

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

JEFFERSON NOAL MATTOS

**ANÁLISE DAS APLICAÇÕES DE *BLOCKCHAIN* EM TRANSAÇÕES
DE ENERGIA E REDES INTELIGENTES**

FLORIANÓPOLIS, 2023.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

JEFFERSON NOAL MATTOS

**ANÁLISE DAS APLICAÇÕES DE *BLOCKCHAIN* EM TRANSAÇÕES
DE ENERGIA E REDES INTELIGENTES**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina como parte
dos requisitos para obtenção do título de
Engenheiro(a) Eletricista.

Orientador:
Prof. Murilo Reolon Scuzziato, Dr. Eng.
Coorientador:
Prof. Gustavo Cardoso Orsi, M. Eng

FLORIANÓPOLIS, 2023.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Mattos, Jefferson

Análise das aplicações de blockchain em transações de energia e redes inteligentes / Jefferson Mattos; orientação de Murilo Reolon Scuzziato; coorientação de Gustavo Cardoso Orsi. - Florianópolis, SC, 2023.
48 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.
Inclui Referências.

1. Blockchain. 2. Protocolos de consenso. 3. Transações ponta-a-ponta. 4. Comercialização de energia elétrica.
I. Reolon Scuzziato, Murilo. II. Cardoso Orsi, Gustavo. III. Instituto Federal de Santa Catarina.
IV. Análise das aplicações de blockchain em transações de energia e redes inteligentes.

ANÁLISE DAS APLICAÇÕES DE *BLOCKCHAIN* EM TRANSAÇÕES DE ENERGIA E REDES INTELIGENTES

JEFFERSON NOAL MATTOS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 07 de Dezembro, 2023.

Banca Examinadora:

Murilo Reolon Scuzziato, Dr. Eng.

Gustavo Cardoso Orsi, M. Eng.

Rubipiara Cavalcante Fernandes, Dr. Eng.

Carlos Ernani da Veiga, M. Eng.

RESUMO

O crescimento dos modelos de geração distribuída de energia, bem como a abertura cada vez maior do mercado de energia brasileiro vêm trazendo novos conceitos referentes a transação de energia e uso de dados. As atualizações na regulamentação propiciam um ambiente mais dinâmico e flexível para compra e venda de energia elétrica, e consumidores que produzem sua própria energia terão como opção comercializar ela diretamente com outros consumidores através de transações ponta-a-ponta. Nesse sentido, tecnologias tendem a oferecer maior agilidade e segurança para essas transações, entre elas, a tecnologia blockchain, onde contratos podem ser registrados na rede e protegidos através de protocolos de consenso para validação de dados na cadeia de blocos. Contudo, questionamentos são levantados a respeito de sua segurança e seu uso em larga escala para o setor de energia. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar a tecnologia e seus protocolos de consenso, e os seus usos no setor elétrico, com ênfase em transações ponta-a-ponta de energia, bem como levantar as principais empresas que atuam hoje no mundo com esta tecnologia, permitindo verificar sua constante e crescente utilização no setor de energia.

Palavras-chave: Blockchain. Protocolos de consenso. Transações ponta-a-ponta. Comercialização de energia elétrica

ABSTRACT

The growth of distributed energy generation models, as well as the increasingly open Brazilian energy market, are bringing new concepts regarding energy transactions and data usage. Regulatory updates facilitate a more dynamic and flexible environment for the purchasing and selling of electrical energy, and consumers who produce their own energy will have the option to commercialize it directly with other consumers through peer-to-peer transactions. In this sense, technologies tend to offer more agility and security for these transactions, among them blockchain technology, where contracts can be recorded on the network and protected through consensus protocols for data validation in the blockchain. However, questions are raised regarding its security and its large-scale use for the energy sector. Therefore, this work aims to analyze the technology and its consensus protocols, and their uses in the electrical sector, with an emphasis on peer-to-peer energy transactions, as well as to identify the main companies that are currently operating in the world with this technology, allowing to verify its constant and growing use in the energy sector.

Keywords: Blockchain. Consensus protocols. Peer-to-peer transactions. Energy trading.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Definição do Problema.....	4
1.2	Justificativa.....	4
1.3	Objetivo Geral.....	5
1.4	Objetivos Específicos.....	5
1.5	Metodologia de trabalho.....	6
1.6	Estrutura do trabalho.....	6
	REFERÊNCIAS.....	7
	APÊNDICES.....	10
	APÊNDICE A – Artigo completo.....	11
	APÊNDICE B – Comprovante de apresentação.....	19
	APÊNDICE C – Slides apresentados no congresso.....	23
	APÊNDICE D – Fundamentação teórica.....	32
	D1. A tecnologia <i>Blockchain</i>	32
	<i>D1.1 Protocolo Proof of Work (PoW)</i>	33
	<i>D1.2 Protocolo Proof of Stake (PoS)</i>	33
	<i>D1.3 Protocolo Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)</i>	34
	<i>D1.4 Protocolo Proof of Authority (PoAu)</i>	34
	D2. Aplicações no setor elétrico	34
	<i>D2.1 Transações de energia</i>	34
	<i>D2.2 Atribuições à sustentabilidade</i>	36
	<i>D2.3 Financiamento de energia</i>	36
	<i>D2.4 Registro de dados, liquidações de mercado e outros</i>	37
	ANEXOS	39
	ANEXO A – Folder de chamada do congresso.....	40

1 INTRODUÇÃO

A comercialização de energia no setor elétrico é realizada através da compra e da venda de montantes de energia elétrica entre produtores, consumidores e comercializadoras. Tradicionalmente, a energia é comercializada entre agentes de grande e médios portes, conectados em uma malha de transmissão, que no Brasil interliga os seus subsistemas (ONS, 2022).

Contudo, nos últimos anos observou-se um significativo crescimento da geração distribuída no mundo. No Brasil a potência instalada em geração distribuída ultrapassou 25,8 gigawatts (ANEEL, 2024). Este crescimento traz então o conceito de prosumidores, agentes que tanto produzem quanto consomem energia (Luo et al., 2014). A energia produzida pelos prosumidores poderia ser comercializada diretamente aos consumidores de um local através de microrredes, onde o gerenciamento da energia é feita localmente, utilizando a demanda e produção de energia da região (Gomes et al., 2020).

Esta transação de energia entre prosumidores e consumidores é então chamada de transação Ponta-a-Ponta (P2P) (Zhang et al., 2016). Logo, de modo a aumentar a eficiência e a segurança das transações, tecnologias são pesquisadas para garantir a rapidez e a confiabilidade no registro dos processos, dentre elas, destaca-se a *blockchain*.

A tecnologia *blockchain* pode ser entendida como um registro digital e descentralizado. Conforme o próprio nome diz, consiste em uma cadeia (*chain*) de blocos (*block*) onde cada bloco fica atrelado ao seu anterior por meio de um código *hash*. Este código é muitas vezes imutável, necessitando avançadas técnicas, práticas e poder computacional para ser quebrado, logo, dificilmente consegue-se alterar seus dados, garantindo segurança da informação na rede. A tecnologia é pioneira na atualização do que é entendido por livros-razões em contabilidade, bem como nos desenvolvimentos de criptografias e protocolos de consenso, que são protocolos

necessários para garantir que os dados em nós diferentes da cadeia sejam consistentes (Zheng et al., 2017; Rana, 2020).

Por outro lado, como esta tecnologia elimina a necessidade de uma autoridade central e introduz novos mecanismos de consenso, tornando promissora no setor elétrico (Küfeoglu et al., 2019). Pode-se observar em Küfeoglu et al. (2019) uma revisão bibliográfica de modelos de aplicações da tecnologia blockchain no setor elétrico, bem como empresas do setor que já utilizam essa tecnologia, como Conjoule na Alemanha, Energo Labs na China, Daisee na França, e Electron no Reino Unido.

Machado (2023) apresenta um estudo sobre a possibilidade de redução de compra de distribuidoras utilizando a comercialização de energia elétrica ponta-a-ponta, bem como a sua viabilidade de comercialização entre consumidores e prosumidores. Onde foi possível concluir, após análises energéticas em 9 modelos de microrredes, que é possível compensar o consumo de energia elétrica de um consumidor com a geração fotovoltaica de um prosumidor por meio da comercialização P2P onde para cada 1 centavo mais barato na energia comprada pelo consumidor, o prosumidor venderia a 1 centavo mais cara frente a venda para a distribuidora, garantindo a viabilidade do negócio. Machado (2021) realiza uma análise da aplicação da tecnologia *blockchain* em âmbito mundial, também aplica uma prova de conceito baseada na tecnologia para o setor elétrico brasileiro, onde os casos estudados para a aplicação de *blockchain* foram promissores, com impactos positivos para os agentes comercializadores do setor, visando a redução de custos devido a otimização dos processos e a promoção da sustentabilidade, uma vez que a tecnologia facilita o mercado de energias renováveis.

O Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem o objetivo de consolidar os conhecimentos adquiridos durante o curso e desenvolver as competências e habilidades que constituem o perfil do egresso, sendo parte obrigatória da matriz curricular do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, do Instituto Federal de Ensino, Ciência e Tecnologia (IFSC), Câmpus Florianópolis.

As formas de TCC permitidas, conforme o Projeto Pedagógico do Curso e o Regulamento de TCC do Curso de Engenharia Elétrica do IFSC – Câmpus Florianópolis (IFSC, 2018, 2019) são as seguintes:

- a) Apresentação de monografia;
- b) Publicação e apresentação de artigo em evento nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica; ou
- c) Publicação de artigo em periódico nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica.

Nesse sentido, este trabalho se enquadra na forma (b) - Publicação e apresentação de artigo em evento nacional ou internacional pertinente e relevante à Engenharia Elétrica.

Outrossim, ressalta-se o cumprimento dos requisitos obrigatórios descritos nos Regulamentos de TCC do IFSC Câmpus Florianópolis e do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, em especial, a saber:

- a) O acadêmico cursou e foi aprovada na unidade curricular de TCC-I no segundo semestre de 2022;
- b) O acadêmico em conjunto com seu orientador submeteu o artigo intitulado “Análise das aplicações de blockchain em transações de energia e redes inteligentes” (Apêndice A) para o XIV Congresso Latino Americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica;
- c) O aceite do artigo pelo congresso ocorreu no dia 03 de Outubro de 2022, enquanto o acadêmico estava matriculado em TCC-I;
- d) O acadêmico apresentou o artigo no congresso no dia 29 de Novembro de 2022 (Apêndice B);
- e) O congresso foi considerado pertinente e relevante à área de Engenharia Elétrica com a anuência do coordenador do curso e do docente orientador.

Portanto, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) atente a todos os requisitos exigidos nos regulamentos e diretrizes do IFSC – Câmpus Florianópolis e do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica para que possa ser realizada a defesa pública do trabalho.

1.1 Definição do Problema

Uma vez sendo uma tecnologia ainda em desenvolvimento, a *blockchain* ainda gera muitas dúvidas e inseguranças para os usuários da rede, com conceitos complexos e diferentes protocolos de consenso, muito se questiona em respeito à confiabilidade da tecnologia para seus diferentes usos no cenário energético e sua capacidade de realizar todas as validações necessárias em seu mecanismo dentro de um tempo adequado. Além das inseguranças, a tecnologia também não apresenta uma regulamentação definida dentro de muitos mercados de energia pelo mundo, comprometendo assim seu uso nos diferentes modelos em que está sendo proposta por muitas outras empresas.

Assim, busca-se com este trabalho um melhor entendimento do que é a tecnologia *blockchain*, questionando quais os seus protocolos de consenso hoje usados no mercado para garantir sua confiabilidade na rede, em quais países a tecnologia é amplamente usada, e quais as principais empresas que são pioneiras em seu desenvolvimento e uso no setor de energia elétrica.

1.2 Justificativa

As grandes preocupações referentes ao uso de dados e privacidade, estão relacionadas ao roubo e furto dos mesmos (Priyadarshini, 2019), diversos fatores tendem a fazer com que o fluxo de dados nos mercados de energia seja cada vez maior nos próximos anos. Destaca-se o grande crescimento do mercado livre no Brasil, onde em 2021 já contava com mais de 26 mil ativos de consumo no ambiente de contratação livre (CCEE, 2022), aliado ao crescimento do ambiente para os seguintes anos, com a

abertura para consumidores com demanda cada vez menor (ANEEL, 2021). Todas essas alterações geram um maior número de transações de energia.

Além disso, tem-se em 2021 a implementação do preço de liquidação das diferenças (PLD) horário, que fez com que dados antes calculados de forma semanal, agora sejam calculados de forma horária, demandando assim um maior poder computacional, devido ao maior volume de dados nas transações de energia.

Com o desenvolvimento de novas transações de energia, como a Ponta-a-Ponta, a segurança e confiabilidade referente as transações e os dados armazenados neles torna-se cada vez mais exigida para o funcionamento de novas tecnologias. Diversas empresas estão buscando desenvolver novas metodologias de validação de transações de energia, bem como novos métodos de financiamento de projetos de energia, gravação de dados, liquidações e cobranças no mercado, e outros (Ogushi, 2020). Logo, a *blockchain* se apresenta como uma inovadora tecnologia que busca suprir as necessidades em segurança e confiabilidade através de seus registros distribuídos e seus protocolos de consenso para validação de blocos.

Este trabalho expõe uma revisão bibliográfica sobre os processos de autenticação e protocolos de consenso da tecnologia *blockchain* bem como as empresas que a utilizaram no setor de energia em um período de 2015 a 2019. Foi submetido, aceito e apresentado como um artigo científico no Congresso Latino Americano de Geração e Transmissão de Energia Elétrica em novembro de 2022 na cidade do Rio de Janeiro.

1.3 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma revisão bibliográfica acerca do funcionamento da tecnologia blockchain, observando seu uso e crescimento no setor de energia por meio de uma análise de aplicações de diversas empresas pioneiras no setor elétrico.

1.4 Objetivos Específicos

De modo a atingir o objetivo geral, são definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) apresentar a fundamentação teórica acerca do funcionamento da tecnologia *blockchain*, suas aplicações, tipos de transação de dados, bem como os protocolos de consenso utilizados;
- b) elencar as empresas que atuam com a tecnologia no mercado e suas respectivas áreas de atuação, expondo as soluções desenvolvidas com a tecnologia *blockchain*;
- c) observar o crescimento da tecnologia no setor elétrico e analisar seus benefícios, limitações e desafios futuros.

1.5 Metodologia de trabalho

Para realizar a pesquisa, foi feito um estudo geral da tecnologia, buscando entender seus conceitos e métodos de funcionamento, para isso, são pesquisadas as bases nas quais a tecnologia é feita e programada, e em quais ambientes pode ser usada e como ela é aplicada.

De modo a analisar suas aplicações, foi realizada uma pesquisa de diferentes literaturas, evidenciando quais as principais empresas do mercado e como elas atuam, para isso, é pesquisado em diferentes artigos, sites próprios de empresas da área e fontes do setor elétrico focadas em *blockchain*.

Para levantamento dos dados, tais quais crescimento do número de empresas e suas divisões por países, é montada uma base de dados para conseguir distinguir as empresas por ano e por local de atuação. Através da pesquisa de Ogushi, 2019, foi possível identificar a data de criação de cada uma das empresas, possibilitando a análise do avanço da tecnologia ao longo dos anos.

1.6 Estrutura do trabalho

Na Introdução apresenta-se a fundamentação legal e regulatória de enquadramento e os requisitos desta forma de TCC, assim como a definição do problema, a justificativa, os objetivos geral e específicos e a metodologia de trabalho.

No Apêndice A é apresentado o artigo completo, sendo que os comprovantes da apresentação do artigo no congresso, tais como fotos e certificado de participação e apresentação, estão no Apêndice B. No Apêndice C têm-se os slides de apresentação do artigo no congresso. O Apêndice D apresenta a fundamentação teórica do trabalho. E por fim, no Anexo A tem-se o folder de chamada para apresentação dos artigos pelo congresso.

REFERÊNCIAS

ALI, Faizan Safdar; ALOQAILY, Moayad; ALFANDI, Omar; OZKASAP, Oznur. Cyberphysical Blockchain-Enabled Peer-to-Peer Energy Trading. **Computer**, [S.L.], v.53, n. 9, p. 56-65, 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

ANDONI, Merlinda; ROBU, Valentin; FLYNN, David; ABRAM, Simone; GEACH, Dale; JENKINS, David; MCCALLUM, Peter; PEACOCK, Andrew. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**. S.L., p. 143-175. 2019.

ANEEL. **Micro e minigeração distribuída apresenta acréscimo de 7,4 GW em 2023**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2024/micro-e-minigeracao-distribuida-apresenta-acrescimo-de-7-4-gw-em-2023>. Acesso em: 15 jan. 2024.

ANEEL. **Resolução Normativa N. 1.000, de 7 de dezembro de 2021**. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica. Aneel. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2004109.pdf>. Acesso em 16 nov. 2022.

BIRK, Michael E. **Impact of Distributed Energy Resources on Locational Marginal Prices and Electricity Networks**. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Tecnologia e Política, Instituto de Tecnologia de Massachusetts, Massachusetts, 2016.

BUTERIN, Vitalik. **The Meaning of Decentralization**. 2017. Disponível em: <https://medium.com/@VitalikButerin/the-meaning-of-decentralization-a0c92b76a274>. Acesso em: 19 nov. 2022.

CCEE. **Mercado livre de energia bate recorde de migração de unidades consumidoras em 2021**. 2022. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/pt/web/guest/-/mercado-livre-de-energia-bate-recorde-de-migracao-de-unidades-consumidoras-em-2021>. Acesso em: 16 nov. 2022.

FOXBIT. **ICO – O que é e como funciona?** 2020. Disponível em: <https://foxbit.com.br/blog/ico-o-que-e-como-funciona/>. Acesso em: 10 set. 2020.

FU, Bailu; SHU, Zhan; LIU, Xiaogang. Blockchain Enhanced Emission Trading Framework in Fashion Apparel Manufacturing Industry. **Sustainability**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 1105-1124, 2018.

GERVAIS, Arthur et al. On the security and performance of proof of work blockchains. In: **Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC conference on computer and**

communications security. 2016. p. 3-16. Disponível em: <https://eprint.iacr.org/2016/555.pdf>. Acesso em 3 Dez. 2022.

GRID+. **White Paper**. 2018. Disponível em: <https://whitepaper.io/document/269/grid-whitepaper>. Acesso em: 23 set. 2020.

GOMES, Luis; VALE, Zita A.; CORCHADO, Juan Manuel. Multi-Agent Microgrid Management System for Single-Board Computers: a case study on peer-to-peer energy trading. **Ieee Access**, [S.L.], v. 8, p. 64169-64183, 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

IBM. **O que é a tecnologia blockchain**. 2022. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/topics/what-is-blockchain>. Acesso em: 19 nov. 2022.

IFSC. **Projeto Pedagógico do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica**. Florianópolis, 2018. Disponível em: http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/eletrica/files/2018/11/PPC_Eng_Elétrica_DAE_CF_IFSC_2018_v2.6.1.pdf. Acesso em: 29 mai. 2019.

IFSC. **Regulamento de TCC do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica**. Florianópolis, 2019. Disponível em: http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/eletrica/files/2019/05/Regulamento_TCC_EEL_CF_IFSC_2019.pdf. Acesso em: 29 mai. 2019.

KÜFEOGLU, Sinan; LIU, Gaomin; ANAYA, Karim; POLLITT, Michael G. **Digitalisation and new business models in energy sector**. Faculty of Economics, University of Cambridge, jun. 2019. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/pdf/resrep30431.pdf>. Acesso em: 22 Out. 2022

KING, Sunny; NADAL, Scott. Ppcoin: Peer-to-peer crypto-currency with proof-of- stake. **self-published paper**, August, v. 19, n. 1, 2012. Disponível em: <https://bitcoin.peryaudo.org/vendor/peercoin-paper.pdf>. Acesso em 3 Dez. 2022.

LIVINGSTON, David; SIVARAM, Varun; FREEMAN, Madison; FIEGE, Maximilian. **Applying Blockchain Technology to Electric Power Systems**. S.L. jul. 2018. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/resrep21340.pdf>. Acesso em 19 nov. 2022.

LUO, Yuan; ITAYA, Satoko; NAKAMURA, Shin; DAVIS, Peter. Autonomous cooperative energy trading between prosumers for microgrid systems. **39Th Annual Ieee Conference On Local Computer Networks Workshops**, [S.L.], p. 693-696, set. 2014. IEEE.

MACHADO, Andriele Bratti. **Avaliação de Modelos Energéticos para Comercialização de Energia Elétrica Ponto a Ponto Entre Consumidores e Prosumidores Residenciais e Comerciais**. 2023. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2023.

MACHADO, Solange. **Análise do mercado de energia elétrico brasileiro para aplicação da tecnologia blockchain**: um estudo para fomentar a digitalização, descentralização e a descarbonização do setor elétrico. 2021. 382 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2021.

NAKAMOTO, S. **Bitcoin**: a peer-to-peer electronic cash system. Working Paper, 2008. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 19 nov. 2022.

NGUYEN, Giang-Truong; KIM, Kyungbaek. A Survey about Consensus Algorithms Used in Blockchain. **Journal Of Information And Processing Systems**, S.L., p. 101-128, fev. 2018.

OGUSHI, Yasuhiko. **Energy Blockchain Cases January 2019**. 2019. Disponível em: <https://medium.com/energy2030/energy-blockchain-cases-january-2019-23ea4e5e539d>. Acesso em: 21 out. 2022.

ONS. **O SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**. 2022. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 12 nov. 2022.

PRIYADARSHINI, Ishaani. Introduction to Blockchain Technology. In: LE, Dac- Nhung; KUMAR, Raghvendra; MISHRA, Brojo Kishore; KHARI, Manju; CHATTERJEE, Jyotir Moy (ed.). **Cyber Security in Parallel and Distributed**

APÊNDICES

APÊNDICE A – Artigo completo

Análise das aplicações de *blockchain* em transações de energia e redes inteligentes

J. N. Mattos¹, F. Y. K. Takigawa², G. C. Orsi³, M. R. Scuzziato⁴, R. C. Fernandes⁵

Abstract— The Brazilian energy market is going through many regulation changes focused especially at modernizing the electricity sector. One of the main changes is the development of a free energy market, where all the players are allowed to trade electric energy freely among themselves, creating new opportunities. From the optics of distributed energy resources, transactions and payment, financing and settlement systems, there is a need to implement technological mechanisms capable of assuring the reliability of transactions and the safe storage of data related to the energy market. There are different initiatives presented in the literature regarding innovative projects applied in countries with advanced energy markets, for instance blockchain and cryptocurrencies. Blockchain is a technology of distributed ledger, in which the information and transactions are performed through a network by a group of users using consensus protocols, which are the basis for the security of this technology. It has been used for financing energy generation projects and in records of peer-to-peer energy transactions both in private residential networks projects and in the wholesale market. However, as an incipient technology, it raises questions about data privacy, relevance to the energy sector regulation, speed and optimization of process due to consensus protocols, and security and reliability in its use. As a consequence, this work aims to analyze the blockchain application in the electricity sector, based on a survey of companies and startups that are pioneers in its use. Finally, it is possible to notice that the technology is in an initial phase, despite its potential in a variety of areas. The decentralized protocols for transaction validations and data can bring reliability to the network, but, as with many new technologies, it may need some cultural changes to break some beliefs and paradigms for different settings and processes.

Index Terms— Blockchain, Transações ponta-a-ponta, Recursos distribuídos de energia, Redes inteligentes, Contratos inteligentes.

I. INTRODUÇÃO

A tecnologia blockchain pode ser entendida como um registro digital, descentralizado e distribuído. Conforme o próprio nome diz, consiste de uma cadeia (chain) de blocos (block) onde cada bloco fica atrelado ao seu anterior por meio

de um código hash. Este código é imutável, assim, não permite qualquer alteração em seus dados, garantindo segurança da informação na rede. A tecnologia é pioneira na atualização do que é entendido por livros-razões em contabilidade, bem como nos desenvolvimentos de criptografias e protocolos de consenso, que são protocolos necessários para garantir que os dados em nós diferentes da cadeia sejam consistentes [1] [2].

Por outro lado, como a tecnologia elimina a necessidade de uma autoridade central e introduz novos mecanismos de consenso, a mesma torna-se promissora no setor elétrico [3]. Pode-se observar em [3] uma revisão bibliográfica de modelos de aplicações da tecnologia blockchain no setor elétrico, bem como empresas do setor que já utilizam essa tecnologia. Neste sentido, este trabalho tem como objetivo mostrar o potencial de aplicação da tecnologia blockchain no setor elétrico mundial, o crescimento das aplicações da tecnologia, bem como entender o seu funcionamento para cada ramo de aplicação.

O artigo está dividido da seguinte forma: a seção 2 aborda de uma maneira geral o funcionamento da tecnologia, explicando seus conceitos básicos e seus protocolos de consenso; na seção 3 são abordadas suas aplicações no setor elétrico, apresentando diferentes modelos para cada aplicação e os exemplos de aplicações existentes no mercado atual. Por fim, são apresentadas as considerações finais, analisando seus benefícios e seus desafios para futuro desenvolvimento.

II. A TECNOLOGIA BLOCKCHAIN

Pode-se afirmar que uma das maiores preocupações no mundo da cibersegurança são roubos de dados, atingindo a privacidade individual e a confidencialidade. Dados inseridos na rede estão propensos a furtos e plágio, e em muitos casos encontrar os responsáveis é de extrema dificuldade [4]. No sentido de garantir a segurança desses dados, a tecnologia blockchain aparece como um avanço em segurança e confiança por meio de seus registros distribuídos.

As transações entre partes normalmente são feitas por meio de uma autoridade central, que garante que as partes estão cumprindo com seus devidos requisitos e assim validam as partes para que as transações tenham continuidade. A tecnologia blockchain não necessita que as validações sejam feitas por uma autoridade central. As validações ocorrem por vários nós dentro de uma rede distribuída e os dados das transações ficam registrados nos nós da rede. Uma vez registrados, os dados não podem ser modificados, garantindo assim a imutabilidade e a confiança entre as partes da rede. A

¹Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Campus Florianópolis. jefferson.n28@aluno.ifsc.edu.br

²Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Campus Florianópolis. takigawa@ifsc.edu.br

³Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Campus Florianópolis. gustavo.orsi@ifsc.edu.br

⁴Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Campus Florianópolis. murilo.suzziato@ifsc.edu.br

⁵Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Campus Florianópolis. piara@ifsc.edu.br

Figura 1 mostra um exemplo de tipos de redes, em que pode-se observar em (a) uma rede centralizada, onde todos os dados são armazenados em um único local, sendo necessário alguma conexão à ele para acesso aos dados. Em (b) há uma rede descentralizada, onde os dados são armazenados em vários locais conectados, e para acessá-los, basta se conectar a algum dos locais. E em (c) uma rede distribuída, onde cada nó possui uma cópia de todos os dados.

Os dados de cada nó ficam registrados em blocos e cada bloco seguinte fica atrelado ao anterior através do seu hash, que representa seu endereço. Cada vez que é alterada alguma informação de dentro do bloco, o hash também é alterado, logo, uma mudança nos conteúdos de um bloco já presente na cadeia, levariam a uma mudança no hash. A Figura 2 ilustra a estrutura da cadeia de blocos, em que cada bloco contém a assinatura hash do bloco anterior em seu cabeçalho. Apenas o primeiro bloco (chamado bloco gênese) não possui um hash anterior atrelado [1].

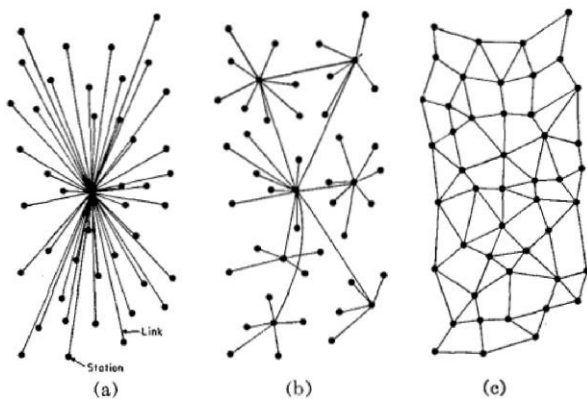


Fig. 1. Tipos de redes. Fonte: [5].

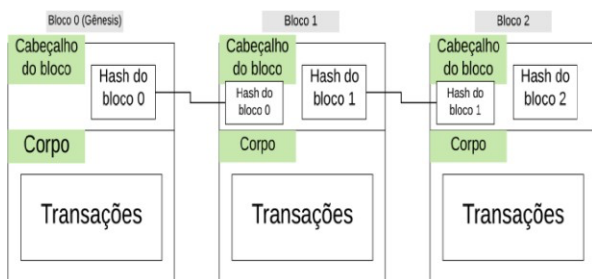


Fig. 2. Arquitetura do Blockchain. Fonte: [1].

Assim, o *blockchain* pode ser visto como um livro-razão distribuído que não depende de uma autoridade central para garantir a confiança entre os participantes ou para compensar as transações [6].

De modo a garantir com que os blocos sejam validados e assim as transações sejam autenticadas e seus dados armazenados, são estabelecidos diferentes protocolos de consenso. Estes protocolos visam tanto a proteção, quanto a garantia da validação dos blocos na cadeia, onde após validado um bloco, o mesmo é adicionado à cadeia com as informações que nele foram registradas. Cada plataforma de *blockchain* pode escolher seu modelo de protocolo de consenso, podendo o mesmo ser baseado em uma validação

por resolução de um trabalho criptográfico (*Proof of Work*) [7], uma validação baseada na quantidade de ativos que um usuário possui na rede (*Proof of Stake*), a validação por votação de nós (*Practical Byzantine Fault Tolerance*) [7] ou a validação única por uma entidade conhecida (*Proof of Authority*), entre outros. Atualmente os mais utilizados no cenário elétrico [8] são *Proof of Work*, *Practical Byzantine Fault Tolerance* e *Proof of Authority*.

III. APLICAÇÕES DE *BLOCKCHAIN* NO SETOR ELÉTRICO

Como uma crescente tecnologia no mercado atual, muitas empresas estão desenvolvendo aplicações em *blockchain*. Observa-se uma tendência de crescimento como podemos ver através da figura 3, que expõe um levantamento do número aproximado de empreendimentos em *blockchain* no setor de energia de 2015 a 2019. Por sua vez, a Figura 4, mostra a distribuição mundial do número de *startups* e organizações com projetos de *blockchain* no setor elétrico, em janeiro de 2019.

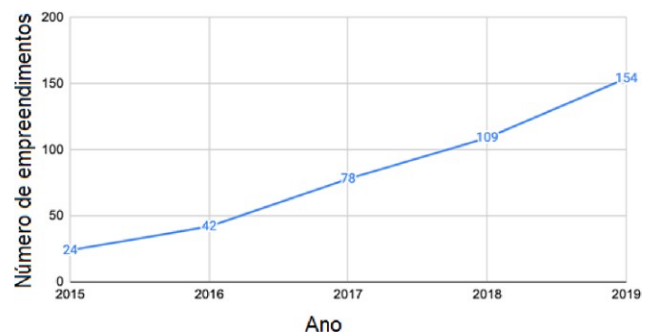


Fig. 3. Crescimento dos empreendimentos em *blockchain*. Fonte: [9].

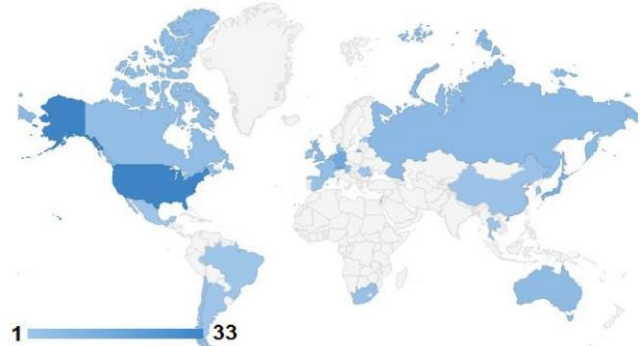


Fig. 4. Distribuição de iniciativas *blockchain* no setor de energia elétrica. Fonte: [9].

Observando as aplicações, as mesmas possuem ampla diversidade em vários subsetores do setor elétrico, tais como: transações de energia (38,5%), atribuições de sustentabilidade (14,9%), financiamento para usinas de geração renovável (7,4%), gravação de dados (5,4%), liquidações e cobranças no mercado (2%), pagamento de contas usando bitcoin (4%) e outros diversos (27,7%).

A. Transações de energia

Atualmente, com diferentes tipos de incentivos, tem-se observado um crescimento da geração distribuída, onde a

prestação de serviços de eletricidade nos EUA e na Europa está visando metas que atendam aos quesitos de emissão de gases de efeito estufa e geração de energia renovável, além também de recursos de energia distribuída, uma vez que se observam custos cada vez menores em tecnologia e avanços na comunicação e tecnologia da informação [10]. Isso vem fazendo com que consumidores residenciais e comerciais, cada vez mais, optem pela utilização de recursos de geração de energia em suas próprias residências e comércios.

A geração de recursos distribuídos de energia traz o conceito de prosumidores, estes que possuem geração própria de energia e são capazes de armazenar seus excedentes com recursos de armazenamento ou fornecê-la a outros com déficit. Este comércio entre prosumidores e consumidores é chamado de comércio de energia ponta-a-ponta (*Peer To Peer – P2P*) [12]. Atualmente diversas residências e edifícios comerciais possuem painéis solares instalados em suas dependências, assim alavancando o conceito de trocas de energia P2P e encorajando os consumidores a virarem prosumidores [13]. A Figura 5 representa um esquema de redes para transações P2P de energia, em que as residências são ligadas à rede nacional e também à uma rede blockchain, de modo que possam realizar transações autônomas entre si e também com a rede nacional.

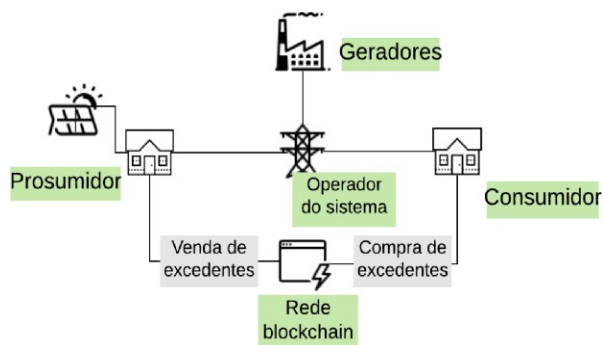


Fig. 5. Esquema de transações de redes P2P. Fonte: Autoria Própria

Como pode ser observado, a ideia principal consiste em transformar a rede elétrica em uma rede P2P para que os consumidores possam trocar energia entre si, como por exemplo comprar e vender excessos de produção de energia solar, sem o intermédio de uma agência controladora. Assim a aplicação de *blockchain* para comercialização de energia tem o potencial de aumentar a eficiência e a segurança. E devido à imutabilidade da cadeia de blocos, proporciona integridade e um alto grau de responsabilidade e confiança [13].

Dentre as companhias pioneiras no desenvolvimento e implementação da tecnologia, há a *Vattenfall*, que está realizando testes onde usam um *blockchain* privado para gravar as transações de energia. Também a *LO3 Energy*, que em parceria com a *Transactive Grid*, desenvolveu uma microrrede em comunidade em Nova York. A *LO3* realizou a primeira transação *blockchain* P2P entre um produtor residencial e seu vizinho. Atualmente a mesma também está desenvolvendo um mercado de energia local em Landau, Alemanha, em parceria com a *EnergieSudwest*. A startup Australiana *Power Ledger*, também desenvolveu projetos

envolvendo comercialização de eletricidade residencial P2P, sendo a primeira na Austrália. Diante de testes realizados pela *Power Ledger*, pode-se perceber um potencial significativamente alto em economia de energia [8]. As negociações de energia são realizadas através de contratos livremente feitos entre os participantes e baseadas nos preços horários do sistema. As transações da energia são feitas através de uma rede própria da empresa chamada de *xGrid* e então são registradas no *blockchain* [14] [15].

Contudo, a tecnologia traz algumas desvantagens, como os custos associados a utilização de energia, uma vez que o protocolo de consenso para validação (atualmente o mais utilizado é o *Proof of Work*) consome uma alta quantidade de energia, assim como os gastos de rede para a validação dos blocos. Por outro lado, as questões de responsabilidade e dos direitos do consumidor ainda precisam ser esclarecidas, uma vez que todos os dados são geralmente visíveis em *blockchains* públicos. Mudanças ou atualizações no código de um *blockchain* implantado geralmente requer um grande esforço, pois a maioria dos nós da rede deve aprovar uma novaversão [16].

Outro exemplo, é a empresa *PONTON* que está desenvolvendo uma solução no mercado atacadista com uma plataforma *blockchain* usada para o comércio de energia, em parceria com mais de 40 comercializadoras europeias, desenvolvendo um mercado atacadista P2P para compra e venda. Há também os gigantes da energia BP, Shell e Statoil (além de outros participantes), que montaram uma parceria com a startup de *blockchain* *VAKT* para desenvolver uma plataforma digital para a comercialização de energia. Atualmente, a negociação envolve contratos em papel e processos propensos a erros ou comportamentos fraudulentos. O favorecimento de uma plataforma digital em *blockchain* vem no quesito de redução dos custos operacionais e aumento da segurança [8], onde soluções de segurança vêm melhorando junto com o desenvolvimento de novas técnicas de consenso e protocolos, ficando mais maduros e estáveis [17], além da transparência dos registros comerciais e documentos digitais. A *VAKT* visa desenvolver uma solução *blockchain* em tempo real para transações de energia desde a entrada até a liquidação e pagamento finais [8].

B. Atribuições à sustentabilidade

Uma das aplicações mais imediatas do *blockchain* no campo de energia é o seu uso para gravar e comercializar atributos de sustentabilidade, que garantem o uso de energias renováveis, e diminuição das emissões de carbono por empresas. Exemplos incluem quando uma unidade geradora é renovável e o quanto de emissões resultaram de sua produção [14]. Atualmente as soluções para sustentabilidade ambiental não são abertas a todos, os dados coletados são pouco monitorados e assim, propensos a fraudes, o que leva a uma série de problemas como efeitos de ilha de dados e a falta de confiança [18].

Neste sentido, observa-se que uma rede *blockchain* descentralizada poderia proporcionar um acompanhamento mais preciso, transparente e sem atritos de tais atributos, o que

aceleraria a implantação de energia limpa e a redução das emissões de carbono [14]. Um exemplo prático é o da *Energy Blockchain Labs*, na China, fundada em 2016. Seu objetivo é fornecer serviços financeiros para a indústria de proteção ambiental com base na tecnologia *blockchain* [18].

Outro exemplo é o aplicativo da *Energy Web Foundation Origin* que usa o *blockchain* para rastrear a geração de energia e registrar atributos como as emissões de carbono associadas à sua produção. Isso então possibilitaria um cálculo mais preciso da participação na geração de carbono, oferecendo mecanismos para troca de créditos por emissões de carbono reduzidas, de modo a balancear a emissão criada em outros lugares. O reconhecimento de tal potencial está fazendo com que várias empresas como Engie, Microsoft e Singapore Power participem do projeto da *Origin* [14].

C. Financiamento de energia

Essa categoria compromete empreendimentos focados principalmente no uso de criptomoedas para arrecadar fundos para projetos de energia (que tendem a ser predominantemente projetos de energia limpa) [14]. As criptomoedas são utilizadas como um método de “tokenizar” ativos que procuram criar novos modelos e mercados baseados em copropriedade e compartilhamento de ativos [8]. Em muitos casos os investidores que enviam os fundos ganham em retorno os tokens ou *coins* do projeto proporcional ao que investiram. Ao fim do projeto, a criptomoeda ou token é lançado na plataforma, e o investidor pode trocá-la por outras criptomoedas ou até por dinheiro [19].

Cita-se como exemplo a startup *WePower*, que está conduzindo uma demonstração de projeto na Estônia para arrecadar fundos para projetos de energia renovável através de vendas por criptomoedas. Para arrecadar a maioria dos fundos para um parque solar ou eólico, a *WePower* visa procurar métodos tradicionais de financiamento. Mas uma minoria do projeto está sendo financiada através da venda de tokens de uma criptomoeda da própria *WePower*, que após vendidas, ficam registradas no *blockchain* da empresa. Posteriormente, os tokens podem ser trocados por descontos na energia gerada pelo projeto, uma vez em operação [14]. Oferecem também um mercado de energia renovável baseado em contratos inteligentes e tecnologias de tokenização de energia, onde compradores realizam lances, especificando volume de energia e preços e após isso um Acordo de Compra de Energia (PPA) é emitido, encapsulando as informações [20].

Já a empresa *Sun Exchange* desenvolveu uma economia de compartilhamento em *blockchain* para trazer investimentos em projetos de geração fotovoltaica. Através de criptomoedas é possível que qualquer pessoa possa realizar seu cadastro no site, e assim ter conhecimento dos projetos futuros de instalação de fotovoltaicas. Posteriormente, as pessoas podem realizar o investimento no projeto através de criptomoedas e então, após realizado o projeto, começam a receber lucros proporcionais ao investimento inicial realizado, com base na produção solar de cada placa fotovoltaica [21].

Desta maneira, as redes *blockchain* poderiam facilitar o arrecadamento de fundos para projetos de energia renováveis,

uma vez que o uso de tokens registrados em *blockchain*, por serem seguros e ágeis, permitem uma participação em que além de diversificada, também é facilitada para diversas pessoas.

D. Registro de dados, liquidações de mercado, e outros Demais aplicações incluem o registro de dados para torná-los imutáveis, podendo ser usada para registrar cargas de veículos elétricos, resposta à demanda, rastreamento de geração renovável e outros. Cita-se como exemplos de empresas participantes destes meios, a *Share&Share* na Alemanha, Engie na França, e *Kaula* no Japão [9].

Outros modelos de aplicações se enquadram em liquidações de mercado. A empresa *Grid+* traz uma proposta de eficiência na venda de energia elétrica utilizando o *blockchain* público. Assim, buscam incentivar os consumidores a construir seu próprio sistema de energia distribuída. Além disso, propõe a automatização de processos de cobrança e liquidação de energia, bem como automatização de transações a partir da rede *Ethereum* com contratos inteligentes, diminuindo ainda mais os custos para os consumidores [22].

Modelos como pagamentos de contas por bitcoin também estão cada vez mais comuns. A *Enercity*, uma das empresas de serviços de energia da Alemanha foi a primeira empresa de energia a permitir com que os seus consumidores paguem suas contas através de bitcoins, podendo pagar através de plataformas próprias como a PEY GmbH ou de qualquer outro fornecedor de serviços de carteira de bitcoin [24]. Outras companhias também seguem esse modelo, como as empresas japonesas Coincheck Denki, Remix Point, Nicigas e a companhia belga Elegant [9].

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo busca identificar os principais usos e iniciativas de *blockchain* e de criptomoedas no setor elétrico mundial. Neste sentido foi realizado um levantamento da literatura, no qual identificou-se o potencial da tecnologia, principalmente, em transações de energia, atribuições de sustentabilidade, financiamentos por meio de criptomoedas, registros de dados e liquidações de mercado.

Através dos dados pesquisados, pode-se notar as altas expectativas com o uso da tecnologia bem como o alto número de pesquisas e iniciativas dentro de seu escopo, observa-se, de 2015 a 2019, um aumento de mais de 130 empreendimentos focados em *blockchain*, que buscam cada vez mais fazer com que a tecnologia esteja presente no dia a dia dos agentes do mercado de energia.

As maiores tendências verificadas foram as voltadas para as plataformas de transações de energia, que permitem a transação direta realizada entre consumidores com produção própria de energia, chamados prosumidores, e os consumidores tradicionais, assim facilitando aspectos de comercialização de excedentes e garantindo segurança de dados. O maior exemplo exposto através da *LO3 energy* e sua microrrede desenvolvida em Nova York.

Tendências voltadas ao investimento de projetos de

energias renováveis através de criptomoedas também foram muito relevantes, estes permitindo o uso das criptomoedas e tokens para consolidação de usinas renováveis, garantindo benefícios aos investidores. Um exemplo é a startup *WePower* na Estônia, que foi uma grande precursora do uso de tokens para o investimento em projetos e diversificação de portfólio.

Os usos da tecnologia para monitoramento de atributos de sustentabilidade além de permitir maior segurança na análise de dados, também garante o incentivo às empresas a cada vez mais trabalharem nas suas emissões de carbono, reduzindo-as também em trocas de benefícios, como pode ser observado no caso da *Energy Web Foundation*.

Demais casos como registro de dados para garantia de segurança, liquidações de mercado em transferências de energia, pagamento de contas através de bitcoins e demais como desenvolvimento de medidores inteligentes, desenvolvimento de plataformas para programação de *blockchain* e gestão de dados de energia, apesar de não muito recorrentes atualmente, também trazem novas visões do uso da tecnologia e novos desafios para seu desenvolvimento e aplicação em tais áreas.

Ainda que tenham sido verificadas limitações para consolidação dessa tendência tecnológica, voltadas à questões de regulação, por se tratar de uma rede descentralizada e sem uma autoridade central para seu controle, questionamentos quanto à sua invulnerabilidade e sua segurança são trazidos bem como quanto à transparência de dados. E também questionamentos a respeito da agilidade e rapidez na realização de transações e processamento de dados, grande desafio para *blockchains* com protocolo de consenso *Proof of Work*. Muitas iniciativas buscam o desenvolvimento de projetos que aprimorem tais pontos e assim, façam a tecnologia ser cada vez mais comum para os grandes participantes do setor elétrico, pequenos consumidores, prosumidores e empresas com foco em sustentabilidade.

Nota-se então o contínuo crescimento da tecnologia, com o notável aumento de seu uso ao longo dos anos, e com alta diversidade de aplicações no setor elétrico. Através de mudanças nas regulações, e maior foco em pesquisas e desenvolvimento da tecnologia, espera-se uma predominância de seu uso e desenvolvimento no setor elétrico.

Appendixes, if needed, appear before the acknowledgment.

V. REFERÊNCIAS

- [1] ZHENG, Zhibin; XIE, Shaoan; DAI, Hongning; CHEN, Xiangping; WANG, Huaimin. An Overview of Blockchain Technology: architecture, consensus, and future trends. 2017 Ieee International Congress On Big Data (Bigdata Congress), [S.L.], p. 557-564, jun. 2017. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/bigdatacongress.2017.85>.
- [2] RANA, Kapil. Triple entry accounting system: A revolution with blockchain. 2020. Disponível em: <https://medium.com/dataseries/triple-entry-accounting-system-a-revolution-with-blockchain-768f4d8cabd8>. Acesso em: 27 set. 2020.
- [3] KÜFEOĞLU, Sinan; LIU, Gaomin; ANAYA, Karim; POLLITT, Michael G. Digitalisation and new business models in energy sector. Faculty of Economics, University of Cambridge, jun. 2019.
- [4] PRIYADARSHINI, Ishaani. Introduction to Blockchain Technology. In: LE, Dac-Nhuong; KUMAR, Raghvendra; MISHRA, Brojo Kishore; KHARI, Manju; CHATTERJEE, Jyotir Moy (ed.). Cyber Security in Parallel and Distributed Computing: Concepts, Techniques, Applications and Case Studies. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2019. p. 91-107.
- [5] BUTERIN, Vitalik. The meaning of decentralization. 2017. Disponível em: <https://medium.com/@VitalikButerin/the-meaning-of-decentralization-a0c92b76a274>. Acesso em: 26 set. 2020.
- [6] XIAO, Yang; ZHANG, Ning; LOU, Wenjing; HOU, Y. Thomas. A Survey of Distributed Consensus Protocols for Blockchain Networks. Ieee Communications Surveys & Tutorials, [S.L.], v. 22, n. 2, p.1432- 1465, 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- [7] NGUYEN, Giang-Truong; KIM, Kyungback. A Survey about Consensus Algorithms Used in Blockchain. Journal Of Information And Processing Systems, S.L., p. 101-128, fev. 2018.
- [8] ANDONI, Merlinda; ROBU, Valentin; FLYNN, David; ABRAM, Simone; GEACH, Dale; JENKINS, David; MCCALLUM, Peter; PEACOCK, Andrew. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. Renewable And Sustainable Energy Reviews. S.L., p. 143-175. out. 2019.
- [9] OGUSHI, Yasuhiko. Energy Blockchain Cases January 2019. 2019. Disponível em: <https://medium.com/energy2030/energy-blockchain-cases-january-2019-23ea4e5e539d>. Acesso em: 01 set. 2020.
- [10] BIRK, Michael E. Impact of Distributed Energy Resources on Locational Marginal Prices and Electricity Networks. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência da Tecnologia e Política, Instituto de Tecnologia de Massachusetts, Massachusetts, 2016.
- [11] ANEEL. Brasil ultrapassa marca de 1GW em geração distribuída. 2019. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasilultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877. Acesso em: 26 ago. 2020.
- [12] ZHANG, Chenghua; WU, Jianzhong; LONG, Chao; CHENG, Meng. Review of Existing Peer-to-Peer Energy Trading Projects. Energy Procedia, S.L., p. 2563-2568, 2017.
- [13] ALI, Faizan; SAJJAD, ALOQAILY, Moayad; OMARALFANDI; ÖZKASAP, Öznuro. Cyberphysical Blockchain-Enabled Peer-to-Peer Energy Trading. S.L. abr. 2020.
- [14] LIVINGSTON, David; SIVARAM, Varun; FREEMAN, Madison; FIEGE, Maximilian. Applying Blockchain Technology to Electric Power Systems. S.L. jul. 2018.
- [15] POWERLEDGER. White Paper. 2019. Disponível em: <https://www.powerledger.io/wpcontent/uploads/2019/11/power-ledger-whitepaper.pdf>. Acesso em 15 set. 2020
- [16] TEUFEL, Bernd; SENTIC, Anton; BARMET, Mathias. Blockchain energy: blockchain in future energy systems. Journal Of Electronic Science And Technology, [S.L.], v. 17, n. 4, dez. 2019.
- [17] LIN, Iuon-Chang; LIAO, Tzu-Chun. A Survey of Blockchain Security Issues and Challenges. International Journal Of Network Security, S.L., v. 19, p. 653-659, set. 2017
- [18] FU, Bailu; SHU, Zhan; LIU, Xiaogang. Blockchain Enhanced Emission Trading Framework in Fashion Apparel Manufacturing Industry. Sustainability, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 1105-1124, 7 abr. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su10041105>.
- [19] FOXBIT (Brasil). ICO – O que é e como funciona? 2020. Disponível em: <https://foxbit.com.br/blog/ico-o-que-e-como-funciona/>. Acesso em: 10 set. 2020.
- [20] WEPower. (Lituânia) Project Owners. 2020. Disponível em: <https://www.wepower.com/projectowners.html#>. Acesso em: 20 out. 2020.
- [21] THE SUN EXCHANGE INC. (África do Sul). How it works. 2020. Disponível em: <https://thesunexchange.com/how-it-works>. Acesso em: 19 out. 2020.
- [22] GRID+. White Paper. 2018. Disponível em: <https://whitepaper.io/document/269/grid-whitepaper>. Acesso em: 23 set. 2020.
- [23] SCOTT, Allen. German Energy Giant Now Accepts Bitcoin for Utility Bills. 2016. Disponível em: <https://news.bitcoin.com/german-energy-giant-now-accepts-bitcoin/>. Acesso em: 24 set. 2020.

VI. BIOGRAFIAS

Mercado de Energia Elétrica, atuando principalmente nos seguintes temas: Regulação e Mercado de Energia, Eficiência Energética, Geração de Energia Elétrica (mini e microgeração), Eletromobilidade, Hidrogênio Verde, Distribuição de Energia Elétrica e Sistemas de Tarificação de Energia Elétrica.



Jefferon Noal Mattos, graduando em Engenharia Elétrica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC). Atuou no Grupo de Estudos em Sistemas de Energia (GESE) e na Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPPI). Tem experiência na área de sistemas inteligentes de energia, regulação e mercado de energia, e blockchain.



Fabricio Yutaka Kuwabata Takigawa, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2003), mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2006 e 2010). Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Tem experiência na

área de sistemas de energia elétrica, com ênfase em sistemas hidrotérmicos, planejamento da operação energética e otimização matemática aplicada.



Gustavo Cardoso Orsi, possui graduação (2016) e mestrado (2019) em engenharia elétrica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), com experiência nas áreas de eletrônica de potência, com ênfase em retificadores com correção do fator de potência e em energias renováveis. Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de

Santa Catarina (IFSC).



Murilo Reolon Scuzziato, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2008), mestrado e doutorado com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em 2011 e 2016, respectivamente. Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e

Tecnologia de Santa Catarina (IFSC) e pesquisador voluntário do Laboratório de Planejamento de Sistemas de Energia Elétrica (LabPlan/UFSC). Desde 2009 tem atuado como pesquisador em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento com empresas do setor elétrico. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em planejamento de sistemas de energia elétrica, otimização inteira-mista, alocação de unidades geradoras, mercados de energia elétrica e programação diária da operação.



Rubiapiara Cavalcante Fernandes, possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1985), mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1995) e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (2006).

Atualmente é Professor Titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), e Pesquisador da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC/LabPlan), trabalhou como consultor técnico da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Regulação e

APÊNDICE B – Comprovante de apresentação









CLAGTEE 2022

XIV LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY
GENERATION AND TRANSMISSION
November 29th – December 1st, 2022
RIO DE JANEIRO, BRAZIL

*This is to certify that **Jefferson Noal Mattos** participated at the XIV Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission – CLAGTEE 2022, held in Rio de Janeiro, Brazil, between November 29 and December 01 of 2022.*

Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna
CLAGTEE 2022 - Chairman



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO

unesp



UNIVERSIDAD NACIONAL
de MAR DEL PLATA



CLAGTEE 2022

XIV LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY
GENERATION AND TRANSMISSION
November 29th – December 1st, 2022
RIO DE JANEIRO, BRAZIL

*This is to certify that **Jefferson Noal Mattos** presented the paper entitled “**Analysis Of Blockchain Applications In Energy Transactions And Smart Networks**” at the XIV Latin-American Congress on Electricity Generation and Transmission – CLAGTEE 2022, held in Rio de Janeiro, Brazil, between November 29 and December 01 of 2022.*

Prof. Dr. Celso Eduardo Tuna
CLAGTEE 2022 - Chairman



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA
DE VALPARAISO

unesp



UNIVERSIDAD NACIONAL
de MAR DEL PLATA

APÊNDICE C – Slides apresentados no congresso

CLAGTEE 2022

PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO

unesp

UNIVERSIDAD NACIONAL
de MAR DEL PLATA

CEFET/RJ

Análise das aplicações *blockchain* em transações de energia e redes inteligentes

Jefferson Noal Mattos

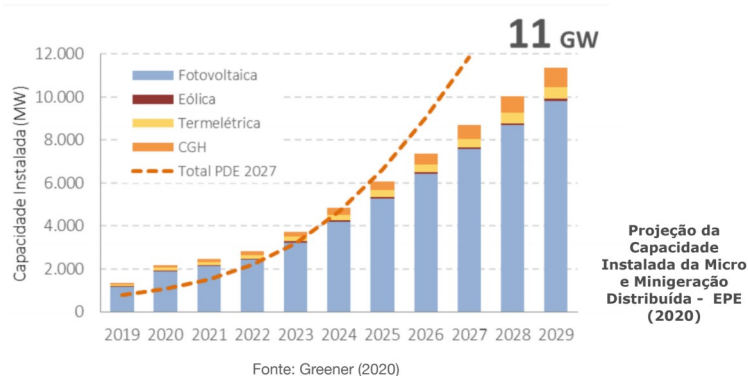
INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina

1

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

Contexto inicial

- Crescimento da geração distribuída (GD) no Brasil

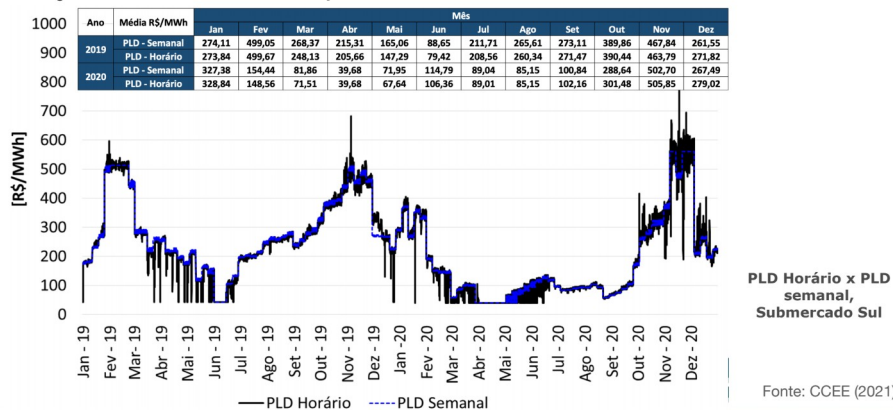


2

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

Contexto inicial

- Mudança do PLD semanal para horário em 2021



3

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

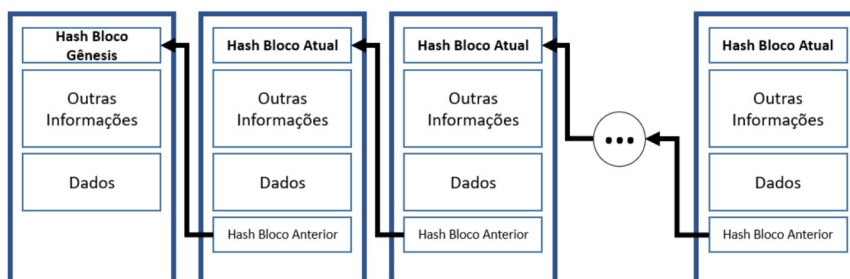
A tecnologia *blockchain*

- Registro digital e descentralizado
- Cadeia (*chain*) de blocos (*block*)
- Blocos unidos através de um código *hash*
- Validação dos blocos passa por protocolos de consenso
- Seguro, imutável

4

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

Estrutura de uma cadeia *blockchain*



Fonte: Gomes (2020)

5

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

Protocolos de consenso

- *Proof of Work (PoW)*
- *Proof of Stake (PoS)*
- *Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)*
- *Proof of Authority (PoAu)*

6

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

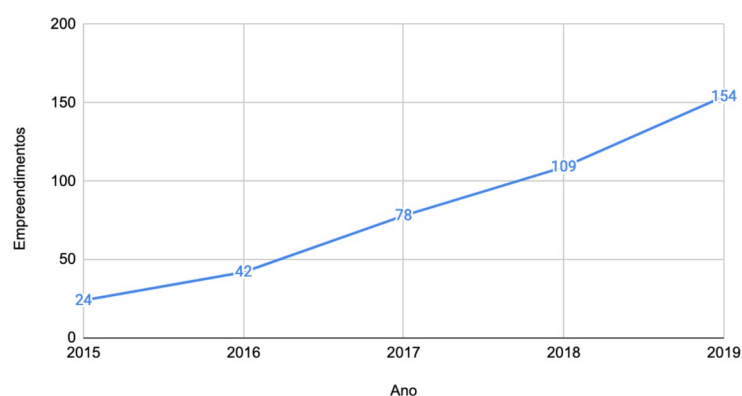
Aplicações no setor elétrico

- Crescimento exponencial entre 2015 e 2019
- Empresas atuam em diversas aplicações no setor de energia
- Destacam-se transações de energia, atribuições de sustentabilidade e financiamento de projetos de energia renovável

7

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

Número de empreendimentos entre 2015-2019



8

Fonte: Elaboração Própria

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

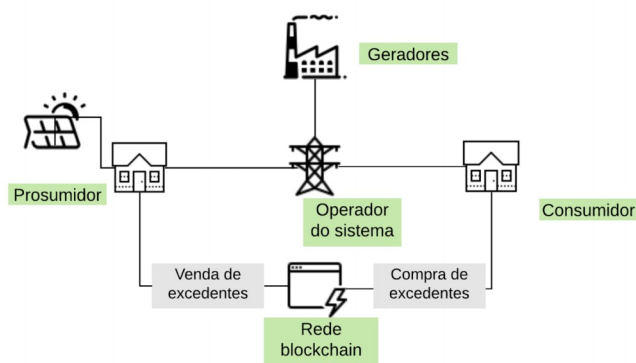
Aplicações no setor elétrico - Transações de Energia

- Consumidores que geram sua própria energia são classificados prosumidores
- Prosumidores podem comercializar a energia excedente à consumidores
- Chama-se este comércio de comércio de energia ponta-a-ponta (P2P)

9

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

Esquema de transações ponta-a-ponta



10

Fonte: Elaboração própria

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

Exemplos de empresas

VATTENFALL



Suécia



Nova York

LO3 ENERGY



Powerledger

Austrália

PONTON
WE ARE THE 2 IN 828

Alemanha

11

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

Aplicações no setor elétrico - Atribuições de sustentabilidade

- Crescimento da comercialização de atributos de sustentabilidade
- Dados coletados podem ser pouco monitorados, e propensos a fraudes
- A tecnologia *blockchain* proporciona um acompanhamento mais transparente dos dados em seus registro, uma vez sendo imutável
- A *Energy Web Foundation: Origin* é uma das pioneiras em seu uso

12

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

Aplicações no setor elétrico - Financiamento de energia

- Uso de criptomoedas para arrecadação de fundos para projetos de energia (majoritariamente renováveis)
- Investimentos realizados geram tokens, que podem ser trocados por criptomoedas ao final do projeto, ou dinheiro
- Empresas destaques são a *WePower* e a *Sun exchange*

13

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

Aplicações no setor elétrico - Outros

- Demais usos podem incluir registro de carga para carregamento de veículos elétricos, liquidações de mercado, pagamentos de contas de energia por bitcoins e afins
- Algumas empresas são a *Share&Share*, *Kaula*, *Grid+* e *Enercity*

14

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

Conclusão

- A tecnologia segue em contínuo crescimento e aprimoramento por todo o mundo
- Observa-se possibilidades de alavancar cada vez mais os negócios em energia, tornando transações mais rápidas e eficientes, sem a necessidade de uma autoridade central
- Questionamentos giram em torno da segurança da rede, legislação aplicável aos modelos de negócios, e velocidade de autenticação dos blocos para determinados protocolos de consenso

15

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

CLAGTEE 2022

PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO

unesp

UNIVERSIDAD NACIONAL
de MAR DEL PLATA

CEFET/RJ

Obrigado!

Jefferson Noal Mattos

jefferson.n28@aluno.ifsc.edu.br
INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina

16

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

CLAGTEE 2022

PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO

unesp

UNIVERSIDAD NACIONAL
de MAR DEL PLATA

CEFET/RJ

- https://www.greener.com.br/greener_artigos/expectativas-para-a-gd-pde-2029/
- https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.ccee.org.br%2Fccee%2Fdocumentos%2FCCEE_660997&psig=AOvVaw1Sfj4kcfbMII-yBkkmTyRf&ust=1669768333874000&source=images&cd=vfe&ved=0CBEQjhXqFwoTCOiJ__SR0vsCFQAAAAAdAAAAABAN
- <https://medium.com/rede-privada-ethereum-usando-geth/iniciando-uma-blockchain-privada-ethereum-do-zero-parte-i-9a420b4c4f23>

17

RIO DE JANEIRO, BRAZIL, NOVEMBER, 29 - DECEMBER 1

APÊNDICE D – Fundamentação teórica

A tecnologia *blockchain* ao longo dos anos mostrou uma ampla utilização e em 2019, mais de 150 empresas do setor de energia no mundo inteiro estavam utilizando-a (Ogushi, 2019). O crescimento desta tecnologia, em conjunto com o avanço da geração distribuída no mundo, faz com que cada vez mais empresas direcionem pesquisa e desenvolvimento na área, assim, a *blockchain* cada vez mais se mostra presente em diferentes áreas de estudo e de atuação do setor de energia elétrica.

D1. A tecnologia *Blockchain*

A *blockchain* é definida como um livro-razão compartilhado, de natureza imutável, que busca facilitar os registros de transações e os controles de ativos de uma determinada área (IBM, 2022). Seu conceito inicial foi proposto por um indivíduo com o pseudônimo de Satoshi Nakamoto em 2008, que definiu uma moeda eletrônica como uma cadeia de assinaturas digitais, em que cada proprietário realiza a transação de uma moeda para o próximo assinando digitalmente por um *hash* a transação, este hash é então adicionado à próxima transação, interligando-as em uma forma de cadeia (Nakamoto, 2008).

Buterin (2017) escreve sobre o significado da descentralização, conceito muito utilizado nas áreas de criptomoedas e *blockchain*, explicando as diferenças entre redes centralizadas, descentralizadas e distribuídas. Em uma rede centralizada, todos os usuários da rede precisariam estar conectados em um único servidor central, necessitando de acesso a ele para acessar os dados. Já em uma rede descentralizada, os dados estariam dispostos em múltiplos servidores conectados, sendo necessário o acesso a um deles para acessar os dados. Por fim, em uma rede distribuída, cada ponta possuiria uma cópia de todos os dados, não necessitando a conexão a um servidor central para acesso dos mesmos, e haveria

pontas responsáveis por validar a informação dentro da rede, chamados nós validadores, garantindo sua confiabilidade.

Para seu uso, diversos protocolos de consenso são utilizados nos diferentes tipos de cadeias existentes, de modo a garantir a segurança na rede. Os protocolos mais conhecidos são *Proof of Work*, *Proof of Stake*, *Practical Byzantine fault tolerance* e *Proof of Authority* (Nguyen, Kim 2018; Andoni et al., 2019).

D1.1 *Protocolo Proof of Work (PoW)*

Corresponde a 90% de todos os *blockchains* para as criptomoedas digitais atuais, utilizado para a segurança e garantia de *bitcoins* (Gervais et al., 2016), este protocolo é baseado em um quebra-cabeça criptográfico, em que se deve gerar um hash com uma quantidade de bits menor do que a definida pela rede, sendo esta a dificuldade para minerar um bloco, para isso, deve-se ter um hash com determinada quantidade de zeros na frente, garantindo seu tamanho de bits. Assim, para o bloco ser adicionado na rede, os validadores devem competir para resolver o quebra-cabeça e achar um número aleatório que só pode ser usado uma vez (nonce), para gerar o hash com maior número de zeros, uma vez que todos os demais dados do bloco não podem ser modificados. Críticas a cerca deste protocolo de consenso giram em torno na necessidade de energia gasta em processamento computacional para resolver o quebra-cabeça e então, validar o novo bloco na cadeia (Andoni et al., 2019).

D1.2 *Protocolo Proof of Stake (PoS)*

Seu modelo foi discutido em 2011 como uma alternativa ao PoW, utilizado para as bitcoins, para substituir o antigo protocolo (King, Nadal, 2012), o protocolo Proof of Stake ao invés de necessitar de um maior poder computacional para validar um novo bloco na cadeia, permite que o processo seja feito de maneira a se basear apenas no investimento de cada validador na rede, nós com mais dinheiro investidos na rede possuem uma maior probabilidade de serem convidados a validar novos blocos (Andoni et al., 2019).

D1.3 Protocolo Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)

O PBFT é baseado na tolerância a falha bizantina, que busca fazer com que um número de nós mal-intencionados dentro de uma rede não consiga validar um bloco que fosse considerado malicioso a mesma, para isso, cada nó envia uma réplica da validação feita para o nó seguinte, isso se repete sucessivamente até que todos os nós retornem as cópias das validações de volta. Ele é amplamente utilizado nas *blockchains* mais modernos, contudo, o número de nós maliciosos deve ser superior a 1/3 do total de nós da rede para validar um bloco (Andoni et al., 2019).

D1.4 Protocolo Proof of Authority (PoAu)

Diferente dos demais protocolos, este protocolo depende da garantia de uma permissão especial conhecida por membros especiais que validam os blocos na rede. Em uma *blockchain* exemplo, poderia haver um membro com uma chave especial, e este validar todos os blocos do sistema. Amplamente utilizado em *blockchains* privadas, o protocolo é considerado um dos mais centralizados dentre os protocolos de consenso, sendo muito popular em empresas do setor de energia (Andoni et al., 2019).

D2. Aplicações no setor elétrico

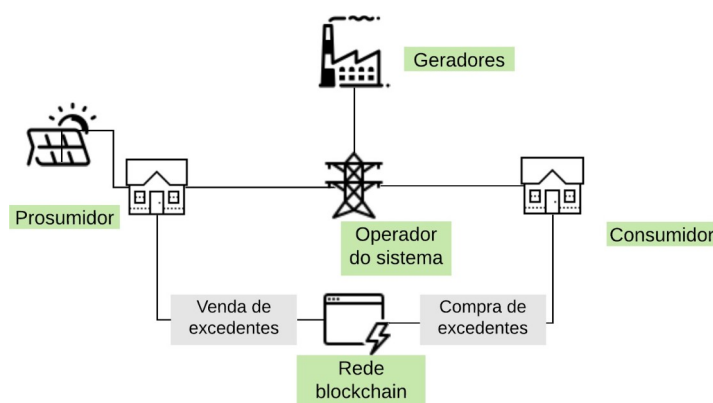
Ogushi (2019), realiza um levantamento de diversas empresas em diferentes ramos do setor de energia, divididas entre transações de energia, atribuições de sustentabilidade, financiamento de usinas de geração renovável, gravação de dados, liquidações e cobranças no mercado, pagamento de contas via bitcoin, entre outros.

D2.1 Transações de energia

Com os conceitos de prosumidores, conhecidos como os consumidores que produzem a sua própria energia, e a tecnologia de transações ponta-a-ponta, os

consumidores podem transacionar energia entre si, realizando o registro dessas transações em uma *blockchain*, e assim, dada a segurança dos seus protocolos de consensos, é possível realizar transações eficientes, rápidas e confiáveis (Ali et al., 2020). A figura 1 mostra um esquemático de transações ponta-a-ponta, um prosumidor e um consumidor estão conectados à rede principal, ao mesmo tempo que compartilham de conexões em uma rede distribuída, permitindo que façam transações diretas de energia, validadas pela *blockchain*:

Figura 1 – Esquema de redes de transações P2P



Fonte: elaboração própria (2020).

Diversas empresas estão se destacando nas áreas de desenvolvimento de microrredes para transações de energia, e de *blockchains* para validação de pagamentos dessas transações, entre elas a *Vattenfall*, desenvolvendo testes com *blockchains* privados para transações de energia. A empresa LO3 Energy, desenvolveu uma *blockchain* para transações P2P em uma microrrede em Nova York, onde testes entre vizinhos para transações de energia foram realizados. A mesma também está desenvolvendo um mercado de energia em Landau na Alemanha, em um estudo conjunto com a empresa *EnergieSudwest* (Andoni et al., 2019).

Demais destaques incluem a startup Power Ledger na Austrália, com desenvolvimento de projetos de transações P2P de energia para residências, a

empresa PONTON, com soluções *blockchain* para o mercado atacadista de energia, as empresas BP, Shell e Statoil, que em conjunto com a startup VAKT também estão desenvolvendo soluções com a tecnologia para transacionar energia pela rede (Andoni et al., 2019).

D2.2 Atribuições à sustentabilidade

O crescimento da geração distribuída no mundo tem visado o aumento no uso de energias renováveis, buscando cumprir metas de redução da produção de gases que geram o efeito estufa. Este crescimento também vem aliado à redução cada vez maior do custo das tecnologias e ativos renováveis (Birk, 2016).

Essa vertente visa o comércio e registro de atributos de sustentabilidade que garantem uso de energias renováveis e consequentemente, diminuição da emissão de carbono. Nestes usos, a rede *blockchain* seria capaz de proporcionar o acompanhamento confiável dos atributos de sustentabilidade, acelerando a implementação de energia limpa (Livingston et al., 2018).

Empresas destaques na área são a chinesa *Energy Blockchain Labs*, que oferece serviços para indústria de proteção ambiental com base na tecnologia *blockchain* (Fu et al., 2019) e a *Energy Web Foundation Origin*, que utiliza da tecnologia para rastreamento de geração de energia e registro das emissões de carbono oriundas de sua geração. O projeto *Origin* também conta com a participação de grandes empresas como Engie, Microsoft e *Singapore Power* (Livingston et al., 2018).

D2.3 Financiamento de energia

Esta área estuda e desenvolve o uso de criptomoedas de modo a arrecadar investimentos para projetos de energia, que em sua maioria, compõem energias renováveis (Livingston et al., 2018). Assim, o objetivo seria utilizar as criptomoedas como *tokens* dos ativos do projeto, e assim, criar modelos de copropriedade e compartilhamento desses ativos (Andoni et al., 2019). Como

exemplo, investidores recebem *tokens* ou similares proporcionais ao investimento feito, e ao fim do projeto, podem trocá-los por outras criptomoedas, ou por dinheiro em si (Foxbit, 2020).

Alguns projetos na área incluem a startup *WePower*, com projetos de financiamento por criptomoedas para iniciativas em energias renováveis, onde apesar de utilizar métodos tradicionais de financiamento, uma pequena parte é realizada através de tokens, que após a finalização do projeto podem ser trocados por descontos na energia gerada pelas plantas (Livingston et al., 2018). A *Sun Exchange* é um outro destaque, que possibilita o investimento em geração fotovoltaica via criptomoedas, após finalizada a construção da planta, os investidores passam a receber lucros com base na geração de energia de cada placa fotovoltaica (Sun Exchange, 2020).

D2.4 Registro de dados, liquidações de mercado e outros

As outras áreas de atuação da tecnologia trazem como exemplos o registro de cargas de veículos elétricos, resposta à demanda, entre outros. Como exemplos, cita-se as empresas *Share&Share* na Alemanha, *Engie* na França e *Kaula* no Japão (Ogushi, 2019).

Como exemplos de liquidação de mercado, a empresa *Grid+* busca tornar mais eficaz a venda de energia elétrica via *blockchain*. Ela também propõe a automatização de processos de cobrança e liquidação de energia através de uma rede automatizada *Ethereum*, com contratos inteligentes (Grid+, 2020).

ANEXOS

ANEXO A – Folder de chamada do congresso

UNESP / HOME DO SITE / EVENTOS / CLAGTEE - CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE GERAÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA /

Call for papers



Use the following image as slide background for presentations: [SLIDE TEMPLATE \(click here\)](#).

We encourage the submission of works dealing with any topic included in the CLAGTEE 2022 Congress Proceeding. Please read the following guidelines carefully before submitting your abstract:

An abstract of 250-500 words in English language, giving a clear picture of the subject covered, and highlighting the major contributions must be electronically submitted to the Organizing Committee.

The abstracts must be written in English, in A4-page format, with the following heading:

h) Main part presenting the supporting foundation of the study organized in a sequential and well-structured form, with numerical results presented by means of graphics or tables

i) Conclusions

j) References

k) Brief biographic account of the authors

The equations must be consecutively enumerated at the right hand side with the number inside parenthesis

For further information about the preparation and submission of full papers, please contact the Editorial Committee Chairman.



Faculdade de Engenharia e Ciências - Câmpus de Guaratinguetá Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333 - Portal das Colinas - Guaratinguetá/SP -
CEP 12.516-410 Telefone: (12) 3123-2800

Title

Topic of Discussion

Name of Author or Authors

Institution Affiliation

Full Address for Correspondence (including fax/phone numbers and **E-mail of all authors**)

Authors that have been notified of their abstract acceptance must submit the full-length paper according to the following instructions:

Full papers may be written in English, Spanish or Portuguese. The works must be sent in a pdf format, following the double column IEEE format style ([IEEE Microsoft Word template for CLAGTEE 2022](#)) and should not exceed 10 pages.

The work must include the following information:

a) Title

b) Name of the author or authors

c) Institution or company

d) Contact address and e-mail

e) Abstract

f) At least 5 keywords

g) Introduction specifying the problem studied and the art state with a bibliographic discussion