



IX

**Encontro da Sociedade
Brasileira de Economia
Ecológica**

Brasília, 4 a 8 de Outubro de 2011

Políticas Públicas e a Perspectiva da Economia Ecológica

IX ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO
Outubro de 2011
Brasília - DF - Brasil

**COBRANÇA PELO USO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO TRECHO SUL FLUMINENSE DA
BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL UTILIZANDO A METODOLOGIA DO VALOR DE SHAPLEY**

Gil Bracarense Leite (UFF) - gilbracarense@id.uff.br

Economista, Professor do Departamento Multidisciplinar, Universidade Federal Fluminense - Campus Volta Redonda.

Wilson da Cruz Vieira (UFV) - wvieira@ufv.br

Professor Associado do Departamento de Economia Rural, Universidade Federal de Viçosa.

Cobrança pelo uso dos recursos hídricos no trecho sul fluminense da bacia do rio Paraíba do Sul utilizando a metodologia do valor de Shapley

SEÇÃO: A) Sustentabilidade dos Biomas Brasileiros e as Políticas Públicas

SUB-SEÇÃO: Metodologias, aplicações e políticas de valoração e de outros instrumentos econômicos, tais como pagamentos por serviços ambientais e ecossistêmicos relativos aos biomas, impostos, subsídios, etc.

Resumo: Este trabalho objetivou aplicar uma metodologia de cobrança pelo uso de recursos hídricos entre os setores demandantes de água em uma bacia hidrográfica. Essa metodologia consiste na regra de alocação do valor de Shapley, pertencente à teoria de jogos cooperativos, e, para mostrar sua aplicabilidade, realizou-se um estudo de caso no trecho sul fluminense da bacia do rio Paraíba do Sul. Os critérios de cobrança utilizados foram a captação e o consumo de água e a quantidade lançada de efluentes. Na aplicação da metodologia, buscou-se considerar informações que levassem à construção de um cenário próximo da realidade observada no trecho analisado, de forte presença industrial. Os valores encontrados indicaram que os usuários urbanos deveriam arcar com os maiores valores, já que estes são os que mais lançam efluentes, sendo a deterioração qualitativa da água o problema de maior relevância na bacia. Todavia, como a região tem a especificidade de ser a única em que o setor industrial é o maior demandante de água, o valor pago pelas indústrias não se mostrou tão distante do setor urbano, como aconteceria em outras partes da bacia.

Palavras-chave: água, cobrança, valor de Shapley, bacia do rio Paraíba do Sul.

Abstract: This study aimed to implement a methodology for charging for the use of water resources between the demanding sectors of water in a watershed. This methodology consists of the allocation rule of the Shapley value, belonging to the theory of cooperative games, and to show its applicability, we performed a case study in the southern section of the Paraíba do Sul river basin. As criteria for allocation of costs, was used the volumes of water withdrawn and consumed, and the amount of effluent discharged into the river. When applying the method, we tried to consider information leading to the construction of a scenario closer to reality observed in the stretch analyzed, a region of strong industrial presence. The obtained results showed that urban users should bear the higher values, since these users are among those that greatly discharge effluents, being the deterioration of water quality the most relevant problem in this basin. However, as the region has the specificity to be the only in which industries are the largest consumer of water, the amount paid by the industries was not so far from the urban sector, as happened in other parts of the basin.

Keywords: water, charge, Shapley value, Paraíba do Sul river basin.

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais de maior importância em nossas vidas. Contudo, a expansão das atividades econômicas fez com que muitos países observassem problemas na qualidade de suas águas, o que tem gerado redução na sua disponibilidade (REBOUÇAS, 2002). Ademais, a dispersão geográfica dos recursos hídricos é bastante dispar, o que, segundo Tundisi (2003), somado à precária gestão ambiental e ao desperdício no seu uso, tem feito esse bem se tornar cada vez mais escasso até em regiões com boa provisão de água doce.

Ou seja, a essencialidade da água não foi suficiente para que fosse preservada. Uma vez que sua utilização atende a objetivos diversos – dentre os quais se tem agricultura, pesca, indústria, abastecimento urbano, turismo, navegação, etc. – torna-se primordial a adoção de instrumentos eficientes de gestão que busquem uma alocação adequada da água entre seus múltiplos usos.

No Brasil, a gestão das águas deve ocorrer no âmbito das bacias hidrográficas. A lei determinou a criação de comitês – órgãos responsáveis pela gestão em cada bacia – e que são formados por representantes do poder público, usuários das águas e entidades civis. O número de representantes de cada setor e os critérios para sua indicação, será estabelecido nos regimentos de cada comitê. Entre as competências que lhes são atribuídas em sua área de atuação, destacam-se (BRASIL, 1997): i) promover o debate das questões relacionadas com recursos hídricos; ii) estabelecer mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados; e iii) estabelecer critérios e promover o rateio de custo das obras de uso múltiplo, de interesse comum ou coletivo.

A partir deste cenário, surgiram estudos para tratar da cobrança pelo uso da água e do rateio de custos que são, como citados, importantes atribuições reservadas aos comitês. A bacia do rio Paraíba do Sul (BRPS), uma das mais importantes do Brasil, foi tema de muitos desses estudos, já que foi uma das primeiras a instalar um comitê.

Todavia, os estudos até aqui desenvolvidos deixaram questionamentos para futuras pesquisas. Um desses questionamentos é que a extensão territorial da BRPS (em três diferentes estados) pode trazer obstáculos à eficiência da gestão

das águas¹. Por esse motivo, uma análise mais descentralizada, que leve em conta as diferentes regiões que compõem a bacia, pode ter maior sensibilidade para captar especificidades de cada área.

A BRPS é dividida em sete regiões hidrográficas que se diferenciam no que tange à presença de agricultura, atividades industriais, etc. Dentre essas regiões, o sul fluminense está entre as que apresentam o maior número de características peculiares que se afastam do restante da bacia, justificando uma análise mais minuciosa, pois, tem reduzida presença de atividades agropecuárias, o que é incomum em outras áreas e tem significativo destaque no setor industrial (COPPETEC, 2007).

Por esta razão, o presente artigo objetivou analisar a cobrança e alocação de custos (entre os demandantes de água) dos projetos que podem ser implantados em uma bacia, concentrando-se no trecho sul fluminense da BRPS, acreditando que uma análise descentralizada e levando em conta as especificidades da região, poderá revelar resultados diferentes do que se observa para a totalidade da BRPS. Para isso, aplicou-se a metodologia do valor de Shapley – apresentada em Leite (2009) – que é uma regra de alocação da Teoria dos Jogos que se adapta aos critérios estabelecidos pela legislação brasileira.

Espera-se contribuir para as discussões sobre este tema, tendo em vista o gerenciamento eficiente dos recursos hídricos e, mais especificamente, para as discussões exclusivas e peculiares à gestão das águas na região sul fluminense.

2. CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO SUL FLUMINENSE DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL²

A bacia do rio Paraíba do Sul (BRPS) está situada nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, com área de quase 55.500 km², abrigando 180 municípios e cerca de 5,35 milhões de habitantes. A região em que se encontra a BRPS é uma das mais relevantes no cenário econômico brasileiro, uma vez que abriga indústrias e municípios que são responsáveis por quase 10% da riqueza do

¹ Não se deve esquecer, todavia, que o modelo de gestão por bacias já representa um grande avanço em relação à gestão unificada em todo o território nacional.

² Esta seção está baseada em COPPETEC (2007) e Formiga-Johnsson *et al.* (2007).

país. A maior fonte de preocupação na bacia é o declínio na qualidade da água devido à poluição industrial e, principalmente, aos esgotos municipais lançados nos rios, na maioria das vezes sem qualquer tipo de tratamento.

Em relação à gestão na BRPS, o órgão responsável é o CEIVAP (Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul), instituído em 1996 e pioneiro na implantação da cobrança em rios de domínio da União, em 2003. A grande abrangência da BRPS faz com que a divisão de seu território seja imprescindível para uma gestão eficiente da água. A BRPS está dividida em sete regiões que representam as áreas de atuação de sub-comitês ou associações de usuários. Este trabalho concentrou-se no trecho sul fluminense (Figura 1).

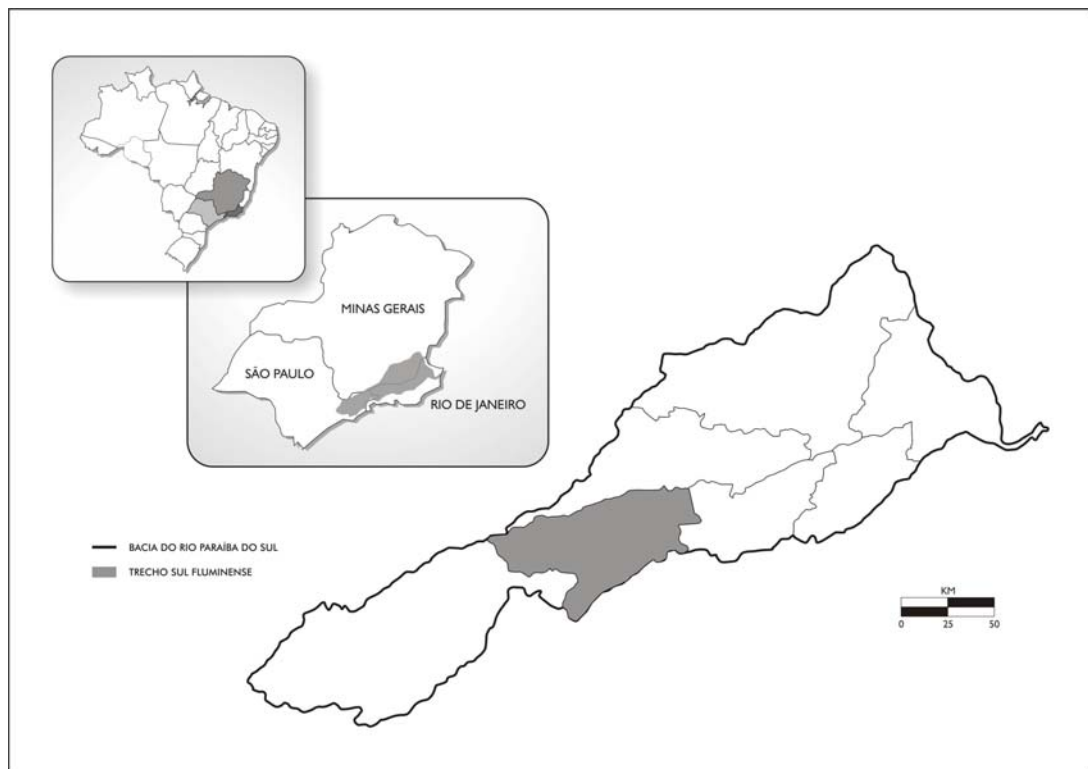


Figura 1. Localização geográfica da bacia do rio Paraíba do Sul e do trecho Sul Fluminense.

Segunda região cortada pelo rio Paraíba do Sul após sua nascente em São Paulo, a chamada Região Sul Fluminense tem como mais significativos os municípios de Volta Redonda, Resende e Barra Mansa, sendo composta, no total, por 16 cidades. Com um total de 943.164 habitantes, esta se caracteriza como a região de segunda maior população na BRPS.

Tendo como característica econômica uma relevante presença industrial, em que o destaque maior é a Companhia Siderúrgica Nacional, localizada em Volta Redonda, esse trecho tem o segundo maior parque industrial da BRPS. Devido ao forte caráter urbano, a área em questão tem a peculiaridade da presença do setor agrícola ser quase inexistente, ao contrário das outras partes da bacia.

O sul fluminense possui, também, cidades com bons indicadores socioeconômicos. O mesmo se pode dizer em relação aos índices de residências atendidas com abastecimento de água e coleta de esgotos. Na Tabela 1 são apresentados dados referentes à utilização da água na região³.

Tabela 1 – Captação de água, consumo de água e lançamento de efluentes por usuário no trecho sul fluminense da BRPS, para o ano de 2005.

Usuário	Captação		Consumo		Lançamento	
	(m ³ /s)	(%)	(m ³ /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 (2007).

A título de comparação, a Tabela 2 mostra os mesmos dados, porém, levando em conta a BRPS como um todo.

Tabela 2 – 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 ³ /s)	(%)	(m ³ /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 (2007).

Percebe-se um aspecto peculiar no sul fluminense que o difere da característica da bacia. Tanto para a captação quanto para o consumo há uma considerável superioridade do setor industrial, consequência da forte participação

³ Em relação ao lançamento de efluentes, o único parâmetro poluente considerado é a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), já que, segundo Campos (2001), as informações disponíveis não possibilitam a estimativa de outros poluentes.

do referido setor nessa região. 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 desta área. Por fim, em relação à quantidade lançada de efluentes, destaca-se a relevante participação do setor urbano, o que está em conformidade com o restante da bacia.

3. METODOLOGIA

3.1. Teoria dos Jogos e Valor de Shapley

A Teoria dos Jogos é uma metodologia que se encaixa nas características da gestão dos recursos hídricos, pois, esta trata da interdependência estratégica entre usuários de água, exatamente o tipo de interação que pode ser estudada como um jogo. A definição formal de jogo pode ser encontrada em Myerson (1991), que o trata como a representação de uma situação em que os agentes, agindo racionalmente, interagem dentro de um cenário de interdependência estratégica. É o caso da água, recurso que atende a diferentes usos e usuários simultaneamente.

Os jogos estratégicos são divididos em não-cooperativos e cooperativos, sendo este último a base para o presente trabalho. A principal característica de um jogo cooperativo é a possibilidade de que alguns jogadores formem coalizões intermediárias, sem a necessidade da presença de todos. Na maioria das vezes, as coalizões possíveis e o conjunto viável de pagamentos (*payoffs*) disponível para seus membros são dados, de modo que a questão a ser tratada é a identificação do valor referente a cada jogador (MONTET e SERRA, 2003).

Uma importante solução para os jogos cooperativos é o valor de Shapley, que foi utilizado neste trabalho, e é o conceito empregado quando se deseja encontrar uma solução com valor único para algum problema de alocação⁴. O valor de Shapley é um método de solução que, conforme Aliprantis e Chakrabarti (1999), tem sido usado como regra de alocação em ampla variedade de contextos, servindo para análises em áreas tão diversas quanto gestão de recursos hídricos, alocação de impostos, taxas de serviços de utilidade pública, etc.

⁴ Vale lembrar que a legislação brasileira prevê esta necessidade, pois, conforme visto na seção introdutória, os custos das obras que ocorrerão na área da bacia deverão ser alocados entre os diferentes usuários.

Um jogo cooperativo é representado na forma de função característica, vista, a seguir, junto a outras definições. Seja $N = \{1, \dots, n\}$ um conjunto finito de jogadores e uma coalizão é representada por um subconjunto não-vazio de N . O conjunto N , composto por todos os jogadores é a grande coalizão. Pode-se especificar, para cada coalizão C , um conjunto de valores originados da função $v(C) \subseteq \mathfrak{R}^{|C|}$ que contém vetores de pagamentos de $|C|$ dimensões, que são viáveis para a coalizão C . O par (N, v) representa um jogo cooperativo e $v(C)$ é a função característica (ALIPRANTIS e CHAKRABARTI, 1999).

Para os jogos cooperativos nesse formato, Shapley (1953) propôs um método de solução de valor único para um problema de alocação entre os participantes de um jogo, quando se leva em consideração o valor de cada coalizão C , representado por $v(C)$:

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

onde $|N|$ 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 a contribuição marginal do jogador i quando ele se associa à coalizão C .

A alocação $\Phi_i(v)$ para cada jogador i é vista como uma soma ponderada de suas contribuições marginais para todas as coalizões que ele se associar. O valor de Shapley é, portanto, uma regra Φ , que associa a cada jogo de n pessoas, $N = \{1, 2, \dots, n\}$, um vetor de n dimensões $\Phi(v) = (\Phi_1(v), \Phi_2(v), \dots, \Phi_n(v))^5$.

O valor de Shapley é visto como uma regra justa, onde o conceito de justiça não é o de equidade e, sim, que a quantia que os participantes de um jogo pagam (ou recebem) é determinada por sua contribuição (MYERSON, 1991). Se for esperado que um indivíduo acrescente pouco (muito) a uma coalizão, então a quantia alocada a ele pelo valor de Shapley tende a ser pequena (grande).

⁵ Para uma descrição detalhada das propriedades que o valor de Shapley deve satisfazer, recomenda-se consultar Montet e Serra (2003).

3.2. Valor de Shapley aplicado ao uso de recursos hídricos

A aplicação do valor de Shapley na resolução de problemas de alocação de custos que envolvem os recursos hídricos é algo já consolidado. Entre os exemplos tem-se o trabalho de Loehman *et al.* (1979), que trata da alocação do custo da construção de um sistema de tratamento de água no estado americano do Missouri e Young (1994) que analisou um projeto para o rio Tennessee, onde a meta foi construir melhorias para a geração de energia e navegação.

Neste trabalho, o valor de Shapley foi aplicado ao uso dos recursos hídricos por meio de uma expressão desenvolvida em Leite (2009), que servirá para alocar custos entre os usuários de água em uma bacia hidrográfica, 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, utilizaram-se como critérios de alocação de custos as quantidades captada e consumida de água e o lançamento de efluentes por cada um dos usuários⁶. Ao considerar esses três critérios, objetivou-se dar importância aos aspectos quantitativos e qualitativos do uso dos recursos hídricos. O desenvolvimento da aplicação foi feito inicialmente para a captação de água, porém, construção análoga pode ser adotada posteriormente para os critérios do consumo e do lançamento de efluentes.

As pressuposições da aplicação foram as seguintes. Considerou-se que cada usuário de água pode arcar individualmente com o custo das melhorias que lhe atenderá ou financiá-las conjuntamente com outros usuários. Ao financiar em separado, o usuário pagará um montante proporcional à quantidade captada de água⁷. Admitiu-se que o custo total das melhorias equivale 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 agissem em conjunto para disponibilizar as melhorias.

⁶ Estes critérios estão entre os usos de recursos hídricos definidos na Lei Federal 9.433 como sujeitos à outorga (Brasil, 1997).

⁷ Reitera-se que a aplicação desenvolvida a seguir foi feita considerando somente o critério da quantidade captada de água. Quando forem levados em consideração os três critérios – captação, consumo e lançamento de efluentes – o custo será proporcional aos três.

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 que lhe atenderá, 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 de água. A suposição de que o custo total das melhorias, K_T , é equivalente ao custo do usuário que apresenta os maiores índices para o critério em consideração, caso ele financie sozinho as melhorias, indica 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 aos jogadores⁸.

O número de jogadores pode ser analisado pelo volume de água estimado para ser captado por cada usuário, em um período de tempo. Sob essa ótica, os jogadores são identificados pela quantidade de água que cada um capta⁹. Uma coalizão C , nesse jogo, é um subconjunto de $N = \{1, 2, \dots, n\}$. 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.

⁸ 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.

⁹ Um exemplo numérico pode facilitar a compreensão: considere que o volume total de água captado em uma bacia seja de 80 m³/s. Supõe-se que existam três usuários de água que captam essa quantidade total, da seguinte forma: 15 m³/s para o usuário 1; 25 m³/s para o usuário 2; e 40 m³/s para o usuário 3. Assim, pela observação do volume captado de água, pode-se identificar esses três “tipos” de jogadores. Se um jogador capta 15 m³/s de água, então ele é tratado como um jogador do tipo 1; se capta 25 m³/s é do tipo 2; e se ele capta 40 m³/s é um jogador do tipo 3.

Para um jogo com essas características, a fórmula usual do valor de Shapley, dada pela equação (1) é pouco prática. Adotou-se uma abordagem apresentada em Leite (2009) e que foi suprimida do corpo deste artigo, pois já está detalhada no trabalho citado. Todavia, o desenvolvimento desta abordagem é descrito no Apêndice 1. A equação (2) mostra o valor de Shapley do jogo para cada participante da coalizão, considerando apenas o critério da quantidade captada de água, ou seja,

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

Pode-se encontrar expressão equivalente à equação (2) para os critérios do consumo de água e da quantidade lançada de efluentes por meio de desenvolvimento idêntico ao que resultou na equação citada e seguindo exatamente as mesmas pressuposições. Obtém-se, assim, o valor de Shapley, $\varphi_i^C(v)$, para o critério do consumo de água:

$$\varphi_i^C(v) = \sum_{\ell=1}^{k^C} \frac{K_{\ell-1}^C - K_{\ell}^C}{\sum_{t=\ell}^T |N_t^C|}, \quad i \in N_{k^C}^C, \quad k^C = 1, 2, \dots, T. \quad (3)$$

Por sua vez, o valor de Shapley, $\varphi_i^L(v)$, quando a alocação de custos tem como base o critério da quantidade lançada de efluentes, é dado por:

$$\varphi_i^L(v) = \sum_{\ell=1}^{k^L} \frac{K_{\ell-1}^L - K_{\ell}^L}{\sum_{t=\ell}^T |N_t^L|}, \quad i \in N_{k^L}^L, \quad k^L = 1, 2, \dots, T. \quad (4)$$

Porém, alocar os custos considerando cada critério separadamente não seria interessante já que os três são importantes atributos de uso da água. Portanto, foi proposto em Leite (2009) a junção das equações (2), (3) e (4), obtendo-se o valor de Shapley do jogo, $\Phi_i(v)$, como uma combinação convexa dos três critérios apresentados – portanto, tem-se agora um valor de Shapley ponderado – ou seja,

$$\Phi_i(v) = \alpha \times \varphi_i(v) + \beta \times \varphi_i^C(v) + (1 - \alpha - \beta) \times \varphi_i^L(v), \quad (5)$$

onde α , β e $(1 - \alpha - \beta)$ são ponderações, com α e β pertencentes ao intervalo $[0,1]$ e $\alpha + \beta \leq 1$. Os parâmetros indicam o peso de cada critério em determinada bacia. Como a expressão desenvolvida para o valor de Shapley passou a considerar três diferentes critérios, os custos a serem financiados pelos usuários

atenderiam a diversos projetos que poderiam se desenvolver em uma bacia, e as prioridades seriam indicadas conforme as características de cada região.

A representação dos critérios junto a uma ponderação possibilita a construção de diferentes cenários, alterando os pesos conforme características da bacia hidrográfica que estiver em análise. Assim, se a soma de α e β se aproximar de 1 (um), significa que a bacia é limpa e, no cálculo do valor de Shapley, importância maior foi destinada aos critérios captação e consumo, fazendo com que as prioridades fossem projetos que assegurem volumes de água para atender essas demandas ou contribuíssem para a melhora na distribuição, por exemplo. Ao contrário, adotando-se valores de α e β próximos de 0 (zero), tem-se o caso de uma bacia poluída e o critério lançamento de efluentes teria maior peso no cálculo do valor de Shapley. Nesse cenário, projetos de despoluição seriam prioritários.

Acredita-se que essa adaptação pode ser útil na alocação de custos dos recursos hídricos, pois ela possibilita que se levem em conta diferentes critérios ao mesmo tempo para se ratear o custo dos projetos a serem implantados. Isso traz maleabilidade ao processo, já que os pesos podem ser alterados conforme a análise de cada bacia, adequando-se a uma gama ilimitada de contextos.

Para encorajar a participação conjunta dos usuários de água na alocação dos custos, o método de alocação deve oferecer incentivos econômicos, que são justamente as economias de escala supostas nessa aplicação. Essa suposição é fácil de observar na prática. Por exemplo, na construção de um sistema de tratamento de água é mais barato operar uma única estação de tratamento do que ter várias pequenas instalações para cada usuário.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, utilizaram-se dados dos usuários de água no trecho sul fluminense da BRPS para a aplicação do valor de Shapley ponderado considerando os critérios da captação, consumo e lançamento de efluentes. Dois diferentes cenários são apresentados. O primeiro, também visto em Leite (2009), está em conformidade com as características da BRPS como um todo, sem distinguir especificidades regionais.

Já no segundo cenário, é proposta uma alteração dos pesos de cada critério para que estes, e o resultado da aplicação, sejam mais coerentes com as informações sobre o trecho sul fluminense da bacia, que indicam grande presença industrial na demanda pelos recursos hídricos, o que, provavelmente, deve originar uma parcela considerável de poluentes industriais, mas que não são devidamente considerados pois não são medidos satisfatoriamente. Os valores encontrados nos dois cenários podem ser comparados entre si e com a própria metodologia de cobrança que vigora atualmente na BRPS.

Em relação ao custo a ser alocado entre os usuários, utilizou-se como valor a arrecadação potencial neste trecho da bacia ao longo de um ano, que equivale à R\$ 8.481.837,30. Este valor foi encontrado aplicando-se a própria fórmula de cobrança vigente atualmente na BRPS e considerando que todos os usuários de água do trecho sul fluminense pagariam para usá-la. Sua vantagem é que, ao utilizá-la na aplicação do valor de Shapley, os resultados deste tornam-se diretamente comparáveis com os resultados da cobrança que está em vigor. A aplicação considerou apenas os setores industrial, urbano e agrícola que são aqueles que, de fato, causam impacto no uso dos recursos hídricos e respondem por quase a totalidade da demanda de água.

4.1. Cenário I: conforme as características gerais da bacia do rio Paraíba do Sul ($\alpha + \beta = 0,1$)

Estudos feitos sobre a BRPS¹⁰ afirmam que, apesar de diferenças regionais, o maior problema observado em toda sua área é o declínio na qualidade da água e a escassez não é problema imediato. Por isso, adotou-se uma ponderação em que o lançamento de efluentes teria peso maior [$(1 - \alpha - \beta) = 0,9$] e captação e consumo, peso substancialmente menor ($\alpha = \beta = 0,05$), sendo esse cenário aquele que estaria próximo da realidade de toda a BRPS¹¹. Os custos financiados em conjunto pelos usuários estariam relacionados a vários projetos, já que foram considerados os três critérios. Porém, projetos de despoluição seriam prioritários, dado o peso maior do lançamento de efluentes. A Tabela 3 apresenta os resultados

¹⁰ Ver, por exemplo, Formiga-Johnsson *et al.* (2007) e Campos (2001).

¹¹ Obviamente, em um cenário real, a escolha dos pesos deve ser discutida amplamente pelos membros dos comitês, já que os valores adotados influenciarão diretamente nos resultados.

desse cenário (tendo como fonte de dados a Tabela 2) e as informações da atual metodologia de cobrança da BRPS adaptada ao trecho sul fluminense¹².

Tabela 3 – Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários no trecho sul fluminense da BRPS

Usuário	Aplicação do valor de Shapley			Cobrança na BRPS	
	Taxa (R\$/m ³)	% do Custo	(%)× 8.481.837,30 (R\$)	Preço-base (R\$/m ³)	% 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.

O preço-base da cobrança pelo uso da água neste trecho onera em proporção maior os usuários industriais (0,202 R\$/m³) e urbanos (0,0247 R\$/m³). O setor agrícola, por sua vez, é pouco cobrado, pagando um valor de 0,0010 R\$/m³. Já a taxa encontrada pela aplicação do valor de Shapley ponderado teve comportamento diferente, uma vez que os usuários urbanos pagariam um valor (0,0756 R\$/m³) consideravelmente superior aos dos setores industrial e agrícola, que arcariam com taxas de 0,0035 R\$/m³ e 0,0005 R\$/m³, respectivamente.

A comparação referente aos custos também revela discordâncias. Com o valor de Shapley, os usuários industriais cobririam 12,22% e os agrícolas somente 0,33% do custo anual, enquanto a maior parcela se destinaria aos usuários urbanos, 87,45% do montante a ser alocado. Tal configuração se distancia do observado na Região Sul Fluminense, pois, com a metodologia em vigência, 70,74 % do valor arrecadado vem do setor industrial e 28,58% do urbano. Já a arrecadação do setor agrícola é apenas 0,68%¹³.

Percebe-se que a alocação dos custos de entre os usuários de água por meio do valor de Shapley e o estabelecimento da cobrança são diretamente dependente do cenário escolhido para representar a bacia por meio dos pesos. Neste caso, os

¹² Para detalhes sobre a metodologia atualmente em vigência na BRPS, recomenda-se consultar o site do Comitê da Bacia (CEIVAP, 2011).

¹³ Essas porcentagens de arrecadação são valores aproximados resultantes da aplicação da atual fórmula de cobrança da BRPS aos dados do trecho sul fluminense.

resultados sobrecarregaram o setor urbano fazendo, que cobriria mais de 87% do valor a ser alocado entre os três principais demandantes, o que é consequência da grande quantidade de esgotos lançados nas águas da bacia sem tratamento.

Ainda que este resultado seja justificável – quem polui mais, paga mais – deve-se ressaltar que, com a aplicação do valor de Shapley, o setor urbano pagaria valores maiores pelo uso da água, pois, é o maior emissor de DBO, o único poluente com dados disponíveis. Caso ocorresse a medição de novos parâmetros, o peso da poluição emitida por outros setores poderia aumentar. É com o intuito de contornar essa limitação e de considerar a presença industrial na região que um cenário alternativo foi construído propondo uma alteração nos pesos.

4.2. Cenário II: conforme as características específicas da Região Sul Fluminense ($\alpha = 0,1$ e $\beta = 0,4$)

Na seção 4.1 viu-se que o valor de Shapley onerou em demasia o setor urbano. Todavia, pretende-se apresentar agora um novo cenário, visto que a região em estudo é reconhecida por ter o setor industrial como grande demandante de água o que pode levá-lo a ter uma contribuição maior à poluição do que em outras partes da bacia. Por consequência, as indústrias poderiam ter uma participação maior na alocação dos custos na região, o que supostamente não ocorre em virtude da ausência de medição de seus poluentes. Como foi dito, atualmente só existem dados referentes ao poluente DBO, do qual o setor urbano é o maior emissor.

Os usuários industriais são os maiores demandantes de água na região (65,10% da água captada e 74,21% da água consumida), o que difere bastante do que é visto na BRPS como um todo e nas outras áreas que a compõem, onde a agricultura tem os maiores índices de captação e consumo, justificando a escolha dessa localidade para a apresentação de um cenário alternativo.

De caráter notadamente industrial, a região abriga indústrias de grande porte, como a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), localizada em Volta Redonda, que é o maior usuário individual de toda a BRPS e, por este motivo, é o que paga os mais altos valores pelo uso da água. Dados existentes indicam que da estimativa de arrecadação total referente à cobrança no exercício de 2007,

significativos 24,77% do valor tinham como fonte a CSN (CEIVAP, 2011)¹⁴. Outra peculiaridade desta região é a irrelevância da agricultura, sendo a única em toda a bacia com as menores quantidades de água captada e consumida¹⁵.

Considerando todas essas especificidades, adotou-se uma ponderação em que o lançamento de efluentes continuaria, individualmente sendo o critério de maior peso $[(1 - \alpha - \beta) = 0,5]$. Porém, captação ($\alpha = 0,1$) e consumo de água ($\beta = 0,4$) passariam a ter peso mais elevado, com o intuito de contornar a limitação de que os poluentes industriais não são adequadamente medidos. Como o setor industrial é o maior demandante de água da região, os maiores pesos para captação e consumo poderão refletir essa questão.

A inclusão de um peso maior para o consumo deve-se ao fato de que este é a utilização da água que não volta aos rios, ou seja, é quando há maior “dano” ao recurso. O lançamento de efluentes continua com o maior peso, pois, mesmo em uma região industrial, não se pode esconder a completa ausência de tratamento de esgotos urbanos. Tendo como fonte de dados as Tabelas 1 e 2, a Tabela 4 mostra os resultados desse cenário em e os compara com o cenário anterior.

Tabela 4 – Alocação dos custos e taxas cobradas dos usuários no trecho sul fluminense da BRPS considerando os dois cenários propostos

Usuário	Cenário II			Cenário I	
	Taxa (R\$/m ³)	% do Custo	(%)× 8.481.837,30 (R\$)	Taxa (R\$/m ³)	% do Custo
1. Indústria	0,01384	48,37	4.102.563,82	0,0035	12,22
2. Urbano	0,04314	49,89	4.231.423,10	0,0756	87,45
3. Agrícola	0,00243	1,74	147.850,78	0,0005	0,33
Total	-	100,00	8.481.837,30	-	100,00

Fonte: Resultados da pesquisa.

A taxa encontrada no Cenário II continua onerando em maior magnitude o setor urbano (0,04314 R\$/m³), porém ele não está tão distante dos usuários

¹⁴ Durante anos a CSN não concordou em pagar a cobrança. Somente a partir de 2009 ela voltou a efetuar os pagamentos mensais. Uma vez que a referida indústria é o usuário que mais consome água da bacia, certamente, sua ausência gerou significativas perdas de receita (CEIVAP, 2011).

¹⁵ O fato de a região ser ausente no que tange à agricultura é uma vantagem ao se aplicar esta metodologia, pois não existem medições sobre a poluição difusa ou não pontual, originária das práticas agrícolas, como os fertilizantes que escorrem para o leito dos rios.

industriais (0,01384 R\$/m³) quando comparamos ao cenário anterior. O setor agrícola é novamente pouco cobrado, pagando um valor de 0,00243 R\$/m³, que apesar de pequeno elevou-se em relação ao Cenário I. Portanto, a taxa encontrada após a adoção das novas ponderações – visando a alocação do custo anual dos diferentes projetos – teve comportamento diferente, visto que a sobrecarga do usuário urbano não se mostrou tão superior aos demais demandantes de água.

O mesmo se reflete quando analisamos a porcentagem do montante dos custos cobertos por cada usuário. Com o Cenário I, o usuário industrial cobriria apenas 12,22% e o agrícola somente 0,33% do custo anual das melhorias, enquanto a maior parcela estaria destinada aos usuários urbanos (87,45% do custo anual a ser alocado). Tal configuração se modifica de forma relevante no Cenário II para a Região Sul Fluminense, pois, com os novos pesos, 49,89 % do valor arrecadado vêm do setor urbano e 48,37% do industrial. Já a arrecadação oriunda do setor agrícola continua sendo bem inferior, 1,74% do custo total a ser alocado.

Viu-se que a alocação dos custos de melhorias entre os usuários de água na região sul fluminense e o estabelecimento da cobrança no Cenário II ainda mostram o setor urbano pagando uma taxa mais elevada. Isso não poderia ser diferente, pois a situação de despejos de efluentes urbanos é precária em todo o país. Contudo, já houve uma atenuação da sobrecarga do setor urbano, o que está em conformidade com a intenção de evitar que os poluentes industriais fossem subestimados, pois a análise se refere a uma região com destacado parque industrial. Ao considerar especificidades de uma região da bacia que apresenta características distintas – retratado na adoção de diferentes ponderações para os critérios de uso da água – acredita-se que o valor de Shapley captou corretamente estas características apresentando um resultado diferente ao Cenário I, mostrando a aplicabilidade da metodologia proposta.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho aplicou a metodologia do valor de Shapley na cobrança pelo uso de recursos hídricos baseada na alocação de custos entre os demandantes de água em uma bacia hidrográfica. Foram utilizados dados do trecho sul fluminense

da bacia do rio Paraíba do Sul (BRPS), considerando dois cenários alternativos. O primeiro levou em conta as características da bacia como um todo, já o segundo buscou captar as especificidades da região sul fluminense. Os resultados encontrados da aplicação do valor de Shapley ponderado (que considerou os critérios de captação e consumo de água e lançamento de efluentes) mostraram-se altamente dependentes da escolha adequada do peso de cada critério.

No cenário que representa as características de toda a bacia, significativa importância foi dada ao lançamento de efluentes, dado que, de modo geral, a poluição das águas é o principal problema. Como o setor urbano é o principal poluidor da bacia, os valores encontrados pelo valor de Shapley ponderado indicaram que este pagaria um valor bem superior aos demais, além de arcar com parte significativa do custo das melhorias a serem implantadas.

Já no cenário específico do sul fluminense buscou-se considerar a característica da região, onde o setor industrial é destacadamente o maior demandante, de modo que o peso da captação e, principalmente, do consumo de água elevou-se em comparação ao cenário anterior. O setor urbano continuaria sendo aquele que paga as maiores taxas – dado a magnitude dos esgotos lançados sem tratamento – mas a disparidade em comparação ao industrial não seria tão elevada, o que poderia ser um resultado mais próximo do esperado. Esse novo cenário buscou contornar a limitação de que os poluentes industriais não possuem medição adequada na BRPS, o que poderia gerar sobrecarga do setor urbano, pois é o maior emissor de DBO, o único poluente com dados disponíveis.

O intuito maior não foi criar um cenário que “prejudicasse” o setor industrial, mas, sim, mostrar que a fórmula do valor de Shapley ponderado pode ser perfeitamente adaptável a diferentes contextos e situações conforme a característica de cada bacia hidrográfica. É claro que o aprofundamento na questão da utilização dos recursos hídricos pode revelar fatos importantes, como a presença de indústrias que tratam e reutilizam suas águas no processo produtivo.

A alteração das ponderações ocorreu com o objetivo de apresentar os diferentes cenários e mostrar a aplicabilidade da metodologia. Porém, na prática, a escolha destas deve ser discutida amplamente pelos membros dos comitês de bacia hidrográfica uma vez que os valores escolhidos influenciarão diretamente

nos resultados do cálculo do valor de Shapley ponderado. Além disso, por ser uma questão fonte de conflitos esta escolha deve se basear em dados precisos da bacia e nos projetos do Plano de Recursos Hídricos que priorizem as verdadeiras necessidades de melhorias. Todavia, esta discussão não seria tão simples, uma vez que os comitês são órgãos essencialmente políticos.

APÊNDICE 1

Adaptação da metodologia do valor de Shapley para a questão dos recursos hídricos¹⁶

Inicialmente, define-se o conjunto:

$$A_\ell = \bigcup_{t=\ell}^T N_t .$$

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

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

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

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

em que $K_0 = 0$, ou seja, se não há jogadores, não há custos.

Sabe-se que, pela propriedade aditiva¹⁷ do valor de Shapley,

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

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

Primeiramente, percebe-se que, pela definição de v_ℓ , segue-se que:

¹⁶ Baseado em Aliprantis e Chakrabarti (1999) e Leite (2009).

¹⁷ $\forall S, T \subset N, S \cap T = \emptyset$ então $v(S \cup T) \geq v(S) + v(T)$.

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

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

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

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,

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

Consequentemente,

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

Segue-se que, para todo i e ℓ , o valor de Shapley para o jogo v_ℓ satisfaz a seguinte relação:

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

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,

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

REFERÊNCIAS

ALIPRANTIS, C.D.; CHAKRABARTI, S.K. **Games and decision making**. Oxford University Press, New York, 1999. 272 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.

CEIVAP. **Comitê para Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**. Disponível em < <http://www.ceivap.org.br> >. Acesso em: 30 abr. 2011.

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.

FORMIGA-JOHNSSON, 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.

LEITE, G. B. **Alocação de custos de projetos entre os usuários de água em um abacia hidrográfica**. 103 p. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - DER/UFV, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

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.

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.

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. 1-37.

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

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

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.