

# Tecnologia *Blockchain*: inovação em Pagamentos por Serviços Ambientais

RANULFO PAIVA SOBRINHO,<sup>I</sup> JUNIOR RUIZ GARCIA,<sup>II</sup>  
ALEXANDRE GORI MAIA<sup>III</sup> e ADEMAR RIBEIRO ROMEIRO<sup>IV</sup>

## Introdução

**O** AVANÇO de problemas socioecológicos tem colocado novos desafios para a sociedade, os quais exigem soluções inovadoras. Os problemas socioecológicos são mais complexos e multidimensionais, envolvendo pelo menos as dimensões ambiental, social, econômica, política e institucional. No contexto de uma economia capitalista, a solução passa pelo delineamento de instrumentos econômicos que visam incentivar a adoção pelos agentes de ações direcionadas para o enfrentamento dos problemas. Desse modo, inovar nessa área é essencial para minimizar as consequências negativas de crises econômicas que geralmente reduzem a disponibilidade de crédito, afetando a capacidade de ação dos incentivos econômicos.

Problemas relacionados ao uso múltiplo dos recursos hídricos, a revitalização de bacias hidrográficas e a recuperação de rios urbanos têm colocado novos desafios para a sociedade, os quais requerem soluções inovadoras. Algumas soluções propostas, como a adoção de esquemas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), têm por objetivo incentivar que as pessoas adotem ações direcionadas para resolver problemas específicos em troca de incentivos econômicos. Mas essas soluções possuem limitações relativas a continuidade das ações após o suprimento dos incentivos. Além disso, os PSA existentes são baseados na moeda oficial de um país e, conseqüentemente, podem ser interrompidos na ocorrência de crises econômicas (Paiva Sobrinho; Romeiro, 2015).

As crises econômicas decorrem de falhas do sistema monetário internacional, as quais estão relacionadas com a forma como os bancos centrais criam o dinheiro de um país, e com a maneira como as demais instituições financeiras realizam a expansão do crédito para consumo e investimento (Milne, 2009; Paiva Sobrinho; Romeiro, 2016a). Nesse contexto, instrumentos econômicos respaldados pelo dinheiro e crédito oficial estão sujeitos a crises econômicas, ocasionadas pela falha estrutural do sistema monetário que os criam, os quais podem ser insustentáveis ao longo do tempo. Desse modo, para solucionar os problemas hídricos e socioecológicos, é imperativo inovar no delineamento dos instrumentos econômicos.

Uma possível inovação é criar um PSA apoiado no uso de moedas complementares (Paiva Sobrinho; Romeiro, 2015) e na tecnologia *blockchain*. Considerando que ainda são poucas as experiências com o delineamento de moedas complementares para solucionar problemas socioecológicos (Lietaer et al., 2012), o objetivo principal deste trabalho é apresentar e discutir uma proposta de gestão para a Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá baseada na adoção de uma moeda complementar criada com suporte da tecnologia do *blockchain*. Trata-se de um mecanismo de incentivo econômico baseado em um tipo de dinheiro que é criado independentemente das falhas estruturais do atual sistema monetário internacional, portanto menos suscetível aos efeitos negativos de crises econômicas.

O trabalho está organizado em seis seções, além desta introdução e das considerações finais. A primeira seção discute as limitações da gestão ambiental baseada na adoção de uma Política de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) financiada pela moeda oficial do país. A segunda seção apresenta os múltiplos tipos de dinheiro que têm sido criados paralelo à moeda oficial de um país. A terceira destaca a importância da tecnologia *blockchain*, a qual tem viabilizado a criação de moedas complementares em formato digital. Na quarta seção é apresentada a área de estudo. Na quinta, é apresentada a proposta de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) apoiada no uso da tecnologia *blockchain* para auxiliar na gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá. Por fim, na sexta e última seção é realizada uma discussão preliminar da proposta.

### **Superando as limitações da gestão ambiental baseada em Pagamentos por Serviços Ambientais**

Os instrumentos de política ambiental têm por objetivo promover a internalização, no sistema de preços de mercado, do custo econômico e não econômico da utilização dos recursos naturais pelo sistema socioeconômico. Os instrumentos podem ser agrupados em: de comando e controle, econômicos e comunicação (Lustosa et al., 2010) (Quadro 1).

Quadro 1 – Tipologia e Instrumentos da Política Ambiental

<b>Comando e Controle</b>	<b>Econômicos</b>	<b>De Comunicação</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proibição de produto</li> <li>• Controle de processo</li> <li>• Proibição ou restrição de atividades</li> <li>• Especificações tecnológicas</li> <li>• Controle do uso de recursos naturais</li> <li>• Padrões de poluição</li> <li>• Definição de metas de degradação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taxas e tarifas</li> <li>• Subsídios</li> <li>• Certificados de emissão</li> <li>• Sistemas de devolução de depósitos</li> <li>• Sistema de Pagamento por Serviços Ambientais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornecimento de informações</li> <li>• Acordos</li> <li>• Criação de redes</li> <li>• Sistema de gestão ambiental</li> <li>• Selos ambientais</li> <li>• <i>Marketing</i> ambiental</li> <li>• Educação Ambiental</li> </ul>

*Fonte:* Modificado pelos autores a partir de Lustosa et al. (2010, p.169).

O Comando e Controle ou regulação direta busca promover a gestão ambiental por meio do controle direto nas ações dos agentes. Esse controle é realizado com base na adoção de instrumentos legais, tais como regras, normas, regulamentos etc., cujo objetivo, na maioria dos casos, é coibir, induzir, limitar ou condicionar o comportamento dos indivíduos em termos de sua relação com o meio ambiente (Lustosa et al., 2010). Se o indivíduo descumprir as metas estabelecidas pelos instrumentos legais ficará sujeito a sanções e penalizações (Lustosa et al., 2010), por exemplo, o descumprimento dos percentuais obrigatórios de área de Reserva Legal (RL) ou de Área de Proteção Permanente (APP).

Esse instrumento apresenta sérias deficiências (Lustosa et al., 2010), tais como: i) expressivo tempo para adoção dos instrumentos legais; ii) assimetria de informações por parte dos regulamentadores; iii) ainda em termos da assimetria de informações, exigem-se, em linhas gerais, padrões uniformes de abatimento nas várias fontes de degradação de uma mesma área ou atividade econômica; iv) pode impedir a instalação de empreendimentos em uma região saturada. Cabe destacar que a prática usual de gestão ambiental realizada até fins do século XX, no Brasil e na maioria dos países, era totalmente baseada nos instrumentos de comando e controle. Essa prática é evidente quando se analisa o aparato legal vigente dos países, que em sua maioria é composto por leis, normas e decretos que procuram apenas controlar a emissão de poluentes (líquido, gasoso e sólido) e a criação de áreas de proteção.

Os instrumentos econômicos ou de mercado procuram promover a internalização dos custos ambientais no sistema de preços por meio de incentivos econômicos, tais como a adoção de taxas ou tarifas sobre produtos que apresentam em seu processo de produção e consumo elevada taxa de degradação ambiental ou uso intensivo de recursos naturais. Os instrumentos econômicos, diferentemente dos instrumentos de comando e controle, não são coercitivos, e muito menos pressupõem o estabelecimento de restrições, a sua lógica é estimular a conservação ambiental pelo comportamento autointeressado dos agentes. Assim, a função da autoridade ambiental é definir os incentivos que estimularão a mudança de comportamento dos agentes ou sua relação com o meio ambiente, procurando convergir o interesse privado ao social. Uma característica dos instrumentos econômicos é que eles podem ser adotados no contexto do próprio mercado, ou seja, utilizando o mecanismo de preços para influenciar direta ou indiretamente os comportamentos de produtores e consumidores (Costa, 2008).

Nessa linha, nos últimos anos vem ganhando destaque o uso da modalidade conhecida como Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), que, em linhas gerais, representa o reconhecimento econômico por parte da sociedade do bem-estar proporcionado pelos provedores de serviços ambientais. A Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA, 2005) tornou explícita a estreita relação entre o provimento dos bens e serviços ecossistêmicos e o grau de bem-estar

humano. Ao longo da história recente da sociedade os benefícios aportados pelo meio ambiente não foram incorporados ou reconhecidos como dotado de valor econômico e/ou preço, embora exista um custo econômico para seu provimento. Dessa maneira, o PSA vem para efetivar esse reconhecimento, incentivar a adoção de práticas que contribuam para o fluxo de serviços ecossistêmicos e para incorporar no sistema de preços os benefícios providos direta e indiretamente pelo sistema natural.

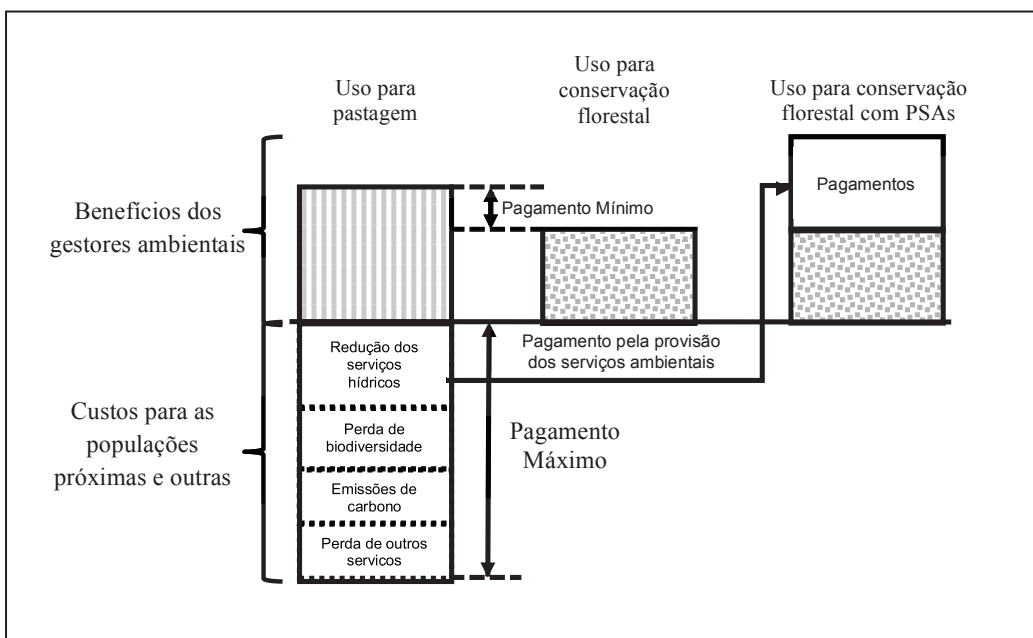
O PSA, em termos gerais, pressupõe a “compensação” econômica aos provedores<sup>1</sup> de bens e serviços ecossistêmicos (Jardim, 2010). O PSA tem sido considerado um mecanismo externo para captura dos valores dos serviços ecossistêmicos não transacionados no mercado, sem valores de mercados, tornando-se um verdadeiro mecanismo de incentivo financeiro para que os agentes locais elevem a oferta ou provimento dos serviços ecossistêmicos (Engel et al., 2008). Geralmente os provedores de serviços ambientais – com a adoção, por exemplo, de práticas conservacionistas de uso das terras – que contribuem direta e indiretamente para o fluxo de serviços ecossistêmicos não recebem compensação alguma, ou seja, não há mercado. Portanto, se não há mercado para os serviços ecossistêmicos, os beneficiários não pagam pelo seu provimento. O resultado pode ser que a provisão seja insuficiente ou mesmo inexistente.

Nesse sentido, o que se vislumbra no início do século XXI é a consolidação e a formalização de um mercado de serviços ambientais e ecossistêmicos. Assim, o PSA deve ser entendido, em primeiro lugar, como um claro reconhecimento do valor (econômico e/ou não econômico) dos serviços ecossistêmicos para a sociedade. Em segundo lugar, como um reconhecimento de que as práticas adotadas pelos agentes, mesmo exigidas por regulamentação legal, devam ser recompensadas financeiramente, algo similar a “produção” bens econômicos. O montante monetário proporcionado ao agente pelo PSA representa uma “nova” maneira de agregar valor aos diversos produtos provenientes da atividade agropecuária ou não, porque também pode ser adotado na área urbana.

Ainda não existe um consenso para o que venha ser PSA, o que existem são propostas conceituais e aplicadas. Apesar disso, encontram-se alguns conceitos e definições. Para Pagiola et al. (2005), PSA caracterizaria uma venda individual ou conjunta (um único provedor ou um conjunto de provedores) de serviços prestados pela floresta (ambientais). A principal definição apresentada até o momento, pelo menos a mais citada, talvez seja a de Wunder (2005), em que um PSA seria descrito pelos seguintes critérios: i) transação voluntária; ii) bem ou serviço ecossistêmico definido ou o uso do solo esteja comprometido apenas para assegurar o fluxo ecossistêmico de serviços (atividade ou uso principal do solo); iii) envolveria a constituição de transações entre pelo menos um comprador (usuário ou beneficiário) e um provedor de bens e serviços ecossistêmicos; iv) se e somente se o provedor de bem(ns) ou serviço(s) ecossistêmico(s) assegurar a provisão (condicionalidade).

Segundo Kemkes et al. (2010), os proprietários podem voluntariamente ofertar a provisão de serviços ecossistêmicos e serem recompensados pelos serviços prestados quando existe a opção de pagamento pela provisão de bens e serviços ecossistêmicos, seja na forma de despesas fiscais (pagamento público) ou concessão de subvenção (subsídios), seja como *easement*<sup>2</sup> ou pagamento direto. O baixo grau de coerção torna o sistema de pagamentos uma opção politicamente viável (factível) para o fortalecimento da estrutura da propriedade privada que presta serviços ambientais. Os autores destacam ainda que o uso do *easement* ou pagamento direto, na maioria dos casos, exige a criação de uma estrutura institucional mais complexa e de mecanismos para financiamento, portanto elevando o custo de execução do sistema. Nesse sentido, uma proposta baseada em uma criptomoeda pode auxiliar na adoção de PSA.

A lógica geral de um esquema de PSA é que os gestores dos ecossistemas (provedores), sejam fazendeiros, madeireiros, sejam apenas gestores, muitas vezes recebem poucos benefícios pela adoção de usos voltados a preservação dos ecossistemas, por exemplo conservação das áreas de proteção permanente, tais como matas ciliares (Figura 1).



Fonte: Adaptado pelos autores com base em Engel et al. (2008, p.665).

Figura 1 – A Lógica da Aplicação de um Esquema de PSAs para a Conservação de Áreas Florestais.

A prática usual tem mostrado que os benefícios recebidos pela conservação das áreas florestais normalmente são menores do que aqueles que de fato os agentes deveriam receber pela decisão de preservar os ecossistemas florestais (Engel et al., 2008). A diferença decorre da ausência de mercado ou falta de

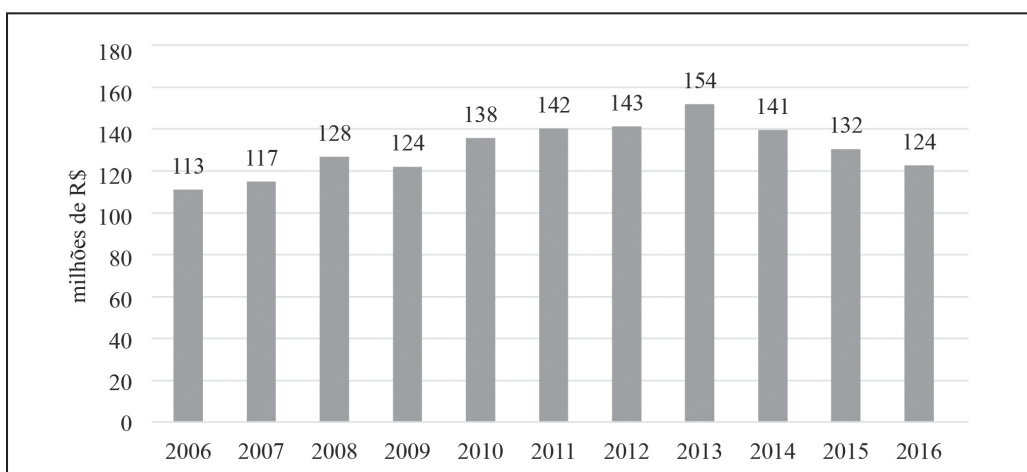
competitividade dos serviços ecossistêmicos, dificuldade da identificação e mensuração monetária dos benefícios providos pelos ecossistemas etc. (Liu et al., 2010). A decisão de desmatar determinada área pode impor diversos custos às populações locais, tais como a perda dos benefícios associados à purificação da água, e, na escala global, o efeito seria uma redução da biodiversidade (diversidade genética) e da capacidade de armazenamento de carbono. Nesse sentido, o pagamento pela manutenção dos serviços ecossistêmicos pelos beneficiários tornaria as práticas de conservação uma opção mais atraente para os proprietários das terras (Engel et al., 2008). O Sistema de PSA pode configurar-se em um instrumento extremamente importante na gestão dos recursos hídricos.

Por fim, há ainda os instrumentos de comunicação, que tem por objetivo conscientizar e informar a sociedade sobre as características das atividades que mais contribuem para degradação do meio ambiente e suas consequências para o bem-estar humano e ambiental, e, como a sociedade poderia contribuir para amenizar os danos ambientais, por exemplo, adotando ações preventivas, tecnologias menos agressivas, facilitar a cooperação entre os agentes poluidores para que adotem ou encontrem soluções etc. (Lustosa et al., 2010).

Os três grupos de instrumentos incorporariam o uso de ferramentas de gestão com as seguintes características: prescritivas, punitivas, direitos de propriedade, persuasivas e de compensação. A escolha dos instrumentos de política ou gestão ambiental deve depender, em primeiro lugar, das dimensões da ferramenta, ou seja, na medida em que a política seja viável em determinado contexto e sua eficácia para alcançar determinado nível de fluxo de bens e serviços ecossistêmicos. Em segundo lugar, essa escolha deveria depender também das características dos bens e serviços ecossistêmicos providos, tais como a escala espacial e se esses bens e serviços são comercializáveis no mercado, bens públicos ou recursos de uso comum ou restrito (Kemkes et al., 2010).

Desde a década de 1990, alguns instrumentos políticos têm sido implementados para incentivar a conservação da biodiversidade e do fluxo de serviços ecossistêmicos, bem como a melhora da qualidade de vida das populações que dependem diretamente dos benefícios da Natureza (Paiva Sobrinho; Romeiro, 2015), tais como: ICDP (Integrated Conservation and Development Projects) (Ferraro; Kiss, 2002); pagamento por serviços ambientais (PSA) (Pattanayak et al., 2010). Com relação ao PSA, esse instrumento visa transferir recursos financeiros aos proprietários rurais ou agentes a fim de incentivá-los a preservar e/ou recuperar a biodiversidade e o fluxo dos serviços ecossistêmicos. Os valores de tais recursos são definidos levando em conta, normalmente, os custos de oportunidade envolvidos (produção agrícola perdida e custos de proteção e recuperação). Apesar da existência de experiências bem-sucedidas, ainda há desafios a serem superados, especialmente em relação ao que fazer “quando o recurso financeiro cessar” (Fisher, 2012).

As abordagens tradicionais de PSA envolvem mecanismos que direcionam pessoas, empresas e instituições públicas a pagarem um valor monetário em troca de ações que favoreçam o fluxo de bens e serviços ecossistêmicos. Essa abordagem pode ser ineficiente em períodos de crises econômicas e nas finanças públicas em função da redução de crédito, de recursos públicos e aumento do desemprego, porque dificulta a manutenção dos pagamentos aos provedores de serviços ambientais. O incremento dos repasses de recursos financeiros oriundos do instrumento de compensação financeira denominado ICMS Ecológico (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços)<sup>3</sup> apresentou uma queda importante em valores constantes de 2016 no estado de São Paulo nos períodos em que o Brasil está em recessão econômica, isto é, entre os anos 2014 e 2016 (Gráfico 1).



Fonte: preparado pelos autores com base em Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo, 2017.

Gráfico 1 – Evolução do repasse de ICMS-Ecológico no Estado de São Paulo: 2006-2016 (em valores constantes de 2016, deflacionado pelo IPCA).

O ICMS Ecológico representa um tipo de PSA, apoiado no repasse de parcela do ICMS estadual para os municípios que realizam ações de proteção e recuperação da qualidade ambiental em seus territórios. Acontece que os instrumentos econômicos, tal como o ICMS Ecológico, dependem de um único tipo de dinheiro, a moeda oficial, os quais podem ter problemas na ocorrência de crises econômicas. Conforme dados do Gráfico 1, observa-se que a crise da economia brasileira estagnou o volume repassado do ICMS Ecológico aos municípios entre 2014 e 2016. Esse exemplo mostra que o uso de instrumentos econômicos para fins de gestão ambiental pode reduzir ou perder seu potencial de ação em função da queda dos valores repassados aos provedores de serviços ambientais. Nesse sentido, a adoção de múltiplos tipos de dinheiro pode se configurar uma alternativa interessante para reduzir a incerteza no fluxo dos repasses e aumentar a confiança dos provedores de serviços ambientais em relação a adesão a uma política de PSA (Paiva Sobrinho; Romeiro, 2015).



## Múltiplos tipos de dinheiro

Para enfrentar os desafios relacionados aos problemas socioecológicos no atual sistema monetário internacional (Duncan, 2005; Paiva Sobrinho; Romeiro, 2016a), é preciso, entre outros fatores,<sup>4</sup> ampliar a definição de dinheiro e discutir a coexistência de diferentes tipos de dinheiro com a moeda oficial de um país. Nesse sentido, é preciso redefinir o dinheiro, de tal modo que não seja enviesado. A definição mais aceita tem por objetivo atender os interesses das empresas financeiras, como a definição proposta pelo Banco da Inglaterra: “Dinheiro é um tipo de dívida e existem três tipos de dinheiro: efetivo, depósito bancário e reservas do banco central” (BoE, 2014). Fica evidente que essa definição atende os interesses das instituições financeiras que fazem negócio endividando os setores da economia. Segundo McKinsey (2013), o mercado de dívidas é muito superior ao mercado de ações em bolsas de valores, evidenciando que ter uma definição de dinheiro como sendo algum tipo de dívida se torna fundamental para o negócio das instituições financeiras que lucram ao endividar os setores econômicos. Werner (2016) mostra empiricamente que os bancos comerciais criam os depósitos bancários quando seus clientes se endividam, isto é, não precisam possuir efetivo em cofres para realizar o empréstimo. Detalhes sobre a relação entre a criação do dinheiro pelos bancos e como esses obtêm o efetivo nos mercados monetários podem ser encontrados em (Milne, 2009; Paiva Sobrinho; Romeiro, 2016a, b).

Assim sendo, este estudo adota a seguinte definição: “Dinheiro é um acordo feito por uma comunidade para usar algo padronizado que serve, ao menos, como meio de troca” (Paiva Sobrinho; Córdoba Brenes, 2016). Observa-se que a definição adotada no estudo contrasta com a definição proposta do banco central da Inglaterra. A definição alternativa destaca que as pessoas podem se organizar e criar acordos entre elas para usar algo padronizado que serve, pelo menos, como meio de troca a fim de solucionar os problemas desejados. As demais funções que o dinheiro pode exercer, tais como, unidade contábil, reserva de valor podem ser exercidas por outros tipos de dinheiro (Lietaer et al., 2012).

Por outro tipo de dinheiro entende-se que é a forma como ele é criado. As moedas oficiais de um país são criadas quando o banco central compra algo, tais como títulos de dívida governamentais, moedas criadas por outros bancos centrais, entre outros. Isso significa que o banco central cria a moeda a partir do nada, inserindo um número digital em uma conta específica (FED, 1982). Os depósitos bancários são criados pelos bancos comerciais quando seus clientes se endividam (BoE, 2014). Existem outros tipos de dinheiro cuja criação não depende de alguém se endividar. A criptomoeda Bitcoin é criada quando alguém prova que resolveu um problema matemático específico (Ulrich, 2014). Sendo a primeira criptomoeda, o Bitcoin possui limitações que são superadas por outras plataformas *blockchain*, como a BitShares<sup>5</sup> e EOS.<sup>6</sup> Dentre as limitações no Bitcoin menciona-se a demora no registro da transação. O tempo mínimo de



criação do bloco é de 10 minutos e o número de transações por segundo (tps) é muito inferior, entre 3 e 10 tps. Além disso, o elevado gasto de energia elétrica para a manutenção da plataforma Bitcoin. Os dois *blockchains* mencionados BitShares e EOS, por exemplo, são capazes de processar mais de 50.000 tps e a geração dos blocos é em torno de 3 segundos. Tanto o Bitcoin quanto as criptomoedas BitShares e EOS são tipos de dinheiro que fazem uso da tecnologia *blockchain*, porém, antes do surgimento desta tecnologia, surgiram outras iniciativas conforme se pode observar em (Kennedy et al., 2012; Lietaer et al. 2012).

Historicamente, as implicações práticas decorrentes da existência de mais de um tipo de dinheiro em um sistema econômico têm se mostrado benéficas para a sociedade (Kennedy et al., 2012). O exemplo contemporâneo mais exitoso é o banco WIR que funciona desde 1934 emitindo e administrando o tipo de dinheiro, conhecido por WIR (WIR significa “nós” e é a sigla da palavra alemã “Wirtschaftsring” que, por sua vez, significa circuito econômico). O referido banco emite crédito através do sistema de compensação de crédito mútuo, isto é, as pequenas e médias empresas obtêm crédito sem se endividar como seria em um banco tradicional.<sup>7</sup> Análises realizadas por Stodder (2009) apontam que a existência do banco WIR é favorável para o desenvolvimento dos negócios das pequenas e médias empresas, principalmente em momentos de crises econômicas em que o acesso ao crédito dos bancos tradicionais é mais difícil. Nesse contexto, os empreendedores obtêm crédito para seu negócio através do banco WIR, via sistema de compensação de crédito mútuo.

Os resultados obtidos por Stodder são explicados sob a óptica da sustentabilidade de sistemas complexos de fluxos, porque tanto o sistema ecológico quanto o econômico, e sua interação (sistema socioecológico), fazem parte de um sistema complexo de fluxo, cuja sustentabilidade depende do balanço entre eficiência e resiliência (Ulanowicz et al. 2009). Segundo Lietaer et al. (2012), o atual sistema monetário internacional é insustentável devido à alta eficiência e nula resiliência. Alta eficiência implica maior conexão e dependência dos componentes de um sistema a uma única fonte de recursos. No caso do sistema econômico, implica a conexão e dependência dos setores econômicos ao sistema bancário tradicional. Esse é um sério problema, porque geralmente os bancos não cedem crédito para solucionar problemas socioecológicos que não lhes rendem retornos financeiros. Além disso, quando ocorrem problemas com o sistema bancário os demais setores sofrem as consequências negativas, uma vez que o fluxo é interrompido ou não funciona como antes.<sup>8</sup> Por isso é necessário que sejam criadas diferentes fonte de recursos para assegurar o funcionamento do sistema, mesmo quando existem problemas em uma das fontes. No caso do sistema econômico, vários autores (Lietaer et al. 2012; Paiva Sobrinho; Romeiro, 2015) apontam como solução a incorporação no sistema monetário de novos tipos de dinheiro, ou moedas complementares,<sup>9</sup> os quais não seriam controlados pelas instituições financeiras tradicionais. Uma modalidade de dinheiro tem o digital, apoiado na tecnologia *blockchain*.

## **A tecnologia *Blockchain***

Nakamoto (2008) criou a tecnologia *blockchain* como suporte para a criação da criptomoeda Bitcoin. Narayanan et al. (2016) definem o *blockchain* como uma cadeia de blocos conectados por funções *hash*. As funções *hash* são funções matemáticas fáceis de calcular a partir de um valor de entrada, porém praticamente impossível de encontrar o valor inicial a partir do valor modificado pela função. Essa característica da função *hash* confere ao *blockchain* a propriedade de imutabilidade uma vez que os dados são armazenados em blocos eles são submetidos a uma função *hash* e, conseqüentemente, não podem ser alterados. Qualquer tentativa de modificar os dados armazenados será notada, pois, alterará os valores finais da função *hash*. O *blockchain* é armazenado em múltiplos servidores, computadores, de modo que cada um pode ter a cópia completa de todos os registros na rede Peer-to-Peer (P2), que estão sincronizados de modo tal que a inserção de novos registros requer a validação da rede que estão sincronizados por determinados mecanismos de consensos (Narayanan et al., 2016). Os diferentes mecanismos de consenso representam a verdadeira evolução da tecnologia *blockchain*.

### ***Mecanismo de consenso “Prova de Trabalho”***

A primeira geração do *blockchain* surge em 2009 com a implementação das ideias de Nakamoto (2008), a qual usa como mecanismo de consenso o algoritmo, Prova de Trabalho, do inglês, *Proof of Work* (PoW). Esse algoritmo requer elevado esforço computacional para resolver “charadas” matemáticas que são usadas para provar que a pessoa, conhecida por *miner* (minerador), realizou tarefas necessárias para a inserção de novos dados no *blockchain*, e como recompensa por seu esforço ela recebe Bitcoins recém-criados.

No início a mineração (resolução das charadas matemáticas) era realizada com um laptop comum, porém, isso não é mais possível. Em razão do elevado esforço computacional requerido somente empresas detentoras de computadores sofisticados, os quais são custosos,<sup>10</sup> é que possuem melhores condições de resolver as “charadas” matemáticas. Esse aspecto pode levar a centralização do acesso a novos Bitcoins eliminando a característica de ser uma criptomoeda descentralizada. Visando evitar esse risco surgiram novos mecanismos de consenso, como o *Proof of Stake* (PoS) e o *Delegated Proof of Stake* (DPoS).

### ***Mecanismo de consenso Prova de Participação***

Visando superar as limitações no mecanismo de consenso Prova de Trabalho, desenvolvedores da criptomoeda *Peercoin*,<sup>11</sup> em 2012, criaram o mecanismo Prova de Participação (PoS), porém, adotando um mecanismo híbrido, isto é, usando PoW e PoS. A primeira criptomoeda que usou o mecanismo de PoS foi a NXT.<sup>12</sup>

Na sua forma mais básica, o mecanismo PoS implica que o participante do sistema que deseja certificar as transações e inseri-las no *blockchain* não precisa

possuir alto poder de *hardware* para minerar, mas, sim, precisa ter criptomoedas. Nesse mecanismo, o criador do próximo bloco é escolhido de modo tal que a chance de uma conta ser escolhida depende da quantidade de criptomoedas que possui. Além disso, geralmente todas as criptomoedas são criadas no começo e o número total de criptomoedas pode se manter constante ou aumentar ao longo do tempo. Portanto, na versão básica de PoS não há recompensas de bloco (por exemplo, como no Bitcoin), mas, sim, os verificadores são recompensados ao receber as taxas de transação.

Larimer (2014) afirma que tanto NXT e Peercoin resolveram cada um o problema de quem deveria gerar o próximo bloco, eles não resolveram o problema de tornar a cadeia de bloqueios irreversivelmente segura em tempo hábil. Peercoin requer pelo menos 6 blocos (1 hora) e NXT requer 10 blocos.

### ***Mecanismo de consenso Prova de Participação Delegada***

O mecanismo de consenso Prova de Participação Delegada, do inglês, *Delegated Proof of Stake* (DPoS) é um algoritmo de consenso que permite aos *shareholders* e usuários do sistema ter controle sobre quem está certificando as transações que serão inseridas no *blockchain*. Esse mecanismo foi introduzido pela equipe da plataforma *blockchain* BitShares em 2013. No DPoS, os detentores de criptomoedas, ainda que em pequenas quantidades, podem delegar o seu direito de certificar transações para outra pessoa, em outras palavras, independentemente da quantidade de criptomoedas que você possui, você tem sua voz no sistema e pode usá-la para transferir o seu o direito de certificar para outra pessoa que possua melhores condições.

A diferença entre um sistema PoS regular e um sistema DPoS pode ser comparada à diferença entre democracia direta e democracia representativa. No sistema PoS, prova de participação, cada carteira que contém criptomoedas é capaz de participar no processo de validação de transações e formar o consenso distribuído e ganhar criptomoedas em troca. No sistema DPoS, prova de participação delegada, cada carteira que contém criptomoedas pode votar em delegados, e são esses delegados que desempenham a função de validar transações e manter a cadeia de blocos e tomar as taxas de transação como lucro (Dean, 2015).

Graças ao uso do mecanismo de consenso DPoS, o BitShares consegue realizar em torno de 50.000 transações por segundo (tps) e garantindo a segurança dos blocos no *blockchain*. Mais detalhes podem ser obtidos em BitShares.<sup>13</sup> A evolução do *blockchain* BitShares é o EOS<sup>14</sup> que está em desenvolvimento e será lançado para produção em meados de 2018. Devido ao DPoS e outras características relativas aos aspectos computacionais, o *blockchain* EOS poderá operar mais de 500.000 tps, além de ser uma plataforma para executar *smart contracts* sem os custos operacionais incidentes que outras plataformas de *blockchain*, como é o caso do Ethereum.<sup>15</sup>

### *Contratos inteligentes*

O contrato inteligente, do inglês *smart contracts*, é um conjunto de instruções digitais inseridas em um programa de computador conectado em um *blockchain*. O termo foi criado por Nick Szabo em 1994.<sup>16</sup> Szabo define contrato inteligente como sendo:

[...] um protocolo de transação informatizado que executa os termos de um contrato. Os objetivos gerais do contrato inteligente são satisfazer condições contratuais comuns (tais como condições de pagamento, garantias, confidencialidade e até mesmo o seu cumprimento), minimizar exceções maliciosas e acidentais e minimizar a necessidade de intermediários confiáveis. Os objetivos econômicos relacionados incluem redução de perdas por fraude, arbitragens e custos de transação entre outros custos.

O termo *smart contract* foi criado antes da tecnologia *blockchain* e ganhou maior relevância com o surgimento do *blockchain* Ethereum em 2014, o qual permite a execução de tais contratos uma vez que os mesmos estejam alocados no *blockchain*. Sendo o Ethereum a primeira plataforma *blockchain* a permitir a execução de *smart contracts*, assim como o Bitcoin, esse possui limitações que já estão sendo superadas por plataformas como a EOS. A primeira limitação, já comentada previamente, reside no limitado número de transações por segundo (tps) que a plataforma Ethereum processa. A segunda limitação está relacionada aos custos de transações que são maiores no Ethereum e menor na plataforma EOS.

Independentemente da plataforma *blockchain*, os *smart contracts* possuem características comuns como o uso de oráculos. Os oráculos são simplesmente fontes de informação/dados confiáveis que servem de entrada para os contratos inteligentes. Por exemplo, o serviço de medição de temperatura de alguma instituição governamental pode ser o oráculo para fornecer os dados de temperatura que serão usados em um *smart contract* que utiliza representa uma aposta entre duas pessoas, isto é, se no dia específica a determinada hora a temperatura for igual a um valor específico um dos envolvidos perde a aposta e o contrato inteligente transfere automaticamente um ativo (criptomoedas) para a parte vencedora. Outro exemplo, no caso da recuperação de áreas de preservação ambiental (APP), a secretaria de meio ambiente de Jundiá poderia ser o oráculo e no caso de o proprietário cumprir com os requisitos, o contrato inteligente enviará uma quantidade de criptomoedas para a conta do agricultor.

Cabe destacar que a tecnologia *blockchain*, independentemente do seu mecanismo de consenso, permite que as pessoas que não têm confiança entre si colaborem sem depender de uma autoridade central, isto é, representa uma “máquina” para criar confiança (*The Economist*, 2015). Segundo Mougayar e Buterin (2016), o *blockchain* torna obsoleto o papel dos agentes financeiros intermediários, como os bancos convencionais, e torna possível a criação de sistemas monetários paralelos e imunes às falhas estruturais inerentes ao atual sistema monetário internacional (Duncan, 2005; Paiva Sobrinho; Romeiro, 2016a).

Para solucionar problemas socioecológicos, a tecnologia *blockchain* é essencial, porque permite a criação de criptomoedas de modo a incentivar ações específicas que visem solucionar os problemas desejados, de forma independente das instituições financeiras tradicionais.

O uso da tecnologia *blockchain* para solucionar problemas socioecológicos está apenas iniciando. Existem criptomoedas criadas para promover o uso de energia solar, *SolarCoin* (SolarCoin, 2017). A fundação SolarCoin criou inicialmente as criptomoedas de mesmo nome e as disponibiliza para os que provarem que geraram energia elétrica via fonte solar. A referida fundação argumenta que 99% das SolarCoins serão transferidas para os produtores de energia solar nos próximos 40 anos. Cada SolarCoin em circulação representa 1MWh de energia solar gerado seja por painéis solares instalados em estabelecimentos residenciais e/ou comerciais.

Paiva Sobrinho e Romeiro (2016b) propõem um protótipo de criptomoedas, o *Oxys*, para o desenvolvimento sustentável, por exemplo, em relação ao enfrentamento das emissões de gases de efeito estufa, conversação de áreas verdes, entre outras ações. Essa criptomoeda, “*Oxys*”, baseia-se na ideia do oxigênio. Cada “*Oxys*” é criado quando alguém realiza ações verificáveis que visem solucionar problemas socioecológicos em escalas locais, regionais e internacionais.

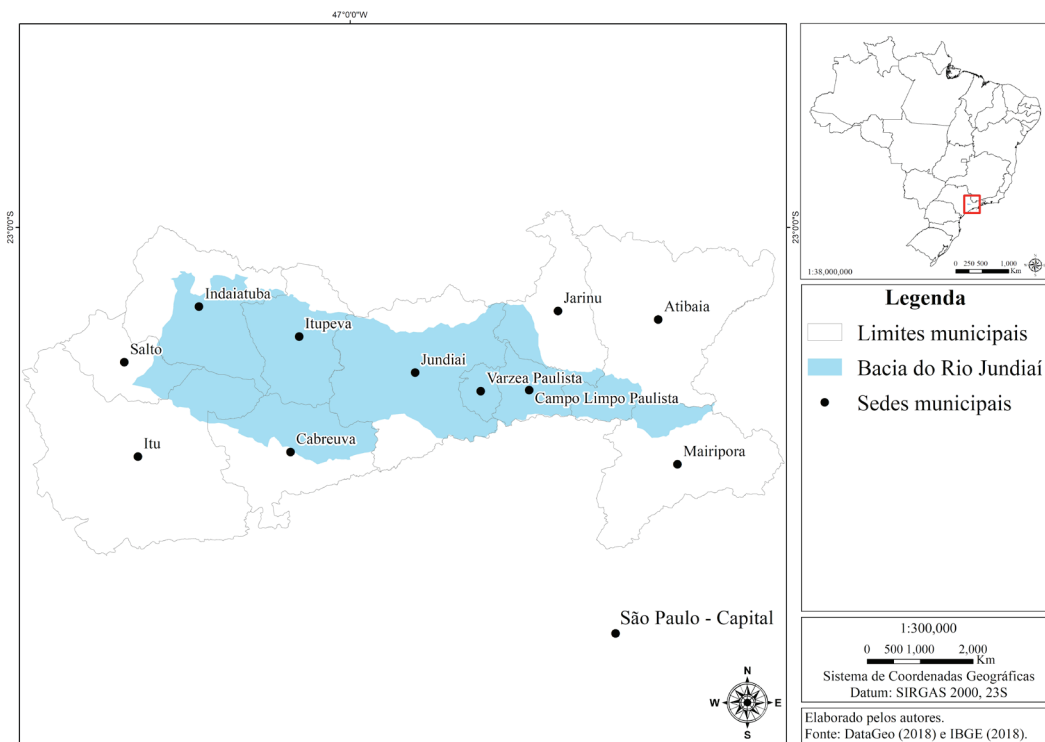
Na seção seguinte, apresentamos algumas informações referente à proposta geral da criação de uma criptomoeda para auxiliar na recuperação da bacia hidrográfica do Rio Jundiáí. Detalhes referentes à sua implantação estão fora deste texto, pois dependem da execução de um projeto de implementação piloto.

### **Área de estudo: A Bacia Hidrográfica do Rio Jundiáí**

A Bacia Hidrográfica do Rio Jundiáí (BHRJ) (Figura 2) abrange municípios<sup>17</sup> cujas economias baseiam-se em atividades industriais, mineração, agrícolas e de serviços e geram um dos maiores PIB (Produto Interno Bruto) do estado de São Paulo e graves problemas relativos à qualidade dos recursos hídricos, os quais não têm sido resolvidos devido, principalmente, a falta de recursos financeiros (Neves et al., 2007).

A área da BHRJ foi estimada em 118 mil hectares (1.180 km<sup>2</sup>), que inclui territórios totais e parciais de 11 municípios, mas apenas 7 deles possuem suas sedes no território da bacia (Figura 2) (Tabela 1). A área das Bacias PCJ é de 15.303 km<sup>2</sup> (Plano de Bacia 2010-2020).

A população total da região de estudo foi estimada em 1,3 milhão de pessoas em 2010 (944,9 mil em municípios com sede na BHRJ e 385,6 mil em municípios com sede fora da BHRJ) (IBGE, 2017b)<sup>18</sup> (Tabela 1). A densidade demográfica foi estimada em 800 hab./km<sup>2</sup>, a população urbana dos municípios com sede na BHRJ em 914 mil pessoas e a taxa de urbanização em 96,7%. Nos municípios com sede fora da área da BHRJ a taxa de urbanização foi estimada em 95%.



Fonte: Preparado pelos autores com base em Datageo – Sistema Ambiental Paulista, 2017; IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017a.

Figura 2 – Localização da bacia hidrográfica do Rio Jundiaí (BHRJ).

Tabela 1 – Informações demográficas do Estado de São Paulo e da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí (BHRJ) por município: 2010

Municípios	População	% da população	% da área do território <sup>1</sup>	Taxa de urbanização
<b>Município com sede na área da BHRJ</b>				
Cabreúva	41,604	3.1%	10.3%	84.8%
Campo Limpo Paulista	74,074	5.6%	6.7%	100.0%
Indaiatuba	201,619	15.2%	15.4%	99.0%
Itupeva	44,859	3.4%	13.7%	86.8%
Jundiaí	370,126	27.8%	27.8%	95.7%
Salto	105,516	7.9%	5.0%	99.3%
Várzea Paulista	107,089	8.0%	3.0%	100.0%
<b>Subtotal</b>	<b>944,887</b>	<b>71.0%</b>	<b>81.9%</b>	<b>96.7%</b>
<b>Município com sede fora da área da BHRJ</b>				
Itu	154,147	11.6%	5.9%	93.6%
Mairiporã	80,956	6.1%	3.3%	87.4%
Atibaia	126,603	9.5%	4.7%	91.0%
Jarinu	23,847	1.8%	4.2%	77.3%
<b>Subtotal</b>	<b>385,553</b>	<b>29.0%</b>	<b>18.1%</b>	<b>90.4%</b>
<b>Bacia do Rio Jundiaí</b>	<b>1,330,440</b>	<b>100.0%</b>	<b>100.0%</b>	<b>94.9%</b>
<b>São Paulo</b>	<b>41,262,199</b>	<b>3.2%</b>	-	<b>95.9%</b>

Fonte: Preparado pelos autores com base em Atlas Brasil (2013) e IBGE (2017a).

Notas: <sup>1</sup> a área da Bacia do Rio Jundiaí foi estimada com base em Datageo (2017).



A principal característica ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá é a presença dos remanescentes do Bioma<sup>19</sup> Mata Atlântica. A área original de ocorrência do Bioma Mata Atlântica no Brasil é de 1.110.182 km<sup>2</sup> (IBGE, 2004),<sup>20</sup> mas restam apenas 8,5% de remanescentes florestais com área maior que 100 hectares (Sosma, 2017a). Apesar do alto grau de degradação, os relatórios “Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica” da ONG Sosma (SOS Mata Atlântica), em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), continuam indicando que ainda persiste a supressão da sua cobertura florestal. Entre 2014 e 2015 a área desmatada na Mata Atlântica alcançou 184 km<sup>2</sup> (18.433 hectares) (Sosma, 2017b).

Mesmo degradada, a Mata Atlântica abriga mais de 20 mil espécies vegetais, que representam 35% das espécies brasileiras, 849 espécies de aves, 370 de anfíbios, 200 de répteis, 270 de mamíferos e 350 de peixes (Campanili; Schaffer, 2010; MMA, 2017a). As informações revelam que a Mata Atlântica ainda abriga uma área de elevada biodiversidade com elevado grau de endemismo, mas ao mesmo tempo continua sofrendo fortes pressões decorrentes das ações humanas (Campanili; Schaffer, 2010; Cunha; Guedes, 2013). A maior parcela da população brasileira reside no Bioma Mata Atlântica, por volta de 120 milhões de pessoas (MMA, 2016a), por conseguinte, também a estrutura econômica brasileira. Esta característica eleva o grau de pressão sobre a preservação da Mata Atlântica, aspecto verificado na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá (Tabela 1).

A BHRJ está inserida na bacia PCJ que adota a cobrança da água desde 2006. Segundo Gonçalves et al. (2012), a cobrança pelo uso da água não modificou o nível de poluição dos rios das bacias analisadas PCJ. Esse resultado mostra que depender desses mecanismos pode resultar em agravamento dos problemas e sugere que é necessário tentar novas abordagens.

Na seção que segue, apresentamos a proposta geral para a criação de um sistema de PSA em que as recompensas aos realizadores de ações desejadas não são reais, mas, sim uma criptomoeda.

### **Uma proposta de PSA apoiada na tecnologia *Blockchain***

Considerando a definição de dinheiro adotada neste texto (terceira seção), isto é, “dinheiro é um acordo feito por uma comunidade para usar algo padronizado que serve, ao menos, como meio de troca” (Paiva Sobrinho; Córdoba Brenes, 2016c), e considerando que se entende por “tipo de dinheiro” a forma como ele é criado, propõe-se a criação de uma criptomoeda denominada, provisoriamente, Aqua. Essa possui o objetivo de incentivar que pessoas habitantes de áreas rurais e urbanas realizem ações que contribuam para o alcance de objetivos acordados pelos participantes do sistema da criptomoeda. Exemplos de tais objetivos podem ser a recuperação de APP em áreas rurais, reciclagem de resíduos sólidos em áreas urbanas, redução do consumo de água e/ou energia elétrica em determinados períodos.

A criptomoeda Aqua pode ser criada de diferentes maneiras sendo uma delas em quantidades proporcionais às áreas vegetais naturais existentes no domínio da referida bacia hidrográfica. Supondo que essa seja criada dessa maneira, trata-se um ponto interessante para chamar a atenção dos *stakeholders* atuantes na área de estudo que a existência da Aqua depende da conservação das áreas florestais, as quais influenciam no armazenamento de água no subsolo da bacia hidrográfica e de outros serviços ecossistêmicos (MEA, 2005). A recuperação e manutenção das áreas florestais podem contribuir também para a melhoria da quantidade e qualidade da água dos rios da bacia do Rio Jundiáí.

Tanto a criação quanto a distribuição da Aqua poderão ser realizadas por meio de uma organização composta por representantes da sociedade civil organizada, comitês de bacias hidrográficas e municipalidades. Essa organização se ocupará em estabelecer regras claras e transparentes quanto à forma como os *stakeholders* podem obter e usar a criptomoeda. O processo de estabelecimento de regras mencionado deve considerar as opiniões dos usuários do sistema para aperfeiçoar as regras à medida que for necessário.

Exemplos de regras que podem constar no sistema da criptomoeda Aqua. É possível estipular uma regra para um agricultor obter “Aguas”, que podem ser usadas na compra de mudas e insumos para recuperar as APP (áreas de preservação permanentes) e/ou reserva legal. Para a obtenção de Aquas, o agricultor deve apresentar um plano de manejo a instituição legal, por exemplo, à secretaria de meio ambiente do município de Jundiáí, e uma vez que receba a confirmação de que sua documentação esteja adequada, a própria instituição envia a informação a um determinado *smart contract* que irá enviar a quantidade correspondente de Aquas para a carteira eletrônica do agricultor que irá transferir para o dono do viveiro de mudas. Uma vez que as áreas de APP/reserva legal estejam recuperadas, o agricultor passará a receber todos os anos uma quantidade equivalente de Aquas, proporcional aos hectares recuperados. O sistema de gestão da criptomoeda independe do sistema financeiro tradicional, portanto, seu fluxo está imune às futuras crises econômicas, garantido a continuidade das ações desejadas.

Na área urbana, as pessoas podem se cadastrar no sistema para obter *e-wallets* (carteira eletrônica), as quais permitem o recebimento de Aquas quando as ações incentivadas sejam realizadas, por exemplo, redução consumo de energia elétrica e de água, reciclagem de resíduos sólidos, consumo de produtos orgânicos etc. A pessoa que decide participar do sistema registra-se e obtém sua carteira eletrônica. Ao reduzir o consumo de água, a pessoa envia o comprovante (conta de água) para o sistema que irá verificar e transferir os “Aguas” correspondentes para sua *e-wallet*. Da mesma maneira, pessoas podem dar aulas de educação ambiental e receber *Aguas*. Os *Aguas* podem ser usados nos estabelecimentos comerciais parceiros do sistema. Para isso é vital que as pessoas conheçam o sistema, as administrações municipais apoiem a iniciativa. Nesse

sentido, a proposta deve ser apresentada e amplamente divulgada com ações de educação ambiental, nas escolas e outras formas de comunicação.

A quantidade de Aqua correspondente a cada ação deverá ser estipulada pela comunidade que participa do sistema da referida criptomoeda. Sugere-se a implantação de um experimento piloto a fim de possibilitar a validação dessa proposta geral. Além do estabelecimento das regras mencionadas, a organização se incumbirá de atrair vários *stakeholders* para participar do sistema, principalmente, estabelecimentos comerciais para que possam aceitar a criptomoeda como forma de pagamento pelos serviços\produtos ofertados. O objetivo é criar uma comunidade integrada que estimule a recuperação e conservação da qualidade ambiental ao mesmo tempo em que incentiva a economia local e a integração dos agentes.

Considerando as características dos mecanismos de consenso apresentados (na terceira seção) sugere-se utilizar plataforma de *blockchain* baseada no mecanismo de consenso Prova de Participação Delegada (DPoS), para dar suporte à criação da criptomoeda Aqua. Ainda que a plataforma *blockchain* EOS esteja em desenvolvimento e será lançada em meados de 2018, sugere-se utilizá-la, devido ao fato de que permitirá a escalabilidade, isto é, elevado número de transações por segundo, o que influencia na experiência do usuário que terá um serviço de transação com velocidade igual ou superior ao proporcionado pelas marcas Visa cartões de débito\crédito. Nessa, o tempo de demora para realizar uma transação é em torno de segundos, e o mesmo ocorre já com a plataforma BitShares, a qual é a precursora do EOS.

É importante ressaltar que todas as transações realizadas são registradas no *blockchain*, que é auditado, transparente e descentralizado, isto é, qualquer pessoa pode ter acesso ao sistema. A inserção dos dados no *blockchain* é feita por pessoas que desejem participar no sistema voluntariamente. As pessoas que operam a atualização do *blockchain* recebem uma taxa (em Aquas) referente ao montante da transação realizada.

### **Discussão da proposta**

A proposta possui potencial para ser implementada, uma vez que a tecnologia já existe, o código computacional é aberto e praticamente não incorreria em custos financeiros elevados, apenas econômicos.<sup>21</sup> Se implementada, a gestão dos recursos hídricos passa a ter uma ferramenta poderosa para colocar em prática ações que outrora estavam inoperantes devido à falta de recursos financeiros, principalmente neste momento de crise fiscal e econômica. Sem dúvida que é necessário envolver os diferentes *stakeholders* sobre a viabilidade de sua implementação, assim como obter novas ideias para aprimorar o delineamento da criptomoeda. Nesse sentido, existe uma série de experiências internacionais com moedas complementares (Kennedy et al., 2012), que apesar de não envolverem criptomoedas, serviriam de referência para mostrar as pessoas os possíveis benefícios e desafios.

As principais vantagens em ter um sistema de PSA baseado em *blockchain* são: (1) independência dos recursos monetários frente ao sistema bancário e mesmo do setor público; (2) existência de fonte alternativa monetária isenta a crises econômicas; (3) promove a integração da comunidade local; (4) estimula o desenvolvimento da economia local que esteja integrada ao sistema. Os principais desafios comuns e que serão superados ao longo do tempo são: (1) assimilação da ideia de usar uma criptomoeda como meio de troca, que envolve mostrar aos diferentes *stakeholders* que isso é uma prática comum em várias partes do mundo e que estão se beneficiando; (2) se necessário, institucionalizar o uso da criptomoeda, por exemplo, em algumas cidades os prefeitos passaram a aceitar e outros estão estudando a possibilidade de aceitar criptomoedas como meio de pagamento de impostos. Ainda que essa condição não seja necessária para a implementação do sistema, se ocorrer pode contribuir para a maior aceitação da criptomoeda pelos diferentes *stakeholders*; (3) estimular a participação da comunidade e dos estabelecimentos econômicos; (4) implantação do sistema; (5) treinamento de recursos humanos; (6) discutir os potenciais efeitos inflacionários locais.

Uma vez que o dinheiro é um acordo feito por uma comunidade para usar algo padronizado que sirva, ao menos, como meio de troca, é importante a participação de várias pessoas que atuem nas áreas de abrangência a fim de que haja serviços, produtos para serem transacionados usando os Aquas. Nesse sentido, ainda que não seja imprescindível, a adoção explícita de múltiplos tipos de dinheiro por instituições governamentais<sup>22</sup> que atuam na área de estudo pode servir para facilitar a disseminação das ideias e redução de possíveis desconfiças por parte de alguns *stakeholders*. Por exemplo, a moeda complementar conhecida por Bristol Pound<sup>23</sup> é aceita pela prefeitura da cidade de Bristol, Inglaterra, como meio de pagamento de impostos, além de ser usada por várias empresas locais. Sua adesão é voluntária, como deve ser qualquer outro tipo de dinheiro, ou, moeda complementar. Nos Estados Unidos, o governador do estado da Califórnia, Jerry Brown, aboliu uma legislação obsoleta que impedia que as pessoas e outras organizações se organizassem para emitir moedas complementares. Nesse estado, criptomoedas como Bitcoin são usadas nos estabelecimentos, e os californianos podem emitir outros tipos de dinheiro (Paiva Sobrinho; Córdoba Brenes, 2016c). Na Noruega, a cidade de Liberstad adotou a criptomoeda Bitcoin como moeda oficial e ela é aceita em praticamente todos os estabelecimentos da cidade.<sup>24</sup>

Essas experiências mostram que as pessoas estão se organizando em várias partes do mundo para emitir novos tipos de dinheiro para solucionar seus problemas. Ainda são poucas as experiências que visem solucionar problemas socioecológicos, porém, conforme os profissionais que atuam nas áreas ambientais conheçam mais sobre dinheiro, como delinear novos tipos de dinheiro, mais experiências surgirão. A tecnologia blockchain pode contribuir para o desenvolvimento de criptomoedas como Aqua e outras para atender demandas socioambientais seja em escalas globais, nacionais, regionais, locais.

## Considerações finais

Para solucionar problemas socioecológicos, por exemplo, aqueles relacionados à gestão hídrica é preciso criar mecanismos de incentivos econômicos que sejam imunes ou minimamente afetados pelas crises econômicas. A tecnologia *blockchain* abre múltiplas possibilidades para a criação de criptomoedas para financiar atividades que levem à conservação dos recursos hídricos e a revitalização de bacias hidrográficas. Além disso, possibilita delinear criptomoedas respaldadas pela existência de áreas conservadas, assim como áreas que recuperadas. Dessa forma, abre-se a possibilidade de inserir a noção de riqueza natural para os que usarem as referidas criptomoedas.

Nesse sentido, propomos a criação da criptomoeda Aqua para financiar ações que visem recuperar a bacia hidrográfica do Rio Jundiáí, tanto nas áreas rurais quanto urbanas. Os Aquas servem tanto para financiar atividades de revegetação, como recompensa por manter áreas de reserva legal e de proteção ambiental conservadas. Trata-se de uma inovação na adoção dos esquemas de pagamentos por serviços ambientais, uma vez que não depende do sistema financeiro tradicional e está imune às crises econômicas, porque sua criação e gestão é independente dos bancos tradicionais. Dessa forma, aumentam-se as chances de solucionar os problemas desejados.

No momento, os Aquas estão em fase de delineamento e certamente necessitará de ajustes para atender as necessidades da área onde se pretende aplicar a proposta. Independentemente dos ajustes, a proposta pode ser aplicada em outros contextos e em escalas local, regional, nacional e internacional, o que abre novas possibilidades para incentivar a melhoria da qualidade ambiental dos ecossistemas, por exemplo em bacias hidrográficas, e mesmo estimular o desenvolvimento da economia local.

O momento histórico que vivemos é oportuno para inovar quanto à criação de novos tipos de dinheiro para solucionar problemas socioecológicos em múltiplas escalas. Isso requer ampliar conhecimentos o delineamento de novos sistemas monetários que sejam independentes das estruturas institucionais antigas e que vem se mostrando insuficientes para atender as necessidades ambientais e sociais da humanidade neste século XXI.

## Notas

- 1 Entende-se por provedor de serviços ambientais qualquer agente que contribua diretamente para a manutenção do fluxo de bens e serviços ecossistêmicos.
- 2 Não há tradução, mas, o termo refere-se, segundo o Dicionário Michaelis Uol Inglês-Português, a um encargo imposto em qualquer imóvel, portanto, área territorial, a favor de terceiros.
- 3 Sobre o ICMS Ecológico ver <<https://goo.gl/nSHjm0>>.
- 4 Um fator importante é modificar a forma como o banco central e os demais bancos

criam o dinheiro, conforme exigem representantes do movimento internacional “*Positive Money*” ([www.positivemoney.org](http://www.positivemoney.org)).

- 5 Disponível em: <<https://bitshares.org/>>.
- 6 Disponível em: <<https://eos.io/>>.
- 7 Para mais detalhes sobre o sistema de compensação de crédito mútuo consultar Paiva Sobrinho (2015).
- 8 Outro exemplo é o caso do automóvel que funciona à base de gasolina, etanol e gás natural. Esse possui mais resiliência que o automóvel que depende somente de gasolina. Havendo problemas no abastecimento desta última, o primeiro automóvel possui novas fontes para manter o fluxo, enquanto o último não.
- 9 Lietaer (1998) define moeda complementar como um acordo dentro de uma comunidade para aceitar uma moeda não nacional como meio de troca. A moeda complementar serve para executar funções sociais para as quais a moeda oficial não foi projetada para realizar.
- 10 Atualmente existem *pools* de mineração.
- 11 Disponível em: <<https://peercoin.net/>>.
- 12 Disponível em: <<https://nxtplatform.org/>>.
- 13 Disponível em: <<https://goo.gl/m5JGJm>>.
- 14 Disponível em: <<https://eos.io/>>.
- 15 Disponível em: <[www.ethereum.org](http://www.ethereum.org)>.
- 16 Disponível em: <<http://www.virtualschool.edu/mon/Economics/SmartContracts.html>>.
- 17 Os municípios que possuem sede na BHRJ são: Campo Limpo Paulista, Indaiatuba, Itupeva, Jundiá, Salto, Várzea Paulista. Os municípios inseridos parcialmente na BHRJ são: Atibaia, Cabreúva, Itu, Jarinu e Mairiporã.
- 18 A análise demográfica é centrada apenas nos municípios com sede na BHRJ, porque a baixa população rural em todos os municípios indica que a população dos municípios com sede fora da área da BHRJ é pequena.
- 19 O Bioma representa um agrupamento com diversos tipos de vegetação contíguos, mas identificáveis na escala regional, inclui ainda características geoclimáticas similares e processos históricos compartilhados, resultando em diversidade biológica própria (IBGE, 2004).
- 20 A delimitação oficial do Bioma Mata Atlântica é aquela apresentada pelo IBGE, publicada no “mapa dos biomas brasileiros”, na escala 1:5.000.000 (IBGE, 2004).
- 21 Disponível em: <<https://goo.gl/iGK4l8>>.
- 22 Estamos assumindo que as instituições possuem credibilidade perante os ‘*stakeholders*’.
- 23 Disponível em: <<https://goo.gl/wNdsnr>>.
- 24 Disponível em: <<https://goo.gl/0WEAy5>>.

## Referências

ATLAS BRASIL. *Atlas do desenvolvimento humano no Brasil*. 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/nnX3uR>>. Acesso em: 31 maio 2016.



BOE (BANK OF ENGLAND). Money in the modern economy: an introduction. *Quarterly Bulletin*, Q1, 2014. Disponível em: <<https://www.bankofengland.co.uk/quarterly-bulletin/2014/q1/money-in-the-modern-economy-an-introduction>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

CAMPANILI, M.; SCHAFFER, W. B. *Mata Atlântica: manual de adequação ambiental*. Brasília, MMA/SBF, 2010. Disponível em: <<http://goo.gl/LXQHZT>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

COSTA, R. C. *Pagamento por serviços ambientais: limites e oportunidades para o desenvolvimento sustentável da agricultura familiar na Amazônia Brasileira*. São Paulo, 2008. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

CUNHA, A. A.; GUEDES, F. B. *Mapeamentos para a conservação e recuperação da biodiversidade na Mata Atlântica: em busca de uma estratégia espacial integradora para orientar ações aplicadas*. Brasília, MMA, 2013. Disponível em: <<http://goo.gl/Lk8i5y>>. Acesso em: 23 ago. 2017.

DATAGEO – Sistema Ambiental Paulista. Infraestrutura de dados espaciais ambientais do estado de São Paulo (IDEA-SP). Disponível em: <<http://goo.gl/M4B2LL>>. Acesso em: 8 ago. 2017.

DEAN, J. *What is Delegated Proof of Stake?* 2015. Disponível em: <<http://cryptorials.io/glossary/delegated-proof-of-stake/>>. Acesso em: 5 out. 2017.

DUNCAN, R. *The dollar crisis: causes, consequences, cures*. s. l.: Wiley, 2005.

ENGEL, S. et al. Designing payments for environmental services in theory and practice: an overview of the issues. *Ecological Economics*, n.65, p.663-74, 2008.

FED. *Putting it simply*. Federal Reserve of Boston, 1982.

FERRARO, P. J.; KISS, A. Direct payments to conserve biodiversity. *Science*, v.298, p.1718-9, 2002.

FISHER, J. No pay, no care? A case study exploring motivations for participation in payments for ecosystem services in Uganda. *Oryx*, v.46, n.1, p.45-54, 2012.

GONÇALVES, V. et al. Pagamento pelo uso da água, poluição e o efeito *free rider*. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA – ANPEC, 2012. Disponível em: <<https://goo.gl/ujdedV>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Mapa de biomas e de vegetação. 2004. Disponível em: <<http://goo.gl/iUSfTR>>. Acesso em: 18 jun. 2017.

\_\_\_\_\_. Mapas. 2017a. Disponível em: <<http://goo.gl/rF1O13>>. Acesso em: 31 maio 2017.

\_\_\_\_\_. Sistema IBGE de Recuperação Automática – Sidra. 2017b. Disponível em: <<http://goo.gl/cto2oF>>. Acesso em: 31 maio 2017.

JARDIM, M. H. *Pagamentos por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema-MG*. Brasília, 2010. 195 fl. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília. Brasília, 2010.

- KEMKES, R. J. et al. Determining when payments are an effective policy approach to ecosystem service provision. *Ecological Economics*, v.69, p.2069-74, September 2010.
- KENNEDY, M. et al. *People money: the promise of regional currencies*. 2012.
- LARIMER, D. Delegated Proof-of-Stake (DPOS). 2014. Disponível em: <<https://goo.gl/cTbkAJ>>. Acesso em: 21 set. 2017.
- LIETAER, B. *The positive social impact of electronic money: a challenge to the European Union? A Report to the European Commission's Forward Studies Unit*, Brussels and the Instituto de Prospectiva Tecnológica, Sevilla, Spain, 1998.
- LIETAER, B.; ARNSPERGER, C.; GOERNER, S.; BRUNNHUBER, S. Money and sustainability: the missing link. *Club of Rome report*, 2012.
- LIU, S. et al. Valuing ecosystem services: theory, practice, and the need for a transdisciplinary synthesis. *Annals of the New York Academy of Sciences*, n.1185, p.54-78, Jan. 2010.
- LUSTOSA, M. C. et al. Capítulo 7 – Política Ambiental. In: MAY, P. (Org.) *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. 2.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.
- MCKINSEY. *Financial globalization: retreat or reset?* 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/QGQc5L>>. Acesso em: 20 set. 2017.
- MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT – MEA. Ecosystems and human well-being: current state and trends: findings of the condition and trends. Working Group, edited by Rashid Hassan, Robert Scholes, Neville Ash. *The Millennium Ecosystem Assessment Series*, Washington, v.1, 2005.
- MILNE, A. *The fall of the house of the credit*. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. Download de dados geográficos. 2017a. Disponível em: <<http://goo.gl/7XI6mc>>. Acesso em: 10 ago. 2017.
- MOUGAYAR, W.; BUTERIN, V. *The business blockchain: promise, practice, and application of the next internet technology*. Wiley, USA, 2016.
- NAKAMOTO, S. Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system. 2008. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2017.
- NARAYANAN, A. et al. *Bitcoin and cryptocurrency technologies: a comprehensive introduction*. S. l.: Princeton University Press, 2016.
- NEVES, M. A. et al. Impactos do sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos na bacia do Rio Jundiá (SP). *Ambiente & Sociedade*, v.X, n.2, p.149-60, 2007.
- PAGIOLA, S. et al. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America. *World Dev.*, v.33, p.237-53, 2005.
- PAIVA SOBRINHO, R. *This is mutual credit clearing system*. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/sn1RH6>>. Acesso em: 20 ago. 2017.
- PAIVA SOBRINHO, R.; CÓRDOBA BRENES, K. V. *New money for Sustainability*. 2016. Disponível em: <<https://goo.gl/Rv7fxw>>.
- PAIVA SOBRINHO, R.; ROMEIRO, A. R. *Moedas complementares para solucionar problemas socioecológicos? O caso do Sustento*. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/OZwVg7>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

- PAIVA SOBRINHO, R.; ROMERO, A. R. *Understanding the dollar standard in order to improve ecological macroeconomic theory*. Instituto de Economia, Unicamp. 2016a. Disponível em: <<https://goo.gl/o7HaBv>>. Acesso em: 20 ago. 2017.
- PAIVA SOBRINHO, R.; ROMERO, A. R. What features should have a crypto-currency to promote sustainable development? In: THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR ECOLOGICAL ECONOMICS, 2016 Conference, Washington DC June 26-29, USA, 2016b.
- PATTANAYAK, S. et al. Show me the money: do payments supply environmental services in developing countries? *Review of Environmental Economics and Policy*, v.4, p.254-74, 2010.
- SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE DE SÃO PAULO. ICMS Ecológico. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/fLciyG>>. Acesso em: 20 set. 2017.
- SOLARCOIN 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/pkfH9q>>. Acesso em: 20 ago. 2017.
- SOSMA – Fundação SOS Mata Atlântica. Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, 2014-2015. 2017a. Disponível em: <<http://goo.gl/RLr1WR>>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- SOSMA – Fundação SOS Mata Atlântica. Florestas: A Mata Atlântica. 2017b. Disponível em: <<http://goo.gl/mZyHHo>>. Acesso em: 23 ago. 2017.
- STODDER, J. Complementary credit networks and macroeconomic stability: Switzerland's Wirtschaftsring. *Journal of Economic Behavior and Organization*, v.72, p.79-95, 2009.
- THE ECONOMIST. The promise of the blockchain: the trust machine. Disponível em: <<https://goo.gl/1Wxarw>>, 2015. Acesso em: 20 ago. 2017.
- ULANOWICZ, R. E. et al. Quantifying sustainability: resilience, efficiency and the return of information theory. *Ecological Complexity*, v.6, p.27-36, 2009.
- ULRICH, F. *Bitcoin: a moeda na era digital*. s. l.: Mises Brasil, 2014.
- WERNER, R. A. A lost century in economics: three theories of banking and the conclusive evidence. *Int. Rev. Financial Analysis*, v.46, p.361-79, 2016.
- WUNDER, S. *Payments for environmental services: some nuts and bolts*. 2005. Disponível em: <<https://goo.gl/NYBj24>>. Acesso em: 2 ago. 2017.

**RESUMO** – Os problemas socioecológicos são complexos e multidimensionais, envolvendo pelo menos a dimensão ambiental, social, econômica, política e institucional. Os problemas relacionados ao uso múltiplo dos recursos hídricos, a revitalização de bacias hidrográficas e a recuperação de rios urbanos têm colocado novos desafios para a sociedade, os quais requerem soluções inovadoras. Algumas soluções propostas, como a adoção de esquemas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), têm por objetivo incentivar que as pessoas adotem ações direcionadas para resolver problemas específicos em troca de incentivos econômicos. Mas essas soluções possuem limitações relativas a continuidade das ações após o suprimento dos incentivos. Os PSA tradicionais são baseados na moeda oficial de um país e, conseqüentemente, podem ser interrompidos na ocorrência de crises econômicas. Nesse sentido, o objetivo principal deste trabalho é apresentar e discutir uma proposta geral de gestão para a Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá baseada na adoção de uma moeda complementar criada com suporte da tecnologia do *blockchain*. A moeda complementar é a criptomoeda denominada Aqua que visa incentivar ações, por exemplo, como a recuperação das áreas de proteção ambiental em áreas rurais, assim como, ações ambientais em áreas urbanas. A criptomoeda Aqua busca exercer a função de meio de troca e sua circulação ocorrerá somente dentro da rede de usuários que a aceitarem. Visando evitar o efeito negativo de ações especulativas, recomenda-se que a criptomoeda Aqua não seja conversível em reais ou outra criptomoeda.

**PALAVRAS-CHAVE:** Criptomoeda, Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), Tecnologia *blockchain*, Mecanismo de consenso prova de participação delegada (DPoS).

**ABSTRACT** – Socioecological problems are complex and multidimensional, involving at least an environmental, socio, economic, political and institutional dimensions. Problems related to multiple uses of water resources, watershed revitalization and urban river recovery have placed new challenges on society and require innovative solutions. Proposed solutions, such as payment for ecosystem services (PES), aim to encourage people to adopt actions to solve specific issues in exchange for economic incentives. These solutions have limitations related to continuity of actions after the economic incentives cease. Thus, the main goal of this paper is to introduce and discuss a proposal to manage the Jundiá River Watershed that includes the adoption of a complementary currency created with blockchain technology, the Aqua. The main purposes of this cryptocurrency are the recovery of riparian forests in rural zones and environmental actions in urban areas. The cryptocurrency Aqua would act as a medium of exchange and circulate only within the network of establishments that accept it. Seeking to avoid the negative consequences of speculative actions, we recommend the Aqua is not convertible into Reais or other cryptocurrencies.

**KEYWORDS:** Cryptocurrency, Payment for Ecosystem Services (PES), Blockchain technology, Delegated proof of stake consensus mechanism (DPoS).

*Ranulfo Paiva Sobrinho* é pesquisador colaborador do Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). @ – ranulfo17@gmail.com

*Junior Ruiz Garcia* é professor do Departamento de Economia, Universidade Federal do Paraná (UFPR). @ – jrgarcia1989@gmail.com

*Alexandre Gori Maia* é professor do Núcleo de Economia Agrícola e Ambiental (NEA) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). @ – gori@unicamp.br

*Ademar Ribeiro Romeiro* é professor livre-docente do Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). @ – arromeiro@gmail.com

Recebido em 14.2.2018 e aceito em 3.4.2018.

<sup>I e IV</sup> Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil.

<sup>II</sup> Departamento de Economia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil.

<sup>III</sup> Núcleo de Economia Agrícola e Ambiental, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo, Brasil.

