

GIL BRACARENSE LEITE

**ALOCAÇÃO DE CUSTOS DE PROJETOS ENTRE OS USUÁRIOS DE  
ÁGUA EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2009

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

L533a  
2009  
Leite, Gil Bracarense, 1983-  
Alocação de custos de projetos entre os usuários de água  
em uma bacia hidrográfica / Gil Bracarense Leite. – Viçosa,  
MG, 2009.  
xiv, 103f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexo.

Orientador: Wilson da Cruz Vieira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa

Referências bibliográficas: f. 87-91.

1. Recursos naturais - Modelos matemáticos. 2. Recursos  
hídricos - Desenvolvimento. 3. Teoria dos Jogos. 4. Água -  
Uso. 5. Paraíba do Sul, Rio, Bacia. I. Universidade Federal  
de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 333.7

GIL BRACARENSE LEITE

**ALOCAÇÃO DE CUSTOS DE PROJETOS ENTRE OS USUÁRIOS DE  
ÁGUA EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 06 de fevereiro de 2009.

---

José Gustavo Feres

---

Leonardo Bornacki de Mattos

---

Roberto Serpa Dias

---

Maurinho Luiz dos Santos  
(Co-orientador)

---

Wilson da Cruz Vieira  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, força maior da nossa existência. Agradeço por ter me dado a vida, por me amparar e por possibilitar, em Sua imensa justiça, que a cada minuto, a cada dia, a cada reencarnação, nós possamos sempre reparar os erros do passado e trilhar o caminho do bem.

Aos meus pais e ao meu irmão, pelos exemplos de caráter e perseverança, por confiarem em mim, por terem me dado apoio e pela inesgotável fonte de amor e carinho da qual eu nunca estive privado.

À Giovanna, pessoa especial que entrou em minha vida, agradeço pelo apoio, pelo amor e pela alegria.

Ao professor Wilson da Cruz Vieira, não só pelo excelente trabalho de orientação, mas, também, pela extrema cordialidade nas relações profissionais.

Aos professores Roberto Serpa Dias, Leonardo Bornacki de Mattos e José Gustavo Feres pelas excelentes críticas e sugestões que contribuíram para o aprimoramento deste trabalho.

A todos os professores do DER, em especial ao professor Maurinho Luiz dos Santos por ter me confiado a grande responsabilidade de ser monitor da disciplina ERU 600, tarefa na qual depus significativos esforços e retirei valiosos aprendizados.

Aos funcionários do DER, em especial Carminha e Cida, pela atenção e pela dedicação na realização de seus respectivos trabalhos.

Ao meu grande amigo Eder Barbosa – o Baiano – que mesmo a centenas de quilômetros de distância de Viçosa esteve comigo diariamente nas diversas recordações de seus momentos de alegrias e loucuras (principalmente).

Aos queridos amigos de classe Márcia, Patrícia, Aracy e Elvânio. Em especial ao Henrique – o velho Salsa – pela companhia em Viçosa e pelas marcantes discussões sobre futebol, principalmente aquelas travadas nas noites de segunda-feira junto aos demais amigos Juca, Paulo Vinícius, Trajano e Fernando.

Aos demais amigos do Departamento, em especial Dênis e Luiza, pessoas valiosíssimas, e aos amigos que fiz na monitoria de ERU 600.

À Dona Rosa, uma verdadeira Santa que me acolheu em sua casa em Viçosa com uma grande generosidade.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Departamento de Economia Rural (DER), pela oportunidade de aprendizado e aperfeiçoamento profissional.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio financeiro imprescindível para a realização do curso.

Por fim, dedico este trabalho ao meu querido Vô Luíz, que hoje mora no céu, mas foi, e ainda é, o maior exemplo de bondade e humildade que tive em minha vida.

## **BIOGRAFIA**

GIL BRACARENSE LEITE, filho de José Luiz de Carvalho Leite e Nanci Maria Bracarense Leite, nasceu em Volta Redonda - RJ, em 20 de junho de 1983.

Ingressou no curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Juiz de Fora em março de 2001, concluindo-o em janeiro de 2005.

Em março de 2007, iniciou o curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Economia Aplicada na Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em fevereiro de 2009.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações iniciais.....	1
1.2. O problema e sua importância.....	8
1.3. Objetivos .....	12
1.4. Estrutura do trabalho .....	12
2. BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	13
2.1. Caracterização da bacia.....	13
2.2. Caracterização dos organismos de bacia.....	19
2.2.1. Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul (CBH-PS ou Comitê Paulista).....	22
2.2.2. Associação de Usuários das Águas do Médio Paraíba do Sul (AMPAS).....	23
2.2.3. Comitê Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna (PS-1).....	24

2.2.4. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha e Sub-bacias Hidrográficas dos Rios Paquequer e Preto (Comitê Piabanha).....	25
2.2.5. Comitê Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé (COMPE).....	26
2.2.6. Consórcio Intermunicipal para a Recuperação Ambiental dos Rios Bengalas, Negro, Grande e Dois Rios (BNG-2).....	27
2.2.7. Consórcio de Municípios e Usuários da Bacia do Rio Paraíba do Sul para a Gestão Ambiental da Unidade Foz - GT-Foz.....	28
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	30
3.1. Teoria dos Jogos.....	30
3.2. Jogos cooperativos: conceitos e definições.....	31
3.3. Conceitos de solução de jogos cooperativos.....	34
3.3.1. <i>Core</i> .....	36
3.3.2. Valor de Shapley.....	37
4. MODELO ANALÍTICO.....	43
4.1. Valor de Shapley aplicado ao uso de recursos hídricos.....	43
4.1.1. Condições de racionalidade.....	51
4.2. Procedimentos adotados no trabalho.....	52
4.2.1. Valor a ser alocado entre os usuários.....	52
4.2.2. Aplicações do valor de Shapley.....	53
4.2.3. Cenários considerados.....	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
5.1. Aplicação do valor de Shapley para a totalidade da bacia do rio Paraíba do Sul.....	56
5.1.1. Cenário da bacia limpa.....	59
5.1.2. Cenário da bacia poluída.....	60
5.1.3. Cenário equivalente à bacia do Rio Paraíba do Sul.....	62



5.1.4. Verificação das restrições das racionalidades do grupo e individual.....	65
5.2. Aplicação do valor de Shapley para os sete organismos de bacia que compõem a bacia do rio Paraíba do Sul.....	67
5.2.1. Verificação das restrições das racionalidades do grupo e individual nos organismos de bacia.....	80
6. CONCLUSÕES.....	82
REFERÊNCIAS.....	87
ANEXOS.....	92
ANEXO A.....	93
ANEXO B.....	96

**LISTA DE TABELAS**

1	Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário na bacia do rio Paraíba do Sul, para o ano de 2005.....	18
2	Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário no CBH-PS, para o ano de 2005.....	22
3	Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário na AMPAS, para o ano de 2005.....	23
4	Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuários no PS-1, para o ano de 2005.....	24
5	Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário no Comitê Piabanha, para o ano de 2005.....	25
6	Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário no COMPE, para o ano de 2005.....	26
7	Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário no BNG-2, para o ano de 2005.....	27
8	Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário no GT-FOZ, para o ano de 2005.....	28
9	Índice de custo das melhorias para cada usuário, pelos critérios da captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes.....	57
10	Estimativas anuais para os volumes captado e consumido de água e para a quantidade lançada de efluentes por cada usuário na bacia do rio Paraíba do Sul.....	58
11	Valor de Shapley calculado para os critérios da captação e consumo	

	de água e lançamento de efluentes na bacia do rio Paraíba do Sul.....	59
12	Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários, num cenário em que a bacia do rio Paraíba do Sul estivesse limpa.....	60
13	Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários, num cenário em que a bacia do rio Paraíba do Sul estivesse altamente poluída.....	61
14	Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários, em um cenário misto, mas considerando elevada poluição na bacia do rio Paraíba do Sul.....	63
15	Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários no CBH-PS.....	69
16	Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários na AMPAS.....	70
17	Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários no PS-1.....	72
18	Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários no Comitê Piabanha.....	74
19	Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários no COMPE.....	75
20	Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários no BNG-2.....	77
21	Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários no GT-FOZ.....	78
22	Verificação das restrições de racionalidade para os dados de cada região que compõem a bacia do rio Paraíba do Sul.....	81

## LISTA DE FIGURAS

1	Localização geográfica da bacia do rio Paraíba do Sul.....	14
2	Organismos de bacia que compõem a bacia do rio Paraíba do Sul.....	21
3	O <i>core</i> e o valor de Shapley de um jogo de alocação de custos.....	38

## RESUMO

LEITE, Gil Bracarense, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro, de 2009.  
**Alocação de custos de projetos entre os usuários de água em uma bacia hidrográfica.** Orientador: Wilson da Cruz Vieira. Co-orientadores: Alexandre Bragança Coelho e Maurinho Luiz dos Santos.

A água é um recurso natural de extrema importância para a vida no planeta Terra, porém, a deterioração contínua causada pela ação do homem tem tornado esse bem cada vez mais escasso, elevando o número de conflitos pelo seu uso ao redor do mundo. Este cenário indicou a necessidade de se implementar instrumentos eficientes para gerenciar a água entre seus múltiplos usos e usuários. No Brasil, houve uma reformulação das práticas de gestão dos recursos hídricos a partir da Lei Federal nº 9.433/1997 que determinou a gestão descentralizada da água por meio da criação de comitês – formados por representantes de diversas esferas da sociedade – que seriam os órgãos responsáveis pela gestão no âmbito de cada bacia hidrográfica. Entre as competências dos comitês em sua área de atuação, destaca-se o estabelecimento da cobrança pelo uso de recursos hídricos e o estabelecimento de critérios para promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo. Deste modo, as melhorias que ocorrerão na área de uma bacia devem ser financiadas por recursos arrecadados dos usuários de água. Os valores a serem cobrados de cada usuário e o total a ser arrecadado vão estar vinculados aos múltiplos projetos de melhorias que podem ser realizados simultaneamente. Com isso, o objetivo deste trabalho foi analisar a alocação – entre os setores demandantes de água – dos custos de múltiplos projetos

de melhorias relacionadas ao desenvolvimento dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica. Tomou-se como exemplo a bacia do rio Paraíba do Sul (BRPS), uma das mais importantes do território brasileiro, localizada nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, e utilizaram-se, como critérios de alocação de custos, os volumes de água captada e consumida, além da quantidade lançada de efluentes. A metodologia utilizada consistiu da regra de alocação conhecida como valor de Shapley, pertencente ao ramo cooperativo da teoria dos jogos. Propôs-se um valor de Shapley ponderado para que os três critérios pudessem ser considerados simultaneamente, porém, peso maior foi atribuído ao critério do lançamento de efluentes, já que a poluição das águas é o problema de maior relevância nesta bacia. Duas aplicações desta metodologia foram realizadas: uma para a totalidade da BRPS e outra para as sete regiões que a compõem. No caso da bacia como um todo, os valores encontrados indicaram que os usuários urbanos deveriam pagar uma taxa de 0,0360 R\$/m<sup>3</sup> que o faria arcar com a maior parte dos custos (88,40%), já que estes são os usuários que mais lançam efluentes, ao passo que os setores urbano e agrícola pagariam uma taxa (0,0013 R\$/m<sup>3</sup> para ambos) que lhes reservariam cobrir parcelas substancialmente menores dos custos (2,38 e 9,22%, respectivamente). Por sua vez, os resultados para as sete regiões que compõem a BRPS apresentaram um comportamento semelhante: taxas mais elevadas e maior porcentagem na cobertura dos custos para o setor urbano, em decorrência, novamente, do fato de que em todas essas regiões este setor responde pela maioria absoluta da quantidade lançada de efluentes. Embora, especificidades relacionadas com regiões de forte presença agrícola ou industrial foram, em certo grau, consideradas por meio do aumento do percentual destes setores no custo a ser alocado. Como os resultados da aplicação do valor de Shapley diferem dos valores existentes para cobrança pelo uso da água na BRPS concluiu-se que os usuários não vêm sendo cobrados devidamente, em consequência dos custos gerados pela poluição da águas.

## ABSTRACT

LEITE, Gil Bracarense, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February 2009.  
**Costs allocation of projects among the water users in a hydrographical basin.** Adviser: Wilson da Cruz Vieira. Co-advisers: Alexandre Bragança Coelho and Maurinho Luiz dos Santos.

The water is a natural resource of extreme importance for the life in the Earth, however, the continuous deterioration caused by the man's action has become this good more scarcer, elevating the number of conflicts due to its use around the world. This scenery indicated the need to implement efficient instruments to manage the water between its multiple uses and users. In Brazil, there was an upgrade in the practices of hydric resources management starting with the Federal Law nº 9.433/1997 that determined the water decentralized management through the creation of committees – formed by representatives of several areas of the society – that would be the organisms responsible for the management in the ambit of each hydrographical basin. Among the competences of the committees in its performance area, it stands out the charging establishment by the use of hydric resources and the establishment of criteria to promote the pro rata of cost of works of multiple uses. So, the improvements that shall occur in the area of a basin should be financed by the resources collected from the water users'. The values to be charged from each user and the total to be collected will be linked to the multiple projects of improvement that can be accomplished simultaneously. With that, the objective of this work was to analyze the costs allocation – among the demanding sectors of water – of multiple

projects of improvement related to the development of the hydric resources in a hydrographical basin. It was taken as an example the Paraíba do Sul river basin (BRPS), one of the most important in the Brazilian territory, located in the states of São Paulo, Minas Gerais and Rio de Janeiro, and as criteria of costs allocation it had been used, the volumes of captured and consumed water, besides the amount launched from the effluents. The used methodology consisted on the allocation rule known as Shapley Value, belonging to the cooperative branch of the game theory. It has been proposed a weighted Shapley Value so that the three criteria could be considered simultaneously, however, a higher weight was attributed to the criterion of the effluents launching, since the pollution of the waters is the problem of higher relevance in this basin. Two applications of this methodology were accomplished: one for the totality of BRPS and the other for the seven areas that compose it. In the case of the basin as a whole, the found values indicated that the urban users should pay a rate of 0,0360 R\$/m<sup>3</sup> that would make them assume with the biggest part of the costs (88,40%), since these are the users that most launch effluents, while the urban and agricultural sectors would pay a rate (0,0013 R\$/m<sup>3</sup> for both) that would allow them to cover substantially lower portions of the costs (2,38 and 9,22%, respectively). For its time, the results for the seven areas that compose BRPS showed a similar behavior: higher rates and higher percentage in the covering of the costs for the urban sector, in consequence, again, for the fact that in all those areas this sector answers for the absolute majority of the effluents launched amount. Although, characteristics related with areas of strong agricultural or industrial presence, were, in certain degree, considered by the increase of the percentile of these sectors in the cost to be allocated. As the outcomes of the Shapley Value application differ of the existent values for charging by the use of water in BRPS it was concluded that the users have not been charged properly, in consequence of the costs generated by the pollution of the waters.



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Considerações iniciais

A água doce é um dos recursos naturais essenciais no planeta Terra, pois impulsiona os ciclos ecológicos e sustenta a vida humana, que, sem ela, certamente não seria possível. Sua ocorrência (água doce), conforme explicado em Rebouças (2002), dá-se nas porções de terras emersas – como continentes, ilhas e similares –, fluindo por rios, riachos, córregos, constituindo geleiras, depósitos subterrâneos, enchendo as lagoas, os lagos, as represas ou açudes, formando pantanais ou encharcados – sendo por isso também chamadas de águas interiores.

O homem, além de usar a água doce para manutenção de suas funções vitais (consumo, higiene pessoal, saúde, bem-estar, etc.), sempre a utilizou também para diversos outros fins, como geração de energia, navegação, produção industrial e agrícola, lazer, entre muitos outros.

Remetendo à antiguidade, torna-se difícil dissociar as águas dos rios e a história da humanidade. Impossível não lembrar, por exemplo, da civilização egípcia sem esquecer do rio Nilo e de como suas inundações serviam de base para o desenvolvimento das culturas agrícolas. Da mesma forma, as dinastias chinesas se desenvolveram a partir do rio Amarelo e as antigas civilizações da Mesopotâmia surgiram e se fortaleceram ao redor dos rios Eufrates e Tigres. Por sua vez, na antiga Roma, à época do imperador Trajano (98-117 d.C.), a cidade era alimentada por 11 aquedutos, o que lhe rendeu o título de “Cidade das Águas” (SQUEFF, 1998).

Do passado aos dias atuais, grandes cidades sempre estiveram associadas às águas de seus rios: Paris e o Sena, Londres e o Tâmesa, Lisboa e o Tejo são apenas alguns exemplos dos muitos casos de rios tão conhecidos quanto suas cidades, dada a relação de extrema interdependência econômica que se observa entre eles (REBOUÇAS, 2002).

Desse modo, por milênios, a humanidade considerou a água doce como inesgotável e de boa qualidade para o consumo e para a realização de suas atividades. Conforme Campos (2001), num mundo de caráter rural, como era característico das antigas civilizações, o meio ambiente tinha capacidade de assimilação acima da poluição que o homem produzia, de modo que a água era um bem livre e supria as demandas a um custo irrisório.

Todavia, com o advento da Revolução Industrial, ocorreram mudanças substanciais na ocupação dos espaços, em face da implantação de indústrias e da crescente urbanização das cidades. Os crescimentos econômico e populacional, principalmente no pós-Segunda Guerra, fizeram muitos países identificarem problemas oriundos da industrialização e da urbanização na qualidade da água de seus rios. O despejo de efluentes industriais e domésticos nos cursos d'água passou a gerar problemas que implicavam aumento nos custos de tratamento, redução na disponibilidade de água e conflitos entre usuários. Somadas ao processo de desenvolvimento, a ocupação desordenada do solo, a expansão agrícola e a destinação inadequada de resíduos sólidos contribuíram para a deterioração da qualidade da água doce, tornando o acesso a esse bem cada vez mais dificultado (CAMPOS, 2001).

Com a diversificação da atividade econômica, a dependência da água elevou-se em todo o mundo, especialmente em regiões áridas e com grande volatilidade no ciclo pluviométrico. Apesar disso, sempre houve a falsa impressão de que os recursos hídricos são inesgotáveis. Contudo, isso não é verdade. De toda a água disponível no planeta Terra, cerca de 97% estão nos oceanos. Dos 3% restantes, grande parte (2%) está na forma de geleiras e calotas polares de difícil acesso, de modo que menos de 1% da água existente está em forma de água doce e diretamente disponível para ser utilizada pelo homem (TUNDISI, 2003).

Ainda, segundo Peixoto Filho e Bondarovsky (2000), quase a totalidade dessa mesma água doce acessível mostra-se imprópria para o consumo direto, já que indústrias, atividades agrícolas e empresas de saneamento urbano devolvem-na aos

ursos de água, na maioria das vezes, em condições piores que as da água que foi captada.

Esse fato é também destacado em Campos (2001), que afirma que há cerca de 1 bilhão de pessoas sem disponibilidade hídrica apropriada para o consumo doméstico ao redor do mundo, e estimativas indicam que 5,5 bilhões de pessoas estarão em regiões com problemas de escassez de água nos próximos 30 anos.

Especificamente em relação à escassez, considera-se que um país ou região tem escassez de água quando o abastecimento cair abaixo dos 1.000 m<sup>3</sup> por pessoa ao ano – nível mínimo estabelecido pela ONU (Organização das Nações Unidas) como compatível para a satisfação das necessidades humanas elementares de saúde, higiene e bem-estar. Dentro dessa estatística, 22 países já possuem recursos renováveis de água abaixo de 1.000 m<sup>3</sup> por pessoa, e somente 18 países têm mais de 2.000 m<sup>3</sup> (REBOUÇAS, 2002).

O Brasil ocupa uma posição privilegiada em relação à disponibilidade de água doce no mundo, já que possui aproximadamente 12% do total disponível. Apesar disso, o País ainda não conseguiu uma racionalidade na exploração desses recursos, nem investiu o suficiente para atender, com qualidade, a toda a população. Contribui para isso a distribuição regional heterogênea dos recursos hídricos, pela qual a região Norte concentra mais de 70% desses recursos (BORSOI; TORRES, 1997).

A escassez de água no Brasil, conforme afirma Barth (2002), está diretamente ligada às baixas disponibilidades no Nordeste (apenas 3%) e às altas densidades demográficas nas regiões Sul e Sudeste, que possuem 12% dos recursos hídricos nacionais, mas são, indubitavelmente, as regiões que mais demandam água.

Nesse cenário, fica claro que uma fonte potencial de problemas e futuros conflitos, tanto nacionais quanto transfronteiriços, vem do fato de que a distribuição dos recursos hídricos é bastante desigual entre países e regiões. Combinando isso com a precária administração ambiental e o desperdício no seu uso, esse bem vem se tornando cada vez mais escasso até em áreas bem providas de água doce (TUNDISI, 2003). A água, portanto, definitivamente passou a ser considerada um bem econômico pelo seu caráter finito, vulnerável e essencial à conservação da vida humana e do meio ambiente<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Com esse novo cenário, o homem passou a preocupar-se mais com as questões ambientais, não apenas com recursos hídricos, mas com qualquer ação ligada à proteção e conservação do meio ambiente. A preocupação em conciliar as questões econômicas com as ambientais, visando atender às

De acordo com Tietenberg (2000), como a água é vista, na maioria dos casos, como um recurso de propriedade comum, seu uso tende a exauri-la rapidamente. Isso ocorre porque o usuário perde o incentivo para conservar o recurso, pois o que ele deixar de usar pode ser usado por outro. Em muitas regiões do mundo, a demanda por água já excede a oferta e o custo de ofertas adicionais está crescendo acentuadamente.

No geral, as demandas mais relevantes de água que, de fato, causam impactos significativos são os usos doméstico (saneamento urbano), industrial e agrícola. Em âmbito mundial, o uso agrícola ocupa um lugar de destaque – demandando cerca de 70% da água –, consequência principalmente da prática de irrigação na agricultura. Do restante, cerca de 20% estão reservados ao setor industrial e 10% ao uso para saneamento urbano (TELLES, 2002).

Contudo, a intensidade desses usos múltiplos varia de acordo com a região, o grau de urbanização e industrialização, as atividades agropecuárias e o sistema econômico e social da região. Os dados referentes aos diversos usos da água também podem variar com a densidade populacional e sua concentração e com a intensidade do desenvolvimento econômico e do tipo de atividade econômica que estiver sendo colocada em prática (TUNDISI, 2002).

A demanda da água para a realização dessas atividades tem consequências muito variadas sobre o estoque de recursos hídricos. O uso da água pode ser mais ou menos consuntivo, isto é, pode resultar em perda elevada, média ou reduzida do referido recurso. A perda é a diferença entre o volume de água retirado do corpo d'água para ser utilizado e o volume devolvido, no final do uso, ao mesmo corpo d'água. No abastecimento urbano, descontadas as perdas pela rede de distribuição, o uso consuntivo pode ser considerado baixo, em torno de 10%. No abastecimento industrial, o uso consuntivo varia conforme o setor, situando-se em torno de 20%. Na irrigação, porém, o uso consuntivo é elevado, alcançando perdas que chegam a 90% (BORSOI; TORRES, 1997).

Além disso, cada uma dessas diferentes demandas conduzidas pelas atividades humanas tem seus próprios requisitos de qualidade para consumo de água: o abastecimento urbano exige alto padrão de qualidade, ao passo que o abastecimento

---

necessidades humanas sem o comprometimento dos ecossistemas naturais existentes, data do último quarto do século XX. Nesse período, a industrialização acelerada provocou, de maneira preocupante, o aumento da intervenção no meio ambiente por meio do uso exacerbado dos recursos naturais e da crescente geração de níveis de poluição (CIRINO, 2005).

industrial e a irrigação necessitam de média qualidade de água. Quanto aos efeitos que as atividades humanas causam sobre as águas, boa parte é poluidora: o abastecimento urbano e o uso industrial provocam poluição orgânica e bacteriológica, despejam substâncias tóxicas e elevam a temperatura das águas dos rios; já a irrigação conduz agrotóxicos e fertilizantes para os corpos d'água (BORSOI; TORRES, 1997).

Ainda que as atividades de saneamento, indústria e agricultura sejam as mais demandantes e as que causam os impactos mais expressivos, a água ainda é demandada para diversos outros fins, entre os quais tem-se navegação, geração de energia, pesca, aquíicultura, recreação, turismo, preservação ambiental, etc.

Especificamente em relação às demandas para atender a fins ambientais, elas estão relacionadas à ação daqueles que querem preservar os recursos hídricos e, segundo Freebairn (2003), são relativamente recentes e fonte de muitas discussões, pois no regime de política atual há muita incerteza sobre a magnitude dos benefícios sociais de serviços ambientais providos por grandes fluxos de água e sobre os termos e condições nos quais os recursos hídricos devam ser realocados dos usos comerciais para as demandas ambientais.

Nesse contexto de múltiplos usos, é cada vez mais iminente o surgimento de conflitos entre usuários, uma vez que a utilização da água repousa em objetivos díspares e, na maior parte das vezes, excludentes. Embora a água seja um recurso natural que se renova em certo grau por meio do ciclo hidrológico (evaporação, chuvas, etc.), se medidas rápidas não forem adotadas, a escassez dos recursos hídricos pode criar conflitos irremediáveis pelo uso e comprometer o desenvolvimento de certas regiões (CARRERA-FERNANDEZ; FERREIRA, 2002). Visto isso, há necessidade de implementar ações regulatórias e instrumentos eficientes de gestão, que busquem uma alocação mais apropriada e socialmente justa da água entre os seus usuários.

A extensa gama de finalidades para as quais se dispõe a usar a água faz com que haja interesses dissonantes, que tornam ainda mais complexa a tarefa de encontrar uma forma eficiente de conduzir a gestão dos recursos hídricos e alocá-los entre os múltiplos usuários de modo que essa abrangência de interesses seja respeitada e levada em consideração.

Segundo Adams *et al.* (1996), os principais problemas que têm surgido nas negociações para encontrar a melhor forma de gestão incluem o grau em que a água

será transferível para e entre usuários, o nível das normas ambientais que têm impacto sobre a utilização da água e o desenvolvimento de novas infra-estruturas. Cada um dos grupos de interesse existentes, representados pelos diversos demandantes, tem preferências distintas sobre essas questões mais fundamentais, deixando claro que os caminhos para um potencial acordo são estreitos.

Esses empecilhos que se formam na gestão das águas decorre, também, da superexploração habitual dos recursos livres – um conhecido problema para o qual as soluções tradicionais têm sido, historicamente, a privatização (mecanismo de mercado) ou o controle governamental. Contudo, qualquer uma dessas opções para a gestão da água – por mais qualidades que possa ter – esbarra na complexidade que caracteriza os recursos hídricos<sup>2</sup>: é um recurso natural com aspectos renováveis e não-renováveis<sup>3</sup>, seu estoque é variável ao longo do tempo, seus usos são múltiplos, etc. (THOYER et al., 2001). Desse modo, implantadas isoladamente, ambas as alternativas de gestão podem acabar levando a uma sobre-utilização da água ou a uma repartição desigual dela.

Nas experiências de gestão que podem ser observadas ao redor do mundo, percebe-se a existência de diversas formas pelas quais a água escassa é alocada entre os diferentes usuários, entre as quais tem-se o controle por parte do governo, o estabelecimento de um mercado com direitos de propriedade e a negociação envolvendo diretamente as partes interessadas (FREEBAIRN, 2003).

A adoção dos mecanismos de mercado como forma de gestão das águas está arraigada na idéia de que o livre mercado apresenta vantagens alocativas, já que, teoricamente, o usuário que puder promover o uso dos recursos hídricos de modo mais eficiente, ou seja, com maiores benefícios econômicos privados, estará propenso a comprar o direito de uso de um outro que o fizer com menor eficiência.

---

<sup>2</sup> Segundo Freebairn (2003), o governo está suscetível à pressão de grupos de interesse (principalmente agricultores e lobistas ambientais) que tentam influenciar as decisões sobre a alocação de água. No outro extremo, a estrutura de mercado também apresenta suas carências, já que para alcançar a eficiência ela pressupõe a ausência de externalidades e de poder de mercado, o que, certamente, não é o caso dos recursos hídricos.

<sup>3</sup> Por recurso renovável entende-se uma população (de plantas ou animais) com capacidade de reprodução e crescimento; ou sistemas inanimados (hídricos, atmosféricos, etc.) e fontes de energia que estão sujeitas a um fluxo constante ou periódico. Desse modo, segundo Pearce e Turner (1990), a característica determinante de um recurso renovável é que seu estoque não é fixo, podendo aumentar, mas também pode ser reduzido. Em contraste, de acordo com Conrad e Clark (1987), os recursos não-renováveis não exibem um processo de crescimento ou regeneração, caracterizando-se como existentes na forma de estoques fixos. Entretanto, estas divisões não podem ser consideradas de forma estrita no caso da água, já que esta apresenta características renováveis – águas superficiais – e não-renováveis – águas subterrâneas.

Acredita-se que a sociedade como um todo poderá sair lucrando, visto que a água passará a ser aproveitada pelo usuário que a utiliza de forma mais eficiente economicamente. Entre as experiências mundiais desse mercado destaca-se a adotada no oeste dos Estados Unidos, onde esse mecanismo tem sido empregado na transferência de água da irrigação para os centros urbanos (LANNA, 2002).

A constituição brasileira – como será visto mais adiante – deixa claro que a água é um recurso sob o domínio da União e dos Estados. Esse domínio não é transferível e, por isso, a idéia de um mercado estabelecido por partes privadas proprietárias de recursos hídricos não é constitucional. O Brasil segue um modelo semelhante ao implantado na França – a partir da lei promulgada em 1992<sup>4</sup> –, onde a negociação local entre os agentes interessados permeia a busca pela eficiência da água nos seus diversos usos.

O sistema francês de gestão dos recursos hídricos é composto por entidades que representam usuários, comunidades e órgãos estatais. O sistema hídrico foi dividido em seis bacias e seus respectivos Comitês de Bacia e Agências de Água. O Comitê de Bacia é um órgão que funciona como “Parlamento das Águas”, no qual participam políticos, usuários de água na bacia e representantes das administrações, discutindo questões relacionadas a estabelecimento de cobranças, aprovação do plano de bacia e resolução de conflitos. As Agências de Água, por sua vez, são estabelecimentos públicos com autonomia financeira que executam a política estabelecida pelo Comitê por meio de um programa de intervenções na bacia, cobrando dos usuários tarifas relativas à captação, ao consumo e à poluição (SIMON, 2007).

Essas experiências internacionais ecoaram no Brasil. Ainda que tenha havido relativo esforço para melhorar a capacidade de alocação e os sistemas de gestão de águas nas últimas décadas, tornou-se cada vez mais reconhecido que novas soluções deveriam ser encontradas fora dos estabelecidos processos de tomada de decisão centralizados no poder público, que sempre caracterizaram a gestão dos recursos hídricos em terras brasileiras.

---

<sup>4</sup> A lei adotada em 1992 ampliou o alcance da chamada “Lei das Águas” instituída nos anos 1960 e considerada o marco inicial da legislação sobre recursos hídricos na França.

## 1.2. O problema e sua importância

Deste modo, um novo cenário surgia por meio de reformulações nas práticas de gestão das águas no Brasil, a partir do exame de experiências internacionais significativas, como a já citada experiência francesa, que se baseia nos princípios da descentralização, participação e integração, tendo a bacia hidrográfica como referência. Em resumo, esses princípios têm como objetivo abordar os conflitos dentro de comitês, criados a partir do estabelecimento de regras comuns, para que os participantes possam expor sua posição e chegar a um acordo sobre tais conflitos. Essa nova abordagem ganhou espaço porque muitas regiões, como aquelas altamente urbanizadas e industrializadas, estavam enfrentando problemas de escassez de água e um contínuo crescimento de contendas relacionadas ao uso desses recursos (CAMPOS, 2005).

A implantação no Brasil desse novo sistema de gerenciamento dos recursos hídricos surgiu em um período de transformações políticas e econômicas do Estado e foi anunciado na Constituição Brasileira de 1988 e nas Constituições dos Estados de 1989, as quais incluíram artigos ou capítulos relacionados à questão dos recursos hídricos. A lei federal sobre o tema – “Lei das Águas” (nº 9.433) – foi sancionada em 8 de janeiro de 1997, mas alguns Estados já haviam se antecipado na questão, promulgando suas próprias leis (CAMPOS, 2005).

Os objetivos da implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos estavam em concordância com o cenário desenhado tanto interna quanto mundialmente a respeito do recurso em questão. Assim, os objetivos específicos foram (BRASIL, 1997): assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável; e a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

Para que a gestão criasse condições de melhorar a alocação dos recursos hídricos e que os conflitos fossem minimizados, alguns princípios foram estabelecidos pela referida lei federal, entre os quais destacam-se (BRASIL, 1997): a adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento e o reconhecimento da água como um bem de domínio público e dotado de valor econômico, devido à sua escassez na natureza.



Além disso, foram concebidos instrumentos para o gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos, entre eles: a criação de um sistema de informações sobre recursos hídricos; a outorga de direitos de usos da água, que visa garantir o controle quantitativo e qualitativo dos seus múltiplos usos; e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, que permite reconhecer a água como um bem econômico (CARRERA-FERNANDEZ; FERREIRA, 2002).

Para proporcionar a gestão descentralizada em cada bacia hidrográfica, a lei designou a criação de Comitês de Bacia Hidrográfica, que seriam os órgãos responsáveis pela gestão no âmbito de cada bacia ou sub-bacia, como verificado no sistema francês.

Segundo a Lei das Águas, os Comitês de Bacia Hidrográfica devem ser formados por representantes do poder público (União, Estados e municípios), usuários das águas de sua área de atuação e entidades civis de recursos hídricos com atuação comprovada na bacia. O número de representantes de cada setor mencionado, bem como os critérios para sua indicação, serão estabelecidos no regimento interno de cada comitê. Entre as diversas competências que lhes são atribuídas para tratar de questões relevantes em sua área de atuação, destacam-se (BRASIL, 1997):

- i. promover o debate das questões relacionadas com recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes;
- ii. arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados com os 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. estabelecer mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados; e
- vi. estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo.

As melhorias (estudos, projetos, obras, etc.), incluídas no Plano de Recursos Hídricos para uma bacia hidrográfica, conforme atribuições acima, devem ser financiadas por recursos arrecadados junto aos usuários de água. Desse modo, uma questão iminente e possível fonte de debates referentes à gestão de recursos hídricos é o fato de como os custos dos diversos projetos de melhorias de interesse coletivo,

que ocorrerão no interior de uma bacia, serão alocados entre os principais usuários. Esses custos serão traduzidos nas cobranças existentes sobre cada setor demandante pelo uso de água na bacia. Sob uma perspectiva econômica, pode-se interpretar que os usuários têm a possibilidade de arcar conjuntamente com os custos, buscando alternativas que lhes serão mais vantajosas.

A cobrança pelo uso da água é de fundamental importância para conduzir a gestão e desenvolver melhorias em uma bacia, uma vez que a lei brasileira afirma que os recursos oriundos da cobrança devem ser reinvestidos na própria bacia em que foram gerados. Os valores a serem cobrados de cada usuário e o total a ser arrecadado vão estar intimamente ligados aos múltiplos projetos de melhorias presentes no Plano de Recursos Hídricos da bacia, que, por sua vez, vão depender das características observadas na própria área da bacia, como níveis de poluição, grau de assoreamento de rios e córregos, proteção de mananciais, etc. Ou seja, vários projetos podem ser desenvolvidos simultaneamente e um deles deve ser o principal, de acordo com a realidade da bacia.

A complexidade dessa questão e a justificativa para seu estudo se inserem em toda a discussão apresentada até aqui: de que as águas estão se escasseando, há multiplicidade de usos, é um recurso essencial, etc. A justificativa inicial, porém, para se estudar a questão da alocação dos custos entre os usuários de recursos hídricos tem seu pilar nos próprios preceitos estabelecidos pela legislação nacional. Desse modo, dada a essencialidade do recurso e seu processo contínuo de deterioração, é importante que novos estudos a seu respeito estejam surgindo. Especificamente em relação à alocação dos custos dos múltiplos projetos, esta deve se sustentar em critérios que não criem distorções no uso da água, apresentando de forma clara as bases da cobrança, já que até recentemente no Brasil a água era de uso livre pela maioria dos setores.

Foi nesse contexto que o presente trabalho buscou analisar a alocação de custos – entre os demandantes de água – das melhorias relacionadas aos múltiplos projetos que podem ser implantados em uma bacia hidrográfica, sendo que esse custo pode estar relacionado, por exemplo, a projetos de proteção de mananciais, a construção de novas infra-estruturas, a despoluição de corpos d'água ou qualquer outra realização.

A consecução do trabalho baseou-se em dados da bacia do rio Paraíba do Sul<sup>5</sup>, uma das mais importantes do território nacional, localizada nos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Esta bacia é considerada pioneira no Brasil nas questões relacionadas ao estabelecimento de comitês e na adoção da cobrança aos usuários, motivo pelo qual há uma ampla disponibilidade de dados e estudos a seu respeito<sup>6</sup>. Entretanto, uma vez que muitos estudos observados sobre a cobrança na bacia são de áreas não econômicas<sup>7</sup>, espera-se contribuir, por meio deste trabalho, com a inserção de uma abordagem econômica nas discussões sobre cobrança e alocação de custos em bacias hidrográficas.

Além disso, como a criação dos comitês e a adoção da cobrança pelo uso da água ainda são recentes no Brasil, espera-se enriquecer as discussões sobre esse tema, tendo em vista o gerenciamento justo e eficiente dos recursos hídricos. O sentido da palavra “justo” na gestão de recursos hídricos deve estar atrelado ao critério de maior relevância em uma bacia e ao usuário a ele relacionado. Assim, num projeto de despoluição das águas, o principal setor poluidor deveria arcar com a maior parcela dos custos de despoluição; num projeto de melhoria do sistema de distribuição de água, o setor que demanda as maiores quantidades do recurso deveria ser cobrado em maior parte; e assim por diante, caracterizando-se, dessa forma, a aplicação dos princípios conhecidos como poluidor-pagador e usuário-pagador. Ou seja, pagará mais aquele usuário que mais polui e/ou que mais utiliza a água.

Esse conceito de justiça, portanto, não deve ser confundido com o conceito de equidade, que se refere a uma situação em que os usuários dos recursos hídricos seriam cobrados de uma forma igualitária, o que significa que todos pagariam valores iguais.

---

<sup>5</sup> A caracterização detalhada da bacia está no Capítulo 2 do trabalho.

<sup>6</sup> Nos rios de domínio da União, vêm sendo desenvolvidas ações para implementação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos no Brasil desde 2001, em conjunto com gestores estaduais e comitês de bacias. Até o momento, a cobrança foi implementada na bacia do rio Paraíba do Sul e nas bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá. A bacia do rio São Francisco poderá ser a próxima a implementar a cobrança, pois, no momento, os poderes públicos, os setores usuários e as organizações civis representadas no âmbito desta bacia estão em fase de construção da metodologia de cobrança (ANA, 2008).

<sup>7</sup> Muitos desses estudos são oriundos do ramo da Hidrologia. Ver, por exemplo, Campos (2001) e Thomas (2002).

### 1.3. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi analisar o rateio de custos da implantação de múltiplos projetos em bacias hidrográficas entre os usuários de água, tendo como base a bacia do rio Paraíba do Sul.

Os objetivos específicos foram os seguintes:

- a) Propor uma alocação de custo que possa levar em conta aspectos quantitativos e qualitativos no uso dos recursos hídricos, identificando fatores relevantes em uma bacia que devam fazer parte dos critérios de alocação.
- b) Proceder à alocação dos custos de uma forma justa, em que o conceito de justiça relaciona-se à aplicação dos conceitos do usuário-pagador e poluidor-pagador; e testar se os resultados encontrados satisfazem à propriedade da racionalidade<sup>8</sup>.
- c) Comparar os resultados encontrados com os valores cobrados pelo uso da água na bacia do rio Paraíba do Sul.

### 1.4. Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em mais cinco capítulos além deste capítulo introdutório. No Capítulo 2 descrevem-se as características mais relevantes da bacia do rio Paraíba do Sul e dos sete organismos de bacia que a compõem. O Capítulo 3 apresenta o referencial teórico do trabalho, enquanto o modelo analítico está descrito no Capítulo 4. Por fim, os resultados e as discussões do trabalho são apresentados no Capítulo 5, e as conclusões estão no Capítulo 6.

---

<sup>8</sup> A propriedade da racionalidade é discutida em maiores detalhes no Capítulo 4 e relaciona-se aos incentivos que os usuários de água têm para arcar em conjunto com os custos de um projeto relacionado ao desenvolvimento de recursos hídricos.

## **2. BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL<sup>9</sup>**

### **2.1. Caracterização da bacia**

A bacia do rio Paraíba do Sul (BRPS), que serviu de exemplo para a aplicação proposta neste trabalho, está localizada na região Sudeste do Brasil. Sua área está compreendida entre os paralelos 20°26' e 23°00' e os meridianos 41°00' e 46°30', a oeste de Greenwich; sendo que sua superfície cobre uma área equivalente a 55.500 km<sup>2</sup>. A BRPS tem trechos localizados nos Estados de São Paulo (13.900 km<sup>2</sup>), Rio de Janeiro (20.900 km<sup>2</sup>) e Minas Gerais (20.700 km<sup>2</sup>), conforme mostra o mapa apresentado na Figura 2. Cada Estado tem o controle sobre rios situados dentro de seu território, enquanto rios pertencentes a mais de um Estado e o rio principal da bacia estão sob jurisdição federal.

---

<sup>9</sup> Parte considerável deste capítulo está baseada em COPPETEC (2007a). Quando se incluíram dados de outras fontes, estas foram citadas.



A BRPS é limitada a oeste pela bacia do rio Tietê, da qual está separada por meio de diversas ramificações dos maciços da serra do Mar e da serra da Mantiqueira. O limite, ao sul, se dá pelas partes paulista e fluminense da serra do Mar e pela serra dos Órgãos. A nordeste, o limite da bacia é estabelecido pela bacia do rio Itabapoana. Finalmente, ao norte, as bacias dos rios Grande e Doce e as serras da Mantiqueira, Caparão e Santo Eduardo estabelecem o limite geográfico da BRPS.

O rio que dá nome à bacia nasce da confluência dos rios Paraibuna e Paraitinga no Estado de São Paulo, e o seu comprimento, medido a partir da nascente do Paraitinga, é de aproximadamente 1150 km até desembocar no oceano Atlântico no município fluminense de São João da Barra. Entre seus principais formadores, dá-se ênfase na margem direita aos rios Piraí, Piabanha e Dois Rios. Na margem esquerda, entre os afluentes de maior destaque, têm-se os rios Paraibuna mineiro, Pomba e Muriaé<sup>10</sup>.

A região onde se localiza a BRPS é uma das mais desenvolvidas e relevantes no cenário econômico nacional, visto que liga as áreas metropolitanas das cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, abrigando indústrias e centros urbanos de grande porte que respondem por quase 10% da riqueza gerada no País (SEROA DA MOTTA *et al.*, 2006). Em sua extensão, encontram-se atualmente 180 municípios, ainda que 36 destes tenham seus territórios apenas parcialmente inseridos na bacia. A população total, estimada para o ano de 2005, foi de aproximadamente 5,35 milhões de habitantes; desse total 1,27 milhão está em Minas Gerais, 1,78 milhão em São Paulo e 2,3 milhões no Estado do Rio de Janeiro. Há, ainda, 8,7 milhões de pessoas localizadas fora da bacia – na região metropolitana do Rio de Janeiro – que dependem de transferências de águas oriundas da BRPS para a bacia do rio Guandu.

Em relação à cobertura vegetal, a bacia do rio Paraíba do Sul está situada na região abrangida originalmente pela Mata Atlântica, bioma florestal que mais sofreu destruições no País, vítima de um contínuo processo de desmatamento. Especificamente na bacia, as partes remanescentes da Mata Atlântica abrangem somente 11% de sua extensão territorial original<sup>11</sup>. A deterioração das florestas é um fenômeno de longa data, iniciando-se nos séculos XVIII e XIX, quando ocorreu a

---

<sup>10</sup> Além dos afluentes citados, o cadastro na Agência Nacional de Águas relaciona cerca de 90 cursos d'água de domínio estadual e 180 de domínio federal.

<sup>11</sup> Deve-se destacar que 50% das florestas existentes na BRPS encontram-se em Unidades de Conservação, algumas de grande destaque nacional e internacional, como o Parque Nacional de Itatiaia (primeiro Parque Nacional criado no Brasil), o Parque Nacional da Serra dos Órgãos e a Reserva da Biosfera.

expansão das lavouras de café no Vale do Paraíba paulista e fluminense e da cana-de-açúcar, principalmente no norte fluminense. A cafeicultura se expandiu às expensas de queimadas e desmatamento das florestas originais, trazendo, como conseqüência, relevantes processos de erosão e degradação da terra que, se acentuaram quando do declínio da cultura cafeeira e da conseqüente utilização da terra para pastagens.

Com o incremento da atividade industrial, verificada em maior grau a partir da década de 1940, a população da bacia, antes predominantemente rural, tornou-se essencialmente urbana em pouco tempo, fazendo com que as culturas agrícolas e a pecuária entrassem em um período de decadência. Essa transformação moldou o caráter populacional atual da bacia. Com as terras degradadas, o deslocamento para as cidades foi marcante, de modo que muitos municípios apresentam atualmente mais de 90% da população concentrada em áreas urbanas.

Como conseqüência desse movimento populacional, grande parte das atividades econômicas que se desenvolvem presentemente na bacia estão relacionadas às formas de uso urbano e industrial, em que o eixo principal de ocupação e crescimento é a rodovia Presidente Dutra, que liga as áreas metropolitanas de Rio de Janeiro e São Paulo, tendo em seu entorno as principais cidades dos trechos paulista e fluminense.

Em relação à cobertura vegetal, a parte fluminense é a que apresenta a maior área com florestas remanescentes da Mata Atlântica, ainda que seja o trecho paulista a área com o maior percentual de florestas. O trecho mineiro da bacia, por sua vez, é aquele com maior grau de desmatamento, além de possuir a maior extensão em áreas de campo e pastagem. Contudo, como as atividades agropecuárias estão em processo intensificado de retração na bacia, muitas dessas áreas estão sem uso efetivo, sendo a erosão do solo apontada como uma das principais causas dessa situação.

A deterioração da cobertura florestal, somada às formas inadequadas de uso do solo, tem resultado em processos consideráveis de erosão e estágios avançados de degradação da terra em várias localidades da bacia. Além do mais, pesa o fato de a bacia estar inserida em uma região de relevo acidentado, com poucas áreas planas. Ao longo da bacia, cerca de 63% de sua área está classificada como regiões de alta ou média vulnerabilidade à erosão. As atividades de mineração, com destaque para a extração de areia e argila, também podem ser responsabilizadas pela erosão e degradação dos corpos de água da bacia. Outra importante causa de erosão é a



intensificação do processo de urbanização, fazendo com que diversas cidades ao longo da bacia se defrontem com deslizamentos de encostas, que são conseqüências do crescimento urbano desordenado.

No que tange ao esgotamento sanitário, considerando somente as localidades da bacia que possuem mais de 15.000 habitantes, 82,02% das populações das regiões urbanas são atendidas com rede de coleta de esgotos, porém apenas 17,6% delas tratam seus efluentes domésticos.

Torna-se evidente que existem diversas questões que são fontes de preocupação na bacia, porém a principal delas é o declínio na qualidade da água devido, principalmente, aos esgotos municipais que não são tratados e à poluição industrial, tornando-se evidente que o crescimento econômico e urbano na bacia do rio Paraíba do Sul vem proporcionando a degradação da qualidade de suas águas e redução de sua disponibilidade hídrica. Ao longo do Paraíba do Sul e de seus principais afluentes, indústrias se instalaram e cidades cresceram, lançando efluentes em suas águas, na maioria das vezes sem qualquer tipo de tratamento. Por esses e outros fatores, a despeito da relativa abundância na disponibilidade de água, os conflitos pelo seu uso têm se acentuado a cada ano.

A gestão de bacias como a do rio Paraíba do Sul é envolta em complexidades, uma vez que compreendem sistemas de gestão tanto estadual quanto federal, que têm independência jurídica e institucional, mas são altamente interdependentes no seu conteúdo e aplicação. Isso significa que, dentro de uma bacia hidrográfica, podem existir diversos comitês sob jurisdição de diferentes esferas de governo. Nesse contexto, o comitê atuante em toda a extensão da bacia é a instância privilegiada de integração das ações de todos os organismos e instituições que nela atuam. Esse é exatamente o caso da bacia do rio Paraíba do Sul, considerada a bacia piloto pela Agência Nacional de Águas (ANA) para a implementação do novo sistema de gestão em bacias nacionais.

O órgão responsável pela gestão dos recursos hídricos na BRPS é o CEIVAP (Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul), instituído em 1996, com sede no município de Resende, Rio de Janeiro. As competências e atribuições do CEIVAP estão especificadas em seu regimento interno, sendo, em geral, semelhantes àquelas apresentadas na lei federal que estabeleceu a criação dos comitês e que tem alguns pontos destacados na introdução deste trabalho.

O CEIVAP foi um dos pioneiros na implantação do sistema de cobrança pela água, em vigor desde março de 2003. Após longas negociações, que envolveram diversas esferas do poder público, usuários e representantes da sociedade civil, chegou-se a um acordo que tentou atingir o objetivo de promover a racionalidade no uso quantitativo e qualitativo. Na fórmula da cobrança adotada inicialmente pelo CEIVAP foi estabelecido um preço unitário (R\$/m<sup>3</sup>) para a captação de água feita por cada um dos principais usuários: 0,02 R\$/m<sup>3</sup> para os setores urbano e industrial e 0,0005 R\$/m<sup>3</sup> para a agricultura. Esses preços serviram de base para o cálculo da cobrança, sendo modificados de acordo com coeficientes específicos relacionados ao uso de água de cada um dos setores demandantes.

Essa fórmula vigorou na bacia no período de 2003 a 2006, sendo útil na comparação com a fórmula proposta neste trabalho, já que ambas estabelecem taxas para os usuários. A mais recente metodologia de cobrança pelo uso da água na bacia, adotada a partir de 2007, baseia-se em preços estabelecidos para o tipo de uso (captação, consumo, diluição, etc.) e não mais para os usuários: 0,01 R\$/m<sup>3</sup> para a captação, 0,02 R\$/m<sup>3</sup> para o consumo e 0,07 R\$/m<sup>3</sup> para o lançamento de efluentes nos cursos d'água. As fórmulas de cobrança de ambas as metodologias são descritas em detalhe nos Anexos A e B.

Concentrando exclusivamente nos usuários mais relevantes (agricultura<sup>12</sup>, indústria e abastecimento urbano), tem-se que as quantidades captada e consumida de água, além do lançamento de efluentes na bacia, seguem o padrão apresentado na Tabela 1, em estimativas realizadas para o ano de 2005.

Tabela 1 – Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário na bacia do rio Paraíba do Sul, para o ano de 2005

Usuário	Captação		Consumo		Lançamento	
	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(kg/s)	(%)
1. Indústria	13,66	16,11	6,21	14,86	0,46	13,92
2. Urbano	17,99	21,21	3,60	8,61	2,85	86,08
3. Agricultura	53,16	62,68	31,99	76,53	0	0
Total	84,81	100,00	41,80	100,00	3,31	100,00

Fonte: COPPETEC (2007a).

<sup>12</sup> A pecuária também é considerada junto ao setor agrícola, porém a demanda relevante é destinada para a agricultura de irrigação.

Em relação à quantidade lançada de efluentes, o único parâmetro poluente considerado na medição é a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), já que, segundo Campos (2001) e COPPETEC (2007a), as informações cadastrais disponíveis não possibilitam a estimativa de outros poluentes. As demais categorias de usuários ou formas de uso (areeiros, aquícultores, navegação, turismo) – de menor expressão na bacia e sem organização como setor demandante dentro do Comitê – são considerados jogadores irrelevantes na construção deste trabalho, até porque há um déficit de informações relativas aos dados desses setores.

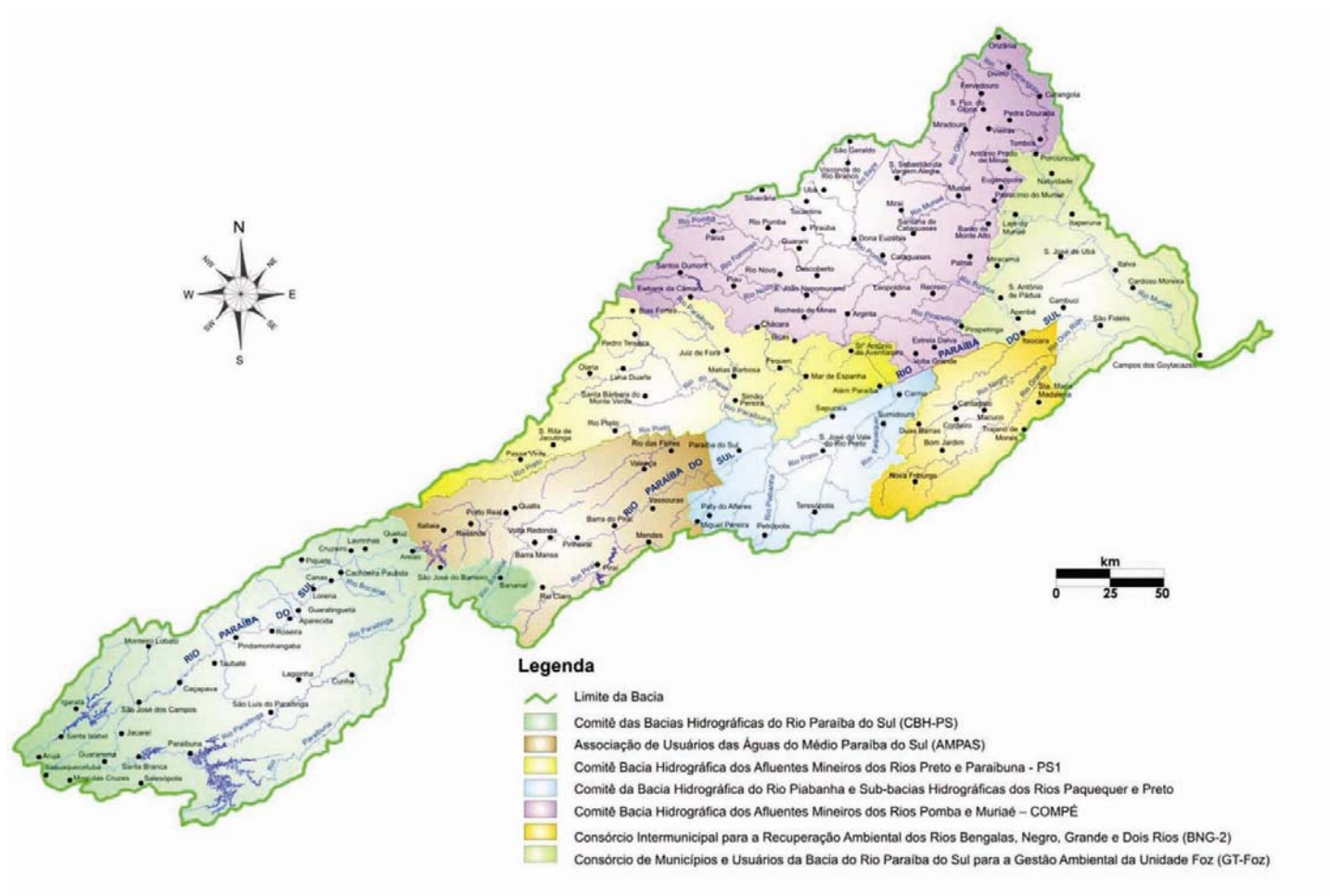
## **2.2. Caracterização dos organismos de bacia**

A grande abrangência territorial da BRPS, somada ao fato de ela estar situada em três diferentes Estados e à presença de importantes afluentes, fazem com que a divisão em sub-bacias seja imprescindível para que se tenha acesso a melhores informações, desmembrando as ações previstas para a totalidade da bacia de modo que uma gestão mais eficiente possa ser conduzida. Desse modo, o Plano de Recursos Hídricos que vigorou anteriormente delimitou de início nove sub-bacias ou trechos da bacia que seguiam unicamente uma lógica hidrográfica na definição de suas áreas de abrangência.

Contudo, percebeu-se que a área de abrangência dessas sub-bacias, em algumas situações, envolvia mais de um comitê de bacia ou outros organismos de gestão já instalados. Por isso, almejando um maior pragmatismo na gestão das águas na BRPS, a Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP) – a agência de bacia do CEIVAP – reorganizou as subdivisões territoriais, definindo-as segundo as áreas abrangidas por cada organismo de bacia (comitês, associações, consórcios, etc., sendo que na existência de duplicidade de competência, privilegiaram-se os comitês, em relação às demais formas de organismos) e não mais seguindo, necessariamente, uma lógica hidrográfica. O propósito da AGEVAP com essa reestruturação era tornar mais efetiva a participação desses organismos e facilitar o processo de gestão (COPPETEC, 2007a).

No total, consideraram-se sete organismos de bacia, conforme divisão apresentada na Figura 3. Os comitês já constituídos são: o Comitê Paulista (CBH-PS), o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna (ou PS-1), o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos

Rios Pomba e Muriaé (COMPE) e o Comitê Piabanha. Além desses, foram considerados, também, a Associação dos Usuários das Águas do Médio Paraíba do Sul (AMPAS), o Consórcio Intermunicipal para a Recuperação Ambiental dos Rios Bengalas, Negro, Grande e Dois Rios (BNG-2) e o Consórcio de Municípios e Usuários da Bacia do Rio Paraíba do Sul para a Gestão Ambiental da Unidade Foz (GT-Foz), cujas áreas de atuação não se integram a qualquer comitê. Uma breve descrição desses sete organismos de bacia é apresentada a seguir.



Fonte: COPPETEC (2007b)

Figura 2 – Organismos de bacia que compõem a bacia do rio Paraíba do Sul

### 2.2.1. Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul (CBH-PS ou Comitê Paulista)

Região onde nasce o rio Paraíba do Sul, a área de atuação deste comitê abrange todos os municípios paulistas da BRPS. Estende-se ao longo de uma área de cerca de 13.914 km<sup>2</sup>, onde se localizam 39 municípios, com uma população aproximada de 2 milhões de habitantes, configurando-se como a subdivisão mais extensa e populosa da bacia. Nesse trecho, os municípios mais representativos são: Pindamonhangaba, Jacareí, Guaratinguetá, Taubaté e São José dos Campos, sendo este último o mais populoso entre todos os municípios da BRPS (COPPETEC, 2007b).

A área de atuação do Comitê Paulista é reconhecida como aquela em que há o maior parque industrial de toda a bacia do rio Paraíba do Sul, além de possuir um relevante conjunto de reservatórios e usinas hidrelétricas. O trecho paulista possui, também, as cidades com os melhores indicadores socioeconômicos, além dos melhores índices relacionados ao saneamento ambiental. Em relação à cobertura florestal, tem-se, nessa área, um percentual de destaque frente à maioria dos outros organismos de bacia (COPPETEC, 2007b). A Tabela 2 traz as informações sobre a região em questão.

Tabela 2 – Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário no CBH-PS, para o ano de 2005

Usuário	Captação		Consumo		Lançamento	
	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(kg/s)	(%)
1. Indústria	2,24	11,20	0,68	6,71	0,1288	13,58
2. Urbano	6,16	30,80	1,24	12,23	0,8194	86,42
3. Agricultura	11,60	58,00	8,22	81,07	0	0
Total	20,00	100,00	10,14	100,00	0,9483	100,00

Fonte: COPPETEC (2007b).

Pode-se perceber que, em relação à captação de água, há um destaque para o setor agrícola, que é o maior demandante, seguido dos setores urbano e industrial. Contudo, o setor agrícola se destaca ainda mais quando a análise é referente à quantidade consumida, já que essa atividade se destaca como aquela em que há grandes perdas no uso da água. No que se refere à quantidade lançada de efluentes nesse organismo de bacia, o comportamento do setor urbano se destaca, sendo substancialmente superior ao setor industrial.

### 2.2.2. Associação de Usuários das Águas do Médio Paraíba do Sul (AMPAS)

A área de atuação deste organismo de bacia compreende a chamada Região Sul Fluminense, onde se destacam como mais significativos os municípios de Volta Redonda, Resende e Barra Mansa, sendo composto, no total, por 16 municípios. A área abrangida por essa região se estende por cerca de 6.517 km<sup>2</sup>. Com uma população total de 943.164 habitantes, a área de atuação da AMPAS caracteriza-se como a região de segunda maior população (COPPETEC, 2007c).

Tendo como característica econômica uma relevante presença industrial, em que o destaque maior é a Companhia Siderúrgica Nacional, localizada na cidade de Volta Redonda, esse trecho é aquele com o segundo maior parque industrial da BRPS. Devido ao forte caráter urbano, a área de atuação da AMPAS tem a característica peculiar da presença do setor agrícola ser praticamente inexistente, ao contrário do que é visto em outras partes da bacia (COPPETEC, 2007c). Na Tabela 3 são apresentados dados referentes a esse organismo de bacia.

Tabela 3 – Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário na AMPAS, para o ano de 2005

Usuário	Captação		Consumo		Lançamento	
	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(kg/s)	(%)
1. Indústria	9,40	65,10	4,92	74,21	0,1038	16,62
2. Urbano	3,11	21,54	0,62	9,35	0,5209	83,38
3. Agricultura	1,93	13,37	1,09	16,44	0	0
Total	14,44	100,00	6,63	100,00	0,6248	100,00

Fonte: COPPETEC (2007c).

Percebe-se um comportamento peculiar na AMPAS, que a difere das demais regiões. Tanto para a captação de água quanto para o consumo há uma considerável superioridade do setor industrial, consequência da forte participação do referido setor nesse organismo de bacia. Em contrapartida, destaca-se também a exígua participação da agricultura na captação e no consumo, ao contrário, novamente, dos outros trechos da bacia e refletindo o caráter urbano-industrial da área de atuação da AMPAS. Por fim, em relação à quantidade lançada de efluentes, destaca-se a relevante participação do setor urbano.

### 2.2.3. Comitê Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna (PS-1)

A área de atuação do PS-1 é integrada por 27 municípios mineiros, dos quais o mais representativo é a cidade de Juiz de Fora, segunda mais populosa em toda a BRPS. A área total abrangida por esse organismo de bacia é de 7.481 km<sup>2</sup> e cerca de 673.000 habitantes vivem em seus domínios. O principal rio nesse trecho da bacia, rio Paraibuna, é o maior afluente em volume de água do Paraíba do Sul, apresentando vazão média de 179 m<sup>3</sup>/s. Estendendo-se por cerca 170 km, a parte mais relevante do rio Paraibuna está nas proximidades de Juiz de Fora, onde há um histórico em décadas passadas de acidentes ambientais causados por despejos industriais, além de níveis elevados de DBO e coliformes fecais em suas águas, visto que a referida cidade é a maior lançadora individual de efluentes domésticos nas águas da BRPS (COPPETEC, 2007d).

Ainda que o núcleo urbano de Juiz de Fora possa causar significativas deteriorações no curso das águas do rio Paraibuna, quando este alcança o Paraíba do Sul a qualidade da água é considerada satisfatória, já que os rios Preto e do Peixe, afluentes do Paraibuna, possuem águas de boa qualidade, contribuindo para a diluição dos efluentes (COPPETEC, 2007d). Informações referentes à área de atuação do PS-1 podem ser encontradas na Tabela 4.

Tabela 4 – Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuários no PS-1, para o ano de 2005

Usuário	Captação		Consumo		Lançamento	
	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(kg/s)	(%)
1. Indústria	0,14	3,79	0,04	3,51	0,0325	8,49
2. Urbano	2,42	65,58	0,48	42,11	0,3507	91,51
3. Agricultura	1,13	30,62	0,62	54,39	0	0
Total	3,69	100,00	1,14	100,00	0,3832	100,00

Fonte: COPPETEC (2007d).

Esse organismo de bacia também se distingue dos demais em um tópico: a grande participação no consumo e na captação de água dos usuários urbanos, ainda que o setor agrícola o supere no consumo de água. Essa presença significativa do setor urbano também se reflete na quantidade lançada de efluentes nas águas do PS-1, onde o referido setor, como nos outros trechos da bacia, supera em muito o setor



industrial, porém atinge, nesse caso, níveis ainda mais elevados, ultrapassando a casa dos 90%.

#### **2.2.4. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha e Sub-bacias Hidrográficas dos Rios Paquequer e Preto (Comitê Piabanha)**

A área de atuação do comitê em questão corresponde às bacias hidrográficas dos rios Piabanha, Paquequer e Preto. Este comitê abrange uma área de 4.484 km<sup>2</sup>, a segunda menor entre as subdivisões da BRPS, onde estão inseridos 10 municípios, que possuem uma população próxima aos 695.000 habitantes. Petrópolis, Teresópolis e Três Rios são os mais representativos municípios incluídos nesse organismo de bacia (COPPETEC, 2007e).

A área do Comitê Piabanha está entre os trechos da BRPS que apresentam a maior cobertura florestal, estimada em 20% de suas terras, destacando-se a sub-bacia do rio Paquequer, que apresenta o maior nível percentual de cobertura florestal (46%) entre todas as sub-bacias individualizadas do Paraíba do Sul (COPPETEC, 2007e). Na Tabela 5, encontram-se os dados relacionados a esse trecho da BRPS.

Tabela 5 – Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário no Comitê Piabanha, para o ano de 2005

Usuário	Captação		Consumo		Lançamento	
	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(kg/s)	(%)
1. Indústria	0,12	2,40	0,04	1,74	0,0157	6,50
2. Urbano	1,42	28,34	0,28	12,17	0,2265	93,50
3. Agricultura	3,47	69,26	1,98	86,09	0	0
Total	5,01	100,00	2,30	100,00	0,2422	100,00

Fonte: COPPETEC (2007e).

Em relação à quantidade captada de água e ao consumo, percebe-se um comportamento-padrão: destaque maior para o setor agrícola, seguido pelos usuários urbanos e industriais, nessa ordem. Já em relação ao lançamento de efluentes, o presente organismo de bacia se destaca como aquele em que o setor urbano apresenta as maiores porcentagens. Esse fato pode ser decorrente da diminuta presença do setor industrial na área do Comitê Piabanha.

### 2.2.5. Comitê Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé (COMPE)

A área de atuação do COMPE se estende por 13.191 km<sup>2</sup>, sendo a segunda maior entre os organismos de bacia, um pouco abaixo do trecho do Comitê Paulista. Em sua região de abrangência habitam cerca de 805.000 habitantes, residentes em 67 municípios mineiros, o maior número de municípios dos organismos de bacia, o que pode ser uma possível fonte de dificuldades no gerenciamento integrado dos recursos hídricos. A área do comitê em questão inclui duas importantes sub-bacias: as bacias dos rios Pomba e Muriaé. A bacia hidrográfica do rio Pomba abriga um total de 38 municípios, onde se destacam cidades como Cataguases, Leopoldina e Ubá. Já na bacia hidrográfica do rio Muriaé localizam-se 26 municípios, sobressaindo Muriaé e Carangola (COPPETEC, 2007f).

Um problema comum na área de atuação do COMPE, em ambas as sub-bacias que o formam, é a sistemática deterioração da cobertura vegetal, que vem acelerando processos de erosão do solo, contribuindo para a degradação dos rios dentro da área em questão, já prejudicados pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais. No ano de 2003, um grave derramamento de mais de 1 bilhão de litros de resíduos tóxicos de uma indústria em Cataguases causou significativos prejuízos ambientais, sendo os reflexos detectados no rio Paraíba do Sul até sua foz, no oceano Atlântico, no Estado do Rio de Janeiro (COPPETEC, 2007f). Dados relacionados às sub-bacias dos rios Pomba e Muriaé podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 – Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário no COMPE, para o ano de 2005

Usuário	Captação		Consumo		Lançamento	
	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(kg/s)	(%)
1. Indústria	0,21	1,27	0,07	0,82	0,0973	16,16
2. Urbano	2,48	15,00	0,50	5,83	0,5051	83,84
3. Agricultura	13,84	83,73	8,01	93,36	0	0
Total	16,53	100,00	8,58	100,00	0,6024	100,00

Fonte: COPPETEC (2007f).

Ao observar os valores referentes às quantidades captada e consumida de água nesse organismo de bacia, percebe-se que, como em outras áreas, o setor agrícola é o grande destaque, demandando os maiores volumes de água. Todavia, o destaque,

nesse caso, é a ínfima presença do setor industrial, que tem os menores índices de captação e consumo entre todas as subdivisões da BRPS. Em relação à quantidade lançada de efluentes, não há novidades, o setor urbano se destaca como o grande emissor de DBO nas águas situadas na área de atuação do COMPE.

### 2.2.6. Consórcio Intermunicipal para a Recuperação Ambiental dos Rios Bengalas, Negro, Grande e Dois Rios (BNG-2)

O presente organismo de bacia é reconhecido como aquele de menor população entre os formadores da BRPS, cerca de 310.000 habitantes, e também como aquele que cobre a menor área, 3.169 km<sup>2</sup>. Dentro de sua região de atuação estão inclusos 11 municípios, todos pertencentes ao Estado do Rio de Janeiro, em que o maior destaque é a cidade de Nova Friburgo (COPPETEC, 2007g).

As características associadas de relevo e solo desse organismo de bacia configuram uma situação crítica de vulnerabilidade do meio físico à erosão; especificamente na cidade de Nova Friburgo, há forte suscetibilidade a deslizamentos e inundações, conseqüência da ocupação inadequada de encostas e calhas de rios. Por outro lado, a área de atuação do BNG-2, juntamente com a do Comitê Piabanha, está entre os trechos da BRPS que apresentam maior cobertura florestal, com expressivos remanescentes da Mata Atlântica (COPPETEC, 2007g). Informações relacionadas à área de atuação desse organismo de bacia podem ser vistas na Tabela 7.

Tabela 7 – Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário no BNG-2, para o ano de 2005

Usuário	Captação		Consumo		Lançamento	
	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(kg/s)	(%)
1. Indústria	0,10	2,32	0,03	1,40	0,0329	19,14
2. Urbano	0,71	16,47	0,14	6,51	0,1389	80,86
3. Agricultura	3,50	81,21	1,98	92,09	0	0
Total	4,31	100,00	2,15	100,00	0,1718	100,00

Fonte: COPPETEC (2007g).

Como nas outras áreas da bacia, a quantidade captada de água tem como destaque o setor agrícola, que sobressai também quando se leva em conta a quantidade consumida. Inversamente, nesse dois quesitos, o setor industrial tem participação consideravelmente reduzida. Já quando a análise se apóia no lançamento

de efluentes, o setor urbano tem a maior participação, superando os 80%, como na maioria das outras áreas da BRPS.

### 2.2.7. Consórcio de Municípios e Usuários da Bacia do Rio Paraíba do Sul para a Gestão Ambiental da Unidade Foz - GT-Foz

A área de atuação do GT-FOZ corresponde à parte do Estado do Rio de Janeiro onde o rio Paraíba do Sul se encontra com as águas do oceano Atlântico. Estão localizados nesse trecho da bacia cerca de 860.000 habitantes, que vivem em 19 municípios, em que se destacam Itaperuna e Campo dos Goytacazes; este último, em termos populacionais, é o maior município do trecho fluminense e o terceiro maior de toda a BRPS. O presente comitê abrange uma área de cerca de 6.259 km<sup>2</sup> (COPPETEC, 2007h).

A área de atuação do GT-FOZ tem algumas características peculiares que o separam dos outros organismos de bacia. Há forte presença da agricultura, principalmente a agroindústria sucroalcooleira. Como consequência do próprio desenvolvimento da agricultura, os municípios dessa região apresentam situação precária em termos de distribuição percentual de florestas, predominando a existência de campos e pastagens. Outra característica da região é o índice de tratamento dos esgotos (0,8%), que é praticamente inexistente, sendo o mais baixo de todos os organismos de bacia da BRPS (COPPETEC, 2007h). A Tabela 8 apresenta dados sobre a região sob consideração.

Tabela 8 – Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário no GT-FOZ, para o ano de 2005

Usuário	Captação		Consumo		Lançamento	
	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(m <sup>3</sup> /s)	(%)	(kg/s)	(%)
1. Indústria	1,43	9,28	0,43	5,46	0,0383	14,03
2. Urbano	1,43	9,28	0,29	3,68	0,2348	85,97
3. Agricultura	12,55	81,44	7,15	90,85	0	0
Total	15,41	100,00	7,87	100,00	0,2731	100,00

Fonte: COPPETEC (2007h).

No presente organismo de bacia, a agricultura continua como o setor de destaque quando se consideram os volumes captado e consumido de água, enquanto os setores urbano e industrial apresentam valores consideravelmente próximos para

esses aspectos. O mesmo comportamento-padrão de outros trechos é visto, também, na área de atuação do GT-FOZ quando se analisa o lançamento de efluentes, qual seja: proporção significativa para os usuários urbanos e parcela menor para os industriais.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. Teoria dos jogos**

Os agentes econômicos têm a possibilidade de interagirem, estrategicamente, em ampla variedade de formas, e grande parte delas vem sendo estudada por meio do ferramental da teoria dos jogos (VARIAN, 1992). Desde seu desenvolvimento formal a partir da segunda metade do século passado, a teoria dos jogos tem recebido importância cada vez maior, e novas abordagens têm possibilitado sua aplicação não somente no campo da economia, mas também em áreas tão diversas quanto ciências políticas, biologia, estratégia militar, etc. A definição formal de um jogo o considera como a representação de uma situação em que os agentes envolvidos (jogadores), ao se comportarem de maneira racional, interagem dentro de um cenário de interdependência estratégica.

Devem-se destacar, nessa definição, os conceitos de interação e de comportamento estratégico, que são os aspectos mais característicos de um jogo. A interdependência que existe entre os jogadores faz com que estes levem em consideração, no instante em que tomam suas decisões, não só as conseqüências de suas ações sobre os demais jogadores, como também as reações destes. Portanto, a definição que se faz da teoria dos jogos, ao afirmar que os jogadores tomam decisões estratégicas, está assegurando que suas decisões não devem considerar apenas seus objetivos e suas possibilidades de escolha, mas também os objetivos e as possibilidades de escolha dos outros jogadores (FIANI, 2004).

Há de se ressaltar, também, o conceito de que os agentes envolvidos em um jogo devam ser racionais. Assumir o pressuposto da racionalidade, ainda que seja uma questão envolta em controvérsias, significa que os indivíduos (ou grupo de indivíduos) devem empregar, em todas as ocasiões, os meios mais adequados para que seus objetivos sejam alcançados (FIANI, 2004).

Do ponto de vista histórico, o surgimento formal da teoria dos jogos na economia ocorreu a partir da publicação, em 1944, do livro *The Theory of Games and Economic Behavior*, escrito por John von Neumann e Oskar Morgenstern, ainda que idéias iniciais tenham surgido em outros trabalhos de economistas proeminentes do século XIX (Cournot, Bertrand, Edgeworth, Stackelberg, entre outros). Desde então, a partir dos anos 1950, novas ferramentas teóricas foram surgindo, permitindo análises cada vez mais abrangentes das interações estratégicas entre os agentes, em que se destacam as contribuições feitas por John F. Nash, John C. Harsanyi e Reinhard Selten<sup>13</sup>, para citar somente alguns (MONTET; SERRA, 2003).

Ressalta-se, é claro, que os avanços e contribuições à teoria dos jogos não se resumem somente aos autores citados. Com efeito, a teoria dos jogos vem sendo incluída constantemente em novos campos de pesquisa, gerando novos desenvolvimentos teóricos, de modo que seria impossível listar todas essas contribuições e seus respectivos autores nesta parte introdutória do referencial teórico deste trabalho.

### **3.2. Jogos cooperativos: conceitos e definições**

Os jogos estratégicos, que envolvem a presença de dois ou mais jogadores, são tradicionalmente divididos em duas diferentes vertentes: jogos não-cooperativos e jogos cooperativos, sendo este último a teoria na qual se concentra o presente trabalho.

Duas considerações se destacam na distinção entre essas duas classificações. A primeira diz respeito ao próprio ambiente da negociação, já que nos jogos não-cooperativos a única coalizão que pode ser efetivamente negociada é a grande coalizão – o conjunto formado por todos os jogadores. Por sua vez, a teoria dos jogos

---

<sup>13</sup> O reconhecimento oficial da teoria dos jogos como uma ferramenta valiosa para estudar as interações entre agentes econômicos ocorreu em 1994, quando Nash, Harsanyi e Selten foram agraciados com o Prêmio Nobel de Economia.

cooperativos assume que pode haver todo tipo de negociações envolvendo coalizões intermediárias e que os jogadores são capazes de relacionar suas estratégias. Portanto, no caso cooperativo, deve-se introduzir explicitamente a possibilidade de que alguns jogadores formem coalizões sem a necessidade da presença de todos (MONTET; SERRA, 2003).

A justificativa para a existência de coalizões intermediárias e para sua viabilidade está no fato de que as alternativas propostas e implementadas por seus membros podem garantir a eles maiores pagamentos do que receberiam caso permanecessem atuando individualmente, ou seja, sem se associar a nenhum outro jogador (ALIPRANTIS; CHAKRABARTI, 2000).

A segunda consideração que diferencia os jogos cooperativos dos não-cooperativos é o fato de as coalizões formadas nos primeiros serem capazes de se comprometer a seguirem um curso de ações tão logo seus membros tenham alcançado um acordo (MONTET; SERRA, 2003).

Com essas definições, percebe-se que, de fato, o aspecto central que caracteriza os jogos cooperativos é a possibilidade de formação de coalizões por grupos de jogadores. Na maioria das vezes, as coalizões factíveis e o conjunto viável de pagamentos (*payoffs*) disponível para seus membros são dados, de modo que a questão a ser tratada é a identificação dos pagamentos finais recebidos por cada jogador, ou seja, dada uma coleção de conjuntos viáveis de *payoffs*, um para cada coalizão, tenta-se prever ou recomendar o valor ou conjunto de valores destinados a cada jogador (SERRANO, 2007).

A possibilidade de formação de coalizões não traz facilidades aos estudos da teoria dos jogos, muito pelo contrário, já que esta é uma das questões desse ramo da economia onde há maiores obstáculos. Isso porque dificuldades naturais surgem devido ao fato de os jogos de coalizão tratarem simultaneamente de várias questões, como o processo de formação de uma coalizão, a estabilidade de coalizões que enfrentam a entrada e/ou saída de jogadores e a alocação do excedente da cooperação entre os jogadores dentro da coalizão. Pesa ainda o fato de que, embora a estrutura clássica do estudo das coalizões seja provida pelos jogos cooperativos, essa visão dominante vem sendo desafiada pelo uso da estrutura não-cooperativa para o mesmo propósito (MONTET; SERRA, 2003).

Existem diferentes maneiras de se representar um jogo, e o meio mais informativo de descrevê-lo é mediante a forma extensiva, nos chamados jogos



seqüenciais. Esta consiste em indicar o jogo no formato de “árvore”, especificando o instante do movimento feito por cada jogador e a informação disponível para cada um deles no exato momento da ação. No final da árvore, um resultado final é alcançado e um vetor de *payoffs* é selecionado. Nesse caso, define-se para cada jogador uma estratégia, isto é, um plano completo de ação para o jogo.

Pode-se representar um jogo, também, por meio da chamada forma normal (ou estratégica), em que é possível listar o conjunto das estratégias que estão disponíveis para cada jogador, caracterizando os chamados jogos simultâneos. Quando são considerados dois jogadores, por exemplo, a forma normal é representada por uma matriz com uma ou mais linhas e uma ou mais colunas. As ações de um jogador são representadas nas linhas da matriz, enquanto que as colunas representam as ações do outro jogador. Cada célula é preenchida com um par ordenado, especificando os *payoffs* dos respectivos jogadores, se estes escolherem as estratégias correspondentes (linha e coluna) àquela célula (SERRANO, 2007).

Abstraindo-se das noções de estratégia, pode-se utilizar uma função característica para representar um jogo, sendo esta a representação habitualmente usada na teoria dos jogos cooperativos. De acordo com Mas-Colell *et al.* (1995), a função característica é um resumo dos *payoffs* disponíveis para grupo de jogadores em um contexto onde acordos de compromisso entre os jogadores de um grupo são viáveis. A seguir apresentam-se algumas definições que caracterizam um jogo nesse formato.

O conjunto  $N = \{1, \dots, n\}$  composto por todos os jogadores é conhecido como a grande coalizão e uma coalizão é representada por um subconjunto não-vazio de  $N$ . Pode-se especificar, para cada coalizão  $C$ , um conjunto de valores originados da função  $v(C) \subseteq \mathbb{R}^{|C|}$ , que contém vetores de pagamentos de  $|C|$  dimensões (igual ao número de jogadores que compõem a coalizão), os quais são viáveis para a coalizão  $C$ . A função  $v(C)$  é a função característica e o par  $(N, v)$  representa um jogo cooperativo. Essa formulação considera que as ações tomadas pela coalizão complementar (ou seja, os jogadores em  $N \setminus C$ ) não têm poder para interferir nas escolhas de  $C$  (ALIPRANTIS; CHAKRABARTI, 2000).

Muitas aplicações econômicas dos jogos cooperativos que fazem uso da função característica se inserem na importante propriedade da superaditividade. Os jogos

superaditivos são aqueles em que tudo que duas coalizões puderem fazer independentemente, a união dessas duas coalizões poderá fazer também, ou seja:

$$\forall S, T \subset N, S \cap T = \emptyset \text{ então } v(S \cup T) \geq v(S) + v(T)$$

Em jogos superaditivos, segundo Montet e Serra (2003), a fusão de coalizões independentes melhora suas perspectivas.

Uma vez que as interações entre as diferentes coalizões em jogos com  $n$  jogadores podem ser extremamente complexas, a suposição simplificadora da utilidade transferível é quase sempre usada nas aplicações da teoria dos jogos cooperativos representados na forma da função característica (MYERSON, 1991).

De acordo com Hart (1989), para esses jogos de utilidade transferível (chamados de TU-*games*), supõe-se que há um numerário que pode ser usado livremente para efeito de transferências de utilidade – ou pagamentos – entre os agentes econômicos, alterando a utilidade de cada jogador, de modo que uma transferência de  $x$  unidades de um jogador para outro decresce a utilidade do primeiro em  $x$  unidades e aumenta a utilidade do segundo nas mesmas  $x$  unidades. Isso significa que o *payoff* total da coalizão pode ser definido, simplesmente, como a soma dos *payoffs* de seus membros.

Segundo Mas-Colell *et al.* (1995), os estudos da teoria dos jogos cooperativos tendo como base o conceito de utilidade transferível não são demasiado restritivos, pois muitas investigações econômicas foram e são feitas inicialmente sob a suposição desta ótica de análise e, em seguida, estendida para os casos gerais, sem perdas essenciais de intuição e de poder analítico.

### 3.3. Conceitos de solução de jogos cooperativos

Dada uma função característica  $v(C)$ , seus vetores podem ser apresentados com base em diversos conceitos de solução, porém, de acordo com Serrano (2007), na maioria dos casos, concentra-se nas soluções sustentadas na forma da grande coalizão, em que a cooperação total é alcançada. Uma solução deve designar vetores de *payoff* em  $v(N)$ , para cada jogo cooperativo  $(N, v)$ . Quando o objetivo é encontrar uma solução cooperativa na forma de conjunto ou intervalo de valores, o *core* é o principal conceito, enquanto o valor de Shapley – conceito de solução

utilizado neste trabalho – é o mais usado quando se deseja encontrar uma solução representada por um valor único.

Nas questões abordadas na teoria dos jogos cooperativos, o *core* é classificado como uma solução positiva, visto que, se um *payoff* não pertencer ao *core*, ele não será um resultado viável. Já o valor de Shapley é um conceito de solução de caráter normativo, o que indica que a quantia que um jogador recebe (ou paga) é determinada por sua contribuição aos grupos aos quais ele pertence (SERRANO, 2007). Essa interpretação dos conceitos de solução aponta a existência de dois caminhos distintos: ou dá-se ênfase às propriedades estratégicas de estabilidade das coalizões (solução positiva) ou o enfoque pode estar sob as prescrições das soluções que sejam atraentes de um ponto de vista ético ou justo (solução normativa).

Segundo o primeiro ponto de vista, os jogos cooperativos podem ser tratados como parte integrante de uma análise que abrange acordos diretos entre agentes racionais que negociam livremente. Em contraste, de acordo com a segunda perspectiva, os jogos cooperativos são considerados como instrumentos para a construção do critério da equidade ou da justiça distributiva. Assim, de acordo com Mas-Colell et al. (1995), enquanto o *core* busca capturar como os prováveis resultados de um jogo podem ser construídos pelas forças das coalizões, o valor de Shapley tenta delimitar, de um modo justo, a divisão dos ganhos da cooperação, considerando dadas as realidades estratégicas descritas pela função característica.

Todavia, conforme ressaltam Montet e Serra (2003), ainda que essa distinção seja útil de um ponto de vista metodológico, ela não deve ser encarada com veemência. Por um lado, não significa que considerações de justiça ou equidade sejam totalmente ausentes na abordagem positiva. De outro lado, simetricamente, isso não implica que considerações estratégicas não tenham importância na abordagem normativa.

O *core* e o valor de Shapley são os conceitos de solução mais usados e os mais fundamentais na teoria dos jogos cooperativos, porém, eles não esgotam todas as possibilidades existentes. Os conceitos de solução chamados de *like-core* objetivaram superar algumas restrições do *core* e buscar avanços. Neste grupo se destacam os conjuntos estáveis (*stable sets*), conjunto de barganha, *kernel*, *nucleolus*, entre outros. Do mesmo modo, extensões e aprimoramentos do valor de Shapley também foram apresentados, entre as quais tem-se o valor de Shapley para jogos de

utilidade não transferível (NTU-*games*) e o valor de Aumann-Shapley para jogos com infinitos jogadores que são individualmente insignificantes<sup>14</sup>.

### 3.3.1. Core

Considerando os diversos conceitos de solução para jogos cooperativos, o *core* é, possivelmente, como afirmam Montet e Serra (2003), o mais intuitivo e de mais fácil compreensão. De modo geral, uma vez que um acordo é alcançado no *core*, nenhum indivíduo ou grupo pode se beneficiar se reagrupando, ou seja, a alocação encontrada via *core* é a melhor em termos de pagamentos aos participantes. O conceito, embora não o termo, apareceu pela primeira vez nos escritos do economista clássico Francis Edgeworth, por volta de 1881<sup>15</sup>. Contudo, conforme Serrano (2007), apenas no início dos anos 1950 o *core* surgiu como um conceito de solução geral aplicado nos estudos dos jogos cooperativos.

O *core* e os conceitos de solução semelhantes tentam avaliar o poder de dissuasão de diferentes tipos de ameaças por grupos de jogadores. O objetivo dessa abordagem para jogos cooperativos é olhar as possibilidades de desvios das coalizões para delimitar o conjunto de resultados que são possíveis (MONTET; SERRA, 2003).

Par obter uma definição formal do *core*, devem-se apresentar, primeiramente, os conceitos de imputação e relação de domínio. Uma imputação  $I$  em um jogo  $(N, v)$ , denotada por  $I(N, v)$ , é um vetor de *payoffs*  $x$  que satisfaz as seguintes condições de racionalidade (MAS-COLELL *et al.*, 1995):

- i.  $\sum_{i \in N} x_i = v(N)$
- ii.  $x_i \geq v(\{i\}), \forall i$

A primeira condição, conhecida como racionalidade do grupo, incorpora ao mesmo tempo as requisições de que os membros da grande coalizão alcancem o resultado  $x$  (viabilidade):  $\sum_{i \in N} x_i \leq v(N)$ ; e não alcancem mais (eficiência de Pareto):  $\sum_{i \in N} x_i \geq v(N)$ . A segunda condição, racionalidade individual, atesta que a

<sup>14</sup> Para mais detalhes sobre estes conceitos de solução, ver, por exemplo, Myerson (1991), Osborne e Rubinstein (1994) ou Montet e Serra (2003).

<sup>15</sup> Edgeworth usou o termo curva de contrato para estudar as trocas em uma economia por meio do instrumental que viria a ser conhecido como Caixa de Edgeworth (VARIAN, 1992).

quantia alocada como *payoff* para qualquer indivíduo não deve ser menor do que ele ganharia atuando individualmente.

A relação de domínio, por sua vez, refere-se ao poder que uma coalizão pode exercer por meio de sua habilidade de se manter, ou seja, de não ter seus resultados superados por nenhuma outra coalizão. Assim, diz-se que  $x$  é dominado por  $y$  no âmbito da coalizão  $S$  se  $y$  é viável e dá mais aos membros de  $S$  do que  $x$ . Formalmente, para  $x, y \in I(N, v)$ ,  $y$  domina  $x$  via  $S$  se:  $y > x$  e  $\sum_{i \in S} y_i \leq v(S)$ . Quando  $y$  domina  $x$ , significa que os membros de  $S$  podem melhorar seus *payoffs* por meio de seus próprios esforços (SERRANO, 2007).

Com os conceitos de imputação e domínio pode-se apresentar a exata definição de *core*: o *core* de um jogo  $(N, v)$  é um subconjunto do conjunto de imputações  $I(N, v)$  que não são dominadas. O *core* é, portanto, conforme Montet e Serra (2003), o conjunto de todos os *payoffs* viáveis sobre o qual nenhum indivíduo ou grupo pode melhorar em termos de pagamento: nenhum subconjunto de jogadores pode efetivamente reivindicar que eles obteriam resultados superiores atuando por conta própria. Ou, ainda, de acordo com Aliprantis e Chakrabarti (2000), o *core* descreve os requerimentos mínimos que qualquer acordo razoável em jogos com muitos jogadores deve possuir e é formado por resultados de jogos cooperativos que não podem ser superados por qualquer coalizão<sup>16</sup>.

O *core*, por ser um conceito de solução mais geral e representado por um conjunto de valores, está relacionado a diversos outros conceitos vistos na teoria dos jogos cooperativos. Sua relação com o valor de Shapley será vista a seguir.

### 3.3.2 Valor de Shapley

Ainda que o *core* tenha a importante propriedade da estabilidade, já que seus resultados não são superados por outras coalizões, em muitas situações, quando não são vazios, os resultados do *core* não são únicos, uma vez que a solução se dá na forma de um conjunto convexo de valores, além do que tais conjuntos podem ser consideravelmente amplos. Nessas ocasiões, conforme Aliprantis e Chakrabarti

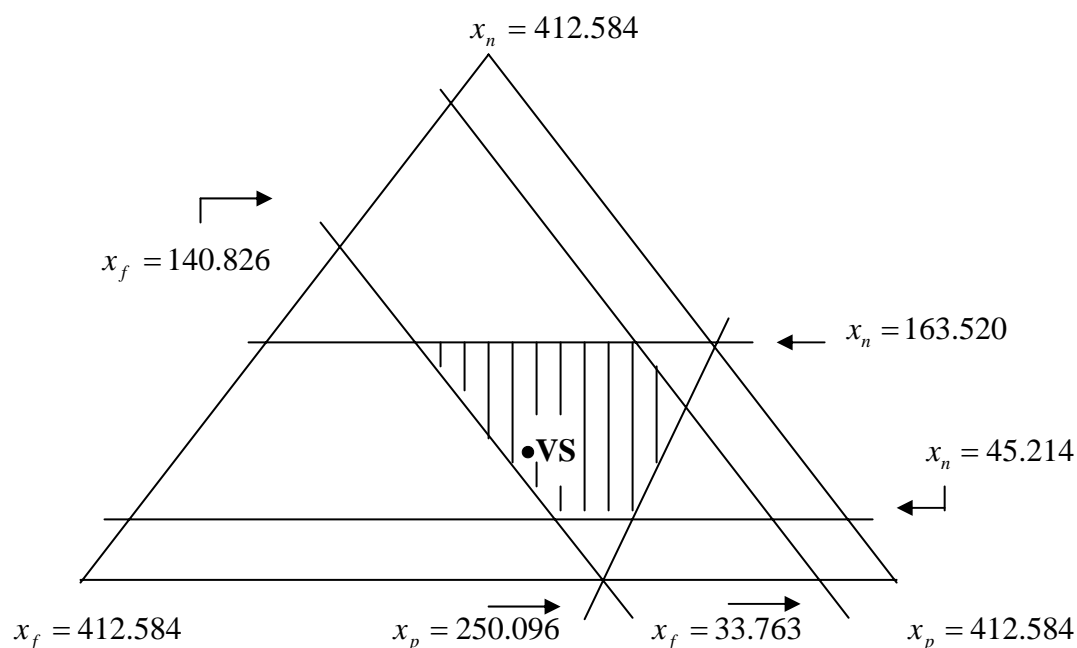
---

<sup>16</sup> Para alguns jogos, o *core* pode ser vazio (nulo). Serrano (2007) explicou que um jogo com o *core* vazio deve ser entendido como uma situação de forte instabilidade e vulnerabilidade dos *payoffs* propostos pela grande coalizão.

(2000), seria vantajoso e desejável encontrar outra regra que designasse um único vetor de pagamento aos jogadores dentro desse conjunto. A regra de alocação conhecida como valor de Shapley se insere nesse objetivo.

Observa-se que esses dois conceitos de solução estão estreitamente relacionados. Se o *core* indica um conjunto convexo de valores como a solução de um jogo cooperativo, o valor de Shapley deve estar situado dentro do *core*. Ou seja, o valor de Shapley deve se localizar no conjunto dos resultados que são os melhores e que não são superados por nenhuma outra coalizão<sup>17</sup>.

A estreita relação entre valor de Shapley e o *core* pode ser visualizada na Figura 1, extraída do exemplo presente em Young (1994) que analisou um conhecido problema de alocação de custos no desenvolvimento de recursos hídricos ocorrido na década de 1930 na bacia do rio Tennessee, nos Estados Unidos. Resumidamente, a meta do governo americano na bacia citada foi construir uma série de barragens e reservatórios que iriam atender a três programas distintos – navegação (*n*), controle de cheias (*f*) e geração de energia (*p*) –, de modo que o custo total das construções deveria ser dividido entre esses programas.



Fonte: Young (1994).

Figura 3 – O *core* e o valor de Shapley de um jogo de alocação de custos.

<sup>17</sup> Esta regra tem suas exceções. Young (1994) mostrou exemplos de situações em que o *core* pode ser vazio e situações em que, mesmo existindo um *core* não-vazio, o valor de Shapley está situado fora dele.

Os valores (em milhares de US\$) situados nos vértices externos do triângulo ( $x_n = x_f = x_p = 412.584,00$ ) representam a situação em que todos os custos são alocados para um único propósito. Já os valores atrelados às linhas situadas na parte interna do triângulo ( $x_f = 140,826, x_p = 250,096$ , etc.) delimitam a formação dos resultados pertencentes ao *core* e foram encontrados de acordo com as propriedades de racionalidade explicadas anteriormente: nenhum participante deve ser cobrado mais do que o custo de não se associar a nenhuma coalizão; e nenhum participante deve ser cobrado menos do que o custo incremental de incluí-lo na coalizão.

O conjunto convexo delimitado pela parte tracejada do triângulo indica os resultados pertencentes ao *core* e, em seu interior, está representado o valor de Shapley (VS) calculado para o jogo. Pode-se perceber que, considerando intervalos contínuos de valores, o conjunto do *core* é bem amplo. Nesse ponto repousa uma das vantagens do valor de Shapley, ao estabelecer um único vetor de resultados para o jogo<sup>18</sup>.

Com relação ao valor de Shapley, Montet e Serra (2003) afirmam que este conceito de solução busca associar com cada jogo cooperativo um único resultado razoável, levando em conta todas as reivindicações conflitantes e o comprometimento entre elas. No valor de Shapley, supõe-se que o comportamento estratégico dos jogadores é transferido para as mãos de um “árbitro”, que os emprega para avaliar a partilha. Aqui, o poder dos indivíduos e das coalizões não tem mais um papel direto no alcance dos resultados.

Objetivando resumir as complexas possibilidades enfrentadas pelos jogadores num jogo na forma de coalizões, Lloyd Shapley – em trabalho publicado em 1953 – se ateve à resolução de um modo justo e representada por um valor único de um problema de alocação (que pode ser um excedente, o custo total, benefícios, etc.) entre os agentes que fazem parte de um jogo, quando se leva em consideração o valor de cada coalizão  $C$ . O valor de  $C$ , representado por  $v(C)$ , expressa a posição inicial da coalizão – o quanto ela tem à sua disposição. Shapley propôs, então, um método de solução para esses jogos, que passou a se chamar valor de Shapley.

---

<sup>18</sup> Para mais detalhes sobre essa relação entre o *core* e o valor de Shapley, recomenda-se consultar Young (1994).

O valor de Shapley é uma regra  $\Phi$ , que associa a cada jogo de  $n$  pessoas,  $N = \{1, 2, \dots, n\}$ , um vetor de  $n$  dimensões  $\Phi(v) = (\Phi_1(v), \Phi_2(v), \dots, \Phi_n(v))$ , que deve satisfazer às seguintes propriedades (ALIPRANTIS; CHAKRABARTI, 2000):

- i. Eficiência:  $\sum_{i=1}^n \Phi_i(v) = v(N)$ .
- ii. Simetria: se os jogos  $(N, v)$  e  $(N, v^*)$  são idênticos, exceto pelo fato de que os papéis dos jogadores  $i$  e  $j$  são permutados<sup>19</sup>, então  $\Phi_i(N, v) = \Phi_j(N, v^*)$ .
- iii. Linearidade: para dois jogos quaisquer  $(N, v)$  e  $(N, w)$ , tem-se que  $\Phi_i(N, v + w) = \Phi_i(N, v) + \Phi_i(N, w)$  para todo  $i \in N$ , em que  $(N, v + w)$  representa o jogo definido por  $(v + w)(S) = v(S) + w(S)$  para cada coalizão  $S$ .
- iv. Irrelevância de jogadores *dummy*: um jogador  $i$  é dito irrelevante (jogador *dummy*) se  $v(C \cup \{i\}) = v(C)$  se sustentar em toda coalizão de modo que  $\Phi_i(v) = 0$ .

Esses quatro axiomas podem ser facilmente justificados. O axioma da eficiência, também chamado de racionalidade do grupo, diz que a soma dos *payoffs* de todos os jogadores deve igualar  $v(N)$ , o valor da grande coalizão (HART, 1989). O axioma da simetria diz que o valor de Shapley não depende de como se rotula ou nomeia o jogador; o que importa é somente sua posição (ordenamento) no jogo, como resumido pela função característica (MAS-COLELL *et al.*, 1995).

Entre os dois axiomas restantes, o da linearidade, também chamado de aditividade, diz que a solução para a soma de dois jogos deve ser igual à soma do que é recebido separadamente em cada um dos dois jogos (SERRANO, 2007). Já o axioma do jogador *dummy* diz que, se um jogador não contribui em nada ao se associar a uma coalizão, então ele não receberá nada (MONTET; SERRA, 2003).

Estabelecidas essas propriedades, Shapley (1953) argumentou que a classe de todos os jogos nesse formato tem um único valor, o valor de Shapley, que designa pagamentos dados pelos componentes  $\Phi(v) = (\Phi_1(v), \Phi_2(v), \dots, \Phi_n(v))$  para cada

---

<sup>19</sup> Uma permutação  $\pi$  de jogadores é uma função um a um  $\pi: N \rightarrow N$ , que representa, tão-somente, um rearranjo de jogadores.



jogador  $i$ , como uma soma ponderada de suas contribuições marginais para todas as coalizões a que ele se associar:

$$\Phi_i(v) = \sum_{C \subseteq N \setminus \{i\}} \frac{|C|!(|N|-|C|-1)!}{|N|!} [v(C \cup \{i\}) - v(C)], \text{ para cada } i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

em que  $|N|$  é o número total de jogadores;  $|C|$  designa o número de jogadores na coalizão  $C$ ; e a expressão  $v(C \cup \{i\}) - v(C)$  representa o valor marginal (ou contribuição marginal) do jogador  $i$ , quando ele se associa à coalizão  $C$ .

Desde sua criação, o valor de Shapley tem-se mostrado uma ferramenta extremamente útil. Conforme Aliprantis e Chakrabarti (2000), esse conceito de solução tem sido usado como regra de alocação em ampla variedade de contextos econômicos e políticos, servindo para analisar contendas em áreas tão díspares quanto gestão de recursos hídricos, alocação de impostos, serviços de utilidade pública e taxas de aterrissagem em aeroportos.

Por considerar todas as associações possíveis, o valor de Shapley de um jogo pode ser visto como uma regra de alocação que distribui o excedente gerado em um jogo cooperativo de acordo com o valor marginal esperado pelos participantes. Se for esperado que um indivíduo acrescente pouco a um grupo, então a quantia alocada pelo valor de Shapley tende a ser pequena, ao passo que, se a quantia adicionada aos diferentes grupos for grande, então o valor de Shapley dá uma grande quantidade do excedente para esse indivíduo (HART, 1989).

Assim, o valor de Shapley é classificado como uma regra que divide um excedente de forma justa entre os participantes, em que o conceito de justiça não é o de equidade e sim o conceito de que a quantia que o indivíduo recebe é determinada por sua contribuição. Uma interpretação alternativa é que ele indica a força esperada de um agente em um jogo, porém a descrição mais apropriada do valor de Shapley dependerá do contexto em que estiver sendo considerado. Contudo, na maior parte das vezes, ele é visto, de fato, como uma regra de alocação, que dá a cada jogador seu valor marginal esperado ou médio (ALIPRANTIS; CHAKRABARTI, 2000).

A regra de alocação encontrada por Shapley vem sendo foco de considerável interesse e, como conceito de solução de jogos cooperativos, tem-se provado muito útil em uma grande abrangência de áreas. Conforme Montet e Serra (2003), o valor de Shapley é talvez o mais útil de todos os conceitos de solução cooperativa e, quase sempre, dá resultados com expressivo conteúdo intuitivo, destacando-se, também, a

facilidade em ser tratado por intermédio da matemática. Ainda, de acordo com Hart (1989), a fórmula desenvolvida para o valor de Shapley é impressionante, primeiramente, porque ela é consequência de axiomas básicos e muito simples e, em segundo lugar, porque a idéia de contribuição marginal na qual ela se baseia é fundamental e usual em muitas análises econômicas.

Destaca-se também que o valor de Shapley mostra-se mais apropriado como conceito de solução de jogos cooperativos na alocação de custos, objeto de estudo deste trabalho, do que o *core*. A possibilidade de soluções extremas, dada pelo *core*, dificultaria sua implementação na prática ao alocar custos. O valor de Shapley, por sua vez, por ser uma medida que busca ser mais justa, tenderia a ser mais bem aceito pelos participantes de uma dada coalizão.

## 4. MODELO ANALÍTICO

### 4.1. Valor de Shapley aplicado ao uso de recursos hídricos

A aplicação do valor de Shapley na resolução de problemas relacionados à alocação de custos é algo já consolidado, assim como, sua utilização para resolver problemas específicos na alocação de custos referentes ao desenvolvimento de recursos hídricos. Os exemplos na literatura são vários. Littlechild e Owen (1973) citados por Hart (1989) aplicaram o valor de Shapley no cálculo de taxas para a aterrissagem de aviões em aeroportos, e Billera *et al.* (1978), também citado por Hart (1989), usaram esse método de alocação no estabelecimento de tarifas de chamadas telefônicas. Também são encontradas aplicações do valor de Shapley para estabelecer preços de serviços de utilidade pública, vistos em Littlechild (1970) e Loehman e Whinston (1974), ambos os trabalhos citados em Loehman *et al.* (1979).

Entre os exemplos existentes no campo dos recursos hídricos, pode-se destacar o trabalho de Loehman *et al.* (1979), que trata da alocação do custo da construção de um sistema regional de tratamento de água na bacia do rio Meramec, no estado americano do Missouri; e o de Young *et al.* (1982), que estuda a alocação do custo da construção de um sistema de abastecimento de água na região de Skane, na Suécia. Young (1994), por sua vez, analisou um projeto de desenvolvimento regional ao longo do rio Tennessee, nos Estados Unidos, em que a meta foi construir melhorias para a geração de energia elétrica, controle de enchentes e melhora da navegação nos cursos d'água, enquanto Suzuki e Nakayama (1976) apresentaram estudos para a

construção de barragens e para repartir a água entre usuários urbanos e agrícolas nas bacias dos rios Sakawa e Sagami, no Japão.

Visto isso, a presente seção concentra-se no desenvolvimento de uma aplicação para alocar os custos entre os usuários de recursos hídricos no âmbito de uma bacia hidrográfica (o custo pode estar relacionado a múltiplos projetos, como a recuperação de mananciais, a construção de uma nova infra-estrutura, a despoluição das águas de um rio ou qualquer outra melhoria), supondo que tais custos se realizarão em projetos que trarão benefícios às partes interessadas ou estarão relacionados com suas atividades de demandantes. Para a aplicação proposta, usaram-se como critérios de alocação as quantidades captada e consumida de água e o lançamento de efluentes por cada um dos usuários<sup>20</sup>. Ao considerar esses três critérios, objetivou-se dar importância tanto ao aspecto quantitativo quanto ao qualitativo no uso dos recursos hídricos.

A diferença formal entre os usos para captação e consumo, segundo COPPETEC (2007a), repousa no fato de que, enquanto o primeiro refere-se tão-somente à retirada de água do corpo hídrico, o segundo refere-se àquela parcela da água captada que não é devolvida ao corpo hídrico, tornando-a indisponível para outros usos. Apesar de causar menos impactos do que o consumo, a consideração da captação como um fato gerador de cobrança está fundamentada na idéia de que, se um usuário dispor de uma “reserva de água”, correspondente à sua outorga, esta água mantida sob seu poder não poderá ser utilizada por outro usuário, havendo, portanto, motivo suficiente para a existência de cobrança.

O desenvolvimento da aplicação a seguir foi feito inicialmente apenas para a captação de água, porém construção análoga será adotada adiante para os critérios do consumo e da quantidade lançada de efluentes. Considerou-se que cada usuário pode arcar individualmente com o custo das melhorias que lhe atenderão ou financiá-las conjuntamente com outros usuários. Ao financiar, em separado, esse custo, o usuário pagará um montante que é proporcional à quantidade que ele capta de água<sup>21</sup>.

---

<sup>20</sup> Estes critérios estão entre os usos de recursos hídricos definidos na Lei Federal 9.433 como sujeitos à outorga (BRASIL, 1997). Remetendo ao capítulo introdutório, tem-se que, no caso francês, a cobrança sobre os usuários se baseia nos mesmos critérios: captação, consumo e poluição lançada nos rios. Evidenciam-se, mais uma vez, as semelhanças entre a política de recursos hídricos brasileira e a francesa.

<sup>21</sup> Reitera-se que a aplicação desenvolvida a seguir foi feita considerando somente o critério da quantidade captada de água. Por isso, nessa suposição, o custo é proporcional à captação de água. Quando forem levados em consideração os três critérios – captação, consumo e lançamento de efluentes – o custo será proporcional aos três.

Admitiu-se, na aplicação proposta, que o custo total das melhorias é equivalente ao custo incorrido pelo usuário que capta a maior quantidade de água, se este arcasse sozinho com as melhorias relacionadas à sua atividade. O custo total é a quantia a ser dividida, caso todos os usuários decidissem agir em conjunto para disponibilizar as melhorias e, nesse caso, deve estar relacionado a projetos que se identifiquem com o critério considerado, como melhorias na captação, distribuição e abastecimento de água.

Assim, considerou-se  $K_t$  o custo incorrido para atender, individualmente, ao usuário do tipo  $t$ , em que  $t = 1, \dots, T$ , ou seja,  $K_t$  é o custo que o usuário  $t$  tem para financiar as melhorias relacionadas com sua atividade, sem se unir aos outros usuários. Admitiu-se que:

$$0 < K_1 < K_2 < \dots < K_T$$

isto é, quanto maior a captação de água, maior será o custo das melhorias para aquele usuário, reiterando que o custo total das melhorias,  $K_T$ , é igual ao custo do usuário que capta a maior quantidade de água, se este financiasse individualmente as melhorias relacionadas à sua atuação como usuário, ou seja, sem associar a nenhum outro jogador.

Uma importante consideração deve ser feita com relação a esta suposição de que o custo total das melhorias é sempre equivalente ao custo incorrido pelo usuário que apresenta os maiores índices para o critério que estiver sendo considerado, caso ele financiasse sozinho as melhorias. Essa suposição foi apenas uma forma encontrada na aplicação para indicar a presença de economias de escala na formação de coalizões para o financiamento conjunto dos custos. As economias de escala são necessárias para a cooperação ocorrer; do contrário, esta não seria vantajosa para os jogadores<sup>22</sup>.

O número de jogadores pode ser analisado por intermédio do volume total de água estimado para ser captado por cada um dos usuários, considerando um dado período de tempo. Sob essa ótica, os jogadores são identificados pela quantidade de água captada por cada um. Uma coalizão  $C$ , nesse jogo, é um subconjunto de

---

<sup>22</sup> Economia de escala é um conceito relacionado à teoria microeconômica dos custos de produção e sua definição em caráter básico pode ser vista em Varian (2003), que afirma a existência de economias de escala quando uma empresa aumenta sua produção e o custo total médio se reduz. Adaptando-se ao escopo dos jogos cooperativos, as economias de escala seriam, simplesmente, as reduções no custo total médio quando jogadores se unem para dividir os custos.

$N = \{1, 2, \dots, n\}$ <sup>23</sup>. Considerando-se que  $N_t$  denota o conjunto do volume de água captado por um usuário do tipo  $t$ , fica claro que  $N = \bigcup_{t=1}^T N_t$  e  $N_t \cap N_s = \emptyset$  para  $t \neq s$ . Além disso, tem-se que, para cada coalizão  $C$ :

$$t(C) = \max \{t \in \{1, 2, \dots, T\} : C \cap N_t \neq \emptyset\}$$

ou seja,  $t(C)$  é o usuário que capta a maior quantidade de água e, portanto, é o que incorre em maiores custos dentro da coalizão  $C$ . Com isso, pode-se definir a função característica  $v$  do jogo por  $v(C) = -K_{t(C)}$ , isto é, o valor da coalizão é equivalente ao maior custo entre seus membros. Pode-se perceber que  $v(N) = -K_T$ , o que significa que o custo total é coberto pelas quantias cobradas de cada usuário.

Em um jogo com essas características, ao se aplicar a formulação usual do valor de Shapley, dá-se origem a uma expressão que, segundo Aliprantis e Chakrabarti (2000), é pouco prática. Adotou-se uma abordagem apresentada por esses autores, a qual é descrita a seguir.

Inicialmente, define-se o conjunto:

$$A_\ell = \bigcup_{t=\ell}^T N_t \quad (2)$$

Definem-se, também,  $T$  jogos de  $n$  jogadores com funções características  $v_1, \dots, v_T$ , dadas por:

$$v_\ell(C) = \begin{cases} 0, & \text{se } C \cap A_\ell = \emptyset \\ K_{\ell-1} - K_\ell, & \text{se } C \cap A_\ell \neq \emptyset \end{cases} \quad (3)$$

O valor da coalizão é  $v(C) = \sum_{\ell=1}^T v_\ell(C)$ , para cada coalizão  $C$ . Para perceber

isso, nota-se que, se  $\ell \leq t(C)$ , então  $C \cap A_\ell \neq \emptyset$ , enquanto se  $\ell > t(C)$ , então  $C \cap A_\ell = \emptyset$ . Assim:

$$\sum_{\ell=1}^T v_\ell(C) = \sum_{\ell=1}^{t(C)} (K_{\ell-1} - K_\ell) = K_0 - K_{t(C)} = v(C) \quad (4)$$

em que  $K_0 = 0$ , ou seja, se não há nenhum jogador envolvido, o custo das melhorias inexistente.

---

<sup>23</sup> Um exemplo numérico pode facilitar a compreensão: considere que o volume total de água captado em uma bacia seja de 80 m<sup>3</sup>/s. Supõe-se que existam três usuários de água que captam essa quantidade total, da seguinte forma: 15 m<sup>3</sup>/s para o usuário 1; 25 m<sup>3</sup>/s para o usuário 2; e 40 m<sup>3</sup>/s para o usuário 3. Assim, pela observação do volume captado de água, podem-se identificar esses três “tipos” de jogadores. Se um jogador capta 15 m<sup>3</sup>/s de água, então ele é tratado como um jogador do tipo 1; se capta 25 m<sup>3</sup>/s, é do tipo 2; e se ele capta 40 m<sup>3</sup>/s, é um jogador do tipo 3.

Sabe-se que, pela propriedade aditiva do valor de Shapley:

$$\varphi(v) = \sum_{\ell=1}^T \varphi(v_\ell) \quad (5)$$

Deve-se, então, computar  $\varphi_i(v_\ell)$ , o valor de Shapley, para cada jogador  $i$ .

Primeiramente, percebe-se que, pela definição de  $v_\ell$ , segue-se que:

$$v_\ell(C \cup \{i\}) - v_\ell(C) = \begin{cases} K_{\ell-1} - K_\ell, & \text{se } C \cap A_\ell = \emptyset \text{ e } i \in A_\ell \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (6)$$

Desse modo, para cada  $i \in A_\ell$ , o valor de Shapley é dado por:

$$\varphi_i(v_\ell) = \sum_{C \subseteq N|A_\ell} \frac{|C|!(|N|-|C|-1)!}{|N|!} (K_{\ell-1} - K_\ell). \quad (7)$$

Em particular, tem-se que  $\varphi_i(v_\ell) = \varphi_j(v_\ell)$ , para todo  $i, j \in A_\ell$ . Para todo  $i \notin A_\ell$ , tem-se  $\varphi_i(v_\ell) = 0$ . Então:

$$\left( \sum_{t=\ell}^T |N_t| \right) \varphi_i(v_\ell) = \sum_{i \in A_\ell} \varphi_i(v_\ell) = v_\ell(N) = K_{\ell-1} - K_\ell \quad (8)$$

Conseqüentemente:

$$\varphi_i(v_\ell) = \frac{K_{\ell-1} - K_\ell}{\sum_{t=\ell}^T |N_t|} \quad (9)$$

Segue-se que, para todo  $i$  e  $\ell$ , o valor de Shapley para o jogo  $v_\ell$  satisfaz a seguinte relação:

$$\varphi_i(v_\ell) = \begin{cases} 0, & \text{se } i \notin A_\ell \\ \frac{K_{\ell-1} - K_\ell}{\sum_{t=\ell}^T |N_t|}, & \text{se } i \in A_\ell \end{cases} \quad (10)$$

Recordando que  $\varphi(v) = \sum_{\ell=1}^T \varphi_i(v_\ell)$  e que  $i \in N_k$  implica  $i \in A_\ell$  para  $\ell \leq k$ , obtém-se a expressão que é o valor de Shapley do jogo para cada participante da coalizão, considerando apenas o critério da quantidade captada de água, ou seja:

$$\varphi_i(v) = \sum_{\ell=1}^k \frac{K_{\ell-1} - K_\ell}{\sum_{t=\ell}^T |N_t|}, \quad i \in N_k, \quad k = 1, 2, \dots, T. \quad (11)$$

Uma demonstração de como se dá o desenvolvimento para essa aplicação pode ser vista a seguir. Considera-se  $i \in N_k$ , com  $k = 1, 2, 3$ ;  $K_i$  é o custo incorrido pelo jogador  $i$  para financiar sozinho as melhorias e  $N_i$  é a quantidade captada de água

pelo jogador  $i$ . Conforme as suposições, tem-se que  $K_1 < K_2 < K_3$  e  $K_0 = 0$ .

Assim, a estrutura para o cálculo do valor de Shapley é:

Para  $i \in N_1$ , ou seja, para o jogador 1, tem-se:

$$\varphi_i(v) = \frac{K_0 - K_1}{N_1 + N_2 + N_3}$$

Para o jogador 2,  $i \in N_2$ , obtém-se:

$$\varphi_i(v) = \frac{K_0 - K_1}{N_1 + N_2 + N_3} + \frac{K_1 - K_2}{N_2 + N_3}$$

Para o jogador 3,  $i \in N_3$ , o valor de Shapley é:

$$\varphi_i(v) = \frac{K_0 - K_1}{N_1 + N_2 + N_3} + \frac{K_1 - K_2}{N_2 + N_3} + \frac{K_2 - K_3}{N_3}$$

Dada a suposição apresentada em relação aos custos ( $K_0 < K_1 < \dots$ ), pode-se perceber que os valores de Shapley dos jogadores resultarão em números negativos. Isso significa, apenas, que os jogadores estão efetuando pagamentos, ou seja, estão incorrendo em perdas ou tendo despesas – já que se trata de um problema de alocação de custos.

Pode-se encontrar expressão equivalente à equação (11) para os critérios do consumo de água e da quantidade lançada de efluentes por meio de desenvolvimento idêntico ao que resultou na equação citada. No caso do consumo, para financiar individualmente o custo das melhorias relacionadas com sua atividade, cada usuário terá, agora, um custo que é proporcional à sua quantidade consumida de água. O custo total, designado por  $K_T^C$ , passará a ser equivalente ao custo do usuário que consome as maiores quantidades de água em uma bacia, se ele fosse financiar sozinho suas melhorias. Além disso,  $N_t^C$  denota a quantidade consumida de água por um usuário do tipo  $t$ . Obtém-se, assim, o valor de Shapley,  $\varphi_i^C(v)$ , para este critério:

$$\varphi_i^C(v) = \sum_{\ell=1}^{k^C} \frac{K_{\ell-1}^C - K_{\ell}^C}{\sum_{t=\ell}^T |N_t^C|}, \quad i \in N_{K^C}^C, \quad k^C = 1, 2, \dots, T \quad (12)$$

No caso do critério dos efluentes lançados em uma bacia, para arcar sozinho com o custo das melhorias, cada usuário terá uma estrutura de custo proporcional à sua própria quantidade lançada de efluentes. Assim, como nos dois critérios anteriormente apresentados, o custo total  $K_T^L$  será equivalente ao custo do usuário



que lança as maiores quantidades de efluentes em uma bacia, se este fosse financiar individualmente o custo das melhorias, e  $N_t^L$  representa a quantidade lançada de efluentes por um usuário do tipo  $t$ . Com isso, o valor de Shapley,  $\varphi_i^L(v)$ , caso se utilize este critério é:

$$\varphi_i^L(v) = \sum_{\ell=1}^{k^L} \frac{K_{\ell-1}^L - K_{\ell}^L}{\sum_{t=\ell}^T |N_t^L|}, \quad i \in N_{K^L}^L, \quad k^L = 1, 2, \dots, T \quad (13)$$

Porém, alocar os custos considerando cada critério separadamente não seria interessante já que os três são importantes atributos de uso da água. Portanto, propõe-se a junção das equações (11), (12) e (13), obtendo-se o valor de Shapley do jogo,  $\Phi_i(v)$ , como uma combinação convexa dos três critérios apresentados e que foi aplicado na alocação dos custos da implantação de melhorias na bacia do rio Paraíba do Sul, ou seja:

$$\Phi_i(v) = \alpha \times \varphi_i(v) + \beta \times \varphi_i^C(v) + (1 - \alpha - \beta) \times \varphi_i^L(v), \quad (14)$$

em que  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $(1 - \alpha - \beta)$  são ponderações, com  $\alpha$  e  $\beta$  pertencentes ao intervalo  $[0,1]$ , respeitando a restrição  $\alpha + \beta \leq 1$ . Esses parâmetros indicam o peso relativo de cada critério em determinada bacia. O coeficiente  $\alpha$  representa o peso do critério da captação de água;  $\beta$  é o peso para o consumo de água; e  $(1 - \alpha - \beta)$  indica o peso do critério do lançamento de efluentes. Como a expressão apresentada para o valor de Shapley considerou três diferentes critérios em seu cálculo, os custos a serem financiados pelos usuários atenderiam a múltiplos projetos que poderiam se desenvolver na área de uma bacia, e projetos prioritários seriam indicados conforme as características da própria bacia a ser considerada.

A representação de cada critério junto a uma ponderação traz a possibilidade de que se construam diferentes cenários e diferentes suposições, alterando estes pesos de acordo com características específicas da bacia hidrográfica que estiver sendo objeto de análise.

Desse modo, se  $\alpha + \beta = 1$ , considera-se que a bacia seja limpa e, no cálculo do valor de Shapley, importância total é destinada aos critérios relacionados à água em seus aspectos quantitativos, qual seja, captação e consumo de água:

$$\Phi_i(v) = \alpha \times \varphi_i(v) + \beta \times \varphi_i^C \quad (15)$$

Para um cenário de total relevância para o caráter quantitativo da água, o custo a ser alocado entre os usuários estaria relacionado a projetos específicos que contribuíssem para a melhora na oferta de água ou na distribuição do referido recurso, por exemplo.

Por outro lado, quando  $\alpha = \beta = 0$ , tem-se o caso de uma bacia poluída, e o critério lançamento de efluentes, relacionado ao aspecto qualitativo do uso da água, torna-se o único considerado no cálculo do valor de Shapley. Portanto:

$$\Phi_i(v) = \varphi_i^L(v) \quad (16)$$

Num cenário em que apenas a emissão de poluentes fosse um problema relevante, o custo a ser alocado entre os usuários deveria estar atrelado a projetos de despoluição das águas de uma bacia, que contribuiriam para a melhora na qualidade do recurso.

Assim, acredita-se que essa adaptação do valor de Shapley pode ser útil na alocação de custos relacionados aos recursos hídricos, pois ela possibilita que se levem em conta diferentes critérios ao mesmo tempo para se ratear o custo dos múltiplos projetos a serem implementados. Isso traz maleabilidade ao processo, já que os pesos podem ser alterados de acordo com análises pré-especificadas de determinada bacia, adequando-se, portanto, a uma gama ilimitada de contextos e situações.

Na identificação dos jogadores para a fórmula do valor de Shapley, a aplicação restringiu-se a três setores: industriais, urbanos e agrícolas. Esses usuários são aqueles que, de fato, causam impacto no uso dos recursos hídricos, já que, como visto no capítulo introdutório deste trabalho, estes respondem por quase a totalidade da quantidade demandada de água. Em relação aos outros usuários existentes (pesca, navegação, mineração, turismo, etc.), além de terem poucos dados disponíveis a seu respeito, têm impacto limitado no uso da água e, por isso, foram tratados como jogadores irrelevantes.

Como explicitado anteriormente, os usuários de água têm a opção de alocarem conjuntamente os custos das melhorias via formação de coalizões, ou cada um pode arcar individualmente com seu custo. Para encorajar a participação conjunta dos usuários, o método de alocação deve oferecer incentivos econômicos, que são justamente as economias de escala supostas nessa aplicação. Essa suposição é de fácil convencimento dado sua lógica e, também, fácil de se observar na prática. Por

exemplo, Loehman *et al.* (1979) mostraram em seus estudos que na construção de um sistema regional de tratamento de água é mais barato construir e operar uma única instalação de tratamento do que ter numerosas pequenas instalações para os vários usuários.

Portanto, ao se aplicar o valor de Shapley aos usuários de recursos hídricos para financiar obras de interesse conjunto, a cobrança final para cada usuário deve ser menor do que o custo de agir sozinho. Do contrário, eles não teriam incentivos econômicos para se associarem. Essa é uma das restrições existentes sobre os valores cobrados dos usuários e que foram descritas a seguir.

#### 4.1.1. Condições de racionalidade

Quando da aplicação do valor de Shapley e da obtenção dos resultados, torna-se importante conferir algumas restrições que são garantias para a existência de coalizão. Desse modo, Eichberger (2007) afirmou que um vetor de solução deve, pelo menos, atender a duas condições de racionalidade para que seja viável. Essas condições são apresentadas a seguir, conforme adaptação feita para problemas de alocação de custo, presente em Loehman *et al.* (1979):

- i.  $\sum_{i \in N} \Phi_i = C(N)$ ; (racionalidade do grupo).
- ii.  $\Phi_i \leq C(\{i\}), \forall i$ ; (racionalidade individual).

em que  $\Phi_i$  é alocação de custo destinada ao jogador  $i$ ;  $C(N)$  é o custo total a ser alocado e  $C(\{i\})$  é o custo do jogador  $i$  quando ele atua sozinho e não se associa a qualquer coalizão. Assim, como estabelecido por Loehman *et al.* (1979), a racionalidade individual apenas diz que a alocação de custo de um jogador deve ser menor do que seu custo de agir de forma independente, enquanto a racionalidade do grupo afirma que o custo deve ser alocado em sua totalidade entre os jogadores. Portanto, esses pressupostos da racionalidade são simples garantias de que os jogadores se associarão e que seus *payoffs* (as alocações de custo  $\Phi_i$ ) são resultados viáveis.

Como as condições de racionalidade descritas anteriormente são necessárias para um resultado pertencer ao *core* (conforme descrito na seção 3.3.1), se as

alocações encontradas via valor de Shapley seguirem tais restrições, então seus valores estarão dentro do *core*.

## **4.2. Procedimentos adotados no trabalho**

A BRPS e seus organismos de bacia descritos anteriormente foram utilizados como fonte de dados – extraídos do Plano de Recursos Hídricos da Bacia (COPPETEC, 2007a) – para a construção do capítulo seguinte, em que se encontram os resultados da aplicação do valor de Shapley. Antes, porém, devem-se enunciar com mais detalhes alguns procedimentos e considerações que foram adotados, como a realização de duas aplicações diferentes (para a totalidade da bacia e para cada um dos sete organismos de bacia), a questão do valor a ser alocado entre os usuários e os cenários que foram considerados.

### **4.2.1. Valor a ser alocado entre os usuários**

Uma questão que inicialmente suscitou dúvidas refere-se à escolha do valor que serviria como custo total a ser alocado entre os usuários. A priori, qualquer valor poderia ser sugerido e desde que tivesse alguma justificativa lógica, seria boa opção para o desenvolvimento das aplicações. Assim, valores presentes no Plano de Recursos Hídricos – como os gastos necessários para a contenção de deslizamentos nas calhas dos rios, para a recuperação de mananciais, ou para a construção de redes de tratamento de esgoto – seriam, todos, bons exemplos de custos de melhorias que poderiam ser alocados entre os usuários.

Contudo, optou-se por utilizar como custo a ser alocado o valor referente à arrecadação potencial ao longo de um ano na bacia. Essa arrecadação pode ser encontrada aplicando-se as fórmulas de cobrança existentes na bacia, conforme detalhado no Anexo A.2 para o caso da bacia como um todo e no Anexo B.6 para o caso dos organismos de bacia. A arrecadação potencial difere da arrecadação efetiva, já que a primeira supõe que todos os usuários de água pagariam para usá-la, enquanto, na prática, por motivos diversos, muitos usuários ainda não estão pagando pela utilização da água.

A escolha da arrecadação potencial como o valor de custo a ser dividido pelos usuários tem uma vantagem substancial. Como ela foi gerada aplicando a própria

fórmula da cobrança, os resultados encontrados quando se utiliza esse valor na aplicação do valor de Shapley podem ser diretamente comparáveis com o preço-base da água na BRPS. Assim, ainda que qualquer valor de custo pudesse ser sugerido para a alocação, o fato de o valor escolhido possibilitar uma comparação direta, certamente, facilita as análises e justifica sua adoção.

Portanto, a arrecadação potencial considera que a totalidade da captação, do consumo e do lançamento de efluentes será devidamente cobrada, ao contrário do que existe na prática, em que muitos usuários ainda não estão pagando pela água que utilizam. Essa arrecadação potencial será empregada como o custo a ser alocado entre os usuários via aplicação do valor de Shapley, possibilitando a comparação com os preços-base encontrados para a bacia como um todo ou para cada organismo de bacia.

#### **4.2.2. Aplicações do valor de Shapley**

Realizaram-se duas aplicações do valor de Shapley na BRPS. Na primeira (seção 5.1), os cálculos foram realizados para dados da bacia como um todo e os resultados foram comparados com as informações sobre a metodologia de cobrança que vigorou entre os anos de 2003 e 2006. Essa metodologia serviu de parâmetro para a aplicação proposta porque ambas adotam um sistema de preços para os usuários.

Na seção 5.2, por sua vez, aplicou-se o valor de Shapley para dados relacionados a cada um dos sete organismos de bacia separadamente. Contudo, nesse caso, levou-se em consideração, para efeito de comparação, a nova metodologia de cobrança implantada a partir de 2007, que estabeleceu preços para os usos da água (captação, consumo e lançamento de efluentes) e não mais para os usuários, como anteriormente.

No entanto, para que houvesse uma uniformidade nas taxas encontradas pelo valor de Shapley ao longo deste trabalho e com o intuito de mostrar que a metodologia de cobrança atual pode ser adaptada para ser comparada à aplicação proposta do valor de Shapley, optou-se por realizar uma conversão desta nova metodologia de cobrança para aquela que vigorou anteriormente (2003-2006).

A conversão da atual metodologia para a antiga ocorreu mediante o seguinte comportamento: em cada organismo de bacia há dados individuais sobre captação,

consumo e lançamento de efluentes dos setores industrial, urbano e agrícola. Usando a fórmula da nova cobrança, pode-se calcular qual seria a arrecadação potencial ao longo de um ano de cada setor usuário em cada subdivisão da bacia (ver Anexo B). Dividindo esse valor pela quantidade que cada setor capta de água anualmente, tem-se uma taxa em R\$/m<sup>3</sup> para cada usuário em cada organismo de bacia, como na primeira metodologia de cobrança, e que é comparável aos cálculos do valor de Shapley que foram feitos para os sete organismos de bacia que compõem a BRPS.

#### 4.2.3. Cenários considerados

Conforme elucidações feitas ao se apresentar o valor de Shapley ponderado na seção 4.1, três cenários distintos serão analisados:

**1) Cenário da bacia limpa** – neste caso, considera-se que a poluição nas águas da bacia seja irrelevante, de modo que no cálculo ponderado do valor de Shapley importância total seria destinada aos critérios da captação e do consumo de água, uma vez que a única preocupação estaria relacionada ao aspecto quantitativo dos recursos hídricos. Num cenário com essas características, a melhoria a ser financiada conjuntamente pelos usuários deveria estar atrelada a projetos de preservação ou de um melhor aproveitamento e distribuição dos recursos hídricos, em vez de obras relacionadas à despoluição das águas da bacia.

**2) Cenário da bacia poluída** – neste caso, a deterioração da água em seu aspecto qualitativo seria a única fonte de preocupação, de modo que apenas o critério da quantidade lançada de efluentes nas águas da bacia deveria ser considerado. Em um cenário de elevados níveis de poluição, as melhorias que seriam financiadas pela coalizão de usuários deveriam estar relacionadas a projetos de despoluição das águas da bacia, como obras referentes ao tratamento de esgotos e controle da poluição industrial.

**3) Cenário equivalente à BRPS** – este seria um cenário intermediário, já que os dois primeiros representam casos extremos. Com base em informações de que a deterioração qualitativa das águas como consequência da poluição industrial e dos esgotos domésticos é o maior problema enfrentado nas águas da BRPS, foi escolhido como cenário representativo dessa bacia, uma situação em que no cálculo do valor de Shapley ponderado o critério do lançamento de efluentes teria peso maior, ao passo que a captação e o consumo de água teriam peso menor. Nessa situação – visto que

todos os critérios foram considerados para o cálculo do valor de Shapley –, os valores arrecadados dos usuários deveriam atender a melhorias diversas associadas a múltiplos projetos, ou seja, projetos destinados a atender cada um dos critérios relacionados ao uso dos recursos hídricos.

A realização de simulações para os três cenários ocorreu somente na primeira aplicação – aquela realizada com dados da bacia como um todo. Nas aplicações construídas com os dados de cada um dos sete organismos de bacia, para que as análises não se estendessem em demasia, optou-se por suprimir os cenários da bacia limpa e da bacia poluída procedendo-se diretamente ao resultado do cenário intermediário, cujos valores podem ser comparados aos existentes com a cobrança em cada trecho da BRPS.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Aplicação do valor de Shapley para a totalidade da bacia do rio Paraíba do Sul**

Nesta seção utilizaram-se dados referentes aos usuários de água na totalidade da BRPS como fonte para uma primeira aplicação do valor de Shapley, considerando os três cenários sugeridos. Como tal aplicação gera resultados em que a cobrança é estabelecida para cada usuário de água, podem-se comparar esses resultados encontrados com a metodologia de cobrança que vigorou na bacia no período 2003-2006 e que tinha o mesmo aspecto, qual seja, o estabelecimento de um preço para cada usuário, sendo que este preço serviria de base para a cobrança.

Em relação ao valor a ser alocado entre os usuários, que representa o custo para as melhorias propostas, utilizou-se a arrecadação potencial – que pressupõe a participação de todos os usuários – na bacia ao longo de um ano, que equivale a R\$ 23.087.612,82, tal como descrito no Anexo A.2. Como justificado na seção 4.2.1, seu uso torna diretamente comparável o preço-base da cobrança existente na bacia e a taxa encontrada via valor de Shapley. Com essas considerações iniciais, podem-se iniciar os cálculos necessários para a obtenção dos resultados.

O custo total anual das melhorias representado pelo potencial arrecadável com a cobrança (R\$ 23.087.612,82) pode ter sua estrutura de alocação, sob cada um dos três critérios, representada junto a índices que variam de 0 a 100. Esses índices possibilitam a generalização da aplicação, pois o resultado final mostra-se na forma de porcentagem do custo destinada a cada usuário, de modo que qualquer valor de



custo que for proposto pode ser inserido na fórmula, para que sua alocação seja encontrada.

Respeitando as relações de proporção existentes, os índices que representam a alocação de custo das melhorias para cada usuário, considerando que a alocação será feita separadamente, de acordo com os critérios de captação, consumo e lançamento de efluentes, são apresentados na Tabela 9. Os índices – conforme as suposições do desenvolvimento realizado na seção 4.1 – indicam a parte percentual do custo total incorrida por cada demandante, se este arcasse individualmente com o ônus das melhorias que lhe atenderiam, em vez de realizá-las junto aos outros usuários.

Tabela 9 – Índice de custo das melhorias para cada usuário, pelos critérios de captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes

Usuário	Índice de Custo: Captação	Índice de Custo: Consumo	Índice de Custo: Lançamento de efluentes
1. Indústria	25,70	19,41	16,17
2. Urbano	33,84	11,25	100,00
3. Agrícola	100,00	100,00	-

Fonte: Resultados da pesquisa.

Para o critério da captação de água, por exemplo, se suportasse sozinho o custo das melhorias, o usuário industrial teria um ônus que seria proporcional à própria quantidade captada de água, o que equivale a 25,70% do custo a ser alocado. Outra suposição é de que o custo total das melhorias seria equivalente ao custo incorrido pelo usuário que capta a maior quantidade de água, caso este financiasse as melhorias sem se unir aos outros usuários. Desse modo, ainda para o critério da captação, se o usuário agrícola não se associasse a outros usuários, ele arcaria com um valor igual a 100% do custo total a ser alocado – ou seja, o exato valor da arrecadação potencial de R\$ 23.087.612,82 – para financiar as melhorias que lhe atenderiam<sup>24</sup>. Como delineado ao desenvolver a aplicação, esta suposição é uma forma de justificar a existência de economias de escala na formação de coalizões.

<sup>24</sup> Não se deve confundir, neste ponto, a ordem dos acontecimentos. A suposição apresentada não significa que o usuário que não se associar será responsável pelo custo total das intervenções na bacia. A interpretação correta é que se os jogadores não se associarem cada um terá um custo individual. Porém, se todos se associarem para dividir os custos de forma conjunta, eles terão – devido às economias de escala – um custo total que é igual ao custo que o maior usuário teria, caso agisse individualmente.

Portanto, o setor agrícola, por ser aquele que capta a maior quantidade de água, teria de arcar com um valor equivalente ao total do custo, caso pagasse, em separado, pelas melhorias que lhe trariam benefícios. Os setores urbano e industrial, que captam quantidades menores de água, pagariam uma parte menor do custo total, se cada um arcasse individualmente com os custos dos projetos relacionados ao uso da água para captação. Raciocínio semelhante pode ser feito para justificar os índices de custo pelos critérios do consumo de água e lançamento de efluentes.

No período de um ano, para o qual se deseja alocar o custo dos projetos a serem desenvolvidos, o volume esperado de água demandada para captação e consumo, bem como a quantidade esperada para o lançamento de efluentes, são apresentados na Tabela 10. Contudo, como os três critérios são representados por unidades de medidas diferentes, foram criados novamente índices, representando os valores percentuais, que visam tornar possível o cálculo do valor de Shapley ponderado, em que é necessário somar os três critérios.

Tabela 10 – Estimativas anuais para os volumes captado e consumido de água e para a quantidade lançada de efluentes por cada usuário na bacia do rio Paraíba do Sul

Usuário	Volume captado (m <sup>3</sup> /ano)	(%) capta.	Volume consumido (m <sup>3</sup> /ano)	(%) cons.	Quant. lançada (kg/ano)	(%) lanç.
1. Ind.	430.781.760	16,11	195.838.560	14,86	14.537.950	13,92
2. Urb.	567.332.640	21,21	113.529.600	8,61	89.917.750	86,08
3. Agr.	1.676.453.760	62,68	1.008.836.640	76,53	-	-
Total	2.674.568.160	100	1.318.204.800	100	104.455.700	100

Fonte: Resultados da pesquisa.

Com os dados apresentados nas Tabelas 9 e 10, pode-se computar o valor de Shapley para os usuários, considerando cada um dos critérios isoladamente, usando as equações (11), (12) e (13), que possibilitam que se proceda, em seguida, ao cálculo ponderado. A Tabela 11 exemplifica os valores das cobranças realizadas para cada usuário, considerando cada um dos critérios, separadamente. Como o valor de Shapley foi construído com base nos índices que retiraram a unidade de medida dos três critérios e do custo, os valores ainda não têm uma interpretação direta, já que não estão representados como unidades monetárias.

Tabela 11 – Valor de Shapley calculado para os critérios de captação e consumo de água e lançamento de efluentes na bacia do rio Paraíba do Sul

Usuário	Valor de Shapley: Captação	Valor de Shapley: Consumo	Valor de Shapley: Efluentes
1. Indústria	0,2570	0,2018	0,1617
2. Urbano	0,3540	0,1125	1,1355
3. Agricultura	1,4095	1,2548	-

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os valores presentes na Tabela 11 foram utilizados nas seções que se seguem, para encontrar a taxa cobrada de cada usuário, em que o cálculo do valor de Shapley foi ponderado pelos três critérios, utilizando a equação (14) e levando em conta a existência dos três diferentes cenários sugeridos para os dados da BRPS: uma bacia limpa, uma bacia poluída – que são os dois cenários extremos – e um cenário intermediário, o qual, com base em informações prévias, acredita-se ser o que se aproxima da realidade encontrada na bacia do rio Paraíba do Sul.

Para cada usuário, multiplicando seus respectivos valores de Shapley (Tabela 11) pelas porcentagens que representam a captação, o consumo e o lançamento de efluentes (Tabela 10) e pelos valores das ponderações  $\alpha$  e  $\beta$  escolhidos em cada cenário, encontra-se a porcentagem do custo total que lhe deve ser atribuída. Com isso, tem-se, para cada cenário, a parte de cada usuário referente ao custo dos múltiplos projetos que podem ser desenvolvidos em uma bacia, representado pelo valor da arrecadação potencial de R\$ 23.087.612,82. Finalmente, com este último valor e com a quantidade captada de água por cada usuário ao longo de um ano, pode-se encontrar uma taxa medida em R\$/m<sup>3</sup>, tornando possível a comparação com o preço-base que vigorava na BRPS até 2006.

### 5.1.1. Cenário da bacia limpa ( $\alpha + \beta = 1$ )

Em uma situação hipotética para a BRPS, em que a poluição das águas inexistente ou é desprezível, a única fonte de preocupação seria o caráter quantitativo da água. Como consequência, a melhoria a ser financiada pelos usuários não estaria ligada à despoluição das águas da bacia, podendo se relacionar, por exemplo, a projetos de proteção e melhor aproveitamento dos recursos hídricos, como a proteção de mananciais ou o desenvolvimento de melhoras no sistema de distribuição de água.

Uma vez que a preocupação nesse cenário é somente com a água em seu aspecto quantitativo, importância total no cálculo da taxa cobrada dos usuários deveria ser reservada aos critérios das quantidades captada e consumida de água. Atribui-se peso maior ao consumo ( $\beta = 0,6$ ) devido ao maior impacto que este causa nos corpos d'água em comparação à captação ( $\alpha = 0,4$ ). Percebe-se, pela observação da Tabela 12, que o usuário que é o principal demandante de água nessa bacia (setor agrícola), teria de arcar com uma parcela maior dos custos das melhorias e pagar a taxa mais elevada por m<sup>3</sup> de água captada.

Tabela 12 – Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários, num cenário em que a bacia do rio Paraíba do Sul estivesse limpa

Usuário	% do Custo	(%) 23.087.612,82 (R\$)	Taxa (R\$/m <sup>3</sup> )
1. Indústria	3,45	823.877,38	0,0018
2. Urbano	3,59	978.840,81	0,0015
3. Agrícola	92,96	21.284.894,63	0,0128
Total	100,00	23.087.612,82	-

Fonte: Resultados da pesquisa.

Num cenário para a bacia em que o lançamento de efluentes em suas águas não fosse um problema, os setores potencialmente poluidores – industrial e urbano – seriam beneficiados e pagariam taxas de 0,0018 R\$/m<sup>3</sup> e 0,0015 R\$/m<sup>3</sup>, que representam, respectivamente, 14,46% e 11,40% do valor cobrado dos usuários agrícolas para prover as melhorias, com custo anual de R\$ 23.087.612,82. Do valor total, o setor industrial pagaria 3,45% do custo dos projetos desenvolvidos, enquanto os usuários urbanos cobririam 3,59%, o que indica que, se a BRPS tivesse essas características, haveria alocação de custo favorável aos dois setores citados. O setor agrícola, pelo contrário, ao pagar uma taxa de 0,0128 R\$/m<sup>3</sup>, ficaria responsável por parcela significativa dos custos, cobrindo um montante que equivaleria a 92,96% do custo total dos projetos relacionados ao consumo e à captação de água.

### 5.1.2. Cenário da bacia poluída ( $\alpha = \beta = 0$ )

Numa suposta situação para a BRPS, em que o aspecto quantitativo dos recursos hídricos não seria fonte de preocupação e o problema fosse unicamente a qualidade da água, importância total deveria ser dada ao critério da quantidade lançada de

efluentes; em contraponto, os pesos da captação ( $\alpha$ ) e do consumo de água ( $\beta$ ) seriam nulos. Para esse hipotético cenário, a melhoria a ser financiada com os recursos arrecadados dos usuários deveria ter como projetos prioritários aqueles relacionados com a despoluição dos cursos d'água na bacia. Mais detalhadamente, poderiam ser especificadas, por exemplo, obras relacionadas ao tratamento de esgotos domésticos e controle da poluição industrial.

Em um cenário com essas características, o setor urbano, que é o maior emissor de DBO nas águas da bacia, torna-se o mais sobrecarregado, respondendo por quase a totalidade dos custos necessários para prover as melhorias ao longo de um ano e pagando a maior taxa entre os usuários, conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários, num cenário em que a bacia do rio Paraíba do Sul estivesse altamente poluída

Usuário	% do Custo	(%) $\times$ 23.087.612,82 (R\$)	Taxa (R\$/m <sup>3</sup> )
1. Indústria	2,25	519.526,61	0,0012
2. Urbano	97,75	22.568.086,21	0,0398
3. Agrícola	-	-	-
Total	100	23.087.612,82	-

Fonte: Resultados da pesquisa.

Um cenário de importância total para o critério da poluição na BRPS seria o mais favorável ao setor agrícola, pois, como este não contribui em nada ou apenas marginalmente para a quantidade lançada de DBO, ele não precisaria arcar com os custos das melhorias. Por sua vez, o setor urbano estaria em situação altamente desfavorável, quando comparado ao cenário da bacia limpa apresentado anteriormente; uma vez que é o maior lançador de DBO na BRPS, este pagaria uma taxa de 0,0398 R\$/m<sup>3</sup>, tendo que suportar uma parte equivalente a 97,75% do custo anual dos projetos a serem implementados. Já o setor industrial, apesar de ser o segundo maior emissor de DBO, não seria tão penalizado, pois pagaria uma taxa de 0,0012 R\$/m<sup>3</sup>, o que lhe reservaria uma parcela equivalente a apenas 2,25% do custo anual dos projetos relacionados à despoluição.

### 5.1.3. Cenário equivalente à bacia do rio Paraíba do Sul ( $\alpha + \beta = 0,1$ )

Estudos existentes sobre a BRPS<sup>25</sup> atestam que o maior problema verificado em sua área de abrangência é o declínio na qualidade da água, decorrente da poluição industrial e, principalmente, dos esgotos urbanos, e que a escassez de água não é especificamente um problema imediato, já que ainda há relativa abundância dos recursos hídricos na bacia. Com isso, escolheu-se uma ponderação em que o critério do lançamento de efluentes teria peso maior [ $(1 - \alpha - \beta) = 0,9$ ] e os critérios das quantidades captada e consumida de água, peso substancialmente menor ( $\alpha = \beta = 0,05$ ), acreditando que esse cenário possa se aproximar da realidade observada na BRPS.

Obviamente, num cenário real de aplicação dessa metodologia, a escolha dos pesos deve ser algo discutido amplamente pelos membros participantes dos Comitês de Bacia Hidrográfica, visto que os valores adotados influenciarão diretamente nos resultados. Além disso, por ser uma questão em que certamente repousarão muitas discussões, a escolha das ponderações deve ser pautada em critérios objetivos e deve ser flexível para que possa ser alterada quando necessário.

Desse modo, os custos a serem financiados conjuntamente pelos usuários deveriam estar relacionados a múltiplos projetos (que atendessem aos aspectos quantitativo e qualitativo no uso dos recursos hídricos), já que o valor de Shapley ponderado considerado nesse cenário levou em conta todos os três critérios. No entanto, projetos de despoluição da bacia poderiam ser apontados como prioritários, dado o peso maior do critério da quantidade lançada de efluentes. A Tabela 14 apresenta os resultados desse cenário, junto com dados da cobrança existente sobre os usuários, que vigorou de 2003 a 2006 na bacia em questão.

---

<sup>25</sup> Ver, por exemplo, Formiga-Johnsson *et al.* (2007), Campos (2001) e Thomas (2002).

Tabela 14 – Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários, em um cenário misto, mas considerando elevada poluição na bacia do rio Paraíba do Sul

Usuário	Aplicação do valor de Shapley			Cobrança na BRPS	
	Taxa (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo	(%)× 23.087.612,82 (R\$)	Preço-base (R\$/m <sup>3</sup> )*	% do Custo
1. Indústria	0,0013	2,38	549.961,69	0,02	35,00
2. Urbano	0,0360	88,40	20.409.161,67	0,02	64,00
3. Agrícola	0,0013	9,22	2.128.489,46	0,0005	1,00
Total	-	100	23.087.612,82	-	100

Fonte: Resultados da pesquisa.

\*Extraído de Formiga-Johnsson *et al.* (2007).

A comparação direta entre a taxa decorrente da aplicação do valor de Shapley e o preço-base da cobrança pelo uso da água na bacia, até 2006, pode ser realizada, uma vez que o primeiro foi construído considerando um valor que representa a arrecadação potencial ao longo de um ano na bacia (R\$ 23.087.612,82), com base na fórmula da cobrança e no próprio preço-base apresentado acima. Mesmo assim, para qualquer outro valor de custo que fosse aqui inserido, e para este próprio, poder-se-iam tecer também comparações relativas e qualitativas entre os dois valores, analisando apenas o comportamento destes.

O preço-base da cobrança onerava em proporção maior (e em valores iguais) os usuários industriais e urbanos (0,02 R\$/m<sup>3</sup>). O setor agrícola, por sua vez, era pouco cobrado, visto que pagava um valor de 0,0005 R\$/m<sup>3</sup>, que equivale a apenas 1,25% do preço dos setores inicialmente citados. No entanto, a taxa encontrada pela aplicação do valor de Shapley visando a alocação do custo anual das melhorias relacionadas a múltiplos projetos teve comportamento diferente, visto que os usuários urbanos pagariam um valor (0,0360 R\$/m<sup>3</sup>) bem superior aos que seriam pagos pelos setores industrial e agrícola. Estes últimos arcariam com uma taxa pequena, de igual valor (0,0013 R\$/m<sup>3</sup>) e que equivale a somente 3,50% da taxa cobrada do setor urbano.

A comparação referente aos custos também apresenta pontos dissonantes. Com a taxa proposta neste trabalho, o usuário industrial teria que cobrir apenas 2,38% do custo e o agrícola arcaria com somente 9,22% do custo anual das melhorias, enquanto a maior parcela estaria destinada aos usuários urbanos, que pagariam 88,40% do custo a ser alocado. Essa configuração se distancia do que se viu na BRPS, pois, de acordo com informações extraídas no site do Comitê de Bacia,

(CEIVAP, 2008), do total arrecadado até junho de 2006 (ou seja, no período de vigência da antiga metodologia de cobrança), 35% eram oriundos do setor industrial e 64% do urbano. Já a arrecadação do setor agrícola foi apenas simbólica no mesmo período, já que representou menos de 1%.

Como delineado anteriormente, a escolha dos pesos é fator essencial na obtenção dos resultados e, por isso, deve ser amplamente discutido em uma provável aplicação desta metodologia. Neste caso, optou-se por um peso elevado para a quantidade lançada de efluentes. Como informação complementar, prováveis alterações nas ponderações gerariam o seguinte comportamento: uma redução no peso do lançamento de efluentes e o conseqüente aumento nos pesos da captação e do consumo, acarretariam uma transferência do ônus da cobrança do setor urbano (redução) para o setor agrícola (aumento). O setor industrial, por sua vez, sofreria poucos impactos já que o maior lançador de efluentes – critério que estaria sofrendo uma redução em sua ponderação – é o setor urbano, enquanto o setor que mais capta e consome água – critérios em que a ponderação estaria aumentando – é o agrícola.

Em geral, observando os resultados encontrados nos três cenários apresentados anteriormente, fica claro que a alocação do custo de melhorias entre os setores demandantes é diretamente dependente do critério estabelecido (captação de água, consumo de água, lançamento de efluentes ou, ainda, os três juntos) e, conseqüentemente, das estruturas de custos inicialmente apresentadas, além do cenário escolhido para representar a bacia, materializado na escolha das ponderações.

Especificamente, a construção do cenário proposto nesta seção levou em conta os três critérios para criar uma taxa para os usuários de recursos hídricos na BRPS, porém, ao ponderá-los, importância significativa foi dada ao critério da quantidade lançada de efluentes. Os valores encontrados, todavia, mostraram-se distantes dos preços-base que serviam para o cálculo da cobrança que vigorava na bacia, já que o setor urbano foi sobrecarregado, uma vez que sua taxa é bem superior às dos demais, fazendo com que este fosse destinado a cobrir mais de 88% do valor a ser alocado entre os três demandantes.

O valor de Shapley é, por definição, uma taxa justa no sentido de que, como o critério da quantidade lançada de efluentes tem um peso maior neste cenário, o setor que polui em excesso deve, por conseqüência, arcar com a maior parte dos custos dos múltiplos projetos a serem desenvolvidos e pagar o maior valor pelo uso da água. Pode-se depreender que a cobrança na BRPS não seguia este critério de justiça do



tipo “quem polui mais, paga mais”, já que, mesmo sendo responsável por 86,08% dos efluentes lançados nos cursos d’água na bacia, o setor urbano pagava um preço igual ao do setor industrial (0,02 R\$/m<sup>3</sup>), que lançava somente 13,94%.

Todavia, há de se ressaltar que nos cenários apresentados anteriormente em que se levou em conta a poluição dos corpos hídricos na BRPS, o setor urbano pagaria valores maiores pela diluição de efluentes, pois o único parâmetro cobrado é a DBO, já que é o único com dados disponíveis. Deste modo, a carga orgânica e os metais pesados despejados pela indústria não entram nos cálculos, assim como a agricultura tem suas medidas dificultadas já que a poluição emitida por esse setor é predominantemente difusa. Caso ocorresse a medição de novos parâmetros, o peso da poluição emitida por outros setores poderia aumentar.

Ainda, deve-se fazer uma ressalva de que o valor de Shapley aplicado aos dados agregados para a totalidade da bacia pode implicar resultados que não considerem as especificidades de cada região da bacia, que são muitas, conforme as descrições presentes na seção 2.2. Com esse objetivo, calculou-se na aplicação seguinte – seção 5.2 – o valor de Shapley separadamente para cada um dos sete organismos de bacia, com o intuito de que características peculiares de cada trecho pudessem ser consideradas. Antes, porém, deve-se verificar se os cálculos do valor de Shapley estão em conformidade com as chamadas restrições de racionalidade.

#### 5.1.4. Verificação das restrições das racionalidades do grupo e individual

É importante que se verifique se os cálculos do valor de Shapley atendem às restrições das racionalidades do grupo e individual – descritas na seção 4.1.1. Essas condições são simples garantias de que os jogadores se associarão e que seus *payoffs* (as alocações de custo  $\Phi_i$ ) são resultados viáveis. Tais condições são repetidas a seguir (LOEHMAN *et al.*, 1979):

- i.  $\sum_{i=1}^3 \Phi_i = C(3)$ ; (racionalidade do grupo)
- ii.  $\Phi_i \leq C(\{i\}), \forall i$ ; (racionalidade individual)

em que  $\Phi_i$  é alocação de custo destinada ao jogador  $i$ ;  $C(N)$  é o custo total a ser alocado; e  $C(\{i\})$  é o custo do jogador  $i$  quando ele atua sozinho e não se associa a qualquer coalizão. Em palavras, a racionalidade do grupo diz que o custo deve ser

alocado em sua totalidade entre os jogadores, ao passo que a racionalidade individual afirma que a alocação de custo de um jogador dentro da coalizão deve ser menor do que seu custo de agir de forma independente.

Os resultados das verificações, apresentados a seguir, comprovam a viabilidade das alocações de custo e da formação de coalizões, visto que as restrições das racionalidades do grupo e individual foram seguidas em todos os três cenários sugeridos. Nas notações adotadas, os subscritos 1, 2 e 3 identificam, respectivamente, os usuários industrial, urbano e agrícola.

#### a) Verificação para o cenário da bacia limpa

i. Racionalidade do grupo:

$$\sum_{i=1}^3 \Phi_i = C(3)$$

$$\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = C(3)$$

$$823.877,38 + 978.840,81 + 21.284.894,63 = 23.087.612,82$$

$$23.087.612,82 = 23.087.612,82$$

ii. Racionalidade individual:

$$\Phi_1 \leq C(\{1\}) = 823.877,38 \leq 5.207.218,10$$

$$\Phi_2 \leq C(\{2\}) = 978.840,81 \leq 5.205.650,73$$

$$\Phi_3 \leq C(\{3\}) = 21.284.894,63 \leq 23.087.612,82$$

#### b) Verificação para o cenário da bacia poluída

i. Racionalidade do grupo:

$$\sum_{i=1}^3 \Phi_i = C(3)$$

$$\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = C(3)$$

$$519.526,61 + 22.568.086,21 + 0 = 23.087.612,82$$

$$23.087.612,82 = 23.087.612,82$$

ii. Racionalidade individual:

$$\Phi_1 \leq C(\{1\}) = 519.526,61 \leq 3.732.817,61$$

$$\Phi_2 \leq C(\{2\}) = 22.568.086,21 \leq 23.087.612,82$$

### c) Verificação para o cenário equivalente à BRPS

i. Racionalidade do grupo:

$$\sum_{i=1}^3 \Phi_i = C(3)$$

$$\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = C(3)$$

$$549.961,69 + 20.409.161,67 + 2.128.489,46 = 23.087.612,82$$

$$23.087.612,82 = 23.087.612,82$$

ii. Racionalidade individual:

$$\Phi_1 \leq C(\{1\}) = 549.961,69 \leq 4.400.979,47$$

$$\Phi_2 \leq C(\{2\}) = 20.409.161,67 \leq 21.819.981,68$$

$$\Phi_3 \leq C(\{3\}) = 2.128.489,46 \leq 4.617.522,56$$

### 5.2. Aplicação do valor de Shapley para os sete organismos de bacia que compõem a bacia do rio Paraíba do Sul

Nesta seção adotou-se uma abordagem diferente da anterior, qual seja, a descentralização da cobrança na bacia, em vez de uma cobrança uniforme em toda a sua área. Acreditou-se que o estabelecimento de taxas individualizadas para os usuários em cada organismo de bacia pudesse ser uma abordagem eficiente, uma vez que a cobrança passou a considerar especificidades de cada trecho da bacia. Essa abordagem de cobrança separada por organismo de bacia não é a que vigora atualmente, porém, pode ser uma importante fonte para futuras discussões sobre alterações ou aperfeiçoamentos na metodologia.

Para efeito de comparação com os resultados da aplicação do valor de Shapley, considerou-se, agora, a nova metodologia de cobrança implementada em 2007. Todavia esta foi convertida para os moldes da metodologia anterior (em que havia preços para os diferentes usuários), com o propósito de uniformizar as taxas encontradas pelo valor de Shapley ao longo do trabalho, além de mostrar que a metodologia de cobrança atual (em que os diferentes usos são os parâmetros para o estabelecimento dos preços) pode ser adaptada para ser comparada à aplicação proposta do valor de Shapley. Em relação ao valor/custo a ser alocado entre os

usuários via valor de Shapley em cada organismo de bacia, usou-se, assim como na primeira aplicação, o conceito do potencial de arrecadação ao longo de um ano (conforme cálculos no Anexo B).

Dessa forma, as seções vindouras apresentam, para cada organismo de bacia, dois diferentes valores de cobrança (medidos em R\$/m<sup>3</sup>) referentes aos usuários e que são o objeto das análises. Uma primeira taxa – chamada de preço-base, para manter o padrão da aplicação anterior – é simplesmente a conversão da metodologia atual para a antiga em cada organismo de bacia, como explicado anteriormente, e que será utilizado como parâmetro para comparações. Outra taxa foi obtida mediante a aplicação do valor de Shapley ponderado para os dados de cada organismo de bacia em um cenário intermediário: peso maior para o critério do lançamento de efluentes e peso menor para os critérios da captação e do consumo de água, tal qual na aplicação realizada na bacia como um todo<sup>26</sup>.

Como esta seção levou em consideração apenas o cenário intermediário, em que todos os três critérios estão incluídos no cálculo do valor de Shapley, assumiu-se que o custo total a ser alocado entre os usuários estivesse relacionado a múltiplos projetos, ou seja, melhorias que atendessem a diversos interesses atrelados ao desenvolvimento dos recursos hídricos. Contudo, os projetos prioritários estariam relacionados à despoluição das águas, dado que peso significativo foi reservado ao critério da quantidade lançada de efluentes.

#### **a) Aplicação do valor de Shapley para a área de atuação do CBH-PS (Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul – trecho paulista)**

O valor a ser alocado entre os usuários de água no CBH-PS é de R\$ 6.035.942,22, que corresponde à arrecadação potencial neste trecho da bacia ao longo de um ano, conforme cálculo explicitado no Anexo B. Este é o segundo maior valor de arrecadação potencial entre os organismos de bacia, abaixo apenas da AMPAS. A Tabela 15 apresenta os resultados necessários para que possam ser feitas as análises convenientes.

---

<sup>26</sup> Os pesos são os mesmos da primeira aplicação: 0,05 para a captação e o consumo e 0,9 para o critério da quantidade lançada de efluentes.

Tabela 15 – Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários no CBH-PS

Usuário	Aplicação do valor de Shapley			Cobrança no CBH-PS	
	Taxa (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo	(%)× 6.035.942,22 (R\$)	Preço-base (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo
1. Indústria	0,0018	2,06	124.407,46	0,0191	22,35
2. Urbano	0,0277	89,05	5.375.213,41	0,0223	71,89
3. Agrícola	0,0015	8,89	536.321,36	0,0010	5,76
Total	-	100,00	6.035.942,22	-	100,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

Iniciando pelo preço-base oriundo da conversão das metodologias, percebe-se que os usuários urbanos são aqueles que pagam o mais alto valor (0,0223 R\$/m<sup>3</sup>), porém não tão distantes dos usuários industriais (0,0191 R\$/m<sup>3</sup>). Por sua vez, o valor reservado ao setor agrícola (0,0010 R\$/m<sup>3</sup>) é bem inferior aos dois primeiros. Em relação à porcentagem coberta dos custos para financiar os múltiplos projetos, o setor urbano se destaca, sendo o responsável por 71,89% do valor que representa o potencial arrecadável ao longo do ano por este organismo de bacia. O setor industrial cobre uma parcela menor do custo, equivalente a 22,35%, enquanto ao setor agrícola é reservada parte ainda menor na alocação dos custos: 5,76%.

Observando a taxa obtida por meio da aplicação do valor de Shapley ponderado, nota-se que o setor urbano paga um valor de 0,0277 R\$/m<sup>3</sup>, que é consideravelmente superior aos valores referentes aos setores industrial (0,0018 R\$/m<sup>3</sup>) e agrícola (0,0015 R\$/m<sup>3</sup>), o que já era de se esperar, uma vez que a proporção do lançamento de efluentes do setor urbano é de 86,41%, e este critério é justamente aquele que tem o maior peso no cálculo do valor de Shapley. Essa assimetria reflete-se, também, na parte destinada a cada setor quando se alocam os custos dos múltiplos projetos. Ao setor urbano é reservada grande parte dos custos (89,05%), enquanto o setor industrial (2,06%) e o setor agrícola (8,89%) ficam responsáveis por cobrirem parcelas bem menores.

Ao observar os cálculos para a área de atuação do Comitê Paulista, viu-se que a aplicação do valor de Shapley apresentou resultados diferentes do preço-base neste organismo de bacia. Nos cálculos via valor de Shapley, o setor urbano, por ser o maior poluidor, seria responsável por pagar taxas mais elevadas e cobrir uma parcela que chega a quase 90% do custo a ser alocado. Entretanto, isso não ocorre no preço-base para este organismo de bacia em que os setores industrial e urbano pagam

valores bem próximos (0,0191 R\$/m<sup>3</sup> e 0,0223 R\$/m<sup>3</sup>, respectivamente). Pode-se inferir que os valores da cobrança no CBH-PS não seguem o critério de justiça no qual se baseiam os cálculos do valor de Shapley, para o qual aquele setor que polui em demasia deveria ser cobrado proporcionalmente.

**b) Aplicação do valor de Shapley para a área de atuação da AMPAS (Associação de Usuários das Águas do Médio Paraíba do Sul)**

De acordo com os cálculos presentes no Anexo B, na área de atuação da AMPAS, o valor equivalente à arrecadação potencial ao longo de um ano e que será alocado entre os usuários de água é de R\$ 8.481.837,30, valor este que é a maior arrecadação potencial entre todos os sete organismos de bacia. Os resultados que serão objetos de análise estão delimitados na Tabela 16.

Tabela 16 – Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários na AMPAS

Usuário	Aplicação do valor de Shapley			Cobrança na AMPAS	
	Taxa (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo	(%) × 8.481.837,30 (R\$)	Preço-base (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo
1. Indústria	0,0035	12,22	1.036.225,05	0,0202	70,74
2. Urbano	0,0756	87,45	7.417.840,46	0,0247	28,58
3. Agrícola	0,0005	0,33	27.771,79	0,0010	0,68
Total	-	100,00	8.481.837,30	-	100,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

Observando os valores decorrentes da conversão das metodologias e que representam a cobrança na AMPAS, pode-se notar que os maiores valores do preço-base são pagos pelos setores industrial (0,0202 R\$/m<sup>3</sup>) e urbano (0,0247 R\$/m<sup>3</sup>), com destaque maior para este último, enquanto o setor agrícola apresenta um valor reduzido (0,0010 R\$/m<sup>3</sup>). Em relação à porcentagem coberta dos custos para atender a múltiplos projetos sob esses preços-base, ao setor industrial fica reservada parte significativa (70,74%) na alocação do valor da arrecadação potencial. Já a parcela do custo destinado ao setor urbano é consideravelmente inferior (28,58%), ao passo que aquela referente ao setor agrícola é ainda menor (0,68%).

Esse comportamento na alocação dos custos entre os usuários de água difere substancialmente do que é visto na BRPS como um todo e nos outros organismos de

bacia. Isso se deve às características peculiares da região em análise, que é de caráter notadamente industrial, abrigando indústrias de grande porte, como a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), localizada na cidade de Volta Redonda - RJ, que é o usuário individual que paga os mais altos valores pela cobrança de água na bacia<sup>27</sup>. Outra característica desta região é a insignificância do setor agrícola, sendo a área de atuação da AMPAS a única entre os organismos de bacia em que o referido setor apresenta as menores quantidades de água captada e consumida, refletindo-se na inexpressiva parcela de arrecadação, igual a 0,68%.

Em relação à taxa resultante da aplicação do valor de Shapley ponderado, o setor urbano paga um valor de 0,0756 R\$/m<sup>3</sup>, sendo consideravelmente mais onerado do que os usuários industriais e agrícolas, que pagam taxas pequenas: 0,0035 e 0,0005 R\$/m<sup>3</sup>, respectivamente. Esse resultado não surpreende, já que, observando a proporção dos lançamentos de efluentes presentes no Plano de Recursos Hídricos o peso do setor urbano neste critério é de 83,38%. Essas características se refletem nos custos para financiar os diversos projetos neste trecho da bacia, uma vez que o setor urbano torna-se responsável por parte significativa da alocação (87,45%), enquanto parcela menor é reservada aos usuários industriais (12,22%) e ao setor agrícola, que, dada sua insignificância na região em análise, cobre apenas 0,33% do valor da arrecadação potencial deste organismo de bacia ao longo de um ano.

Para os resultados referentes à área de atuação da AMPAS, nota-se uma discordância entre os valores da cobrança neste organismo de bacia e aqueles oriundos da aplicação do valor de Shapley. Este último destinou a maior taxa e a maior parcela nos custos ao setor urbano, que é o grande poluidor; mesmo assim, o setor industrial (extremamente relevante neste trecho) ainda apresentou um percentual na alocação de custos (12,22%) que é o maior entre todos os organismos de bacia. Por sua vez, os valores referentes à cobrança na AMPAS não seguem esse critério do valor de Shapley, já que o setor urbano paga um valor próximo ao industrial, sendo este último setor responsável por cobrir cerca de 70,74% do valor arrecadado na bacia, mesmo lançando uma quantidade de efluentes de somente 16,62%.

---

<sup>27</sup> De acordo com dados do ANA (2008), da estimativa de arrecadação total referente à cobrança no exercício de 2007 (R\$ 9.657.835,72), cerca de R\$ 2.392.109,72 teriam como fonte a Companhia Siderúrgica Nacional, representando significativos 24,77% da arrecadação.

**c) Aplicação do valor de Shapley para a área de atuação do PS-1 (Comitê Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos rios Preto e Paraíba)**

A arrecadação potencial ao longo de um ano entre os usuários de recursos hídricos na área de atuação do PS-1, conforme Anexo B, é de R\$ 1.934.378,24, sendo este, portanto, o valor a ser alocado entre os setores demandantes de água neste trecho da bacia. O referido valor é o terceiro menor para a arrecadação potencial entre os organismos de bacia que compõem a BRPS. Isso pode ser consequência do fato de que esta região tem a segunda menor população total (cerca de 673.000 habitantes), superando apenas a população do BNG-2. Na Tabela 17 encontram-se os resultados que estarão em análise nesta seção.

Tabela 17 – Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários no PS-1

Usuário	Aplicação do valor de Shapley			Cobrança no PS-1	
	Taxa (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo	(%)× 1.934.378,24 (R\$)	Preço-base (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo
1. Indústria	0,0032	0,73	14.133,57	0,0310	7,07
2. Urbano	0,0241	95,23	1.842.015,72	0,0231	91,18
3. Agrícola	0,0022	4,04	78.228,95	0,0010	1,75
Total	-	100,00	1.934.378,24	-	100,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

Iniciando pelo preço-base da cobrança no PS-1, percebe-se que os usuários urbanos e, principalmente, os industriais se destacam como aqueles que pagam os maiores valores, respectivamente, 0,0231 e 0,031 R\$/m<sup>3</sup>; já o setor agrícola paga um valor destacadamente inferior: igual a 0,001 R\$/m<sup>3</sup>. No que tange à porcentagem do custo alocado a cada usuário para financiar os múltiplos projetos, nota-se que grande parte deste (91,18%) destina-se ao setor urbano, ao passo que ao setor industrial (7,07%) e ao setor agrícola (1,75%) reservam-se pequenas parcelas do custo representado pela arrecadação potencial anual na área de atuação deste organismo de bacia.

No âmbito da cobrança no PS-1, a justificativa para o fato de o setor urbano cobrir mais de 90% dos custos a serem alocados provém da presença da cidade de Juiz de Fora dentro de sua área de abrangência, uma vez que este município, entre



todos os pertencentes à BRPS, é o maior gerador de efluentes oriundos de esgotos domésticos<sup>28</sup>.

Ao se observar a taxa calculada mediante a aplicação do valor de Shapley, vê-se que o setor agrícola paga um valor baixo (0,0022 R\$/m<sup>3</sup>), enquanto o setor industrial paga um valor um pouco maior (0,0032 R\$/m<sup>3</sup>), porém igualmente reduzido. De maneira inversa, do setor urbano é cobrada a maior taxa (0,0241 R\$/m<sup>3</sup>). O reflexo dessas taxas nas parcelas alocadas dos custos para atender aos projetos nesta região da bacia indica pequenas porcentagens para os setores industrial (0,73%) e agrícola (4,04%), enquanto parte considerável do valor que é alvo da alocação deve ser coberta pelo setor urbano (95,23%), como era de se supor, já que este emite 91,51% da carga de DBO lançada nas águas da área do PS-1.

Percebe-se que a aplicação do valor de Shapley é justa em relação ao critério que tem o maior peso no cálculo ponderado, de modo que o setor que lança as maiores quantidades de efluentes (urbano) é também aquele que paga o valor mais elevado e arca com maior parte dos custos dos projetos relacionados a múltiplos propósitos. Esse critério, todavia, não é seguido no preço-base da cobrança na área de atuação do PS-1, em que o setor industrial paga um valor superior ao setor urbano (0,0310 contra 0,0231 R\$/ m<sup>3</sup>), mesmo sendo a fonte de apenas 8,49% dos efluentes lançados nas águas dos rios desta região. Porém, a presença do setor urbano é tão significativa neste trecho que, mesmo pagando um preço-base inferior ao do setor industrial, o primeiro ainda é responsável por cobrir 91,18% do valor a ser alocado entre os usuários.

#### **d) Aplicação do valor de Shapley para a área de atuação do Comitê Piabanha**

De acordo com os cálculos apresentados no Anexo B, o valor correspondente à arrecadação potencial na área de atuação do Comitê Piabanha ao longo de um ano e que deve ser alocado entre os usuários de água é de R\$ 1.277.639,28. Este valor é o segundo menor entre as arrecadações potenciais dos organismos de bacia, superando somente o valor encontrado para a área de atuação do BNG-2. Os resultados explicitados na Tabela 18 são a base para a discussão nesta seção.

---

<sup>28</sup> De acordo com o Plano de Recursos Hídricos (COPPETEC, 2007a), ao dia, na cidade de Juiz de Fora, a carga de DBO lançada nos corpos hídricos é de cerca de 23.822 kg, superando todos os outros municípios da bacia.

Tabela 18 – Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários no Comitê Piabanha

Usuário	Aplicação do valor de Shapley			Cobrança no C. Piabanha	
	Taxa (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo	(%) × 1.277.639,28 (R\$)	Preço-base (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo
1. Indústria	0,0014	0,42	5.267,76	0,0248	7,36
2. Urbano	0,0258	90,27	1.153.375,34	0,0241	84,50
3. Agrícola	0,0011	9,31	118.996,17	0,0010	8,14
Total	-	100,00	1.277.639,28	-	100,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

Partindo da análise dos preços-base para a cobrança no Comitê Piabanha, observa-se que os setores industrial e urbano estão pagando os maiores valores: 0,0248 e 0,0241 R\$/m<sup>3</sup>, respectivamente. Ao setor agrícola, por sua vez, reserva-se uma taxa reduzida (0,001 R\$/m<sup>3</sup>). A igualdade nas taxas, porém, não se revela nos custos relacionados aos múltiplos projetos que devem ser financiados pelos usuários, já que grande parte destes deve ser coberta pelos usuários urbanos (84,50%), enquanto o valor coberto pelo setor industrial (7,36%) é menor, inclusive, do que a parcela de alocação do custo destinada ao setor agrícola (8,14%).

Estas porcentagens sustentam-se, devido à pequena participação do setor industrial dentro deste organismo de bacia, uma vez que as quantidades de água demandadas tanto para captação quanto para consumo pelo referido setor situam-se na casa dos 2%, valor bem inferior ao das outras áreas da bacia.

Em relação à aplicação do valor de Shapley ponderado, o menor valor é cobrado do setor agrícola (0,0011R\$/m<sup>3</sup>), porém não muito distante do setor industrial, que paga uma taxa de apenas 0,0014 R\$/m<sup>3</sup>. O setor urbano, por outro lado, tem a taxa mais alta entre todos os setores (0,0258 R\$/m<sup>3</sup>), fazendo com que, do valor potencialmente arrecadável ao longo de um ano e que representa o custo dos diversos projetos que devem ser implementados, este setor fique responsável por arcar com 90,27%. Já a parcela deste valor que deve ser coberta pelo setor agrícola é de 9,31%. Entretanto, o destaque maior é a ínfima parte destinada ao setor industrial: apenas 0,42% do valor que é objeto de alocação.

Analisando o conjunto dos resultados para a área do Comitê Piabanha, depreende-se que, nos cálculos do valor de Shapley, o setor urbano apresenta-se como aquele que paga a maior taxa e cobre parcela significativa (90,27%) dos custos

dos múltiplos projetos, tal qual os outros organismos de bacia. Isso é consequência de o valor de Shapley ser uma taxa justa, pois aquele que polui mais deve pagar mais, já que a poluição é o maior problema dos corpos d'água na bacia do rio Paraíba do Sul. Novamente, a cobrança na área do Comitê em questão não se mostra em conformidade com este critério de justiça, uma vez que valores praticamente idênticos são cobrados dos setores urbano e industrial, mesmo este último lançando apenas 6,50% dos efluentes.

Um aspecto relevante dos resultados, tanto para a cobrança quanto para o valor de Shapley, é que o setor industrial cobre parcelas do custo associado aos múltiplos projetos, as quais são sempre menores que as do setor agrícola, o que provém da pequena participação do primeiro na área de atuação do Comitê Piabanha.

#### **e) Aplicação do valor de Shapley para a área de atuação do COMPE (Comitê Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé)**

Na área de atuação do COMPE, conforme os cálculos presentes no Anexo B, o valor originário da arrecadação potencial neste trecho ao longo de um ano e que será usado como custo a ser alocado entre os setores demandantes é de R\$ 2.867.509,79. Essa arrecadação potencial é a terceira maior entre os sete organismos de bacia, inferior apenas aos valores do CBH-PS e da AMPAS, que são os trechos mais populosos. Para as discussões referentes a este organismo de bacia, a Tabela 19 apresenta os resultados necessários.

Tabela 19 – Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários no COMPE

Usuário	Aplicação do valor de Shapley			Cobrança no COMPE	
	Taxa (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo	(%)× 2.867.509,79 (R\$)	Preço-base (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo
1. Indústria	0,0121	2,81	80.396,75	0,0481	11,11
2. Urbano	0,0320	87,35	2.504.825,07	0,0273	74,43
3. Agrícola	0,0006	9,84	282.287,97	0,0010	14,46
Total	-	100,00	2.867.509,79	-	100,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os preços-base, resultantes da adaptação da metodologia de cobrança nova para a que vigorava anteriormente na BRPS, apresentam um pequeno valor destinado ao

setor agrícola (0,001 R\$/m<sup>3</sup>). Destaca-se entre os demais resultados a taxa cobrada do setor industrial (0,0481 R\$/m<sup>3</sup>), bem superior ao valor cobrado do setor urbano (0,0273R\$/m<sup>3</sup>), diferenciando-se das características observadas nos outros organismos de bacia. No entanto, esse comportamento dos preços-base não se dissemina para a porcentagem de cobertura dos custos relacionados aos projetos a serem implantados, onde o setor urbano é responsável pela maior parte da arrecadação (74,43%), sendo a arrecadação do setor industrial (11,11%) menor, inclusive, do que a parte destinada ao setor agrícola, que equivale a 14,46% do valor que representa o custo a ser alocado entre os usuários.

O fato de o setor agrícola ter uma participação maior do que o setor industrial na arrecadação oriunda da cobrança dentro da área de atuação do COMPE deve-se não somente ao fato da forte presença das práticas agrícolas neste trecho da bacia, mas também à reduzida presença do setor industrial que do total de água captada responde por somente 1,3% e do total de água consumida, apenas 0,8%, números deveras inferiores, quando comparados às outras partes da BRPS.

Os valores encontrados por meio da conversão podem ser usados na comparação com a aplicação do valor de Shapley ponderado. Nesta, como foi característico nos outros organismos de bacia, o setor urbano paga o maior valor (0,032 R\$/m<sup>3</sup>), enquanto taxas menores são destinadas ao setor industrial (0,0121 R\$/m<sup>3</sup>) e, principalmente, ao setor agrícola (0,0006 R\$/m<sup>3</sup>). Sob essas taxas, os múltiplos projetos são financiados em sua maior parte pelo setor urbano (87,35%), ao passo que o setor agrícola arca com uma parcela de 9,84%. Parte ainda menor do valor alocado (2,81%) deve ser arrecadada via cobranças oriundas do setor industrial.

Uma vez que o setor urbano é o que mais emite efluentes e, portanto, mais polui as águas deste organismo de bacia, os resultados do valor de Shapley buscaram se adequar a essas características, de modo que o referido setor paga uma taxa superior à dos demais e cobre 87,35% dos valor destinado a financiar os projetos de múltiplos interesses. Como não segue esse critério, a cobrança na área de atuação do COMPE apresentou uma taxa para o setor industrial (0,0481R\$/m<sup>3</sup>) que é bem superior à do setor urbano, mesmo sabendo que a proporção de lançamento de efluentes dos usuários industriais é de 16,16%. Mesmo não seguindo o critério de justiça do valor de Shapley, parte relevante dos custos (74,43%) ainda está reservada ao setor urbano, dada a pequena presença do setor industrial neste organismo de bacia.

**f) Aplicação do valor de Shapley para a área de atuação do BNG-2 (Consórcio Intermunicipal para a Recuperação Ambiental dos Rios Bengala, Negro, Grande e Dois Rios)**

O valor potencialmente arrecadável por este organismo de bacia ao longo de um ano e que será usado como valor a ser alocado entre os setores usuários é de R\$ 821.139,04, como pode ser comprovado no Anexo B. Esse valor de arrecadação potencial é o menor entre os sete organismos de bacia, o que pode ser justificado pelo fato de que BNG-2 é o trecho da BRPS com a menor área e também a menor população residente. A Tabela 20 apresenta os resultados necessários para as análises referentes a este organismo de bacia.

Tabela 20 – Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários no BNG-2

Usuário	Aplicação do valor de Shapley			Cobrança no BNG-2	
	Taxa (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo	(%)× 821.139,04 (R\$)	Preço-base (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo
1. Indústria	0,0106	4,08	33.507,83	0,0380	14,60
2. Urbano	0,0316	86,12	707.144,35	0,0266	72,63
3. Agrícola	0,0007	9,80	80.486,86	0,0010	12,77
Total	-	100,00	821.139,04	-	100,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

Iniciando as análises pela cobrança no BNG-2, nota-se que o setor agrícola apresenta um preço-base notadamente reduzido (0,0010 R\$/m<sup>3</sup>), ao passo que valores mais substanciais são cobrados do setor urbano (0,0266 R\$/m<sup>3</sup>) e, em maior grau, do setor industrial (0,038 R\$/m<sup>3</sup>). A estrutura dos custos destinados a atender aos múltiplos projetos, por sua vez, reflete um comportamento-padrão verificado em quase todos os outros trechos da bacia: o setor urbano cobre grande parte do valor potencialmente arrecadável (72,63%), enquanto o setor industrial (14,60%) e o agrícola (12,77%) cobrem partes menores do custo a ser alocado entre os usuários.

Os resultados obtidos junto à aplicação do valor de Shapley ponderado têm como característica o fato de que os maiores valores são cobrados do setor urbano (0,0316 R\$/m<sup>3</sup>), seguido dos usuários industriais (0,0106 R\$/m<sup>3</sup>) e, com um valor bem inferior, têm-se os usuários agrícolas (0,0007 R\$/m<sup>3</sup>). Sob o governo desses valores, o setor urbano é o mais onerado, tendo que arcar com 86,12% dos custos

referentes aos diversos projetos. Esse resultado não surpreende, já que a proporção dos lançamentos de efluentes (o critério mais relevante) do setor urbano é de 80,86%. No que concerne à participação dos outros setores na alocação do custo, tem-se o seguinte: 4,08% para o setor industrial e 9,80% para o setor agrícola.

Percebe-se que a aplicação do valor de Shapley ponderado gerou resultados em que o setor mais poluente (urbano) apresentou a taxa mais elevada e a maior parcela na cobertura do custo das melhorias. Como a cobrança na área de atuação do BNG-2 não foi construída com base neste critério, a taxa do setor industrial foi maior que a do setor urbano, mesmo este último sendo responsável pela emissão de 80,86% dos efluentes lançados neste trecho da bacia.

**g) Aplicação do valor de Shapley para a área de atuação do GT-FOZ (Consórcio de Municípios e Usuários da Bacia do Rio Paraíba do Sul para a Gestão Ambiental da Unidade Foz)**

Seguindo os cálculos apresentados no Anexo B, o valor equivalente à arrecadação potencial ao longo de um ano no GT-FOZ e que deve ser alocado entre os usuários de água em sua área de atuação é de R\$ 2.244.823,00. Os resultados encontrados para este organismo de bacia e que serão objetos de análise estão delimitados na Tabela 21.

Tabela 21 – Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários no GT-FOZ

Usuário	Aplicação do valor de Shapley			Cobrança no GT-FOZ	
	Taxa (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo	(%) × 2.244.823,00 (R\$)	Preço-base (R\$/m <sup>3</sup> )	% do Custo
1. Indústria	0,0011	2,13	47.804,59	0,0169	33,93
2. Urbano	0,0441	88,00	1.975.452,69	0,0246	49,32
3. Agrícola	0,0006	9,87	221.565,72	0,0010	16,75
Total	-	100,00	2.244.823,00	-	100,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

Observando, de início, os resultados da cobrança, podem-se depreender as seguintes interpretações: os usuários industriais e urbanos, como foi característico dos outros organismos de bacia, são aqueles que apresentam os mais altos valores para o preço-base, sendo, todavia, a taxa cobrada do primeiro (0,0169 R\$/m<sup>3</sup>)

inferior àquela referente ao segundo (0,0246 R\$/m<sup>3</sup>). E, ao setor agrícola, cobra-se uma taxa reduzida (0,0010 R\$/m<sup>3</sup>), que é o menor valor entre os três setores.

Todavia, a alocação do custo dos múltiplos projetos para esses preços tem comportamento um pouco diferente dos demais organismos de bacia. Dessa vez, os setores urbano e industrial já não estão tão distantes, cobrindo, respectivamente, 49,32 e 33,93% da arrecadação. Por sua vez, o setor agrícola tem participação maior se comparado aos outros organismos de bacia, sendo responsável por cobrir 16,75% do valor de R\$ 2.244.823,00, que representa o potencial arrecadável por este organismo de bacia ao longo de um ano. Como justificativa, há o caráter fortemente agrícola desta região, consequência principalmente do cultivo da cana-de-açúcar, e o fato de que os setores industriais e urbanos apresentam percentuais próximos para o total captado e consumido de água, o que não é comum nos outros trechos da bacia.

Nos resultados encontrados sob a tutela da aplicação do valor de Shapley, o comportamento não difere muito dos outros seis organismos de bacia até então analisados: o setor urbano paga um valor, 0,0441 R\$/m<sup>3</sup>, que é significativamente superior às taxas encontradas para o setor industrial (0,0011 R\$/m<sup>3</sup>) e agrícola (0,0006 R\$/m<sup>3</sup>). Neste cenário, o setor urbano é sobrecarregado, arcando com 88% dos custos dos projetos para este trecho da bacia, enquanto o setor agrícola arca com apenas 9,87%; ao setor industrial reserva-se parte menor ainda do custo: cerca de 2,13%.

Ao observar os resultados encontrados para a área de atuação do GT-FOZ, percebe-se que as conclusões não diferem das dos demais organismos de bacia. A aplicação do valor de Shapley seguiu critérios justos, no sentido de que o setor que mais polui – novamente, os usuários urbanos – deve pagar o mais alto preço pelo uso da água e cobrir a maior parte dos custos relacionados aos múltiplos projetos destinados a este organismo de bacia. Entretanto, tal qual os outros trechos da bacia, a cobrança no GT-FOZ não segue o mesmo critério do valor de Shapley, uma vez que o setor urbano, mesmo sendo o maior poluidor, paga um valor relativamente próximo ao dos usuários industriais.

### **5.2.1. Verificação das restrições das racionalidades do grupo e individual nos organismos de bacia**

Do mesmo modo que na primeira aplicação desenvolvida neste trabalho, deve-se, agora, conduzir a verificação das condições das racionalidades individual e do grupo, considerando cada organismo de bacia. Essas condições são necessárias para a existência da coalizão e para que os jogadores alcancem um vetor de resultados que seja viável, como apresentado na seção 4.1.1.

Em todos os trechos considerados da bacia, pode-se observar que as suposições relacionadas à racionalidade foram atendidas. Isso significa que em todas as situações consideradas de coalizão os jogadores estão pagando valores que são inferiores aos que pagariam agindo individualmente, e a soma dos valores pagos por cada um dentro da coalizão esgota o valor total a ser alocado. As comprovações das racionalidades indicam que é vantajoso para os jogadores se associarem e que os resultados encontrados via valor de Shapley estão no *core* do jogo.

Na Tabela 22, encontram-se os cálculos relacionados à verificação dos pressupostos da racionalidade em cada um dos organismos de bacia. Os subscritos 1, 2 e 3 encontrados nas notações apresentadas, identificam os setores industrial, urbano e agrícola, respectivamente.



Tabela 22 - Verificação das restrições de racionalidade para os dados de cada região que compõem a bacia do rio Paraíba do Sul.

Região	Racionalidade do grupo	Racionalidade individual		
	$\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = C(3)$	Setor Industrial	Setor Urbano	Setor Agrícola
		$\Phi_1 \leq C(\{1\})$	$\Phi_2 \leq C(\{2\})$	$\Phi_3 \leq C(\{3\})$
CBH-OS	$124407,46 + 5375213,41 + 536321,36 = 6035942,22$	$124407,46 \leq 937995,05$	$5375213,41 \leq 5638141,11$	$536321,36 \leq 603594,22$
AMPAS	$1036225,05 + 7417840,46 + 27771,79 = 8481837,30$	$1036225,05 \leq 2369487,27$	$7417840,46 \leq 7827407,29$	$27771,79 \leq 181029,49$
PS-1	$14133,57 + 1842015,72 + 78228,95 = 1934378,24$	$14133,57 \leq 173288,79$	$1842015,72 \leq 1912538,49$	$78228,95 \leq 193437,82$
C. Piabanha	$5267,76 + 1153375,34 + 118996,17 = 1277639,28$	$5267,76 \leq 83409,30$	$1153375,34 \leq 1185051,06$	$118996,17 \leq 127763,93$
COMPE	$80396,75 + 2504825,07 + 282287,97 = 2867509,79$	$80396,75 \leq 500774,51$	$2504825,07 \leq 2615400,15$	$282287,97 \leq 286750,98$
BNG-2	$33507,83 + 707144,35 + 80486,86 = 821139,04$	$33507,83 \leq 176697,75$	$707144,35 \leq 750256,85$	$80486,86 \leq 82113,90$
GT-FOZ	$47804,59 + 1975452,69 + 221565,72 = 2244823,00$	$47804,59 \leq 349216,20$	$1975452,69 \leq 2037592,93$	$221565,72 \leq 224482,30$

Em que:

$\Phi_i$  é a alocação de custo destinada ao jogador  $i$ .

$C(3)$  é o custo total a ser alocado.

$C(\{i\})$  é o custo do jogador  $i$  quando ele atua sozinho e não se associa a qualquer coalizão

## 6. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo estudar a alocação de custos de múltiplos projetos de interesse comum entre os usuários de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, tendo como critérios as quantidades captada e consumida de água, além da quantidade lançada de efluentes. Observa-se que, com a adoção desses critérios, tanto os aspectos quantitativos quanto os qualitativos do uso dos recursos hídricos estariam sendo considerados.

Para sua consecução, foi usada a regra de alocação conhecida como valor de Shapley, conceito de solução pertencente ao ramo cooperativo da teoria dos jogos. O valor de Shapley origina um único vetor de solução, que representa as taxas cobradas dos diferentes usuários em um determinado período de tempo, com vistas a cobrir o custo dos projetos a serem implementados. Restringiu-se a análise a somente três jogadores, que são os usuários que causam os maiores impactos nos recursos hídricos: industriais, saneamento urbano e agricultores. A bacia do rio Paraíba do Sul (BRPS), uma das mais importantes do território brasileiro, serviu de fonte de dados para o trabalho.

Para que fosse possível levar em consideração os três critérios, simultaneamente, propôs-se um valor de Shapley ponderado, em que a realidade existente na bacia serviu de base para a escolha dos pesos. A representação de cada critério atrelado a uma ponderação torna possível a construção de diferentes cenários ao se promoverem mudanças nos pesos conforme as características específicas da bacia hidrográfica que estiver sendo analisada. Dessa forma, esta abordagem torna-se útil, uma vez que ela pode se adequar a uma ampla variedade de contextos.

Foram realizadas duas diferentes aplicações. Na primeira, utilizaram-se dados disponíveis para a BRPS como um todo para encontrar os valores a serem cobrados dos diferentes usuários, enquanto que a segunda aplicação descentralizou a cobrança, usando dados relativos a cada um dos sete organismos de bacia existentes na BRPS, onde foram calculadas taxas individuais dentro de suas respectivas áreas de atuação.

Em relação à aplicação realizada para a bacia do rio Paraíba do Sul como um todo, ficou evidente que o resultado extraído da aplicação do valor de Shapley proposto é extremamente dependente do critério adotado. Assim, quando se consideram unicamente os critérios da captação e do consumo de água (cenário da bacia limpa), a alocação do custo sobrecarregou o usuário agrícola, enquanto, ao considerar apenas a quantidade lançada de efluentes (cenário da bacia poluída), a maior parte do custo das melhorias foi destinada ao setor urbano.

Quando os três critérios são considerados juntos, todavia, a questão mais relevante é a exata identificação do cenário, para que se possa escolher o peso de cada critério. Como a BRPS é marcada pela poluição de suas águas, significativa importância foi reservada ao lançamento de efluentes. Os valores encontrados com essa construção não se aproximaram da realidade existente, mostrando-se distantes dos preços-base do cálculo da cobrança na bacia, já que o setor urbano foi sobrecarregado, pagando uma taxa bem superior às dos demais, fazendo com que este fosse responsável por cobrir mais de 88% do valor dos múltiplos projetos. Esse resultado deriva da grande participação do setor urbano na poluição das águas da bacia, uma vez que emite 86,08% da quantidade lançada de efluentes.

Percebe-se que o valor de Shapley, conforme sua definição, é uma regra de alocação justa em relação ao critério usado para seu cálculo. Portanto, se o maior problema da bacia for a poluição, de modo que o peso maior fosse reservado ao critério da quantidade lançada de efluentes, o setor que polui mais pagaria mais, ou seja, o setor urbano. No entanto, o setor urbano não é sempre o mais prejudicado com essa aplicação do valor de Shapley. Isso é decorrência unicamente de características específicas da BRPS.

Em uma situação distinta, tal como uma bacia situada numa região de escassez de recursos hídricos, o peso maior no cálculo do valor de Shapley ponderado seria reservado aos critérios de captação e consumo de água, que afetam o recurso em seu aspecto quantitativo. Portanto, o setor que mais demanda água – que na maioria dos casos é o setor agrícola - teria que pagar mais.

Além disso, o setor urbano só é cobrado em demasia na aplicação proposta em razão do pequeno nível de tratamento existente nos esgotos domésticos lançados nas águas da bacia; por sua vez, sabe-se da presença de um certo número de indústrias que tratam suas águas e a reutilizam em seus processos produtivos, principalmente aquelas de grande porte. Contudo, tal situação poderia se inverter. Se em determinada região houvesse elevado nível de tratamento de esgotos e as indústrias não controlassem suas emissões de poluição, o setor industrial seria aquele que pagaria os mais altos valores. É nesse sentido que repousa a afirmação de que o valor de Shapley é uma regra justa: quem for o principal causador dos custos, deverá arcar com a maior parte deles.

Retornando ao caso da BRPS, o conhecimento de que poderia ser cobrado um alto valor em consequência de seus elevados níveis de emissão de efluentes poderia servir de estímulo para que o setor urbano adotasse práticas menos poluidoras, ou seja, passasse a tratar seus esgotos que são despejados nas águas dos rios, na maioria das vezes, sem nenhum controle. Este cenário não é exclusivo desta bacia; em todo o Brasil, situação precária de saneamento urbano é verificado nas cidades, de tal forma que o efeito do despejo de esgotos nas águas pode chegar a níveis insustentáveis se o setor urbano não for cobrado devidamente ou tiver o estímulo apropriado para adotar práticas mais racionais na utilização da água.

Por sua vez, a segunda aplicação baseou-se nos mesmos pressupostos da primeira, porém, como já foi dito, ela calculou taxas individualizadas para cada organismo de bacia, acreditando que essa possa ser uma abordagem eficiente, uma vez que a cobrança passa a ser descentralizada, considerando especificidades de cada trecho da bacia. Todavia, dado a presença significativa do setor urbano na emissão de efluentes, as conclusões para os organismos de bacia, em geral, se assemelharam àquelas feitas para a bacia como um todo.

Mesmo assim, percebeu-se que certas características próprias de cada região da bacia foram consideradas. Por exemplo, para a área de atuação da AMPAS, em que o setor industrial é significativamente relevante, o resultado lhe reservou uma parcela na alocação dos custos dos projetos, que é a maior entre todos os organismos de bacia. Para o PS-1, em que está localizada a maior fonte de esgotos domésticos na BRPS, o setor urbano apresentou, entre todos, a maior porcentagem para a cobertura dos custos. Para a GT-FOZ, região de grande presença agrícola, este setor apresentou o maior percentual de alocação dos custos dos múltiplos projetos, comparando com

os outros organismos de bacia. Assim, observou-se que a descentralização tornou possível que algumas características exclusivas de cada região fossem consideradas no estabelecimento das taxas e na alocação dos custos.

Portanto, acredita-se que o valor de Shapley ponderado que foi proposto poderia ser um parâmetro do qual a cobrança na bacia do rio Paraíba do Sul deveria se aproximar, já que foi visto que esta última não segue o critério de justiça do valor de Shapley. Esta regra de alocação poderia ser uma base ou uma referência futura para discussões sobre alterações ou aperfeiçoamentos na metodologia de cobrança.

Uma provável razão para que a cobrança na BRPS se afaste dos critérios propostos neste trabalho é que os Comitês são órgão de gestão essencialmente políticos. Em sua formação e nas suas decisões há muita pressão de grupos de interesse (de usuários, representantes do Poder Público e até ativistas ambientais), o que pode causar distorções em relação à cobrança baseada nos conceitos de justiça do usuário-pagador e do poluidor-pagador.

É importante destacar, novamente, que nos cenários em que se levou em conta a poluição dos corpos hídricos na BRPS, o setor urbano pagaria mais pela diluição de efluentes, pois é o maior emissor de DBO, o único parâmetro poluente com dados disponíveis. Se ocorresse a medição de novos parâmetros ou se a poluição difusa fosse mais facilmente medida, a participação do setor industrial e do agrícola poderia aumentar, influenciando no resultado final da alocação de custos.

Em relação às ponderações relacionadas a cada um dos critérios, a escolha destas deve ser discutida amplamente pelos membros participantes dos Comitês de Bacia Hidrográfica antes de sua adoção, uma vez que os valores escolhidos influenciarão diretamente nos resultados do valor de Shapley ponderado. Além disso, por ser uma questão fonte de conflitos, dado que cada usuário defenderá um peso diferente, esta escolha não deve se basear em critérios subjetivos. Porém os pesos devem buscar ser os mais flexíveis possíveis para que sejam alterados quando houver necessidade.

A fórmula apresentada neste trabalho, contudo, não se restringe apenas à BRPS, mas pode ser aplicada em outras bacias, de acordo com o cenário nelas existente, de modo que a correta relação entre os critérios possa ser considerada. A discussão acerca da cobrança pelos recursos hídricos ainda tem muito espaço, pois existem diversas possibilidades a serem adotadas, uma vez que cada comitê tem o poder de estabelecer a metodologia de cobrança dentro de sua área de atuação,

conforme estabelecido pela legislação brasileira. Novas metodologias que tenham como base outros critérios poderão ser desenvolvidas. Para isso, a abordagem utilizada neste trabalho pode ser adaptada a diferentes contextos de cobrança pelo uso da água que possam existir em outras bacias.

Por fim, a questão maior com a qual o trabalho se preocupou, e que não deve ter sua atenção desviada, é a urgência dos problemas relacionados aos recursos hídricos. A essencialidade da água parece não ter sido suficiente para que fosse preservada, o que resultou em consideráveis processos de deterioração quantitativa e qualitativa de um recurso que muitos viam como inesgotável. Uma vez que a dependência da vida humana em relação à água certamente não vai diminuir, é essencial que novas posturas sejam seguidas na gestão, no uso e na conservação da água de nosso planeta.

## REFERÊNCIAS

ADAMS, G.; RAUSSER, G.; SIMON, L. Modelling multilateral negotiations: an application to California water policy. **Journal of Economic Behaviour and Organization**, v. 30, p.97-111, 1996

ALIPRANTIS, C.D.; CHAKRABARTI, S.K. **Games and decision making**. Oxford University Press, New York, 2000. 272 p.

ANA. Cobrança – Paraíba do Sul – Arrecadação e Repasse. Disponível em: <[http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/CobrancaUso/\\_docsArrecadacao/PorSetor-PBS2006.pdf](http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/CobrancaUso/_docsArrecadacao/PorSetor-PBS2006.pdf)>. Acesso em: 12 de outubro de 2008.

BARTH, F.T. Aspectos Institucionais do Gerenciamento de Recursos Hídricos. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p. 563-597.

BORSOI, Z.M. F., TORRES, S. D. A. **A política de recursos hídricos no Brasil**. Revista do BNDES, Rio de Janeiro, dez. 1997. 15 p.

BRASIL. Lei n. 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jan. 1997.

CAMPOS, J.D. **Cobrança pelo uso da água nas transposições da bacia do rio Paraíba do Sul envolvendo o setor elétrico**. 192 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

CAMPOS, V. N. O. Comitê de bacia hidrográfica: um canal aberto à participação e à política? **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 2, n. 2, p. 49-60, 2005.

CARRERA-FERNANDEZ, J.; FERREIRA, P.M. Otimização dos recursos hídricos em sistemas de bacia hidrográfica: o caso da bacia do Rio Formoso, na Bahia. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 33, n. 3, p. 536-553, jul-set. 2002.

CEIVAP. **Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**. Disponível em <<http://www.ceivap.org.br>>. Acesso em: 30 de agosto de 2008.

CIRINO, J.F. **Valoração contingente da área de proteção ambiental (APA) São José-MG: um estudo de caso**. 140 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Departamento de Economia Rural, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

CONRAD, J. M.; CLARK, C. W. **Natural resource economics: notes and problems**. New York: Cambridge University Press, 1987. 231 p.

COPPETEC, Fundação – Laboratório de hidrologia e estudos de meio ambiente. **Plano de recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul**. Resende: AGEVAP, 2007a. 201 p.

COPPETEC, Fundação – Laboratório de hidrologia e estudos de meio ambiente. **Plano de recursos hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Caderno de ações área de atuação do CBH-PS**. Resende: AGEVAP, 2007b. 140 p.

COPPETEC, Fundação – Laboratório de hidrologia e estudos de meio ambiente. **Plano de recursos hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Caderno de ações área de atuação da AMPAS**. Resende: AGEVAP, 2007c. 123 p.

COPPETEC, Fundação – Laboratório de hidrologia e estudos de meio ambiente. **Plano de recursos hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Caderno de ações área de atuação do PS-1**. Resende: AGEVAP, 2007d. 121 p.

COPPETEC, Fundação – Laboratório de hidrologia e estudos de meio ambiente. **Plano de recursos hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Caderno de ações área de atuação do Piabanha**. Resende: AGEVAP, 2007e. 127 p.

COPPETEC, Fundação – Laboratório de hidrologia e estudos de meio ambiente. **Plano de recursos hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Caderno de ações área de atuação do COMPE**. Resende: AGEVAP, 2007f. 141 p.

COPPETEC, Fundação – Laboratório de hidrologia e estudos de meio ambiente. **Plano de recursos hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Caderno de ações área de atuação do BNG-2**. Resende: AGEVAP, 2007g. 121 p.

COPPETEC, Fundação – Laboratório de hidrologia e estudos de meio ambiente. **Plano de recursos hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Caderno de ações área de atuação do GT-FOZ**. Resende: AGEVAP, 2007h. 129 p.

EICHBERGER, J. **Game theory for economists**. Bingley, Emerald, 2007. 315 p.



FIANI, R. **Teoria dos jogos: para cursos de economia e administração**. Rio de Janeiro: Campus, 2004. 408 p.

FORMIGA-JOHNSON, R. M.; KUMLER, L.; LEMOS, M.C. The politics of bulk water pricing in Brazil: lessons from the Paraíba do Sul basin. **Water Policy**, v. 9, p. 87-104, 2007.

FREEBAIRN, J. Principles for the allocation of scarce water. **The Australian Economic Review**, v. 36, n. 2, p. 203-212, 2003.

GRUBEN, A.; LOPES, P.D.; FORMIGA-JOHNSON, R.M. **A bacia do rio Paraíba do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais – 2001**. Brasília: Projeto Marca d'água Relatórios Preliminares, 2002. 78 p.

HART, S. Shapley value. In: EATWELL, J.; MILGRATE, M.; NEWMAN, P. **The New Palgrave: Game Theory**. New York, W W Norton, 1989.

LANNA, A.E.L. Hidroeconomia. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p. 531-562.

LOEHMAN, E.; ORLANDO, J.; TSCHIRHART, J.; WHINSTON, A. Cost allocation for a regional wastewater treatment system. **Water Resources Research**, vol. 15, n. 2, 193-202, 1979.

MAS-COLELL, A.; WHINSTON, M.; GREEN, J. **Microeconomic Theory**. New York: Oxford University Press, 1995. 981 p.

MONTET, C.; SERRA, D. **Game theory and economics**. New York: Palgrave Macmillan, 2003. 487 p.

MYERSON, R. B. **Game theory: an analysis of conflict**. Harvard University Press, Cambridge, 1991. 568 p.

OSBORNE, M. J.; RUBINSTEIN, A. **A course in game theory**. MIT Press, Cambridge, 1994. 352 p.

PEARCE, D. W.; TURNER, R.K. **Economics of Natural Resources and the Environment**. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1990. 378 p.

PEIXOTO FILHO, A.S.; BONDAROVSKY, S.H. Água, bem econômico e de domínio público. **R. CEJ**, Brasília, n. 12, p. 13-16, set-dez. 2000.

REBOUÇAS, A.C. Água Doce no Mundo e no Brasil. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p. 01-37.

SEROA DA MOTTA, R.; THOMAS, A.; REYNAUD, A., FERES, J. **Demanda por água e custo de controle da poluição hídrica em indústrias da bacia do rio Paraíba do Sul**. Anais do XXXIV Encontro Nacional de Economia. ANPEC –

Associação Nacional dos Centros de Pós-Graduação em Economia, Salvador, 2006. 18 p.

SERRANO, R. **Cooperative games: core and shapley value**. Department of Economics, Brown University and IMDEA-Social Sciences, 2007. 20 p.

SHAPLEY, L. S. **A Value for n-person games**. Princeton University Press, p. 307-317, 1953.

SIMON, L. K.; GOODHUE, R. E.; RAUSSER, G. C.; THOYER, S.; MORARDET, S.; RIO, P. **Structure and power in multilateral negotiations: an application to French water policy**. Giannini Foundation of Agricultural Economics, University of California, Monograph Series, paper 47, 2007. 54 p.

SQUEFF, E. **Os rios, entre a vida e a morte**. Revista Água e Energia, outubro de 1998. Disponível em <<http://www.dae.sp.gov.br/cgi-bin/Carrega.exe?arq=/acervoepesquisa/relatorios/revista/index.html>>. Acesso em 28 de setembro de 2008.

SUZUKI, M.; NAKAYAMA, M. The cost assignment of the cooperative water resource development: a game theoretical approach. **Management Science**, v. 22, n. 10, p. 1081-1086, 1976.

TELLES, D.D. Água na agricultura e Pecuária. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p. 305-337.

THOMAS, P. T. **Proposta de uma metodologia de cobrança pelo uso da água vinculada à escassez**. 139 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - COPPE/UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

THOYER, S.; MORARDET, S.; RIO, P.; SIMON, L.; GOODHUE, R.; RAUSSER, G. A bargaining model to simulate negotiations between water uses. **Journal of Artificial Societies and Social Simulation**, v. 4, n. 2, p. 1-25, 2001.

TIETENBERG, T. **Environmental and natural resource economics**. New York: Addison-Wesley, 2000. 630 p.

TUNDISI, J.G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 55, n. 4, p. 31-33, out-dez. 2003.

TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T.M.; ROCHA, O. Ecossistemas de águas interiores. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p. 153-194.

VARIAN, H. R. **Microeconomic Analysis**. 3. ed. New York: W. W. Norton & Company, 1992. 506 p.

VARIAN, H. R. **Microeconomia: princípios básicos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2003. 778 p.

YOUNG, H.P.; OKADA, N.; HASHIMOTO, T. Cost allocation in water resources development. **Water resources research**, vol. 18, n. 3, 463-475, 1982.

YOUNG, H.P. Cost allocation. In: AUMANS, R.J.; HART, S. **Handbook of Game Theory, volume 2**. New York: Elsevier Science, 1994. p. 1192-1235.

**ANEXOS**

## ANEXO A

**A.1. Cobrança pelo uso da água na bacia do rio Paraíba do Sul - metodologia vigente até o ano de 2006**

Após um extenso processo de debates sobre a metodologia de cobrança pelo uso da água, o CEIVAP aprovou, em março de 2001 uma metodologia que esteve em vigência no período 2003-2006. A fórmula da cobrança foi definida com base nos usuários de água e tendo três critérios como fator gerador – captação, consumo e lançamento de efluentes (DBO) – conforme indicado abaixo.

$$C = \underbrace{Q_{cap} \times K_0 \times PPU}_{\text{captação}} + \underbrace{Q_{cap} \times K_1 \times PPU}_{\text{consumo}} + \underbrace{Q_{cap} \times (1 - K_1) \times (1 - K_2 K_3) \times PPU}_{\text{lançamento de efluentes (DBO)}}$$

Onde:

$Q_{cap}$  = volume de água captada ( $m^3/s$ ), fornecido pelo usuário;

$K_0$  = multiplicador de preço unitário para captação, definido pelo CEIVAP;

$K_1$  = coeficiente de consumo para a atividade em questão, ou seja, a relação entre o volume consumido e o volume captado pelo usuário (ou o índice correspondente à parte do volume captado que não é devolvido ao rio), fornecido pelo usuário;

$K_2$  = percentual do volume de efluentes tratados em relação ao volume total de efluentes produzidos (ou índice de cobertura de tratamento de efluentes doméstico ou industrial). Quanto maior o volume tratado, menor o preço do lançamento de DBO. Informação fornecida pelo usuário;

$K_3$  = nível de eficiência de redução de DBO na estação de tratamento de efluentes. Quanto maior o nível de eficiência, menor o preço de lançamento de DBO. Informação fornecida pelo usuário

$PPU$  = Preço Público Unitário constituindo o preço-base do valor final da cobrança pela captação, consumo e lançamento de DBO ( $R\$/m^3$ ), definido pelo CEIVAP.

A metodologia em questão pode ser dividida em três partes. A primeira parcela corresponde ao volume de água captado no manancial, a segunda, está relacionada ao volume de água efetivamente consumido, ao passo que a terceira parcela corresponde

ao despejo de efluentes nos corpos hídricos. Esta base de cálculo objetivava, assim, dar importância aos aspectos quantitativos (captação e consumo) e qualitativos (DBO) do uso da água.

O preço-base da cobrança (PPU) foi definido pelo CEIVAP por meio da realização de diversas simulações que consideraram o montante total a ser arrecadado e o impacto da cobrança sobre os usuários, de modo que nenhum destes fosse sobrecarregado. Deste modo, definiu-se o preço-base como 0,02 R\$/m<sup>3</sup> para os setores urbano e industrial e 0,0005 R\$/m<sup>3</sup> para o setor agrícola<sup>29</sup>. Sobre este último, ainda foi imposta a restrição de que o impacto da cobrança não poderia exceder a 0,5% dos custos de produção.

## A.2. Cálculo do valor potencialmente arrecadável ao longo de um ano

Nesta seção aplicou-se a fórmula da cobrança vigente entre 2003-2006 para encontrar o valor potencialmente arrecadável por esta metodologia ao longo de um ano, considerando a hipótese de que todos os usuários de água na BRPS pagassem pelo seu uso. O objetivo do cálculo deste valor foi utilizá-lo como custo a ser alocado pelo valor de Shapley entre os usuários de água na aplicação desenvolvida na seção 5.1.

A utilização da arrecadação potencial como valor de custo que deve ser alocado entre os demandantes de água tem a vantagem de que, como ela foi encontrada aplicando a própria fórmula da cobrança, os resultados extraídos da aplicação do valor de Shapley podem ser diretamente comparáveis com o preço-base da água definido pelo CEIVAP quando da adoção da metodologia.

A definição dos coeficientes ocorreu da seguinte forma. Os valores de  $Q_{cap}$  e  $K_1$  que representam, respectivamente, as quantidades captada de água e o coeficiente de consumo para cada usuário estão disponíveis diretamente no Plano de Recurso Hídricos. O coeficiente  $K_0$  foi definido pelo CEIVAP como 0,4. Já o valor de  $K_2$  no caso da indústria é igual a 1, conforme recomendação do CEIVAP para o caso de não haverem informações mais precisas e igual a 0,18 para o setor urbano de acordo com dados presentes no Plano de Recursos Hídricos. Por fim, para o coeficiente  $K_3$ ,

---

<sup>29</sup> Estes três setores correspondem por quase a totalidade do uso da água. Todavia, também foram estabelecidos preços a outros setores, mesmo tendo impactos irrelevantes. Assim definiu-se um preço-base de 0,02 R\$/m<sup>3</sup>, para a mineração de areia e 0,0004 R\$/m<sup>3</sup> para a aquíicultura.

adotou-se a recomendação do CEIVAP para o qual, na ausência de melhores informações, este assumiria um valor de 0,9 para o setores urbano e industrial.

Com a aplicação de todos estes valores disponíveis na fórmula da cobrança foi possível encontrar o valor da arrecadação potencial ao longo de um ano, qual seja, R\$ 23.087.612,82, de acordo com cálculos a seguir, em que  $C_{ind}$ ,  $C_{urb}$  e  $C_{agro}$  representam, respectivamente, os valores arrecadados com a cobrança sob os setores industrial, urbano e agrícola.

$$C_{ind} = \underbrace{Q_{cap} \times K_0 \times PPU}_{\text{captação}} + \underbrace{Q_{cap} \times K_1 \times PPU}_{\text{consumo}} + \underbrace{Q_{cap} \times (1 - K_1) \times (1 - K_2 K_3) \times PPU}_{\text{lançamento de efluentes (DBO)}}$$

$$C_{ind} = 430.781.760 \times 0,4 \times 0,02 + 195.838.560 \times 0,02 + (430.781.760 - 195.838.560) \times (1 - 0,9) \times 0,02$$

$$C_{ind} = 7.832.911,68$$

$$C_{urb} = \underbrace{Q_{cap} \times K_0 \times PPU}_{\text{captação}} + \underbrace{Q_{cap} \times K_1 \times PPU}_{\text{consumo}} + \underbrace{Q_{cap} \times (1 - K_1) \times (1 - K_2 K_3) \times PPU}_{\text{lançamento de efluentes (DBO)}}$$

$$C_{urb} = 567.332.640 \times 0,4 \times 0,02 + 113.529.600 \times 0,02 + (567.332.640 - 113.529.600) \times (1 - 0,18 \times 0,9) \times 0,02$$

$$C_{urb} = 14.414.992,07$$

$$C_{agro} = \underbrace{Q_{cap} \times K_0 \times PPU}_{\text{captação}} + \underbrace{Q_{cap} \times K_1 \times PPU}_{\text{consumo}} + \underbrace{Q_{cap} \times (1 - K_1) \times (1 - K_2 K_3) \times PPU}_{\text{lançamento de efluentes (DBO)}}$$

$$C_{agro} = 1.676.453.760 \times 0,4 \times 0,0005 + 1.008.836.640 \times 0,0005$$

$$C_{agro} = 839.709,07$$

$$VALOR_{TOTAL} = C_{ind} + C_{urb} + C_{agro} = 23.087.612,82$$

## ANEXO B

### B.1. Cobrança pelo uso da água na bacia do rio Paraíba do Sul – metodologia em vigência desde 2007

Durante todo o período 2003-2006, mesmo com uma metodologia já em aplicação, muitas discussões foram conduzidas visando a sua evolução. Assim, a partir do ano de 2007 o CEIVAP adotou uma nova metodologia de cobrança estabelecendo fórmulas diferentes para cada uso da água, apoiando-se nos seguintes preços-base: 0,01 R\$/m<sup>3</sup> para a captação; 0,02 R\$/m<sup>3</sup> para o consumo e 0,07 R\$/kg para o lançamento de efluentes. A seguir são descritas as fórmulas de cobrança para estes três usos.<sup>30</sup>

### B.2. Captação

A cobrança pela captação de água será feita de acordo com a seguinte equação:

$$VALOR_{cap} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse}$$

Onde:

$VALOR_{cap}$  = pagamento anual pela captação de água, em R\$/ano;

$Q_{cap}$  = volume anual de água captado, em m<sup>3</sup>/ano, segundo valores da outorga ou verificados pelo organismo outorgante;

$PPU_{cap}$  = Preço Público Unitário, preço-base, para a captação superficial, em R\$/m<sup>3</sup>;

$K_{capclasse}$  = coeficiente que leva em conta a classe de enquadramento do corpo d'água no qual se faz a captação. Pode-se generalizar o valor de 0,9 para toda a bacia

### B.3. Consumo

O consumo de água na BRPS será cobrado pela fórmula abaixo:

$$VALOR_{cons} = (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT})$$

<sup>30</sup> Na proposta aprovada pelo CEIVAP, são considerados outros usos d'água que não foram descritos por fugirem do escopo deste trabalho. Entre estes tem-se a transposição de bacias, aproveitamento de potencial hidrelétrico, mineração de areia em leito de rio e aquíicultura.



Onde:

$VALOR_{cons}$  = pagamento anual pelo consumo de água, em R\$/ano;

$Q_{cap} - Q_{lanç}$  = representa o volume anual de água consumido, em m<sup>3</sup>/ano. É definido pelo volume anual de água captado ( $Q_{cap}$ ) menos o volume anual de água lançado no corpo hídrico ( $Q_{lanç}$ ).

$PPU_{cons}$  = Preço Público Unitário, preço-base, para o consumo de água, em R\$/m<sup>3</sup>;

$Q_{cap} / Q_{capT}$  = relação entre o volume anual de água captado em corpos d'água de domínio da União ( $Q_{cap}$ ) e o volume anual de água captado total. Este termo permite a ponderação da cobrança pelo consumo entre a União e os Estados, tendo em vista que muitos usuários possuem captações em corpos d'água de diferentes dominialidades.

Para o caso específico da agricultura de irrigação, a cobrança pelo consumo de água será feita de acordo com a seguinte equação:

$$VALOR_{cons} = Q_{cap} \times PPU_{cons} \times K_{cons}$$

O único coeficiente novo nesta fórmula é  $K_{cons}$  que representa a parte da água utilizada na irrigação que não retorna aos corpos d'água. O CEIVAP estabeleceu que o valor de  $K_{cons}$  será igual a 0,5

#### **B.4. Lançamento de efluentes**

O uso de lançamento ou diluição é o uso de uma quantidade definida de água para diluir uma carga poluente de DBO lançada no corpo hídrico. O CEIVAP propôs a seguinte fórmula para o cálculo do uso de lançamento:

$$VALOR_{DBO} = PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

Onde:

$VALOR_{DBO}$  = pagamento anual pelo lançamento, em R\$/ano;

$PPU_{DBO}$  = Preço Público Unitário, preço-base, para o lançamento de efluentes, em R\$/kg;

$CO_{DBO}$  = carga de DBO lançada, em kg/ano. É calculada por meio da multiplicação da concentração média anual de DBO lançada, em kg/m<sup>3</sup>, pelo volume anual de água lançado, em m<sup>3</sup>/ano.

### B.5. Cobrança ao setor agrícola<sup>31</sup>

As fórmulas apresentadas anteriormente ainda não esgotam a cobrança que é feita ao setor agrícola que é efetuada de acordo com a seguinte equação:

$$VALOR_{agro} = (VALOR_{cap} + VALOR_{cons}) \times K_{agro}$$

Onde:

$VALOR_{agro}$  = pagamento anual pela captação e pelo consumo de água para usuários do setor agrícola, em R\$/ano;

$VALOR_{cap}$  = pagamento anual pela captação de água, calculado conforme metodologia já definida, em R\$/ano;

$VALOR_{cons}$  = pagamento anual pelo consumo de água, calculado conforme metodologia já definida, em R\$/ano;

$K_{agro}$  = coeficiente que leva em conta as boas práticas de uso e conservação da água na propriedade rural onde se dá o uso de recursos hídricos. Definido inicialmente pelo CEIVAP como igual a 0,05.

### B.6. Cálculo do valor potencialmente arrecadável ao longo de um ano em cada organismo de bacia

Seguindo as fórmulas apresentadas anteriormente pode-se calcular os valores da arrecadação potencial com a nova metodologia de cobrança em cada um dos sete organismos de bacia. Estes valores foram usados na seção 5.2 como o custo a ser alocado entre os usuários de recursos hídricos. Nos cálculos a seguir,  $VALOR_{ind}$ ,  $VALOR_{urb}$  e  $VALOR_{agro}$  representam, respectivamente, os valores potencialmente arrecadáveis com a cobrança sob os setores industrial, urbano e agrícola. A soma deste três, em cada organismo de bacia, representa o valor total que será usado na aplicação do valor de Shapley.

---

<sup>31</sup> Fórmula válida também para os setores pecuária e aqüicultura.

### a) Arrecadação potencial em CBH-PS

$$VALOR_{ind} = VALOR_{cap} + VALOR_{cons} + VALOR_{DBO}$$

$$VALOR_{ind} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT}) + PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

$$VALOR_{ind} = 70.640.640 \times 0,01 \times 0,9 + 21.444.480 \times 0,02 \times 1 + 0,07 \times 4.062.450$$

$$VALOR_{ind} = 1.349.026,86$$

$$VALOR_{urb} = VALOR_{cap} + VALOR_{cons} + VALOR_{DBO}$$

$$VALOR_{urb} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT}) + PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

$$VALOR_{urb} = 194.261.760 \times 0,01 \times 0,9 + 39.104.640 \times 0,02 \times 1 + 0,07 \times 25.842.000$$

$$VALOR_{urb} = 4.339.388,64$$

$$VALOR_{agro} = (VALOR_{cap} + VALOR_{cons}) \times K_{agro}$$

$$VALOR_{agro} = (Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + Q_{cap} \times PPU_{cons} \times K_{cons}) \times K_{agro}$$

$$VALOR_{agro} = (365.817.600 \times 0,01 \times 0,9 + 365.817.600 \times 0,02 \times 0,5) \times 0,05$$

$$VALOR_{agro} = 347.526,72$$

$$VALOR_{TOTAL} = VALOR_{ind} + VALOR_{urb} + VALOR_{agro} = 6.035.942,22$$

### b) Arrecadação potencial em AMPAS

$$VALOR_{ind} = VALOR_{cap} + VALOR_{cons} + VALOR_{DBO}$$

$$VALOR_{ind} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT}) + PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

$$VALOR_{ind} = 296.438.400 \times 0,01 \times 0,9 + 155.157.120 \times 0,02 \times 1 + 0,07 \times 3.274.050$$

$$VALOR_{ind} = 6.000.271,50$$

$$VALOR_{urb} = VALOR_{cap} + VALOR_{cons} + VALOR_{DBO}$$

$$VALOR_{urb} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT}) + PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

$$VALOR_{urb} = 98.076.960 \times 0,01 \times 0,9 + 19.552.320 \times 0,02 \times 1 + 0,07 \times 16.428.650$$

$$VALOR_{urb} = 2.423.744,54$$

$$VALOR_{agro} = (VALOR_{cap} + VALOR_{cons}) \times K_{agro}$$

$$VALOR_{agro} = (Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + Q_{cap} \times PPU_{cons} \times K_{cons}) \times K_{agro}$$

$$VALOR_{agro} = (60.864.480 \times 0,01 \times 0,9 + 60.864.480 \times 0,02 \times 0,5) \times 0,05$$

$$VALOR_{agro} = 57.821,26$$

$$VALOR_{TOTAL} = VALOR_{ind} + VALOR_{urb} + VALOR_{agro} = 8.481.837,30$$

### c) Arrecadação potencial em PS-1

$$VALOR_{ind} = VALOR_{cap} + VALOR_{cons} + VALOR_{DBO}$$

$$VALOR_{ind} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT}) + PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

$$VALOR_{ind} = 4.415.040 \times 0,01 \times 0,9 + 1.261.440 \times 0,02 \times 1 + 0,07 \times 1.025.650$$

$$VALOR_{ind} = 136.759,66$$

$$VALOR_{urb} = VALOR_{cap} + VALOR_{cons} + VALOR_{DBO}$$

$$VALOR_{urb} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT}) + PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

$$VALOR_{urb} = 76.317.120 \times 0,01 \times 0,9 + 15.137.280 \times 0,02 \times 1 + 0,07 \times 11.059.500$$

$$VALOR_{urb} = 1.763.764,68$$

$$VALOR_{agro} = (VALOR_{cap} + VALOR_{cons}) \times K_{agro}$$

$$VALOR_{agro} = (Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + Q_{cap} \times PPU_{cons} \times K_{cons}) \times K_{agro}$$

$$VALOR_{agro} = (35.635.680 \times 0,01 \times 0,9 + 35.635.680 \times 0,02 \times 0,5) \times 0,05$$

$$VALOR_{agro} = 33.853,90$$

$$VALOR_{TOTAL} = VALOR_{ind} + VALOR_{urb} + VALOR_{agro} = 1.934.378,24$$

#### d) Arrecadação potencial em Comitê Piabanha

$$VALOR_{ind} = VALOR_{cap} + VALOR_{cons} + VALOR_{DBO}$$

$$VALOR_{ind} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT}) + PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

$$VALOR_{ind} = 3.784.320 \times 0,01 \times 0,9 + 1.261.440 \times 0,02 \times 1 + 0,07 \times 496.400$$

$$VALOR_{ind} = 94.035,68$$

$$VALOR_{urb} = VALOR_{cap} + VALOR_{cons} + VALOR_{DBO}$$

$$VALOR_{urb} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT}) + PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

$$VALOR_{urb} = 44.781.120 \times 0,01 \times 0,9 + 8.830.080 \times 0,02 \times 1 + 0,07 \times 7.143.050$$

$$VALOR_{urb} = 1.079.645,18$$

$$VALOR_{agro} = (VALOR_{cap} + VALOR_{cons}) \times K_{agro}$$

$$VALOR_{agro} = (Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + Q_{cap} \times PPU_{cons} \times K_{cons}) \times K_{agro}$$

$$VALOR_{agro} = (109.429.920 \times 0,01 \times 0,9 + 109.429.920 \times 0,02 \times 0,5) \times 0,05$$

$$VALOR_{agro} = 103.958,42$$

$$VALOR_{TOTAL} = VALOR_{ind} + VALOR_{urb} + VALOR_{agro} = 1.277.639,28$$

#### e) Arrecadação potencial em COMPE

$$VALOR_{ind} = VALOR_{cap} + VALOR_{cons} + VALOR_{DBO}$$

$$VALOR_{ind} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT}) + PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

$$VALOR_{ind} = 6.622.560 \times 0,01 \times 0,9 + 2.207.520 \times 0,02 \times 1 + 0,07 \times 3.069.650$$

$$VALOR_{ind} = 318.628,94$$

$$VALOR_{urb} = VALOR_{cap} + VALOR_{cons} + VALOR_{DBO}$$

$$VALOR_{urb} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT}) + PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

$$VALOR_{urb} = 78.209.280 \times 0,01 \times 0,9 + 15.768.000 \times 0,02 \times 1 + 0,07 \times 15.928.600$$

$$VALOR_{urb} = 2.134.245,52$$

$$VALOR_{agro} = (VALOR_{cap} + VALOR_{cons}) \times K_{agro}$$

$$VALOR_{agro} = (Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + Q_{cap} \times PPU_{cons} \times K_{cons}) \times K_{agro}$$

$$VALOR_{agro} = (436.458.240 \times 0,01 \times 0,9 + 436.458.240 \times 0,02 \times 0,5) \times 0,05$$

$$VALOR_{agro} = 414.635,33$$

$$VALOR_{TOTAL} = VALOR_{ind} + VALOR_{urb} + VALOR_{agro} = 2.867.509,79$$

#### f) Arrecadação potencial em BNG-2

$$VALOR_{ind} = VALOR_{cap} + VALOR_{cons} + VALOR_{DBO}$$

$$VALOR_{ind} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT}) + PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

$$VALOR_{ind} = 3.153.600 \times 0,01 \times 0,9 + 946.080 \times 0,02 \times 1 + 0,07 \times 1.036.600$$

$$VALOR_{ind} = 119.866,00$$

$$VALOR_{urb} = VALOR_{cap} + VALOR_{cons} + VALOR_{DBO}$$

$$VALOR_{urb} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT}) + PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

$$VALOR_{urb} = 22.390.560 \times 0,01 \times 0,9 + 4.415.040 \times 0,02 \times 1 + 0,07 \times 4.380.000$$

$$VALOR_{urb} = 596.415,84$$

$$VALOR_{agro} = (VALOR_{cap} + VALOR_{cons}) \times K_{agro}$$

$$VALOR_{agro} = (Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + Q_{cap} \times PPU_{cons} \times K_{cons}) \times K_{agro}$$

$$VALOR_{agro} = (110.376.000 \times 0,01 \times 0,9 + 110.376.000 \times 0,02 \times 0,5) \times 0,05$$

$$VALOR_{agro} = 104.857,20$$

$$VALOR_{TOTAL} = VALOR_{ind} + VALOR_{urb} + VALOR_{agro} = 821.139,04$$

### g) Arrecadação potencial em GT-FOZ

$$VALOR_{ind} = VALOR_{cap} + VALOR_{cons} + VALOR_{DBO}$$

$$VALOR_{ind} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT}) + PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

$$VALOR_{ind} = 45.096.480 \times 0,01 \times 0,9 + 13.560.480 \times 0,02 \times 1 + 0,07 \times 1.208.150$$

$$VALOR_{ind} = 761.648,00$$

$$VALOR_{urb} = VALOR_{cap} + VALOR_{cons} + VALOR_{DBO}$$

$$VALOR_{urb} = Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + (Q_{cap} - Q_{lanç}) \times PPU_{cons} \times (Q_{cap} / Q_{capT}) + PPU_{DBO} \times CO_{DBO}$$

$$VALOR_{urb} = 45.096.480 \times 0,01 \times 0,9 + 9.145.440 \times 0,02 \times 1 + 0,07 \times 7.405.850$$

$$VALOR_{urb} = 1.107.186,62$$

$$VALOR_{agro} = (VALOR_{cap} + VALOR_{cons}) \times K_{agro}$$

$$VALOR_{agro} = (Q_{cap} \times PPU_{cap} \times K_{capclasse} + Q_{cap} \times PPU_{cons} \times K_{cons}) \times K_{agro}$$

$$VALOR_{agro} = (395.776.800 \times 0,01 \times 0,9 + 395.776.800 \times 0,02 \times 0,5) \times 0,05$$

$$VALOR_{agro} = 375.987,96$$

$$VALOR_{TOTAL} = VALOR_{ind} + VALOR_{urb} + VALOR_{agro} = 2.244.823,00$$