

MARKETPLACE DESCENTRALIZADO PARA A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA – ESTRUTURA, GOVERNANÇA E CONTRIBUIÇÕES PARA O DEBATE REGULATÓRIO

Luiz A. G. Rolim¹
Frank Toshioka²
Paulo Cesar Kussle¹
Marcos Vinícius¹

¹*Fundação CPqD*

²*Companhia Paranaense de Energia - Copel*

DOI: 10.47168/rbe.v26i2.566

Recebido em: 12.07.2020

Aceito em: 18.08.2020

RESUMO

Este trabalho apresenta um Marketplace descentralizado para a geração distribuída (GD) baseado em Blockchain, uma tecnologia disruptiva de alto potencial de utilização na formação de mercados e aplicabilidade no setor elétrico. Motivado pela importância em se manter os estímulos de expansão da GD frente às iniciativas de transformação do mercado, o Marketplace, objeto de um projeto de P&D ANEEL, visa habilitar transações de energia diretamente entre prosumidores e consumidores, criando assim alternativas para a comercialização dos excedentes da produção renovável. O trabalho apresenta a estrutura do mercado, seus participantes, o modelo transacional baseado em leilões, o instrumento monetário E-token, os componentes da governança da rede de suporte Blockchain e contribuições para o debate regulatório, abordando a sustentabilidade do modelo proposto e pontos relacionados à sua inserção no mercado de energia elétrica.

Palavras-chave: Geração Distribuída, Blockchain, Marketplace, Token, Transações.

ABSTRACT

This work presents a decentralized Marketplace for distributed generation (DG) based on Blockchain, a disruptive technology with recognized potential for creating decentralized markets and high applicability in the electric sector. Motivated by the importance in maintaining the expansion of DG in the context of current market adjustments and modernization initiatives, the Marketplace, conceived as part of an R&D project, aims to enable energy transactions directly between prosumers and consumers in order create alternatives for the

commercialization of renewable surplus production. The paper presents the structure of the market, its participants, the transactional model based on auctions, the E-token monetary instrument, the components of the supporting Blockchain network governance and contributions for the regulatory debate addressing sustainability and market related issues.

Keywords: Distributed Generation, Blockchain, Marketplace, Token, Transactions.

1. INTRODUÇÃO

Dentre os fatores que têm norteado a evolução do setor elétrico, pode-se destacar as fontes de energia renováveis, reconhecidas como instrumentos fundamentais para o combate ao aquecimento global e aos impactos causados pelas mudanças climáticas (NREL, 2017), a massificação dos recursos energéticos descentralizados, tais como o armazenamento de energia e a gestão pelo lado da demanda, a disseminação das tecnologias digitais no setor de energia (WEF, 2016), e os aprimoramentos regulatórios que buscam adequar o setor às inovações tecnológicas, tornando-o mais resiliente e dinamizando o mercado por meio de novos arranjos e modelos de negócios (IRENA, 2018).

Nesta evolução, a geração distribuída (GD) se estabeleceu como um importante mecanismo nos programas de descarbonização das matrizes de geração elétrica ao tornar o consumidor em prosumidor – um agente apto a suprir parcial ou totalmente sua demanda energética e a desenvolver um maior protagonismo no mercado. Regulamentada na forma de tarifas *feed-in*, em que o prosumidor recebe uma receita acordada por toda a energia produzida, ou no modelo *net-metering*, no qual os excedentes da geração injetados na rede elétrica são transformados em créditos para posterior compensação, a GD deve alcançar a marca global de 530 GW em 2024 para a geração solar fotovoltaica (IEA, 2020), equivalente ao dobro do previsto para 2019.

No Brasil, o modelo adotado é o *net-metering*, regulamentado pela Resolução 482/2012, que atualmente estabelece uma base de compensação de 1:1 para cada kWh injetado na rede elétrica, e modalidades de operação como o auto consumo local e remoto, o uso em condomínios e o compartilhamento (ANEEL, 2012/15). Assim como tem acontecido em outros países, particularmente nos EUA onde o *net-metering* é adotado na maioria dos estados, as formas de compensação têm sofrido ajustes por conta da massificação da tecnologia de geração e redução dos custos de implantação, bem como para reduzir distorções inerentes aos mecanismos de compensação de créditos que, em função da potência agregada instalada, podem transferir

uma parcela significativa dos custos de distribuição dos prosumidores aos consumidores não adotantes, levando assim a uma maior elevação das tarifas de energia (ANEEL, 2019). De modo geral, as análises apontam a necessidade de se ajustar a base de compensação, que num caso extremo seria limitada ao preço médio da energia contratada no ambiente regulado (ACR), o que pode afetar o retorno econômico da GD e causar uma eventual redução no ritmo de expansão.

Neste contexto, este trabalho, fruto de um projeto de P&D ANEEL, aborda a criação de um Marketplace descentralizado para a comercialização da energia exportada pela GD, que visa criar estímulos para a expansão da GD por meio de novas formas de remuneração dos prosumidores e do acesso à energia de fontes comprovadamente renováveis pelos consumidores não adotantes. Baseado na tecnologia Blockchain, o Marketplace operacionaliza a comercialização *peer-to-peer* (P2P) dos excedentes da produção renovável, referentes à parcela de energia – TE, diretamente entre os participantes. O trabalho apresenta a estrutura do Marketplace concebido no P&D, as regras de operação propostas, o uso de *tokens* para a liquidação das transações e as contribuições iniciais para o debate regulatório.

2. MODELO DE OPERAÇÃO DO MARKETPLACE BASEADO EM BLOCKCHAIN

A tecnologia Blockchain é oriunda das plataformas utilizadas por moedas digitais como o Bitcoin e o Ethereum. Por conta de características propícias à implantação de ambientes transacionais descentralizados, o Blockchain tem se posicionado como um elemento disruptivo em muitos ramos da economia moderna demonstrado um alto potencial de aplicação no setor elétrico (BLOM, 2018) (DENA, 2019).

De modo geral, o Blockchain pode ser tratado como uma base de dados, ou livro de registros, descentralizada denominada de *ledger*, em que algoritmos e regras de consenso baseados em criptografia asseguram a integridade, autenticidade e inviolabilidade das informações armazenadas (SILVESTRE et al, 2020). Dotada de mecanismos programáveis, como os *smart contracts*, a tecnologia permite realizar transações de forma rápida, segura e sem intermediários, o que a torna adequada para suportar um ambiente intrinsecamente descentralizado e diverso como tende a ser o caso do Marketplace para a GD, concebido no referido projeto de P&D e descrito a seguir.

O Marketplace opera por meio de uma rede de elementos mantenedores (*nodes*), responsáveis pela aplicação das regras definidas para as transações de energia, e conta com a participação de prosumidores e consumidores que transacionarão a energia renovável

transportada pelo sistema de distribuição. Como ilustrado na Figura 1, a rede é constituída por uma plataforma Blockchain que interliga os nodes e os participantes. Neste sentido, ela depende fortemente das redes de comunicação digitais e da própria Internet para acessar os medidores inteligentes das instalações e suportar as interações dos participantes.

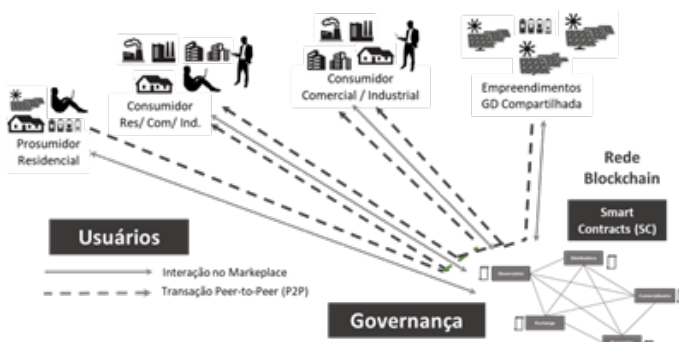


Figura 1 - Rede Blockchain para operação do Marketplace

Como mostrado na figura, *Smart Contracts* automatizam e padronizam a execução das regras de operação do Marketplace e criam os fluxos transacionais associados à comercialização dos excedentes de produção renovável, os quais correspondem à parcela da energia renovável exportada e não necessária para atendimento ao consumo próprio dos prosumidores.

Por ter um propósito específico e transacionar um ativo essencial para a sociedade, o Marketplace contempla uma governança formada pelos mesmos *nodes* mantenedores da rede Blockchain, a qual é responsável por definir, monitorar e aprimorar as regras de operação implementadas nos *Smart Contracts*, bem como assegurar a sustentabilidade do modelo, tornando-o uma alternativa economicamente atraente e confiável para todos os participantes. Para tanto, a rede Blockchain opera de forma permissionada. Assim, os *nodes* mantenedores devem ser autorizados a atuar no Marketplace e desempenhar funções dedicadas. Por razões similares, o acesso é privado, sendo restrito, portanto, a pessoas físicas e jurídicas que desejem transacionar energia de fontes comprovadamente renováveis.

As transações são realizadas por meio de um cripto-ativo, denominado de *E-token*, o qual é utilizado para liquidar as transações e remunerar os *nodes* da governança. *E-tokens* são conversíveis em moeda fiduciária e devem ser adquiridos pelos consumidores

participantes do Marketplace, sendo armazenados em uma carteira virtual. Assim, os preços da energia são definidos em *E-tokens/kWh*, definidos com base na taxa de conversão e no preço da energia no ACR.

A energia injetada na rede é alocada aos consumidores em tempo *quasi-real*, com base em intervalos configuráveis de 15, 30 ou 60 minutos, e processada em leilões de energia realizados a posteriori. Como os *E-tokens* são previamente adquiridos pelos consumidores, as transações podem ser realizadas de forma automática pela rede Blockchain, tornando o ambiente ágil e contribuindo para reduzir os custos das transações. *E-tokens* são utilizados também para remunerar os *nodes* mantenedores do Marketplace e têm um ciclo de vida definido, conforme mostrado na figura abaixo.

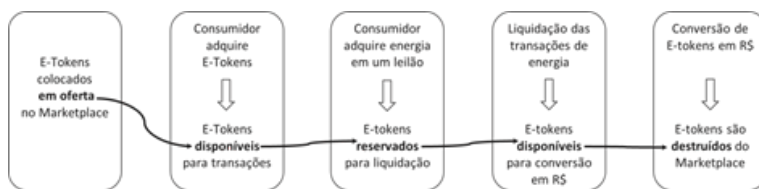


Figura 2 - Ciclo de vida dos *E-tokens*

As transações de energia são realizadas por meio de uma lógica de leilão duplo, como a descrita em (MENGELKAMP, 2017), estudo que analisou uma das primeiras experiências com transações P2P em um microrede no bairro do Brooklyn-NY. Neste tipo de leilão, prosumidores e consumidores publicam seus lances referentes à oferta e compra de energia. Em seguida, os lances são ordenados de forma crescente, no caso da oferta, e decrescente, no caso da compra. A partir das duas listas ordenadas, calcula-se um *clearing price* para cada intervalo de operação, inicialmente definido como a média entre o maior lance de compra e a menor oferta. Com isso, ofertas inferiores ao *clearing price* se tornam elegíveis para transações com consumidores cujas ofertas sejam superiores ao mesmo *clearing price*. Em seguida, são registradas no ledger as alocações de energia e as transferências dos *E-tokens* para pagamento aos prosumidores e remuneração da governança.

Uma vez estabelecidas as transações, consumidores e prosumidores são informados sobre a execução do leilão e podem decidir por alterar os respectivos lances com base nos resultados publicados.

O Marketplace depende, portanto, da infraestrutura de medição avançada das distribuidoras, a qual deverá disponibilizar os regis-

tros de medição referentes aos intervalos de operação em dia qualquer D para a execução do leilão em um dia $D + n$, sendo n um parâmetro inteiro (≥ 1) que atua como uma margem de segurança para a disponibilização das medições a tempo da execução do leilão.

Neste processo, nota-se o acoplamento temporal dos momentos de geração e consumo de energia adotado no Marketplace, o qual é obtido pela alocação de energia renovável em cada intervalo de operação, o que corresponde a transações em tempo *quasi-real*. Assim, em termos práticos, pode-se considerar que a energia renovável é consumida no momento de geração. Desta forma, o Marketplace não requer funções de armazenamento gratuito, ou virtual, como o provido pelas distribuidoras no *net-metering*, que tem o efeito de deslocar os momentos de geração e consumo, sendo uma das fontes das distorções inerentes a este modelo. Por fim, cabe destacar que o acoplamento temporal em conjunto com o aspecto locacional, que trata da geração da energia próxima do ponto de consumo como forma de evitar as perdas de transporte, é apontado como fatores importantes para a constituição desse novo modelo de mercado, conforme destacado em estudos de iniciativas pioneiras em Marketplaces descentralizados de energia (LO3 Energy, 2019).

3. ESTRUTURA DO MARKETPLACE

Sendo constituído por uma rede permissionada e sujeito ao monitoramento de uma governança, a rede Blockchain que dá suporte ao Marketplace deve, portanto, ser formada por *nodes* que executam atividades dedicadas e que, quando tomadas em conjunto, implementam as regras definidas para o mercado.

Esta estrutura de nodes representa a arquitetura do Marketplace concebido no projeto. A Figura 3 ilustra as interações entre os nodes por meio de uma rede de relacionamentos e compartilhamento de dados. O acesso ao Marketplace ocorre via um portal de serviços disponibilizado via aplicativos pela Internet. Suas funções incluem o cadastro dos participantes, o acesso às funções da carteira virtual de *E-tokens* (compra, venda, saldo, etc.), a publicação de lances para aquisição e oferta de energia renovável, o acompanhamento dos resultados dos leilões, etc., permitindo assim que os participantes interajam com os *nodes* responsáveis pela operação do Marketplace, a saber: Distribuidora, Operador do Marketplace, Gerenciador de Transações e *Exchanges*.

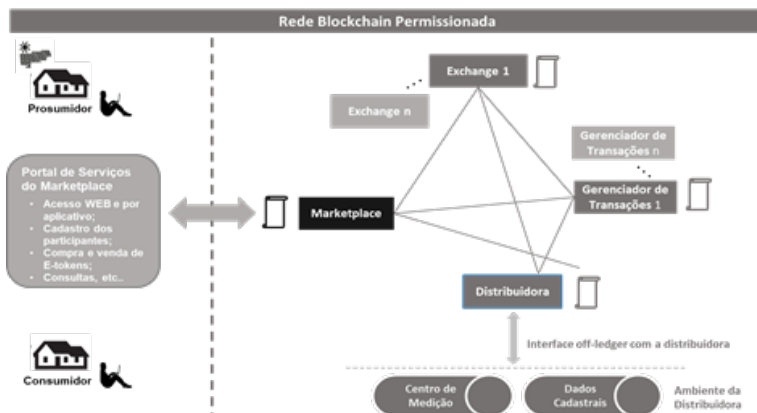


Figura 3 - Estrutura do Marketplace concebido no projeto

As características e funções desempenhadas pelos *nodes* são apresentadas a seguir, com destaque para as principais atividades desempenhadas, os registros armazenados e o compartilhamento de informações. Todas as transações e registros são armazenadas no *ledger*, o que torna o ambiente auditável, inviolável e seguro, por conta das características intrínsecas das plataformas Blockchain.

3.1 Operador do marketplace

Este *node* mantém os dados associados aos consumidores e prosumidores participantes. De modo geral, ele tende a ser único por área de concessão da distribuição, tendo assim um relacionamento próximo, porém independente, com as distribuidoras de energia. Eventualmente, alguns arranjos podem ser constituídos por um operador de Marketplace associado a duas ou mais distribuidoras, o que abre a possibilidade de interações entre Marketplaces operando em áreas de concessão da distribuição distintas.

Dentre as funções desempenhadas, destacam-se o cadastro e o gerenciamento das contas virtuais dos *E-tokens* dos participantes, as quais são compartilhadas com os *nodes* responsáveis pela realização das transações, e o registro dos lances dos participantes para aquisição e oferta de energia elétrica. Esse *node* interage com as *Exchanges* nas operações de compra e venda de *E-tokens*.

3.2 Distribuidoras

A distribuidora de energia elétrica é o *node* responsável por validar as informações do cadastro dos participantes e fornecer ao operador do Marketplace os dados das medições da energia exportada e consumida em cada instalação. Ela está, em princípio, associada a um único operador de Marketplace e desempenha funções essenciais para o estabelecimento das transações. Nesse sentido, cabe também destacar seu papel no provimento da infraestrutura física da rede de distribuição de energia elétrica, na qual se baseiam os critérios utilizados na definição dos aspectos locais descritos adiante na seção 3.3.

Por operar a infraestrutura de medição avançada, a distribuidora é encarregada de alimentar os centros de medição com os registros coletados dos medidores na periodicidade definida pelos intervalos de operação do Marketplace, e registrá-los no *ledger* da rede Blockchain, de modo a que os leilões de energia possam ser automaticamente realizados em conformidade com as regras estabelecidas pela governança.

3.3 Gerenciadores de transações

Esses *nodes* são responsáveis por realizar os leilões de energia nos intervalos de operação do mercado. Para tanto, são criadas transações referentes à alocação da energia exportada por um ou mais prosumidores para atender o consumo registrado dos consumidores contemplados no leilão, bem como para transferir os *E-tokens* necessários para liquidar a energia fornecida pelos prosumidores e remunerar os *nodes* da rede Blockchain envolvidos, que neste caso são: o próprio gerenciador de transações, a distribuidora e o operador.

O gerenciador atua em participantes agrupados de acordo com a hierarquia da estrutura física da rede elétrica. Assim, ele pode gerenciar transações de consumidores e prosumidores fisicamente conectados a um ou mais alimentadores, sub-estações, ou conjuntos elétricos, inclusive em arranjos tipo microrredes. Desta forma, uma rede Blockchain pode conter um ou mais gerenciadores por distribuidora, sendo cada um deles tratado como um submercado independente onde ocorrem as transações de energia. Essa característica promove o intercâmbio de energia entre participantes fisicamente próximos, contemplando assim o aspecto locacional anteriormente mencionado.

3.4 Exchanges

Exchanges são os *nodes* que atuam como pontos de compra e venda dos *E-tokens*, sendo acessadas pelos participantes quando da aquisição desses ativos mediante o pagamento em moeda fiduciária ou nas operações de resgate. Em princípio, podem existir um número indefinido de *exchanges* atuando em um ou mais Marketplaces. Por comercializarem um ativo associado à energia, este papel pode ser atribuído a comercializadores já presentes no mercado.

4. CONTRIBUIÇÕES INICIAIS PARA O DEBATE REGULATÓRIO

A estrutura concebida para o Marketplace requer aprimoramentos no arcabouço regulatório vigente para que o modelo proposto passe da idealização para os primeiros pilotos com participantes reais, avançando assim na cadeia de inovação tecnológica em direção à plena inserção no mercado. Esses aprimoramentos estão relacionados aos papéis atribuídos aos *nodes* da rede Blockchain, à constituição da governança e à dependência do Marketplace na massificação das Redes Inteligentes, em particular na infraestrutura de medição avançada em baixa tensão.

Neste sentido, os desenvolvimentos atuais do projeto de P&D que originou este trabalho já permitiram identificar contribuições iniciais para este debate, os quais deverão ser aprofundados nas próximas etapas do projeto, cuja finalização está prevista para abril de 2021. Dentre as principais contribuições, pode-se destacar:

- Os modelos de Marketplaces descentralizados devem estar alinhados com os aprimoramentos em discussão do setor elétrico, em particular com os ajustes nas regras da GD e a inserção do mercado livre para baixa tensão;
- Neste sentido, o Marketplace deve ser independente de subsídios de qualquer natureza para se manter sustentável, utilizando como base de comercialização a componente de energia embutida nas tarifas de energia;
- É fundamental criar um ambiente de confiança que estimule a adesão ao novo modelo. Para tanto, espera-se um papel forte da governança em dar transparência às operações e promover o uso das fontes renováveis, estimulando assim a expansão da GD e a adesão ao novo mercado;

- Igualmente importante é criar um lastro financeiro com base nos recursos em moeda fiduciária aportados pelos consumidores na aquisição de E-tokens. Este lastro deve assegurar a plena conversibilidade dos tokens em moeda fiduciária, dando segurança aos prosumidores e aos nodes mantenedores na conversão dos cripto-ativos em moeda corrente;
- Os papéis dos membros da governança e da rede Blockchain apresentados no trabalho devem ser objetos do debate regulatório juntamente com os resultados econômicos a serem avaliados ao final do projeto, a fim de se construir a configuração mais apropriada para o contexto do setor elétrico nacional;
- O Marketplace pode servir de estímulo para a massificação das Redes Inteligentes. Assim, devem ser buscadas sinergias neste sentido envolvendo principalmente as distribuidoras de energia e o órgão regulador;
- Por fim, é essencial atrelar o Marketplace às iniciativas de descarbonização da matriz elétrica e à causa ambiental, tornando-o uma alternativa viável para manter a relevância alcançada pela GD renovável. Instrumentos específicos para este fim, como por exemplo certificados de produção e consumo de energia renovável negociáveis em mercados de energia, podem ser criados a partir das transações do Marketplace.

5. CONCLUSÕES E PRÓXIMOS PASSOS

As transformações do setor elétrico e os desafios para manter a expansão da geração distribuída evidenciaram a importância de se buscar novos mercados para os excedentes da produção renovável, contemplando o atendimento aos aspectos locacionais e temporais das transações de energia, fundamentais para se construir um ambiente econômica e ambientalmente sustentável. Neste sentido, os debates sobre a modernização do setor elétrico e a revisão das regras da GD criam um ambiente propício para discutir e experimentar paradigmas inovadores, como é o caso da aplicação do Blockchain na construção de um Marketplace para a GD, cujas contribuições iniciais para o debate regulatório foram apontadas ao longo do texto.

O Marketplace proposto evidencia a relevância das distribuidoras de energia na formação de um novo mercado, por conta tanto do relacionamento já estabelecido com os potenciais participantes como pelo potencial de sinergias com a implantação das Redes Inteligentes, em especial da medição avançada.

Os próximos passos compreendem simulações do Marketplace no ambiente operativo da distribuidora patrocinadora do projeto, contem-

plando uma parcela da base de consumidores e prosumidores em baixa tensão e os padrões de sazonalidade do consumo de energia e da irradiação solar ao longo do ano. As simulações deverão fornecer dados que subsidiarão as análises econômica, regulatória e comercial que consolidarão os resultados do projeto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução 482/2012 – Condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Resolução 687/2015 – Alterações da Resolução 482/2012, 2015.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 003/2019 – Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída, 2019.

BLOM, F. A Feasibility Study of Blockchain Technology As Local Energy Market Infrastructure, Norwegian University of Science and Technology, 2018.

DENA/ESMT, Agência de Energia Alemã. Blockchain in the energy transition, 2019.

IEA. Renewables 2019 Analysis and forecast to 2024, 2019.

IRENA. Market Integration of Distributed Energy Resources – Innovation Landscape Brief, 2019.

LO3 Energy. Exergy Business Whitepaper – Policy Paper. Disponível em: <<https://Exergy.energy/wpcontent/uploads/2019/03/TransactiveEnergy-PolicyPaper-v2-2.pdf>>. Acesso em: set. de 2019.

NREL (COX, S., HOTCHKISS, E., BILELLO, D., WATSON, A., HOLM, A.), USAID (LEISCH, J.). Bridging Climate Change Resilience and Mitigation in the Electricity Sector Through Renewable Energy and Energy Efficiency, 2017.

SILVESTRE, M., GALLO, P., GUERRERO, J., MUSCA, R., SANSEVERINO, E., SCIUMÉ, G., VÁSQUES, J., ZIZZO, G. Blockchain for power systems: Current trends and future applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2020.

WEF, ACCENTURE. Digital Transformation of Electricity Industry, 2016.