

UM ESTUDO DA LEGISLAÇÃO E DAS MÉTRICAS DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO PARA FOMENTAR A DIGITALIZAÇÃO E A DESCENTRALIZAÇÃO DO MERCADO DE ENERGIA

Machado S.*, **Roversi K.****, **Rampinelli G.A.* e ****, **Vigil M.A.G.*****, **Marcelino R.******, **Deters O.*******

- * Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade, Universidade Federal de Santa Catarina, Rua Pedro João Pereira, 150, Araranguá, 88905-120, (Santa Catarina) Brasil, solange.machado@outlook.com.br
- ** Curso de Graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Araranguá, 889006-072, (Santa Catarina) Brasil, karolroversi@gmail.com
- ***Curso de Graduação em Engenharia da Computação, Universidade Federal de Santa Catarina, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Araranguá, 889006-072, (Santa Catarina) Brasil, martin.vigil@ufsc.br
- ****Programa de Pós-Graduação em Tecnologias da Informação e Comunicação, Universidade Federal de Santa Catarina, Rua Pedro João Pereira, 150, Araranguá, 88905-120, (Santa Catarina) Brasil, roderval.marcelino@ufsc.br
- *****Diretoria de Estratégia e Inovação, RGE Sul Distribuidora de Energia S.A., Avenida São Borja, 2801, São Leopoldo, 93032-525, (Rio Grande do Sul) Brasil, odeters@cpfl.com.br

<https://doi.org/10.34637/cies2020.3.1155>

RESUMO

A energia elétrica gerada de forma distribuída deve ser transacionada de forma segura e eficaz, o que pode ser obtido por meio da aplicação da tecnologia blockchain no setor elétrico. Objetiva-se com este artigo trabalhar com questões legais relacionadas ao setor de comercialização de energia elétrica indicando as necessidades de alterações na legislação e na regulamentação, a fim de possibilitar a aplicação da tecnologia blockchain. Assim como, objetiva-se propor métricas relacionadas à aplicação de blockchain no mercado de comercialização de energia elétrica brasileiro para promover a digitalização e o aprimoramento de seus processos. O estudo fundamenta-se e desenvolve-se por revisão documental do ambiente regulatório brasileiro; e por revisão documental e bibliográfica sobre o mercado de comercialização de energia elétrica. Os resultados são indicações de alterações na legislação e na regulamentação, e métricas de impactos para aplicação da tecnologia blockchain no mercado de comercialização de energia elétrica brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: Comercialização de Energia Elétrica, Blockchain, Legislação, Métricas de Impacto, geração distribuída

ABSTRACT

The electric energy generated in a distributed manner must be transacted safely and effectively. It can be obtained through the application of blockchain technology in the electric sector. The aim of this article is to work with legal issues related to the electric energy trading sector. It will be possible indicating the necessity for changes in legislation and regulation to enable the application of blockchain technology in this sector. As well, it aims to propose metrics related to the application of blockchain in the Brazilian electric energy trading market for the purpose of promote the digitization and improvement of its processes. This study is based and developed by documentary review of the Brazilian regulatory environment; and by documentary and bibliographic review about the electric energy commercialization market. The results are indications of changes in legislation and regulations, and metrics of impacts for the application of blockchain technology in the Brazilian electric energy commercialization market.

KEYWORDS: Electric Energy Trading, Blockchain, Legislation, Impact Metrics, Distributed Generation

INTRODUÇÃO

As mudanças no setor elétrico mundial, no que tange os recursos renováveis, resultam da viabilização técnica e econômica de tecnologias e da conscientização ambiental da sociedade contemporânea. Tradicionalmente a geração de energia elétrica em âmbito mundial ocorre de forma centralizada com a utilização relevante de combustíveis fósseis, no entanto observa-se a alteração deste cenário com a inserção da geração distribuída (GD) a partir de recursos renováveis. Essa energia gerada de forma distribuída ou descentralizada deve ser transacionada de forma segura e eficaz, o que pode ser obtido por meio da digitalização e da alteração dos processos. Consideramos para a digitalização dos processos a aplicação da tecnologia blockchain. De acordo com (Dong et al., 2018) a blockchain é uma tecnologia de computação distribuída emergente considerada segura para suportar interações cada vez mais complexas entre diferentes entidades energéticas. A blockchain além de garantir que a demanda seja atendida pela energia renovável produzida localmente, garante a rastreabilidade do suprimento de energia e que os acordos entre indivíduos sejam automaticamente implementados. Além disso, (Andoni et al., 2017) citam que a comercialização de energia localmente reduz a pegada de carbono e mantém as receitas na comunidade. Ainda, (Mengelkamp et al., 2018) destaca que o fato de prossumidores e consumidores obterem lucro com a comercialização da energia na sua comunidade os incentiva a investir em recursos distribuídos e equilibra localmente a oferta entre geração e demanda. Segundo (Struker et al., 2019) as áreas mais promissoras para a blockchain no setor elétrico são infraestrutura para carregamento de mobilidade elétrica, certificação de produção de energia, modelos de vizinhança e microrredes, mercados inteligentes locais e transações de energia; e gestão de ativos. Entretanto, segundo (Struker et al., 2019) a aplicação de blockchain levanta uma variedade de questões relacionadas ao direito contratual legal, às leis de proteção de dados e proteção da tecnologia da informação, e às leis do setor de energia. De acordo com (Mengelkamp et al., 2018) o ambiente regulatório é o mais importante para implantação de projetos para a sociedade, no entanto é frequentemente omitido em estudos acadêmicos em função das condições especiais dos projetos de pesquisa. No Brasil a energia ainda não é comercializada localmente, assim como as aplicações da tecnologia blockchain na comercialização e na GD ainda estão em fase de pesquisa, exceto para certificação de origem do produto renovável que há uma aplicação comercial em andamento. Por este motivo as indicações de alterações na legislação e na regulamentação, assim como o desenvolvimento de métricas de impactos para aplicação da tecnologia blockchain no mercado de comercialização de energia elétrica brasileiro são fatores relevantes para auxiliar nessa abertura de mercado.

METODOLOGIA: PROCEDIMENTOS E CRITÉRIOS ADOTADOS

Realizou-se este estudo por meio de revisões documental e bibliográfica sobre comercialização de energia elétrica e sua legislação e regulamentação, a fim de propor métricas de impacto da tecnologia blockchain aplicada a esse mercado e alterações regulatórias para possibilitar essa aplicação.

Metodologia de Busca

Pesquisou-se sobre comercialização de energia elétrica por meio de documentos disponíveis em meios eletrônicos como as regras de comercialização de energia elétrica da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e os cursos de capacitação da CCEE, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da Revisão sobre Mercado de Comercialização de Energia

FONTE	DOCUMENTOS ENCONTRADOS	DOCUMENTOS RELACIONADOS AO ESTUDO
Regras de comercialização de energia elétrica da CCEE	24	18
Cursos de capacitação da CCEE	62	22
Total	86	40

Os documentos encontrados totalizaram oitenta e seis. No entanto, classificaram-se para a elaboração deste artigo, apenas os quarenta documentos que se relacionam aos processos de comercialização de energia. Realizou-se o levantamento da legislação do setor elétrico brasileiro considerando as leis vigentes em todo o período disponível até março de 2020 nos sites da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da CCEE, inclusive as citadas nos Procedimentos de Comercialização e nas Regras de Comercialização da CCEE; nos sites do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), do Ministério de Minas e Energia (MME), do Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE), da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e do Operador Nacional do Sistema (ONS). Realizou-se o levantamento dos decretos do setor elétrico brasileiro considerando os decretos sobre comercialização de energia elétrica e GD vigentes em todo o período disponível até março de 2020 na biblioteca virtual da ANEEL,

nos Procedimentos de Comercialização e nas Regras de Comercialização da CCEE e os decretos do CNPE disponíveis no site do MME. Consideraram-se os demais decretos sobre o setor elétrico citados por (Tumenas, 2009) no site da CCEE. Pesquisaram-se decretos nos sites do CMSE, EPE e ONS.

Consideraram-se as resoluções da ANEEL e as resoluções normativas da ANEEL vigentes encontradas com os termos de busca "comercialização OR mercado" e "geração distribuída" em todo o período disponível até março de 2020 na biblioteca virtual da ANEEL. Assim como, todas as resoluções normativas referidas nos Procedimentos de Comercialização e nas Regras de Comercialização da CCEE. Consideraram-se as demais resoluções normativas sobre o setor elétrico citadas por (Tumenas, 2009) no site da CCEE.

Consideraram-se todas as resoluções vigentes do CNPE e CMSE referentes ao setor elétrico disponíveis no site do MME.

Consideraram-se as resoluções da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica (GCE) vigentes sobre comercialização de energia elétrica e GD, disponíveis na biblioteca virtual da ANEEL em todo o período disponível até março de 2020. Encontraram-se trezentos e oitenta e cinco documentos conforme Fig. 1.

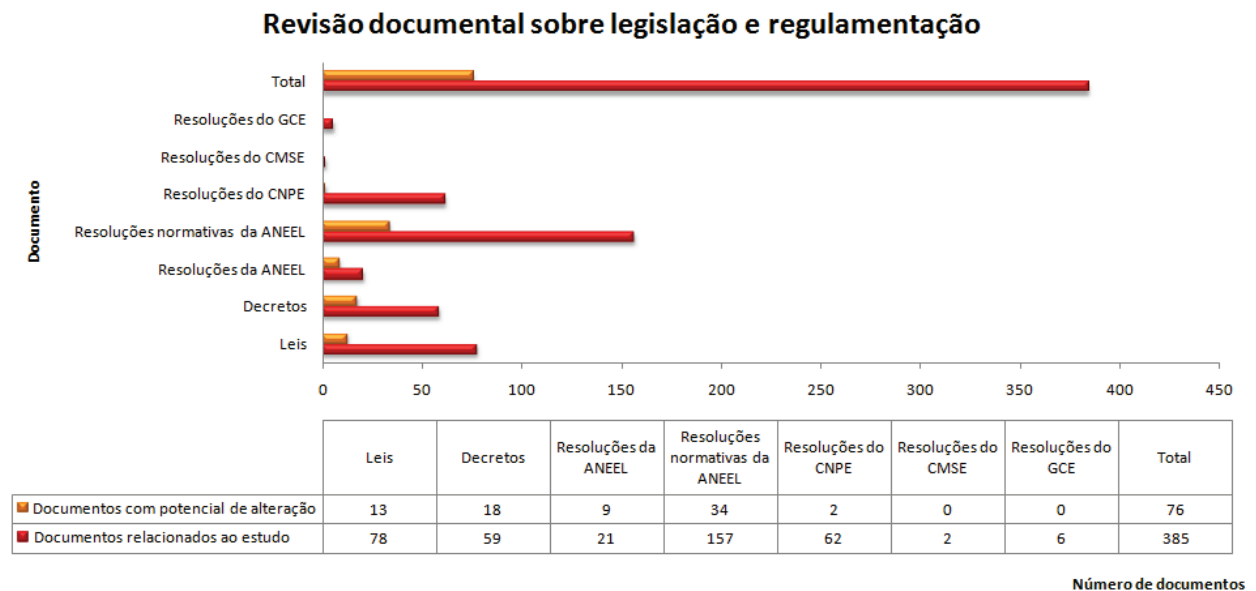


Fig. 1. Revisão Documental sobre Legislação e Regulamentação

Classificaram-se para a elaboração deste artigo setenta e seis documentos referentes à legislação e regulamentação na comercialização de energia elétrica no setor elétrico brasileiro.

AS MÉTRICAS DE IMPACTO DE APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA BLOCKCHAIN NO MERCADO DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA E AS INDICAÇÕES DE ALTERAÇÕES NO AMBIENTE REGULATÓRIO

Esta seção estabelece as principais métricas de impacto de aplicação da tecnologia blockchain no mercado de comercialização de energia elétrica. Classificaram-se as métricas como: energética, elétrica, econômica, contratual e regulatória. Consideraram-se os setores em que se comercializa energia elétrica: o Ambiente de Contratação Regulada (ACR), o Ambiente de Contratação Livre (ACL) e o Ambiente de Comercialização em Geração Distribuída (ACGD).

As Métricas de Impacto da Aplicação da Tecnologia Blockchain no ACL

A energia elétrica no ACL é comercializada por meio de contratos bilaterais acordados livremente entre os agentes. Consideraram-se agentes com potencial impacto pela tecnologia blockchain no ACL: os agentes comercializadores, geradores, distribuidores – que possuem contratos com comercializadores – e consumidores livres e especiais. Apresentam-se na Fig. 2 as métricas de impacto da aplicação da tecnologia blockchain para esses agentes.

ACL	DIMENSÃO		
	ENERGÉTICA	ECONÔMICA	CONTRATUAL
Agentes Comercializadores	Energia contratada por contrato (compra)	Preço da energia contratada por submercado (compra)	Tipo de energia
	Energia contratada por contrato (venda) Tipo de energia	Preço da energia contratada por submercado (venda) Preço total da energia contratada (compra) Preço total da energia contratada (venda)	Montante de energia contratada (compra) Montante de energia contratada (venda) Submercado
Agentes Geradores	Energia verificada por contrato (geração)	Preço da energia contratada por submercado (venda)	Tipo de energia
	Energia contratada por contrato (venda) Tipo de energia	Preço total da energia contratada (venda)	Montante de energia contratada (venda) Submercado
Agentes Distribuidores	Energia verificada (consumo)	Preço da energia contratada por submercado (compra)	Tipo de energia
	Energia contratada por contrato (compra)	Preço da energia contratada por submercado (venda)	Montante de energia contratada (compra)
	Energia contratada por contrato (venda) Tipo de energia	Preço total da energia contratada (compra) Preço total da energia contratada (venda)	Montante de energia contratada (venda) Submercado
Agentes Consumidores Livres e Especiais	Energia verificada (consumo)	Preço da energia contratada por submercado (compra)	Tipo de energia
	Energia contratada (compra)	Preço total da energia contratada (compra)	Montante de energia contratada (compra)
	Tipo de energia		Submercado

Fig. 2. Métricas de Impacto de Aplicação da Tecnologia Blockchain no ACL

Listaram-se no total 39 métricas nas dimensões energética, econômica e contratual, sendo 11 para os agentes comercializadores, 8 métricas para os agentes geradores, 12 métricas para os agentes distribuidores e 8 métricas para os agentes consumidores livres e especiais. Essas métricas se resumem em:

- (1) Energia contratada por contrato: a cada hora o sistema verifica se há contratos registrados para determinado perfil de agente, obtendo a diferença entre o total de contratos de venda e o total de contratos de compra, ambos registrados na CCEE no ACL e ACR (CCEE, 2020a). A energia contratada é o montante de energia efetivamente contratado como compra ou venda.
- (2) Energia verificada: é a energia medida por perfil de agente, para àquela hora do mês. Esses dados são registrados na CCEE tanto no ACL, como no ACR (CCEE, 2020a). A CCEE realiza a comparação da energia verificada—geração ou consumo — e da energia contratada na consolidação dos resultados, a qual precede a liquidação financeira.
- (3) Tipo de energia: energia convencional é a energia elétrica proveniente de fontes de geração convencionais, como hidrelétricas de grande porte e termelétricas. Energia incentivada é a energia oriunda de empreendimento hidrelétrico com potência injetada menor ou igual a 50 MW ou de empreendimento com base em fontes solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada com limites diferentes de potência injetada para cada tipo de fonte (CCEE, 2020b).
- (4) Preço da energia contratada por submercado: é o valor acordado entre os agentes por cada MWh para compra ou venda de energia elétrica. Esse preço é baseado no Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) do referido submercado e nos anos contratados, assim como nos índices econômicos.
- (5) Preço total da energia contratada: é o valor a pagar referente à energia contratada como compra ou venda. Se o contrato foi acordado em MW médio, obtém-se esse valor total multiplicando o preço da energia contratada por submercado pelo montante de energia contratada e pelas horas do mês de consumo, esse que não se inicia no dia primeiro dia, mas sim de acordo com o calendário da CCEE. Se o contrato foi acordado em MWh, obtém-se o valor total da energia contratada multiplicando o preço da energia contratada por submercado pelo montante de energia contratada.
- (6) Montante de energia contratada: é a quantidade de energia registrada nos contratos bilaterais (CCEE, 2020c).
- (7) Submercados: são divisões do Sistema Interligado Nacional (SIN) para as quais são estabelecidos PLDs específicos. Suas fronteiras são definidas em razão da presença e duração de restrições relevantes de transmissão aos fluxos de energia elétrica no SIN (ANEEL, 2004).

As Métricas de Impacto de Aplicação da Tecnologia Blockchain no ACR

A energia elétrica no ACR é comercializada por meio de leilões e regulada pela ANEEL. Consideraram-se agentes com potencial impacto pela tecnologia blockchain no ACR os agentes comercializadores — que possuem contratos com distribuidoras —, geradores, distribuidores e consumidores livres e especiais. Consideraram-se os agentes comercializadores no ACR pelo fato de manterem contratos com os agentes distribuidores. Logo, os agentes comercializadores sofrerão impacto pela aplicação da tecnologia blockchain no ACR. Apresentam-se na Fig. 3 as métricas de impacto da aplicação da tecnologia blockchain nos referidos agentes do ACR.

ACR	DIMENSÃO		
	ENERGÉTICA	ECONÔMICA	CONTRATUAL
Agentes Comercializadores	Energia contratada por contrato (compra)	Preço da energia contratada por submercado (compra)	Tipo de energia
	Energia contratada por contrato (venda)	Preço da energia contratada por submercado (venda)	Montante de energia contratada (compra)
	Tipo de energia	Preço total da energia contratada (compra) Preço total da energia contratada (venda)	Montante de energia contratada (venda) Submercado
Agentes Geradores	Energia verificada (geração)	Preço da energia contratada por submercado (venda)	Tipo de energia
	Energia contratada (venda)	Preço total da energia contratada (venda)	Montante de energia contratada (venda)
	Tipo de energia		Submercado
Agentes Distribuidores	Energia verificada (consumo distribuidora)	Preço da energia contratada por submercado (compra)	Tipo de energia
	Energia contratada (compra)	Preço da energia contratada por submercado (venda)	Montante de energia contratada (compra)
	Energia contratada (venda)	Preço total da energia contratada (compra)	Montante de energia contratada (venda)
	Tipo de energia	Preço total da energia contratada (venda)	Submercado
Agentes Consumidores Cativos	Energia verificada (consumo)	Tarifa de Energia Elétrica	Grupo tarifário
	Taxa de disponibilidade	TUSD/TUST	Nível de tensão
	Demanda contratada		Encargos Tributos

Fig. 3. Métricas de Impacto de Aplicação da Tecnologia Blockchain no ACR

Nesse ambiente, listaram-se 40 métricas nas dimensões energética, econômica e contratual, sendo 11 para os agentes comercializadores, 8 métricas para os agentes geradores, 12 métricas para os agentes distribuidores e 9 métricas para os agentes consumidores cativos. Além das métricas previamente citadas, essas se resumem em:

- (1) Taxa de disponibilidade: é um valor aplicável ao faturamento mensal de consumidor por unidade consumidora do grupo B. Sendo equivalente a: I – 30 kWh, se monofásico ou bifásico a dois condutores; II – 50 kWh, se bifásico a três condutores; ou III – 100 kWh, se trifásico. Essa taxa deve ser aplicada sempre que o consumo medido ou estimado for inferior aos referidos, não sendo a diferença resultante objeto de futura compensação (ANEEL, 2010).
- (2) Demanda contratada: é o valor de potência elétrica ativa atribuída a uma unidade consumidora na forma de taxa de pagamento ao agente distribuidor, independente da utilização total dessa potência ao longo do mês. Esse pagamento ocorre em função da distribuidora ser obrigada a disponibilizar essa demanda de potência ativa no ponto de entrega conforme contrato.
- (3) Tarifa de energia elétrica: é um valor monetário estabelecido pela ANEEL, fixado em reais por unidade de energia elétrica ativa ou da demanda de potência ativa. É base para a definição do preço a ser pago pelo consumidor e explicitado na fatura de energia elétrica (ANEEL, 2017).
- (4) Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD)/ Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST): TUSD é um valor monetário unitário determinado pela ANEEL, utilizado para efetuar o faturamento mensal de usuários do sistema de distribuição de energia elétrica pelo uso do sistema (ANEEL, 2017). A TUST relativa ao uso de instalações da rede básica é denominada Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão da Rede Básica (TUST RB) e a referente ao uso de instalações de fronteira com a rede básica é denominada Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão de Fronteira (TUST FR) (ANEEL, 2005).
- (5) Nível de tensão: refere-se ao valor de tensão de fornecimento da concessionária ou permissionária ao consumidor ou prosumidor.
- (6) Grupo tarifário: são classificados de acordo com o nível de tensão. O grupo tarifário A é composto por unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária, caracterizado pela tarifa binômica e subdividido nos seguintes subgrupos: a) subgrupo A1: tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV; b) subgrupo A2: tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV; c) subgrupo A3: tensão de fornecimento de 69 kV; d) subgrupo A3a: tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV; e) subgrupo A4: tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV; e f) subgrupo AS: tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição. O grupo tarifário B é composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, caracterizado pela tarifa monômica e subdividido nos seguintes subgrupos: a) subgrupo B1: residencial; b) subgrupo B2: rural; c) subgrupo B3: demais classes; e d) subgrupo B4: Iluminação pública (ANEEL, 2010).
- (7) Encargos: são todos criados por leis aprovadas pelo Congresso Nacional para viabilizar a implantação de políticas públicas no setor elétrico brasileiro. Seus valores constam de resoluções ou despachos da ANEEL e são recolhidos pelas distribuidoras por meio da conta de energia elétrica (ANEEL, 2020b).
- (8) Tributos: são todos os impostos, taxas e contribuições, incidentes sobre o objeto de um contrato, excluído qualquer outro existente ou que venha a ser criado sobre o lucro líquido ou resultado de qualquer das partes (ANEEL, 2020c).

As Métricas de Impacto de Aplicação da Tecnologia Blockchain no ACGD

O setor de GD é o ambiente em que se gera energia elétrica de forma descentralizada. Atualmente se compensa a energia gerada por prossumidores na rede da distribuidora, essa forma de compensação é conhecida como Net metering. Consideraram-se subsetores com potencial impacto pela tecnologia blockchain do setor de GD na Net metering: a geração na própria unidade consumidora, o autoconsumo remoto, a geração compartilhada e os empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras. Exibem-se na Fig. 4 as métricas de impacto da aplicação da tecnologia blockchain nos referidos agentes do ACGD Net Metering.

ACGD Net Metering	DIMENSÃO		
	ENERGÉTICA	ELÉTRICA	ECONÔMICA
Geração na Própria Unidade Consumidora	Energia injetada na rede Energia consumida da rede Fator de capacidade Produtividade Eficiência do sistema	Potência nominal de GD Taxa de desempenho Fator de Forma	Redução de custo/tarifa Tempo de retorno do investimento Taxa Interna de Retorno (TIR) Valor Presente Líquido (VPL)
Autoconsumo Remoto	Energia injetada na rede Energia consumida da rede Fator de capacidade Produtividade Eficiência do sistema	Potência nominal de GD Taxa de desempenho Fator de Forma	Redução de custo/tarifa Tempo de retorno do investimento Taxa Interna de Retorno (TIR) Valor Presente Líquido (VPL)
Geração Compartilhada	Energia injetada na rede Energia consumida da rede Fator de capacidade Produtividade Eficiência do sistema	Potência nominal de GD Taxa de desempenho Fator de Forma	Redução de custo/tarifa Tempo de retorno do investimento Taxa Interna de Retorno (TIR) Valor Presente Líquido (VPL)
Empreendimentos com Múltiplas Unidades Consumidoras	Energia injetada na rede Energia consumida da rede Fator de capacidade Produtividade Eficiência do sistema	Potência nominal de GD Taxa de desempenho Fator de Forma	Redução de custo/tarifa Tempo de retorno do investimento Taxa Interna de Retorno (TIR) Valor Presente Líquido (VPL)

Fig. 4. Métricas de Impacto de Aplicação da Tecnologia Blockchain no ACGD Net Metering

Assim como, considerou-se a comercialização Par a Par (P2P) a qual ainda não é regulada e aplicada no Brasil. A comercialização P2P é definida como a capacidade de pares, denominados prossumidores e/ou consumidores, comercializarem energia elétrica entre si. Essa comercialização ocorre sem intermediários com a aplicação da tecnologia blockchain, por meio de um site ou aplicativo. Apresentam-se as métricas para possibilitar a comercialização no ACGD P2P na Fig. 5.

ACGD	DIMENSÃO			
	ENERGÉTICA	ELÉTRICA	ECONÔMICA	CONTRATUAL
P2P	Fator de capacidade Produtividade Eficiência do sistema P2G (energia do prossumidor para a rede) G2P (energia da rede para o prossumidor) P2P (energia do prossumidor para o prossumidor) P2C (energia do prossumidor para o consumidor) G2C (energia da rede para o consumidor)	Potência nominal de GD Taxa de desempenho Fator de Forma	Redução de custo/tarifa Tempo de retorno do investimento Taxa Interna de Retorno (TIR) Valor Presente Líquido (VPL)	R\$P2G (preço da energia P2G) R\$G2P (preço da energia G2P) R\$P2P (preço da energia P2P) R\$P2C (preço da energia P2C) R\$G2C (preço das energia G2C) TUSD/TUST Encargos Tributos

Fig. 5. Métricas de Impacto de Aplicação da Tecnologia Blockchain no ACGD P2P

Para o ACGD Net metering se considerou 48 métricas, sendo 12 métricas apresentadas na modalidade de geração na própria unidade consumidora, 12 métricas na modalidade de autoconsumo remoto, 12 métricas na modalidade de geração compartilhada e 12 métricas na modalidade de empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras. Para o grupamento P2P se listaram 23 métricas. Totalizando 71 métricas nas dimensões energética, elétrica, econômica e contratual para o ACGD. Além das métricas previamente citadas, essas se resumem em:

- (1) Energia injetada na rede: refere-se à quantidade de energia elétrica injetada na rede do agente distribuidor por meio de micro ou minigeradores.
- (2) Energia consumida da rede: é a energia elétrica efetivamente consumida da rede de distribuição de energia elétrica por um determinado agente.
- (3) Fator de capacidade: corresponde à relação entre a produção efetiva de uma usina em um período de tempo e a

capacidade total máxima neste mesmo período de tempo (CCEE, n.d.).

(4) Produtividade: de acordo com (Rampinelli, 2010) a produtividade é definida como a energia convertida em kWh por cada kW_p instalado do sistema fotovoltaico em um determinado período.

(5) Eficiência do sistema: é a razão entre a energia elétrica em corrente alternada entregue pelo sistema e a energia solar disponível para o arranjo fotovoltaico efetuar a conversão.

(6) Potência nominal de GD: é a potência elétrica na saída do inversor, respeitadas as limitações de potência decorrentes dos módulos, do controle de potência do inversor ou de outras restrições técnicas (ANEEL, 2020a).

(7) Taxa de desempenho: é a relação entre a produtividade e a quantidade de horas de sol a 1000 W/m² incidentes no gerador fotovoltaico, normalmente vinculada a um ano de operação (Marion et al., 2005).

(8) Fator de forma: é a relação entre a máxima potência da célula ou módulo fotovoltaico e o produto entre a tensão de circuito aberto e a corrente de curto-circuito (Pinho e Galdino, 2014).

(9) Redução de custo ou da tarifa: representa o valor por cada MWh que o consumidor ou prosumidor poderá economizar com a aplicação da tecnologia blockchain na comercialização de energia elétrica.

(10) Tempo de retorno de investimento: é um dos indicadores analisados para determinar a viabilidade de um projeto, indicando a quantidade de meses após início de operação que determinado investimento necessita para gerar lucro.

(11) Taxa interna de retorno: é a taxa de juros que iguala, em um determinado momento do tempo, o valor presente das entradas com o das saídas previstas de caixa.

(12) Valor presente líquido: é definido como a diferença entre as entradas e as saídas de caixa levadas ao valor presente.

(13) P2G: é a energia elétrica gerada pelo prosumidor por meio de GD e injetada na rede em função do consumo da unidade prosumidora ser menor que a geração.

(14) G2P: é a energia elétrica que abastece a unidade prosumidora a partir da rede de distribuição de energia elétrica quando a energia gerada localmente não é suficiente para atender o seu consumo.

(15) P2P: caso a regulação permita, será a quantidade de energia elétrica comercializada entre prosumidores, sem intermediários e com a aplicação da tecnologia Blockchain, por meio de um aplicativo ou site.

(16) P2C: caso a regulação permita, será a quantidade de energia elétrica comercializada entre prosumidor e consumidor, sem intermediários e com a aplicação da tecnologia blockchain, por meio de um aplicativo ou site.

(17) G2C: é a energia elétrica que abastece a unidade consumidora a partir da rede de distribuição de energia elétrica.

(18) Preço da Energia P2G (R\$P2G): caso a regulação permita, será o valor ou preço da energia elétrica gerada pelo prosumidor por meio de GD e injetada na rede em função do consumo da unidade prosumidora ser menor que a geração.

(19) Preço da Energia G2P (R\$G2P): é o valor ou preço da energia elétrica que abastece a unidade prosumidora a partir da rede de distribuição de energia elétrica quando a energia gerada localmente não é suficiente para atender o seu consumo. Esse valor é conhecido como tarifa de energia elétrica.

(20) Preço da Energia P2P (R\$P2P): caso a regulação permita, será o valor ou preço da quantidade de energia elétrica comercializada entre prosumidores, sem intermediários e com a aplicação da tecnologia blockchain, por meio de um aplicativo ou site.

(21) Preço da Energia P2C (R\$P2C): caso a regulação permita, será o valor ou preço da quantidade de energia elétrica comercializada entre prosumidor e consumidor, sem intermediários e com a aplicação da tecnologia blockchain, por meio de um aplicativo ou site.

(22) Preço da Energia G2C (R\$G2C): é o valor ou preço da energia elétrica que abastece a unidade consumidora a partir da rede de distribuição de energia elétrica. Esse valor é conhecido como tarifa de energia elétrica.

As Métricas Regulatórias e as Indicações de Alterações no Ambiente Regulatório

As métricas regulatórias são os documentos relacionados aos setores ACL, ACR e ACGD Net Metering e ACGD P2P com potencial de alteração em função da aplicação da tecnologia blockchain no mercado de comercialização de energia elétrica. Considerou-se o conjunto de documentos de um determinado setor igual a uma métrica. Totalizando 4 métricas.

Entre os 76 documentos encontrados na revisão documental, considerou-se importante a adaptação de 33 documentos na dimensão regulatória, sendo um o conjunto de Procedimentos de Distribuição (PRODIST) e os demais as resoluções normativas da ANEEL, conforme indicado na Fig. 6.

DIMENSÃO	ACL e ACR		ACGD
REGULATÓRIA	Resolução Normativa nº 428/2011	Resolução Normativa nº 683/2015	Resolução Normativa nº 414/2010
	Resolução Normativa nº 452/2011	Resolução Normativa nº 719/2015	Resolução Normativa nº 482/2012
	Resolução Normativa nº 456/2011	Resolução Normativa nº 719/2016	Resolução Normativa nº 687/2015
	Resolução Normativa nº 511/2012	Resolução Normativa nº 755/2016	Resolução Normativa nº 786/2017
	Resolução Normativa nº 533/2013	Resolução Normativa nº 789/2017	PRODIST
	Resolução Normativa nº 533/2012	Resolução Normativa nº 802/2017	
	Resolução Normativa nº 551/2013	Resolução Normativa nº 829/2018	
	Resolução Normativa nº 578/2013	Resolução Normativa nº 832/2018	
	Resolução Normativa nº 601/2013	Resolução Normativa nº 833/2018	
	Resolução Normativa nº 619/2013	Resolução Normativa nº 850/2019	
	Resolução Normativa nº 601/2014	Resolução Normativa nº 851/2019	
	Resolução Normativa nº 611/2014	Resolução Normativa nº 869/2020	
	Resolução Normativa nº 619/2014	Resolução Normativa nº 879/2020	
	Resolução Normativa nº 637/2014	Resolução Normativa nº 881/2020	

Fig. 6. Métrica Regulatória de Impacto de Aplicação da Tecnologia Blockchain no Mercado de Comercialização

Essas são as resoluções do mercado de comercialização de energia elétrica no Brasil e o PRODIST. Considera-se primordial a adaptação desses documentos para a abertura do mercado P2P, assim como para aplicações da tecnologia blockchain no ACR e no ACL. Assim como, ocorreu em na aplicação do projeto da Brooklin Microgrid, os projetos podem parar por necessitarem de regulação adaptada do setor elétrico. No Brasil há três projetos divulgados em estudo: um sobre comercialização de energia elétrica – a partir do qual esse artigo foi elaborado, um sobre aplicação de geração distribuída e outro também sobre comercialização de energia elétrica e precisa-se atentar a esse tópico.

COMENTÁRIOS FINAIS

Definiram-se 154 métricas nas dimensões energética, elétrica, econômica, contratual e regulatória, organizadas nos setores em que se comercializa energia elétrica no Brasil: ACR, ACL e ACGD. Além disso, sugeriu-se a adaptação em 32 Resoluções Normativas da ANEEL e em 1 procedimento de distribuição de energia elétrica como adequação regulatória para possibilitar a aplicação da tecnologia blockchain no mercado de energia.

Essas métricas e sugestões de adaptação da legislação auxiliarão no fomento da descentralização do mercado brasileiro de energia elétrica nos referidos setores e na digitalização dos processos, proporcionando segurança das transações e independência de instituições centrais, possível redução de custos e certificação de origem renovável do produto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) e a CPFL Energia por meio do programa P&D ANEEL, processo PD-00063-3063/2020, pelo apoio técnico e financeiro.

REFERÊNCIAS

Andoni M., Robu V. and Flynn D. (2019). Crypto-control your own energy supply. *Nature*. 548, 158-158.

ANEEL (2002). Resolução normativa no 667, de 29 de novembro de 2002. Brasília, DF: Presidência da República, 2002.

ANEEL (2004). Resolução normativa no 109, de 26 de outubro de 2004. Brasília, DF: Presidência da República, 2004.

ANEEL (2005). Resolução normativa no 205, de 22 de dezembro de 2005. Brasília, DF: Presidência da República, 2005.

- ANEEL (2010). Resolução normativa no 414, de 9 de setembro de 2010. Brasília, DF: Presidência da República, 2010.
- ANEEL (2017). Resolução normativa no 775, de 27 de junho de 2017. Brasília, DF: Presidência da República, 2007.
- ANEEL (2020a). Resolução normativa nº 876, de 10 de março de 2020. Brasília, DF: Presidência da República, 2020.
- ANEEL (2020b). Informações para Empreendedores. Brasília, 2020.
- ANEEL (2020c). Tributos. Brasília, 2020.
- CCEE (2020a). Regras de comercialização: Contratos (CCEE, ed.). São Paulo, 2020.
- CCEE (2020b). Regras de comercialização: Cálculo do Desconto Aplicado à TUSD / TUST. São Paulo, 2020.
- CCEE (2020c). Regras de comercialização: Tratamento das Exposições. São Paulo, 2020.
- CCEE (n.d.). Glossário de Termos/ Interpretações e Relação de Acrônimos. São Paulo, nd.
- Dong Z., Luo F. and Liang G. (2018). Blockchain: a secure, decentralized, trusted cyber infrastructure solution for future energy systems. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*. 6, p. 958-967.
- Marion, B. et al. (2005) Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems. . *Proceedings of Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 1601-1606 Jan, Lake Buena Vista, Estados Unidos.
- Mengelkamp E., Gärttner, J., Rock K., Kessler S., Orsini L. and Weinhardt C. (2019). Designing microgrid energy markets. *Applied Energy*. 210, 870-880.
- Pinho, J. T.; Galdino, M. A. (2014) *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*, pp. 1-530. CRESESEB. Rio de Janeiro.
- Rampinelli, G. A. (2010) *Estudo De Características Elétricas e Térmicas de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede*, pp. 1- 285. Tese (Doutorado) Engenharia Mecânica, UFRGS, Porto Alegre.
- Strüker, J., Albrecht, S. and Reichert, S. (2019) Blockchain in the Energy Sector. *In Business Transformation through Blockchain*, Vol 2, p. 23–51. Springer International Publishing, Germany.
- Tumenas, T. (2009) *Coletânea de Legislação: Setor Elétrico Brasileiro*, pp. 1- 964. CCEE, São Paulo.