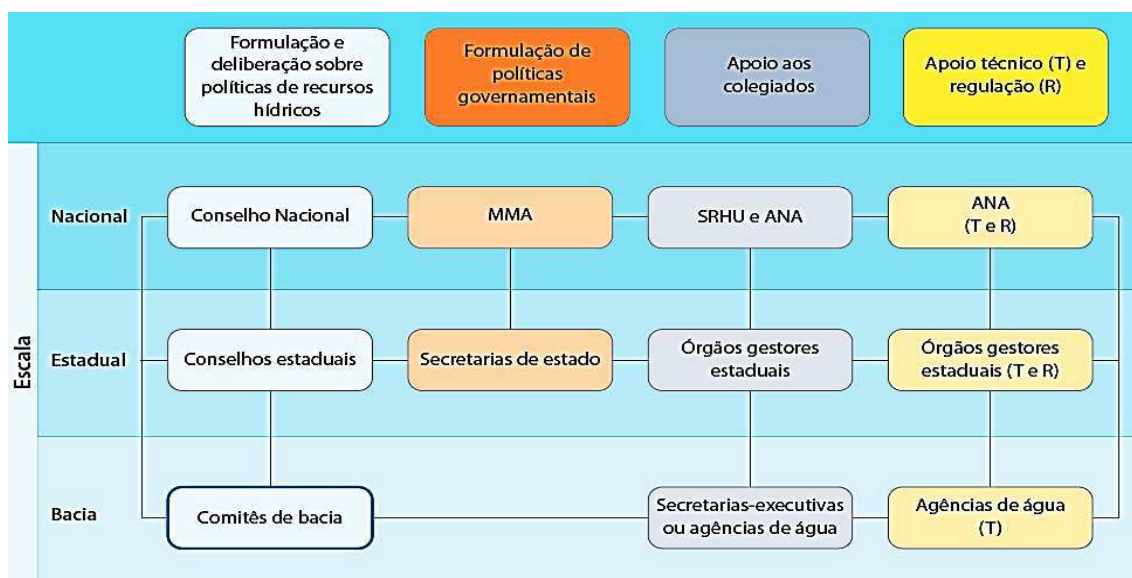


Figura 9 - Matriz institucional do SINGREH e os CBHs
Fonte: ANA (2011)

Conforme acrescenta ainda a ANA (2011), diversas são as formas de participação da sociedade na construção de políticas públicas (por exemplo, o orçamento participativo). Mas nem sempre essa participação representa uma efetiva ação em torno do processo, ou seja, são participações mais consultivas, podendo as decisões serem implantadas ou não. No caso dos CBHs, o aspecto diferenciador consiste no fato de, enquanto órgão normatizado por lei específica, os seus representantes deliberarem as ações em torno do processo de gestão dos recursos hídricos de forma conjunta com o poder público. Logo, pode-se dizer que os CBHs têm poder de estado, definindo regras para os usos dos recursos hídricos.

No Brasil, de acordo com a ANA, existem atualmente 10 CBHs em nível interestadual: **Comitê do Rio Paranapanema** (Paraná e São Paulo), **Comitê dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ)** (São Paulo e Rio de Janeiro), **Comitê do Rio Parnaíba** (Goiás, Mato Grosso do Sul e Distrito Federal), **Comitê do Rio Paraíba do Sul (PBS)** (Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais), **Comitê do Rio Grande** (São Paulo e Minas Gerais), **Comitê do Rio Doce** (Minas Gerais e Espírito Santo), **Comitê do**

Rio Verde Grande (Minas Gerais e Bahia), **Comitê do Rio São Francisco** (Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás e Distrito Federal) e por fim, o **Comitê dos Rios Piancó-Piranhas-Açu** (Paraíba e Rio Grande do Norte). Destes, segundo dados atualizados em 08 de março de 2017, apenas os comitês PCJ, PBS, Rio Doce, São Francisco, Verde Grande e Parnaíba já implantaram sistema de cobrança pelo uso da água, conforme destacado anteriormente.

No Gráfico 1 abaixo é possível observar a evolução da criação dos CBHs no Brasil tanto a nível federal quanto em nível estadual.

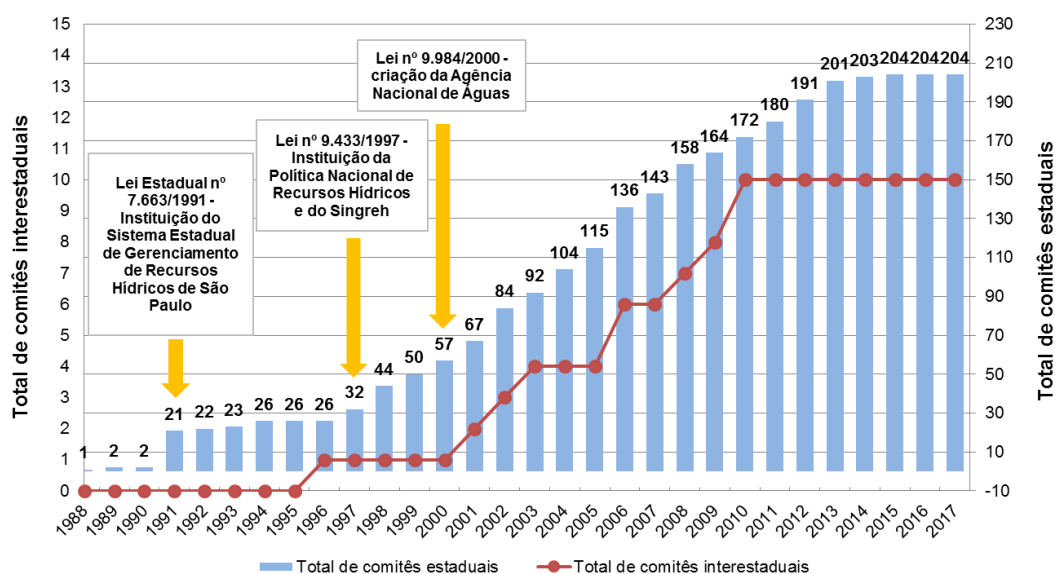


Gráfico 1 - Evolução da criação de CBHs no Brasil no período de 1988 a 2017
Fonte: ANA (2017).

Em relação aos CBHs em nível estadual, existem, em atuação, 204 comitês, conforme pode ser observado no Gráfico 01. Como pode-se destacar, a partir da segunda metade da década 1990, com a criação da Lei 9.433/97, ocorreu um substancial crescimento na criação destes, apesar de que, no início da década supracitada, a criação de CBHs estaduais teve seu início em rota ascendente, haja vista implantação do Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (ANA, 2011).

Já a Figura 10 demonstra a atual situação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos em termos de base hidrográfica e CBHs.



Figura 10 – Situação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos em 2018.
Fonte: (ANA, 2018)

2.7 A questão dos recursos hídricos na região Nordeste do Brasil: breves considerações.

No caso da região Nordeste, em especial, dados da FAO-AguaSTAT (2015) demonstram que características como um baixo nível de precipitação anual (que, em média, é de 600 milímetros) e a formação geológica, composta por rochas metamórficas que possuem capacidade reduzida de acumular águas subterrâneas, condicionam a disponibilidade de recursos hídricos na região. Apesar da existência de grandes rios intermitentes, como o São Francisco e o Parnaíba, a maioria dos rios possuem uma quantidade limitada de água, o que ocasionou uma sobre-exploração dos recursos hídricos subterrâneos desde o início do século XX.

O Gráfico 2 apresenta a distribuição dos recursos hídricos por região no Brasil. Nele é destacando a proporção dos recursos hídricos em relação a superfície e a população de cada região do país.

Distribuição dos recursos hídricos, superfície e população

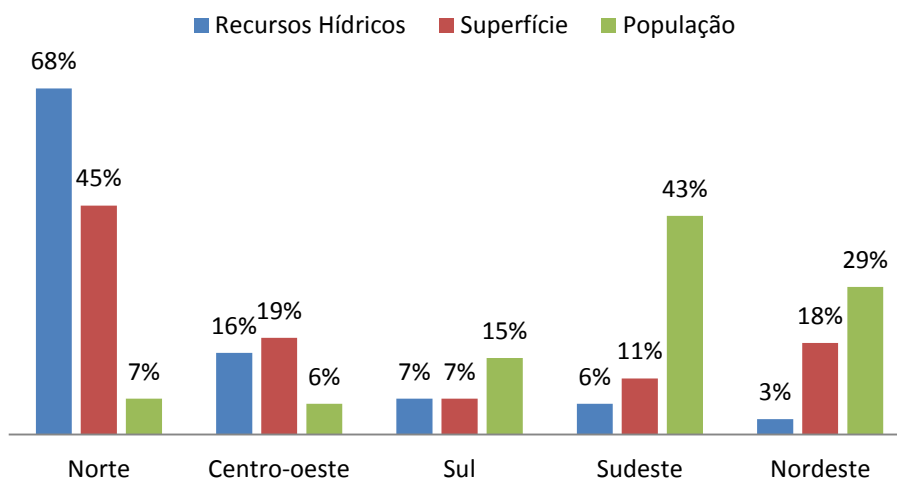


Gráfico 2 - Distribuição dos recursos hídricos, superfície e população por regiões do Brasil

Fonte: ANA (2007).

A região Nordeste ocupa uma área territorial de aproximadamente 18% do País, onde habitam cerca de 29% da população, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010). É uma das regiões mais afetadas pelos problemas relacionados aos recursos hídricos, enfrentando sérios desafios relacionados à disponibilidade de água para seus diversos usos, em que as razões fundamentais para a geração de tais problemas vão desde os aspectos geográficos, como mudanças climáticas e a presença de longos períodos de estiagem, até mesmo pela ausência de um gerenciamento eficiente dos recursos hídricos, na ausência de ações e políticas públicas mais eficazes.

O nordeste brasileiro, especificamente a região semiárida, possui aproximadamente mais de 23 milhões de habitantes. De acordo com Ab'Saber (2003), é a região semiárida mais povoada do mundo, possuindo baixo índice pluviométrico (totais médios anuais que variam entre 300 e 800 mm) e irregularidade acentuada das chuvas (que perdura por cerca 3 a 4 meses), o que torna essa característica endêmica e um dos elementos responsáveis por inibir o desenvolvimento humano local e regional.

Nessa região, a evaporação é maior do que o volume precipitado, o que pode ser explicado pela sua localização geográfica na região Tropical “detentora de um elevado potencial de energia solar, sendo que a maior parte dessa energia é utilizada no processo físico da evapotranspiração, que resulta, anualmente, numa perda de água para a atmosfera superior a 2.000 mm” (ALMEIDA; SILVA, 2003, p. 2).

Quando o período de escassez pluvial é prolongado pelas variações climáticas, tem-se uma paisagem típica do sertão nordestino condicionada pelo fenômeno da seca (seja ela hidrológica, meteorológica, econômica ou social), afetando diretamente a população residente neste espaço (CAMPOS, 1997).

A evidência das vulnerabilidades e dos riscos na região semiárida, com relação à disponibilidade hídrica faz, com que, nos momentos de escassez severa que chega a comprometer praticamente a produção agrícola inteira, busquem-se alternativas emergenciais. Entretanto, pode-se até diminuir uma pequena porcentagem das perdas, mas não se resolve o problema. Uma gestão eficiente pressupõe um cronograma com medidas necessárias a serem executadas através de investimentos nos principais setores da cadeia produtiva, desde a preservação do ambiente até a utilização de tecnologias que otimizem a produção, assim como o gerenciamento dos recursos hídricos. Logo, “o conceito do uso eficiente da água deve compreender desde a preservação da fonte até o momento em que a água seja consumida pelas plantas e liberada no ambiente sob a forma de transpiração” (ALBUQUERQUE, 2004, p. 3).

Os recursos hídricos do Nordeste, em detrimento ao de origem subterrânea, são oriundos, na grande parte, do processo de precipitação que é capaz de alimentar as diversas bacias hidrográficas. Tal processo concentra-se, basicamente, entre 4 meses no ano; variando de região para região. Outra fonte geradora de recursos hídricos corresponde a oferta do rio São Francisco, que é alimentado pelas chuvas nas diversas bacias do estado de Minas Gerais (FIOREZE *et.al*, 2012).

A determinação do processo de precipitação na região é caracterizada por alterações atmosféricas que podem incentivar ou desestimular a formação de nuvens. Em termos globais, fenômenos ocorridos nos oceanos Atlântico e Pacífico Equatorial alteram a variabilidade interanual de chuvas, resultando em períodos de secas e cheias (FIOREZE *et al.*, 2012).

Para a autora,

a combinação de elevadas taxas de evapotranspiração, solos rasos com pouca capacidade de armazenagem de água em aquíferos e o caráter concentrado das precipitações anuais leva à condição de clima semiárido e bioma caatinga da Região Nordeste do Brasil. Desta forma, o déficit hídrico estacional durante parte do ano e excedente hídrico durante o período chuvoso sobre cada região do Nordeste são característicos do clima semiárido (FIOREZE *et al.*, 2012 p. 33).

Ainda de acordo com Fioreze *et al.* (2012), ao longo de vários estudos sobre as mudanças climáticas e os seus impactos sobre a América do Sul, o Nordeste brasileiro

pode ser considerado a região mais vulnerável em relação a essas mudanças, sendo detectadas oscilações na temperatura do ar, redução no nível de precipitações e aumento na frequência de noites mais quentes.

Fioreze *et al.* (2012) afirmam ainda que, o um baixo índice pluviométrico e a concentração das chuvas em poucos meses do ano, torna propício a aceleração do processo de desertificação e menor diversidade biológica. Diante do cenário atual, estima-se uma redução de algo em torno de 70% da recarga dos aquíferos, em virtude das alterações climáticas.

Os seguintes impactos são esperados diante do atual ritmo de mudanças climáticas:

a caatinga pode dar lugar a uma vegetação mais típica de zonas áridas, com predominância de cactáceas; o desmatamento da Amazônia também afetará a região; um aumento de 3°C ou mais na temperatura média deixaria ainda mais secos os locais que hoje têm maior déficit hídrico no semiárido; a produção agrícola de subsistência de grandes áreas pode se tornar inviável, colocando a própria sobrevivência do homem em risco; o alto potencial para evaporação do Nordeste, combinado com o aumento de temperatura, causaria diminuição da água de lagos, açudes e reservatórios; o semiárido nordestino ficará vulnerável a chuvas torrenciais e concentradas em curto espaço de tempo, resultando em enchentes e graves impactos socioambientais; espera-se uma maior frequência de dias secos consecutivos e de ondas de calor decorrente do aumento na frequência de veranicos; e com a degradação do solo, aumentará a migração para as cidades costeiras, agravando os problemas urbanos (FIOREZE *et al.*, 2012, p. 43)

Outra questão importante a ser frisada é o fato de que o significativo resultado negativo da relação Precipitação menos Evapotranspiração (P-ETP)⁹, na maior parte da região ao longo do ano, faz com que a água se torne mais escassa e as demandas se concentrem em locais em que a água permaneça armazenada em reservatórios ao longo dos sistemas hídricos (FIOREZE *et al.*, 2012).

Neste sentido, os estudos direcionados ao uso racional nos sistemas hídricos são de suma importância no combate dos problemas decorrentes dos longos períodos de estiagem. A elaboração de modelos de gerenciamento hídrico e suas contribuições ao longo de todo o sistema torna-se, neste caso, uma prerrogativa determinante para a segurança hídrica da região.

⁹ Resultado do balanço hídrico.

3 MODELO DE COBRANÇA PELO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS PROPOSTO

Ao longo da literatura especializada, diversas são as críticas em relação aos modelos de cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Dentre elas, destacam-se:

1. O caráter meramente arrecadatário enquanto objetivo principal, destacado por Hartmann (2010);
2. A baixa capacidade de suprir financeiramente o sistema de gestão da bacia hidrográfica, argumentam Hartmann (2010), Sousa, Assis e Vieira (2015), Finkler *et al.* (2015), Bernardes e Broch (2015) e Gama Engenharia (2016);
3. A ausência de efeito incitativo da cobrança ao uso racional dos recursos hídricos, conforme apontam Hartmann (2010), ANA (2014) e Acselrad, Azevedo e Formiga-Johnsson (2015);
4. A relação entre a escassez dos recursos hídricos e seus efeitos sobre as outorgas e a cobrança, de acordo com Thomas (2002) e Gama Engenharia (2016);
5. A baixa aceitabilidade pública e política, reduzida simplicidade conceitual, ausência de transparência, dificuldades na implantação e operação das metodologias, conforme corroboram Magalhães *et al.* (2003) e Dias, Barros e Souza (2010).

Neste sentido, após uma análise da literatura especializada e dos diversos modelos de cobrança pelo uso dos recursos hídricos implantados no país, é proposto, em seguida, um modelo de cobrança pautado, dentre outros aspectos, pela objetividade, parcimônia, completeza e transparência em relação aos seus elementos metodológicos e operacionais, o que de certa forma o diferencia dos demais modelos implantados no Brasil em bacia hidrográficas controladas pela União. Tal proposta foi fundamentada nos principais modelos de cobrança pelo uso dos recursos hídricos implantados em bacias federais, por considerá-los mais completos. Para tanto, ampliou-se a análise da cobrança pelo uso dos recursos hídricos incorporando aspectos como: a vinculação da outorga de direito a cobrança pelo uso; o uso de tarifas baseadas na sazonalidade do sistema de recursos hídricos; a possibilidade de inibir a prática de reservas, via outorga, e potenciais

captações extras de água por parte dos diversos usuários; contribuição dos usuários em relação a uma parcela dos investimentos previstos na bacia hidrográfica; a diferenciação proporcional de usuários como base no volume outorgado; e o uso de subsídios quando considerado a existência de recursos hídricos oriundos da transposição de outras bacias hidrográficas.

Contudo, visando o atendimento do objetivo pretendido pela pesquisa, elaborou-se, para tanto, um modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos superficiais centrado, basicamente, na estrutura descrita pela Equação 3, onde os valores assumidos são expressos em R\$:

$$VTC = V_{out} + V_{cap} + V_{tra} + V_{lan} + V_{ges} + V_{min} + V_{na} \quad (3)$$

sendo “VTC” o valor total da cobrança; “V_{out}” o valor da componente outorga; “V_{cap}” o valor da componente captação; “V_{tra}” o valor da componente transposição; “V_{lan}” o valor da componente lançamento de efluentes; “V_{ges}” o valor da componente gestão; “V_{min}” o valor da componente mineração; e “V_{na}” o valor da componente nível de armazenamento de água do sistema. A Figura 11 apresenta tal estrutura.



Figura 11 – Componentes do valor total da cobrança
Fonte: O autor

O “V_{out}” é função direta do volume outorgado, assim como do volume fornecido, do preço público unitário do metro cúbico outorgado, do coeficiente relativo aos níveis de garantia do sistema, do coeficiente relativo à eficiência do uso, do coeficiente relativo

ao enquadramento de classe da fonte hídrica e do fator medição, que indica a utilização ou não de medidor de vazão por parte do usuário. O “ V_{out} ” é calculado conforme a Equação 4:

$$V_{out} = Q_{out} \cdot PPU_{out} \cdot K_g \cdot K_e \cdot K_c \cdot F_m \quad (4)$$

sendo “ Q_{out} ” o volume outorgado mensal (em m^3); “ PPU_{out} ” o preço público unitário do metro cúbico outorgado a ser definido pelo CBH (R\$/ m^3); “ K_G ” o coeficiente relativo aos níveis de garantias de atendimento da outorga; “ K_e ” o coeficiente relativo a eficiência do uso; “ K_c ” o coeficiente relativo ao enquadramento de classe, conforme legislação; e “ F_m ” o coeficiente relativo a utilização ou não do medidor de vazão, também chamado de fator medição. A composição do “ V_{out} ” é destacada na Figura 12:

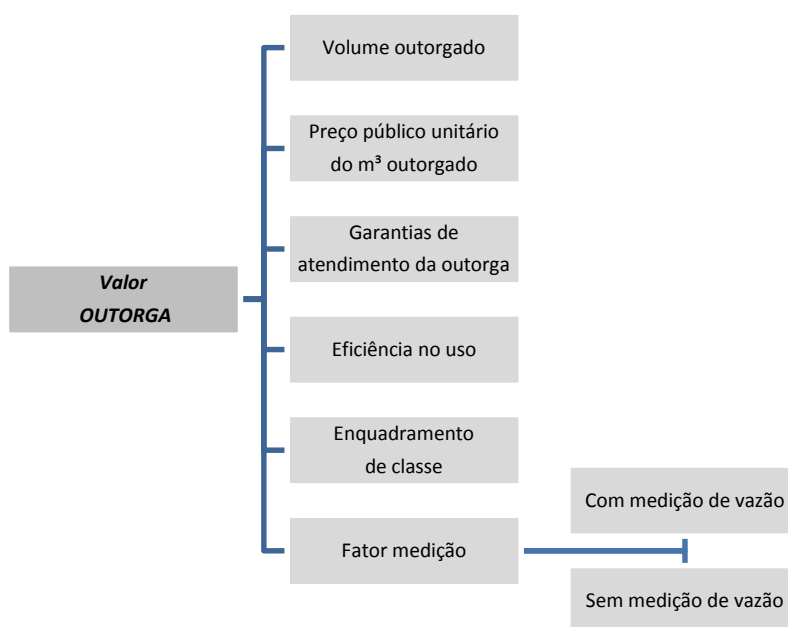


Figura 12 – Componentes do valor outorga

Fonte: O autor

A relação direta entre o valor pago pelo usuário e o seu “ Q_{out} ”, por exemplo, é uma característica importante da proposta de cobrança aqui descrita. De acordo com Viana (2011), as metodologias de cobrança aplicadas em bacias federais no Brasil não são totalmente explícitas em relação ao cálculo do valor cobrado como sendo função direta do “ Q_{out} ”. Para o autor, esta relação só está explícita no modelo aplicado no Rio São Francisco, quando do cálculo valor pago pela captação. Nos demais casos (Paraíba

do Sul, Rio Doce, e os Rios PCJ) o “ Q_{out} ” sempre é utilizado em conjunto com o “ Q_{cap} ” para se determinar o valor a ser cobrado na captação.

Para o cálculo do “ V_{out} ” a regra inicial da proposta de cobrança é observar a indicação dos níveis de garantia do sistema para cada usuário, bem como conhecer as vazões outorgáveis indicadas de cada usuário no sistema. Para níveis iguais a 100% de garantia, o “ V_{out} ” é calculado a partir do volume outorgado. Para garantias menores que 100% o “ V_{out} ” é calculado com base no volume fornecido (Q_{for}) naquele período de tempo.

É importante frisar que os valores admitidos nos diversos coeficientes ao longo da proposta de cobrança tomaram como base estudos já consolidados em relação a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, a exemplo do sistema de cobrança implantado na bacia hidrográfica do Rio São Francisco. Essa opção pelo Rio São Francisco se sustenta no fato de que tal bacia hidrográfica representa um caso que se aproxima substancialmente das características do sistema de recursos hídricos estudado na pesquisa em tela. Ademais, ao assumir valores para os coeficientes utilizados, pretende-se viabilizar o processo de simulação da proposta de cobrança pelo uso dos recursos hídricos aqui descrita. Portanto, cabe destacar que tais valores devem ser discutidos e ajustados sistematicamente no âmbito do CBH de forma a possibilitar uma futura adequação e implantação da proposta de cobrança pelo uso dos recursos hídricos.

Neste sentido, o valor coeficiente “ K_g ” pode ser determinado conforme os valores de garantia de atendimento descritos na Tabela 7. A diferenciação progressiva de “ K_g ” de certa forma caracteriza a disposição a pagar de cada usuário, assim como considera a importância do fator escassez hídrica no valor a ser pago, como defende Viana (2011).

Tabela 7 – Valores de K_g conforme níveis de garantia de atendimento da outorga.

Níveis de garantia	Valor de K_g
< 80%	0,5
80%	0,8
> 90%	1,0

Fonte: O autor

Já em relação ao coeficiente “ K_e ”, o modelo também assume parâmetros de progressividade em função do tipo de uso. Com base nos parâmetros definidos pelo CBHSF (2017), utilizou-se:

1. Para uso na irrigação o “ K_e ” assumirá os valores conforme tabela abaixo:

Tabela 8 – Valores de K_e conforme tecnologia utilizada na irrigação.

Tecnologia utilizada na irrigação	Valor de K_e
1. Gotejamento	0,3
2. Gotejamento subterrâneo – tubo poroso	0,3
3. Tubos perfurados	0,55
4. Micro-aspersão	0,5
5. Aspersão por sist. pivô central com Lepa	0,5
6. Aspersão por sistema pivô central	0,6
7. Aspersão por sistema deslocamento linear	0,5
8. Aspersão por sistema em malha	0,6
9. Aspersão por sistema auto propelido	0,6
10. Aspersão por sistema convencional	0,6
11. Sulcos abertos	0,8
12. Sulcos interligados em bacias	0,7
13. Sulcos fechados	0,7
14. Sub-irrigação	1
15. Inundação artificial	1
16. Outros métodos menos eficientes	1,5

Fonte: CBHSF (2017)

2. Para uso no abastecimento público, “ K_e ” é representado pelo o coeficiente de gestão operacional, que leva em consideração o Índice de Perdas na Distribuição (PD), constante no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) (Ver Tabela 9).

Tabela 9 – Índice de Perdas de Distribuição (%)

Índice	Valores de K_e
$20 < PD \leq 30$	0,8
$30 < PD \leq 40$	1,0
$40 < PD \leq 50$	1,2
$PD > 50$	1,5

Fonte: CBHSF (2017)

3. Para uso na indústria e na mineração, “ K_e ” é determinado pelo produto: $I_{RC} \times I_{RU}$, onde “ I_{RC} ” é o índice de reciclagem de água no processo e “ I_{RU} ” é o índice de reuso de água no processo. O “ I_{RC} ” é calculado pela relação $Q_{RC}/Q_{Total_processo}$, onde “ Q_{RC} ” é a quantidade de reciclagem de água no processo e “ $Q_{Total_processo}$ ” a quantidade total de água no processo. Já o “ I_{RU} ” é calculado pela relação $Q_{RE}/Q_{Total_processo}$, onde “ Q_{RE} ” é a quantidade de reuso de água no processo. Para tanto, observa-se os dados da Tabela 10:

Tabela 10 – Índice de Reciclagem de água no processo (para IRC) e Índice de Reuso de água no processo (para IRU)

Porcentagem do Índice de Reciclagem e Índice de Reuso	Valores de IRC	Valores de IRU
0 - 20%	1,0	1,0
21 - 40%	0,95	0,95
41 - 60%	0,90	0,90
61 - 80%	0,85	0,85
81 - 90%	0,80	0,80
91 - 100%	0,75	0,75

Fonte: Adaptado de CBHSF (2017).

4. Para uso na aquicultura, criação animal e lazer, o “K_e” assume o valor unitário (1).

5. No caso do lançamento de efluentes, os valores utilizados para “K_e” estão descritos na Tabela 11:

Tabela 11 – Valores de K_e para o lançamento de efluentes

Coefficiente	Classe de enquadramento do manancial*	Valor
K _e	Classe Especial	1,5
	Classe 1	1,1
	Classe 2	1,0
	Classe 3	0,8
	Classe 4	0,6

*Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005 do CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA)

Fonte: Adaptado de CBHSF (2017).

No que diz respeito ao coeficiente “K_c”, o coeficiente pode assumir os seguintes valores, conforme destaca a Tabela 12.

Tabela 12 – Valores de K_c

Classe de enquadramento dos recursos hídricos*	Valor de K _c
Classe Especial	1,05
Classe 1	1,02
Classe 2	1
Classe 3	0,98
Classe 4	0,95

*Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005 do CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA)

Fonte: (ALMEIDA; CURI, 2016)

Quanto ao “F_m”, utilizou-se, como base, os seguintes parâmetros: para a utilização de medidor de vazão F_m = 0,5, enquanto que para a não utilização de medidor de vazão F_m = 1. Ou seja, para os usuários que adotarem medição de vazão, o valor a ser pago em relação ao “V_{out}” cai pela metade, como forma de incentivo ao uso do medidor de vazão. Tal característica representa mais um aspecto inovador da proposta de cobrança, já que nenhum dos modelos implantados em bacias federais induz de forma direta, via impacto econômico sobre os usuários, a utilização de medidor de vazão. Fato este que amplia a capacidade do sistema de monitorar o consumo ao longo do tempo e, assim, estabelecer um processo de fiscalização e gestão dos recursos de forma mais eficiente.

O valor do “V_{cap}” é calculado apenas nos casos em que existe a presença de medidor de vazão, sendo cálculo realizado conforme a Equação 5.

$$V_{cap} = \begin{cases} (|Q_{med} - Q_{out}| - [Q_{out} \cdot K_{var}]) \cdot PPU_{med}; & \text{se } \left| \frac{Q_{med} - Q_{out}}{Q_{out}} \right| > K_{var} \\ \text{Caso contrário, } V_{cap} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

sendo “Q_{med}” o volume medido mensalmente; “K_{var}” o coeficiente de variabilidade e “PPU_{med}” o preço público unitário da medição.

A parcela [Q_{out} · K_{var}] refere-se à variabilidade admitida da atividade em relação ao “Q_{out}”. Com relação aos seus elementos estruturantes, a Figura 13 apresenta tal conjunto.

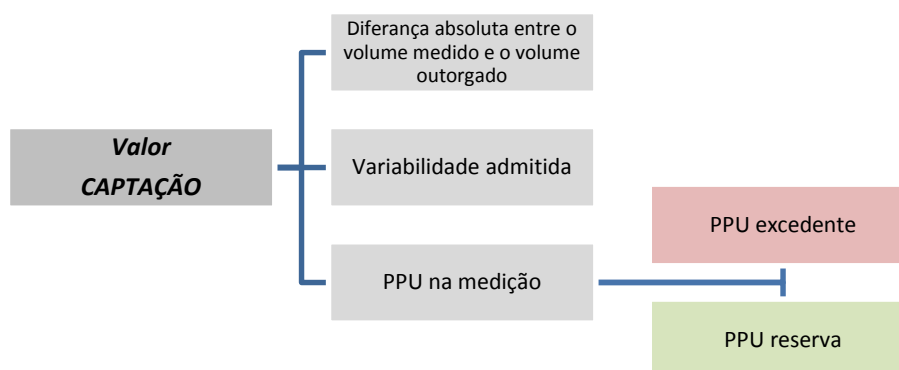


Figura 13 – Componentes do valor captação
Fonte: O autor

Em relação ao coeficiente “ K_{var} ”, este representa a margem de variabilidade assumida por cada usuário no sistema. Por exemplo, para o usuário de abastecimento urbano, pode-se considerar um valor para “ K_{var} ” de 0,05, ou seja, admite-se uma variabilidade de 5% para mais ou menos em relação a diferença $|Q_{med} - Q_{out}|$. Para os demais usos, sugere-se para “ K_{var} ” os seguintes valores: Irrigação = 0,3; Industrial = 0,03; Aquicultura = 0,03; Criação animal = 0,03; Mineração = 0,05; Lançamento de efluentes: 0,10; e Lazer = 0,20.

Já o “ PPU_{med} ” poderá assumir valores distintos dependendo do resultado da medição de vazão. Para os usuários que apresentam um “ Q_{med} ” maior do que o “ Q_{out} ”, mesmo considerando o “ K_{var} ”, o “ PPU_{med} ” assume o valor do preço público unitário da captação excedente (PPU_{ex}), como explicitado na equação 6.

$$\left(\frac{Q_{med} - Q_{out}}{Q_{out}}\right) > K_{var} \rightarrow PPU_{med} = PPU_{ex} \quad (6)$$

Para os usuários que apresentam um “ Q_{med} ” menor do que o “ Q_{out} ”, o “ PPU_{med} ” passa a ser definido pelo preço público unitário da captação de reserva (PPU_{re}), como demonstrado na Equação 7.

$$\left(\frac{Q_{med} - Q_{out}}{Q_{out}}\right) < (-K_{var}) \rightarrow PPU_{med} = PPU_{re} \quad (7)$$

A ideia básica deste mecanismo é evitar captações extras ou reservas extras em relação ao “ Q_{out} ”, penalizando tanto o uso acima, quanto, abaixo do “ Q_{out} ”, sendo considerada a margem de variabilidade admitida. Este aspecto da proposta de cobrança tem, como principal objetivo, induzir o usuário ao longo do tempo a adequar sua demanda hídrica aos padrões aceitáveis da atividade econômica utilizada e, conseqüentemente, da sua outorga, de forma a tornar possível uma alocação mais eficiente dos recursos hídricos disponíveis. Portanto, ao cobrar preços diferenciados, tanto pelo volume excedente quanto pelo volume abaixo do outorgado admitido por $[Q_{out} \cdot K_{var}]$, o modelo busca reduzir não só as chamadas reservas hídricas extras a partir do maior impacto econômico sobre os usuários, mas também o consumo excedente. Neste caso, sugere-se que $PPU_{ex} > PPU_{re}$, a critério do CBH. Tal aspecto é também considerado inovador em relação aos modelos implantados em bacias federais.

Com relação ao usuário de irrigação, por causa da maior variabilidade no uso da água ao longo do ano (o uso da água é maior no período seco do que no período chuvoso), o cálculo do “V_{cap}” passa a ser realizado a partir do volume medido e outorgado anualmente. A Figura 14 apresenta os elementos estruturantes do valor captação:

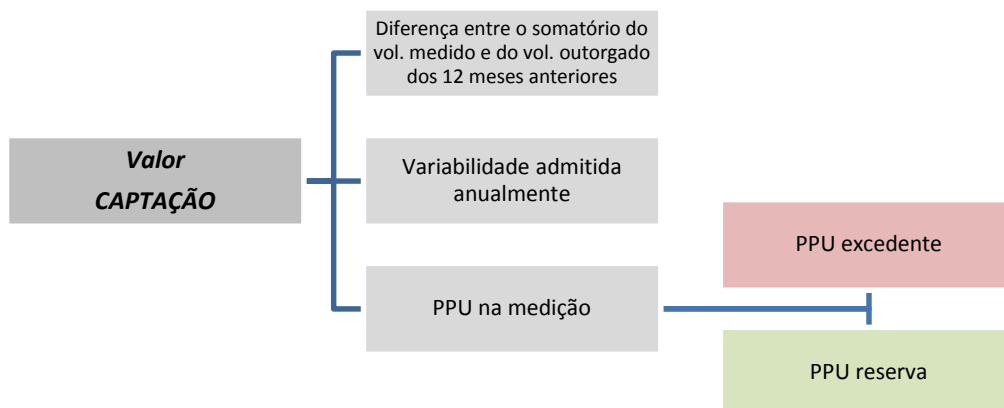


Figura 14 – Componentes do valor captação para uso na irrigação
Fonte: O autor

Uma vez calculado o “V_{cap}” para a irrigação, o resultado será dividido em 12 parcelas mensais, a serem pagas no ano seguinte. Tudo isso tem o objetivo de reduzir os impactos econômicos provocados, principalmente, pela vulnerabilidade enfrentada pelo setor agrícola diante dos períodos de longa estiagem, que caracteriza a região semiárida.

Para efeito de cálculo, são consideradas 12 prestações iguais, a serem pagas no ano seguinte (t +1). Ou seja, uma carência de 01 ano para o pagamento do valor referente aos excessos ou subutilização em relação ao volume outorgado, e para que os usuários possam adequar suas outorgas em função da demanda hídrica da atividade.

Quanto ao cálculo do componente relativo à transposição (V_{tra}), são consideradas as seguintes variáveis descritas na Equação 8:

$$V_{tra} = (Q_{tra} \cdot K_u) \cdot (PPU_{tra} - Sub) \quad (8)$$

sendo “Q_{tra}” o volume de entrada da transposição em m³/mês no sistema; “K_u” o coeficiente de diferenciação de usuário; “PPU_{tra}” o preço público unitário do metro cúbico da transposição, e “Sub” o subsídio do governo.

O valor de “K_u” é dado pela relação entre o volume outorgado de cada usuário (Q_{out_i}) e o volume total outorgado do sistema de recursos hídricos (Q_{out_n}):

$$K_U = \frac{Q_{out_i}}{Q_{out_n}} \quad (9)$$

Neste sentido, a Figura 15 descreve os elementos da componente “V_{tra}”:

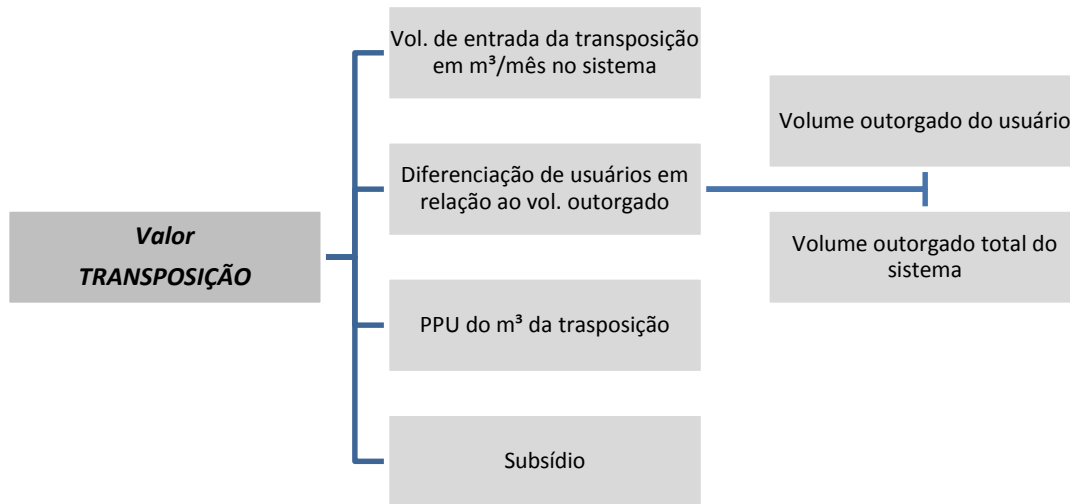


Figura 15 – Componentes do valor transposição.

Fonte: O autor

Em relação ao “PPU_{tra}”, este será dado pelo valor cobrado na bacia doadora, deduzida a parcela correspondente ao subsídio que porventura venha a existir.

Cabe destacar que, dentre os modelos implantados e discutidos no Brasil em bacias hidrográficas interestaduais, nenhum deles leva em consideração a existência de subsídios governamentais para pagamento de águas oriundas da transposição. Além do mais, também não consideram a proporcionalidade de pagamentos por usuários em relação ao volume outorgado individual. Aspectos estes inovadores, incorporados à proposta de cobrança aqui descrita.

No que diz respeito ao componente lançamento de efluentes (V_{lan}), a seguinte relação simples será estabelecida e já definida nos estudos de Viana (2011), sendo apenas incorporada pelo modelo proposto. Assim:

$$V_{lan} = (C_{DBO} \cdot Q_{out}) \cdot PPU_{lan} \cdot K_c \quad (10)$$

sendo “C_{DBO}” a concentração de “DBO_{5,20}”; “PPU_{lan}” o preço público unitário do lançamento e “K_c” o coeficiente de classe de enquadramento; Neste sentido, o componente é estruturado conforme a Figura 16:

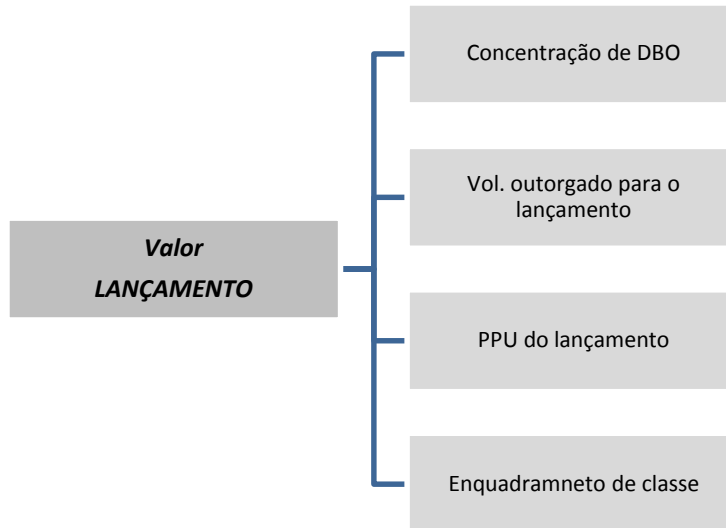


Figura 16 – Componentes do valor lançamento de efluentes
Fonte: O autor

Para o cálculo do valor gestão (V_{gest}), pode-se dizer que este será descrito pela equação 11, pago mensalmente pelos usuários, após 24 meses de carência. Tanto o prazo de carência quanto a parcela de contribuição dos usuários em relação aos investimentos previstos serão definidos pelo CBH. Portanto, o “ V_{ges} ” é calculado da seguinte forma:

$$V_{ges} = \left(\frac{F_g \cdot (VPL_{inv} - ARREC_{LIQ_{t+1}})}{n} \right) \cdot K_u \quad (11)$$

sendo “F_g” o coeficiente de contribuição em termos percentuais dos usuários em relação aos investimentos considerados; “VPL_{inv}” o valor presente líquido dos investimentos totais do plano de investimentos da bacia ou da sub-bacia; “ARREC_LIQ_{t+1}” o saldo líquido acumulado da arrecadação com a cobrança e “n” o número de meses considerados no cálculo do “VPL_{inv}”.

Lanna e Laigneau (2010), Acserald, Azevedo e Formiga-Johnsson (2015), Gama Engenharia (2016) e Vera, Montenegro e Silva (2017) destacam, ao longo de suas pesquisas, que as receitas oriundas da cobrança não satisfazem plenamente as demandas

de investimentos das bacias. Este aspecto, de certa forma, apresenta-se como uma fragilidade dos modelos de cobranças implantados atualmente no Brasil.

Nenhum dos modelos implantados em bacias hidrográficas de domínio da União, por exemplo, considera a participação da cobrança no montante dos investimentos previsto no plano de investimento da bacia. Em relação ao modelo de cobrança aqui propostos esta é uma característica importante, já que, de acordo com a Lei 9.433/97, os recursos financeiros oriundos da cobrança devem subsidiar os investimentos a serem realizados com o objetivo de mitigar os impactos causados pelas externalidades na bacia hidrográfica. Neste sentido, a componente “ V_{ges} ” está estruturada conforme a Figura 17.

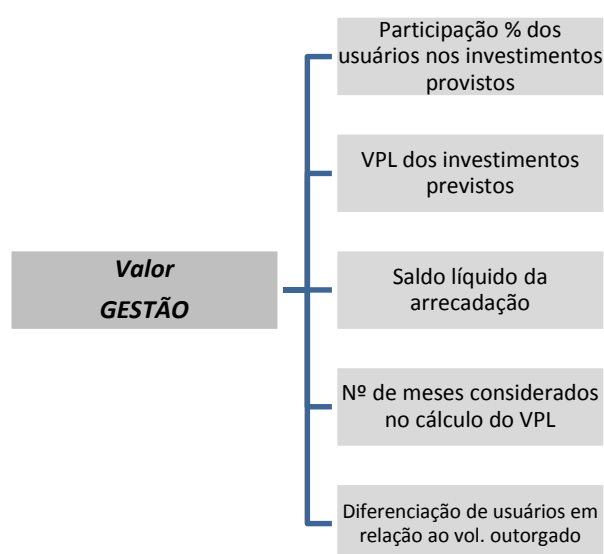


Figura 17 – Componentes do valor gestão

Fonte: O autor

Em relação ao valor do componente mineração (V_{min}), adotou-se o cálculo realizado pelo CBHSF (2017). Portanto:

$$V_{min} = Q_{are} \cdot PPU_{min} \cdot U \quad (12)$$

sendo “ Q_{are} ” o volume de água captada na retirada de areia; “ PPU_{min} ” o preço público unitário para mineração e “ U ” o teor de umidade da areia produzida, representado pela relação:

$$U = \frac{m_{\text{água_contida_na_amostra}}}{m_{\text{amostra_seca}}} \cdot 100 \quad (13)$$

Dos quais, “ $m_{\text{água_contida_na_amostra}}$ ” é a massa da água contida na amostra e “ $m_{\text{amostra_seca}}$ ” é a massa da amostra seca. Conforme destaca a Figura 18, os elementos estruturantes do “ V_{min} ” são:

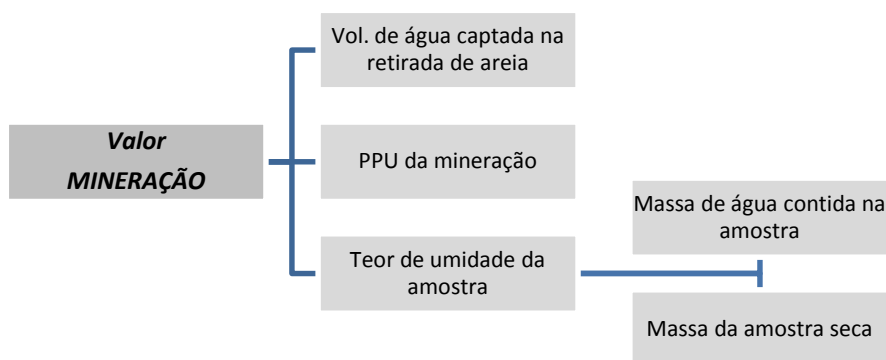


Figura 18 – Componentes do valor captação para uso na irrigação
Fonte: O autor

O último componente do modelo, o valor da componente Nível de Armazenamento de água do Sistema (V_{na}), tem como objetivo primordial estabelecer uma maior parcimônia e racionalidade no uso dos recursos hídricos, a partir dos efeitos da sazonalidade sobre o estoque hídrico do sistema, conforme destaca a Figura 13.

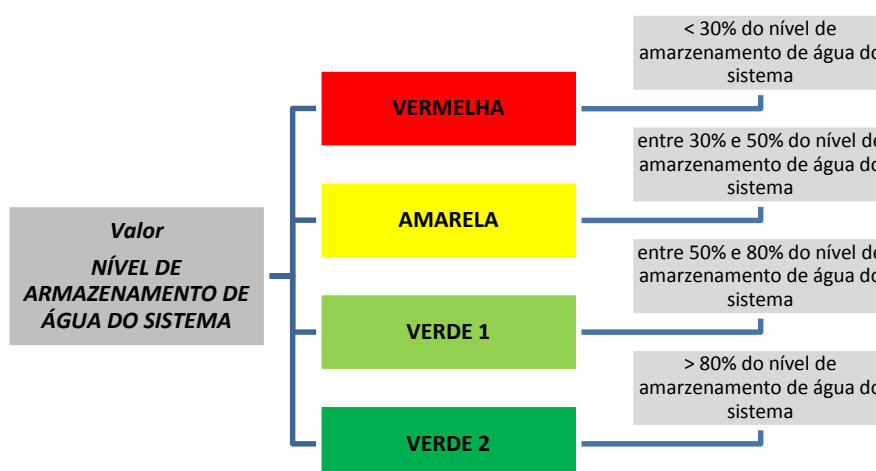


Figura 19 – Componentes do nível de armazenamento de água do sistema.
Fonte: O autor

Com base no maior ou menor impacto econômico sobre os usuários, é aplicado a bandeira tarifária referente ao nível de armazenamento de água do sistema (B_{na}), que incidirá sobre “ Q_{out} ” ou “ Q_{med} ”, dependendo da situação, ou seja, se o usuário não tiver medidor de vazão, aplica-se sobre o “ Q_{out} ”, caso contrário, sobre o “ Q_{med} ” ou sobre o volume fornecido (Q_{for}) pelo sistema quando a garantia for menor do que 100%.

De forma que:

- a. $V_{na} = B_{na} \cdot Q_{out}$, quando não houver medição de vazão e a garantia do sistema for igual a 100%;
- b. $V_{na} = B_{na} \cdot Q_{for}$, quando não houver medição de vazão e a garantia do sistema for menor do que 100%;
- c. $V_{na} = B_{na} \cdot Q_{med}$, quando houver medição de vazão;

O uso do “ V_{na} ” é, também, considerado uma característica inovadora da proposta de cobrança, já que os efeitos da sazonalidade hídrica no sistema estão diretamente relacionados ao valor cobrado por cada usuário. Assim como ocorre com o setor elétrico, a cobrança de bandeiras tarifárias torna-se de suma importância para a sustentabilidade do sistema hídrico ao longo do tempo. O objetivo principal desta componente de cobrança é conscientizar os usuários e induzi-los a adequar suas demandas hídricas às variações provocadas pelos longos períodos de estiagem sob o sistema.

De um posto de vista geral, a Figura 20 sintetiza todos os elementos fundamentais do modelo de cobrança proposto, destacando, para tanto, o seu fluxograma operacional:

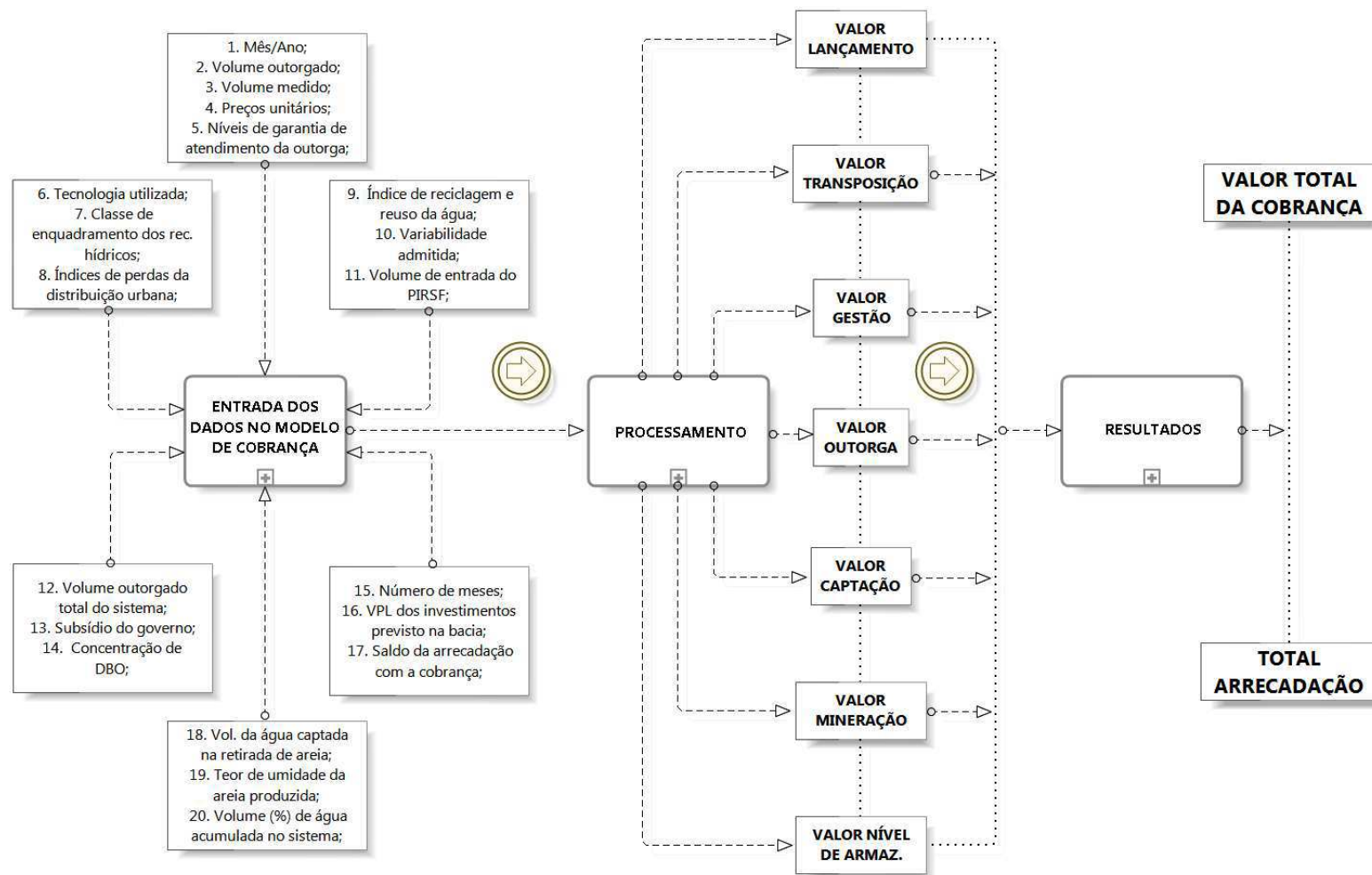


Figura 20 – Fluxograma operacional do modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos proposto.
Fonte: O autor

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Uma vez traçado o objetivo da pesquisa, se faz necessário esclarecer e determinar os procedimentos e métodos utilizados para alcançá-lo. Neste sentido, estruturou-se os elementos metodológicos da tese de acordo com os seguintes elementos:

4.1 Caracterização da pesquisa

Inicialmente, pode-se dizer que a pesquisa é caracterizada como sendo um estudo que se apoiou no uso do **Método indutivo** para a atingir seu objetivo. Para Marconi e Lakatos (2000), tal método consiste no exercício mental, que parte da observação e análise de dados previamente constatados, para se elaborar, posteriormente, uma verdade intrínseca às partes pesquisadas.

No que diz respeito à natureza, a pesquisa caracteriza-se como sendo do tipo **Pesquisa aplicada**. De acordo com Gil (2010 p. 27), as pesquisas desse tipo são “voltadas à aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação numa situação específica”. Nas palavras de Michel (2009), são pesquisas que “tem como objetivo a aplicação, a utilização dos conhecimentos e resultados adquiridos na pesquisa básica; volta-se mais para o aspecto utilitário da pesquisa”.

Quanto ao objetivo, a pesquisa se caracteriza como sendo **Exploratória e Descritiva**. Para Gil (2002), a pesquisa exploratória tem como objetivo tornar mais explícitas as questões que permitam a familiaridade com o problema formulado, ou seja, aprimorar ideias ou descobrir novas intuições acerca do processo de investigação. Na perspectiva de Michael (2009), a pesquisa exploratória é considerada a fase inicial, ao tempo em que consiste no levantamento bibliográfico com o objetivo de identificar e subsidiar a abordagem do tema, assim como dar suporte a construção dos objetivos, determinar o problema e definir o que será abordado no referencial teórico. Já a pesquisa descritiva, segundo Gil (2002), tem como propósito a descrição de características de uma dada população, amostra ou fenômeno, estabelecendo a relação entre as variáveis levantadas. De acordo com Michel (2009, p. 44), a pesquisa descritiva, “se propõe a verificar e explicar problemas, fatos ou fenômenos da vida real, com precisão possível, observando e fazendo relações, conexões à luz da influência que o ambiente exerce sobre eles”.

Em relação aos procedimentos, caracteriza-se a pesquisa como sendo do tipo **Bibliográfica e Documental**. A pesquisa bibliográfica refere-se a busca de informações em material já publicado sobre o problema de investigação. Geralmente inclui-se nessa modalidade: material impresso (livros, revistas, jornais, teses, dissertações, artigos etc.) e material em formato digital (CDs, Internet etc.) (GIL, 2010). Em relação à pesquisa documental, Gil (2010) argumenta que é o tipo de pesquisa que está presente em todas as ciências sociais. Ela geralmente é confundida com a pesquisa bibliográfica, por se utilizar da consulta de dados existentes. Neste sentido, a principal diferença refere-se a natureza dos dados analisados. Na primeira, a pesquisa é feita em material elaborado por autores com o objetivo de serem lidos por um público específico no assunto, enquanto que a segunda se vale da pesquisa em documentos de várias naturezas e de diversas finalidades, tais como: autorizações, comunicações, banco de dados, cadastros etc.

Na pesquisa documental, realizou-se a obtenção de dados secundários por meio de instituições públicas e privadas, tais como: IBGE, AESA, ANA, Water Conservation Portal & Search Engine, World Bank, OCDE, MMA, entre outros.

4.2 A abordagem do problema e etapas da pesquisa

Quanto a este aspecto metodológico, pode-se dizer que a pesquisa caracteriza-se como sendo do tipo **Quantitativa e Qualitativa**. Para tanto, utilizou-se da aplicação do modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos superficiais proposto junto a BHRPPA, mais especificamente na UPHAP, com intuito de avaliar, quantitativamente, a consistência e robustez do modelo, assim como analisar os diversos aspectos teóricos relacionados aos dados obtidos.

Com o intuito de responder ao problema de pesquisa proposto, estruturou-se o caminho percorrido com base nas etapas descritas pela Figura 21:

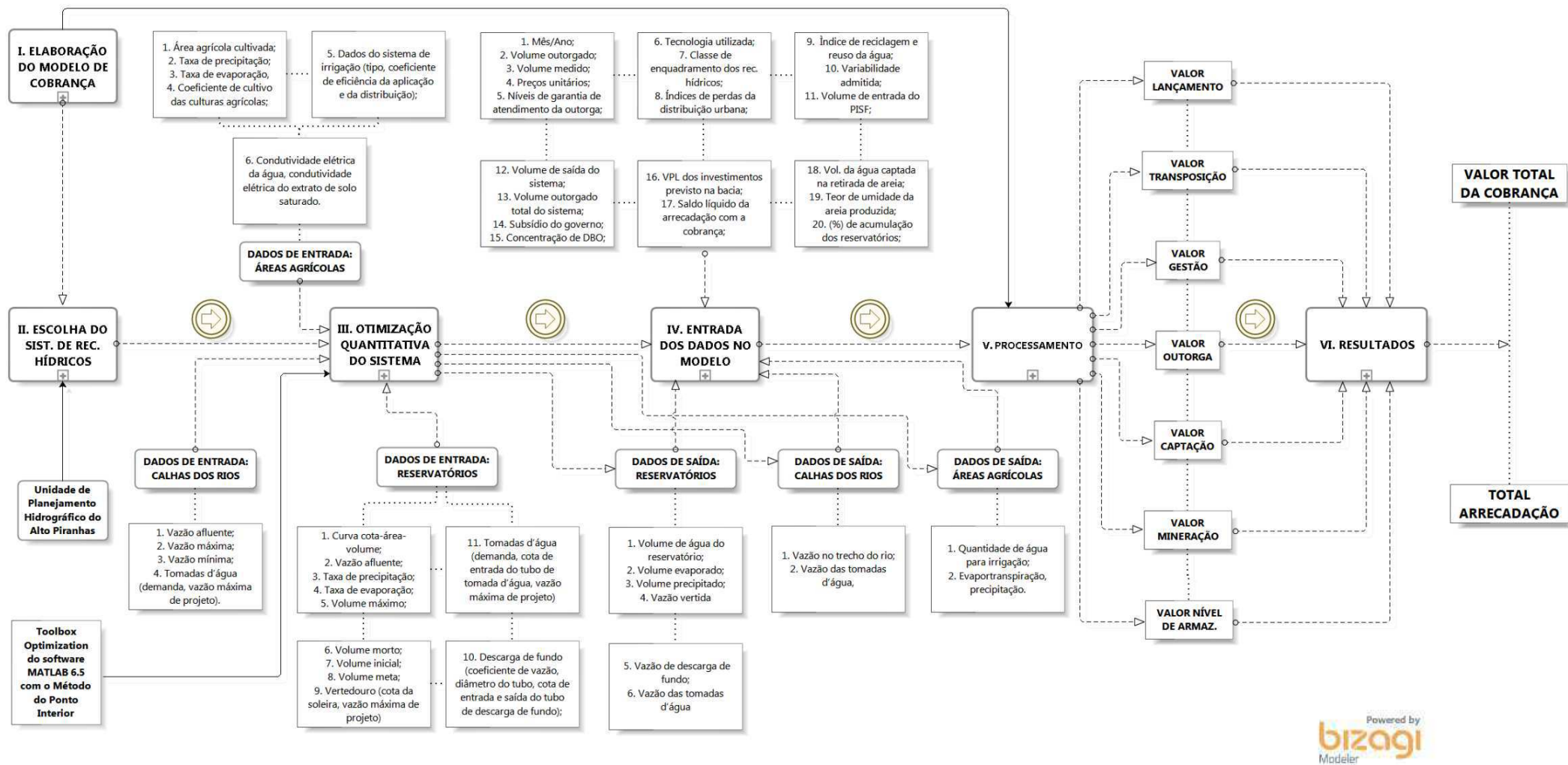


Figura 21 – Estruturação do problema de pesquisa.

Fonte: O autor

Na **1ª Etapa**, estruturou-se a proposta de modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Como destacado no capítulo anterior, utilizou-se, para tanto, a análise detalhada dos modelos de cobrança atualmente implantados e discutidos na literatura especializada, tendo como foco principal e fundamental os modelos de cobrança implantados em bacias hidrográficas controladas pela União.

Uma vez estruturado a proposta de modelo de cobrança, na **2ª Etapa** foi selecionado o sistema de recursos hídricos a ser analisado, com base na aplicação da proposta de cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Para tanto, foi escolhida a BHRPPA, mais especificamente a UPHAP. A escolha da UPHAP se deu em virtude da mesma ser controlada por reservatórios e atualmente enfrentar problemas de escassez, além de não ter sido implantado, ainda, o instrumento de cobrança pelo uso dos recursos hídricos à luz da Lei 9.433/97.

A **3ª Etapa** da pesquisa consistiu na otimização quantitativa do sistema de recursos hídricos selecionados para análise. Nesta etapa, lançou-se mão do modelo de otimização quantitativa multiobjetivo de Santos *et al.* (2011), a fim de obter as informações operacionais necessárias para a aplicação do modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos proposto. Neste sentido, foram utilizados dados hidroclimáticos e hidroagrícolas, como também outras variáveis (demandas hídricas, características físicas dos componentes etc.) em relação às áreas agrícolas, a calha do rio e dos reservatórios.

Já nas **4ª e 5ª Etapas**, a partir das informações obtidas na etapa anterior, foram realizadas as simulações com o modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos proposto a partir da definição de cenários e situações possíveis. Nesta etapa da pesquisa, utilizou-se planilhas eletrônicas do tipo Excel, do Microsoft Office 2010.

Por fim, na etapa final (**6ª Etapa**) foram obtidos os resultados com a aplicação do modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos proposto. Aqui foi possível analisar os dados em relação ao custo de cada usuário do sistema de recursos hídricos com a cobrança, assim como do total da arrecadação.

4.3 O caso em estudo: recorte espacial e caracterização.

Com base na Lei 9.433/97 (que estabelece a bacia hidrográfica enquanto unidade de gestão dos recursos hídricos no Brasil), selecionou-se a BHRPPA, mais especificamente a UPHAP, para o processo de construção e validação do modelo, dado o intuito de reduzir ao máximo a complexidade do problema de pesquisa. Outra questão importante na escolha do caso em estudo é o fato da região contemplar dois reservatórios interdependentes em termos de sub-bacia. Essa característica é de fundamental importância para a construção do modelo de

cobrança pelo uso dos recursos hídricos vinculado a outorga de direito, haja vista que no modelo de otimização quantitativa multiobjectivo, definido por Santos *et al.* (2011) e utilizado na simulação do modelo de cobrança proposto, é imprescindível a existência de interdependência de reservatórios ao longo da bacia hidrográfica ou sub-bacia.

A BHRPPA corta os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. De acordo com a ANA, a bacia faz parte da Região Hidrográfica do Nordeste Oriental (RHNO) (conforme Figura 22) e está subdividida em 7 bacias: Bacia do Alto, Médio e Baixo Piranhas, Bacia do Rio do Peixe, Bacia do Espinharas, Bacia do Piancó e Bacia do Seridó.

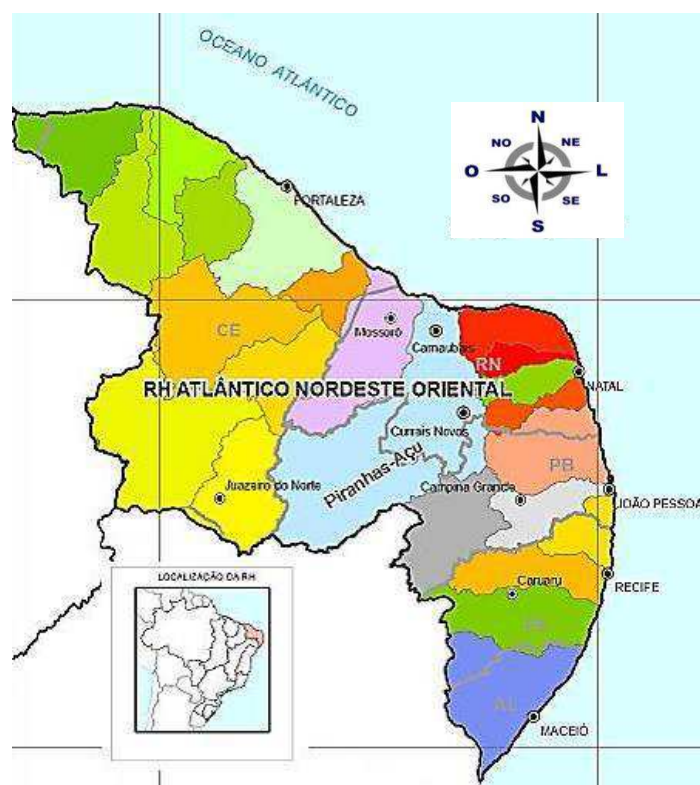


Figura 22 - A Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental - RHNO e suas 23 unidades hidrográficas (Sub-2)

Fonte: ANA (2010)

De acordo com a ANA (2010), a RHNO representa algo em torno de 3,4% do território brasileiro, com uma área total de 286.802 km². Nela estão inseridos os seguintes estados: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas, além de 5 capitais da região Nordeste.

Baseada em dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET de 2007, a ANA destaca que, na RHNO, a precipitação média é de 1.761mm concentrados em período curtos,

característica típica do semiárido brasileiro. Em relação à vazão da RHNO, pode-se dizer que está situa-se em torno de 0,4% da vazão nacional, o que representa um volume de 774 m³/s.

A BHRPPA situa-se entre as coordenadas geográficas 38° 75' e 36° 17' de longitude oeste e 5° 06' e 7° 83' de latitude sul, do semiárido nordestino (ANA, 2014b), conforme pode-se observar na Figura 23.

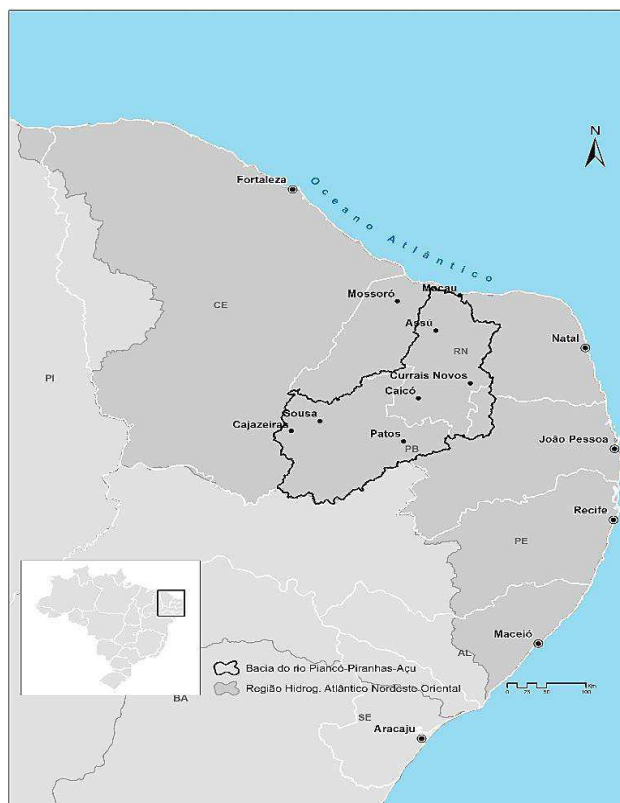


Figura 23 – Localização da BHRPPA

Fonte: ANA (2014b)

Os rios Piancó-Piranhas-Açu, principais rios da BHRPPA, possuem uma extensão de 400 Km, nascendo na Serra de Piancó e desaguando no município de Macaú no estado do Rio Grande do Norte. A existência de grandes reservatórios construídos pelo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (DNOCS) permite um fluxo perenizado em trechos do rio, mesmo em períodos de estiagem. Já em condições naturais, ele pode ser considerado um rio intermitente, diferentemente do que acontece com o Rio São Francisco, também inserido no semiárido brasileiro (ANA, 2010).

Os reservatórios de Engenheiro Ávidos, no município de Cajazeiras (com capacidade de 225 milhões m³), e São Gonçalo, no município de Sousa (com capacidade de 44,6 milhões m³), no estado da Paraíba, a partir de uma vazão regularizada, garantem a perenidade do trecho do rio Piranhas, haja vista a situação hídrica de tais reservatórios. Já o reservatório de Curema-

Mãe d'água, no município de Coremas, também no estado da Paraíba (com capacidade de 1.159.650.000 m³ e com vazão regularizada de 9,5 m³/s), garante a perenidade do rio Piancó, enquanto que a Barragem Armando Riberio Gonçalves, no município de Açu no estado do Rio Grande do Norte (com capacidade de 2,4 bilhões de m³ e vazão de 7,8 m³/s), garante a perenidade do rio Açu, configurando-se, portanto, como os principais corpos d'água da BHRPPA (ver Figura 24). Com relação à área de drenagem, a bacia possui uma área de 43.681,50 Km², dos quais 60% encontra-se no estado da Paraíba e 40% do estado do Rio Grande do Norte (ANA, 2010), conforme Figuras 17 e 18.

A vazão regularizada com base nos dois maiores reservatórios é de 91,5m³/s, o que representa 0,1 % da média nacional. Do ponto de vista da vazão específica, a região possui apenas 2,7 L/s/Km², sendo considerada muito baixa em relação a média do país, que possui uma vazão de 20,9 L/s/Km² (ANA, 2010).

Ainda em relação à disponibilidade hídrica da região, pode-se dizer que, atualmente, a BHRPPA possui cerca de 47 reservatórios geograficamente distribuídos, conforme a Figura 18. Os dois maiores (Curema-Mãe d'água, na Paraíba, e a Barragem Armando Ribeiro Gonçalves, no Rio Grande do Norte) ocupam 70% do armazenamento de toda a bacia. Os demais são considerados reservatórios estratégicos, pois possuem capacidade acima de 10 milhões de m³ (ANA, 2010), como é o caso dos reservatórios Engenheiro Ávidos (PB 002) e São Gonçalo (PB 008). Estes últimos, em especial, estão inseridos na bacia do Alto Piranhas, área anteriormente definida para a realização da nossa pesquisa (ver Figura 24).

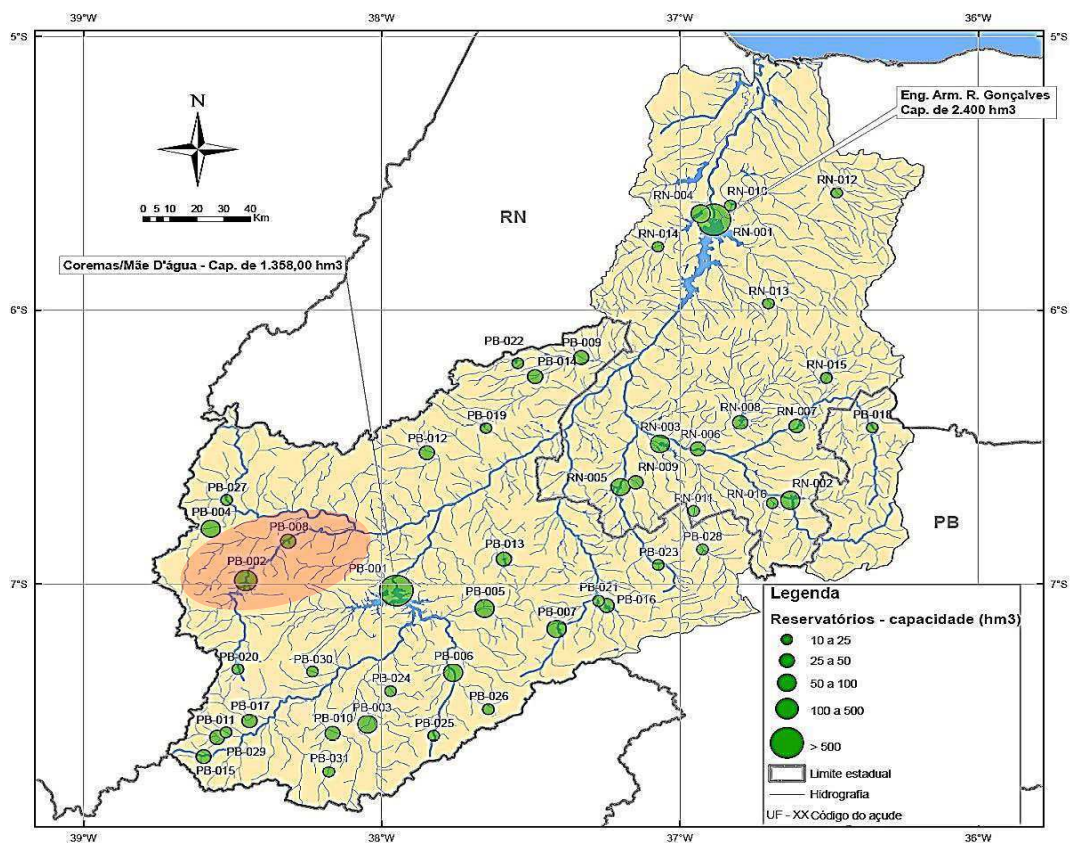


Figura 24 – Principais reservatórios localizados na BHRPPA e na UPHAP.
Fonte: ANA (2010)

Do ponto de vista socioeconômico, a BHRPPA abrange, completa ou parcialmente, 147 municípios, sendo 102 na Paraíba e 45 no Rio Grande do Norte. Nesses municípios vivem aproximadamente 1.280.000 habitantes, 67% deles no estado da Paraíba. A maioria das cidades (75%) tem população inferior a 10.000 habitantes e a região, como um todo, tem uma média de urbanização situada na casa dos 66%. A cidade de Patos - PB é a maior cidade dentro da bacia, que possui também cidades importantes como Sousa - PB, Cajazeiras - PB, Pombal - PB, Caicó - RN, Açu - RN e Currais Novos - RN (ANA, 2010). A Figura 25 destaca as sedes com população acima de 25.000 habitantes.

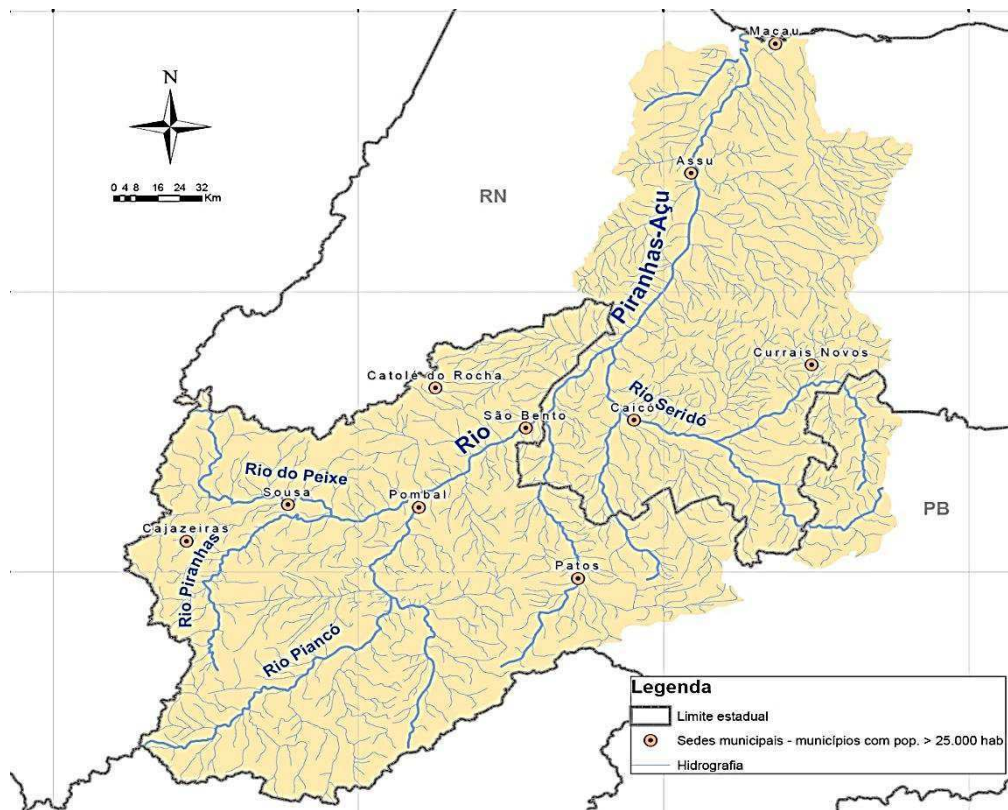


Figura 25 – Mapa esquemático da BHRPPA
Fonte: ANA (2010)

A região possui um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) médio de 0,66 e tem na agropecuária sua principal atividade econômica, principalmente em se tratando de agricultura irrigada. Com relação às atividades industriais desenvolvidas ao longo da bacia, destacam-se: a indústria têxtil, os curtumes, a produção de sal, cerâmica, laticínios e petróleo e gás (especificamente na região de Macaú - RN). Merece também destaque as atividades de mineração, que são desenvolvidas principalmente, na região do Seridó, no estado do Rio Grande do Norte. A carcinicultura e piscicultura também são atividades econômicas presentes na bacia, as quais são representadas pelo estado do Rio Grande do Norte, enquanto maior produtor (ANA, 2010).

Com relação às condições de abastecimento da bacia, pode-se dizer que a população urbana é consideravelmente beneficiada, de forma que a água chega a 96% dessa população no estado da Paraíba e a 92% no Rio Grande do Norte. Cabe destacar que esses dados são baseados na existência de rede de abastecimento e suas questões operacionais, que, certa forma, não representa garantia da oferta. Já em relação à cobertura de coleta de esgotos, o quadro não é tão

favorável, dado que apenas 2,46% da população urbana tem rede de coleta no estado da Paraíba, já no estado do Rio Grande do Norte, o percentual é de 13,95% (ANA, 2010).

Quanto a demanda hídrica, há uma predominância dos usos consuntivos na bacia, sendo a agricultura irrigada o maior demandante dos recursos hídricos (90% da demanda). Esse alto percentual é justificado pelo fato de que a construção de grandes e significativos reservatórios, ao longo da bacia, buscou atender a uma demanda de políticas públicas de combate à seca, como forma estratégica de desenvolvimento regional ao longo do tempo pelo DNOCS. As demandas estimadas¹⁰ giram em torno de 33,68 m³/s em relação à retirada, 25,08 m³/s para consumo e 8,6 m³ retornam à bacia (Quadro 06). Em termos percentuais, a distribuição dos usos consuntivos está destacada de acordo com o Gráfico 03.

Quadro 6 - Vazões de retirada (demanda), de retorno e de consumo, em m³/s e para usos consuntivos.

Uso	Demandas estimadas (m ³ /s)		
	Retirada	Consumo	Retorno
Animal	0,59	0,47	0,12
Irrigação	29,79	23,83	5,96
Urbano	2,43	0,49	1,94
Rural	0,40	0,20	0,20
Industrial	0,47	0,09	0,38
Total	33,68	25,08	8,60

Fonte: ANA (2010).

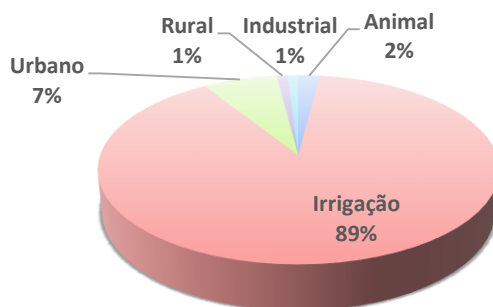


Gráfico 3 - Distribuição percentual das demandas estimadas na bacia.
Fonte: ANA (2010).

¹⁰ De acordo com a ANA, os dados têm como base o ano de 2006.

A agricultura irrigada é, predominantemente, a atividade econômica (89%) mais praticada na BHRPPA, de acordo com dados da ANA (2010). Conforme observa-se na Figura 26, as principais culturas permanentes que são irrigadas na região são o coco e a banana, estando a maior parte da plantação de coco localizada no interior do estado da Paraíba e a de banana no estado do Rio Grande do Norte, na região do baixo Açu. Em relação às principais culturas temporárias, destacam-se o cultivo do milho e feijão, principalmente no estado da Paraíba.

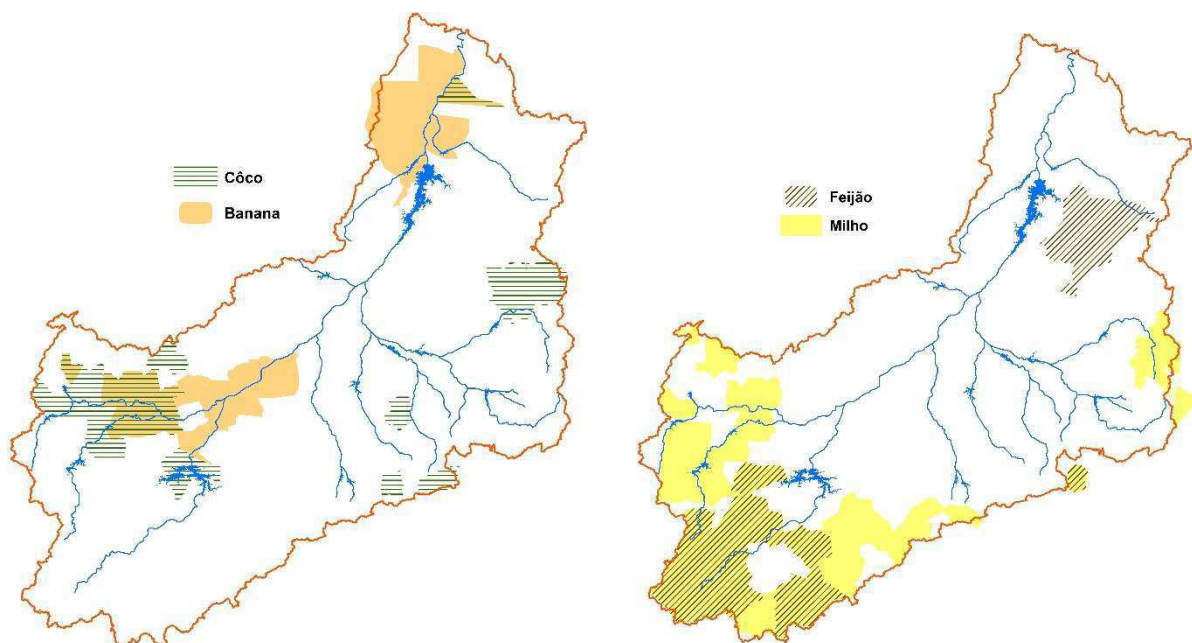


Figura 26 – Principais municípios produtores de culturas agrícolas temporárias e permanentes

Fonte: ANA (2016)

No que diz respeito a qualidade das águas da BHRPPA (ver Figura 21), pode-se dizer que a grande maioria dos Índices de Qualidade das Águas (IQA), levantados nos pontos de monitoramento, apresentam bons resultados. A escala de avaliação qualitativa, avaliação do IQA, vai de péssima a ótima. De acordo com a ANA (2010), são, ao todo, 40 pontos de monitoramento, dos quais 18 foram considerados ótimos, 34 bons e 3 regulares. Cabe destacar, conforme a Figura 27, que na Bacia do Alto Piranhas (área de estudo) a qualidade da água nos pontos de monitoramento é considerada ótima. Já no estado do Rio Grande do Norte, 03 pontos de monitoramento apresentaram qualidade em nível aceitável, ou seja, regular.

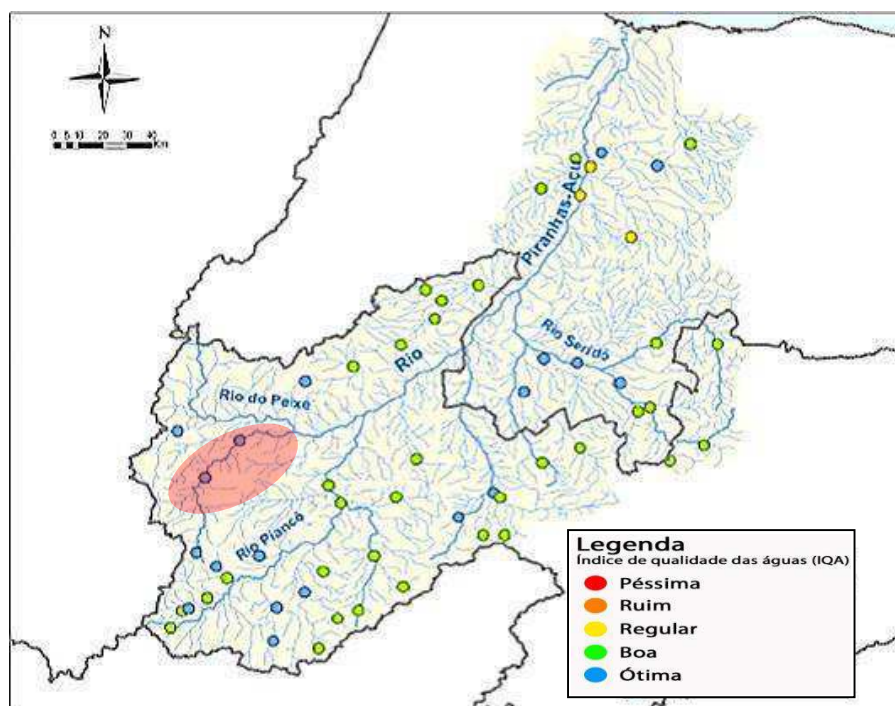


Figura 27 – Índice de Qualidade das Águas na BHRPPA
Fonte: ANA (2010)

Quanto ao arranjo institucional da bacia, este é composto pelos órgãos de gestão: Conselho Nacional de Recursos Hídricos; o Comitê da Bacia Hidrográfica dos rios Piancó-Piranhas-Açu; os Conselhos de Recursos Hídricos dos estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte; a ANA; a Secretaria de Estado da Infraestrutura, do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Ciência e Tecnologia da Paraíba – SEIMARH/PB; a AESA; a Secretaria de Infraestrutura e do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte – SEIMARH/RN; e o Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte – IGARN;

De acordo com a ANA (2010, p. 36), em relação a configuração do CBH, a BHRPPA possui uma característica peculiar ao ter um “Comitê Único, ao contrário de outros CBHs em rios de domínio da União, onde existem instalados e/ou planejados comitês em bacias afluentes, em rios de domínio dos Estados”. Esta característica ocorre em virtude do formato de gestão definido pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos da Paraíba e Rio Grande do Norte. Dentre os conflitos e problemas a serem administrados por esse aparato institucional, pode-se destacar:

- Insuficiência hídrica para atender a demanda;
- A baixa disponibilidade hídrica em alguns trechos gera uma baixa assimilação de efluentes diversos;

- Criticidade quali-quantitativa em alguns trechos;
- Reduzido índice de rede coletora e tratamento de esgoto nas áreas urbanas;
- “Ocorrência de eventos críticos de seca e de enchentes na bacia, de grande magnitude”.
- Problemas de assoreamento de rios e açudes em virtude dos desmatamentos das matas ciliares;
- Eutrofização de açudes;
- Demandas por procedimentos de otimização operacional dos reservatórios, em virtude do atendimento aos diversos usos, principalmente à agricultura nos perímetros irrigados;
- Conservação, manutenção e recuperação das instalações hidráulicas;
- “Uso indiscriminado de agrotóxicos provenientes de atividades agrícolas, irrigadas ou não”;
- Impactos ambientais decorrentes das atividades de carcinicultura na região do baixo Açu;
- Desertificação na região do Seridó, em virtude da forma de uso e ocupação do solo;
- Conflitos em torno dos recursos hídricos nas regiões salineiras do Rio Grande do Norte;
- Salinização da água;
- Lançamentos de efluentes decorrentes das atividades de mineração e da indústria têxtil;
- Uso inadequado dos recursos hídricos para recreação e lazer;
- “Existência de grande número de usuários de água irregulares (sem outorga de direito de uso da água) na bacia”;
- “Existência de barramentos e obras d’artes irregulares na bacia”; e
- “Disposição inadequada de resíduos sólidos na maioria dos municípios”.

4.4 Descrição do Sistema Estudado

A UPHAP está totalmente inserida no Estado da Paraíba, apresentando uma área de 2.562 km², tendo como rio principal o Rio Piranhas. Encontram-se inseridos 72 açudes com área superficial superior a 5 ha, tendo como os principais reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo (ANA, 2016), conforme apresentado na Figura 28.

Os reservatórios Engenheiros Ávidos e São Gonçalo são responsáveis pelo abastecimento de água de duas importantes cidades paraibanas, Cajazeiras e Sousa, além das cidades de Marizópolis, Nazarezinho e dos distritos de Engenheiros Ávidos e São Gonçalo, cuja população urbana é de aproximadamente 107.923 habitantes (IBGE, 2017). Os reservatórios também são usados para suprir as demandas hídricas do Perímetro Irrigado de São Gonçalo (PISG), que possui uma área total de 3.139 ha, e as demandas difusas ao longo do Rio Piranhas e no entorno do reservatório São Gonçalo (REIS, 2014).

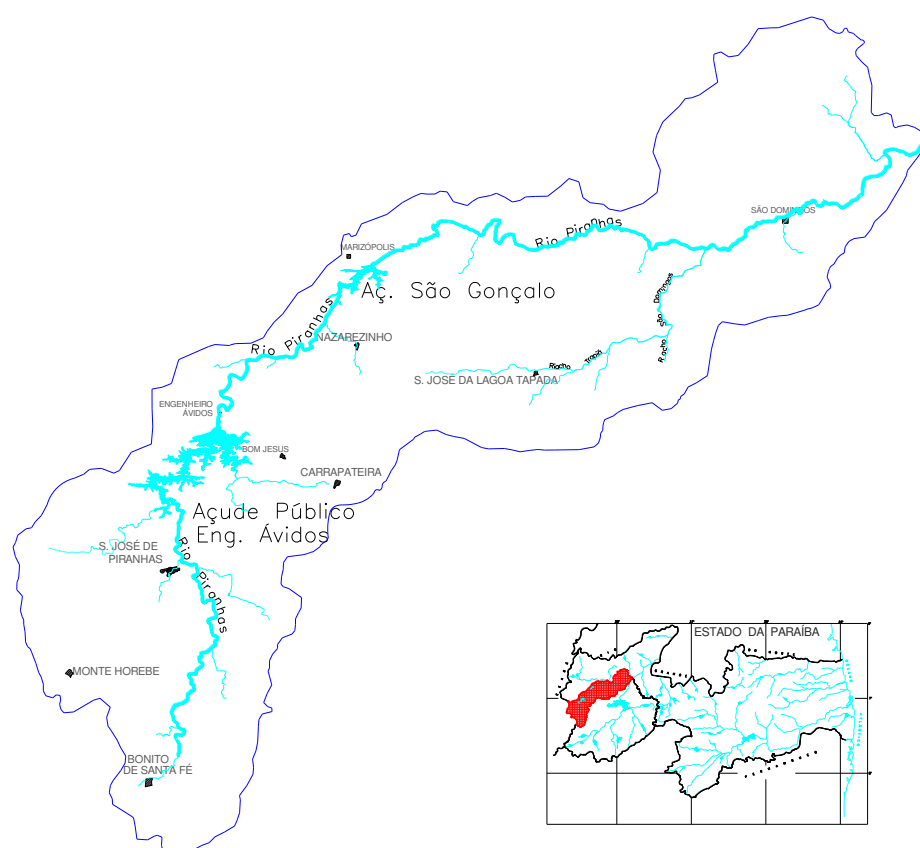


Figura 28 – Unidade de Planejamento Hidrológico do Alto Piranhas - UPHAP.
Fonte: Adaptado de SCIENTEC (1997)

A referida unidade de planejamento hidrológico apresenta aspectos climáticos, segundo a classificação de Köppen, como tropical com chuvas de verão-outono, resultantes da atuação das frentes de convergência intertropical. Os dados climatológicos, obtidos da Estação Climatológica de São Gonçalo, indicam uma temperatura média anual de 26 °C, sendo as mais elevadas nos meses de outubro a dezembro. A umidade relativa do ar varia de 50 a 75%, sendo os maiores valores nos meses de março a maio. A insolação média é de 8,7 horas e a velocidade do vento média é de 3,0 m/s. A evaporação anual média, medida em Tanque Classe A, é de cerca 3.056,6 mm. A média das precipitações anuais situa-se em torno de 900 mm, dos quais

aproximadamente 65% ocorrem de fevereiro a abril, com grande variabilidade interanual (ANA, 2016).

De acordo com Santos e Nóbrega (2017), de 2012 até o início de 2018 a região sofreu com as consequências da pior seca dos últimos 50 anos. Os reservatórios de Engenheiro Ávidos e São Gonçalo entraram em colapso em 2015. As populações da zona rural e das cidades abastecidas pelos reservatórios sofreram com um racionamento de água, sendo que, a partir de janeiro de 2015, foi proibida a retirada de água dos reservatórios e do Rio Piranhas para fins de irrigação de culturas agrícolas.

A Figura 29 representa os aspectos técnicos em relação à dominialidade dos Rios Piacó-Piranhas-Açu.

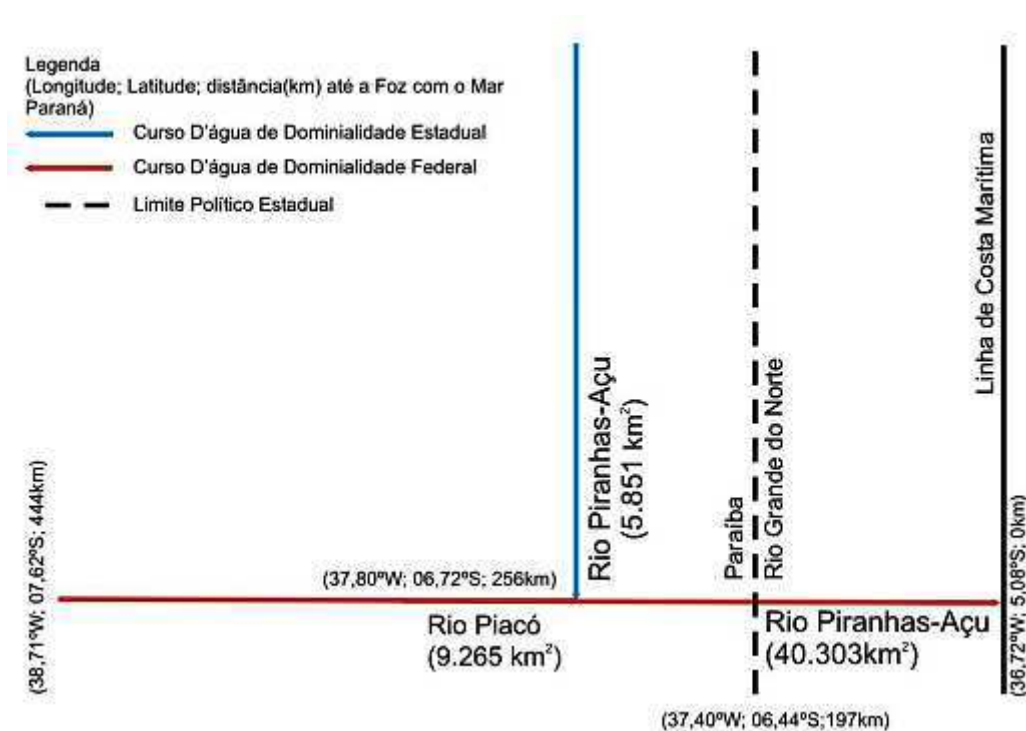


Figura 29 - Dominialidade do Rio Piacó-Piranhas-Açu.

Fonte: Nota Técnica nº019/2004/NGI/ANA.

Conforme a Nota Técnica nº 019/2004/NGI/ANA, o curso principal do Rio Piranhas-Açu segue acompanhando o curso tradicional desde a sua foz no mar até a confluência do Rio Piacó. Após este ponto, o curso principal segue o Rio Piacó por ter uma área de drenagem (9.265 km²) superior ao próprio Rio Piranhas-Açu (5.851 km²) a montante do ponto de confluência, se mantendo no Rio Piacó até a sua nascente, seguindo pelo riacho Santa Inês. O curso principal do rio atravessa a fronteira entre os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba,

sendo por estas razões de domínio federal. Em contrapartida, o curso superior do Rio Piranhas-Açu, a montante da confluência do Rio Piancó, compreende uma bacia totalmente contida no estado da Paraíba, fazendo com que todos os rios nesta sub-bacia, incluindo o próprio curso superior, sejam de dominialidade estadual paraibana (ANA, 2004a).

Portanto, as outorgas dos direitos de uso de recursos hídricos na UPHAP do Rio Piranhas são emitidas pela Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba - AESA. Os reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo, por outro lado, foram construídos e são administrados pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, órgão federal, e, portanto, suas águas são domínio da União. Logo, as outorgas dos direitos de uso de recursos hídricos desses reservatórios são emitidas pela Agência Nacional de Águas - ANA.

É importante destacar que a UPHAP é só uma das 12 sub-bacias da BHRPPA, de modo que, para cálculo da componente “ V_{tra} ”, do modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos proposto, considerou-se apenas o volume de águas da transposição do Rio São Francisco efetivamente utilizado pelo sistema de recursos hídricos analisado. Assim:

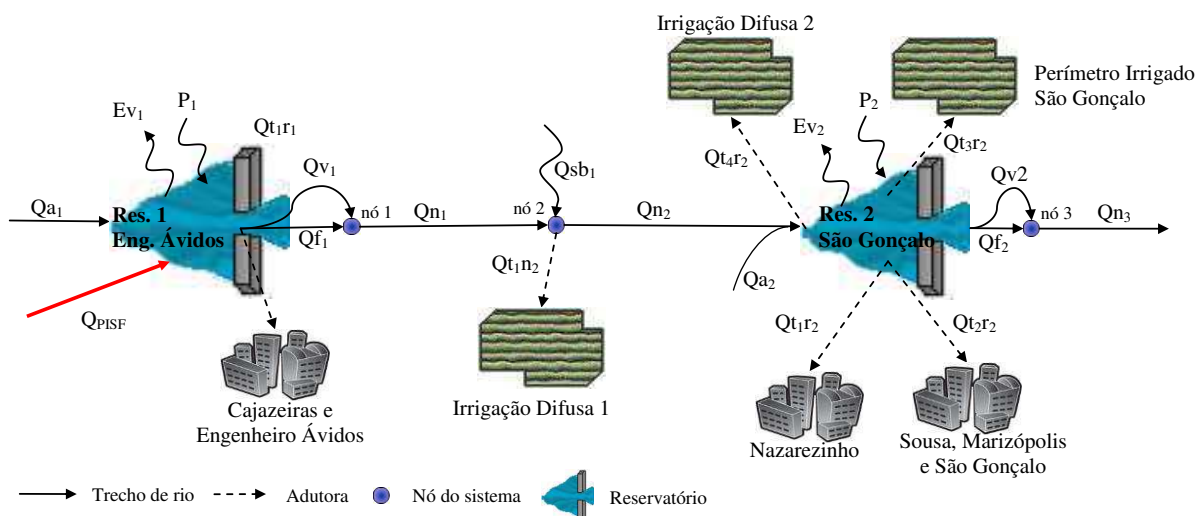
$$Q_{tra} = (Q_{tra_ent} - Q_{saída}) \quad (14)$$

sendo “ Q_{tra_ent} ” o volume de entrada da transposição em $m^3/mês$ no sistema e “ $Q_{saída}$ ” o volume de saída jusante do sistema em $m^3/mês$. Quando $Q_{saída} > Q_{tra_ent}$, então $V_{tra} = 0$, pois a jusante todo o volume captado via transposição está sendo liberado para usuários não pertencentes ao sistema considerado. Essa adaptação foi necessária para efeito de aproximação no cálculo da componente “ V_{tra} ” e, conseqüentemente, do “VTC”.

4.5 Dados do sistema estudado

4.5.1 Outorgas emitidas

As principais demandas no sistema dizem respeito ao abastecimento urbano das cidades de Sousa - PB, Marizópolis - PB, Nazarezinho - PB, Cajazeiras - PB e dos distritos de São Gonçalo e Engenheiro Ávidos. Além disso, ocorre irrigação difusa no leito do Rio Piranhas, entre os dois reservatórios, nas margens destes e no PISG. A Figura 30 apresenta o layout do sistema estudado, sendo “ Q_a ” a vazão afluente ao reservatório; “ Q_t ” a vazão de tomada d’água; “ E_v ” o volume evaporado no reservatório; “ P ” o volume precipitado no reservatório; “ Q_f ” a vazão por descarga de fundo; “ Q_v ” a vazão vertida; “ Q_{sb} ” a vazão da sub-bacia; “ Q_n ” a vazão oriunda do nó “n” e “ Q_{PISF} ” a vazão oriunda do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PIRSF).



Sendo “ Q_a ” a vazão ao reservatório; “ Q_t ” a vazão de tomada d’água; “ E_v ” o volume evaporado do reservatório; “ P ” o volume precipitado no reservatório; “ Q_f ” a vazão por descarga de fundo; “ Q_v ” a vazão vertida; “ Q_{sb} ” a vazão da sub-bacia; “ Q_n ” a vazão oriunda do nó “ n ”;

Obs.: No cenário 1 não existe “ Q_{r2} ”

Figura 30 – Layout do sistema estudado.

Fonte: O autor

Os valores das vazões das outorgas emitidas para a Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), para efetuar o abastecimento dos núcleos, urbanos podem ser observados na Tabela 13.

Tabela 13 - Valor da vazão outorgada para o abastecimento dos núcleos urbanos.

Núcleos urbanos	Vazão outorgada(m ³ /h)
Cajazeiras - PB e distrito de Engenheiro Ávidos	663,16
Sousa - PB, Marizópolis - PB e o distrito de São Gonçalo	573,98
Nazarezinho – PB	25,85

Fonte: (ANA, 2017)

Já o número de outorgas emitidas para fins de irrigação no leito do Rio Piranhas, entre os dois reservatórios e nas margens do reservatório São Gonçalo, pode ser observado na Tabela 14.

Tabela 14 - Número de outorgas das áreas agrícola difusas.

Área agrícola	Número de outorgas
Irrigação difusa 1	14
Irrigação difusa 2	63

Fonte: ANA (2017), AESA (2017)

4.5.2 Estimativa da demanda hídrica das culturas agrícolas irrigadas

Com o objetivo de determinar a demanda hídrica do PISG e das áreas agrícolas do sistema estimou-se a quantidade mensal de água para a irrigação de cada cultura agrícola “j”, na área irrigada “k”, durante o mês “t”, com base na seguinte equação (SANTOS *et al.*, 2011):

$$Q_{irr_{k,j,t}} = \frac{NI_{k,j,t}}{(1 - LR_{k,j,t}) \cdot Esis_{k,j}} \cdot Ac_{k,j,n} \cdot Eap_j \quad (15)$$

sendo “ $NI_{k,j,t}$ ” a necessidade hídrica suplementar da cultura agrícola “j”, no perímetro ou área irrigada “k”, durante o mês “t”; “ $LR_{k,j,t}$ ” a necessidade de lixiviação dos sais para a cultura agrícola “j”, no mês “t”, no perímetro ou área irrigada “k”; “ $Esis_{k,j}$ ” a eficiência do sistema de irrigação para cada cultura agrícola “j”, no perímetro ou área irrigada “k”, “ Eap_j ” a eficiência da aplicação da irrigação por cultura agrícola “j”; e “ $Ac_{k,j,n}$ ” a área plantada com a cultura agrícola “j”, no perímetro ou área irrigada “k” no ano “n”.

A necessidade hídrica suplementar ($NI_{k,j,t}$) ou a lâmina de rega suplementar que a planta necessita, para cada intervalo de tempo do seu ciclo vegetativo, pode ser estimada por (GOMES, 1999):

$$NI_{k,j,t} = ETP_{k,j,t} - Pe_{k,t} \quad (16)$$

sendo “ $Pe_{k,t}$ ” a taxa de precipitação que infiltra no solo, que fica efetivamente a disposição das plantas no mês “t”, no perímetro ou área irrigada “k”, chamada de precipitação efetiva; “ $ETP_{k,j,t}$ ” a taxa de evapotranspiração potencial da cultura agrícola “j”, no perímetro ou área irrigada “k”, durante o mês “t”, que pode ser estimada, de forma aproximada, por (GOMES, 1999):

$$ETP_{k,j,t} = kc_{j,t} \cdot ETO_{k,t} \quad (17)$$

sendo “ $k_{c,j,t}$ ” o coeficiente de cultivo mensal da cultura agrícola “j”, que reflete a sua necessidade hídrica no mês “t”, e “ $ET_{0,k,t}$ ” a evapotranspiração de referência no mês “t”, no perímetro ou área irrigada “k”.

A precipitação efetiva $P_{e,k,t}$ foi estimada pela método desenvolvido pelo Soil Conservation Service do United States Department of Agriculture (SCS/USDA), em 1969 (DOORENBOS; PRUIT, 1984), relacionando a precipitação mensal com a evapotranspiração potencial da cultura agrícola “j”, no mês “t”.

Os coeficientes de cultivo das culturas agrícolas, para cada estágio de desenvolvimento, foram determinados seguindo as determinações de Allen *et al.* (1998), Gomes (1999), Doorenbos e Kassam (2000) e Savva e Frenken (2002).

Os dados referentes ao sistema de irrigação como a eficiência de distribuição (E_{sis}) estão de acordo com Gomes (1999) e Doorenbos e Kassam (2000). A eficiência de aplicação (E_{ap}) segue a disposição da Resolução nº 687 da ANA (ANA, 2004b). Já em relação as áreas das culturas agrícolas cultivadas no sistema, a Tabela 15 apresenta os dados:

Tabela 15 – Áreas das culturas agrícolas cultivadas no sistema.

Culturas agrícolas	Irrigação difusa 1 (ha)	Irrigação difusa 2 (ha)	PISG (ha)
Mandioca	9,0	0,0	0,0
Goiaba	0,7	2,0	0,0
Coco	12,4	208,83	2013,4
Banana	17,4	2,0	501,46
Milho	0,0	1,0	0,0
Capim	0,0	0,3	139,55
Total	39,5	214,13	2654,41

Fonte: ANA (2017), AESA (2017)

A condutividade elétrica das águas do reservatório de São Gonçalo e do Rio Piranhas, segundo dados da SUDEMA (2017), é considerada de boa qualidade não sendo necessário dotações de água para lixiviação de sais no solo (AYERS; WESTCOT, 1999).

4.5.3 Vazões afluentes

Os dados de vazões afluentes aos reservatórios e nós do sistema foram gerados pelo o modelo hidrológico *chuva x vazão* SMAP-M (LOPES *et al.*, 1981), calibrado utilizando-se séries de vazões do posto fluviométrico Piancó (ANA, 2016). Foram geradas as séries de deflúvios médios mensais de janeiro de 2007 a dezembro de 2016, a partir de dados de precipitações mensais.

Tabela 16 - Parâmetros de calibração do modelo SMAP mensal.

Estação Fluviométrica	Período de Calibração	Parâmetros do Modelo SMAP - Mensal						
		Sat	Pes	Crec	K	Tuin	Ebin	R ²
Piancó	Jan/99 a dez/2004	539	3,9	0,0	3	19	0,0	0,81

Fonte: ANA (2016).

4.5.4 Precipitação

Para a determinação das séries de vazões afluentes aos reservatórios e *nós* do sistema, utilizou-se os seguintes postos pluviométricos, conforme disposto no Quadro 7.

Quadro 7 - Postos selecionados para o cálculo da vazão afluente.

	Período	Posto pluviométrico
Engenheiro Ávidos	2007 a 2009	Bonito de Santa Fé, Serra Grande, Fazenda Timbaúba, Arapuã, Engenheiro Ávidos
	2010 a 2016	Bonito de Santa Fé, Serra Grande, São José de Piranhas e Aguiar
Nó 2	2007 a 2009	Fazenda Timbaúba, Engenheiro Ávidos e São Gonçalo
	2010 a 2016	Aguiar, Cajazeiras e São Gonçalo
Reservatório São Gonçalo	2007 a 2016	São Gonçalo

Fonte: O autor

Para o cálculo da precipitação direta no reservatório e da precipitação efetiva nas áreas irrigadas foram utilizados valores precipitados dos postos pluviométricos (Quadro 8) mais próximos dos reservatórios e das áreas agrícolas.

Quadro 8 - Postos pluviométricos utilizados para os reservatórios e áreas agrícolas.

LOCAL	Posto Utilizado	
	Nome	Período
Reservatório de Engenheiro Ávidos	Engenheiro Ávidos	2007 a 2009
	São Jose de Piranhas	2010 a 2016
Reservatório de São Gonçalo	São Gonçalo	2007 a 2016
PISG		
Áreas agrícolas		

Fonte: O autor

A substituição dos postos Fazenda Timbaúba e Arapuã no período de 2010 a 2016, foi devido à desativação dos mesmos, enquanto que a do posto Engenheiro Ávidos foi em virtude da presença de muitas falhas na sua série histórica no período.

Os dados de precipitação dos postos utilizados foram obtidos do banco de dados da AESA e do Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piancó-Piranhas-Açu (ANA, 2016).

4.5.5 Evaporação e Evapotranspiração

Para a determinação da evaporação nos reservatórios, foram utilizados os dados observados do Tanque Classe “A”, da Estação Climatológica de São Gonçalo, obtido do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Piancó e do Alto Piranhas do Estado da Paraíba (SCIENTEC, 1997). Os valores mensais do coeficiente de tanque “ k_t ” foram estimados por Oliveira *et al.* (2005) para a região do sertão paraibano.

As informações de evapotranspiração de referência, para a determinação das vazões afluentes e da demanda hídrica das áreas irrigadas, foram provenientes do Plano de Recursos Hídricos da BHRPPA (ANA, 2016), que utilizou o cálculo da evapotranspiração pelo método de *Penman-Monteith*. Para as áreas de estudo, foi selecionada a da Estação Climatológica de São Gonçalo, por ser a mais representativa da região.

Os dados da evaporação média do Tanque “Classe A”, e da evapotranspiração de referência da Estação Climatológica de São Gonçalo e do coeficiente do Tanque “Classe A” k_t , podem ser observados na Tabela 17.

Tabela 17 - Dados da Evapotranspiração, da evaporação do tanque “Classe A” e do coeficiente k_t

Mês	Evaporação ¹	Evapotranspiração ¹	k_t^2
Jan.	300,7	210	0,77
Fev.	213,9	183	0,79
Mar.	195,5	189	0,78
Abr.	170,0	173	0,92
Mai	183,1	164	0,93
Jun.	176	148	0,91
Jul.	216,4	162	0,80
Ago.	274,8	189	0,81
Set.	315,1	202	0,77
Out.	344,7	222	0,78
Nov.	333,9	217	0,76
Dez.	332,5	220	0,76

Fonte: ¹SCIENTEC (1997), ²Oliveira et. al. (2005)

4.5.6 Dados dos reservatórios estudados

Os dados das relações *cota-área-volume* e das descargas de fundo dos reservatórios foram obtidos do Cadastro de Açude do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Alto Piranhas e Piancó (SCIENTEC, 1997). A Tabela 18 mostra a capacidade máxima de armazenamento (volume máximo), o volume morto e a vazão vertida máxima projetada para os vertedouros de cada reservatório obtidos.

Tabela 18 - Dados volumétricos e a vazão vertida máxima dos reservatórios.

Reservatório	Volume (hm ³)		Vazão vertida máxima projetada (m ³ /s)
	Máximo	Morto	
Engenheiro Ávidos	255,00	7,97	1.610
São Gonçalo	44,6	2,97	1.800

Fonte: SCIENTEC (1997)

A Tabela 19 apresenta os dados do coeficiente de vazão de descarga de fundo (C_f), diâmetro da seção transversal (D_f), da cota de jusante da geratriz inferior (H_{fs}) e da cota de entrada (H_{fe}) do tubo de descarga de fundo de cada reservatório utilizado neste estudo.

Tabela 19 - Características físicas do tubo de descarga de fundo dos reservatórios estudados.

Reservatório	C_f^1	D_f^2 (m)	H_{fe}^2 (m)
Engenheiro Ávidos	0,60	1,00	301
São Gonçalo	0,60	0,50	234

Fonte: ¹DAEE (2005), ²SCIENTEC (1997)

É importante frisar que o reservatório de São Gonçalo não possui, atualmente, um sistema de descarga de fundo, estando sua implantação em fase de construção, com previsão de término previsto para antes da chegada da vazão do PIRSF.

4.6 Modelo de Otimização Multiobjetivo

O modelo de otimização quantitativa utilizado foi desenvolvido por Santos *et al.* (2011), que, por sua vez, é baseado em programação linear. Foi utilizado o *Toolbox Optimization* do software MATLAB 6.5, com o Método do Ponto Interior, para a busca da solução ótima. Para tanto, linearizações apropriadas das não-linearidades intrínsecas aos processos de cada um de seus componentes tiveram de ser pesquisadas e implementadas,

através do uso combinado do Artífício de Linearização por Segmentos e da Programação Linear Sequencial.

O modelo se destina a otimizar os múltiplos usos de um sistema de reservatórios, com a implantação ou melhoramento da operação de um ou mais perímetros irrigados. O mesmo trabalha com variáveis relacionadas aos elementos naturais, tais como: hidroclimáticos e hidroagrícolas, como também outras variáveis (demandas hídricas, características físicas dos componentes etc.), identificadas no estudo do sistema hídrico. Para estes elementos são definidas as informações necessárias para a entrada de dados no modelo, envolvendo: os reservatórios, as demandas, calhas dos rios e perímetros irrigados.

O balanço hídrico é efetuado nos reservatórios e nós (de ligação entre demandas fixas ou variáveis e ofertas de água) do sistema. A demanda hídrica de um perímetro irrigado é determinada com base na necessidade suplementar líquida de irrigação, estabelecida através do balanço hídrico no solo para as culturas selecionadas, estando a área a ser plantada limitada pelos demais usos do reservatório. O modelo também leva em consideração os diferentes tipos de sistemas de irrigação e suas necessidades de altura manométrica, as áreas a serem irrigadas para cada tipo de cultura, os custos de água e de produção, os aspectos econômicos e a combinação ou variação nas fontes de bombeamento e a quantidade de água captada.

A função objetivo do modelo é uma escalarização das (múltiplas) funções objetivo do problema, utilizando o *Método das Ponderações*, na qual cada função objetivo é normalizada, sendo atribuídos pesos para definir as prioridades de atendimento (quando o peso for nulo, a função objetivo não será considerada no processo de otimização). Neste trabalho, os objetivos considerados e as prioridades (em ordem crescente) de atendimento, em todos os cenários, são: atendimento da demanda de abastecimento urbano; atendimento das demandas agrícolas e o atendimento do volume meta dos reservatórios.

4.7 Cenários estudados

Conforme aponta o Quadro 8, foram analisados dois cenários distintos para o período considerado. No cenário C1, o modelo foi aplicado desconsiderando o volume de recursos hídricos relativo ao PIRSF. Já o cenário C2 contemplou a presença das águas do PIRSF. A distinção entre os respectivos cenários se fez necessária, haja vista que a sub-bacia analisada é uma das portas de entrada do eixo norte no estado da Paraíba, sendo parte integrante e estratégica do PIRSF, que encontra-se em fase de conclusão, refletindo os cenários atual e futuro. Para cada um dos cenários descritos acima, duas situações foram consideradas e

simuladas: situação S1, onde considerou-se a ausência de medidor de vazão, e situação S2, que levou em conta a medição de vazão por parte dos usuários.

Metodologicamente, essa distinção se fez necessária, haja vista a preocupação em refletir ao máximo as características peculiares do modelo de cobrança proposto anteriormente, principalmente em se tratando da diferenciação do valor cobrado em função da presença e da ausência de medidor de vazão.

Quadro 9 – Situações e cenários estudados

Situação/Cenário	Cenário 1 Sem transposição PIRSF	Cenário 2 Com transposição PIRSF
Situação 1 Sem medição de vazão	S1-C1	S1-C2
Situação 2 Com medição de vazão	S2-C1	S2-C2

Fonte: O autor.

Outra questão a ser destacada é o fato de que a escolha dos cenários C1 e C2 fundamenta-se na perspectiva de refletir o atual momento do sistema (sem as águas do PIRSF) e as perspectivas futuras do sistema de recursos hídricos (com as águas do PIRSF).

Os critérios operacionais idealizados para todos os cenários e situações observaram os seguintes pressupostos:

- a) O período de estudo corresponde a 10 (dez) anos, iniciando o processo de otimização no mês de janeiro de 2007;
- b) Os volumes de água inicial dos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo foram estabelecidos como sendo 62% e 51%, respectivamente, da capacidade dos mesmos, correspondente ao volume de água do dia 1 de janeiro 2007, segundo dados da AESA.
- c) O volume de água dos reservatórios, ao final do período de estudo, deve ser maior ou igual ao volume de água do dia 01 de janeiro de 2012 (antes do período seco).
- d) O volume meta dos reservatórios, em todos os meses, foi considerado igual à capacidade dos mesmos;
- e) As capacidades das tomadas d'água destinadas foram consideradas iguais as suas respectivas demandas.

- f) O reservatório São Gonçalo não tem um sistema de descarga de fundo, sendo sua construção prevista antes da chegada da vazão do PIRSF, sendo nesse caso, considerado apenas no cenário C2.
- g) Segundo o Plano Diretor da BHRPPA (2016), a vazão firme do Projeto de Integração do Rio São Francisco esperada para o sistema é de cerca 1,7 m³/s (ANA, 2016).

4.8 Seleção dos usuários para a apresentação dos resultados, coeficientes de ponderação e Preços Públicos Unitários (PPUs) utilizados

Visando dar maior objetividade a análise e a apresentação dos resultados, além de melhor demonstrar as principais características do modelo de cobrança proposto anteriormente, optou-se pela seleção intencional de 03, dentre as 80 outorgas de direito de uso dos recursos hídricos utilizados, para o processo de simulação da cobrança como um todo para o sistema de recursos hídricos analisado. A viabilidade dos dados em refletir as características do modelo foi o principal critério para a seleção dos chamados usuários padrão.

As informações relativas às outorgas de direito de uso para o sistema de recursos hídricos analisado foram obtidas na AESA e na ANA, através do cadastro de outorgas disponibilizado. No caso específico das outorgas de direito de uso emitidas pela ANA, os dados foram coletados no painel gerencial de outorgas¹¹. Desta forma, foram analisados 80 cadastros de usuários localizados no sistema de recursos hídricos selecionado para estudo. Além disso, também foi considerado a vazão destinada ao PISG, totalizando, assim, 81 usuários analisados e considerados para fins de otimização quantitativa do sistema e aplicação do modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos proposto.

O sistema selecionado apresenta apenas dois tipos de uso para os recursos hídricos: abastecimento urbano e irrigação. Portanto, foram selecionados 01 usuário de abastecimento urbano e 02 usuários de irrigação. Esse critério foi aplicado, já que, dentre os 81 usuários presentes na região (sendo 80 outorgas cadastradas e o PISG) e utilizados no processo de simulação da cobrança, 3,7% das outorgas correspondem ao abastecimento urbano e 96,3% à irrigação. Em relação as duas outorgas de irrigação selecionadas, levou-se em conta o maior e o menor volume outorgado entre os irrigantes com outorgas cadastrados no sistema.

¹¹ Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/gestao-da-agua/outorga-e-fiscalizacao/principais-servicos/outorgas-emitidas>> Acesso em: Junho de 2016.

Os usuários selecionados foram: **1. Ab_urb** (abastecimento urbano do município de Cajazeiras), com outorga de 663,16 m³/h, durante um período de 24h/dia, nos 365 dias do ano, e ponto de captação no reservatório Engenheiro Ávidos; **2. Irrigante_A**, o maior volume outorgado dentre o total de usuários cadastrados, que, por sua vez, utiliza-se de irrigação localizada por microaspersão, com ponto de captação difuso localizado no leito do Rio Piranhas, no trecho compreendido entre os reservatórios de Engenheiro Ávidos e São Gonçalo. A vazão horária outorgada desse usuário é de 29,8 m³/h, para um período de 14,5 h/dia nos 365 dias do ano, para o cultivo de coco do tipo anão, em uma área aproximada de 06 hectares; e, por fim, **3. Irrigante_B**, que possui o menor volume outorgado dentre os demais usuários. Neste último caso, a tecnologia de irrigação utilizada é aspersão convencional, com captação no reservatório de São Gonçalo e vazão horária outorgada de 17,5 m³/h, durante 2h/dia em 8 dias/mês para o cultivo de banana em uma área aproximada de 0,5 hectares.

Além de atender a tais critérios, como o volume outorgado e o tipo de uso, a seleção dos usuários descritas anteriormente levou em consideração, também, a disposição geográfica desses usuários no sistema, as características de medição, a utilização de tecnologias de irrigação diferenciadas, além de outros aspectos que tornaram possível evidenciar as características mais alinhadas ao modelo de cobrança aplicado.

Em relação aos coeficientes de ponderação e PPU's utilizados na simulação da cobrança, a Tabela 20 apresenta os valores correspondentes para cada um dos usuários selecionados, levando-se em conta as situações analisadas. É importante frisar que o estabelecimento de valores para os coeficientes na simulação da cobrança no sistema levou em consideração as características inerentes de cada usuário. Além disso, foram consideradas, também, as características do sistema de recursos hídricos objeto de estudo.

Tabela 20 – Coeficientes de ponderação para cada situação.

VTC	Coeficientes	Situações/usuários					
		S1			S2		
		Ab_Urb	Irrigante_A	Irrigante_B	Ab_Urb	Irrigante_1	Irrigante_2
V _{out}	Q _{out} (10 ³ m ³)	484,1068	13,4100	0,2800	484,1068	13,4100	0,2800
	PPU _{out} (R\$/m ³)	0,0120	0,0050	0,0050	0,0120	0,0050	0,0050
	K _g	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
	K _e	1,0000	0,5000	0,6000	1,0000	0,5000	0,6000
	K _c	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
	F _m	1,0000	1,0000	1,0000	0,5000	0,5000	0,5000
V _{cap}	PPU _{ex} (R\$/m ³)	-	-	-	0,0360	0,0150	0,0150
	PPU _{re} (R\$/m ³)	-	-	-	0,0240	0,0100	0,0100
	K _{var}	-	-	-	0,0500	0,3000	0,3000
V _{tra}	Q _{tra_ent} (10 ⁶ m ³)	4,4064	4,4064	4,4064	4,4064	4,4064	4,4064
	K _u	0,0845	0,0023	4,888E-05	0,0845	0,0023	4,888E-05
	PPU _{tra} (R\$/m ³)	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000	0,3000

Tabela 20 – Coeficientes de ponderação para cada situação.

Continuação:

	Sub (R\$/m³)	0,2850	0,2850	0,2850	0,2850	0,2850	0,2850
V_{lan}	C_{DBO}	-	-	-	-	-	-
	PPU_{lan} (R\$/m³)	-	-	-	-	-	-
	K_c	-	-	-	-	-	-
V_{ges}	F_g	0,4000	0,4000	0,4000	0,4000	0,4000	0,4000
	VPL_{inv} (R\$ 10⁶)	25,0000	25,0000	25,0000	25,0000	25,0000	25,0000
	N	120,0000	120,0000	120,0000	120,0000	120,0000	120,0000
	K_u	0,0845	0,0023	4,888E-05	0,0845	0,0023	4,888E-05
V_{min}	PPU_{min}	-	-	-	-	-	-
	U	-	-	-	-	-	-
V_{na}	B_{na_v} (R\$/m³)	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030	0,0030
	B_{na_a} (R\$/m³)	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020	0,0020
	B_{na_v1} (R\$/m³)	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
	B_{na_v2} (R\$/m³)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Fonte: O autor

Sendo PPU_{ex} o preço público unitário quando a medição exceder o limite tolerado pelo K_{var}; PPU_{re} o preço público unitário quando a medição for inferior ao limite tolerado pelo K_{var}; B_{na_v} o valor da bandeira tarifária vermelha em relação ao nível de armazenamento de água do sistema; B_{na_a} o valor da bandeira tarifária amarela em relação ao nível de armazenamento de água do sistema; B_{na_v1} o valor da bandeira tarifária verde nível 1 em relação ao nível de armazenamento de água do sistema, e B_{na_v2} o valor da bandeira tarifária verde nível 2 em relação ao nível de armazenamento de água do sistema.

Dentre as informações coletadas através do cadastrado dos usuários, assim como as que foram processadas e geradas pelo modelo de otimização multiobjetivo de Santos *et al.* (2011), pode-se destacar: o volume outorgado, volume medido, os níveis de garantia do sistema, a tecnologia de irrigação utilizada, a classe de enquadramento do corpo hídrico, a vazão de entrada do PIRSF, o percentual da capacidade de carga do sistema, o valor estimado dos investimentos necessários para a sub-bacia, dentre outros. A operação do sistema foi otimizada, para cada cenário, envolvendo os 80 usuários cadastrados e o PISG.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Processo de otimização quantitativa do sistema de recursos hídricos

As vazões outorgadas para o abastecimento dos núcleos urbanos são atendidas, no período investigado, sem apresentar falhas em todos os cenários e situações estudadas. Fato também ocorrido para as vazões outorgadas e as demandas estimadas dos irrigantes no leito do Rio Piranhas e no entorno do reservatório São Gonçalo.

Em relação ao PISG, o Gráfico 4 apresenta o atendimento da demanda estimada de irrigação. Percebe-se que a demanda hídrica estimada das culturas agrícolas do PISG não é totalmente atendida. Para o cenário C1, nas duas situações S1 e S2, as falhas no atendimento começaram a ocorrer no ano de 2009, sendo que, no ano de 2012, a vazão fornecida foi cerca de 50% do valor da demanda hídrica estimada, diminuindo, progressivamente, até 12% no ano de 2016. Porém, nos anos de 2014, 2015 e 2016 ocorrem falhas de cerca 100% do valor da demanda hídrica estimada. No cenário C2, nas duas situações S1 e S2, as falhas no atendimento do PISG só ocorreram no ano de 2016, devido às restrições do volume final dos reservatórios, mesmo com a vazão exógena do PIRSF.

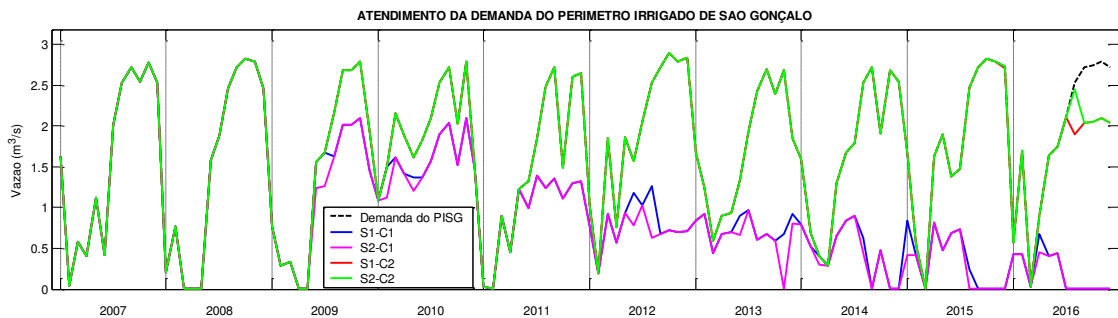


Gráfico 4 - Atendimento da demanda do PISG

Fonte: O autor

Os Gráficos 5 e 6 apresentam o volume de água, a vazão vertida e de descarga de fundo dos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo, respectivamente.

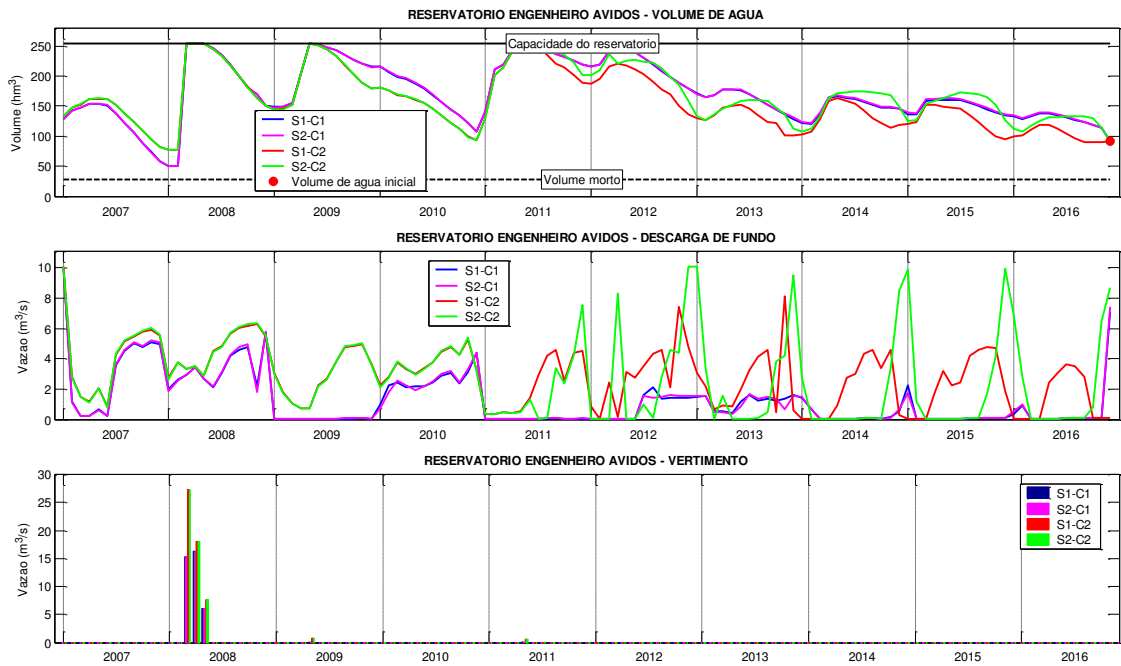


Gráfico 5 - Volume de água, vazão vertida e vazão de descarga de fundo do reservatório Engenheiro Ávidos.

Fonte: O autor

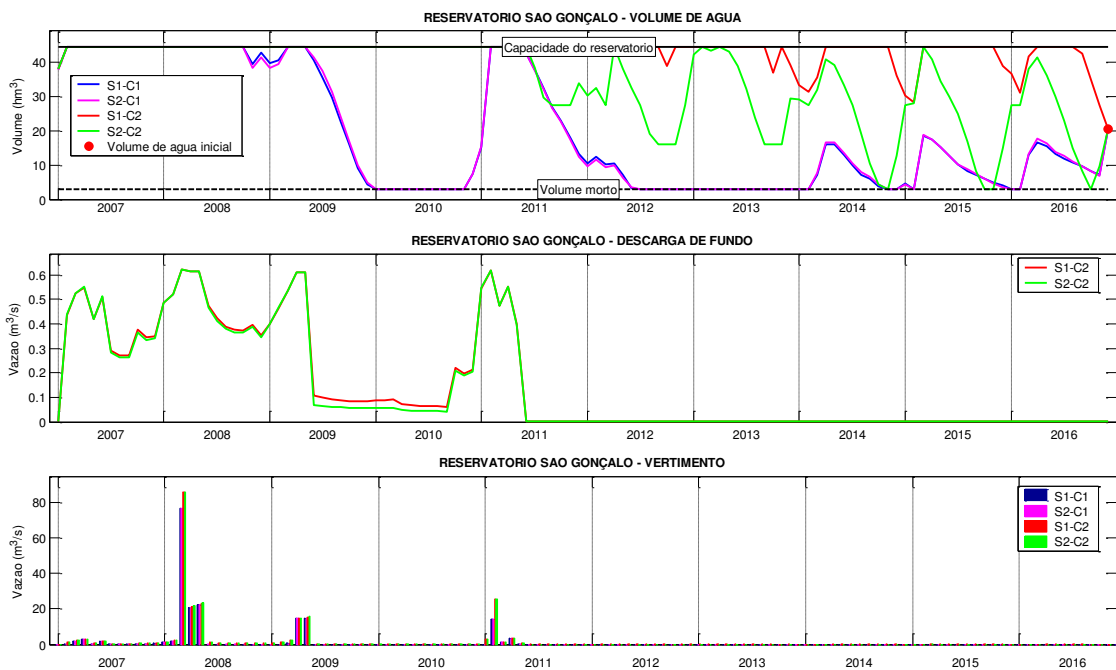


Gráfico 6 - Volume de água, vazão vertida e vazão de descarga de fundo do reservatório São Gonçalo.

Fonte: O autor

Observa-se um comportamento similar no volume de água do reservatório Engenheiro Ávidos em todos os cenários e situações. Destaca-se o fato de que, entre 2013 e 2016, o volume de água do reservatório sempre foi superior a 35% da sua capacidade de armazenamento de água. Entretanto, o volume de água do reservatório de São Gonçalo apresenta comportamento distinto entre os cenários analisados. Enquanto que, no cenário C1, o volume de água do reservatório, em alguns anos (2007, 2008, 2009 e 2011), atinge a capacidade de armazenamento, em outros, atinge o volume morto (2010, de 2012 a 2016). No cenário C2, o volume de água só atinge o volume morto na situação S2, sendo que, na situação S1, em todos os anos, o volume de água atingiu a capacidade de armazenamento. Vale destacar que, a partir de 2012 até 2016, a região passou pela maior seca dos últimos 50 anos. Sendo que os volumes de água dos reservatórios atingiram os volumes mortos em julho de 2012 (Engenheiro Ávidos) e em dezembro de 2015 (São Gonçalo). De modo que as cidades que são abastecidas por eles passaram por um longo período de racionamento, tendo a atividades agrícola irrigada suspensa.

Os vertimentos nos reservatórios ocorreram nos anos de 2007 (somente no reservatório São Gonçalo), 2008, 2009 e 2011 (em todos os cenários e situações), sendo em maior intensidade no ano de 2008. Em média, os valores do vertimento no cenário C2 foram maiores do que no cenário C1, devido a vazão exógena advinda do PIRSF.

O valor da vazão de descarga de fundo do reservatório Engenheiro Ávidos apresenta comportamento similar nas duas situações do cenário C1, sendo que, nos anos de 2009, 2011, 2015 e 2016, não houve praticamente liberação de água por descarga de fundo, com o intuito de armazenar água para o atendimento do volume final do reservatório. Tal fato resultou nas falhas de atendimento da demanda hídrica do PISG e no baixo volume de água no reservatório São Gonçalo. No cenário C2, houve uma maior liberação de água para o atendimento da demanda hídrica do PISG, apresentando valores distintos a partir do ano de 2011, quando se constatou maiores valores na situação S2. No reservatório São Gonçalo, o valor da vazão de descarga de fundo apresenta comportamento similar, porém, desde meados de 2011, não houve liberação de água para o Rio Piranhas, mesmo com a vazão exógena advinda do PIRSF.

5.2 Análise da cobrança pelo uso dos recursos hídricos do cenário C1 na situação S1 e situação S2.

O Gráfico 7 apresenta os valores das componentes do “VTC” (Valor Total da Cobrança) para o usuário do abastecimento urbano (vazão outorgada de 663,16 m³/h). Destaca-se que, dentre os elementos que compõe o “VTC”, neste caso, o valor da componente nível de armazenamento de água do sistema (V_{na}) e o valor da componente gestão (V_{ges}) foram

determinantes para caracterizar o comportamento do “VTC” ao longo do tempo. Em relação ao valor da componente nível de armazenamento de água do sistema, pode-se dizer que este ditou praticamente as variações do “VTC” longo de todo o período analisado.

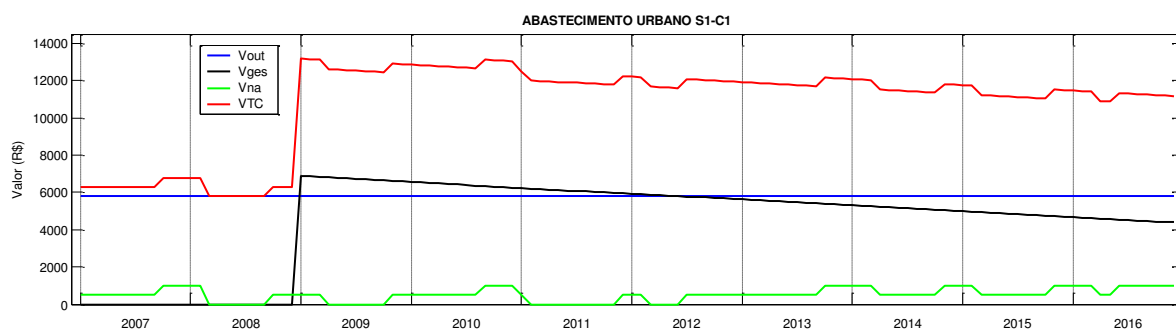


Gráfico 7 – Componentes do “VTC” para o abastecimento urbano na situação S1 do cenário C1(S1-C1).

Fonte: O autor

Já o da componente gestão, por sua vez, impulsionou o crescimento do valor cobrando de forma substancial, a partir do segundo ano de cobrança (período pós-carência de pagamentos pela componente), porém, apresentando um comportamento decrescente ao longo da série. Este aspecto ocorre em virtude de que, no horizonte temporal de 120 meses estabelecidos para a realização de investimentos no sistema, não se considerou novas injeções de recursos na bacia, e sim apenas os investimentos previstos, inicialmente, para todo o período. Desta feita, o “VTC” apresentou, relativamente, uma taxa de variação decrescente ao longo do período analisado, em função da componente gestão, o que, de certa forma, reflete o impacto da amortização (ou participação proporcional dos usuários nos investimentos projetados) dos investimentos planejados em relação ao volume bruto arrecadado com a cobrança.

Já em relação à situação S2 (Gráfico 8), o comportamento dos componentes do “VTC” do abastecimento urbano é similar ao da situação S1. Porém, com uma diferença básica entre os valores obtidos. Na situação S1, os valores mensais situaram-se em torno da faixa que vai de R\$ 10.000,00 a R\$ 14.000,00. Enquanto que na situação S2 essa faixa de valores cai para um intervalo entre R\$ 8.000,00 e 10.500,00. Isso pode ser explicado pelo impacto que a utilização do medidor de vazão provoca na redução dos custos.

Levando-se em conta o maior valor para “VTC” da série temporal do abastecimento urbano na situação S1 (janeiro de 2009, conforme Gráfico 7), que atingiu o valor de R\$ 13.185,15 para um volume outorgado de 484.106,8 m³/mês, pode-se dizer que o valor do metro cúbico foi aproximadamente de R\$ 0,027. Enquanto que na situação S2 foi de R\$ 0,021, para um “VTC” de R\$10.331,10 no mesmo período (ver Gráfico 8).

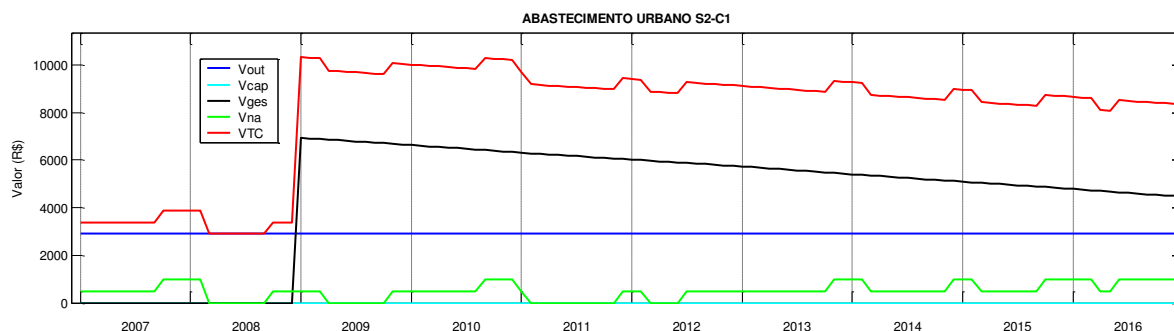


Gráfico 8 – Componentes do “VTC” para o abastecimento urbano na situação S2 do cenário C1(S2-C1).

Fonte: O autor

Portanto, observa-se que a utilização do medidor de vazão gera uma redução do “VTC”, o que, de certa forma, representa um mecanismo incitativo para a utilização da medição de vazão, que, por sua vez, permite um melhor gerenciamento do processo como um todo, principalmente quando se tratar de agricultura, em que a variabilidade é elevada.

Os Gráficos 9 e 10 apresentam a composição do “VTC” durante o período analisado. Pode-se observar que, no caso do abastecimento urbano na situação S1 do cenário C1, aproximadamente 95% do “VTC” é formado pelo valor outorga (53,7%) e pelo valor gestão (41,7%). Já na situação S2 do mesmo cenário, o valor outorga representa 36,4%, enquanto que o valor da componente gestão representa 57,4% do “VTC”.

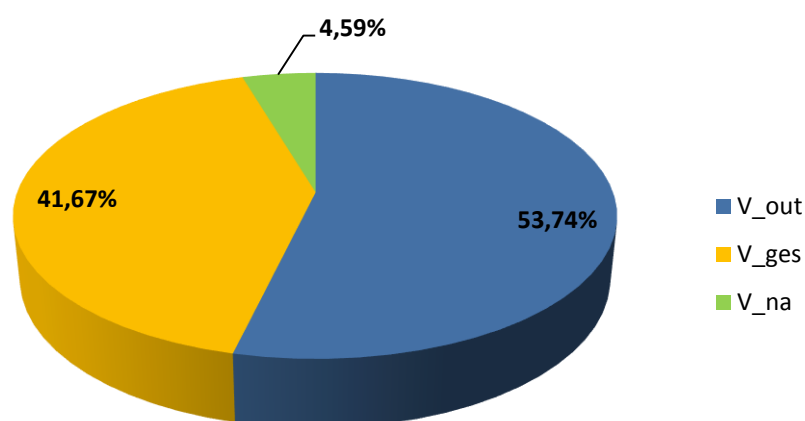


Gráfico 9 – Composição do “VTC” para o abastecimento urbano na situação S1 do cenário C1 (S1-C1).

Fonte: O autor

Principalmente em relação ao valor outorga, destaca-se o impacto que a utilização do medidor de vazão provoca na redução do custo com essa componente do “VTC”.

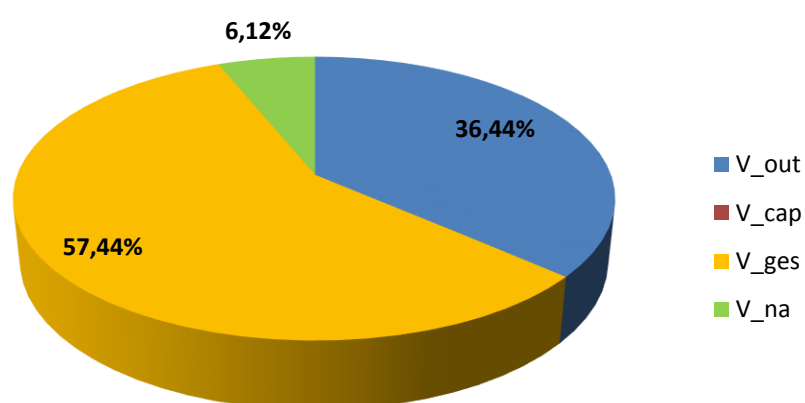


Gráfico 10 – Composição do “VTC” para o abastecimento urbano na situação S2 do cenário C1 (S2-C1).

Fonte: O autor

No caso do irrigante_A, na situação S1 do cenário C1, a faixa de valores do “VTC” situou-se entre R\$ 150,00 e R\$ 250,00, conforme demonstra o Gráfico 11.

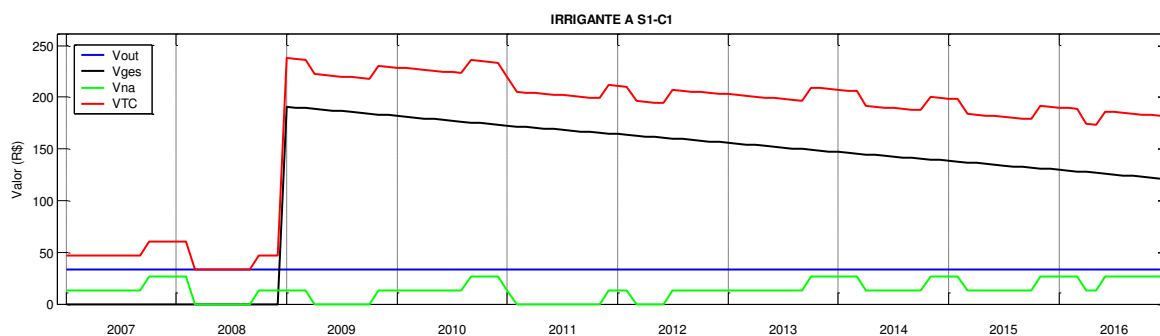


Gráfico 11 – Componentes do “VTC” para o irrigante_A na situação S1 do cenário C1(S1-C1)

Fonte: O autor

Dado um volume outorgado para este usuário na ordem de 13.410 m³/mês, o valor do metro cúbico saiu por R\$ 0,018 no mês em que o “VTC” atingiu o maior valor da série, que foi de R\$ 237,84 em janeiro de 2009. É importante frisar que, para o irrigante_A, assim como para o abastecimento urbano, o comportamento de ambos, ao longo das séries na situação S1, foram semelhantes em relação ao “VTC”, ou seja, as variações foram ditadas tanto pelas variações no valor da componente nível de armazenamento de água do sistema, quanto pelo valor da componente gestão, já que nessa situação (S1) os valores dependem do volume outorgado.

Em relação à situação S2 do cenário C1 (Gráfico 12), o comportamento do “VTC” para o irrigante_A apresentou algumas diferenças interessantes em relação à situação S1 do cenário C1 (Gráfico 11), que merecem destaques. De acordo com o Gráfico 12, pode-se observar que, ao longo da série, os valores assumidos apresentam uma maior variabilidade, além de situar-se em patamares menores em relação à situação anterior.

Esta característica é o resultado da utilização do medidor de vazão na situação S2, enquanto que a maior variabilidade ocorre em função do cálculo da componente nível de armazenamento de água do sistema, que, por sua vez, passa a ser função da vazão medida via medidor, em detrimento da sua outorga. Esta é uma característica peculiar do modelo de cobrança para este caso, já que apresenta uma diferença significativa em relação ao “VTC”.

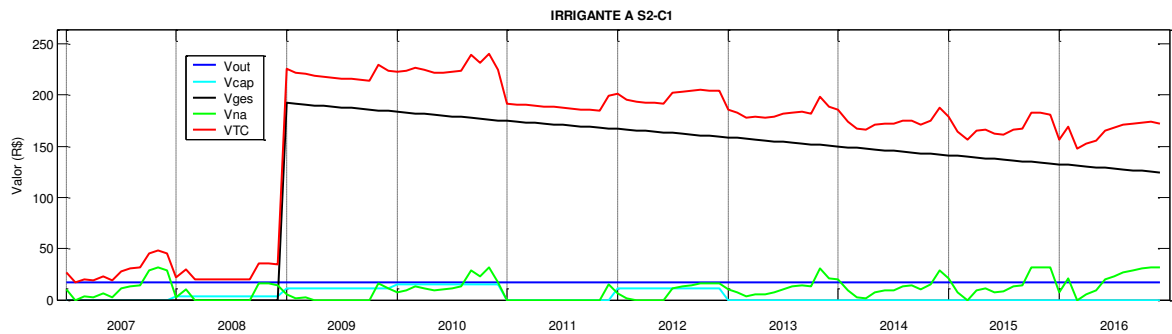


Gráfico 12 – Componentes do “VTC” para o irrigante_A na situação S2 do cenário C1 (S2-C1)

Fonte: O autor

Nos Gráficos 13 e 14, são apresentadas as composições do “VTC” para as duas situações do cenário C1 no caso do Irrigante_A. Neles, observa-se como o valor gestão exerce um impacto significativo sobre o “VTC” em relação às outras componetes. Mais de 70% do “VTC”, nas duas situações, são formados pelo valor gestão. A utilização do medidor de vazão também provoca uma redução significativa no custo da componente valor outorga, aproximadamente de 9%.

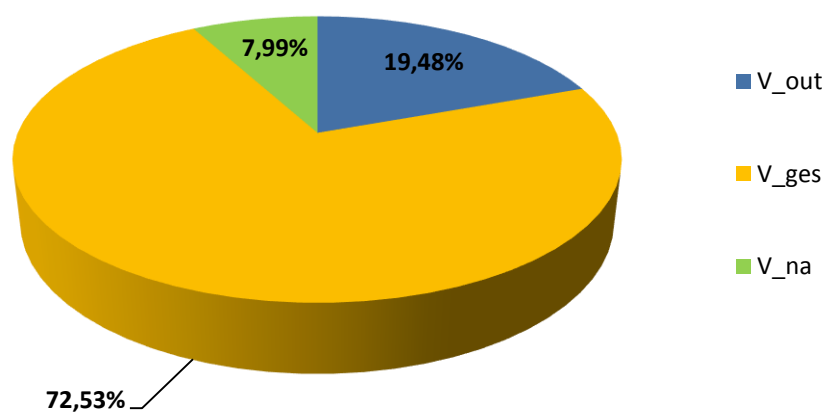


Gráfico 13 – Composição do “VTC” para o irrigante_A na situação S1 do cenário C1 (S1-C1).

Fonte: O autor

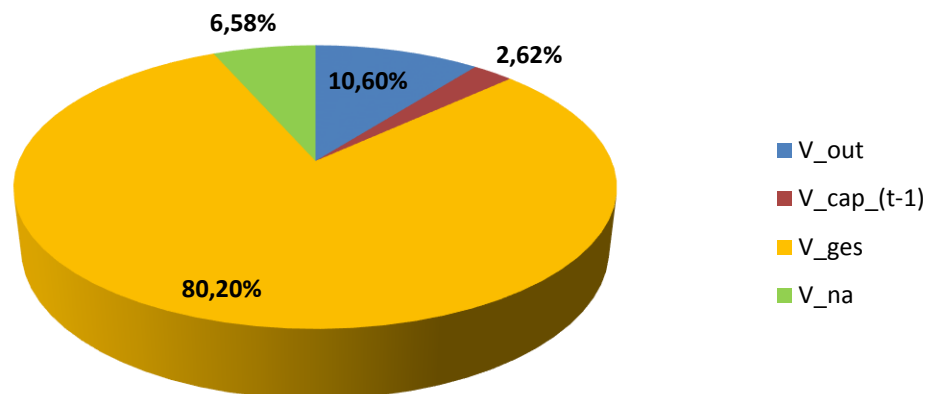


Gráfico 14 – Composição do “VTC” para o irrigante_A na situação S2 do cenário C1(S2-C1).

Fonte: O autor

No caso do irrigante_B, conforme Gráficos 15 e 16, um comportamento diferenciado, em relação ao “VTC” dos demais usuários decritos anteriormente, só é observado na situação S2, haja vista a utilização do medidor de vazão, assim como pelo fato deste usuário ter apresentado uma variabilidade relativamente muito elevada. Isto se deve ao fato de que as medições ocorreram muito acima (ou abaixo) do volume outorgado, de forma a ampliar o custo da componente captação.

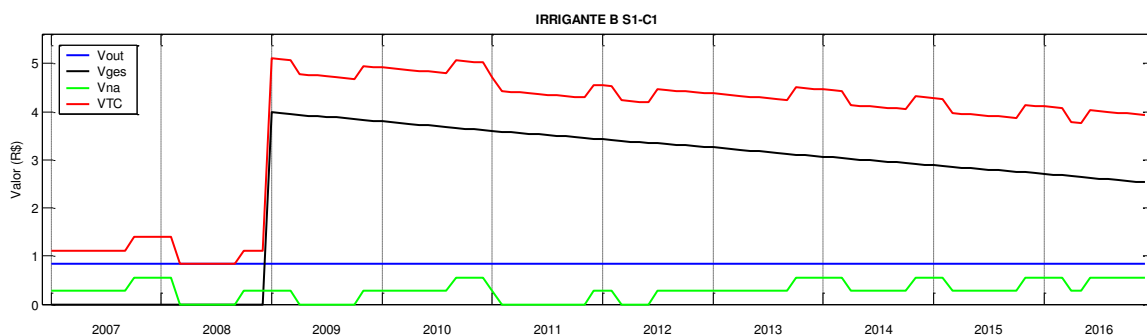


Gráfico 15 – Componentes do “VTC” para o irrigante_B na situação S1 do cenário C1 (S1-C1).

Fonte: O autor

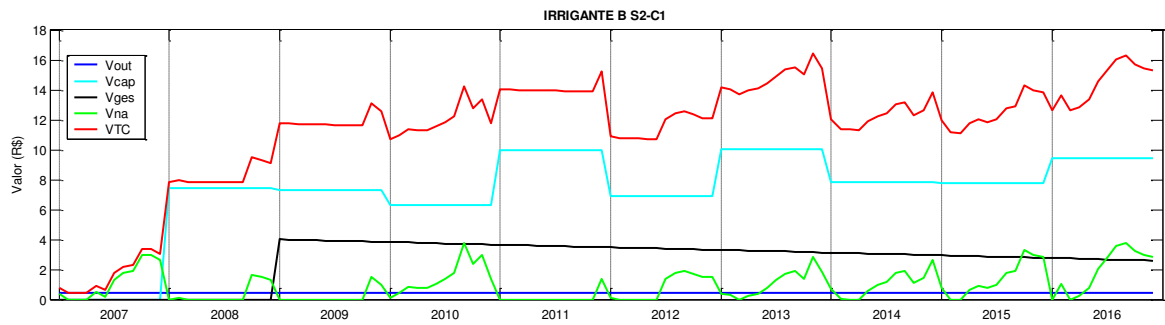


Gráfico 16 – Componentes do “VTC” para o irrigante_B na situação S2 do cenário C1 (S2-C1).

Fonte: O autor

Percebe-se então, conforme Gráfico 16, que o irrigante_B acaba sendo penalizado em relação à situação S1 (ver Gráfico 15), pois, ao utilizar o medidor de vazão, o “VTC” passa de um intervalo entre R\$ 4,00 e R\$ 5,00, na maior parte da série na situação S1, para valores na situação S2 entre R\$ 8,00 e R\$ 17,00. Tal aspecto demonstra o poder de penalização que o modelo de cobrança exerce sobre aqueles usuários que não adequam o uso dos recursos hídricos ao volume outorgado. Diante de tal aspecto, o “VTC” passa a ficar mais elevado, já que, neste caso, a componente captação e a componente nível de armazenamento de água do sistema ditam a amplitude e a variabilidade do valor.

Mais especificamente em relação à componente captação, percebe-se que os aspectos de reserva hídrica ampliam a variabilidade, quando comparado ao irrigante_A. Isso se deve em virtude que o modelo de cobrança proposto penaliza usuários via elevação dos custos, quando estes utilizam um volume muito acima ou abaixo do volume outorgado para o caso da irrigação, dado o intervalo de variabilidade admitido.

Comparativamente, enquanto que, na situação S1, o valor do metro cúbico foi de, aproximadamente, R\$ 0,018 em relação ao maior valor do “VTC” (R\$ 5,11 em janeiro de 2009) da série histórica, na situação S2 o valor do metro cúbico foi de aproximadamente R\$ 0,059 para um “VTC” de R\$ 16,46 em novembro de 2013. Como o irrigante_B apresentou um volume medido relativamente diferente da sua outorga ao longo da série, na situação S2, o “VTC” ficou praticamente condicionado ao valor da componente captação e ao valor da componente nível de armazenamento de água do sistema, assim como apresentou um comportamento crescente ao longo da série analisada, diferentemente do que aconteceu nos casos anteriores, em que os valores medidos situaram-se dentro das margens admitidas do modelo.

Os Gráficos 17 e 18 representam a composição do “VTC” para o irrigante_B. É possível destacar o aumento substancial do custo com a componente captação na situação S2, quando da utilização de medidor de vazão, representando, neste caso, aproximadamente 64% do “VTC”. Outra questão importante refere-se à redução significativa do custo com a componente valor outorga, assim como a redução da participação do valor gestão na composição do “VTC” na situação S2, caindo de, aproximadamente, algo em torno de 70% para 23%.

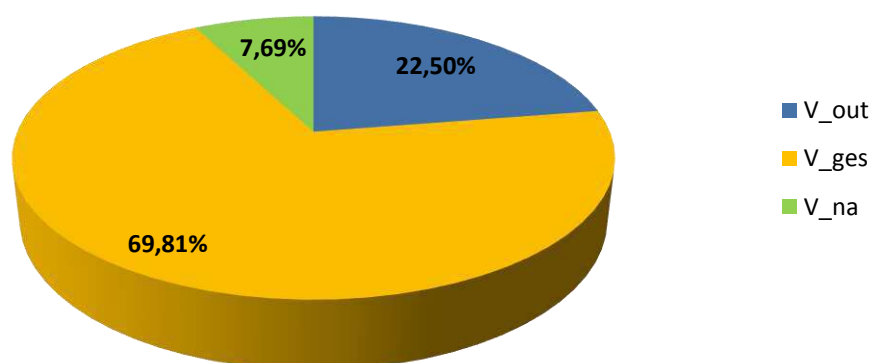


Gráfico 17 – Composição do “VTC” para o irrigante_B na situação S1 do cenário C1 (S1-C1).

Fonte: O autor

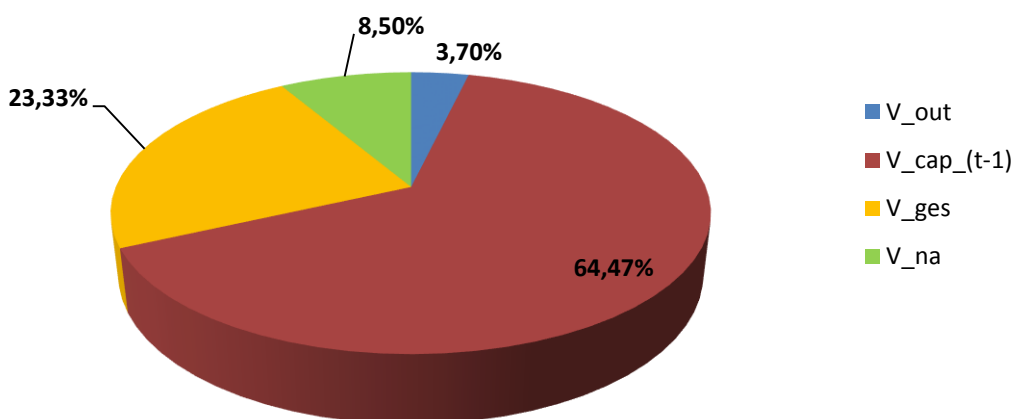


Gráfico 18 – Composição do “VTC” para o irrigante_B na situação S2 do cenário C1 (S2-C1).

Fonte: O autor

5.3 Análise da cobrança pelo uso dos recursos hídricos do cenário C2 na situação S1 e situação S2.

Conforme observa-se no Gráfico 19 e 20, o “VTC” para o abastecimento urbano apresenta comportamento semelhante às variações ocorridas no valor da componente transposição (V_{tra}). Além destes aspectos, cabe destacar também que, na situação S1 do cenário C2, os valores máximos do “VTC” giraram em torno dos R\$ 14.0000,00, enquanto que, na situação S2 do cenário C2, esses valores situaram-se na casa dos R\$16.000,00.

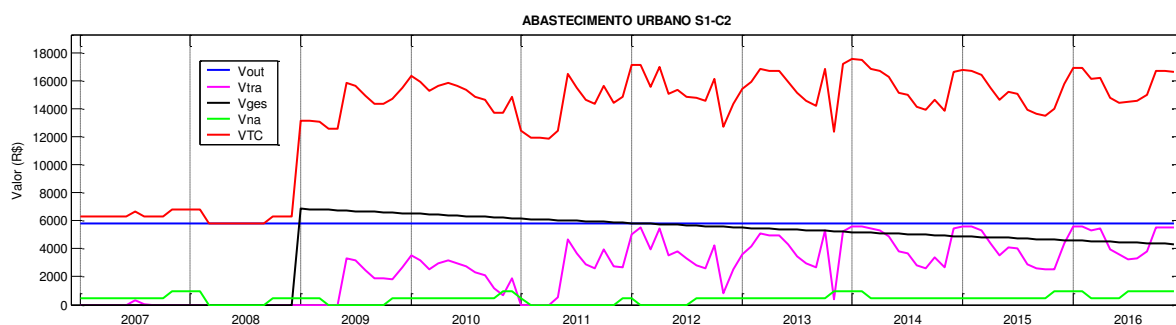


Gráfico 19 – Componentes do “VTC” para o abastecimento urbano na situação S1, do cenário C2 (S1-C2).

Fonte: O autor

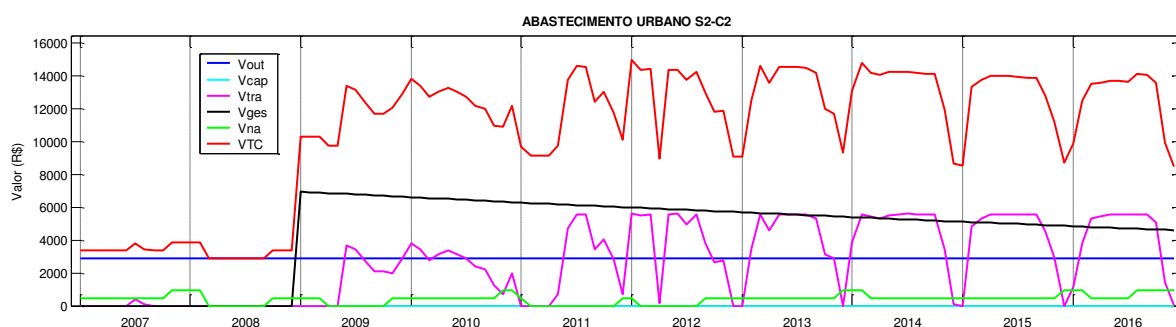


Gráfico 20 – Componentes do “VTC” para o abastecimento urbano na situação S2, do cenário C2 (S2-C2).

Fonte: O autor

Tudo isso se explica pelo fato de que, para o cálculo do valor da componente transposição, o modelo de cobrança leva em conta o valor do metro cúbico da transposição a ser pago ao comitê da bacia doadora, no caso, ao comitê da bacia do Rio São Francisco. Além desse aspecto, é importante frisar também que foi considerada a existência de subsídios,

amenizando, assim, o impacto do custo da transposição sobre o “VTC”. Daí a importância peculiar de o modelo de cobrança proposto anteriormente considerar, para o cálculo do custo da transposição, uma parcela de desconto sobre o valor do metro cúbico da transposição sob a forma de subsídios governamentais.

Comparando os Gráficos 19 e 20, pode-se observar, inicialmente, que a diferença básica entre as duas situações analisadas (S1 e S2), neste cenário, repousa no fato de que a presença da medição de vazão faz com que os valores atinjam patamares menores na situação S2. Outra questão também a se destacar, em relação à situação anterior, é que o comportamento do custo da transposição muda ao longo do tempo, haja vista as mudanças no cálculo geradas pela nova situação (S2-C2). Isto ocorre em função dos usuários de irrigação, que na situação S1, têm o cálculo baseado no volume outorgado, enquanto que, na situação S2, esse cálculo é função do volume medido. Logo, este aspecto acaba provocando alterações no cálculo do volume de recursos hídricos de saída do sistema, alterando, assim, o valor da componente transposição. Este fato pode ser melhor observado quando se analisa o comportamento da componente transposição em cada uma das situações consideradas.

No que tange à composição do “VTC” ao final do período analisado, os Gráficos 21 e 22 apresentam aos percentuais em relação ao abastecimento urbano para as duas situações do cenário C2.

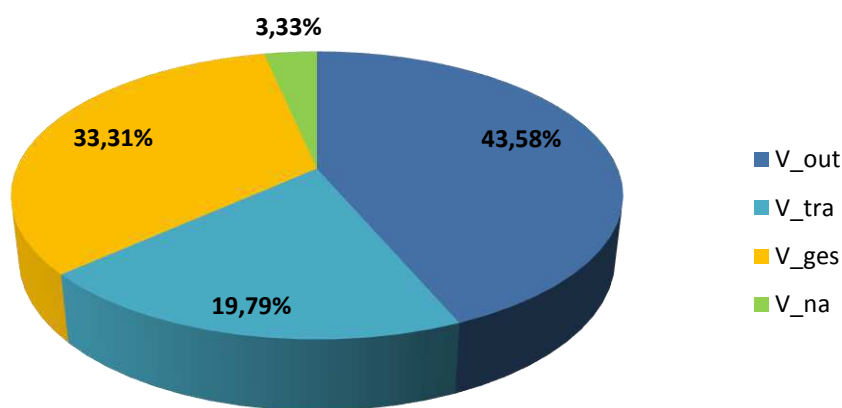


Gráfico 21 – Composição do “VTC” para o abastecimento urbano na situação S1 do cenário C2 (S1-C2).

Fonte: O autor

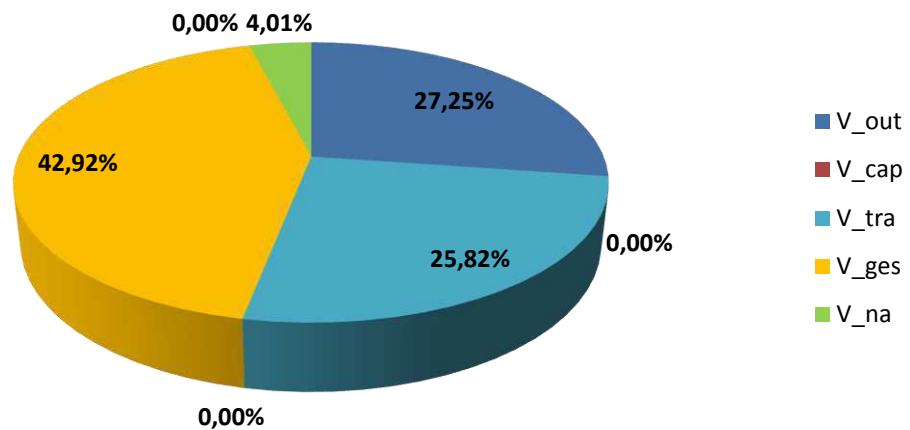


Gráfico 22 – Composição do “VTC” para o abastecimento urbano na situação S2 do cenário C2 (S2-C2).

Fonte: O autor

No caso do irrigante_A, conforme destacam os Gráficos 23 e 24, observa-se um aumento substancial em relação à variabilidade e a amplitude dos “VTCs”, quando comparados com as mesmas situações do cenário C1.

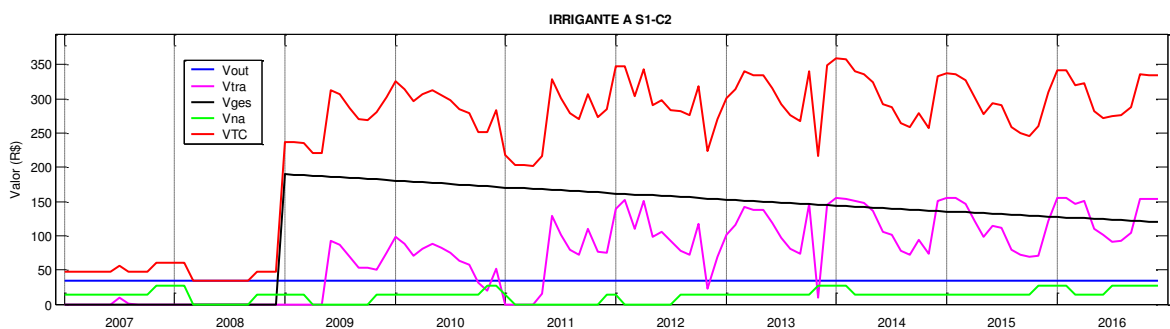


Gráfico 23 – Componentes do “VTC” para o irrigante_A na situação S1 do cenário C2 (S1-C2).

Fonte: O autor

Na situação S2 do cenário C2, o comportamento do “VTC” para o irrigante_A é praticamente ditado pelas variações do valor da componente transposição. Pode-se observar, conforme Gráfico 24, que, em longos períodos de estiagem na região (2013, 2014, 2015 e 2016),

os intervalos entre os picos do “VTC” ficam mais prolongados, ao contrário do que ocorre nos períodos mais chuvosos, em que a variabilidade aumenta, em função do volume acumulado no sistema.

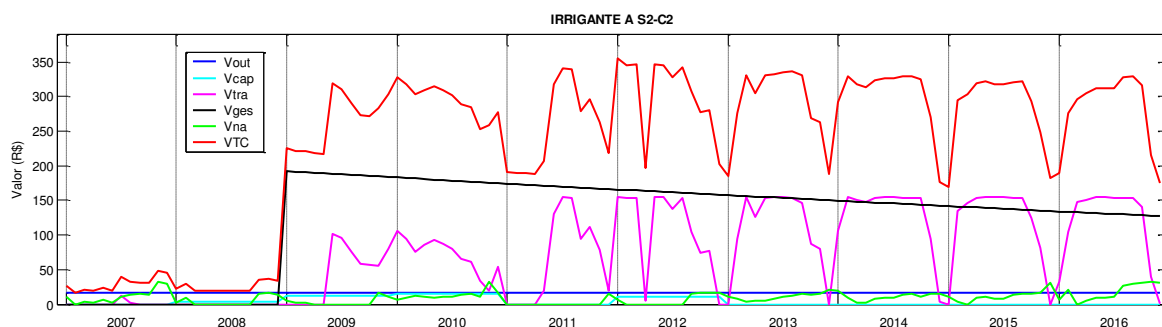


Gráfico 24 – Componentes do “VTC” para o irrigante_A na situação S2 do cenário C2 (S2-C2).

Fonte: O autor

Este aspecto pode ser considerado como um elemento importante do modelo de cobrança proposto, já que permite vincular as características sazonais do sistema de recursos hídricos ao “VTC”. Fato este que não é identificado em nenhum dos modelos de cobrança implantado no Brasil.

Os valores do “VCT” do irrigante_A giraram em torno do intervalo entre R\$ 200,00 e R\$ 350,00 nas duas situações, durante quase todo o período, atingindo seu valor máximo no início de 2014 na situação S1 (R\$358,85), sendo o valor do metro cúbico de R\$ 0,027. Já na situação S2, o valor máximo foi atingido em janeiro de 2012 (R\$ 354,88), cujo valor do metro cúbico foi de R\$ 0,026.

Em relação à composição dos “VTC” para o irrigante_A, os Gráficos 25 e 26 descrevem, respectivamente, a participação de cada componente nas duas situações do cenário C2.

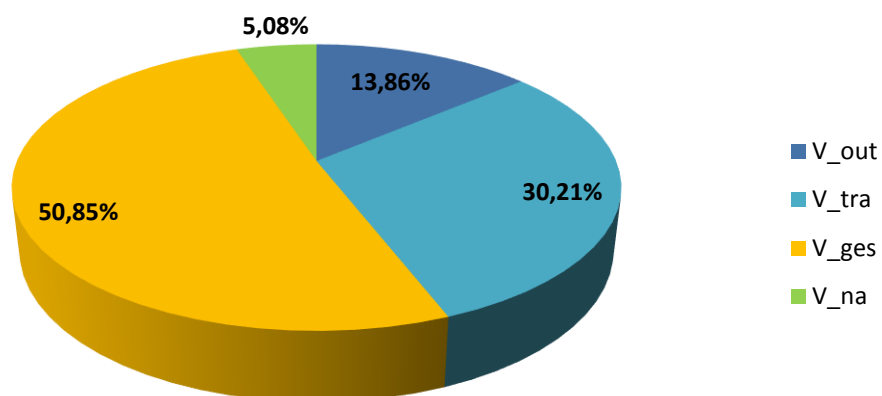


Gráfico 25 – Composição do “VTC” para o irrigante_A na situação S1 do cenário C2 (S1-C2).

Fonte: O autor

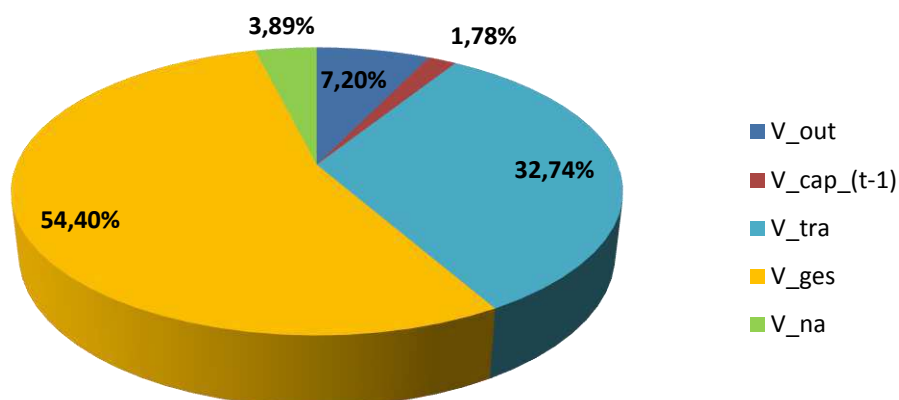


Gráfico 26 – Composição do “VTC” para o irrigante_A na situação S2 do cenário C2 (S2-C2).

Fonte: O autor

Já o Gráfico 27 apresenta os resultados do irrigante_B na situação S1 do cenário C2. Neste caso, observa-se que o “VTC” é impulsionado, principalmente, pelo custo com a gestão e com a transposição, que, por sua vez, dita a variabilidade ao longo do período.

Os valores do VCT giraram em torno do intervalo entre R\$ 4,50 e R\$ 7,65 durante quase todo o período, atingindo seu valor máximo no início de 2014 (R\$7,63). Para esse período, o valor do metro cúbico foi de R\$ 0,027.

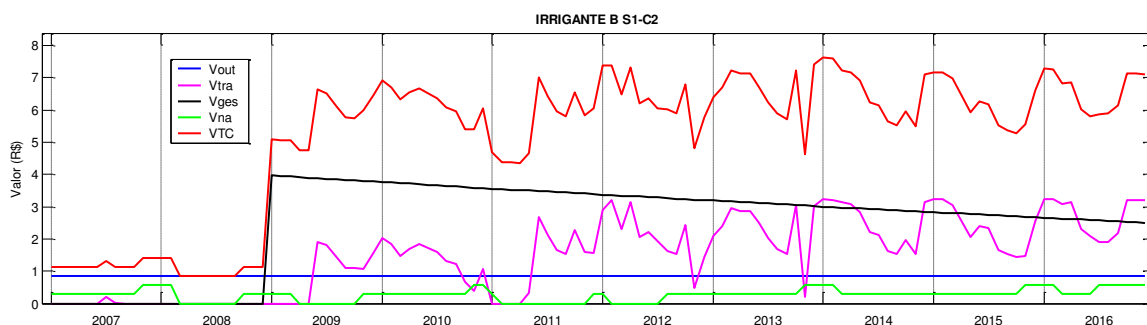


Gráfico 27 – Componentes do “VTC” para o irrigante_B na situação S1 do cenário C2 (S1-C2).

Fonte: O autor

Na situação S2 do cenário C2 (Gráfico 28), o “VTC” do irrigante_B foi impulsionado principalmente pelo custo da transposição, pelo custo da gestão e em maior intensidade pelo custo da captação, já que o usuário apresentou medições fora dos padrões admitidos pelo modelo em relação ao seu volume outorgado. Quanto à variabilidade, o comportamento do “VTC” acompanhou o comportamento tanto do valor da componente transposição, quanto da componente nível de armazenamento de água do sistema.

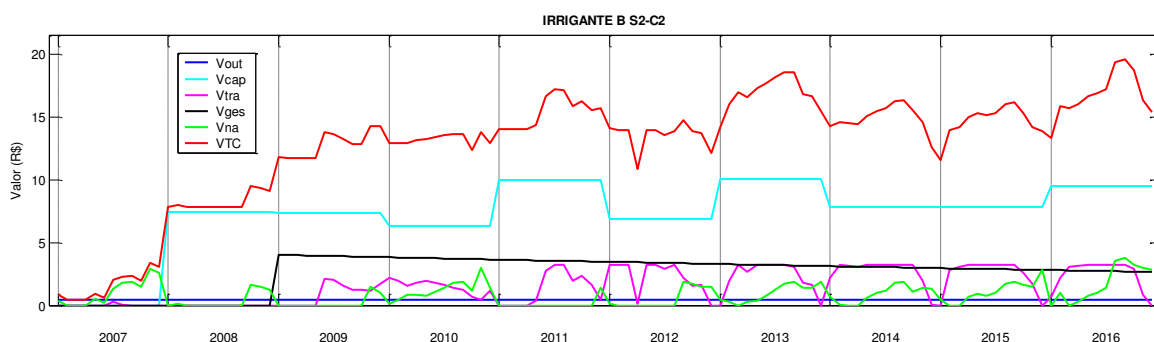


Gráfico 28 – Componentes do “VTC” para o irrigante_B na situação S2 do cenário C2 (S2-C2).

Fonte: O autor

É importante destacar também que, mesmo tendo o seu custo reduzido em função da utilização de medidor de vazão, o irrigante_B foi penalizado em função das captações fora da

variabilidade admitida em relação a sua outorga. O custo com a captação ampliou consideravelmente o “VTC”. Com isso percebe-se que a proposta de cobrança pelo uso dos recursos hídricos possui, como característica importante, a penalização de usuários que se beneficiam de reservas hídricas.

Os valores assumidos pelo “VTC”, neste caso, giraram em torno do intervalo entre R\$ 5,00 e R\$ 20,00 (ver Gráfico 28) durante quase todo o período, sendo o maior valor assumido pelo metro cúbico no mês de setembro de 2016 (auge do longo período de estiagem na região), de R\$ 0,070 para um valor máximo do “VTC” de R\$ 19,59. Neste sentido, captações fora do padrão da outorga, principalmente em períodos de longa estiagem, elevam, significativamente, o custo da água. Tudo isso, de certa forma, reflete claramente e objetivamente, além dos outros aspectos já mencionados, a capacidade que a proposta de cobrança descrita anteriormente possui, ao induzir o uso racional dos recursos hídricos.

Para o caso do irrigante_B, os Gráficos 29 e 30 destacam a composição do “VTC” nas duas situações dos cenários C2. Oportuno salientar aqui o peso que o custo da componente captação exerce no “VTC” na situação S2, representando algo em torno de 57% do “VTC”.

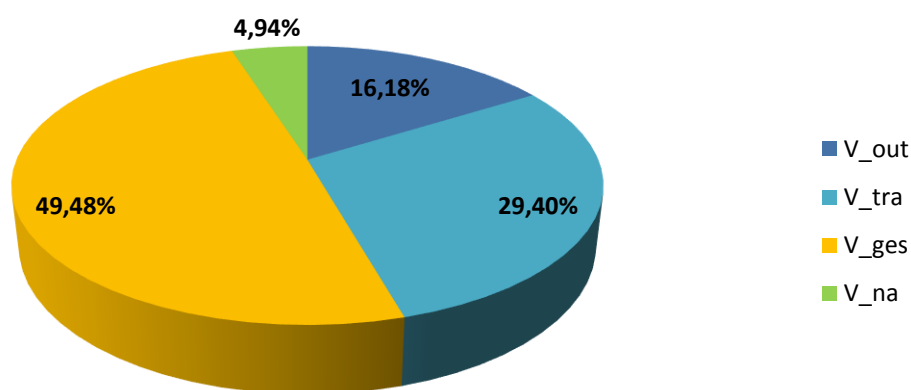


Gráfico 29 – Composição do “VTC” para o irrigante_B na situação S1 do cenário C2 (S1-C2).

Fonte: O autor.

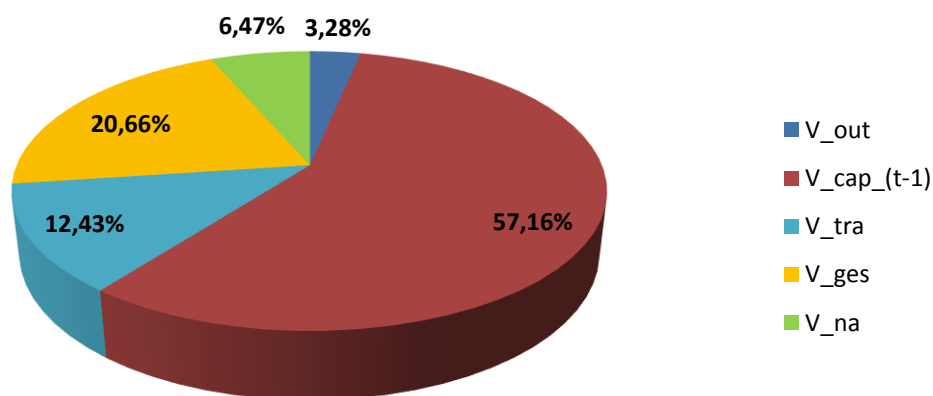


Gráfico 30 – Composição do “VTC” para o irrigante_B na situação S2 do cenário C2 (S2-C2).

Fonte: O autor

Ao comparar os valores do “VTC” dos usuários selecionados em todos os cenários e situações estudadas, algumas questões merecem destaque. No caso do abastecimento urbano, o “VTC” assumiu valores mais elevados na situação S1 do cenário C2, haja vista o dispositivo que leva em consideração a utilização ou não de medidor de vazão. Em relação ao irrigante_A, o “VTC” na situação S2, em ambos os cenários analisados, apresentaram valores menores em relação à situação S1. Apesar do comportamento do “VTC” nas duas situações do cenário C2 ter sido praticamente o mesmo até meados de 2010, a partir de então a variabilidade de ambas as situações apresentaram diferenças maiores entre elas, principalmente no período de maior estiagem (2013, 2014, 2015 e 2016). Já para o irrigante_B, que apresentou medições de vazão não compatíveis com os intervalos admitidos (margem de erro) em relação ao volume outorgado, percebe-se que o “VTC”, na situação S2 do cenário C2, apresentou valores muito mais elevados do que na situação S1 do cenário C2. Isto se deve à majoração provocada pelo cálculo da componente captação, que busca inibir o uso de reservas hídricas.

Em suma, enquanto que no cenário C1 praticamente o comportamento do “VTC” era condicionado aos custos do nível de armazenamento de água do sistema, da gestão e da captação, no cenário C2, além destes, o “VTC” é influenciado pelo custo da transposição. A maior variabilidade do “VTC”, no cenário C2, ocorre já na situação S1, que se intensifica a medida que as águas do PIRSF adentram no sistema.

Tal aspecto pode ser observado nos Gráficos 31, 32 e 33 abaixo, em que são comparados os “VTC”s de cada usuário nas respectivas situações e cenários analisados:

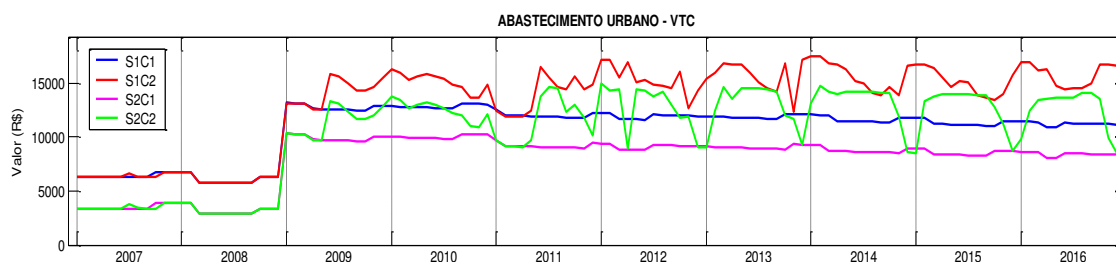


Gráfico 31 – Comparativo do “VTC” do Abastecimento Urbano em todos os cenários e situações analisadas.

Fonte: O autor

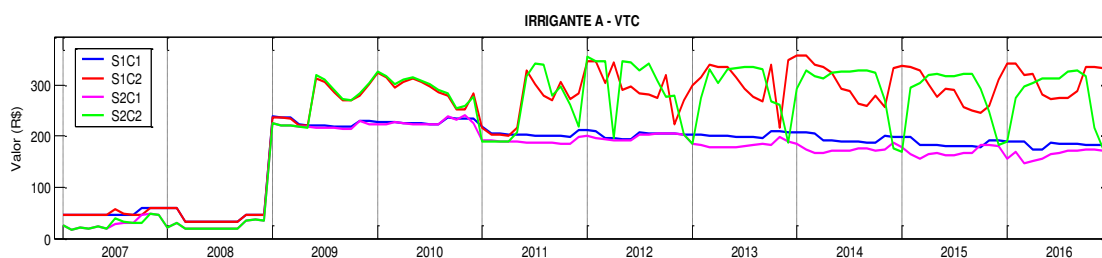


Gráfico 32 – Comparativo do “VTC” do Irrigante_A em todos os cenários e situações analisadas.

Fonte: O autor

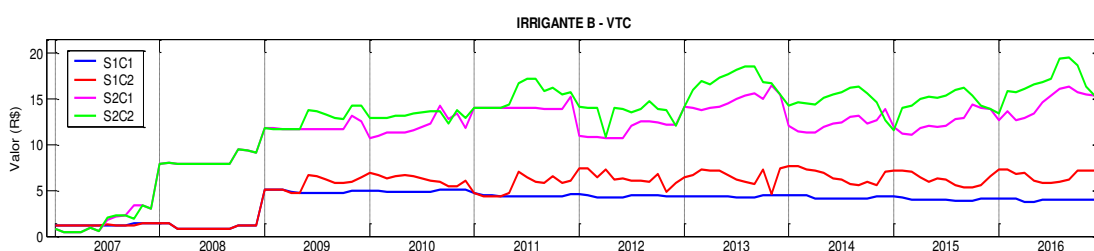


Gráfico 33 – Comparativo do “VTC” do Irrigante_B em todos os cenários e situações analisadas.

Fonte: O autor

Neste sentido, dados os objetivos pretendidos pelo modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos proposto, o processo de simulação da cobrança na UPHAP permitiu analisar a consistência e a robustez do modelo. Contudo, ao analisar os resultados obtidos, observou-se que tais objetivos foram atingidos de forma satisfatória.

C ONCLUSÃO

O trabalho apresentou a descrição e implementação de um modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos para bacias hidrográficas controladas por reservatórios. De acordo com o exposto, o modelo foi estruturado tomando-se como base sete componentes básicos para a determinação do valor total da cobrança (VTC), são eles: valor outorga (V_{out}), valor captação (V_{cap}), valor transposição (V_{tra}), valor lançamento (V_{lan}), valor gestão (V_{ges}), valor mineração (V_{min}) e valor nível de armazenamento de água do sistema (V_{na}).

De um ponto de vista geral, o modelo apresentou um conjunto de características que o diferencia das demais propostas já conhecidas e implantadas no Brasil, conforme reza a Lei 9.433/97. Dentre tais características, destacam-se:

1. A relação direta e objetiva entre o volume outorgado de cada usuário e o valor total da cobrança pelos usos dos recursos hídricos, ou seja, uma parcela do pagamento realizado é função direta do volume outorgado, independentemente do tipo de uso e das características dos usuários;
2. De certa forma, a proposta incorpora novos elementos no cálculo do “VTC”, dos quais destacam-se: aspectos de reserva hídrica; a retirada acima do volume outorgado ou captações extras; o uso de bandeiras tarifárias baseadas nas características sazonais do sistema hídrico; a diferenciação de usuário baseada na proporção entre o volume outorgado individual e o volume outorgado total do sistema de recursos hídricos; a contribuição proporcional dos diversos usuários nos investimentos previstos no sistema de recursos hídricos; e o uso de subsídios no cálculo referente à transposição de recursos hídricos;
3. O modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos proposto penaliza o usuário que: usa sistemas hidráulicos menos eficientes; não implementa sistemas de medição de vazão; pretende fazer uso de reservas hídricas e/ou uso além do volume outorgado etc., o que, de certa forma, induz ao uso racional através de parcimônia;
4. A diferenciação de valores cobrados pelo uso dos recursos hídricos em função da existência ou não de medidor de vazão por parte dos diversos usuários. Sendo a ausência de medição, um fator que onera o valor cobrado;

5. Para as situações em que existe a medição de vazão, o cálculo do valor referente ao componente captação induz a não formação de reservas extras e/ou captações excedentes, na medida em que penaliza tanto as captações abaixo como acima do volume outorgado a cada usuário no sistema, dada a margem de tolerância diferenciada e admitida para cada tipo de uso. Também pode-se frisar, em relação a esse aspecto, o fato do modelo de cobrança proposto considerar preços públicos unitários diferentes para penalizar cada uma das situações descritas acima;
6. Em relação ao uso na agricultura, visando minimizar os efeitos dos longos períodos de estiagem, o cálculo do valor referente a captação passa a ser anual, para avaliar a existência ou não de reservas extras ou captação excedente. Na ocorrência de tal situação, o pagamento será parcelado em 12 parcelas iguais a serem pagas no ano seguinte;
7. A diferenciação de usuários (K_u) como base na proporcionalidade entre o volume outorgado individual e o volume outorgado total do sistema de recursos hídricos;
8. Também, de forma peculiar, o modelo de cobrança proposto considera, para o cálculo do “VTC”, a parcela referente ao pagamento pelo uso de águas advindas da transposição de outras bacias hidrográficas, com possibilidade de existir ou não subsídios governamentais em relação ao valor do metro cúbico da bacia hidrográfica doadora. Além disso, leva-se em conta a proporcionalidade do pagamento em função do volume outorgado de cada usuário;
9. Em relação aos investimentos na bacia hidrográfica, considera-se, no “VTC”, uma parcela referente à contribuição por parte dos usuários para o aporte de recursos financeiros para fins de investimentos;
10. Por fim, de forma também inovadora, é incorporado no cálculo do “VTC” os efeitos da sazonalidade em função do nível de armazenamento de água do sistema, a partir do uso de bandeiras tarifárias;

Assim, é mister dizer que o modelo procurou envolver o máximo de aspectos possíveis e operacionalmente viáveis em relação a qualquer sistema de recursos hídricos controlados por reservatórios. Ou seja, a forma como o mesmo foi idealizado permite a sua perfeita adequação, implantação e operação, principalmente em relação a bacias hidrográficas da região semiárida brasileira. O modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos proposto foi estruturado de forma a induzir um maior uso racional de água, a partir de um processo que gere parcimônia, objetividade e transparência, em consonância com as diretrizes estabelecidas pela Lei 9.433/97.

Por outro lado, a partir dos dados contidos no cadastro das outorgas da AESA e da ANA, assim como dos dados obtidos no processo de otimização quantitativa do sistema de recursos hídricos, foi possível analisar, de forma integrada, as vazões fornecidas pelo sistema para o atendimento das outorgas, o volume dos reservatórios, bem como as vazões no trecho do rio entre os dois reservatórios, dentre outras razões. Tornando possível, assim, simular a proposta de cobrança pelo uso dos recursos hídricos na UPHAP.

Neste sentido, conclui-se que:

1. O modelo de cobrança proposto apresentou objetividade, principalmente ao vincular outorga e cobrança pelo uso dos recursos hídricos de forma direta no cálculo do Valor Total com a Cobrança (VTC). Além disso, constatou-se também a sua viabilidade operacional, já que apresentou um desempenho transparente a partir de uma forma explícita de cálculo;
2. A capacidade do modelo de cobrança proposto se adequar a diversas realidades e cenários, principalmente em se tratando da região semiárida, foi satisfatória. Para tanto, o modelo utilizou-se de aspectos como: tipos de usos; a utilização ou não de medição de vazão; a eficiência dos sistemas hidráulicos; a variabilidade admitida em função do uso para a captação, adequação a cenários distintos em função do PIRSF etc.;
3. Houve diferenciação entre os “VTCs” em função da existência ou não de medidor de vazão por parte dos diversos usuários. Sendo a ausência de medição um fator que onera o valor cobrado no caso dos usuários que possuem volumes captados dentro dos intervalos admitidos em relação ao seu volume outorgado (usuários: abastecimento urbano e irrigante_A);
4. O modelo de cobrança foi capaz de penalizar usuário (irrigante_B) que pretende fazer uso de reservas hídricas e/ou uso além do volume outorgado, induzindo, de certa forma, o uso racional através de parcimônia;
5. O uso de bandeiras tarifárias baseadas nas características sazonais do sistema hídrico amplia a variabilidade e valor do “VTC”, principalmente em períodos de estiagem (2012 a 2016) e quando o usuário faz uso do medidor de vazão, se intensificando, caso os usuários realizem captações fora dos intervalos admitidos em relação ao seu volume outorgado (irrigante_B);
6. Ao lançar mão da utilização da componente gestão, o modelo de cobrança proposto além de reduzir a necessidade de captações externas de recursos financeiros para a realização de investimentos na bacia hidrográfica, onera o “VTC”, o que, por sua

vez, comporta-se de forma decrescente ao longo do tempo, caso não ocorram novas necessidades de aporte de recursos para investimentos.

Neste sentido, urge destacar que o modelo de cobrança pelo uso dos recursos hídricos proposto pode ser devidamente apresentado e debatido no âmbito do CBH, sendo possível redimensionar os valores dos parâmetros utilizados, visando um processo mais participativo e democrático, resolvendo, assim, o problema da ausência do instrumento da cobrança dos recursos hídricos na bacia, conforme normatiza a Lei 9.433/97.

Ademais, a utilização do modelo de cobrança proposto pode fornecer subsídios para melhorias na gestão dos recursos hídricos da UPHAP, na medida em que: induza ao uso mais racional da água; amplie a capacidade de medição de vazão das outorgas de direito de uso e como consequência uma maior fiscalização em todo o sistema de recursos hídricos; melhore o sistema de informações a partir de dados gerados; incentive a participação dos diversos usuários nas deliberações no âmbito do CBH; dentre outras ações.

É importante reforçar também que o estudo em tela apresentou algumas limitações principais. São elas: impossibilidade de simular a cobrança pelo uso dos recursos hídricos para todos os tipos de usos (ausência de usuários específicos de mineração, lançamento de efluentes, lazer etc., no sistema de recursos hídricos analisado); capacidade limitada em refletir mais fielmente o impacto do custo efetivo das águas do PIRSF (estimativa do custo efetivo do metro cúbico recursos hídricos do PIRSF); e em relação ao cálculo da componente gestão, este por sua vez não pode refletir o seu custo efetivo de forma mais precisa em razão da ausência dos custos com a gestão dos recursos hídricos do sistema analisado, já que não são há informações sobre tais custos (para o cálculo da componente leva-se em consideração o saldo líquido da arrecadação. Ou seja, descontados os custos com a gestão do sistema).

Por fim, a título de análises futuras em relação ao modelo cobrança proposto, recomenda-se: analisar o seu desempenho em outras bacias hidrográficas que possuam diferentes características e usuários, principalmente em função de aspectos climatológicos; realizar uma análise de sensibilidade dos diversos parâmetros e coeficientes do modelo; analisar e adequar sistematicamente os valores assumidos pelos coeficientes adotados de forma a adequá-los as reais demandas levantadas no âmbito do CBH; aplicar outras metodologias já consolidadas no Brasil na UPHAP de forma a comparar os resultados obtidos; e para uma melhor performance e eficiência na gestão dos recursos hídricos e consequentemente no desempenho do instrumento da cobrança na bacia hidrográfica, a implantação de uma Agência de Bacia é considerada como uma prerrogativa essencial para o sucesso de todo o processo.

R EFERÊNCIAS

AB’SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. 3 ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **A Implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos e agência de água das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiáí**. Brasília: ANA - SAG, 2007.

_____. **Nota Técnica nº019/2004/NGI/ANA**. Nota Técnica referente ao Ofício DP/419/2004 (Governo do Estado da Paraíba), Brasília: NGI, 2004a.

_____. **Resolução nº 687**, de 03 de Dezembro de 2004. Brasília: ANA, 2004b.

_____. **Termos de referência para a elaboração do plano de recursos hídricos da bacia do rio piranhas-açu**: Versão aprovada pela CTPI em 27 de setembro de 2010. 2010. Disponível em: <<http://piranhasacu.ana.gov.br/termo/TDR.pdf>>. Acesso em: 15 de Jun. 2015.

_____. **O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz?** Cadernos de capacitação em recursos hídricos; v.1, 64 p. Brasília: SAG, 2011.

_____. **Cobrança pelo uso de recursos hídricos**. Capacitação em Gestão de Recursos Hídricos, v. 7, 80 p., Brasília: SAG, 2014a.

_____. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açu**. Brasília: ANA, 2014b.

_____. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Piancó-Piranhas-Açu**. Brasília: ANA, 2016.

ACSELRAD, M. V.; AZEVEDO, J. P. S. de; FORMIGA-JOHNSSON, R. M. **Cobrança pelo uso da água no Estado do Rio de Janeiro, Brasil (2004–2013): histórico e desafios atuais**. Rev. Eng. Sanit Ambient, v. 20, n. 2, p. 199-208, abr/jun 2015. DOI: 10.1590/S1413-41522015020000112026.

ÁGUAS DO BRASIL. **O outro lado da crise da água: como iniciativas simples podem definir o futuro**. 12 ed., Ano 4, Jun. 2015.

ALBUQUERQUE, P. E. P. de. **Aspectos conceituais do uso eficiente da água na agricultura**. Simpósio nacional sobre o uso da água na agricultura. Passo Fundo - RS, 2004.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome – Italy: FAO - Irrigation and Drainage, Paper 56, 1998.

ALMEIDA, H. A.; SILVA, L. **Estimativa do potencial de captação de água de chuva no brejo paraibano**. In: Simpósio Brasileiro de Captação e manejo de água de chuva, 2003, Juazeiro, BA, CD ROM. Juazeiro: Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva (ABCMAC), 2003.

ALMEIDA, M.; CURI, W. F. **Gestão do uso de água na bacia do Rio Paraíba, PB, Brasil com base em modelos de outorga e cobrança**. Rev. Ambient. Água [online], vol. 11, n. 4, p. 989-1005, ISSN 1980-993X, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1820>.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2ª ed. Campina Grande – PB: DEAg/CCT/UFPB, 153 p., (Estudos, FAO irrigação e drenagem, 29 revisado 1), 1999.

BERNARDES, F. S.; BROCH, S. O. **Histórico de cobrança pelo uso de água em bacias hidrográficas de domínio da União**. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília: ABRH, 2015.

BOER, L. de; WEGEN, L. V. D.; TELGEN, J. **Outranking methods in support of supplier selection**. European Journal of Purchasing & Supply Management, vol. 4, p. 109 – 118, 1998.

BRANS, J. P.; e VINCKE, P. **A Preference Ranking Organization Method**. Management Science, V. 31, n.6, p. 647 – 656, 1985.

BRASIL. Lei Federal nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos hídricos**. Disponível em: <<http://www.cnrh.gov.br/>>. Acesso em: 16 de junho de 2015.

CAMPOS, J. N. B. **Vulnerabilidades hidrológicas do semiárido às secas**. Revista Planejamento e Políticas Públicas, nº 16 – Dez de 1997.

CARVALHO, R. C. de; MAGRINI, A. **Conflicts over Water Resource Management in Brazil: A Case Study of Inter-Basin Transfers**. Water Resources Management, v. 20, p. 193–213, 2006. DOI: 10.1007/s11269-006-7377-3.

CAVASSIN, S. A. **Uso de Metodologias Multicritério na Avaliação de Municípios do Paraná com Base no Índice de Desenvolvimento Humano Municipal**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Programação Matemática, Setores de Tecnologia e Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO (CBHSF). **DELIBERAÇÃO CBHSF Nº 94, de 25 de agosto de 2017**. Disponível em: <http://cbhsaofrancisco.org.br/2017/download/DELIBERACOES/deliberacoes_do_ano_de_2017/DELIBERACCA7ACC830-CBHSF-No-94-2017-METODOLOGIA-DE-COBANCCCA7A-E-PPU-PARA-A-BHSF.PDF>. Acesso em: 10 de janeiro de 2018.

CURI, W. F.; CELESTE, A. B.; CURI, R. C.; RODRIGUES, A. C. L. **Um modelo de outorga para bacias controladas por reservatórios: 1 - Desenvolvimento do modelo que contempla demandas múltiplas e variáveis mensalmente**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 16, p. 73-82, n.4 - Out/Dez 2011.

DAEE. **Guia Prático para Projetos de Pequenas Obras Hidráulicas**. São Paulo: Secretaria de Estado de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento. Departamento de Águas e Energia Elétrica, 116p., 2005.

DIAS, T. F.; BARROS, H. O. M. de; SOUZA, W. J. de. **Cobrança pelo uso da água: visões a partir dos membros do comitê de bacia hidrográfica do Rio Pirapama-Pernambuco**. Revista Alcance. v. 17, n. 4, Out-Dez 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.14210/alcance.v17n4.p416-432>.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Tradução de H. R. Gheyi, A. A. de Sousa, F. A. V. Damasceno, J. F. de Medeiros. **Efeito da Água no Rendimento das Culturas**. v. 33, UFPB, Campina Grande – PB: Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 360p., 2000.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop Water Requirements**. Rome – Italy: FAO, Irrigation and Drainage, Paper 24, 144 p., 1984.

FANTINATTI, P. A. P. **Abordagem MCDA como ferramenta de mudança de Paradigma no planejamento dos recursos hídricos**. Orientador: Antônio Carlos Zuffo. Campinas, 2011. 400 f. Tese. (Doutorado em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2011.

FINKLER, N. R.; MENDES, L. A.; BORTOLIN, T. A.; SCHNEIDER, V. E. **Cobrança pelo uso da água no Brasil: uma revisão metodológica**. Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente – DMA (UFPR). Vol. 33, abril 2015, DOI: 10.5380/dma.v33i0.36413.

FIGLIOLINI, A. P. *et al.* **A Questão da Água no Nordeste**. Agência Nacional de Águas - ANA. Brasília: CGEE, 2012.

FODOR, R. K. **A New Method in the Analysis of the Environment: the Payments for Ecosystem Services**. In: 5th Central European Conference in Regional Science. Košice: Slovak Republic, 2014, p. 215-226.

FRANTZ, L. C. e CRUZ, J. C. **O processo de outorga de direito de uso de recursos hídricos superficiais no Rio Grande do Sul: contribuições para o aprimoramento**. REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina, v.17, n. 1. p. 5-16, 2010.

GAMA ENGENHARIA. **Atualização da metodologia de cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio São Francisco**. Produto 1 – revisão sobre metodologias de cobrança. Contrato AGBPV n° 016/2016, 2016.

GARCIA, J. R. **Valoração, cobrança pelo uso da água e a gestão das bacias hidrográficas do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira: uma abordagem econômica-ecológica**. Orientador: Ademar Ribeiro Romero. Campinas, 2012. 294 f. Tese. (Doutorado em Desenvolvimento Econômico). Instituto de Economia da Universidade Federal de Campinas, 2012.

GARCIA, J. R.; ROMEIRO, A. R. **Valoração e Cobrança pelo Uso da Água: uma abordagem econômica-ecológica.** Revista Paranaense de Desenvolvimento – Economia, Estado e Sociedade, v. 34, n. 125, p. 101-121, ISSN 2236-5567, 2013.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

_____. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

_____. **Métodos e técnicas de pesquisa social.** 6 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GODOY, A. M. G. **A abordagem neoclássica sobre a cobrança pelo uso da água dá conta da realidade?** Revista Estudos do CEPE, Santa Cruz do Sul, n34, p.202-230, jul./dez. 2011.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento.** Campina Grande-PB: Editora Universitária – UFPB, 412 p., 1999.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; GROOT, R. de; LOMAS, P. L.; MONTES, C. **The history of ecosystem services in economic theory and practice: From early notions to markets and payment schemes.** Ecological Economics, vol. 69, issue 6, p. 1209–1218, 2010.

HAJKOWICZ, S; COLLINS, K. **A Review of multiple criteria analysis for water resource planning and management.** Water Resources Management. Vol. 21, p. 1553–1566, 2007.

HARAMURA JUNIOR, *et al.* **Apostila de MATLAB 8.1.** Fortaleza: UFC. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Elétrica. Programa de Educação Tutorial, 2014.

HARTMANN, P. **A cobrança pelo uso da água como instrumento econômico na Política Ambiental: estudo comparativo e avaliação econômica dos modelos de cobrança pelo uso da água bruta propostos e implementados no Brasil.** Porto Alegre: AEBA, 2010.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** 2017. Disponível em: http://www.censo2010.ibge.gov.br/resultados_do_censo2010.php. Acesso em: 15 de março de 2017.

JARDIM, M. H.; BURSZTYN, M. A. **Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG).** Eng. Sanit. Ambient. [Online], vol.20, n.3, pp.353-360. ISSN 1413-4152, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522015020000106299>.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica.** 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2000.

LANNA, A. E. L. **A inserção da gestão das águas na gestão ambiental.** In: Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos. 2 ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos/Ministério do Meio Ambiente, v. único, p. 75-108, 2000.

LANNA, A. E.; LAIGNEAU, P. **Comparação da cobrança pelos usos da água no Brasil e na França.** 2010. Disponível em: http://www.igre.org.br/conteudo_img/LannaeLaigneau.pdf Acesso em: 15 de dezembro de 2014.

LIMA, J. E. F. W. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

LOPES, J. E. G.; BRAGA, B. P. F.; CONEJO, J. G. L., **Simulação hidrológica**: aplicações de um modelo simplificado. IV Simpósio brasileiro de hidrologia e recursos hídricos, anais 1, p. 42-62, 1981.

LOUCKS, D.; BEEK, E. V. Water Resources Planning and Management: An Overview. In: LOUCKS, D.; BEEK, E. V. **Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models and Applications**. Paris: UNESCO, 2005.

LUSTOSA, M. C. J.; CÁNENA, E. M.; YOUNG, C. E. F. **Política ambiental**. In: MAY, P.; LUSTOSA, M. C. J.; VINHA, V. Economia do Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Campus, 2003, pp 135-153.

MARCONI, M. M.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

MAGALHÃES P. C.; MARANHÃO, N.; THOMAS, P.; THOMAZ, F.; CAMPOS, J. D. **Estudo comparativo de quatro metodologias para a cobrança pelo uso da água**. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Paraná: Curitiba, ABRH, 2003.

MARTINEZ-ALIER, J.; MUNDA, G.; O'NEILL, J. **Weak comparability of values as a foundation for ecological economics**. Ecological Economics. Vol. 26. p. 277–286, 1998.

MARTIN-ORTEGA, J.; OJEA, E.; ROUX, C. **Payments for Water Ecosystem Services in Latin America: Evidence from Reported Experience**. BC3 Working Paper Series 2012-14. Basque Centre for Climate Change (BC3). Bilbao, Spain. 2012.

MEJÍA, A.; HUBNER, M. N.; SÁNCHEZ, E. R.; DORIA, M. **Water and sustainability: a review of targets, tools and regional cases**. Paris: UNESCO, 2012.

MICHEL, M. H. **Metodologia e pesquisa científica em ciências sociais**. 2 ed. Atual. e Ampl. São Paulo: Atlas, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). 2015. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/plano-nacional-derecursos-hidricos>> Acesso em: 15 set. 2015.

MORAIS, D. C.; ALMEIDA, A. T. de. **Modelo de decisão em grupo para gerenciar perdas de água**. Revista Pesquisa Operacional, v.26, n.3, p.567-584, Setembro a Dezembro de 2006.

MUÑOZ, H. R. **Razões para um debate sobre as interfaces da gestão dos recursos hídricos no contexto da Lei de Águas de 1997**. In: Interfaces da Gestão de Recursos Hídricos. 2 ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos/Ministério do Meio Ambiente, 2000, v. único, p. 13-70.

NORGAARD, R. B. **Ecosystem services: from eye-opening metaphor to complexity blinder**. Ecological Economics, 2010, vol. 69, issue 6, p. 1219-1227.

OLIVEIRA, G. M.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; GALVÃO, C. O.; LEITÃO, T. H. V. **Estimativa da Evaporação e Análise de Uso do Coeficiente (kp) do Tanque “Classe A” nas Regiões do Cariri e Sertão da Paraíba.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 4, p. 73-83, 2005.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Cobrança pelo uso de recursos hídricos no Brasil: caminhos a seguir.** Paris: Éditions OCDE, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264288423-pt>.

PAGNOCCHESCHI, B. **A Política Nacional de Recursos Hídricos no cenário da integração das políticas públicas.** In: MUÑOZ, H.R. (org). Interfaces da gestão de recursos hídricos: Desafios da Lei de Águas de 1997. Brasília: Ministério do Meio Ambiente/Secretaria dos Recursos Hídricos, 2000.

PARAÍBA. (Estado). Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. **AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA - AESA. Gestão de recursos hídricos no estado da Paraíba. João Pessoa, 2007.**

_____. (Estado). Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. **AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA – AESA. Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH-PB.** João Pessoa, 2006.

_____. (Estado). DECRETO Nº 33.613, de 14 de dezembro de 2012. Regulamenta a cobrança pelo uso da água bruta de domínio do Estado da Paraíba, prevista na Lei nº 6.308, de 02 de julho de 1996, e dá outras providências. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/DECRETO_02.pdf . Acesso em: 20 de junho de 2018.

POL, E. **A gestão ambiental, novo desafio para a psicologia do desenvolvimento sustentável.** Estud. psicol. (Natal) [online]. 2003, vol.8, n.2, pp. 235-243. ISSN.

REIS, C. Q. **Avaliação da sustentabilidade hídrica dos reservatórios Engenheiro Ávidos e São Gonçalo – 2014.** 73 f. Dissertação (Mestrado) Sistemas Agroindustriais. Pombal-PB: Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, 2014.

RODRIGUES, A. C. L.; CELESTE, R. C.; CURTI, R. C.; BARBOSA, R. L.; CURTI, W. F. **Um Modelo de Outorga para Bacias Controladas por Reservatórios: 2 - Aplicação do Modelo na Bacia Hidrográfica do Rio Piancó - PB.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 16, n.4 - Out/Dez 2011, 83-94.

RODRIGUES, A. C. L. **Nova proposta para o processo de outorga em Sistemas de reservatórios – estudo de caso: bacia Hidrográfica do Rio Piancó.** Orientador: Rosires Catão Curti. Campina Grande, 2011. 304 f. Tese. (Doutorado em Recursos Naturais). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da UFCG, 2011.

RODRIGUES, M. V. S; AQUINO; M. D. de. **Análise comparativa entre a cobrança pelo uso da água bruta do estado do Ceará com a cobrança aplicada no estado de São Paulo.** REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina. v. 11, nº 2, p. 37 – 51, jul./dez 2014.

RUFINO, A. C. DA; VIEIRA, Z. M. DE C. L. RIBEIRO, M. M. R. **Análise de conflitos em bacias interestaduais.** REGA – Vol. 3, no. 1, p. 45-56, jan./jun. 2006.

SALES, R. J. de M.; ARAÚJO, J. A. F. de; SANTOS, S. H. dos; VIDAL, T. F.; CASTRO, M. P. S.; CHAGAS, P. F.; SOUZA, R. O. de. **Análise comparativa entre as metodologias para cobrança de água para as bacias do sudeste e do nordeste.** In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Segurança e desenvolvimento sustentável: desafios do conhecimento e da gestão. Brasília-DF. 22 a 27 nov/2015. Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2015.

SANTIN, J. R.; GOELLNER, E. **A gestão dos recursos hídricos e a cobrança pelo seu uso.** Revista Sequência, Florianópolis, n. 67, p. 199-221, dez. 2013. Doi: <http://dx.doi.org/10.5007/2177-7055.2013v34n67p199>.

SANTOS *et al.*, R. B. dos. **Desenvolvimento sustentável:** agricultura familiar e o uso de tecnologia multicritério em bacia hidrográfica. Revista Tecnologia e Sociedade. vol. 3, n. 5, 2007.

SANTOS, P. V. C. J.; CUNHA, A. C. da. **Outorga de Recursos Hídricos e Vazão Ambiental no Brasil:** perspectivas metodológicas frente ao desenvolvimento do setor hidrelétrico na Amazônia. 2013. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol. 18, n.3, Jul/Set, p. 81-95.

SANTOS, V. S.; CURI, W. F.; CURI, R. C.; VIEIRA, A. S. **Um Modelo de Otimização Multiobjetivo para Análise de Sistema de Recursos Hídricos I:** Metodologia. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, n. 4, p. 49-60, 2011.

SAVVA, A. P.; FRENKEN, K. **Crop Water requirements and Irrigation Scheduling.** Module 4. Harare: FAO, Irrigation Manual, 122p., 2002.

SCIENTEC, Associação para Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Paraíba:** Bacias do Rio Piancó e do Alto Piranhas. SEPLAN. Paraíba. Brasil. 1997.

SERRANO, L. M.; CARVALHO, M. V. **Cobrança pelo uso de recursos hídricos e tarifas de água e de esgoto:** uma proposta de aproximação. Revista da UFMG, Belo Horizonte, v. 20, n.2, p. 306-333, jul./dez. 2013.

SILVA, L. da; ALMEIDA, A. de; COSTA FILHO, J. F. da. **Captação de água de chuvas na zona rural:** uma alternativa para a convivência no semiárido nordestino. In: Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de água de chuva, Teresina, PI, de 11 a 14 de Julho de 2005.

SILVA, S. M. O. da; SOUZA FILHO, F. de A. de; AQUINO, S. H. S. de. **Alocação de custos e a cobrança pelo uso da água no estado do Ceará.** REGA, Porto Alegre – Vol. 12, no. 2, p. 47-59, jul./dez. 2015.

SMITH, M. GROOT, D.; BERGKAMP, G. **Pay – Establishing payments for watershed services.** Gland, Switzerland: IUCN. Reprint, Gland, Switzerland: IUCN, 2008.

SOUSA, F. R.; ASSIS, L. F.; VIEIRA, A. L. **Modelo de cobrança pelo uso da água:** análise da arrecadação na sub-bacia do Alto Piranhas (PB). Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã, v. 6, n. 1, p. 246-261, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2015.001.0019>

THOMAS, P. T. **Proposta de uma Metodologia de Cobrança pelo Uso da Água vinculada à Escassez**. Rio de Janeiro, Tese (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – UFRJ, 2002.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP). **The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World**. Paris: UNESCO, 2015.

VARGES DA SILVA, P. et. al. **A visão sistêmica na gestão de bacias hidrográficas**. Anais. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, 2011.

VERA, L. H. A.; MONTENEGRO, S. M. G. de L.; SILVA, S. R. da. **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**. RBRH [online], v. 22, e. 7, Epub Feb 09, ISSN 2318-0331, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011715171>.

VIANNA, L. F. G. **Proposta de modelo de cobrança de água bruta no Estado do Ceará: uma revisão do modelo atual**. Fortaleza, Dissertação (Mestrado em Economia Rural) – UFCE, 2011.

VIEIRA, Z. M. de C. L.; RIBEIRO, M. M. R. **A gestão dos recursos hídricos na Paraíba: aspectos legais e institucionais**. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 12, São Paulo – SP, 25 a 29, nov/2003. Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

VULETIĆ, D.; POSAVEC, S.; KRAJTER, S.; PALADINIĆ, E. **Payments for environmental services (PES) in Croatia: public and professional perception and needs for adaptation**. Proceedings of the International Conference – Forum on Emerging Economic Mechanism: Implications for Forest-Related Policies and Sector Governance. Rome: FAO, 2010, University of Tuscia, Viterbo.

WMO & UNESCO. **International glossary of hydrology**. WMO-No. 385. Unipub, Geneva, Switzerland, 2012.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). **The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World**. Paris: UNESCO, 2015.

SITES:

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 10 de setembro de 2015.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (AESA). Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/>. Acesso em: 10 de fevereiro de 2018.

FAO'S INFORMATION SYSTEM ON WATER AND AGRICULTURE (AQUASTAT). Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>. Acesso em: 10 de janeiro de 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>. Acesso em: 15 de agosto de 2017.

SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE - SUDEMA.
Disponível em: <http://www.sudema.pb.org.br> . Acesso em: 7 de agosto de 2017.