A digitalização do setor elétrico brasileiro

The digitalization of the Brazilian electric sector

Arlei Costa Junior ¹

Pontifícia Universidade Católica do Paraná. (Curitiba, Paerabá Bars91
<https://orcid.org/0000-0003-0765-152X>
arleijunior@gmail.com

Recebido: 22.07.2020

Aprovado: 03.08.2020

Resumo:

O artigo propõe uma reflexão acerca da importância da digitalização do setor elétrico brasileiro, com a criação, transmissão e processamento das informações sobre a geração, transmissão e consumo de energia elétrica. Essa digitalização pode permitir um ganho na eficiência energética e com isso contribuir positivamente para a sustentabilidade energética, na medida em que existe uma correlação entre o consumo de energia elétrica e os resultados econômicos, e assim, o ganho na eficiência energética reduz o impacto ambiental do desenvolvimento econômico. Uma das formas de manipular esse banco de dados gigantesco seria através do uso de *tokens*, que são uma representação digital da energia elétrica, e que podem armazenar informações além da quantidade de energia, tais como a natureza de sua origem, coordenadas geográficas da unidade geradora e outras que permitam agregar valor ou utilidade. Essa tecnologia em conjunto com os Recursos Energéticos Distribuídos, que contemplam a descentralização da geração em pequenas unidades de energia renovável, em especial a fotovoltaica, que tem se expandido exponencialmente e ampliado de forma expressiva a capacidade de abastecimento de energia elétrica e trazendo consigo benefícios ambientais, e assim pode maximizar o desenvolvimento de diversas soluções.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade Energética, Tokenização, Certificado de Energia Renovável, Resposta da Demanda, Comercialização de Energia Ponto a Ponto (P2P).

Como citar: COSTA JUNIOR, A *Arlei*. A digitalização do setor elétrico brasileiro. (The digitalization of the Brazilian electric sector). **Revista Brasileira de Pesquisas Jurídicas (Brazilian Journal of Law Research)**, Avarré: Eduvale, v. 1, n. 3, p. 119-138, 2020. DOI: 10.51284/rbpj.01.cj. Disponível em: <https://ojs.eduvaleavare.com.br/index.php/rbpj/article/view/20>. Acesso em: 19 dez. 2020.

¹ Doutorando e Mestre em Direito pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Especialista em Direito Notarial e Registral pela Faculdade de Ciências Sociais de Florianópolis e em Direito Registral Imobiliário pela UNIASSELVI. Bacharel em Direito pela Universidade Paranaense. Especialista em Gestão da Qualidade pela Universidade Estadual de Maringá. Bacharel em Engenharia Eletrônica pelo Instituto Mauá de Tecnologia. Pesquisador do Núcleo de Pesquisas em Políticas Públicas e Desenvolvimento Humano (NUPED) da PUC-PR. Tabelaio de Notas de Paranaguá-PR. E-mail: arleijunior@gmail.com.

ABSTRACT: The article proposes a reflection about the importance of the digitalization of the Brazilian electric sector, with the creation, transmission and processing of information about the generation, transmission and consumption of electric energy. This digitalization can allow a gain in energy efficiency and thus contribute positively to energy sustainability, since there is a correlation between electricity consumption and economic results, and thus the gain in energy efficiency reduces the environmental impact of economic development. One way to manipulate this gigantic database would be through the use of tokens, which are a digital representation of electrical energy, and can store information beyond the amount of energy, such as the nature of its origin, geographical coordinates of the generating unit, and others that allow added value or utility. This technology together with Distributed Energy Resources, which contemplate the decentralization of generation in small renewable energy units, especially photovoltaic, which has expanded exponentially and significantly amplify the power supply capacity and brings environmental benefits, and them can maximize the development of various solutions.

KEY WORDS: Energy Sustainability, Tokenization, Renewable Energy Certificate, Demand Response, Peer-to-Peer Energy Trading (P2P).

1. INTRODUÇÃO

Quando surgem ondas de ruptura, como as revoluções industriais, a sociedade se questiona se esse é o tipo de desenvolvimento desejado ou mesmo se esse modelo pode ser considerado desenvolvimento. A quarta revolução industrial (4RI) é um exemplo desse dilema; traz uma difícil e sacrificante transição para a humanidade, mas pode ser indutora do desenvolvimento sustentável ao harmonizar o crescimento econômico, o bem-estar social e o aumento das liberdades individuais.

Assim, as pessoas poderiam desenvolver suas capacidades e viver o tipo de vida que valorizam, promovendo uma evolução dos direitos humanos diante de seu potencial de elevar os níveis de renda global e a qualidade de vida das populações pelo mundo. Essa possibilidade é inovadora, pois as revoluções industriais anteriores resultaram em concentração econômica associada a um uso massivo de energia, que teve como consequência impactos ambientais que podem comprometer o direito das gerações futuras a um meio ambiente saudável e equilibrado.

O setor elétrico já iniciou esse processo de transformação com base em três valores: Descarbonização, Descentralização e Digitalização. As técnicas de registro de informações baseadas em sistemas de “livro razão distribuído” ou *Distributed Ledger*, que levaram ao desenvolvimento da Blockchain², surgem com potencial para tratar com essas

² MEDIUM. What's the Difference Between Blockchain & Distributed Ledger Technology? Disponível em: <<https://medium.com/blockchain-review/whats-the-difference-between-blockchain-distributed-ledger-technology-19407f2c2216>> Acesso em: 02 nov. 2019.

transformações, na medida em que possibilitam registros inalteráveis, rastreabilidade e verificação.

O registro e o acesso das informações sobre geração e consumo de energia elétrica em tempo real, permitem que novos modelos de negócio surjam ou prosperem, tais como sistemas de resposta da demanda, certificados de origem de energia e comércio de energia ponto a ponto entre os prosumidores³, que é aquele que ao mesmo tempo é fornecedor e consumidor de energia elétrica.

Nesse sentido, o trabalho apresenta uma síntese da atual regulação do setor elétrico no Brasil sobre a geração distribuída e suas principais características, objetivando uma melhor compreensão sobre como a digitalização ou *tokenização* podem contribuir com resultados positivos para o mercado de energia e para as políticas públicas no setor.

2. O FUTURO DA ENERGIA

A digitalização dos processos que vem ocorrendo com a chamada Quarta Revolução Industrial (4RI)⁴, que por sua escala, escopo e complexidade implicará em nada menos que uma transformação da humanidade. A 4RI tende assim a causar alterações significativas no ponto de equilíbrio da eficiência econômica, que irá se modificando enquanto as tecnologias modificam as relações de trabalho, as demandas de produtos e serviços e até mesmo as relações governamentais.

A convergência tecnológica também tem apresentado soluções de geração de energia com menor impacto ambiental que as tradicionalmente utilizadas, em especial sem o uso de combustíveis que emitem carbono na atmosfera, onde se destaca a geração de energia eólica e por painéis solares.

A digitalização das informações de geração, armazenamento e consumo de energia, em conjunto com a infraestrutura tecnológica de computação e comunicação de dados tem possibilitado soluções na área de energia, tais como os Recursos Energéticos Distribuídos (REDs) que ampliam as possibilidades de utilização de energia renovável e sem emissão de carbono.

Com base nas inovações tecnológicas e mediante a compreensão da importância

³ ISTOÉ. **Prosumidor: A palavra do futuro – Em breve, você será também.** Disponível em: <<https://istoe.com.br/prosumidor-a-palavra-do-futuro-em-brevevoce-sera-tambem/>> Acesso em: 02 nov. 2019.

⁴ SCHWAB, Klaus. **The Fourth Industrial Revolution.** World Economic Forum, 2016. Geneva.

da sustentabilidade dos processos, que ganhou ampla visibilidade e apoio político pela Agenda 2030⁵, o setor elétrico já iniciou sua transformação, com base em três valores: Descarbonização, Descentralização e Digitalização.

O Acordo de Paris, de dezembro de 2015, foi assinado por mais de 130 membros ratificando o documento, e que também adotaram a Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável, e isto inclui todos os países membros da ONU. O motivo para este consenso é o reconhecimento que a implementação da Agenda 2030 caminha de mãos dadas com a limitação do aumento da temperatura global e da resiliência climática⁶.

No setor elétrico a descarbonização é uma importante etapa dessa agenda, e a redução das emissões de gases de efeito estufa possibilitam um futuro mais saudável para as próximas gerações. O maior impacto desta tendência mundial é a gradual substituição de energia oriunda de combustíveis fósseis por energia elétrica em diversos produtos, cujo melhor exemplo são os veículos elétricos⁷.

Políticas públicas estão sendo propostas nesse sentido nos países signatários do Acordo de Paris. No Brasil, Santos⁸ explica que “um dos principais objetivos da nossa proposta de modernização do setor elétrico é garantir estabilidade regulatória e jurídica, além de previsibilidade neste mercado — fator fundamental para atração de investimentos” e que “a expectativa de crescimento da economia, em torno de 2,8% ao ano, cria a necessidade de uma oferta de 5 gigawatts de energia. Para atender a essa demanda, o governo deve estimular a geração a partir de fontes eólica e fotovoltaica”.⁹

O uso dessas fontes de energia limpa e renovável, tornará o setor elétrico muito mais descentralizado, com um grande número de fontes de energia distribuída e prosumidores conectados a redes de distribuição. Estes acabarão por gerenciar seus próprios sistemas, com uma combinação de geração, uso e armazenamento de energia, denominados

⁵ AGENDA 2030. **A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<http://www.agenda2030.org.br/sobre/>> Acesso em: 03 nov. 2019.

⁶ NAÇÕES UNIDAS. **ONU pede comprometimento com Acordo de Paris sobre o clima**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/onu-pede-comprometimento-com-acordo-de-paris-clima/>> Acesso em: 03 nov. 2019.

⁷ CEMIG. **Plano estratégico de inovação de tecnologia digital da Cemig - versão reduzida**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/Documents/chamada_publica_CEMIG40/plano_cemig40.pdf> Acesso em: 03 nov. 2019.

⁸ SANTOS, Reive Barros dos. Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério de Minas e Energia (MME) em 24 de julho de 2019. **Painel debate transição energética e digitalização do setor elétrico**. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/noticias/com53.htm>> Acesso em: 03 nov. 2019.

⁹ ABINEE. **Painel debate transição energética e digitalização do setor elétrico**. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/noticias/com53.htm>> Acesso em: 03 nov. 2019.

Recursos Energéticos Distribuídos (REDs).¹⁰

O uso das energias eólica e solar fotovoltaica passou de uma promessa e transformou-se numa realidade, e caminha para ser numa obrigação em todo o mundo. As previsões apontam que a energia solar se tornará majoritária na matriz energética brasileira entre os anos 2035 e 2040. O maior impacto dessa mudança é a descentralização, que vai implicar em diversas mudanças culturais e operacionais nas empresas operadoras. Dessa descentralização vai surgir novos modelos de negócios, novos produtos, novos serviços inovadores de distribuição e comercialização de energia, adaptados à 4RI.¹¹

A digitalização das informações do mundo físico, para serem analisadas e processadas por computadores, é necessária para que esse ambiente descentralizado proposto funcione harmoniosamente. Isto se deve ao fato de que a energia elétrica é gerada e consumida pelas cargas quase instantaneamente, por isso os sistemas de controle de geração, transmissão, distribuição e demanda de carga (consumo) devem ser gerenciados em tempo real. Pela perspectiva econômica, essa contabilização e liquidação de créditos e débitos também deve ocorrer em tempo real, de forma que as informações dessas transações possam ser registradas eletronicamente.

Os sistemas de registro de informações baseados em Blockchain, que é um tipo específico de livro razão distribuído ou *Distributed Ledger*¹², parecem ser uma ótima tecnologia para o registro e disponibilização dessas informações. Um livro razão distribuído é um banco de dados distribuído por vários nós ou dispositivos de computação. Cada nó replica e salva uma cópia idêntica do livro razão, bem como atualiza-se de forma independente, e essa é sua principal inovação, por não ser mantida por nenhuma autoridade central, e assim conseguem reduzir drasticamente o custo da confiança na informação.¹³

A blockchain possui uma estrutura que a torna distinta dos outros tipos de livro-razão distribuídos, pois seus dados são agrupados e organizados em blocos, que são então

¹⁰ CEMIG. **Plano estratégico de inovação de tecnologia digital da Cemig - versão reduzida**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/Documents/chamada_publica_CEMIG40/plano_cemig40.pdf> Acesso em: 03 nov. 2019.

¹¹ CEMIG. **Plano estratégico de inovação de tecnologia digital da Cemig - versão reduzida**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/Documents/chamada_publica_CEMIG40/plano_cemig40.pdf> Acesso em: 03 nov. 2019.

¹² MEDIUM. **What's the Difference Between Blockchain & Distributed Ledger Technology?** Disponível em: <<https://medium.com/blockchain-review/whats-the-difference-between-blockchain-distributed-ledger-technology-19407f2c2216>> Acesso em: 02 nov. 2019.

¹³ GOMES, Ezequiel. **GUIA DO BITCOIN. A diferença entre “blockchain” e “DLT” (tecnologia distribuída de livro-razão)**. Disponível em: <<https://guiadobitcoin.com.br/a-diferenca-entre-blockchain-e-dlt-tecnologia-distribuida-de-livro-razao/>> Acesso em: 03 nov. 2019.

ligados entre si por um código *hash* e protegidos usando criptografia. Uma blockchain é uma lista crescente de registros e sua estrutura somente de anexação permite que os dados sejam adicionados ao banco de dados, mas é impossível alterar ou excluir dados inseridos nos blocos anteriores. A tecnologia Blockchain é, portanto, adequada para registrar eventos, gerenciar registros, processar transações e rastrear ativos.¹⁴

Os dados gerados pelos REDs, são em grandes quantidades, em alta velocidade, gerados por uma multiplicidade de fontes, contendo uma variedade de informações, tais como quantidade de energia, natureza de sua origem, local e coordenadas geográficas de geração, frequência de rede, dentre outras diversas informações relevantes, se enquadrando no conceito de *Big Data*. Análise de *Big Data* é a tecnologia que permite o processamento de informações com alto desempenho e disponibilidade. São ferramentas digitais que tornam a coleta, o processamento e a visualização de dados mais simples, padronizadas e eficazes.¹⁵ Assim, os gestores podem entender com mais clareza as tendências e os padrões para suas decisões, que combinada com as novas tecnologias de Inteligência Artificial, cria oportunidades para gerar valor a partir dos dados¹⁶, respeitando as regulações e legislações de proteção de dados pessoais.¹⁷

A proteção da privacidade dessa informação é tema caro ao direito, pois ao mesmo tempo em que o acesso aos dados de geração e consumo faz parte das condições para o aprimoramento das políticas públicas e do planejamento e operação do sistema, crescem as preocupações acerca de situações como invasão de privacidade e segurança da informação. Isto porque a curva de carga de cada consumidor, em conjunto com os dados gerados por seus equipamentos, pode possibilitar, por exemplo, o conhecimento dos hábitos de cada família, ou se há ou não alguém em casa.¹⁸ Numa indústria a redução da carga

¹⁴ GOMES, Ezequiel. GUIA DO BITCOIN. **A diferença entre “blockchain” e “DLT” (tecnologia distribuída de livro-razão)**. Disponível em: < <https://guiadobitcoin.com.br/a-diferenca-entre-blockchain-e-dlt-tecnologia-distribuida-de-livro-razao/>> Acesso em: 03 nov. 2019.

¹⁵ NEOWAY. **O que é Big Data e qual a importância de implementá-lo na empresa?** Disponível em: < <https://www.neoway.com.br/o-que-e-big-data/>> Acesso em: 03 nov. 2019.

¹⁶ CEMIG. **Plano estratégico de inovação de tecnologia digital da Cemig - versão reduzida**. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/Documents/chamada_publica_CEMIG40/plano_cemig40.pdf> Acesso em: 03 nov. 2019.

¹⁷ A privacidade no Brasil tem proteção e regulação no ordenamento jurídico, do qual se pode relacionar em ordem cronológica: 1988 - Constituição Federal (art. 5º, X, XII e LXXII); 1990 – Código de Defesa do Consumidor (arts. 43 e 44); 2011 – Lei 12.414 (Lei do Cadastro Positivo); 2011 - Lei 12.527 (Lei de Acesso à Informação Pública -LAI). Entrou em vigor em 2012; 2014 – Lei 12. 956 (Marco Civil da Internet); 2018 – Lei 13. 709 (Lei Geral de Proteção de dados) inspirada no Regulamento de dados Pessoais da União Europeia.

¹⁸ EPE. **Recursos Energéticos Distribuídos: Impactos no Planejamento Energético**. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/ND%20-%20Recursos%20Energ%C3%A9ticos%20Distribu%C3%ADdos.pdf>> Acesso em: 04 nov. 2019.

poderia levar ao entendimento que as vendas estão em baixa e a uma redução do valor das ações na bolsa de valores, ou no caso contrário, a uma valorização. Assim, essas informações têm grande relevância e devem ser protegidas.

Essa modificação que está acontecendo no setor elétrico, onde antes os consumidores se limitavam à simples função de consumir energia da rede e pagar suas respectivas faturas de energia elétrica, e agora, com a difusão da micro e mini geração distribuída, o consumidor virou prosumidor, e pode também gerar e consumir sua própria energia, obtendo energia da rede apenas quando sua geração seja inferior ao seu consumo, permite a possibilidade de utilização do blockchain para se transacionar essa energia excedente ao consumo.¹⁹

Em vários países, os REDs estão cada vez mais interligados em sistemas de armazenamento e de consumo inteligente de energia. “A descentralização reduz as perdas com a transmissão, tendo em vista que a geração está mais perto dos centros consumidores, além de diminuir as emissões de carbono, devido ao aumento da participação das energias renováveis, com a geração solar e eólica representando uma fração cada vez maior do mix de geração em vários países do mundo”.²⁰

3. REGULAÇÃO BRASILEIRA DO SETOR ELÉTRICO

A legislação básica do setor elétrico brasileiro se consolidou ao longo de quase 70 anos de história. “É uma soma de artigos da Constituição, leis complementares e ordinárias, decretos, portarias interministeriais, portarias do Ministério de Minas e Energia e do extinto Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), resoluções da ANEEL, conjuntas e CONAMA”.²¹ Quando se esgotou o papel do Estado investidor, surgiram os marcos da modernização do setor, que são a Lei de Concessões de Serviços Públicos, de fevereiro de 1995 e a Lei 9.427/1996, que tratou da criação da ANEEL -

¹⁹ CASTRO, Nivalde de; LIMA, Antônio; PEREIRA, Guillermo. GESEL. **Perspectivas da tecnologia blockchain no Setor Elétrico: Aplicações na Europa, na Austrália e nos Estados Unidos**. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/45_Gesel-%20Canal%20Energia%20-%20VF-O%20potencial%20disruptivo%20da%20tecnologia%20blockchain%20no%20SE.pdf> Acesso em: 04 nov. 2019.

²⁰ CASTRO, Nivalde de; LIMA, Antônio; PEREIRA, Guillermo. GESEL. **Perspectivas da tecnologia blockchain no Setor Elétrico: Aplicações na Europa, na Austrália e nos Estados Unidos**. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/45_Gesel-%20Canal%20Energia%20-%20VF-O%20potencial%20disruptivo%20da%20tecnologia%20blockchain%20no%20SE.pdf> Acesso em: 04 nov. 2019.

²¹ ANEEL. **Informações Técnicas. Legislação.** Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=50&idPerfil=2>> Acesso em: 08 nov. 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica.

A ANEEL regularmente emite e publica no Diário Oficial da União Resoluções Normativas voltadas as atividades do setor de energia elétrica. Estas resoluções são numeradas sequencialmente e são “atos regulamentares de alcance ou interesse geral, voltados às atividades do setor elétrico e têm por objeto o estabelecimento de diretrizes, obrigações, encargos, condições, limites, regras, procedimentos, requisitos ou quaisquer direitos e deveres dos agentes e usuários desse serviço público”.²²

Foi por uma dessas Resoluções Normativas da ANEEL, a de nº 482/2012 de 17 de abril de 2012, que foi regulamentada no Brasil a geração distribuída (GD), e desde então o “consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada e inclusive fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. Trata-se da micro e da minigeração distribuídas de energia elétrica, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade”.²³

Posteriormente, objetivando reduzir os custos e o tempo para a conexão da microgeração e minigeração; “compatibilizar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento (Resolução Normativa nº 414/2010); aumentar o público alvo; e melhorar as informações na fatura, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015 revisando a Resolução Normativa nº 482/2012”.²⁴ A introdução dessas novas regras começou a valer em 1º de março de 2016, autorizando o uso de qualquer fonte renovável ou cogeração qualificada, “denominando-se microgeração distribuída a central geradora com potência instalada até 75 quilowatts (KW) e minigeração distribuída aquela com potência acima de 75 kW e menor ou igual a 5 MW, conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras”²⁵, já atualizada pela Resolução Normativa nº 786/2017.

Com essa normativa, quando houver um excedente de geração de energia em determinado mês, o consumidor fica com créditos que podem ser compensados nos meses seguintes, de forma a reduzir a fatura de energia elétrica, dentro de um prazo máximo de

²² ANEEL. **Informações Técnicas. Legislação.** Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=50&idPerfil=2>> Acesso em: 08 nov. 2019.

²³ ANEEL. **Geração Distribuída.** Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>> Acesso em 08 nov. 2019.

²⁴ ANEEL. **Geração Distribuída.** Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>> Acesso em 08 nov. 2019.

²⁵ ANEEL. **Geração Distribuída.** Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>> Acesso em 08 nov. 2019.

sessenta meses. Esse crédito pode ser utilizado para compensar as faturas no próprio local de geração ou nas unidades consumidoras (UC) do mesmo titular localizadas em local distinto, mas na área de atendimento da mesma distribuidora, esta utilização denomina-se “autoconsumo remoto”.²⁶ Há ainda a previsão do uso em condomínio, onde a geração pode ser aproveitada para reduzir as tarifas da UC da área de uso comum, bem como de um percentual da tarifa de cada uma das UC pertencentes a edificação do próprio condomínio, modalidade denominada de “empreendimento com múltiplas unidades consumidoras”.²⁷ E finalmente há a possibilidade denominada de “geração compartilhada”, que é caracterizada pela reunião de consumidores por meio de consórcio ou cooperativa, com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das UC nas quais a energia excedente será compensada.²⁸

Com essa regulação, a ANEEL pretende fomentar uma transição gradual para a geração distribuída que utilize energia renovável, de forma que o mercado não seja bruscamente impactado. Trata-se de “uma mudança de paradigma no setor, de um sistema que era puramente centralizado para um distribuído, de planejamento energético”.²⁹ Nesse sentido, a ANEEL tem promovido atualizações nessa regulação, fazendo ajustes que equilibrem os incentivos para investimento em GD com formas de minimizar os impactos no mercado de energia.³⁰

Essa definição é esperada pelas companhias que atuam no setor, pelas oportunidades de negócios que podem surgir. Nesse sentido, a empresa portuguesa EDP, já se manifestou sobre um projeto dedicado ao uso da blockchain para inovação no setor elétrico.³¹

4. A TOKENIZAÇÃO DA ENERGIA

A chamada *tokenização* da energia, decorre da utilização de *tokens* de energia, que seria a representação digital de um valor físico, conferindo um lastro de valor para esse

²⁶ ANEEL. **Resolução nº 482/2012**. Art. 2º, VIII. Art. 7º.

²⁷ ANEEL. **Resolução nº 482/2012**. Art. 2º, VI. Art. 7º.

²⁸ ANEEL. **Resolução nº 482/2012**. Art. 2º, VII. Art. 7º.

²⁹ GRIDHUB. **Mudanças propostas em revisão de REN 482 geram divergências**. Disponível em: <https://www.griclub.org/news/infrastructure/mudancas-propostas-em-revisao-de-ren-482-geram-divergencias_933.html> Acesso em: 08 nov. 2019.

³⁰ ANEEL. **Revisão das regras aplicáveis à micro e minigeração distribuída**. Relatório de Análise de Impacto Regulatório nº 0004/2018-SRD/SCG/SMA/ANEEL. p. 9.

³¹ GRIDHUB. **Mudanças propostas em revisão de REN 482 geram divergências**. Disponível em: <https://www.griclub.org/news/infrastructure/mudancas-propostas-em-revisao-de-ren-482-geram-divergencias_933.html> Acesso em: 08 nov. 2019.

ativo, seja através da garantia de aceitação dele ou da garantia de conversibilidade, caso contrário esse ativo perderia o seu valor, e no caso da energia esse lastro está relacionado com o kWh e a garantia física das usinas.

O setor elétrico difere do exemplo do setor financeiro por transacionar um produto físico, a eletricidade. As transações econômicas envolvem a troca da energia transportada pela rede e não apenas valores e informações. No setor elétrico, a blockchain pode oferecer maneiras mais confiáveis, rápidas e econômicas para validar e registrar transações financeiras e operacionais, as quais podem incluir a compra e venda de eletricidade.

A eletricidade pode ser vista como o arquétipo de uma mercadoria perfeitamente homogênea: os consumidores nem podem distinguir a eletricidade de diferentes fontes de energia, como turbinas eólicas ou usinas a carvão.³² A eletricidade em si, na forma existente na natureza, “é um bem homogêneo, isto é, 1 kWh equivale a 1 kWh, e pode ser transacionado, com o blockchain transformando este processo econômico para uma forma digital”.³³

Contudo, a energia elétrica enquanto uma representação simbólica da realidade, seja na *tokenização* ou nos contratos, pode ser “tratada como um produto homogêneo ou heterogêneo, ou seja, quando a energia é considerada um produto homogêneo, ela não pode ser diferenciada entre os agentes, mas quando a energia é discriminada segundo sua fonte ou qualidade ela é tratada como produto heterogêneo, e existirão contratos específicos para cada classe de energia”.³⁴ Pode-se exemplificar com o certificado de origem da energia elétrica, que já acrescenta outro elemento além da quantidade de energia, mas também informação sobre sua origem, tornando-o heterogêneo.

A economia da eletricidade é moldada por sua física, como por exemplo pelo fato da eletricidade ser consumida quase no mesmo instante de sua geração, pois armazenar eletricidade ainda é muito caro, o que faz com que seu preço flutue amplamente. As

³² HIRTH, Lion; UECKERDT, Falko; EDENHOFER, Ottmar. **Why wind is not coal: On the economics of electricity.** Fondazione Eni Enrico Mattei, 2014. Disponível em: <https://www.feem.it/m/publications_pages/20144161625104NDL2014-039.pdf> Acesso em: 10 nov. 2019. p. 4.

³³ CASTRO, Nivalde de; LIMA, Antônio; PEREIRA, Guillermo. GESEL. **Perspectivas da tecnologia blockchain no Setor Elétrico: Aplicações na Europa, na Austrália e nos Estados Unidos.** Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/45_Gesel-%20Canal%20Energia%20-%20VF-O%20potencial%20disruptivo%20da%20tecnologia%20blockchain%20no%20SE.pdf> Acesso em: 04 nov. 2019.

³⁴ SILVA, Adriano Jerônimo da. **Leilões de certificados de energia elétrica: máximo excedente versus máxima quantidade negociada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, 2003, p. 54.

restrições físicas fazem com que a eletricidade seja um bem homogêneo na sua característica de quantidade e heterogêneo em ao menos três dimensões - tempo, espaço e prazo de entrega. Consequentemente, diferentes tecnologias de geração, como carvão e energia eólica, produzir bens econômicos diferentes que tenham um valor econômico marginal diferente.³⁵

Essas características da energia elétrica a tornam propícia para um sistema de *tokenização*, na medida em que isso viabiliza um sistema confiável, rápido e econômico para validar e registrar transações financeiras e operacionais. Dentre as tecnologias atualmente disponíveis para lidar com a *tokenização* do setor elétrico, a blockchain é a que se destaca pela confiabilidade, descentralização e economia em sua implantação. Além disso, várias plataformas já estão disponíveis e outras em desenvolvimento, que permitem com reduzidas adequações o uso do *token* de energia em contratos inteligentes e sistemas de compensação e liquidação automáticos. A blockchain permite ainda que esses *tokens* sejam transacionados de forma *peer-to-peer* (P2P) que significa ponto a ponto, ou seja, diretamente entre as pessoas, sem a necessidade de uma entidade controladora das operações.³⁶

5. APLICAÇÕES DA TOKENIZAÇÃO DO SETOR ELÉTRICO

5.1 RESPOSTA DA DEMANDA

A resposta da demanda é um mecanismo para gerenciar o consumo dos clientes em resposta às condições de oferta, como por exemplo, realizar a redução ou deslocamento do consumo de energia em momentos críticos por meio de pagamentos ou em resposta a preços de mercado, adicionando estabilidade ao sistema, pois a geração e o consumo devem estar equilibrados em tempo real, o que é dificultado em uma rede bidirecional de geração e consumo, onde ambos estão em constante oscilação e com a introdução das energias renováveis e intermitentes.

O aumento que se observa na participação de energias renováveis na matriz de geração de energia, em especial a fotovoltaica, traz significativos avanços na questão da sustentabilidade, contudo tem um efeito colateral, que os níveis mais altos de

³⁵ HIRTH, Lion; UECKERDT, Falko; EDENHOFER, Ottmar. **Why wind is not coal: On the economics of electricity.** Fondazione Eni Enrico Mattei, 2014. Disponível em: <https://www.feem.it/m/publications_pages/20144161625104NDL2014-039.pdf> Acesso em: 10 nov. 2019. p. 1.

³⁶ MEARIN, Lucas. **Como o Blockchain está se tornando o 5G da indústria de pagamentos.** Disponível em: <<https://computerworld.com.br/2019/03/29/como-o-blockchain-esta-se-tornando-o-5g-da-industria-de-pagamentos/>> Acesso em: 09 nov. 2019.

imprevisibilidade e de incerteza nos sistemas elétricos, resultam em maior demanda por flexibilidade nos sistemas. Assim, “o sistema precisa se adaptar aos novos padrões de geração e de consumo de eletricidade, com a finalidade de manter o equilíbrio entre oferta e demanda e assegurar a qualidade do serviço com custos adequados ao consumidor final”.³⁷ Na medida em que a flexibilidade é reduzida do lado da oferta, ela deve ser ampliada no lado da demanda. Nesse sentido, “programas que incentivam a flexibilidade do usuário de energia são necessários e representam um mercado importante com previsão de alto crescimento. É esperado que o mercado de Resposta da Demanda dobre até 2020”.³⁸

A valoração do prêmio é o ponto chave num programa de resposta da demanda para garantir a adesão dos consumidores, com benefícios ao sistema, evitando o uso das usinas mais caras. “Recompensas ou penalidades podem ser associadas como regra para equilibrar a demanda de energia com a produção a nível da rede”.³⁹ Os tipos de Resposta da Demanda podem ser: a) baseada em preço, onde o valor da tarifa oscila conforme a disponibilidade da geração; e b) baseada em incentivos, onde há um controle direto sobre a carga pelo sistema, reduzindo o consumo nos momentos de baixa disponibilidade da geração.

A tecnologia blockchain pode viabilizar o controle das redes de energia por meio de contratos inteligentes, sinalizando ao sistema quando as transações devem ser iniciadas. “Isso se basearia em regras predefinidas, destinadas a garantir que os fluxos de energia e de armazenamento sejam controlados automaticamente, de modo a equilibrar a oferta e a demanda”.⁴⁰ Nesse contexto da digitalização, as tecnologias de redes inteligentes, inteligência artificial e sistemas de monitoramento de energia oferecem um controle cada vez maior, e o uso de um *token* nos moldes do *EW Chain* surge como uma alternativa que permitir resolver a questão da coordenação das informações dos diferentes aparelhos,

³⁷ CASTRO, Nivalde de; LIMA, Antônio; PEREIRA, Guillermo. GESEL. **Perspectivas da tecnologia blockchain no Setor Elétrico: Aplicações na Europa, na Austrália e nos Estados Unidos**. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/45_Gesel-%20Canal%20Energia%20-%20VF-O%20potencial%20disruptivo%20da%20tecnologia%20blockchain%20no%20SE.pdf> Acesso em: 04 nov. 2019.

³⁸ GRUNWALD, Vanessa Heidrich. **Aplicações da tecnologia Blockchain na comercialização de energia no Brasil, a Singularidade da Energia, e um possível Ambiente de Contratação Distribuída – ACD**. 2018. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Programa FGV Management, Curitiba, 2018. p. 50.

³⁹ GRUNWALD, Vanessa Heidrich. **Aplicações da tecnologia Blockchain na comercialização de energia no Brasil, a Singularidade da Energia, e um possível Ambiente de Contratação Distribuída – ACD**. 2018. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Programa FGV Management, Curitiba, 2018. p. 52.

⁴⁰ CASTRO, Nivalde de; LIMA, Antônio; PEREIRA, Guillermo. GESEL. **Perspectivas da tecnologia blockchain no Setor Elétrico: Aplicações na Europa, na Austrália e nos Estados Unidos**. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/45_Gesel-%20Canal%20Energia%20-%20VF-O%20potencial%20disruptivo%20da%20tecnologia%20blockchain%20no%20SE.pdf> Acesso em: 04 nov. 2019.

sistemas e instrumentos, além de prover segurança dos dados, devido à criptografia.⁴¹

5.2 COMERCIALIZAÇÃO PONTO A PONTO (P2P)

A comercialização de energia ponto a ponto ou *peer-to-peer* (P2P) é o foco da maioria das empresas de blockchain para o setor de energia. O termo se refere a possibilidade de comprar e vender energia entre vizinhos. Os prosumidores com excesso de energia podem vender seu excedente localmente ou exportar para a rede ou armazenamento. A grande quantidade existente dos REDs não é suportada pela atual estrutura da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), que é a responsável por viabilizar e gerenciar a comercialização de energia elétrica no Brasil. A maior parte da geração residencial é de origem fotovoltaica e seus excedentes geram margens pequenas nessas transações, o que torna esse mercado pouco atraente e provavelmente inviável para as comercializadoras, abrindo espaço para a tecnologia blockchain.⁴²

No caso de P2P, o proprietário da micro ou minigeração distribuída poderia vender seu excedente de forma livre todos os meses, criando um incentivo real para instalações acima da carga de consumo local, e todo o sistema se beneficiaria com preços de energia mais baixos e menor necessidade de expansão do sistema de transmissão.⁴³ A tecnologia blockchain constituiria uma plataforma para a realização de compra e venda de energia. O objetivo destas trocas seria balancear a oferta e a demanda, em tempo real, de forma autônoma e descentralizada. Para isso ocorrer, contudo, são necessários alguns requisitos básicos, como, obrigatoriamente, um medidor inteligente e, preferivelmente, uma bateria.⁴⁴

O funcionamento dessa plataforma, teria a princípio as seguintes etapas: a) o

⁴¹ CASTRO, Nivalde de; LIMA, Antônio; PEREIRA, Guillermo. GESEL. **Perspectivas da tecnologia blockchain no Setor Elétrico: Aplicações na Europa, na Austrália e nos Estados Unidos**. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/45_Gesel-%20Canal%20Energia%20-%20VF-O%20potencial%20disruptivo%20da%20tecnologia%20blockchain%20no%20SE.pdf> Acesso em: 04 nov. 2019.

⁴² GRUNWALD, Vanessa Heidrich. **Aplicações da tecnologia Blockchain na comercialização de energia no Brasil, a Singularidade da Energia, e um possível Ambiente de Contratação Distribuída – ACD**. 2018. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Programa FGV Management, Curitiba, 2018. p. 55.

⁴³ GRUNWALD, Vanessa Heidrich. **Aplicações da tecnologia Blockchain na comercialização de energia no Brasil, a Singularidade da Energia, e um possível Ambiente de Contratação Distribuída – ACD**. 2018. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Programa FGV Management, Curitiba, 2018. p. 56.

⁴⁴ CASTRO, Nivalde de; LIMA, Antônio; PEREIRA, Guillermo. GESEL. **Perspectivas da tecnologia blockchain no Setor Elétrico: Aplicações na Europa, na Austrália e nos Estados Unidos**. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/45_Gesel-%20Canal%20Energia%20-%20VF-O%20potencial%20disruptivo%20da%20tecnologia%20blockchain%20no%20SE.pdf> Acesso em: 04 nov. 2019.

prosumidor gera um excedente de energia; b) esta energia é exportada para a rede e registrada em um medidor inteligente antes de ser registrada na blockchain; c) a energia exportada é representada por um *token* (por exemplo, 1 *token* = 1 kWh); d) os *tokens* podem ser registrados no ambiente interno do microgrid ou no mercado aberto (ACD) para que os consumidores possam adquiri-los; e) os consumidores têm acesso a uma lista com as vendas que estão ocorrendo, com o tipo de geração que foi realizada e a localização precisa.⁴⁵

Utilizando a blockchain, seria possível saber quanto um usuário poderia contribuir em termos de energia, pelo seu histórico de geração e consumo e suas flutuações estatísticas, em kWh. “O blockchain seria, portanto, um mecanismo de definição das preferências de consumo e de geração dos prosumidores, operacionalizando regras preestabelecidas, por meio de contratos inteligentes, em função da variação de preço, de hora, de fluxo e de estoque de energia”.⁴⁶

Por esses motivos, a blockchain permite a *tokenização* das informações da energia elétrica, viabilizando que ela seja negociada diretamente entre as pessoas, sem a necessidade de uma entidade controladora das operações, e permite uma liquidação contábil quase instantânea entre os prosumidores, de forma a reduzir custos de transação e estimular o investimento em energia sustentável e a estabilidade do sistema elétrico.

5.3 CERTIFICADOS DE ORIGEM DE ENERGIA ELÉTRICA

Na mesma rede elétrica, toda energia é igual, homogênea, sendo indistinguível a sua fonte de origem, a menos que se construa uma rede independente para cada espécie de geração de energia, o que é economicamente inviável devido ao enorme custo de infraestrutura. Isso é um problema porque a geração de energia tem um impacto ambiental, assim, a energia renovável tende a ser sustentável, limpa e com poucas ou nenhuma emissão durante a produção, em comparação com a eletricidade produzida a partir de usinas a

⁴⁵ CASTRO, Nivalde de; LIMA, Antônio; PEREIRA, Guillermo. GESEL. **Perspectivas da tecnologia blockchain no Setor Elétrico: Aplicações na Europa, na Austrália e nos Estados Unidos**. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/45_Gesel-%20Canal%20Energia%20-%20VF-O%20potencial%20disruptivo%20da%20tecnologia%20blockchain%20no%20SE.pdf> Acesso em: 04 nov. 2019.

⁴⁶ CASTRO, Nivalde de; LIMA, Antônio; PEREIRA, Guillermo. GESEL. **Perspectivas da tecnologia blockchain no Setor Elétrico: Aplicações na Europa, na Austrália e nos Estados Unidos**. Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/45_Gesel-%20Canal%20Energia%20-%20VF-O%20potencial%20disruptivo%20da%20tecnologia%20blockchain%20no%20SE.pdf> Acesso em: 04 nov. 2019.

carvão.⁴⁷

Para identificar a origem da energia se torna necessário um certificado que declare sua origem, que documenta a quantidade de energia gerada e também informações sobre sua origem, tornando-o heterogêneo. Esse certificado pode ser adquirido por livre iniciativa dos consumidores, por interesses comerciais ou ainda exigido por políticas públicas que busquem sustentabilidade. Pode-se exemplificar com as Garantias de Origem (GOs) utilizadas na União Europeia, os Créditos de Energia Renovável (RECs) nos EUA e no Brasil, e os Certificados de Energia Limpa (CEL) no México.

No Brasil, o mercado de certificação de energia renovável iniciou em 2014, e cresceu significativamente desde o seu lançamento, e em março de 2019 contava com 87 usinas aptas a emitir REC. Cada certificado “REC Brazil” equivale a um MWh de eletricidade produzida a partir de fontes renováveis, sendo que a maioria das instalações que geram certificados já possuem registro na plataforma internacional IREC, mundialmente reconhecida para registro, emissão e transferência de Certificados de Energia Renovável, permitindo aos consumidores rastrear seu consumo. A I-REC está disponível para a América Latina, Ásia e África, pois que Europa e Estados Unidos já possuem os sistemas GO e REC.⁴⁸

Os atuais sistemas de emissão e rastreamento de certificados possuem deficiências que abrem possibilidades para a tecnologia blockchain, sendo essencialmente três: a) centralização pelas instituições governamentais da emissão dos certificados, o que na transição para energias renováveis descentralizadas será complexo continuarem sendo esse intermediário confiável; b) custos administrativos e transacionais para verificar a origem da eletricidade nos REDs, que pela elevada quantidade e geração reduzida, acabam não podendo participar desse mercado de certificados; c) automação e experiência do usuário, pela falta de processos padronizados e automatizados, tornando-o excessivamente burocrático, sendo necessária uma experiência de usuário melhor e mais moderna.⁴⁹ O uso da blockchain na certificação de energia é uma aplicação simples e direta, e diversas plataformas estão sendo desenvolvidas para essa finalidade.

⁴⁷ GRUNWALD, Vanessa Heidrich. **Aplicações da tecnologia Blockchain na comercialização de energia no Brasil, a Singularidade da Energia, e um possível Ambiente de Contratação Distribuída – ACD**. 2018. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Programa FGV Management, Curitiba, 2018. p. 43.

⁴⁸ INSTITUTO TOTUM. **Certificação de energia renovável cresce acima das expectativas**. Disponível em: <
https://www.institutototum.com.br/index.php/noticias/28-programa-de-certificacao-de-energia-renovavel/312-certificacao-de-energia-renovavel-cresce-acima-das-expectativas> Acesso em: 16 nov. 2019.

⁴⁹ GRUNWALD, Vanessa Heidrich. **Aplicações da tecnologia Blockchain na comercialização de energia no Brasil, a Singularidade da Energia, e um possível Ambiente de Contratação Distribuída – ACD**. 2018. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Programa FGV Management, Curitiba, 2018. p. 47.

6. CONCLUSÃO

As políticas públicas mundiais estão direcionadas para a geração de energia elétrica renovável, dada a compreensão de que não há outra alternativa para se alcançar a sustentabilidade energética, e o desabastecimento energético levaria a um colapso da civilização. As energias renováveis são na sua maioria sem a emissão de carbono, trazendo ainda benefícios ao meio ambiente ao contribuir para evitar o aquecimento global e seus impactos na natureza.

A convergência tecnológica e científica da atualidade, já permite um projeto para o setor elétrico que permita que a descarbonização, a descentralização e a digitalização tragam benefícios ao meio ambiente, ao abastecimento de energia renovável e viabilize um mercado totalmente novo para comercialização de energia elétrica. Esse comércio não será mais unidirecional e centralizado, onde a energia partia dos geradores para os consumidores, mas será bidirecional e descentralizado, onde os prosumidores gerarão sua própria energia elétrica, vendendo o excedente nos picos de geração ou adquirindo a energia necessária quando sua geração for insuficiente.

Os Recursos Energéticos Distribuídos (REDs) representam uma enorme oportunidade e a blockchain é a chave para desbloqueá-la, na medida em que podem ser usadas para gerenciar identidades digitais dos REDs, integrá-las perfeitamente à rede, compartilhar dados entre elas, realizar medições e verificações confiáveis e desbloquear liquidação quase instantânea para serviços de rede - tudo com custos de transação extremamente baixos. Com as tecnologias digitais e descentralizadas é possível oferecer aos operadores de rede o acesso a bilhões de REDs mundialmente, que são capazes de gerar valor para todos os participantes envolvidos nesse mercado, e ainda tornando os programas de gerenciamento da resposta da demanda mais eficientes e disseminados.⁵⁰

Diversas empresas e consórcios estão desenvolvendo plataformas de blockchain focadas no setor elétrico, e já surgem resultados animadores, tais como o *EW Chain*, da Energy Web Foundation, que traz uma tecnologia que não exige grande consumo de energia para geração dos *tokens* e suporta aplicativos corporativos.

A digitalização do setor elétrico através do uso de *tokens* de energia, ainda permitirá uma melhoria das políticas públicas, seja pelo conhecimento preciso de como a geração e o consumo se distribuem geograficamente, seja pelo estímulo ao uso de energia

⁵⁰ DISRUPTOR DAILY. **In Energy, Blockchain Is Not Equal To Peer To Peer**. Disponível em: <<https://www.disruptordaily.com/in-energy-blockchain-is-not-equal-to-peer-to-peer/>> Acesso em: 17 nov. 2019.

renovável que poderá ter sua geração e consumo acompanhados em tempo real, trazendo valor de mercado diverso para diferentes tecnologias de geração ou ainda com formas de controlar a resposta da demanda de maneira econômica e socialmente adequadas.

Assim, é importante a compreensão de que essas novas tecnologias de geração de energia elétrica sustentável, integradas com plataformas tecnológicas que permitam a *tokenização* do setor elétrico, tanto para fins de funcionalidade operacional, tanto como para viabilizar um novo tipo de mercado livre bidirecional no comércio de energia elétrica, deve levar investimentos privados expressivos no setor elétrico, que tornarão a energia elétrica muito mais barata e ecológica, promovendo nesse processo o desenvolvimento econômico e social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINEE. **Painel debate transição energética e digitalização do setor elétrico.** Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/noticias/com53.htm>> Acesso: em 03 nov. 2019.

AGENDA 2030. **A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** Disponível em: <<http://www.agenda2030.org.br/sobre/>> Acesso em: 03 nov. 2019.

ANEEL. **Geração Distribuída.** Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>> Acesso em 08 nov. 2019.

ANEEL. **Informações Técnicas. Legislação.** Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=50&idPerfil=2>> Acesso em: 08 nov. 2019.

ANEEL. **Nota Técnica nº 0020/2012-SRD/ANEEL.** Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2011/042/resultado/nota_tecnica_0020_daniel_srd.pdf> Acesso em: 09 nov. 2019.

ANEEL. **Resolução nº 482/2012.**

BINANCE ACADEMY. **O que é Proof of Authority?** Disponível em: <<https://www.binance.vision/pt/blockchain/proof-of-authority-explained>> Acesso: em 10 nov. 2019.

CASTRO, Nivalde de; LIMA, Antônio; PEREIRA, Guillermo. GESEL. **Perspectivas da tecnologia blockchain no Setor Elétrico: Aplicações na Europa, na Austrália e nos Estados Unidos.** Disponível em: <http://www.gesel.ie.ufrj.br/app/webroot/files/publications/45_Gesel-%20Canal%20Energia%20-%20VF-O%20potencial%20disruptivo%20da%20tecnologia%20blockchain%20no%20SE.pdf> Acesso em: 04 nov. 2019.

CEMIG. **Plano estratégico de inovação de tecnologia digital da Cemig - versão reduzida.** Disponível em: <<https://www.cemig.com.br/pt->

br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/Documents/chamada_publica_CEMIG40/plano_cemig40.pdf> Acesso em: 03 nov. 2019.

DANIEL, Komesu. MUNDO DOS BANCOS. **Dinheiro e moeda: o que é e como funciona?** Disponível em: <<https://mundodosbancos.com/77/dinheiro-moeda/>> Acesso em: 04 nov. 2019.

DISRUPTOR DAILY. **In Energy, Blockchain Is Not Equal To Peer To Peer.** Disponível em: <<https://www.disruptordaily.com/in-energy-blockchain-is-not-equal-to-peer-to-peer/>> Acesso em: 17 nov. 2019.

ENERGY BLOCKCHAIN CONSORTIUM. Disponível em: <<http://energy-blockchain.org/>> Acesso em: 10 nov. 2019.

ENERGY WEB FOUNDATION. Disponível em: <<https://www.energyweb.org/>> Acesso em: 10 nov. 2019.

ENERGY WEB FOUNDATION. **The Energy Web Chain.** Disponível em: <<https://www.energyweb.org/wp-content/uploads/2019/05/EFW-Paper-TheEnergyWebChain-v2-201907-FINAL.pdf>> Acesso em 03 nov. 2019.

ENERGY WEB FOUNDATION. **Energy Web Origin.** Disponível em: <<https://www.energyweb.org/technology/ew-origin/>> Acesso em: 16 nov. 2019.

ENERGY WEB FOUNDATION. **The Grid's New Digital DNA.** Disponível em: <<https://www.energyweb.org/technology/energy-web-chain/>> Acesso em: 16 nov. 2019.

EPE. **Recursos Energéticos Distribuídos: Impactos no Planejamento Energético.** Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/sala-de-imprensa/noticias/Documents/ND%20-%20Recursos%20Energ%C3%A9ticos%20Distribu%C3%ADos.pdf>> Acesso em: 04 nov. 2019.

ETHEREUM. Disponível em: <<https://ethereum.org/>> Acesso em: 09 nov. 2019.

GOMES, Ezequiel. GUIA DO BITCOIN. **A diferença entre “blockchain” e “DLT” (tecnologia distribuída de livro-razão).** Disponível em: <<https://guiadobitcoin.com.br/a-diferenca-entre-blockchain-e-dlt-tecnologia-distribuida-de-livro-razao/>> Acesso em: 03 nov. 2019.

GRIDHUB. **Mudanças propostas em revisão de REN 482 geram divergências.** Disponível em: <https://www.griclub.org/news/infrastructure/mudancas-propostas-em-revisao-de-ren-482-geram-divergencias_933.html> Acesso em: 08 nov. 2019.

GRUNWALD, Vanessa Heidrich. **Aplicações da tecnologia Blockchain na comercialização de energia no Brasil, a Singularidade da Energia, e um possível Ambiente de Contratação Distribuída – ACD.** 2018. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Programa FGV Management, Curitiba, 2018.

HIRTH, Lion; UECKERDT, Falko; EDENHOFER, Ottmar. **Why wind is not coal: On the economics of electricity.** Fondazione Eni Enrico Mattei, 2014. Disponível em:

<https://www.feem.it/m/publications_pages/20144161625104NDL2014-039.pdf> Acesso em: 10 nov. 2019.

INFOMONEY. **Sobre Ethereum.** Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/cotacoes/ethereum-eth/>> Acesso em: 09 nov. 2019.

INSTITUTO TOTUM. **Certificação de energia renovável cresce acima das expectativas.** Disponível em: < <https://www.institutototum.com.br/index.php/noticias/28-programa-de-certificacao-de-energia-renovavel/312-certificacao-de-energia-renovavel-cresce-acima-das-expectativas>> Acesso em: 16 nov. 2019.

INVESTOPEDIA. **Block Time.** Disponível em: <<https://www.investopedia.com/terms/b/block-time-cryptocurrency.asp>> Acesso em: 10 nov. 2019.

ISTOÉ. **Prosumidor: A palavra do futuro – Em breve, você será também.** Disponível em: <<https://istoe.com.br/prosumidor-a-palavra-do-futuro-em-brevevoce-sera-tambem/>> Acesso em: 02 nov. 2019.

MEARIN, Lucas. **Como o Blockchain está se tornando o 5G da indústria de pagamentos.** Disponível em: < <https://computerworld.com.br/2019/03/29/como-o-blockchain-esta-se-tornando-o-5g-da-industria-de-pagamentos/>> Acesso em: 09 nov. 2019.

MEDIUM. **Análise dos algoritmos de consenso.** Disponível em: <<https://medium.com/@creditsbrasil/an%C3%A1lise-dos-algoritmos-de-consenso-87923a9c367b>> Acesso em: 10 nov. 2019.

MEDIUM. **What's the Difference Between Blockchain & Distributed Ledger Technology?** Disponível em: <<https://medium.com/blockchain-review/whats-the-difference-between-blockchain-distributed-ledger-technology-19407f2c2216>> Acesso em: 02 nov. 2019.

NAÇÕES UNIDAS. **ONU pede comprometimento com Acordo de Paris sobre o clima.** Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/onu-pede-comprometimento-com-acordo-de-paris-clima/>> Acesso em: 03 nov. 2019.

NEOWAY. **O que é Big Data e qual a importância de implementá-lo na empresa?** Disponível em: < <https://www.neoway.com.br/o-que-e-big-data/>> Acesso em: 03 nov. 2019.

REIS, Tiago. SUNO. **O que é lastro e como ele funciona para garantir o valor de um ativo.** Disponível em: <<https://www.sunoresearch.com.br/artigos/lastro/>> Acesso em: 04 nov. 2019.

REVOREDO, Tatiana. **A Tokenização do Mercado de Ações.** Disponível em: <<https://cointimes.com.br/a-tokenizacao-do-mercado-de-acoes/>> Acesso em: 09 nov. 2019.

SANTOS, Reive Barros dos. Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético do Ministério de Minas e Energia (MME) em 24 de julho de 2019. **Painel debate transição energética e digitalização do setor elétrico.** Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/noticias/com53.htm>> Acesso em: 03 nov. 2019.

SCHWAB, Klaus. **The Fourth Industrial Revolution**. World Economic Forum, 2016. Geneva.

SILVA, Adriano Jeronimo da. **Leilões de certificados de energia elétrica: máximo excedente versus máxima quantidade negociada**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, 2003.

Como citar: COSTA JUNIOR, A *Arlei*. A digitalização do setor elétrico brasileiro. (The digitalization of the Brazilian electric sector). **Revista Brasileira de Pesquisas Jurídicas (Brazilian Journal of Law Research)**, Avarré: Eduvale, v. 1, n. 3, p. 119-138, 2020. DOI: 10.51284/rbpj.01.cj. Disponível em: <https://ojs.eduvaleavare.com.br/index.php/rbpj/article/view/20>. Acesso em: 19 dez. 2020.