

**ESCOLA POLITÉCNICA  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

ENG. FERNANDO SOUSA DE FIGUEIREDO

**Inclusão do Blockchain no Smartgrid**

Projeto de Microgrid Híbrido Inteligente Solar & Eólico

São Paulo

2019

# FERNANDO SOUSA DE FIGUEIREDO

Trabalho de conclusão do curso de especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (PECE), para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética.

Área de concentração: Smartgrid, Smartcontract, Blockchain, Microgrid, Gerador Eólico, Gerador Solar e Eficiência Energética. Orientador: Prof. Dr. Demétrio Cornilius Zachariadis.

São Paulo  
2019

## **Ficha Catalográfica**

**Figueiredo, Fernando Sousa de**

Inclusão do Blockchain no Smartgrid: Projeto de um Microgrid Híbrido Inteligente Solar & Eólico São Paulo, 2019. 100 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética).

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia (PECE).

(1) Smartgrid, (2) Smartcontract, (3) Blockchain, (4) Microgrid, (5) Gerador Eólico, (6) Gerador Solar, (7) Eficiência Energética. Escola Politécnica. Programa de Educação Continuada em Engenharia II.t.

## **AGRADECIMENTOS**

Nessa fase final quero agradecer primeiramente a Deus pela energia que motiva a melhorar a qualidade de vida da sociedade, do meu país e do nosso planeta.

À minha amada e querida família, minha esposa Tania Regina Elias de Figueiredo, meus filhos: Pâmela Ednir Elias de Figueiredo, Fernando Sousa de Figueiredo Filho, Arthur José Elias de Figueiredo e Bruna Karoline Figueiredo, pelo apoio e por serem fontes de motivações e incentivos, que foram fundamentais durante essa jornada, pelo amor, carinho, suporte nos momentos difíceis e sacrifícios que se submeteram para que esse objetivo fosse alcançado.

Meus agradecimentos especiais ao corpo acadêmico do programa PECE-USP e aos meus orientadores: Prof. Dr. Demétrio Cornilius e Prof. Dr. Roberto Castro por entenderem os meus anseios em aceitar o desafio desse trabalho, compartilhando seus conhecimentos para que conseguisse realizar o sonho de materializar essa ideia.

## RESUMO

A Globalização traz desafios e perspectivas para o constante desenvolvimento tecnológico. As Redes Inteligentes e a Geração Distribuída são importantes meios de controle, qualidade e confiança na distribuição de energia, pois garantem o futuro da energia e o crescimento da matriz energética, reduzindo os custos operacionais, desperdícios de energia e contribuindo para a economia mundial, a partir do uso de plataformas computacionais, tecnologia da informação e telecomunicações.

Neste trabalho, apresentaremos aplicações da tecnologia do Blockchain como incremento tecnológico para a Smartgrid (Rede Inteligente de Distribuição de Energia Elétrica), para analisar numa perspectiva ampla os impactos na geração distribuída, de modo a evitar o desperdício de energia através do controle da injeção de potência ativa na rede, comercialização do excedente, introdução do conceito de Smarts Contracts e entendimento sobre as adequações nas Resoluções 482-Abr/2012 e 687-Nov/15, frente aos novos tempos, com o crescimento do mercado e consumidores.

No estudo de caso, apresentaremos o dimensionamento de um Projeto de um Microgrid híbrido inteligente Solar & Eólico, conectado à rede da concessionária local e através do Blockchain com a formação de uma cooperativa, onde serão efetuados os Smart Contracts em conformidade com a resolução REN 482/12, com o objetivo de atender usuários em torno da geração distribuída. Para essa implementação, foi considerada uma área do condomínio particular na cidade de Boituva, São Paulo.

Foram considerados também os aspectos técnico-econômicos para a seleção dos equipamentos que compõem o sistema, chegando a uma viabilidade econômica para o rateio entre os participantes do empreendimento.

Este trabalho tem como referências bibliográficas, os principais artigos e autores que disponibilizam seus conteúdos pelas diversas mídias digitais ou não.

**Palavras-chave:** ANEEL, SMART GRID, BLOCKCHAIN-SMART CONTRACTS, GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.

## Abstract

The Globalization brings challenges and perspectives to the constant technological development, Smart Grids and Distributed Generation are important means of control, quality and confidence in the energy distribution, as they guarantee the future of energy and the growth of the energy matrix, reducing operational costs, energy waste and contributing to the world economy, with the use of computer platforms, information technology and telecommunications.

In this work, we will present applications of Blockchain technology as a technological increase for Smartgrid (Intelligent Electric Power Distribution Network), to analyze from a broad perspective the impacts on distributed generation, in order to avoid energy waste through control of active power injection into the grid, marketing of surplus, introduction of the concept of smart contracts and understanding about the adjustments in Resolutions 482-Apr/2012 and 687-Nov/15, against new times, the growth of the market and consumers.

In the case study, we will present the design of a Project of a Solar & Wind Intelligent Hybrid Microgrid, connected to the local power company network and through Blockchain with the formation of a cooperative, where Smartcontract will be carried out in accordance with resolution 482/12, with the aim of serving users around the distributed generation. For this implementation, it was considered an area of the private condominium in the city of Boituva, São Paulo.

The technical and economic aspects for the selection of the equipment that make up the system were also considered, reaching an economic viability for the apportionment among the participants of the enterprise.

This work has as bibliographic references, the main articles and authors that make their contents available through the various digital media or not.

**Keywords:** ANEEL, SMART GRID, BLOCKCHAIN-SMART CONTRACTS, DISTRIBUTED GENERATION.

## LISTA DE SIGLAS

ABRADEE - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica  
ANA - Agência Nacional de Águas  
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica  
BEM - Balanço Energético Nacional  
CCEE - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica  
CGH - Central Geradora Hidrelétrica  
CGU - Central Geradora Undi-elétrica CMO Custo Marginal de Operação  
CRESES - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica  
CMSE - Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico  
EOL - Central Geradora Eólica  
EPE - Empresa de Pesquisa Energética  
GFV - Gerador Fotovoltaico  
GC - Geração Centralizada  
GD - Geração Distribuída  
IoT - Internet-Of-Things  
MME - Ministério de Minas e Energia  
PEE - Programa de Eficiência Energética  
P2P - Peer-To-Peer  
PoW - Proof-Of-Work

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO .....	11
JUSTIFICATIVA .....	16
OBJETIVOS .....	20
CONTEXTUALIZAÇÃO: A MOEDA E A TECNOLOGIA VIRTUAL .....	21
A TECNOLOGIA .....	265
APLICAÇÕES DO BLOCKCHAIN NO SETOR ELÉTRICO .....	29
CONTRATOS INTELIGENTES (SMARTCONTRACTS) .....	37
ANÁLISE DA RESOLUÇÃO 482/2012 E 687/2015 .....	39
MICROREDE (MICRIGRID) .....	42
METODOLOGIA APLICADA .....	43
ESTUDO DE CASO REAL MICROGRID SOLAR EÓLICO .....	49
Responsabilidades Técnicas .....	51
Observações Gerais .....	51
Análises Preliminares .....	52
Relatório Fotográfico .....	52
Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico .....	54
Dimensionamento do Sistema .....	58
Temperaturas-ambiente médias extremas na localidade .....	64
Temperaturas projetadas para os painéis fotovoltaicos .....	64
Tensão (VMP) na máxima potência nas condições de temperatura acima projetadas .....	65
Determinar números de PV-Painéis Fotovoltaicos por arranjo (Fileira) .....	65
Dimensionamento do Gerador Eólico .....	72
Dimensionamento do Banco de Baterias .....	76
ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA .....	77
CENÁRIO MOTIVADOR com integração com o Projeto PYLON como referência .....	79
CONCLUSÕES .....	81
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	82

## FIGURAS

Figura 1: Ilustração das perdas do sistema de distribuição de energia .....	14
Figura 2: Ilustração Ranking de Tarifa Residencial Grupo B1 .....	17
Figura 3: Visualização da estrutura da rede de Blockchain do Bitcoin .....	27
Figura 4: Visualização da Árvore de Hash ou Merkle Tree .....	29
Figura 5: Oportunidades e Benefícios do Blockchain incluso no setor de energia .....	32
Figura 6: Medidor Inteligente Metron One integrado Blockchain (eGEO) .....	35
Figura 7: Monitor Tarifário Integrado a Blockchain Pylon .....	35
Figura 8: Smartcontract como uma opção para uma rede inteligente .....	38
Figura 9: Projeto microrede Piloto conectado a Blockchain - objetivo desse trabalho .....	43
Figura 10: SMF-Sistema de Medição Financeiro da CCEE .....	44
Figura 11: Fluxograma para utilização do Software Homer .....	46
Figura 12: As transações Blockchain .....	47
Figura 13: O ecossistema da Pylon .....	47
Figura 14: Ilustração da plataforma para elaboração de Smartcontract .....	48
Figura 15: Esquema do Painel .....	59
Figura 16: Modelo de inversor de potência fotovoltaica .....	63
Figura 17: Configurações das strings .....	66
Figura 18: Curva do sombreamento na localidade .....	68
Figura 19: Monitorização online do Gerador Rancho dos Arcos .....	72
Figura 20: Layout do Projeto Piloto .....	74
Figura 21: Especificações do Banco de Baterias .....	76
Figura 22: Diagrama da proposta do projeto .....	79
Figura 23: Plataforma de comercialização .....	79

## GRÁFICOS

Gráfico 1: Carregamento .....	55
Gráfico 2: comportamento da carga do bombeamento d'água .....	55
Gráfico 3: Características da Radiação Solar .....	67
Gráfico 4: Capacidade do Sistema Fotovoltaico .....	76

Gráfico 5: Retorno do Investimento na GD-Compensação	482 .....	79
<b>FOTOS</b>		

Foto 1: Vista panorâmica da área do microrede em Boituva .....	49
Foto2: Medidores de Energia da CPFL próximos a entrada .....	51
Foto 3: Vista da entrada do condomínio .....	52
Foto 4: Laje da entrada do condomínio - Módulos a instalar .....	52
Foto 5 - Laje da entrada do condomínio - Módulos instalados .....	53
Foto 6 - Subestação Fotovoltaica do condomínio .....	53

## **TABELAS**

Tabela 1: Tarifas de Energia por concessionária durante o período de 2018 e 2019 .....	18
Tabela 2: Ranking das 10 principais moedas virtuais em uso atualmente .....	25
Tabela 3: Perfil de Consumo .....	54
Tabela 4: Emissão de Poluentes .....	57
Tabela 5: Irradiação Solar no Plano Inclinado .....	58
Tabela 6: Especificações do Painel.....	59
Tabela 7: Dados Climáticos de temperatura ambiente ao longo do ano em Boituva-SP .....	60
Tabela 8: Especificação Técnica do Inversor - Entrada .....	63
Tabela 9: Especificação Técnica do Inversor - Saída .....	64
Tabela 10: Cálculos de condutores DC.....	69
Tabela 11: Cálculos de condutores AC .....	70
Tabela 12: Especificações do Condutor .....	70
Tabela 13: Levantamento da velocidade do vento (Boituva) nas coordenadas do condomínio	73
Tabela 14: Especificações Técnicas da Turbina .....	75
Tabela 15 - Investimento inicial no Microgrid .....	77
Tabela 16: Fluxo de caixa. Obs.: Considerar as incertezas das políticas tarifárias .....	78
Tabela 17: Retorno do Investimento .....	80



## **1 INTRODUÇÃO**

Os problemas atuais relacionados à rede de distribuição elétrica, quanto à geração, transmissão e no que diz respeito aos distribuidores e concessionárias, estão voltados para as interrupções dos serviços, impactos ambientais, perdas nos sistemas por quedas de tensões, sobrecargas e outros. Por isso, faz-se necessária a implantação de mais inteligência na Smartgrid.

Esses pontos têm sido estudados e testados em muitos países ao redor do mundo, acompanhando a evolução tecnológica, integrando os conceitos da inteligência artificial ao poder computacional, aliados às tecnologias da informação em forma de arquitetura moderna de rede, com o envolvimento dos diversos segmentos das engenharias, como elétrica, tecnologia da informação, telecomunicações e outros, (RIVERA, ESPOSITO, TEIXEIRA, 2013).

Dentro dos conceitos de Smartgrid, podemos encontrar diversas especialidades do conhecimento, como a automação de processos, medições eletrônicas, desenvolvimento de software e sistemas computacionais, o que garante a interação entre concessionárias, distribuidores e consumidores de forma inteligente. Entendemos que os grandes desafios para o desenvolvimento e implantação do Smartgrid com novas tecnologias são convergentes no que diz respeito à garantia de operação conjunta.

Assim, o grande ponto a se discutir é como as constantes mudanças promovidas por estas vertentes tecnológicas impactam nas necessidades de alterações nas normas regulatórias vigentes, pois novas demandas nas relações de consumo e dinâmica do mercado são criadas.

No Brasil, o assunto teve início através da Portaria MME nº 440 de 15/04/2010, a partir da qual foi criado um grupo de trabalho com o objetivo de analisar e identificar ações necessárias para subsidiar o estabelecimento de políticas públicas para a implantação de um Programa Brasileiro de Rede Elétrica Inteligente - "SmartGrid", composto por representantes do Ministério de Minas e Energia - MME, da Empresa de Pesquisa Energética - EPE, do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL e do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS, visando abordar programas do tipo "Smartgrid" em outros países que possuem tecnologias e ações vigentes, com o propósito de se fazer adequações das normas regulatórias brasileiras gerais e dos serviços públicos de distribuição de energia elétrica, considerando estes novos cenários e identificando fontes de recursos para financiamento e incentivos ao desenvolvimento do setor no Brasil.

Durantes os últimos anos, a ANEEL, como agência reguladora, de acordo com as políticas para o setor elétrico, emitiu diversas normas relacionadas às redes inteligentes, como as seguintes: utilização das instalações de distribuição de energia elétrica como meio de transmissão e comunicação analógica e digital de sinais PLC- Power Line Communication, deferido pela REN nº375 de 2009, que denotam as condições propícias para pensar no maior incremento de inteligência nas rede “Smartgrid”; o acesso à micro geração e minigeração distribuídas estabelecidos pela REN 482/2012 e depois melhorada pela REN 687/15, com a introdução do NET METERING - Sistema de compensação de energia elétrica; e a REN 502/2012, que delibera sobre sistemas de medições eletrônicas.

A CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica), criada pela Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004 e regulamentada pelo decreto Nº 5.177 de 12 de agosto de 2004, tem por finalidade viabilizar a comercialização de energia elétrica no mercado de energia brasileiro e possui o SMF (Sistema de Medição de Faturamento). Essas instalações enviam diariamente os arquivos com informações sobre medição pelo Sistema de Coleta de Dados de Energia - SCDE da CCEE.

Sendo assim, dado o exposto, quando pensamos na tecnologia do momento do Blockchain - Smartcontract, estamos visualizando um nível maior de convergência e complexidades na integração dos dois mundos, o virtual e o real. Por exemplo, os contratos inteligentes permitem que cláusulas previamente estabelecidas sejam automaticamente cumpridas, logo, nos perguntamos: “Como os Smartgrids irão gerenciar essa nova operação? Quais os aspectos jurídicos, administrativos e técnicos respaldados? ”.

Nesse contexto, o Blockchain entra nessa equação, permitindo que tudo isso seja feito ponto-a-ponto (peer-to-peer em inglês), ou seja, nos novos registros digitais as informações inseridas somente poderão ser validadas se todos os registros anteriores se mantiverem intactos.

Dito isso, antes de pensarmos na rede de distribuição inteligente, com todos os recursos tecnológicos do primeiro mundo e dos países desenvolvidos, temos que fazer um levantamento do nosso cenário atual, uma reflexão sobre porque falamos em modernidade se nossa infraestrutura de distribuição se mantém estagnadas inclusa num sistema monopolizado e centralizado que mesmo com as privatizações nas últimas décadas não se tem clareza dos investimentos realizados nas redes de distribuições pelas inúmeras concessionárias por todo o território nacional , porém percebe-se a elevação das tarifas e as constantes imposições de custeio da produção de energia realizado pela ANEEL, devido a utilização das usinas

termoelétricas através das bandeiras tarifárias e alegações das concessionárias sobre a perdas financeiras devidos o crescente aumento das perdas não técnicas.

Atualmente convivemos com os grandes empreendimentos inacabáveis, onde os altos custos são repassados à sociedade, com suas tecnologias obsoletas paradas nos canteiros por todo o país, nesse cenário o foco numa rede inteligente fica em segundo plano, mas, pagamos um preço alto por essas situações do sistema centralizado atual.

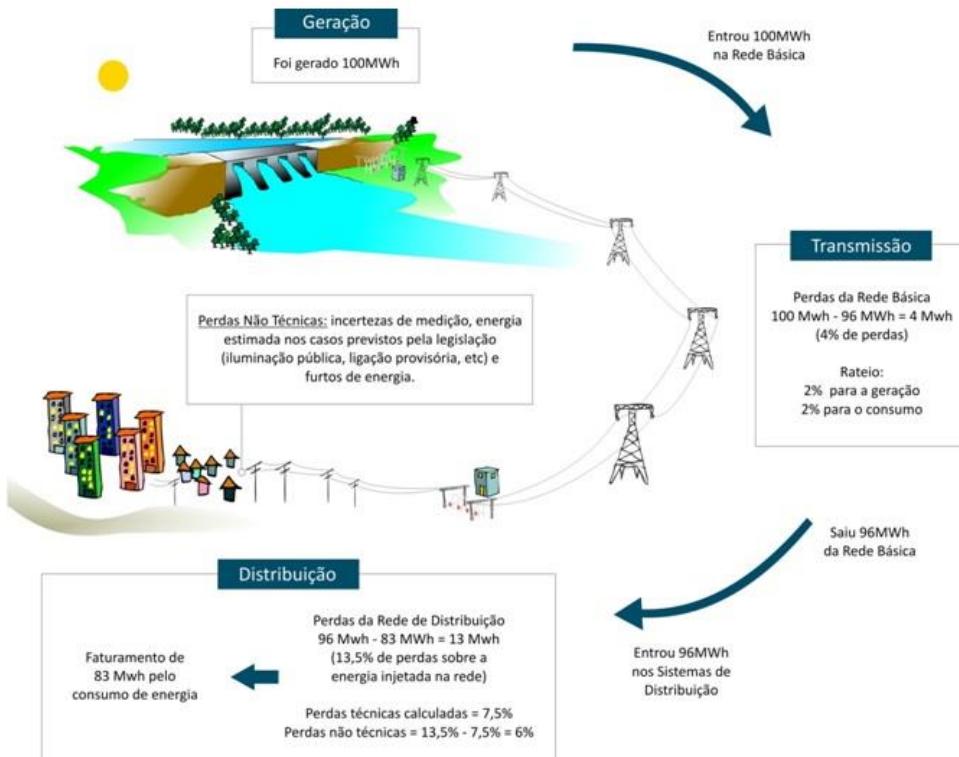
Ilustramos a seguir os fatores que uma rede inteligente ajudaria a mitigar e a controlar, estamos falando sobre as perdas no sistema.

Para entendermos as perdas, faz-se necessária de uma breve apresentação de como funciona e se compõe o sistema elétrico nacional.

O sistema elétrico é composto por geração, transmissão, assim, as perdas referem-se à energia produzida (gerada), que passa pela rede básica, denominada rede de transmissão e da rede de distribuição das concessionárias, que não é comercializada, seja por um motivo técnico ou comerciais.

Segundo a ANEEL, o transporte de energia, acontecendo na rede Básica ou na rede de distribuição, resulta nas perdas técnicas que acontecem nos condutores pelo efeito joule, ou seja, pela transformação de energia elétrica em energia térmica nos cabos, núcleos dos transformadores, perdas dielétricas, dentre outros, o que é ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Ilustração das perdas do sistema de distribuição de energia



Fonte: <https://www.aneel.gov.br/metodologia-distribuicao>

As perdas denominadas não técnicas são as que decorrem de fatores culturais, sociais, econômicos e pelos atos ilícitos, como furto de energia provocado por ligações clandestinas, desvio diretos, adulteração dos medidores, os famosos “GATOS”, além de erros de medição devido a precariedade da metodologia dos meios de aferição utilizados e o erros de faturamento e cobrança, sendo esses últimos geralmente utilizados pelas distribuidoras para pressionar a agência reguladora (ANEEL) a elevar os valores das tarifas de energia.

Como podemos observar, todas as perdas no sistema geram custos que são repassados à sociedade, dentro do mercado regulado. Sendo assim, o mercado cativo não permite a liberdade do consumidor de planejar seu consumo em função das suas necessidades, e muitas vezes são surpreendidos por aumentos das tarifas sem saber o que realmente estão pagando.

Os órgãos que respondem pelo sistema de controle e cálculos das perdas no sistema de distribuição elétrica são: ONS (Operador Nacional do Sistema), no mercado regulado e CCEE (Câmara de Comercialização de Energia Elétrica), no mercado livre. Assim, as perdas são mensuradas como segue:

## **Perdas Técnicas na Rede Básica**

As perdas na Rede Básica são calculadas pela diferença da energia gerada e entregue nas redes de distribuição. Essas perdas são apuradas mensalmente pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e o seu custo, que é definido anualmente nos processos tarifários e rateado em 50% para geração e 50% para os consumidores, de acordo com a ANEEL.

## **Perdas na Rede de Distribuição**

A ANEEL define os percentuais regulatórios das perdas técnicas e não técnicas das concessionárias na Revisão Tarifária Periódica, que ocorre a cada 4 ou 5 anos.

As perdas técnicas na distribuição são calculadas conforme as regras definidas no Módulo 7 do PRODIST, que resumidamente explicamos: o sistema de distribuição é dividido de acordo com os segmentos da rede, ou seja, alta, média e baixa tensões, transformadores, ramais de ligações e os medidores. Assim, através das aplicações de modelos específicos de aferições em cada segmento, obtém-se as informações necessárias para se estimar as perdas percentuais técnicas eficientes relativas à energia injetada na rede.

## **Perdas Não Técnicas**

As perdas não técnicas são apuradas pela diferença entre as perdas totais e as perdas técnicas que, dentro do contexto, são as que motivam o desenvolvimento de um trabalho que permita à rede de distribuição realizar de forma inteligente as averiguações e aferições dos limites regulatórios calculados conforme definição do submódulo 2.6 do PRORET. Neste, as perdas não técnicas são calculadas pela ANEEL usando uma metodologia de comparação de desempenho das distribuidoras, analisando e observando critérios de eficiência e as características socioeconômicas das suas respectivas áreas de concessão.

Nesse aspecto, o consumidor regula e arca pela fraude ou furto de energia diretamente incluso na sua tarifa. Entretanto, os valores regulatórios das perdas não técnicas, que são apurados pelos critérios de eficiência, são normalmente inferiores aos valores praticados pelas concessionárias de distribuição. Sendo assim, no modelo atual, torna-se ineficiente a regulação

por incentivos adotados pela ANEEL, dos repassasses das perdas não técnicas para conta de energia, quando o órgão detecta ineficiências da gestão da concessionária.

## 2 JUSTIFICATIVA

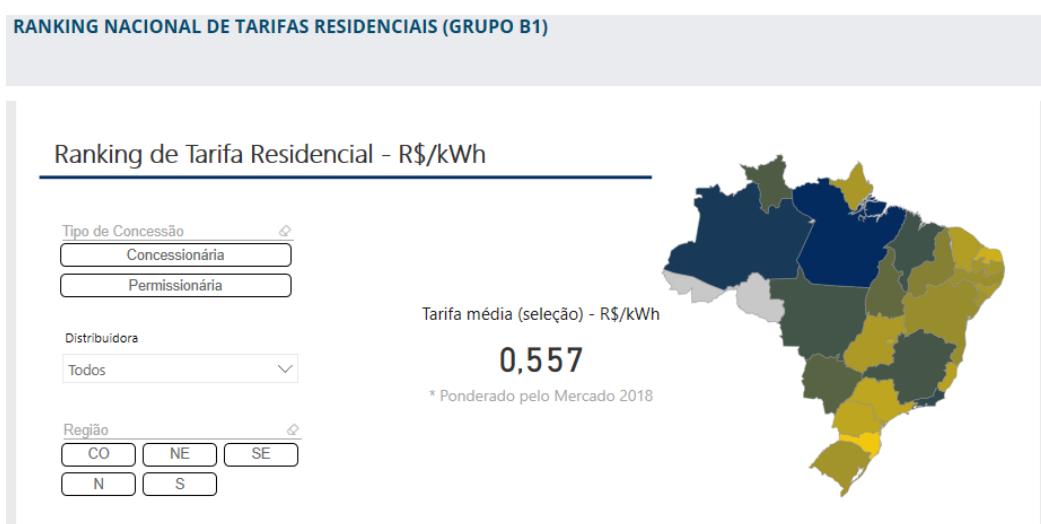
Depois da introdução, podemos verificar que o conceito de rede inteligente se torna cada vez mais importante e relevante à sociedade contemporânea na adoção de sistemas de medições, controle, segurança online e precisão, que ainda se justifica pela baixa qualidade da energia fornecida e serviços aos seus consumidores, como podemos exemplificar, os valores diferentes de tarifas praticados em suas áreas de concessões.

Como se explica um país reconhecido mundialmente por sua estrutura hidrelétrica, com uma matriz energética que pode ser considerada a mais completa do mundo (pois, além do poder energético das hidroelétricas, temos os potenciais das fontes renováveis solar, eólica e biomassa), se encontrar entre os países com a maior tarifa de energia do planeta? – Segundo um estudo recente da Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE). A tarifa brasileira para uso de energia elétrica residencial é a 14<sup>a</sup> mais cara entre 28 países analisados. Além disso, o Brasil ocupa a vice-liderança quando o assunto é a carga tributária.

Para esse projeto, usaremos o ranking das tarifas praticadas pelas concessionárias nas suas áreas de concessões, onde podemos verificar claramente o poder de um sistema monopolizado e centralizado, pois fica evidenciado que os valores praticados não condizem com as qualidades das redes de distribuição de energia dessas empresas que exploram o setor elétrico.

Os valores listados na Tabela 1, a seguir, se referem às tarifas vigentes homologadas pela ANEEL, expressas na unidade R\$/kWh (reais por quilowatt-hora) e não contemplam tributos e outros elementos que fazem parte de sua conta de luz, tais como ICMS, PIS/PASEP e Cofins, Taxa de Iluminação Pública e o adicional de Bandeira Tarifária. Já a Figura 2, abaixo, ilustra a Tarifa Residencial, de acordo com as Unidades Federativas brasileiras.

Figura 2: Ilustração Ranking de Tarifa Residencial Grupo B1



Fonte: <https://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>

Tabela 1 – Tarifas de Energia por concessionária durante o período de 2018 e 2019-ANEEL

Distribuidora	UF	Ranking	Tarifa Convencional	Início de vigência
CERAL ARARUAMA	RJ	1	0,950	29/04/19
CERCI	RJ	2	0,895	29/04/19
Ceres	RJ	3	0,885	29/04/19
Cercos	SE	4	0,783	29/04/19
Cedri	SP	5	0,751	30/09/19
Cetril	SP	6	0,697	30/10/19
Cerim	SP	7	0,687	30/10/19
Celpa	PA	8	0,684	07/08/19
COOPERNORTE	RS	9	0,679	01/03/19
Enel RJ	RJ	10	0,668	01/04/19
CERVAM	SP	11	0,667	30/09/19
Cermissões	RS	12	0,667	30/07/19
AmE	AM	13	0,665	01/11/19
Ceral Anitápolis	SC	14	0,664	30/10/19
Cergal	SC	15	0,655	30/09/19
ENF	RJ	16	0,650	22/06/19
Eflul	SC	17	0,648	29/08/19
EFLJC	SC	18	0,639	29/08/19
Sulgipe	SE	19	0,636	22/05/19
Cerpalo	SC	20	0,633	30/09/19
Cemar	MA	21	0,630	28/08/19
Cemig-D	MG	22	0,628	28/05/19
EMT	MT	23	0,627	08/04/19
Ceprag	SC	24	0,627	22/12/18
Light	RJ	25	0,626	01/04/19
Certrel	SC	26	0,620	30/09/19
Forcel	PR	27	0,619	26/08/19
Roraima Energia	RR	28	0,618	01/11/19
Cejama	SC	29	0,616	30/09/19
Certaja	RS	30	0,616	29/05/19
Cepisa	PI	31	0,615	01/04/19
EMS	MS	32	0,609	08/04/19
CERMC	SP	33	0,608	30/11/18
Creral	RS	34	0,607	30/07/19
Cerpro	SP	35	0,602	29/05/19
Hidropan	RS	36	0,601	22/07/19
ETO	TO	37	0,600	04/07/19
Eletroacre	AC	38	0,598	01/04/19
EMG	MG	39	0,596	22/06/19
Creluz-D	RS	40	0,592	30/07/19
Coorsel	SC	41	0,592	30/09/19
CERRP	SP	42	0,589	15/04/19
Cedrap	SP	43	0,585	31/08/19
Ceron	RO	44	0,581	01/04/19
Cerej	SC	45	0,580	30/09/19
Chesp	GO	46	0,576	22/11/18
Uhenpal	RS	47	0,572	22/05/19
Coprel	RS	48	0,571	30/07/19
CEA	AP	49	0,566	12/12/18

CERSAD	SC	50	0,564	30/09/19
Cermoful	SC	51	0,563	30/09/19
CERFOX	RS	52	0,562	30/07/19
RGE	RS	53	0,560	19/06/19
COOPERZEM	SC	54	0,560	30/09/19
Cergral	SC	55	0,559	30/09/19
Cocel	PR	56	0,557	29/06/19
Coelba	BA	57	0,552	22/04/19
Cernhe	SP	58	0,551	17/05/19
Celpe	PE	59	0,549	29/04/19
CPFL Santa Cruz (nov)	SP	60	0,548	22/03/19
CEEE-D	RS	61	0,548	22/11/18
COOPERSUL	RS	61	0,548	01/03/19
EPB	PB	63	0,545	28/08/19
Cerbranorte	SC	64	0,544	30/09/19
Eletrocar	RS	65	0,542	22/07/19
Ceal	AL	66	0,535	03/05/19
Celg-D	GO	67	0,534	22/10/19
Elektro	SP	68	0,532	27/08/19
Ceris	SP	69	0,532	11/07/19
ESE	SE	70	0,531	22/04/19
Enel CE	CE	71	0,529	22/04/19
CERTHIL	RS	72	0,528	30/07/19
EDP ES	ES	73	0,526	07/08/19
EDP SP	SP	74	0,526	23/10/19
Cergapa	SC	75	0,524	30/09/19
CPFL Paulista	SP	76	0,523	08/04/19
Ceripa	SP	77	0,521	29/04/19
CEB-DIS	DF	78	0,518	22/10/19
ELFSM	ES	79	0,518	22/08/19
Copel-DIS	PR	80	0,518	24/06/19
Eletropaulo	SP	81	0,516	04/07/19
Ceriluz	RS	82	0,514	30/07/19
Ienergia	SC	83	0,511	29/08/19
EBO	PB	84	0,507	01/04/19
Demei	RS	85	0,507	22/07/19
Coopermila	SC	86	0,506	30/09/19
Cosern	RN	87	0,506	22/04/19
Cooperluz	RS	88	0,504	30/07/19
DMED	MG	89	0,498	22/11/18
Sul Sudeste	SP	90	0,497	12/07/19
Ceraça	SC	91	0,497	30/09/19
CPFL Piratininga	SP	92	0,490	23/10/19
MuxEnergia	RS	93	0,485	22/07/19
Cemirim	SP	94	0,471	29/05/19
Ceral DIS	PR	95	0,470	30/07/19
Celesc-DIS	SC	96	0,470	22/08/19
Coopercocal	SC	97	0,468	30/09/19
Cooperaliança	SC	98	0,468	29/08/19
Certel	RS	99	0,459	30/07/19
Cersul	SC	100	0,420	30/09/19
Coopera	SC	101	0,387	30/09/19
CODESAM	SC	102	0,387	30/09/19
CEGERO	SC	103	0,375	30/09/19
CASTRO - DIS	PR	104	0,351	30/07/19

Fonte: <https://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>

### 3 OBJETIVOS

Depois da introdução e da explanação das justificativas que dão embasamento a esse documento, podemos verificar que o conceito de rede inteligente se torna cada vez mais importante e relevante à sociedade contemporânea na adoção de sistemas de medições, controle e segurança online e precisão. Porém, em todo sistema existem necessidades de incrementos tecnológicos para garantir a confiança e credibilidade com as informações coletadas e transações realizadas, para evitar o desperdício da energia fotovoltaica excedente da geração distribuída na microgeração e minigeração em conformidade com a resolução ANEEL 482/12 e 687/15.

Esse trabalho tem como um dos objetivos, idealizar o desenvolvimento de uma plataforma composta por um aplicativo que irá controlar a produção de um grupo de geradores fotovoltaicos, apoiado por aerogerador e banco de baterias para armazenagem de energia dentro de uma área de concessão de uma concessionária de distribuição de energia. Essa área será denominada Microgrid. Em nossa proposta, a central geradora será instalada e atenderá no projeto piloto, de 10 a 20 residências da comunidade em torno da geração distribuída conectada à rede da concessionária. Essa instalação, inicialmente, será realizada com capital próprio, mas, pretendemos buscar junto às concessionárias os incentivos do P&D, uma vez que a plataforma a ser desenvolvida está ligada via nuvem na internet à monitoração e gerência da distribuidora. Com isso, seus usuários poderão se registrar para efetuar os contratos inteligentes de comercialização de sua energia gerada e não consumida, tendo a ANEEL e a concessionária de energia como entidades que autorizarão essas transações dentro desse Microgrid.

A inclusão de inteligência do Blockchain-Smartcontract nas redes inteligentes atuais poderá trazer benefícios para todo o setor elétrico, que poderão ser estendidos aos consumidores através das facilidades oferecidas pelas distribuidoras, usando suas infraestruturas de distribuição, como por exemplo:

**Controle da produção e consumo da geração de energia:** Os equipamentos inteligentes são instalados ao longo da rede de distribuição, fornecendo dados técnicos para a concessionária e para os produtores em tempo real do que foi produzido, consumido e injetado no grid, e se houve excedente de energia. Essas informações poderão ajudar a concessionária ou o produtor a tomar decisões para melhor atender as demandas de oferta e procura de energia.

**Redução dos custos de produção, perdas e controle dos desperdícios pela falta de inteligência na rede:** Durante a operação, tendo-se um incidente com alarme de uma falta na rede, a inteligência denominada de auto reconfiguração (self-healing) irá localizar e isolar esse defeito, além de reestabelecer o serviço e as seções não danificadas, através do monitoramento e controle.

**Qualidade da rede:** A Smartgrid será responsável pela capacidade da rede em manter os parâmetros de tensão adequados em toda a extensão dos alimentadores de distribuição, sob quaisquer condições de carregamento, além de minimizar as perdas do sistema através da compensação do fluxo de potência reativa na rede. Também poderá ser usado para a comercialização do excedente de geração dentro de um Microgrid, controlado pela ANEEL.

#### **4 CONTEXTUALIZAÇÃO: A MOEDA E A TECNOLOGIA VIRTUAL**

Como sabemos, as necessidades das trocas de mercadorias e de valores na economia são uma decorrência natural da evolução da sociedade e dos costumes sociais, em que os indivíduos deixam de ser autossuficientes na produção dos bens para sua sobrevivência. No desenvolver da sociedade, surge a possibilidade da criação de um sistema que viabiliza que um indivíduo possa suprir suas necessidades, realizando a troca de uma mercadoria com valor de sua propriedade por outra de seu vizinho ou outrem, que atenderia a sua demanda. Entretanto, o sistema apresentava alguns inconvenientes, pois nem sempre a mercadoria disponível para troca atendia as necessidades do momento, gerando incertezas na busca pelos produtos disponíveis e compatíveis com os desejos entre as partes, ou seja, uma operação só aconteceria por uma mera coincidência de desejos das partes envolvidas.

Com as dificuldades da realização das trocas diretas, as sociedades encontraram um meio de resolver os inconvenientes, elegeram alguns produtos e mercadorias como moeda e assim surgiram as mercadorias-moedas, que dependendo da região, época ou momento histórico, desempenharam os papéis de papel moeda, como podemos citar: soja, arroz, tecidos, trigo, peixe, gado, sal, etc.

No primeiro momento, os problemas foram contornados, mas o aumento das populações e do consumo trouxeram outros problemas, como as distâncias entre os produtores, as intempéries, locais para estocagens das mercadorias que eram perecíveis e impunham mais uma

vez o despertar da criatividade humana a novos desafios de superação para manutenção de sua sobrevivência. Nesse contexto, surgiram as moedas, a serem caracterizadas a seguir.

### **Moeda Metálica**

Surgiram como solução para os problemas das coincidências de desejos, divisibilidade e inconvenientes da perecibilidade das mercadorias até então usadas nas trocas diretas.

Rapidamente os metais preciosos, principalmente o ouro, foram introduzidos como intermediações de trocas, porém, os riscos de prejuízos, custos de transportes devido ao volume do metal e aos constantes assaltos, foram fatores determinantes para que surgissem as casas de custodia ou ourives, lugar onde os possuidores de grande quantidade de ouro mantinham suas fortunas depositadas e utilizavam os certificados de depósitos como moeda de troca. Logo, esses certificados passaram a ser usados para que os seus detentores pudessem trocar e negociar os respectivos descontos no mercado e nas casas de custodias, ou seja, o detentor do certificado podia, a qualquer tempo, dirigir-se à casa de custódia e sacar o equivalente no metal que lhe servia de lastro. Através dessa ação de resgatar o papel (certificado), surgiu a operação de conversão de valores, a conversibilidade.

### **Moeda Fiduciária**

As experiências adquiridas nas casas de custódias e nas operações de trocas de valores mostraram que as conversões de certificados de depósitos e a reconversão em metais preciosos por todos os seus detentores não eram solicitadas ao mesmo tempo, mas novos depósitos aconteciam sempre. Esses movimentos, percebidos pelos custodiantes, incentivaram cautelosamente a emitir certificados não lastreados e, a partir disso, os comerciantes e as comunidades começaram a depositar confiança e credibilidade na lisura e honradez dos donos das casas de custodias. Assim, teve início a criação do papel moeda (Moeda Fiduciária), bem como das atividades bancárias, dando origem ao banqueiro e a todo o sistema centralizado.

Os banqueiros perceberam que a emissão de certificados em montantes superiores ao estoque de metal precioso permitia que seus emissores realizassem operações lucrativas, como a aquisição de títulos e ações ou, ainda, a concessão de empréstimos que rendiam juros. Com isso, o sistema evoluiu, pois os recibos passaram a ser fracionados de maneira conversível, permitindo que os governos com os seus respectivos bancos centrais assumissem o controle do sistema em que a emissão da moeda é privativa do Estado.

## **Moeda Escritural**

A sociedade vai evoluindo e vão surgindo novas relações comerciais. Os sistemas financeiros centralizados vão se modificando, criando monopólios e concessões ao poder e os Estado. Por meio de seus bancos centrais, emitem papeis moeda escriturais e permitem que os próprios bancos comerciais criem também suas moedas bancárias, ou seja, de modo a emitir mais certificados do que ouro depositado, como faziam os proprietários da casa de custodias do passado. Assim, os sistemas geram lucros, uma vez que a qualquer momento existirão operações de saques e depósitos para a manutenção do equilíbrio e balanceamento, pois somente uma parcela do todo é movimentada.

Leido engano achar que o depósito é a moeda, pois trata-se apenas de uma promessa de pagamento quando solicitada, como ocorre com o cheque, que consiste no mecanismo de conversão do depósito em moeda manual, se configurando como uma simples ordem de transferência de fundos.

Como podemos verificar no exposto, somente uma parcela de depósitos é requerida em espécie e grande parte é devolvida aos bancos em forma de novos depósitos. É isso que permite aos bancos fazer promessas de pagamento acima do que dispõem, criando uma moeda em forma de meio de pagamento, mesmo não podendo emitir a moeda oficial em curso no país.

Sendo assim, o sistema financeiro convencional consiste em um monopólio regulado, cativo, onde os governos, através dos seus bancos centrais, determinam as regras das operações financeiras numa nação.

## **Moeda virtual**

Conforme observado, a evolução das formas de moeda está intrínseca às mudanças da sociedade e suas necessidades, principalmente no que diz respeito à adoção de formas mais fáceis, mais ágeis e rápidas para a realização transações entre os agentes econômicos. Nos dias atuais, as modalidades existentes estão vinculadas às necessidades da redução de custos de transações.

Atualmente, as formas de trocas de valores usando a forma digital, como pagamentos, depósitos, saques e demais transações eletrônicas, mostram ser eficientes, rápidas e possuir uma grande redução nos custos das transações. Porém, os sistemas centralizados detêm o poder de

alterar as regras, aumentar e diminuir os valores das taxas dessas transações aos governos, ao sistema econômico e aos seus bancos centrais, mantendo a sociedade cativa aos monopólios, o que nos remete ao passado, em que a economia da sociedade dependia da arbitrariedade dos antigos senhores custodiantes.

Nesse contexto, verificamos que, mais uma vez, as oportunidades de negócios a partir do fornecimento de serviços financeiros por meio de cartões, utilização da internet, criação de dinheiro eletrônico, alinhados à velocidade dos meios de telecomunicações, estão sobre o controle centralizado, pois além de garantir aos sistemas lucros exorbitantes, também determina o nível de zona de conforto da sociedade, que deixa de ir às casas de custódia (bancos). Apesar de confortável, o sistema centralizado se esforça para que essas trocas diretas se mantenham com valores ultrapassados, mesmo sem a percepção do pagamento de taxas pelo consumidor, taxas essas que são cada vez mais elevadas pelo sistema.

Com o desenvolvimento dos meios de comunicação e da transferência eletrônica de dados, a modernização e o desenvolvimentos da IoT (Internet das Coisas), a criatividade humana encontrou novas formas de intermediar as trocas de aquisição de bens e serviços e, nesse momento, presenciamos a grande motivação das criações de sistemas descentralizados, como o BLOCKCHAIN. Antes, este era somente um termo utilizado na informática para estruturação e compartilhamento de banco de dados, sendo aclamado como “a quinta evolução” da computação, além do BLOCKCHAIN da moeda digital (criptomoedas), do BITCOIN, desde o seu surgimento em 2008 pelo seu pseudônimo Satoshi Nakamoto. Ao longo do tempo, ganharam grande poder e destaque por provocar a revolução nos meios de trocas e transações digitais.

Não se pode negar que as grandes mudanças nas economias e nos sistemas financeiros estão em curso, pois mesmo com a resistência do sistema cativo, as moedas digitais chegaram para ficar, para afirmar essa posição. Mostramos abaixo uma tabela da coinmarketcap, listando as 10 principais moedas digitais utilizadas atualmente, num ranking de 5.006 criptomoedas, de acordo com o Coinlib:

Tabela 2– Ranking das 10 principais moedas virtuais em uso atualmente.

#	Name	Symbol	Market Cap	Price
1	Bitcoin	BTC	\$132,714,190,435	\$7,324.62
2	Ethereum	ETH	\$13,954,278,701	\$128.01
3	XRP	XRP	\$8,226,709,999	\$0.189908
4	Tether	USDT	\$4,140,143,882	\$1.01
5	Bitcoin Cash	BCH	\$3,459,492,803	\$190.26
6	Litecoin	LTC	\$2,583,440,545	\$40.56
7	EOS	EOS	\$2,374,558,216	\$2.51
8	Binance Coin	BNB	\$2,076,184,697	\$13.35
9	Bitcoin SV	BSV	\$1,553,515,728	\$85.98
10	Tezos	XTZ	\$1,039,214,939	\$1.50

Fonte: <https://coinmarketcap.com/all/views/all/> -visitado 2019

Dentro desse cenário, constatamos que a eletricidade possui similaridade com a moeda digital e, assim, podemos concluir que 1kWh produzido, sendo um bem homogêneo, pode-se igualar a 1TOKEN digital. Logo, realizando a conversão, uma certa quantidade de energia produzida no tempo pode se transformar em um valor indexado a um “CRIPTOATIVO”, dentro de uma rede Blockchain descentralizada e inteligente.

## 5 A TECNOLOGIA BLOCKCHAIN

Segundo a Siemens (2018), toda contextualização sobre Blockchain-Smartcontract se inicia com o advento das criptomoedas, talvez por ser a melhor maneira de entender relacionando-se a tecnologia com ao sistema financeiro convencional.

As tecnologias descentralizadas que estão surgindo no âmbito da “Internet of things”, sobretudo com a inteligência artificial, permitem que pessoas se comuniquem diretamente por voz, vídeo, e-mails, fotos e mensagens instantâneas que trafegam diretamente de indivíduo para indivíduo, mantendo a confiabilidade entre eles e não importando a distância que os separem.

Entretanto, quando se fala em valores financeiros e bens duráveis, as pessoas necessitam confiar num terceiro elemento apto, autorizados e que possuam poderes para avaliar e aprovar uma transação entre as pessoas e as entidades. Nesse caso, estamos tratando de sistema financeiro convencional que, para funcionar à sua maneira, muitas vezes torna-se um sistema moroso e de grandes vulnerabilidades, necessitando de mais agentes como advogados e cartórios para intermediarem as operações através de análises aprofundadas, garantindo os direitos das partes e chancelando os contratos. Assim, o Blockchain se apresenta como uma solução inovadora, visando garantir a confiabilidade, a qualidade e o aumento da segurança nas transações digitais na rede ao usar modelos matemáticos e algoritmos de criptografia de última geração, que sugere o emprego de um banco de dados descentralizado e aberto para qualquer transação envolvendo valores, dinheiro, bens e propriedade, trabalho ou mesmo votos, criando, assim, um registro no qual a autenticidade pode ser verificada por toda a comunidade conectada à rede de computadores. As transações são gravadas em uma espécie de livro caixa público e distribuído, que pode ser acessado por qualquer um que disponha de uma conexão com a internet.

Devemos ressaltar que existem muitos tipos diferentes de blockchain e que por consequência um número de aplicações de blockchain, uma vez que a tecnologia é abrangente e está integrada a plataformas e hardwares do planeta.

Como citado acima, um livro razão de dados digital e compartilhado em uma rede de grupos independentes e diferentes de blockchains. Desses grupos podemos destacar:

**Blockchains públicos:** são amplas redes difundidas, administradas por intermédio de um token nativo. Esses blockchains são abertos à participação de qualquer um, independentemente do nível, e possui código aberto mantido por sua comunidade, por exemplo, o BITCOIN.

**Blockchains permissionados:** são os que controlam funções que pessoas podem desempenhar dentro de uma rede. Também usam um token nativo e seu código central pode ser aberto ou não, dependendo da aplicação. Podemos citar o RIPPLE nessa categoria.

**Blockchains privados:** tendem a ser menores e não utilizam token. São controlados na sua adesão, pois esses tipos de blockchains são protegidos por associações que possuem membros conceituados e detêm informações comerciais e confidenciais.

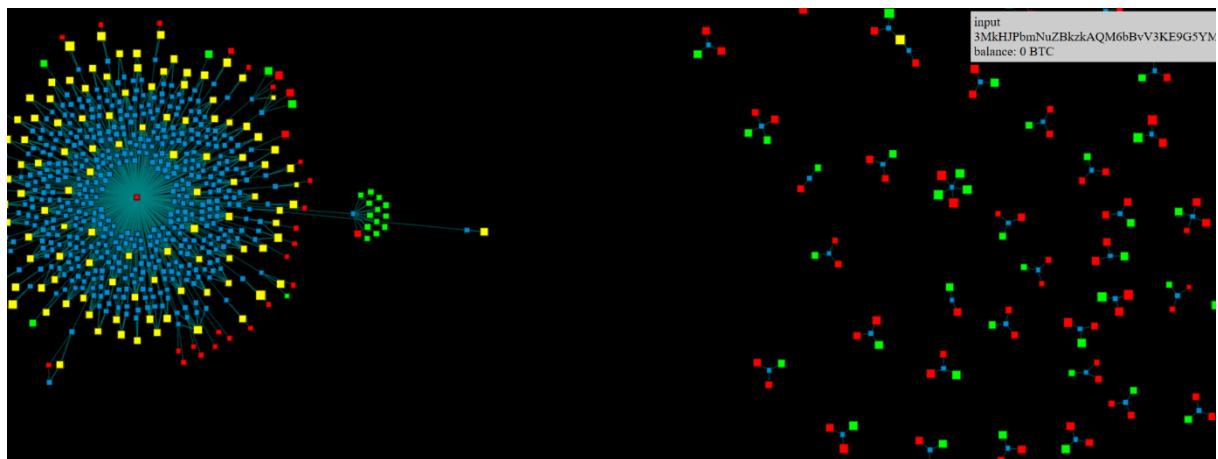
Em comum, todos os blockchains usam criptografias de mais altos níveis que permite a qualquer membro, a partir de qualquer rede determinada, gerenciar o livro razão de forma segura sem a necessidade da chancela de uma autoridade central para fazer cumprir as regras estabelecidas. Por esse motivo, a eliminação dessa centralização, do ponto de vista da

autoridade de validação da estrutura da base de dados, torna-se um dos aspectos mais importantes e eficazes dessa tecnologia.

Bom, então podemos concluir que um blockchain é um sistema ponto-a-ponto (peer-to-peer), descentralizado, que gerencia o fluxo de dados criptografados numa rede, e que constitui os full nodes (nós completos) de computadores distribuídos em todo os lugares do mundo.

A figura 3 apresentada abaixo ilustra a visualização de uma rede blockchain do BITCOIN.

Figura 3: Visualização da estrutura da rede de Blockchain do Bitcoin.



Fonte: <https://dailyblockchain.github.io>

Analisando a figura acima, podemos observar que, para evitar que a redes fiquem corrompidas, além de os blockchains ficarem descentralizados, também se utilizam criptomoeda, que é um token digital com valor de mercado negociado em plataformas de negociações semelhantes às ações em bolsas de valores.

As criptomoedas funcionam no sistema de forma diferente para cada blockchain. De uma maneira geral, o software paga para o hardware operar, isto é, os blockchain remuneram os nós completos (Full Nodes) pelo funcionamento da rede, ou a mineração dos blocos válidos (Hashes). É por esse motivo que os blockchains são considerados com a “quinta evolução” da computação. (LAURENCE, 2019).

Para fecharmos a apresentação e introdução a tecnologia revolucionária, cabe neste capítulo a apresentação da estrutura dos blockchains desmembrados em suas três principais partes, para que o entendimento se faça presente quando realizamos explicações a outrem sobre sua composição.

As três principais partes da estrutura dos blockchains são:

**BLOCK:** É uma lista de transações registradas em um livro-razão por um determinado período. O dimensionamento do tamanho, o período e o evento gerador para cada blockchain são diferentes.

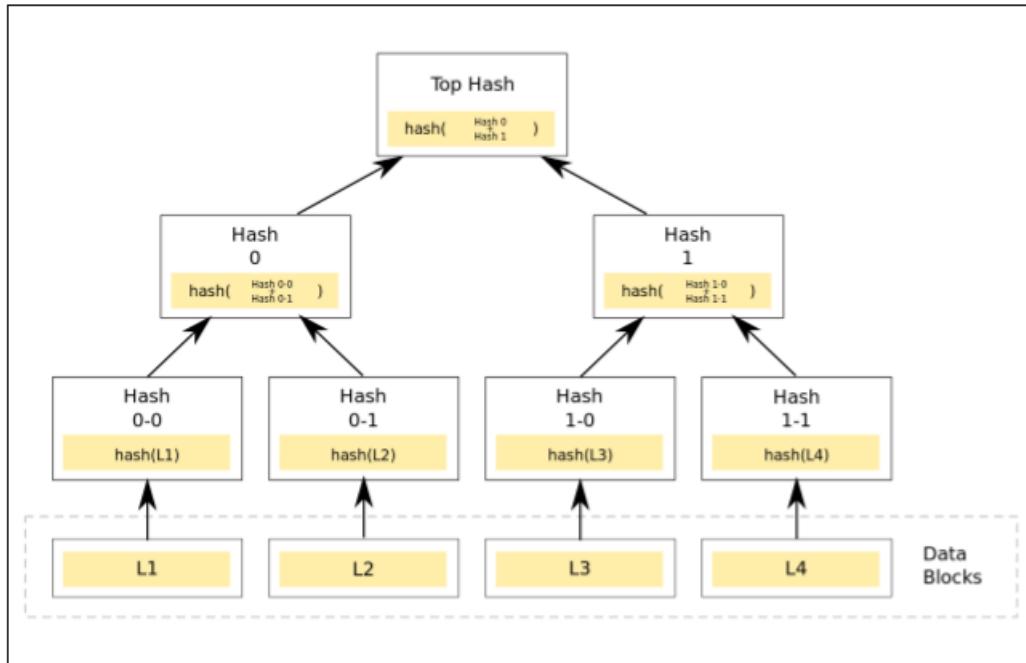
Cabe informar que nem todos blockchain registram e asseguram um registro da movimentação de suas criptomoedas como objetivo principal, porém, todos registram a movimentação de seus tokens ou criptomoedas. Assim, esse processo deve ser tratado como uma transação simples de registro de dados, em que um valor é atribuído para que possa ser feito a interpretação e os significados dos dados registrados.

**CHAIN:** É a cadeia denominada HASH, que interliga um bloco a outro. Esse encadeamento é realizado matematicamente por um algoritmo, por isso, torna-se um dos conceitos mais difíceis de serem compreendidos no que se trata do assunto blockchain. Um HASH é criada a partir dos dados armazenados num bloco anterior, tornando-se a impressão digital desses dados.

Curioso, sendo o blockchain uma tecnologia recente, hashing tem sua descoberta e publicações em 1993 (SHA-0), 1995 (SHA-1) sendo um sistema de criptografia, onde o SHA-1 é uma função de dispersão criptográfica (ou função hash criptográfica) projetada pela Agência de Segurança Nacional dos Estados Unidos, tornando-se um Padrão Federal de Processamento de Informação dos Estados Unidos publicado pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia. (CHABAUD, JOUX, 1998).

Os blockchain utilizam o SHA-256- Secure Hash Algorithm (algoritmo de dispersão seguro) que possui tamanho fixo de 256 bits, ou seja, 32 bytes. As árvores de hash podem ser usadas para verificar qualquer tipo de dados armazenados, manipulados e transferidos dentro e entre computadores. Eles podem ajudar a garantir que os blocos de dados recebidos de outros colegas em uma rede peer-to-peer sejam recebidos intactos e inalterados, e até mesmo para verificar se os outros não mentem e ou enviam blocos falsos.

Figura 4: Visualização da Árvore de Hash ou Merkle Tree



Fonte: <https://www.mycryptopedia.com/merkle-tree-merkle-root-explained/>

**REDE:** É a network, que são inúmeros computadores conectados, executando entre eles um algoritmo SHA-256 que protege essa rede, denominada full nodes (Nós Completos), onde cada um contém um registro completo, íntegro e seguro de todas as transações que foram registradas naquele blockchain.

Com gerenciamento total, capacidade de armazenamento, processamento e, sobretudo, a total descentralização de rede, além dos níveis altos de criptografia com graus de complexidade tornando a segurança e confiabilidade cada vez mais elevada, os blockchain estão provocando essa revolução, pois, sinto que podemos acreditar que no momento que finalizamos esse parágrafo, mais uma aplicação dessa tecnologia está sendo apresentada em algum lugar do mundo.

## 6 APLICAÇÕES DO BLOCKCHAIN NO SETOR ELÉTRICO

Desde seu aparecimento, a cada minuto surge uma aplicação para a tecnologia blockchain, pois essas aplicações são desenvolvidas em torno da ideia de que a rede é mediadora, segundo, onde se caracteriza por um ambiente implacável e cego. O código aberto

do computador se torna a lei e as regras são executadas como se fossem escritas e interpretadas pela network (rede), segundo (LAURENCE, 2019).

Pensando nesse sentido, poderíamos aplicar um blockchain no setor de geração distribuída de energia, pois o sistema convencional funciona na mesma forma, ou seja, cria-se monopólios com regras em ambiente implacável e cego, mas diferentes dos computadores; o sistema sofre influência dos preconceitos sociais e comportamentos humanos, além de sofrer intervenções dos agentes reguladores, como podemos citar a recente manobra na tentativa de aplicar uma taxa aos investidores na geração distribuída, por utilização da rede da concessionária para a injeção do excedente da sua produção de energia elétrica.

As redes de computadores não são capazes ainda de gerar interesses, ter intenções ou componentes escusos de um ou demais grupos e governos, por exemplo, o que garante que contratos inteligentes possam ser seguros, confiáveis e invioláveis, na compra e vendas arbitradas num blockchain.

Partindo dessa premissa, buscaremos propor a inclusão do blockchain como uma alternativa de geração de riquezas, controle de desperdício, comercialização de excedentes de energia dentro o setor elétrico, mais precisamente na geração distribuída, por entendermos as facilidades obtidas pelo fato de o gerador estar próximo ao consumo.

Como podemos observar, a tecnologia Blockchain possui grande potencial de ser implantada em setores que não existam a troca física de ativos, e isso explica a sua entrada imediata no setor financeiro, porque é um segmento onde os blockchain, dentro de suas características, conseguem fornecer registros confiáveis e seguros das transações, sem haver a necessidade de verificações e auditorias físicas para validação das efetivações das trocas.

Quando levamos o blockchain para uma aplicação no setor elétrico, podemos verificar que diferente de outros setores é um ambiente que parece ser capaz de absorver e experimentar a integração de novas tecnologias.

Nos sistemas convencionais, as vendas e compras de eletricidade são apuradas em conjunto, em plataformas de negociação centralizadas semelhantes às bolsas de valores e outras plataformas do mercado financeiro, se assemelhando a um sistema e/ou plataforma de negociação de criptoativos. Este fato proporcionou, nos últimos anos, o surgimento de inúmeros projetos que buscam melhorar as relações de oferta e procura, comercialização e a melhora contínua dos mercadorias e operações do setor de energia.

Segundo os consultores Max N. Luke, Consultant, Stephen J. Lee, Affiliated Industry Expert, Zdenek Pekarek, PhD, Independent Expert Anna Dimitrova, Advisor, Energy Policy & Innovation, Eurelectrica NERA Economic Consulting, atualmente, existem mais de 120 organizações envolvidas nesses projetos, com cerca de 40 projetos implantados até o momento dessa narrativa, onde 15 destes projetos aguardam encontrar aplicação nos mercados de energia por atacado e varejo, peer-to-peer (ponto-a-ponto), numa proposta de fornecimento de flexibilidades e facilidades, como serviços de cargas de veículos elétricos, segurança de rede, certificados de energia renováveis e emissão de carbono.

Entretanto, apesar do valor potencial, ainda existem incertezas com relação ao futuro da tecnologia no setor elétrico, pois são inúmeros fatores que precisam evoluir, como projetos com escalabilidade dentro da indústria de eletricidade, reduções dos custos do desenvolvimento da tecnologia de ponta, melhoria da velocidade das transações e a integração da IoT (Internet das Coisas), para buscar as convergências das redes e dispositivos conectados.

Outro ponto a ser analisado são as dificuldades impostas pelas características únicas do setor de energia, como a presença de economias de escala de diferentes escopos na operação da rede, que fazem com que aplicações blockchain baseadas em escalas se tornem grandes desafios nas suas implementações. Ademais, também deve ser observado com cuidado, o fato de os blockchain apresentarem desafios relacionados a desconfianças públicas e pressões competitivas do sistema convencional.

Contudo, não se pode descartar que são obstáculos que deverão ser transpostos no sentido de se aproveitar o que os blockchain podem trazer de melhor para contribuir com o desenvolvimento de uma rede inteligente de distribuição, que traga qualidade e serviços para seus usuários.

Abaixo, mostramos exemplos de projetos ativos que propõem uma discussão sobre como a tecnologia blockchain pode ser imaginada de modo a contribuir para os diferentes segmentos do setor de energia, agregando valor às concessionárias a partir da exploração da rede inteligente no fornecimento de produtos e serviços, em favorecimento dos clientes, com a redução das taxas e melhora da qualidade dos serviços.

Figura 5: Oportunidades e Benefícios do Blockchain incluso no setor de energia

	OPPORTUNITY/ POTENTIAL BENEFIT	PROJECT EXAMPLES
<b>Wholesale energy trading</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reduce transaction costs in wholesale energy trading</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Enerchain (Ponton)</li> <li>– Interbit (BTL)</li> </ul>  
<b>Retail electricity markets</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Reduce variable costs of retail payment processing and accounting</li> <li>– Greater transparency into billing</li> <li>– Fluid energy contract entry/exit</li> <li>– Greater customer choice of energy supply</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Drift</li> <li>– Grid+</li> </ul>  
<b>Peer-to-peer marketplaces</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Relieve stress on transmission networks</li> <li>– Improve DER economics</li> <li>– Greater customer choice of energy supply</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Brooklyn Microgrid Project (LO3 Energy)</li> <li>– Joulette (Alliander and Spectral)</li> <li>– Verbund and Salzburg AG</li> </ul> 
<b>Flexibility services</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Improve TSO ability to balance supply and demand</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– TenneT</li> <li>– Electron</li> </ul>  
<b>Electric vehicle charging and coordination</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Improve DSO ability to coordinate electric vehicle load and discharge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Share&amp;Charge (MotionWerk)</li> <li>– eMotorWerks</li> </ul>  
<b>Network management and security</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Improve DSO and TSO network management and security</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Keyless Signature Infrastructure (Guardtime)</li> </ul> 
<b>Environmental attribute markets</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Improve efficiency and transparency of environmental attribute markets</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– SolarCoin</li> <li>– Ideo CoLab</li> </ul> 

Fonte: NERA Economic Consulting

Devido à grande necessidade de atender suas demandas de energia, as empresas europeias têm investido em iniciativas inovadoras para a inclusão de blockchain no desafiador cenário atual do setor de energia, principalmente os relacionados às fontes renováveis, com o desenvolvimento em conjunto com startups de aplicativos e sistemas fundamentais para o universo do ciberspaço.

Em 2018, a EDF Energy entrou em um consórcio liderado pela empresa de tecnologia Electron, em parceria com a Siemens e outras empresas do ramo, com o objetivo de desenvolver uma plataforma baseada na tecnologia blockchain, para comercialização de energias e tornar o mercado de energia mais flexível. Para isso, as trocas de energia devem ser mais transparentes e os custos de infraestrutura, mais eficientes.

Neste caso, segundo especialistas, o blockchain poderia ser utilizado para automatizar o processo de “checks and balances”, pois criaria uma espécie de base de dados aprovada por todos os participantes, o que reduz os custos dos negócios e do BackOffice segundo o Prof. Castro, Nivaldo, Professor do Instituto de Economia da UFRJ e coordenador do GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico

A proposta baseia-se na criação de uma plataforma de registros descentralizada usando a tecnologia blockchain a ser acessada pelas empresas que participam do consórcio, com o objetivo de desenvolver um mercado compartilhado de ativos de energia, podendo responder a sinais de preços e explorar novos potenciais que não são acessíveis devido aos altos custos de transação e às regras do mercado. Com isso, o aumento de pontos de consumo, principalmente os de carros elétricos e da geração distribuída, grandes benefícios poderão ser obtidos, devido à maior flexibilidade no sistema.

Outra aplicação utilizando blockchain para validar trocas de energia elétrica e monitorar equipamentos de rede está sendo realizada pelo startup austríaco Grid Singularity.

Em destaque, podemos citar a startup americana LO3 Energy que, em parceria com a Siemens, criou o Brooklyn Micro Grid Project em 2016. Essa iniciativa foi considerada a primeira troca de energia do mundo entre um produtor e um consumidor de energia baseada na tecnologia blockchain.

A transação se tornou possível porque foi desenvolvido o TRANSACTIVE GRID, que é um sistema composto por um medidor inteligente e um computador que tinha a função de fazer os registros das transações e das informações de produção e consumo que são compartilhadas na microrede (MICROGRID).

Os medidores desenvolvidos pela Siemens possuem características aderentes ao projeto, pois possuem capacidade de se comunicar uns com os outros medidores, além de realizar transações na blockchain, contribuindo para processamentos nos nós completos (full nodes). Eles também apresentam a propriedade de se comunicarem com outros hardwares especiais e computadores.

Já na Austrália, a startup Power Ledger iniciou suas operações em 2016. Diferente dos demais projetos para o seguimento de energias renováveis e tendo ao apoio do governo federal Australiano e da distribuidora de energia, optaram por criar um software que permite aos consumidores comercializar o excedente de energia produzida com os vizinhos, a partir das informações registradas no blockchain.

As transações de energia de uma pessoa para outra são executadas através de um token denominado Spartz. Essa unidade possui um valor comercial em centavos monetários de energia. Com isso, o computador recebe a informação da energia comercializada e o vendedor recebe os pagamentos pela venda do produto (eletricidade) pelo token Sparkz, quase instantaneamente. Ao receber o token na sua carteira digital, os pagamentos podem ser convertidos para a moeda convencional (dólar, euro, etc.).

A Power Ledger, com o propósito de escalar suas operações internacionais, criou a criptomoeda POWR, para que o mesmo pudesse ser transacionado para outros lugares e/ou convertidos no Sparkz, devido ao fato de eles possuírem valores diferentes, em função da localidade, além de estarem lastreados na menor denominação de moeda local, o que foi realizado para compensar as diferenças de preços de energia nas várias localidades. Assim, os sistemas descentralizados e dinâmicos permitem que qualquer membro possa fazer a conversão de POWR para SPARKZ, para comprar e vender energia elétrica.

Esse projeto apresenta destaque porque em 2017 a Power Ledger já possuía 11 mil participantes com medidores inteligentes. E, em cinco semanas, a Power Ledger recebeu 34 milhões do seu Initial Coin Offering (ICO), emitindo 540 milhões de POWR tokens para os consumidores.

Durante as pesquisas e estudos, entendemos que os projetos da POWER LEDGER , e o da PyLON Espanhola, em conjunto com a eGEO, são aderentes à proposta do trabalho aqui apresentado, pois permitem que os usuários os instalem atrás do medidor da concessionária (do utilitário), os medidores inteligentes baseados nos blockchains e obtenham, com isso, dados quase em tempo real da produção e consumo de energia, codificando e transmitindo para a plataforma integrada, onde através de contrato inteligente (Smartcontracts), os usuários podem disponibilizar para comercialização o excedente da produção de energia, dentro da rede inteligente (Smartgrid). Com isso, a concessionária poderá intermediar essa operação via gerenciamento da plataforma.

O sistema permite monitorar tudo o que acontece com a produção e o consumo de energia durante 24 horas, além de disponibilizar dados gráficos, diagnósticos e análises sobre o uso de energia em qualquer terminal computacional, smartphone local ou remoto, onde podemos:

- Conhecer o real perfil de uso de energia
- Identificar desperdícios no consumo
- Detectar e controlar picos de demanda

- Controlar contas e comparar com as faturas de energia enviadas pelas concessionárias
- Analisar as melhores opções tarifárias
- Ser avisado rapidamente em caso de anormalidades ou desperdícios
- Avaliar o excedente de energia gerado que poderá ser comercializado na plataforma.

Figura 6: Medidor Inteligente Metron One integrado Blockchain (eGEO)



Fonte: <https://pylon-network.org/>

Figura 7: Monitor Tarifário Integrado a Blockchain Pylon



Fonte: <https://pylon-network.org/>

Em razão das inúmeras possibilidades que o Blockchain oferece, será possível eliminar diversas complexidades que envolvem o gerenciamento dos recursos energéticos. Uma situação possível seria programar o medidor inteligente para comprar energia solar a um determinado preço quando estiver disponível e, ao mesmo tempo, programá-lo para injetar energia produzida por uma usina de microgeração qualquer por um preço desejado.

Essa tecnologia poderá contribuir com problemas complexos de dados distribuídos que se acumulam da distribuição da produção até o consumidor de energia.

O Blockchain pode trazer essa análise para próximo da produção, adicionando um elemento de confiabilidade no processamento, realizando a validação dos dados e minimizando as questões inerentes ao tratamento massivo de dados que eventualmente possam surgir. As possibilidades de benefícios também se estendem às maneiras pelas quais a energia é negociada.

A proposta da inclusão do Blockchain é uma extraordinária solução inovadora para ser usada nas redes inteligentes de energia, como exposto ao longo deste trabalho, oferecendo maior segurança, automação, eficiência de operação e manutenção (O&M), incluindo medições para faturamento.

O Blockchain proporciona a comunicação de dispositivos de IoT (“Internet of Things”), internet, permitindo a coleta de informações de novos tipos de dados de sensores instalados local e remotamente na rede em qualquer lugar.

A geração destas cadeias que chamamos de geração de Blockchain programáveis permite estabelecer e criar um contrato de compra e venda de energia firmado na CCEE, planejamento do ONS, regulamentações e controle da ANEEL ou uma fatura de compra e venda de usinas geradoras, faturas que podem ser pagas automaticamente no sistema financeiro convencional, aplicações financeiras de forma inteligente, sem a possibilidade de ser alterado, devido ao fato de todo o processo usar criptografias de alta geração, que exigem um esforço computacional muito elevado para a decodificação, tornando-se, assim, quase impossível a violação dos seus conteúdos.

As soluções com a inclusão do Blockchain no Smartgrid, permitem acompanhar precisamente a utilização e evitar desperdício no uso de energia elétrica, bem como manter adequados todos os parâmetros de cobrança envolvidos numa fatura de energia (demanda, consumo, fator de potência), o que é tarefa fundamental e decisiva para a redução de custos em empresas de todos os segmentos.

## **7 CONTRATOS INTELIGENTES (SMARTCONTRACTS)**

Inventado pelo cientista da computação e criptógrafo, Nick Szabo no final dos anos de 1990, o termo “contratos inteligentes” (SMARTCONTRACTS, inglês) é utilizado para se referir a um protocolo especial de computadores que permite programar auto execuções dessas rotinas. No entanto, desde sua implantação não houve muitos progressos no desenvolvimento da tecnologia até o lançamento da plataforma descentralizada Ethereum, específica para a emissão de contratos inteligentes e outros APPs em 2015.

Logo, um contrato inteligente é um software autônomo que pode tomar decisões, ou seja, esse software foi desenvolvido e traduzido em códigos com afirmações condicionais, “se-então” que, na linguagem computacional, são: “if –then”. Assim, eles são capazes de verificar automaticamente as condições formalizadas dentro do acordo entre as partes, se elas foram atendidas para executá-las, usando como base bancos de dados confiáveis de fontes externas.

Os Contratos Inteligentes surgem como uma alternativa para eliminar os cartórios convencionais na validação de um acordo, porque quando os computadores iniciam a execução se torna difícil, ou até mesmo impossível de se desfazerem os termos formalizados.

Os contratos Ethereum representam uma combinação de códigos e dados armazenados em um endereço dentro do blockchain e protegidos de serem vistos por qualquer pessoa que não deveria acessá-los. O Blockchain-Smartcontracts também pode permitir que dispositivos conectados sejam agentes independentes, que não só se identifiquem com segurança, mas que também executem transações baseadas em um conjunto de instruções ou contratos inteligentes, que não podem ser modificados.

São algumas características dos Smartcontracts:

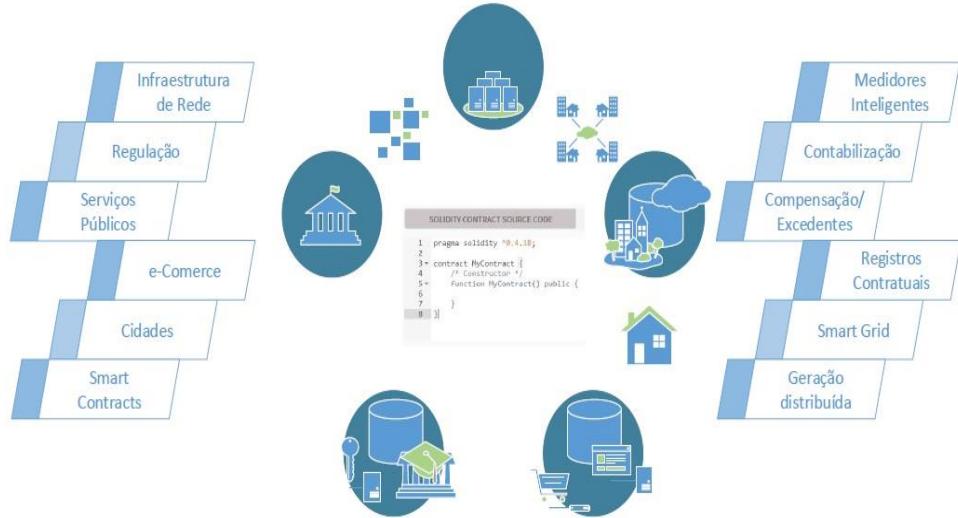
- a) O contrato contém regras definidas em código fonte;
- b). Os contratos são escritos em linguagem de alto nível, como o algoritmo Solidity (Sintaxe similar ao Java script) e estão carregados na rede Blockchain;
- c). Uma vez na rede, o contrato recebe uma chave pública, que pode ser usada para localizar o contrato e disparar a execução do código.

As soluções com a inclusão do Blockchain no Smartgrid, permitem acompanhar precisamente a utilização e evitar desperdício no uso de energia elétrica, bem como manter adequados todos os parâmetros de cobrança envolvidos numa fatura de energia (demanda,

consumo, fator de potência), o que é tarefa fundamental e decisiva para a redução de custos em empresas de todos os segmentos.

Segue abaixo uma representação ilustrativa de como o Smartcontract pode ser uma opção para uma rede inteligente.

Figura 8: Smartcontract como uma opção para uma rede inteligente



Fonte: <https://www.buildin.com.br/blockchain-smartcontracts-construcao/modificado autor>

## **8 ANÁLISE DA RESOLUÇÃO 482/2012 E 687/2015**

A comercialização de excedentes de geração de energia no mercado livre de energia, por intermédio dos comercializadores varejistas, ainda encontra obstáculos na resolução vigente, pois o sistema de compensação protege os direitos de concessão das distribuidoras, por tornar-se uma forma de inibir os consumidores que poderiam investir na geração da própria energia.

Hoje, já existe no mercado um consenso quanto à necessidade de adequação da resolução 482/12 e 687/15 para atender às demandas e evolução do mercado consumidor, frente às novas relações de consumo e às novas tecnologias entrantes, que visam proporcionar a transparência. No entanto, a lentidão com que as decisões são tomadas tornam esses atendimentos insuficientes e que, quando são implementados, são ineficazes.

Não se tem dúvidas de que o Net Metering foi um grande marco para a Geração Distribuída, porém, a tendência mundial de expansão e diversificações da oferta de energia fazem com que o sistema de compensação comece a exigir modernidades e soluções inovadoras na rede, no processo e nas formas de geração e distribuição de energia.

Um exemplo que ganha voz no mercado com incentivos aos sistemas de geração fotovoltaico de pequeno e médio porte, com potencial de geração de 5KWP a 50KWP, seria a do consumidor optar por comercializar toda a energia excedente injetada na rede, sem compensar seus créditos. Neste sistema, a distribuidora seria a responsável por credenciar os sistemas, realizar as medições das produções e homologar os contratos, de acordo com as negociações de venda destes excedentes de energia de cada consumidor de sua área de concessão, dentro do mercado regulado. Através dos comercializadores, toda essa produção de energia, gerada deste mecanismo virtual, seria comercializada no mercado livre, de acordo com a ideia de “Smartcontracts”.

Partindo desta premissa, para atender aos requisitos regulatórios do mercado regulado, as regras de comercialização de energia no mercado livre e a gestão das usinas virtuais originadas de geração de energia na área de concessão das distribuidoras, a utilização do Blockchain poderá ser a inteligência tecnológica que revolucionará o mercado de compra e venda de energia com impacto controlado e seguro no Sistema Integrado Nacional – SIN. Isso porque todos os seguimentos da sociedade e órgão reguladores (ANEEL, ONS e CCEE) terão total visibilidade sobre os cumprimentos dos acordos entre as partes.

Por outra perspectiva, uma resolução que acompanhe a evolução da inteligência da rede também será mais segura e confiável, uma vez que os Smartscontrats gerados não podem ser alterados. Além disso, a CCEE não precisaria manter cadastro individualizado de cada consumidor, nem mesmo suas relações contratuais de vendas de excedentes para o comercializador, uma vez que através do Smarts Contrats, haveria um acompanhamento da relação entre comercializador e consumidor, cujos acordos estariam registrados junto à distribuidora local.

Neste contexto, a própria Smartgrid da distribuidora passa a atuar como agente de medição, agregação, consolidação e até de contabilização da geração local, pois as regras estabelecidas no SmartContrats serão executadas automaticamente, conforme acordado e em consonância com as normas regulatórias vigentes, que deverão ser alteradas para permitir a coleta de informações, medições e inclusão da utilização do Blockchain com o SmartContrats no processo.

A geração compartilhada, na resolução 687/2015, se apresentou para facilitar a compensação e uso de créditos de energia elétrica para proprietários de sistemas fotovoltaicos, que antes só poderiam compensar os créditos de energia excedente em locais com o mesmo CPF ou CNPJ. Com a atualização da resolução, os proprietários das unidades consumidoras poderão transferir percentuais de créditos de energia para compensar em outras unidades consumidoras com CPF ou CNPJ diferentes, bastando apenas comprovar o vínculo entre os proprietários, podendo ser sócios, ou outro vínculo que lhes dê permissão para esta compensação, conforme rege a norma.

Essa comprovação de vínculo pode ser a junção de consumidores por meio de consórcio ou cooperativas de pessoas físicas ou jurídicas, que demonstra em meios práticos a aplicabilidade de uma planta geradora de energia, se utilizando da área comum da microrede para esta associação. Com isto, torna-se real e legal a transferência de créditos de energia gerados para terceiros, como vizinhos na mesma área de concessão, instituições de caridade, cooperativas de empresas, entre outros.

Como citado no parágrafo anterior, dada a possibilidade de uso em múltiplas unidades de consumo, abre-se espaço para que, por exemplo, condomínios comerciais ou residenciais, que tenham uma mesma planta de painéis fotovoltaicos, eólicas e outras fontes renováveis, possam atender a todos os condôminos, através da aplicabilidade da resolução 482/12 e 687/15 ANEEL

Art. 2º, – Itens VI e VIII, que regulamenta a geração compartilhada e aplicação de cooperativas ou consórcios entre os participantes do estabelecimento.

“[...] VI – empreendimento com múltiplas unidades consumidoras: caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento;

VII – geração compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada...”

(Trecho extraído da resolução 687/2015, conforme documento oficial da ANEEL, RESOLUÇÃO NORMATIVA N° 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015).

Assim, se a produção elétrica for combinada com a geração compartilhada e o autoconsumo remoto, um morador ou condômino, mesmo que intitulado como pessoa jurídica, porém, que tenha outra residência em outro local na mesma área de concessão da concessionária, poderá utilizar o excedente de sua quota, sem contar a compensação em sua conta de energia na origem.

Logo, é importante frisar que tanto a geração compartilhada, quanto o autoconsumo remoto podem ser atribuídos à pessoa física ou jurídica, tornando-os uma forma de negócio atrativa, para hospitais, estacionamento, condomínios comerciais, indústrias com diversas filiais ou mesmo organizações sociais, que podem ser explorados com serviços de valores agregados dentro de uma rede inteligente de distribuição que, por sua vez, com o gerenciamento dentro de um blockchain, resulta em ganho de acesso a produtos e serviços de alta qualidade e baixos custos estendidos para toda a sociedade.

## **9 MICROREDE (MICRIGRID)**

Definimos uma microrede (MICROGRID) como uma aplicação dentro do conceito da GD (Geração Distribuída), pois ela pode ser caracterizada pela sua funcionalidade e não por sua dimensão. O conceito de microrede baseia-se na interconexão de minigeradores e microgeradores em rede numa área delimitada, capaz de operar offgrid (não conectada à rede) e ongrid, conectadas à rede da distribuidora local, podendo ser gerenciada pela concessionária.

Para uma microrede ser operada sem estar conectada à rede da concessionária, torna-se fundamental a inclusão dos armazenadores de energia, controladores de cargas e sistemas de energia e calor combinados (CHP), microturbinas, células de combustível, geradores eólicos, geradores fotovoltaicos e pequenas centrais hidrelétricas (PCH), (SU; WANG, 2012).

No presente trabalho, foram utilizadas apenas as fontes de energia renováveis eólica e solar. Além disso, destacamos que também podem ser projetadas para pequenas comunidades, como conjuntos habitacionais, comunidades acadêmicas (universidades e escolas), áreas comerciais e locais que exigem fornecimento ininterrupto de energia elétrica, podendo-se destacar os hospitais e os sistemas prisionais.

As fontes que compõem uma microrede são pequenas unidades geradoras de centenas de kW ou menos. Nesse projeto, utilizaremos um gerador fotovoltaico, banco de baterias de baterias estacionárias e aerogerador, que terá a função de complementar a carga das baterias, na ausência da energia fotovoltaica. A concessionária funcionará como o backup da rede.

Um dos objetivos principais das microredes são combinar fontes de energia não convencionais ou renováveis de baixa emissão de carbono em sistemas de geração de alta eficiência (PASSOS, 2014).

A escolha sobre qual fonte utilizar depende da disponibilidade do recurso na área de implementação da microrede. As principais fontes utilizadas para geração distribuída são: sistemas de energia e calor combinados (CHP), microturbinas, células de combustível, geradores eólicos, geradores fotovoltaicos e pequenas centrais hidrelétricas (PCH). No presente trabalho, foram utilizadas apenas as fontes eólica e solar, conforme já citado.

O sistema híbrido que está sendo proposto para operar desconectado da rede elétrica, fornece tensão AC utilizando energia proveniente das fontes renováveis solar e eólica. Além disso, utiliza baterias como meio de armazenamento e pode ser conectado a um gerador de segurança (backup) capaz de fornecer energia para a carga a qualquer momento.

Figura 9: Projeto microrede Piloto conectado a Blockchain - objetivo desse trabalho

## □ MICROGRID PROJETO PILOTO EGEC 2022



Fonte: Apresentação Monografia PECE-USP-2019

## METODOLOGIA APLICADA

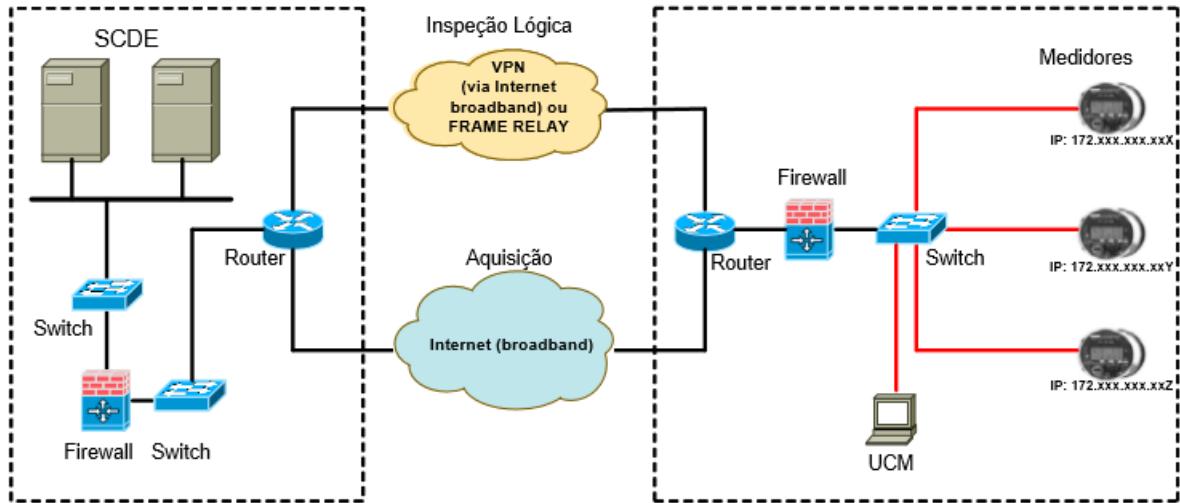
Para esse trabalho, que constitui uma obra de integração de diversas tecnologias, tivemos que estabelecer alguns critérios, uma vez que os custos para implantação de um projeto piloto demanda investimentos e, para isso, o primeiro passo seria ter um gerador fotovoltaico real projetado e dimensionado.

Nesse primeiro passo foi muito importante buscar o conhecimento de como projetar, dimensionar, vender e instalar um sistema gerador fotovoltaico que pudesse ser homologado por um especialista. Foi a partir dessa premissa que buscamos uma instituição onde pudéssemos desenvolver esse projeto e, com essa busca, conhecemos o Prof. Dr. Claudio Roberto de Freitas Pacheco, IPT-USP no curso Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética do programa PECE, que apresentou a forma dinâmica e fácil para o dimensionamento do gerador que será usado como fonte da microrede proposta.

Para a avaliação da nossa proposta dentro da regulamentação vigente 482-12 e 687-15 ANEEL, usamos os métodos orientados pelo Prof. Dr. Roberto Castro, que mostrou o funcionamento do sistema e as regras de comercialização de Energia Elétrica no Brasil. A partir de então, foi possível projetar como o sistema poderia ser utilizado numa plataforma Blockchain sem ser considerado ilegível ou irregular perante a legislação vigente, como mostrado abaixo.

O sistema usa os meios de telecomunicações e internet disponíveis, que tem a função de coleta de dados de medição, via central de aquisição de dados do agente responsável pela CCEE (Câmera de Comercialização de Energia Elétrica).

Figura 10: SMF-Sistema de Medição Financeiro da CCEE.



Fonte: [ttp://www.ons.org.br](http://www.ons.org.br)

O sistema fotovoltaico possui sua produção efetiva de energia na chamada Hora de Sol Pleno ou Hora de Sol Pico (HSP), que é a insolação diária, mensal ou anual, dependendo da medida de tempo utilizada. Essa insolação é recebida por uma determinada superfície, levando-se em consideração certos aspectos, como a localização específica, ângulo de inclinação e orientação e o número de horas em que a irradiância solar deva ser constante e igual a 1000 W/m<sup>2</sup>. Na região Sudeste, esta é de aproximadamente 4,17h, segundo CRESEB, para a região onde o projeto será implantado. Através da contribuição do Prof. Dr. Demétrio Cornilius Zachariadis, em desenvolvimentos de sistemas eólicos, definimos o dimensionamento de um gerador eólico que terá a função de gerar a energia para manter o banco de armazenamento de energia carregado na ausência da energia proveniente do sistema fotovoltaico.

Sendo o gerador eólico um sistema que demanda de um estudo aprofundado, optamos em utilizar um software específico para dimensionamento de microrede, com apoio de aerogerador.

Neste caso, utilizaremos o software HOMER, que consiste numa plataforma para analisar e implementar sistemas de potência híbridos, que contenham diferentes elementos, como turbinas, geradores hidráulicos, bateria, inversores e outros.

O sistema possibilita a simulação tanto de sistemas que estejam conectados à rede elétrica quanto os sistemas isolados (OPENEI,2016).

Para melhor entendimento, mostramos abaixo um fluxograma que contém as etapas de funcionamento do Homer, onde inicialmente devemos definir algumas variáveis de entrada, como informações sobre a carga, dimensionamentos dos componentes e seus respectivos custos, além das disponibilidades dos recursos energéticos e dados necessários utilizados na otimização do sistema.

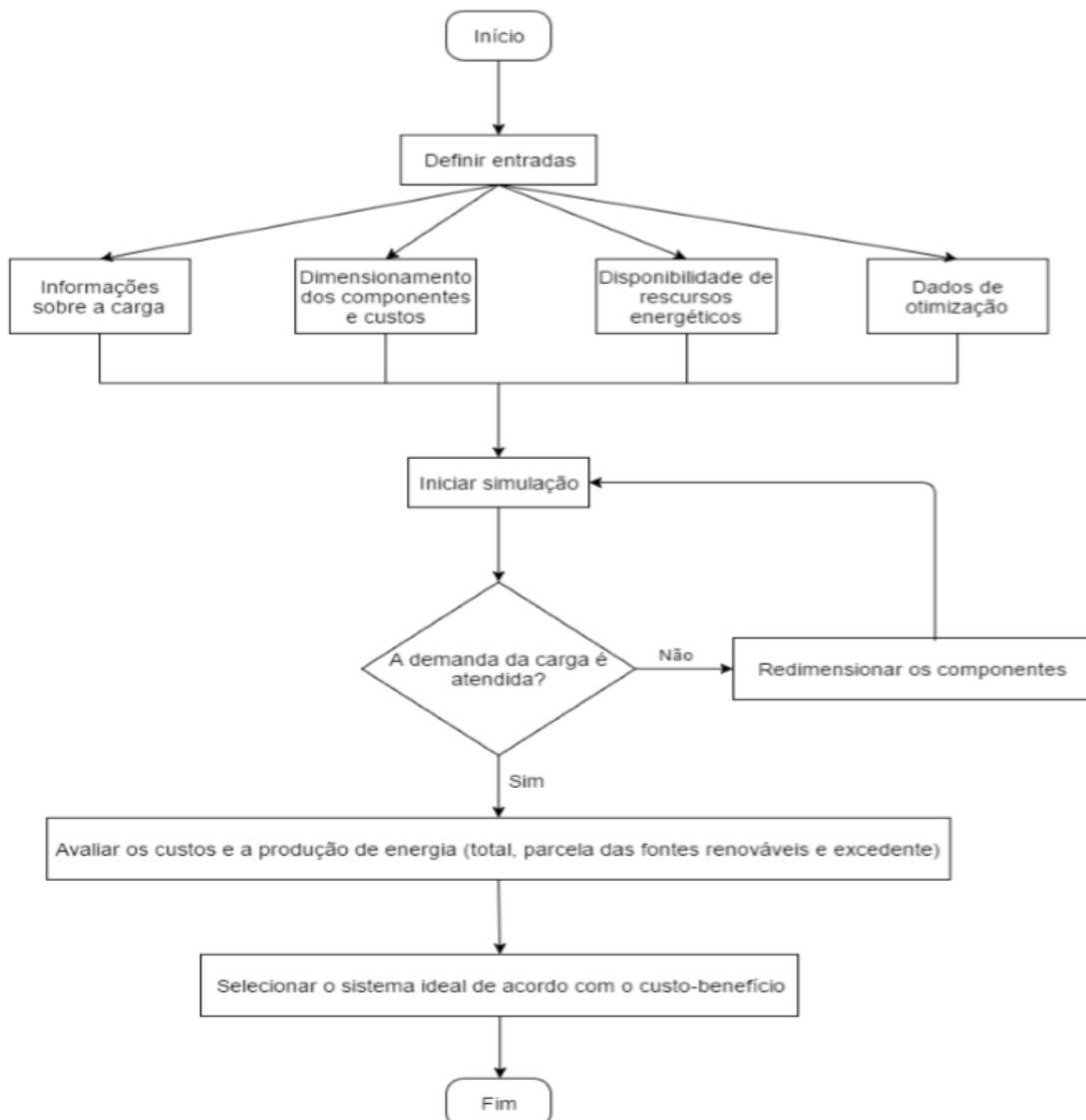
Para simular essas diversas configurações do sistema, pode-se alterar as combinações, obtendo modelos conforme o custo presente líquido (Net Present Cost-NPC), do National Renewable Laboratory, 2011.

Depois, é realizada a simulação, a fim de verificar se a demanda necessária para atender a carga estimada é atendida. Na hipótese dessa condição ser satisfatória, os custos e a produção são avaliados e, assim, o sistema que possuir o melhor custo benefício será escolhido.

Algumas informações devem ser fornecidas ao programa antes que a análise do sistema seja iniciada. As variáveis de entrada do software para o trabalho em questão foram:

- Custos associados a sistemas híbridos: incluem o custo com investimento inicial, o custo para reposição dos equipamentos e custos referentes à operação e à manutenção (O&M);
- Disponibilidade dos recursos energéticos: são fornecidos os dados de irradiação solar e velocidade média anual do vento da região na qual o projeto será realizado;
- Demanda solicitada pela carga: a demanda de energia elétrica que o sistema deve atender em um determinado intervalo de tempo;
- Potências e quantidades dos componentes: valores utilizados na simulação de vários cenários de otimização, a fim de identificar a melhor configuração do sistema.

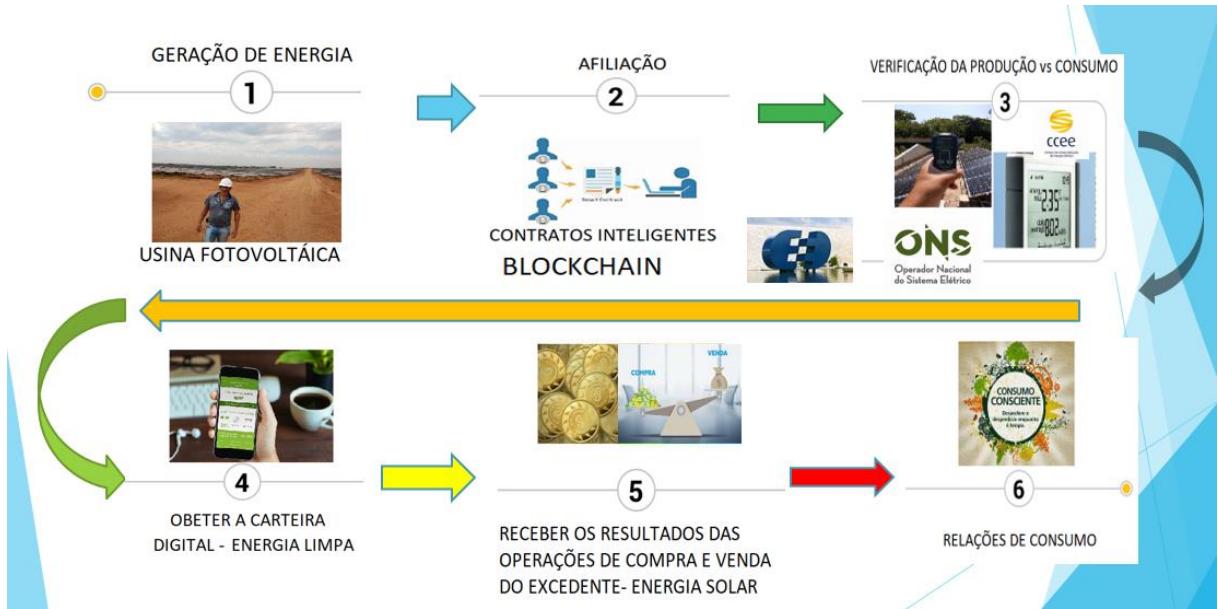
Figura 11: Fluxograma para utilização do Software Homer



Fonte: MELO, N. R. de; NOBREGA, R. V. T. de. Dimensionamento e simulação de uma microrede utilizando geração conjunta eólica/solar ForScience: \_revista científica do IFMG, Formiga, v. 5, n. 3, e00283, jul./Dez,2017.

Finalmente, para modelar o sistema digital integrado ao blockchain como sendo uma tecnologia nova, utilizaremos como referência o “White Paper”. Um White Paper ou, em português, "Livro branco" ou "Relatório Branco", é um documento oficial publicado por um governo ou uma organização internacional, a fim de servir de informe ou guia sobre alguns negócios ou para descrever uma política governamental da rede Pylon. A Figura 12, abaixo, ilustra como funcionam as transações Blockchain.

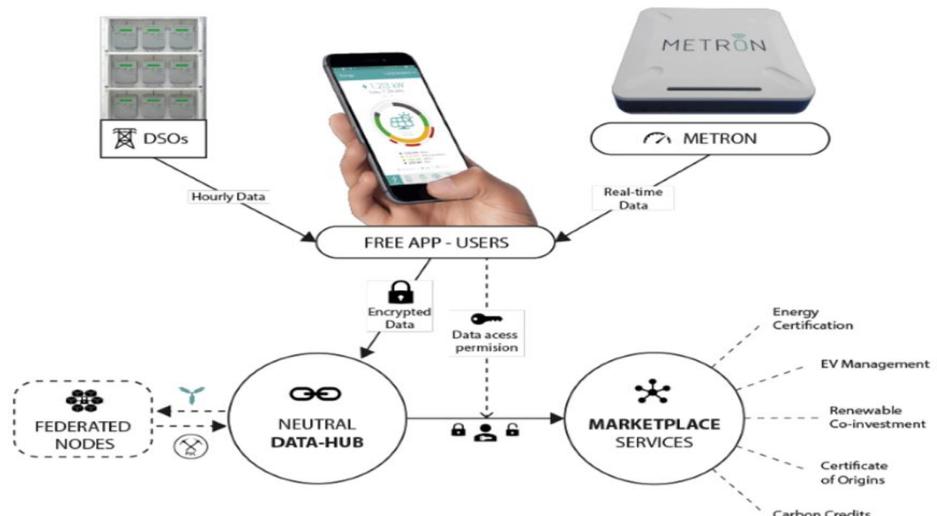
Figura 12: As transações Blockchain.



Fonte: Apresentação Monografia PECE-USP-2019

Na análise do relatório aberto da rede Pylon, entendemos que a proposta é de uma rede que forneça serviços, controle quanto à produção e consumo de energia e, consequentemente, a comercialização descentralizada do excedente, o que mostra que todo sistema pode ser adequado para operar em conjunto e com integração à rede da concessionária, tornando a uma rede inteligente, com investimentos modestos. A Figura 13 ilustra o ecossistema da Pylon, a motivação para este trabalho.

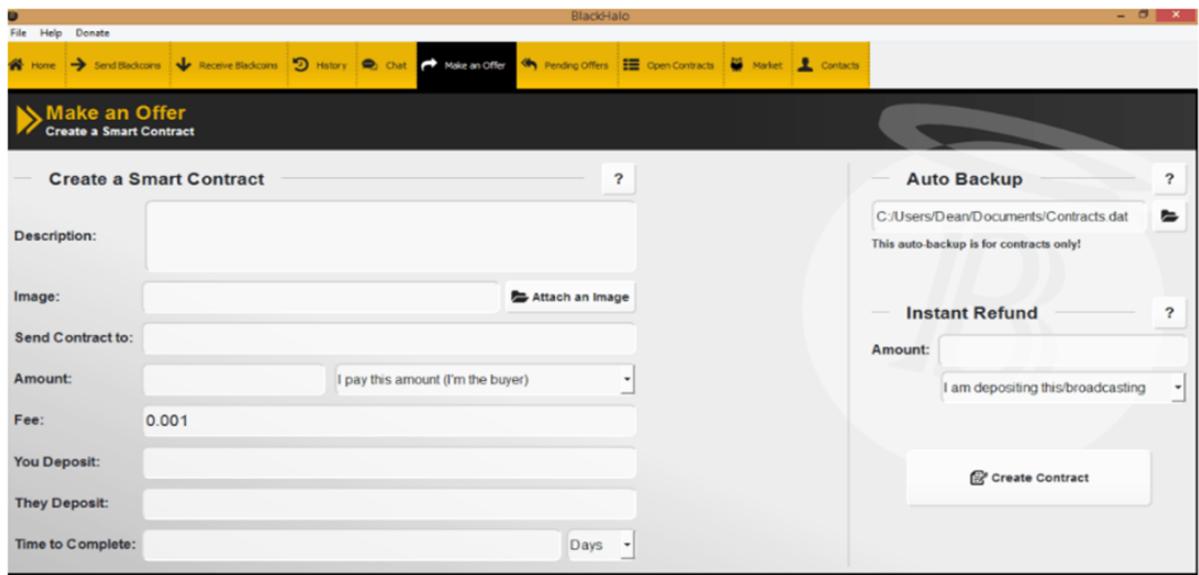
Figura 13: O ecossistema da Pylon.



Fonte: White Paper Pylon Networking

A base para o desenvolvimento da plataforma demandará de um estudo aprofundado. Entretanto, a tecnologia já disponibiliza recursos que utilizaremos para o desenvolvimento do projeto. Utilizaremos uma plataforma semelhante a essa mostrada na Figura 14, abaixo, para desenvolver os contratos inteligentes de comercialização de energia excedente.

Figura 14: Ilustração da plataforma para elaboração de Smartcontract.



- Exemplo de modelo de contrato inteligente do cliente BlackHalo.

Fonte: Guia Bitcoin.

A apuração dos resultados se dará logo após a instalação da microrede, porém, os estudos relacionados à produção e ao consumo de energia pelos usuários estarão sendo obtidos a partir do gerador fotovoltaico, que se encontra em funcionamento e será o estudo de caso real, que serve como sustentação e embasamento desse trabalho.

A seguir, iniciaremos a descrição de como foi desenvolvido o projeto a partir do curso de especialização do PECE-USP, 2018.

## 10 ESTUDO DE CASO REAL MICROGRID SOLAR EÓLICO

Nosso estudo de caso visa utilizar um condomínio horizontal na cidade Boituva, situada no interior do estado de São Paulo, Brasil, para o desenvolvimento e instalação do microgrid, com a inclusão do blockchain em uma rede inteligente. Localiza-se à latitude 23°17'00" sul e à longitude 47°40'20" oeste, estando a 637 metros de altitude. Possui área de 248,954 km<sup>2</sup> e sua população, conforme estimativas do IBGE de 2019, era de 60 997 habitantes.

Foto 1 - Vista panorâmica da área do microrede em Boituva



Neste estudo, pretende-se dimensionar um Gerador Fotovoltaico conectado à rede elétrica na região de Boituva (SP)  $\varphi = 23,17^\circ$ ;  $L=47,06$ , onde a energia consumida é:  $Erede=28\text{MWh/ano}$  e acorda-se injetar no grid 90% da produção no grid da concessionária: **Einj= 25,2MWh/ano.**

A energia média diária anual a ser injetada na rede é: **Einj = 70kWh/dia.**

Quando estamos projetando um GFV-Gerador Fotovoltaico para buscar a maior eficiência e rendimento do sistema, para que as fotocélulas possam captar os raios incidentes e para que eles incidam diretamente sobre os painéis, eles deverão ser instalados inclinados com orientação para o Norte. Com isso, podemos afirmar que as vantagens de respeitar o posicionamento correto dos painéis fotovoltaicos são muitas, dentre elas, podemos destacar a redução da quantidade de painéis por metro quadrado, com maior eficiência na geração de energia. Logo, se para garantir uma demanda de 3.000 watts, se os painéis forem instalados de

forma correta e respeitando-se o posicionamento correto, teremos que ter 10 painéis de 300 watts, reduzindo o custo do projeto em R\$/Wp.

Esse memorial descrito tem o objetivo de apresentar o projeto da usina fotovoltaica do condomínio Rancho dos Arcos, para análise de viabilidade da concessionária local CPFL-Piratininga.

## **Responsabilidades Técnicas**

As atividades de relatório de viabilidade técnica se deram em conformidade com a resolução CONFEA/CREA 1025, que delibera sobre as responsabilidades técnicas dos profissionais de engenharia em suas especialidades.

## **Observações Gerais**

As tecnologias propostas para as instalações elétricas devem estar de acordo com os Órgãos Normativos e/ou Normas e Regulamentações indicadas a seguir:

- NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão – Edição 2015;
- NBR 5419 – Proteção Aterrramento e SPDA;
- NBR 16149:2013 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição;
- NBR 16150:2013 – Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição – Procedimento de ensaio de conformidade;
- NBR IEC 62116:2012 – Procedimento de ensaio de anti-ilhamento para inversores de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.
- Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, nº 687,º 687, de 24 de novembro de 2015.

Será exigido o atendimento integral às Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego, conforme Portaria 3.214 de 08/06/1978.

- NR-6 – Equipamento de Proteção Individual;
- NR-10 – Instalações e Serviços de Eletricidade;
- NR-23 – Proteção Contra Incêndio;
- NR-26 – Sinalização de Segurança.

## Análises Preliminares

O condomínio Rancho dos Arcos - Boituva, tem uma área total de lotes de 209.765, 08m<sup>2</sup>. Sua entrada principal se localiza na Estr. Estadual Boituva - Tatuí (SP-129), possui **seis medidores**, que são apresentados na prancha, parte deste projeto.

Conforme poderá ser observado nas imagens a seguir, a entrada do condomínio é o local onde será instalada a estrutura para o sistema de geração de energia fotovoltaica, na primeira fase do projeto, a 30 metros de distância, o medidor:401112357-CPFL referente ao transformador instalado na Al. Das Primaveras 1, conforme a prancha (EncaminhamentoAC\_Medidores CPFL parte deste projeto).

Foto 2 - Medidores de Energia da CPFL próximos a entrada



## Relatório Fotográfico

- ❖ Fachada do condomínio: Antes da instalação

Foto 3 - Vista da entrada do condomínio



❖ Local de instalação do gerador Fotovoltaico

Foto 4 - Laje da entrada do condomínio - Módulos a instalar



Foto 5 - Laje da entrada do condomínio - Módulos instalados



Foto 6 - Subestação Fotovoltaica do condomínio



### **Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico**

A análise prévia do perfil de consumo consistiu na avaliação das contas de energia elétrica enviadas com o intuito de identificar oportunidades de redução do valor da fatura de energia, bem como para acompanhamento e gerenciamento mensal dos valores pagos por este insumo.

---

*Conforme a RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414 da ANEEL, Capítulo VI, Seção I, Art. 76. “O fator de potência da unidade consumidora, para fins de cobrança, deve ser verificado pela distribuidora por meio de medição permanente, de forma obrigatória para o grupo A.” (Redação dada pela REN ANEEL 569 de 23.07.2013).*

---

## Histórico do Consumo de Energia

Para iniciarmos qualquer projeto, é de suma importância o levantamento das condições atuais e, tratando-se de altos investimentos, todos os requisitos deverão ser levados em consideração, pois, como sabemos, estamos projetando um sistema de alta potência e todos os cuidados e normas vigentes deverão ser atendidos rigorosamente.

### Estudo do Perfil de Consumo

- TENSÃO NOMINAL (V) 220/127 – BT
- LIMITE MÁXIMO ADEQUADO (V) 126/252-BT

**Período analisado: fevereiro/ 17 a janeiro/2018**

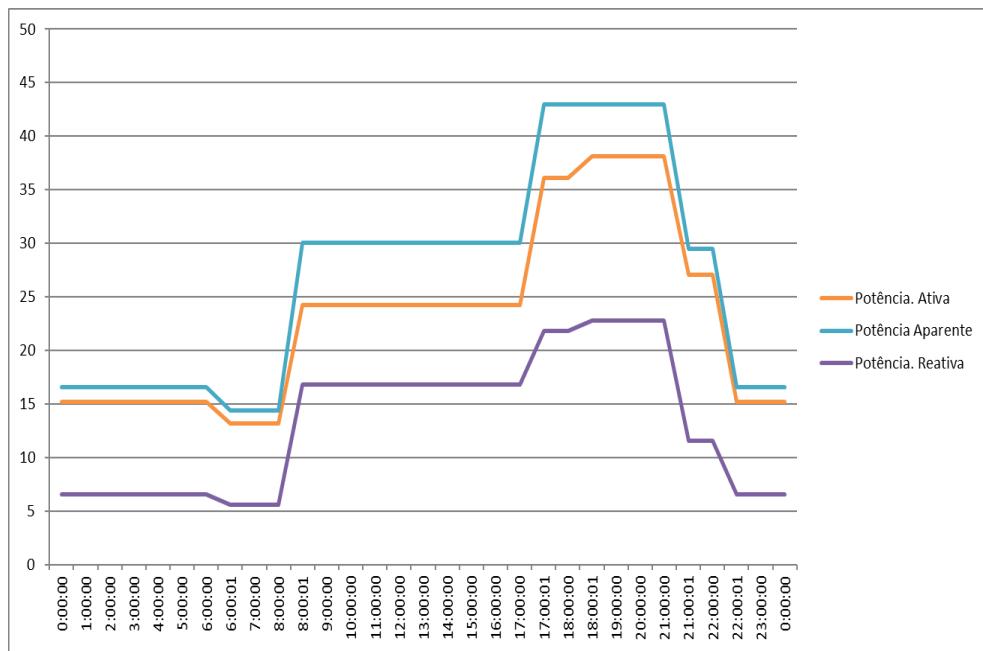
Tabela 3: Perfil de Consumo

TABELA DO PERFIL DA CARGA (SEM Motores )				
Trechos	Período de operação	Potência Ativa(MW)	Potência Aparente (MV)	Potência Reativa(MVar)
Cargas Operacionais	24h	13,2	14,35	5,624
Bombeamento d'água	8:00 à 21:00	11	15,71	11,22
Iluminação	18:00 à 6:00	2	2,22	0,96
Climatização	17:00 à 22:00	11,9	12,89	4,96
PERÍODOS DE CARREGAMENTO E OPERAÇÃO DA PLANTA				
Período 1	22:01 as 6:00	15,2	16,56782609	6,584
Período 2	6:01 as 8:00	13,2	14,34782609	5,624
Período 3	8:01 as 17:00	24,2	30,05782609	16,844
Período 4	17:01 as 18:00	36,1	42,94782609	21,804
Período 5	18:01 as 21:00	38,1	45,16782609	22,764
Período 6	21:01 as 22:00	27,1	29,45782609	11,544

Fonte: Estudo do Autor

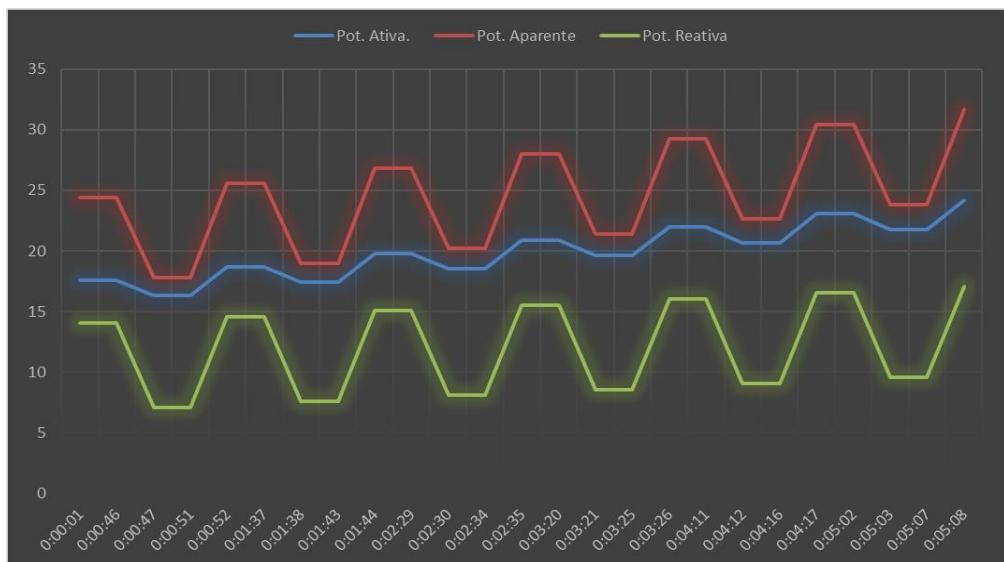
Abaixo, mostramos os gráficos de carregamento e do comportamento da carga do bombeamento d'água, respectivamente.

Gráfico 1: Carregamento



Fonte: Estudo do Autor. Obs.: Verificado no período de 2017 a 2018.

Gráfico 2: comportamento da carga do bombeamento d'água



Fonte: Resultado dos estudos do autor em campo.

A Energia a ser gerada pelo GFV-Gerador Fotovoltaico foi dimensionada com base nos dados do **CRESESB** e conforme a fonte **ATLAS BRASILEIRO**, o Altas Solarimétrico do Brasil e utilizando os métodos de cálculo descritos nas normas aplicáveis.

As instalações atenderão às seguintes condições (a serem executadas para cada "gerador solar", entendida como os conjuntos de módulos fotovoltaicos com o mesmo ângulo de

inclinação e a mesma orientação): na fase inicial do sistema fotovoltaico, a relação entre a energia ou a potência da carga em corrente alternada e a energia ou a potência gerada em corrente continua (determinada em função da radiação solar incidente sobre o plano de um dos módulos, da potência nominal do sistema e a temperatura de funcionamento dos módulos).

Não são admitidos conjuntos de módulos em paralelos diferentes uns aos outros para exposição da marca, modelo ou números de módulos utilizados. Cada módulo será equipado com dióodos de by-pass em conformidade com as especificações técnicas do fabricante, de acordo com a **GD-1503-CPFL**.

### **Descrição do Sistema**

O sistema fotovoltaico projetado será composto de gerador fotovoltaicos, compostos de n°60 módulos fotovoltaicos, Springs boxer e n° 1 inversores.

A potência nominal total será de 19kWp para uma produção estimada de 28 MWh por ano, distribuídos em uma área de aproximadamente 116,96 m<sup>2</sup>. Modalidade de conexão à rede de alimentação Baixa Tensão em Trifásico com tensão fornecimento 220/127 V em conformidade com a disponibilidade técnica da distribuidora CPFL.

Todos equipamentos dimensionados para o projeto obedecem às especificações técnicas dos fabricantes, nos reservamos no direito de alterar a marca, cor ou fabricante, dependendo da disponibilidade e avaliações de viabilidade por parte da concessionária local.

O sistema reduz a emissão de poluentes na atmosfera, de acordo com seguinte tabela abaixo (valores anuais):

Tabela 4: Emissão de Poluentes

<b>Produção Termo Elétrica Equivalente</b>	
Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	8,71 kg
Óxidos de Nitrogênio (NO <sub>x</sub> )	10,97 kg
Poeiras	0,39 kg
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	6,49 t

<b>Equivalente de energia geotérmica</b>	
Sulfeto de Hidrogênio (H <sub>2</sub> S) (fluído geotérmico)	0,38 kg
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	0,07 t
Tonelada equivalente de Petróleo (TEP)	3,11 TEP

Fonte: Abesco

### Dimensionamento do Sistema

O projeto foi dimensionado conforme o memorial de cálculos para um GFV conectado à rede elétrica na região de Boituva (SP), da distribuidora da CPFL.

- **Estação:** Boituva
- **Município:** Boituva, SP - BRASIL
- **Latitude:** 23,301° S
- **Longitude:** 47,649° O
- **Distância do ponto de ref. (23,295905° S; 47,679865° O):** 3,2 km

A energia media consumida pela unidade Amor Perfeito é de **E. rede= 28 MWh** em média, por ano, acorda-se a injetar no grid 90% desta geração: **E\_ inj= 25,2 MWh/ano.**

- Energia **média diária anual** a ser injetada na rede: **E. rede = 69 kWh/dia.**

Tabela 5: Irradiação Solar no Plano Inclinado

#### Cálculo no Plano Inclinado

**Estação:** Boituva

**Município:** Boituva , SP - BRASIL

**Latitude:** 23,301° S

**Longitude:** 47,649° O

**Distância do ponto de ref.** (23,295905° S; 47,679865° O) :3,2 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]													
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,59	5,81	5,10	4,53	3,69	3,42	3,54	4,53	4,70	5,28	5,72	6,12	4,84	2,70
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	23° N	5,07	5,55	5,26	5,16	4,58	4,47	4,52	5,40	5,02	5,16	5,25	5,45	5,07	1,09
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	21° N	5,13	5,60	5,27	5,13	4,52	4,40	4,46	5,35	5,02	5,20	5,31	5,53	5,08	1,20
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	32° N	4,72	5,28	5,15	5,24	4,77	4,73	4,75	5,56	4,99	4,96	4,91	5,04	5,01	,83

Irradiação Solar no Plano Inclinado -Boituva-Boituva, SP-BRASIL

23.301° S: 47.649° O

Fonte: Estudo do Autor

**Inclinação escolhida para Boituva: 23° N maior média anual 5,07 kWh/m<sup>2</sup>dia.**

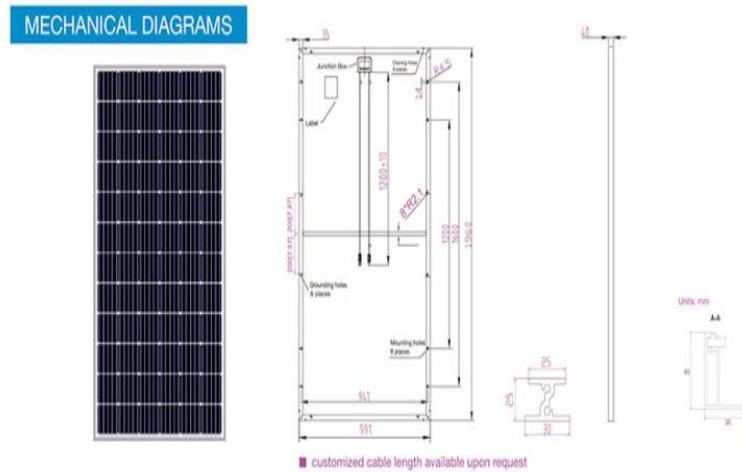
Adotando-se um rendimento para o inversor de corrente  $\eta_{inv} = 95\%$  a energia média diária a ser produzida pelo GFV serão, EGFV. KWh/dia:

#### Especificação do Gerador Fotovoltaico

- Rendimento do inversor  $\eta_{inv} = 0,95$  (**max 0,98**)
- Energia fornecida ao inversor EGFV= Erede/ $\eta_{inv}$  = 69/0,95 = **72kWh/dia**
- Perdas do Sistema=(Erede/0,95) -Ereden=72-69= **3,67KWh/dia**

Painel escolhido: **Painel Monocristalino da JA PERCIUM-JAM72S01-360PR.**

Figura 15: Esquema do Painel



Fonte: Datasheet Fabricante JÁ

Tabela 6: Especificações do Painel

SPECIFICATIONS		OPERATING CONDITIONS	
Cell	Quasi-Full Square Mono 156.75x156.75mm	Maximum System Voltage	1000V DC (IEC)
Weight	23kg±3%	Operating Temperature	-40°C→+85°C
Dimensions	1960×991×40mm	Maximum Series Fuse	20A
Cable Cross Section Size	4mm <sup>2</sup>	Maximum Static Load, Front	5400Pa
No. of cells	72 (6×12)	Maximum Static Load, Back	2400Pa
Junction Box	IP67, 3 diodes	NOCT	45±2°C
Connector	MC4 Compatible	Application Class	Class A
Packaging Configuration	27 Per Pallet		

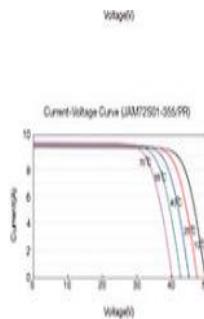
ELECTRICAL PARAMETERS AT STC					CHARACTERISTICS	
TYPE	JAM72S01 -340/PR	JAM72S01 -345/PR	JAM72S01 -350/PR	JAM72S01 -355/PR	JAM72S01 -360/PR	
Rated Maximum Power (Pmax) [W]	340	345	350	355	360	
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	46.86	47.05	47.24	47.45	47.66	
Maximum Power Voltage (Vmpp) [V]	38.18	38.39	38.58	38.76	38.96	
Short Circuit Current (Isc) [A]	9.46	9.54	9.61	9.69	9.78	
Maximum Power Current (Impp) [A]	8.91	8.99	9.07	9.16	9.24	
Module Efficiency [%]	17.50	17.76	18.02	18.28	18.53	
Power Tolerance	-0→+5W					
Temperature Coefficient of Isc ( $\alpha_{Isc}$ )	+0.060%/°C					
Temperature Coefficient of Voc ( $\beta_{Voc}$ )	-0.300%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax ( $\gamma_{Pmp}$ )	-0.390%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25°C, AM 1.5G					

Tabela 6 - Especificações do Painel - continuação

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT					
TYPE	JAM72S01 -340/PR	JAM72S01 -345/PR	JAM72S01 -350/PR	JAM72S01 -355/PR	JAM72S01 -360/PR
Max Power (Pmax) [W]	250	254	257	261	265
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	43,28	43,52	43,68	43,88	44,10
Max Power Voltage (VmP) [V]	35,25	35,51	35,78	35,81	36,03
Short Circuit Current (Isc) [A]	7,48	7,54	7,61	7,68	7,74
Max Power Current (Imp) [A]	7,09	7,14	7,19	7,29	7,34
NOCT	Irradiance 800W/m <sup>2</sup> , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM 1,5G				

Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.

Global\_EN\_2017061



Fonte: Datasheet Fabricante JA

Tabela 7: Dados Climáticos de temperatura ambiente ao longo do ano em Boituva-SP

Mês	Dados climatológicos para Boituva												[Esconder]
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Temperatura máxima média (°C)	27,4	27,1	26,8	25,3	23,2	21,9	21,9	22,9	24,0	25,0	26,2	27,2	19,3
Temperatura mínima média (°C)	18,1	17,2	16,5	14,5	11,7	10,2	9,5	10,6	12,3	14,1	15,3	17,2	13,8
Precipitação (mm)	205	178	133	56	47	40	34	29	56	114	107	169	1 168

Fonte: [\[1\] CLIMATE-DATA](#)

Fonte: Estudo do Autor

A estimativa é: número de Painéis FV pelo modelo HSP – Horas de Sol Pleno EGFV energia diária **média anual**, com o fornecimento de **72 kWh/dia** pelo gerador fotovoltaico.

HT [kWh/m<sup>2</sup>dia] energia solar incidente no plano do coletor ( $\beta=23^\circ$  N)

horas de Sol Pleno média diária anual = 5,07 h

**(HSP) média diária anual= 5,07 kWh/m<sup>2</sup> dia**

Cálculo da Temperatura de Operação da Célula do Painel Fotovoltaico:

$$TC = Ta + (GT/ 800) * (TNOC - 20) 0,9$$

Painel escolhido: **Painel Monocristalino da JA PERCIUM-JAM72S01-360PR**

### **TC [°C] temperatura da célula**

- Tamax [°C] temperatura ambiente média anual máxima = 19,3°C
- TNOC [°C] temperatura nominal de operação da célula=45°C
- GT [W/m<sup>2</sup>] radiação solar média no plano de célula = 1000 W/m

$$TC = 19,3 + (1000/800) \times (45-20) \times 0,9 = 19,3 + (1,25 \times 25 \times 0,9) = 19,03+28,12 \text{ °C}$$

$$TC = 47,2 \text{ °C} < Tmax = 85 \text{ °C}$$

**TC = 47,2 °C**

### **Cálculo da Potência de Pico do Painel Fotovoltaico**

$$PMP = PMP^\circ * ((GT / Gref) * (1 + \gamma_{mp} * (TC - Tcref))).$$

### **Painel Monocristalino da JA PERCIUM-JAM72S01-360PR**

$$TC [°C] \text{ temperatura da célula} = 47,2 \text{ °C}$$

$$Tcref [°C] \text{ temperatura da célula nas condições STC} = 25 \text{ °C}$$

$$GT [W/m^2] \text{ radiação solar média no plano de célula} = 1000 \text{ W/m}^2$$

$$Gref [W/m^2] \text{ radiação solar nas condições STC} = 1000 \text{ W/m}^2$$

$$\gamma_{mp} [\text{°C}^{-1}] \text{ coeficiente de temperatura para potência máxima} = -0,0039 \text{ °C}^{-1}$$

$$P^{\circ}MP [W] \text{ Potência nominal do Painel Fotovoltaico} = 360 \text{ W}$$

### **PMP [W] Potência do Painel Fotovoltaico**

$$PMP = 360 \times (1000/1000) \times [1 - 0,0039 \times (47,2 - 25)] = 360 \times 0,91$$

**PMP = 328,83W**

EGFV energia diária média anual que o gerador fotovoltaico fornecerá:

**69,5 kWh/dia**

HT [kWh/m<sup>2</sup>dia] energia solar incidente no plano do coletor ( $\beta=23^\circ \text{ N}$ )

horas de Sol Pleno média diária anual = 5,08 h

**(HSP) média diária anual= 5,08 kWh/m<sup>2</sup> dia**

TC [°C] = 47,2 °C;

Tamax [°C] = 27,4°C; - janeiro.

GT= 1000W/m<sup>2</sup>;

**PMP = 328,83W**

N= número de painéis fotovoltaicos que compõe o gerador (TD) adimensional, taxa de desempenho do gerador, recomendado no Brasil 0,7 a 0,8. (TD) = 0,73

$$\eta_{SPMP} = 0,99$$

$$EGFV = \eta S * PMP * PFV (HSP) * N * (TD)$$

$$72000 [Wh] = 0,99 \times 328,83[W] \times 5,08 [h] \times N \times 0,73$$

$$72000Wh=1.207,12*N$$

$$N=72000/1.207,12$$

N = 59,65 painéis -> **60 Módulos Fotovoltaicos**

### **Dimensionamento do Inversor**

O sistema de conversão é composto por um conjunto de conversores estáticos (inversores). O conversor CC/CA utiliza um sistema idôneo de transferência de potência a rede de distribuição, em conformidade aos requisitos técnicos e normas de segurança. Os valores de tensão e corrente do dispositivo de entrada são compatíveis com o sistema fotovoltaico, enquanto os valores de saída são compatíveis com os valores da rede ao qual está conectado ao sistema.

Modelo de inversor dimensionado.

### **PºGFV potência nominal do gerador fotovoltaico**

- PºMP = 360W;
  - N=60P
  - PºGFV = PºMP x N = 360x 60= 19565 W= 19,5KWP
  - Supondo um FDI > 0,6 teríamos um PºINV > 19565 x 0,6 = 11739 W
- FDI = PºINV / PºGFV**

$$FDI = 15000/19500 = 0,77$$

**Temos: 0,6 < FDI < 0,9, o inversor poderá atender o projeto.**

**Inversor Proposto: Fronius Symo 15.0-3 208-240-15KW.**

Figura 16: Modelo de inversor de potência fotovoltaica



Fonte: Manual do Fabricante Fronius

Tabela 8: Especificação Técnica do Inversor - Entrada

Number of MPPT	1,0
Recommended PV Power (kWp)	12,0 - 19,5 kWp
Max. usable input current	50,0 A
Max. usable input current total (MPPT1 + MPPT2)	50,0 A
Max. array short circuit current ( $1.5 * I_{max}$ )	75,0 A
Nominal input voltage	325,0 V
Operating voltage range	325 - 1000 V
MPP Voltage Range	325 - 850 V
Max. input voltage	1000,0 V
Integrated DC string fuse holders	6- and 6+

Fonte: Manual do Fabricante Fronius

Tabela 9: Especificação Técnica do Inversor - Saída

Max. output power 208 V	15000 VA
Output configuration	3~ NPE 208/220 V
Frequency range	45 - 65 Hz
Nominal operating frequency	60,0 Hz
Total harmonic distortion	< 3,5 %
Power factor range	0 - 1 ind./cap.
Max continuous output current 480 V	NA
Max. continuous output current 240 V	NA
Max. continuous output current 208 V	41,6 A
OCPD/AC breaker size 480 V	NA
OCPD/AC breaker size 240 V	NA
OCPD/AC breaker size 208 V	60 A
Max. efficiency	97,3 %
CEC efficiency 480 V	NA
CEC efficiency 240 V	NA
CEC efficiency 208 V	96,5 %

Fonte: Manual do Fabricante Fronius

### Dimensionamento e configurações dos Arranjos (Strings).

Ações preliminares para Conexão dos Painéis Fotovoltaicos com o Inversor CC-CA.

#### Temperaturas-ambiente médias extremas na localidade

**Máxima:**  $T_{\max} = 24,4^{\circ}\text{C}$  em janeiro

**Mínima:**  $T_{\min} = 9,5^{\circ}\text{C}$  em julho

#### Temperaturas projetadas para os painéis fotovoltaicos

$$TC = Ta + (GT/800) * (TNOCT - 20) 0,9$$

**Para o PV escolhido:  $TNOCT = 45^{\circ}\text{C}$**

$$T_{\text{cmax}} = 24,4 + (1000/800) \times (45-20) \times 0,9 = 24,4 + 28,1 = 52,5^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{cmin}} = 9,5 + (1000/800) \times (45-20) \times 0,9 = 9,5 + 28,1 = 37,6^{\circ}\text{C}$$

## Tensão (VMP) na máxima potência nas condições de temperatura acima projetadas

Para o painel escolhido:  $V_{mp} = \gamma V_{oc} = -0,0038 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  temos:

$$V_{mp} = V_{mp}^\circ (1 + \gamma p_{mp}(T_C - T_C^\circ))$$

$$V_{mp\min} = 38,18 \times (1 - 0,0039 \times (52,5 - 25)) = 38,18 \times 0,891275 = 34,08 \text{ V}$$

$$V_{mp\max} = 38,18 \times (1 - 0,0039 \times (9,5 - 25)) = 38,18 \times 1,06045 = 40,0 \text{ V}$$

## Determinar números de PV-Painéis Fotovoltaico por arranjo (Fileira)

### Determinação de Número de painéis em série

**325 V<sub>pmin</sub> < N\_série x V<sub>mpmin</sub> ou N\_série > 325/34,08 ou N\_série > 9,50V<sub>cc</sub>**

N\_série x V<sub>mpmax</sub> < 850V<sub>pmax</sub> ou N\_série < 850/40 ou N\_série < 21

**9,5 < N < 21**

Temos que instalar **60 PV** para um inversor com 1 entradas (MPPT), seria 60 PV a entrada maior que 21máximo

### Cálculo do Número de strings (fileiras) em paralelo para a entrada.

Para cada entrada verificar a possibilidade de strings em paralelo.

$$I_{sc} = I_{sc}^\circ (1 + Y_{sc}(T_C - T_C^\circ))$$

$$I_{sc\max} = 7,74 \times (1 + 0,0060 \times (47,2 \text{ } ^\circ\text{C} - 25)) = 7,74 \times 1,1332 = 8,77 \text{ A}$$

**N// x I<sub>scmax</sub> < I<sub>maxstring</sub> ; (I<sub>maxstring</sub>= 50A) então N// < 50A/8,77A ou N// < 5,77A.**

### Verificação tensões circuito aberto, tem objetivo de avaliar os limites de tensão e quantidades de painéis por string. (Arranjo)

$$V_{oc} = V_{oc}^\circ (1 + \gamma_{oc}(T_c - T_c^\circ))$$

$$V_{oc\min} = 47,66 \times (1 - 0,0039 (47,2 \text{ } ^\circ\text{C} - 25)) = 47,66 \times 0,9134 = 43,53 \text{ V};$$

$$V_{oc\max} = 47,66 \times (1 - 0,0039 (9,5 - 25)) = 47,66 \times 1,06045 = 50,54 \text{ V}$$

String com 15 painéis série 15 x 50,54 = 758,11 V [máximo] < 1000V

String com 15 painéis série 15 x 43,53 = 652,9 V [mínimo]

## Tensões do SMPT- (MPPT)

$$V_{mp\min} = 38,18 \times (1 - 0,0039 \times (52,5-25)) = 38,18 \times 0,891275 = 34,08 \text{ V} - \mathbf{15PV-511 \text{ V.D.C.}}$$

$$V_{mp\max} = 38,18 \times (1 - 0,0039 \times (9,5-25)) = 38,18 \times 1,06045 = 40,0 \text{ V} - \mathbf{15PV-600 \text{ V. D.C.}}$$

### 1. Configurações das strings.

**Configuração de String Típico: 9 < N < 21; N // < 6; 60PFV / 1 ST = 60**

**Proposta por string: 4 conjuntos em paralelo com 15 painéis FV em série**

STRING A-1,2 :2 conjuntos // de 15 PFV em série (total 30pFV)

STRING B-3,4 :2 conjuntos // de 15 PFV em série (total 30pFV)

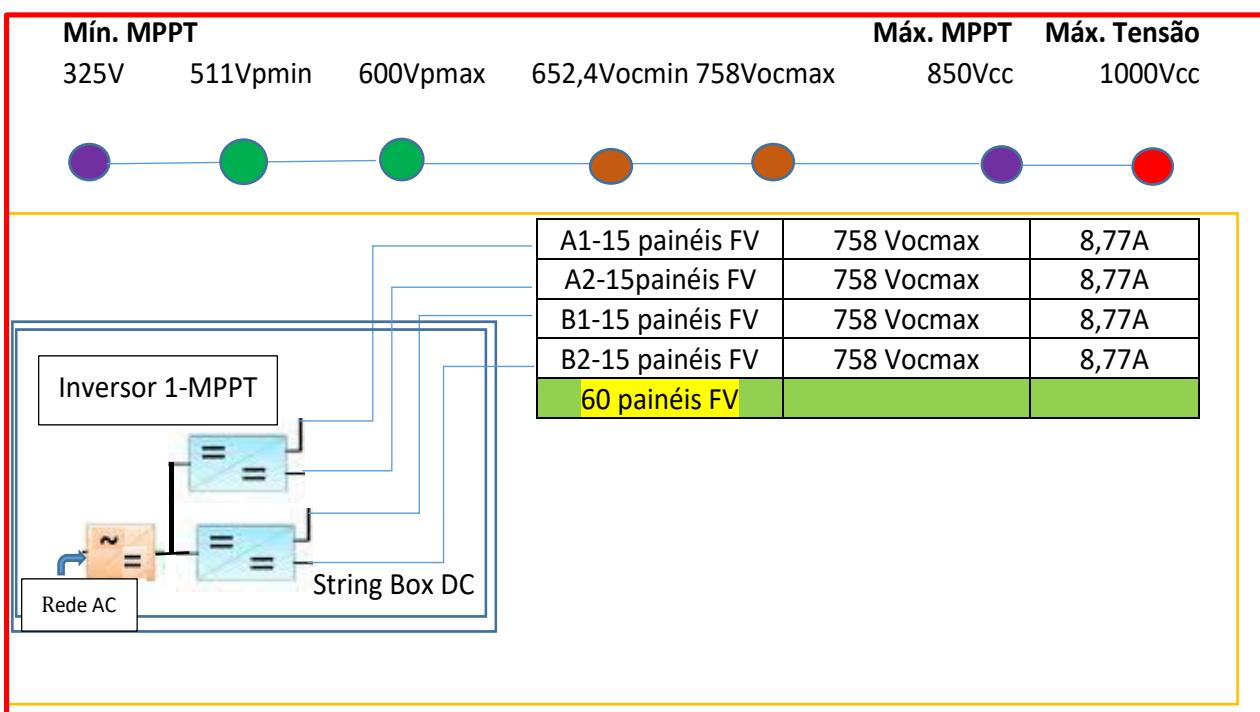
Total-----→ 60 painéis

**PKWp=0,99x60x328,45W=19506,96Wp ---19,5Kwp**

**FDI operacional = 0,77**

**IN strings totais = 35,08 A**

Figura 17: Configurações das strings



Fonte: Diagrama do sistema elaborado pelo autor

## Dimensionamento da Área total para instalações dos módulos

Primeiramente, foi calculada a área de um módulo. De acordo com as especificações do fabricante, as dimensões do módulo são 1960×991mm.

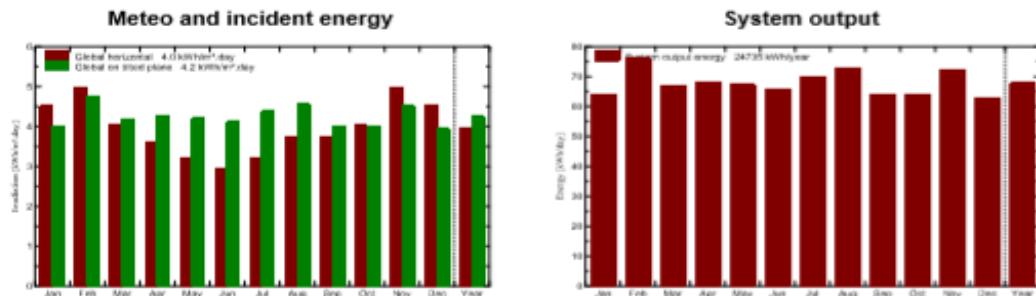
Portanto, a área ocupada pelos módulos será:  $1960 \times 991 \text{ mm} = (1942,36 \text{ m}^2) * 60 = 116,5 \text{ m}^2$

## Levantamento da Radiação Solar

A avaliação do recurso solar disponível foi realizada de acordo com a fonte ATLAS BRASILEIRO e o Atlas Solarimétrico do Brasil, tendo como referência o local com os dados históricos e de radiação solar nas imediações de Boituva-SP.

Gráfico 3: Características da Radiação Solar

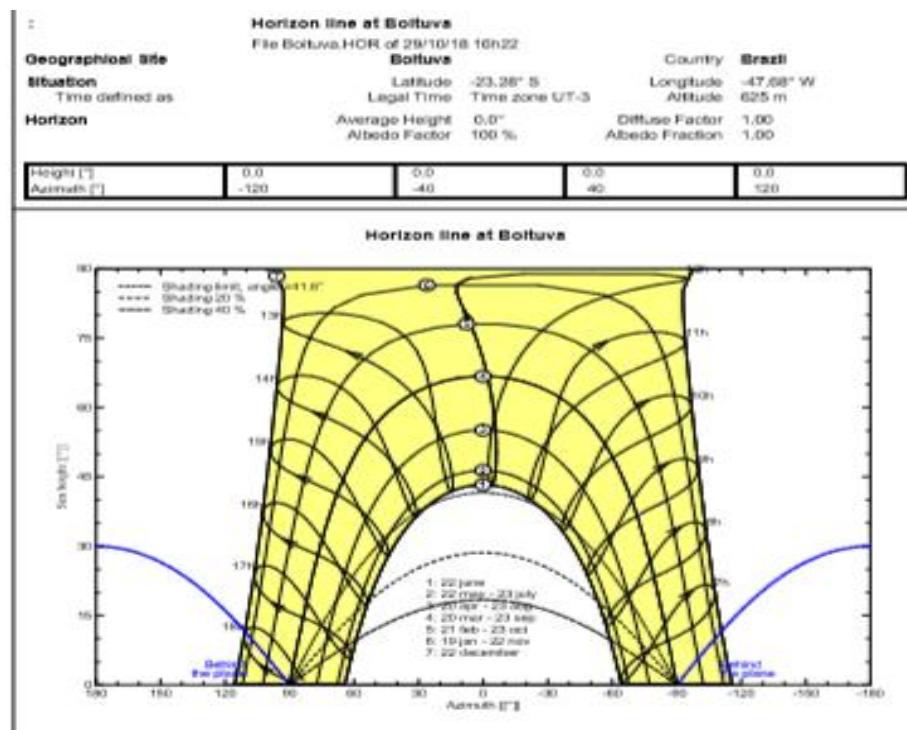
System characteristics and pre-sizing evaluation					
PV-field nominal power (STC)		P <sub>nom</sub>	19.0 kWp		
Collector area		A <sub>coll</sub>	119 m <sup>2</sup>		
Annual energy yield		E <sub>year</sub>	24.7 MWh		
Economic gross evaluation		Investment	145587 Real	Specific yield	1302 kWh/kWp
				Energy price	0.60 Real/kWh



	Gl. horiz. kWh/m <sup>2</sup> .day	Coll. Plane kWh/m <sup>2</sup> .day	System output kWh/day	System output kWh
Jan.	4.51	4.00	63.88	1980
Feb.	4.99	4.77	76.12	2131
Mar.	4.05	4.20	67.03	2078
Apr.	3.60	4.26	68.09	2043
May	3.19	4.21	67.25	2085
June	2.95	4.11	65.66	1970
July	3.21	4.38	69.92	2168
Aug.	3.71	4.57	72.92	2261
Sep.	3.74	4.01	64.10	1923
Oct.	4.03	4.00	63.87	1980
Nov.	4.99	4.52	72.15	2164
Dec.	4.54	3.95	63.00	1953
Year	3.95	4.24	67.77	24735

Fonte: Análise do sombreamento do local PV -software PV Syst.

Figura 18: Curva do sombreamento na localidade



Fonte: PV Syst.

### Dimensionamento de condutores

O cabeamento elétrico será feito por meio de cabos condutores isolados que serão lançados em infraestrutura a ser construída com eletrodutos para encaminhamento da base dos arranjos ao quadro de distribuição (QGBT), conforme a descrição abaixo:

Seção do condutor de cobre calculado de acordo com a norma IEC / NBR

Cabo tipo FG21, se a passagem de cabos for externa ou FG27 se a instalação for subterrânea.

Tipo N07V-k se a instalação for dutos em edifícios.

Os cabos também estarão de acordo com as normas IEC, com código e cores conforme a norma UNEL / NBR.

- **Cabos de proteção:** Amarelo-Verde (Obrigatório)
- **Cabos de neutro:** Azul claro (Obrigatório)
- **Cabos de fase:** Preto
- **Cabos de circuito C.C:** Com indicação específica de (+) vermelho, para positivo e (-) preto para negativo.

Utilizando o critério da Queda de Tensão em conformidade com a NBR5410 para dimensionamento do condutor em corrente contínua, tem-se:

Tabela 10: Cálculos de condutores DC

Calculo de Queda de tensão		REDE DE COBRE		
9	Amperes	40	tensão	4
fio	ampères	sistema monofásico		sistema trifásico
		metros		metros
1	12	5		6
1,5	15,5	8		9
2,5	21	13		15
4	28	20		24
6	36	31		35
10	50	51		59
16	68	77		91
25	89	119		140
35	111	162		187
50	134	214		247
70	171	291		335
95	207	378		434
120	239	456		523
150	272	523		593
185	310	593		684

entrada de dados		Sistema MONOFASICO	Sistema TRIFASICO
I (ampères)	9	Queda % 1,32	Queda % 1,14
L (distancia)	25	queda = ( I.L.2 ) / ( 57.S )	queda = ( I.L.V3 ) / ( 57.S )
Fio (mm <sup>2</sup> )	6	seção mm <sup>2</sup> 6,32	seção mm <sup>2</sup> 5,46
Q (queda)	1,25	seção = ( I.L.2 ) / ( 57.Q )	seção = ( I.L.V3 ) / ( 57.Q )

Fonte: Estudo do Autor

Pelo critério da capacidade de condução tem-se que os condutores a serem utilizados na Minigeração para tensão alternada são:

Tabela 11: Cálculos de condutores AC

Calculo de Queda de tensão		REDE DE COBRE			
40	Amperes	220	tensão	4	queda max %
		sistema monofasico		sistema trifasico	
fio	amperes	metros		metros	
1	12	-		-	
1,5	15,5	-		-	
2,5	21	-		-	
4	28	-		-	
6	36	-		-	
10	50	63		73	
16	68	96		113	
25	89	147		173	
35	111	200		232	
50	134	265		306	
70	171	361		415	
95	207	468		537	
120	239	564		647	
150	272	647		733	
185	310	733		846	

entrada de dados		Sistema MONOFASICO		Sistema TRIFASICO	
I (amperes)	40	Queda %	4,21	Queda %	3,64
L (distancia)	30	queda = ( I.L.2 ) / ( 57.S )		queda = ( I.L.V3 ) / ( 57.S )	
Fio (mm <sup>2</sup> )	10	seção mm <sup>2</sup>	30,08	seção mm <sup>2</sup>	26,02
Q (queda)	1,4	seção = ( I.L.2 ) / ( 57.Q )		seção = ( I.L.V3 ) / ( 57.Q )	

Fonte: Estudo do Autor

### Cabo solar 6mm<sup>2</sup> Preto 1kV Flexível - Condutor estanhado

- ❖ Cabo desenvolvido especialmente para instalações fotovoltaicas.
- ❖ Resistente a raios UV e Resistente as mudanças de temperatura.
- ❖ Temperatura máxima do condutor: +120°C
- ❖ Resistência aos raios UV 720h
- ❖ Performance contrafogo: Não propagante a chama, conforme EN 60332-1-2
- ❖ Emissão de gases Halogênicos: EN50525-1

Tabela 12: Especificações do Condutor

Bitola do cabo	6mm <sup>2</sup>	* Instalação ao ar livre sem sol			
Material do condutor	Cobre estanhado				
Diâmetro externo (mm)	6,5	Temperatura do Condutor	90°C	120°C	
Peso (kg/km)	81	Temperatura Ambiente	30°C	40°C	50°C
material	Materiais reticulados por feixe de elétrons	Condução de Corrente (A)	68	61	71
Corrente (A)	48 ~ 53 Variando com a temperatura *		65		
Cor do cabo	Vermelho				
Número de condutores	1				
Rcc máx a 20C (ohm/km)	3,39				

Fonte: Especificações do Fabricante do condutor

## **Dimensionamento de Quadros QDCC e QDCA.**

### **Quadro de campo em corrente contínua**

Foi instalado um quadro de CC em cada conversor para conexões em paralelo dos módulos, medições e controle dos dados de entrada e saída em cada gerador fotovoltaico.

### **Quadro de paralelo em corrente alternada**

Será prevista a instalação de um quadro em alternada localizado depois dos conversores estáticos, para realização da medição e controle dos dados de saída do inversor. Dentro será adicionado o sistema de interface com a rede e o medidor da concessionaria distribuidora CPFL.

### **Aterramento conforme ABNT-NBR-5419 e NBR-5410.**

Todas as estruturas metálicas, que não tem finalidade de conduzir corrente, deverão ser aterradas conforme NBR 5410/NBR5419. Todos os pontos de terra deverão estar equalizados.

### **Malha de Aterramento**

A malha de terra projetada será destinada ao aterramento dos inversores, que fará a entrega de energia dos painéis fotovoltaicos à UC. As hastes de terra vertical serão do tipo Copperweld com dimensão de 2,40m x 5/8'. O condutor para este aterramento será um cabo flex. Verde de 4mm<sup>2</sup> em conformidade com a **NBR-5419**.

### **Etapas de execução do projeto:**

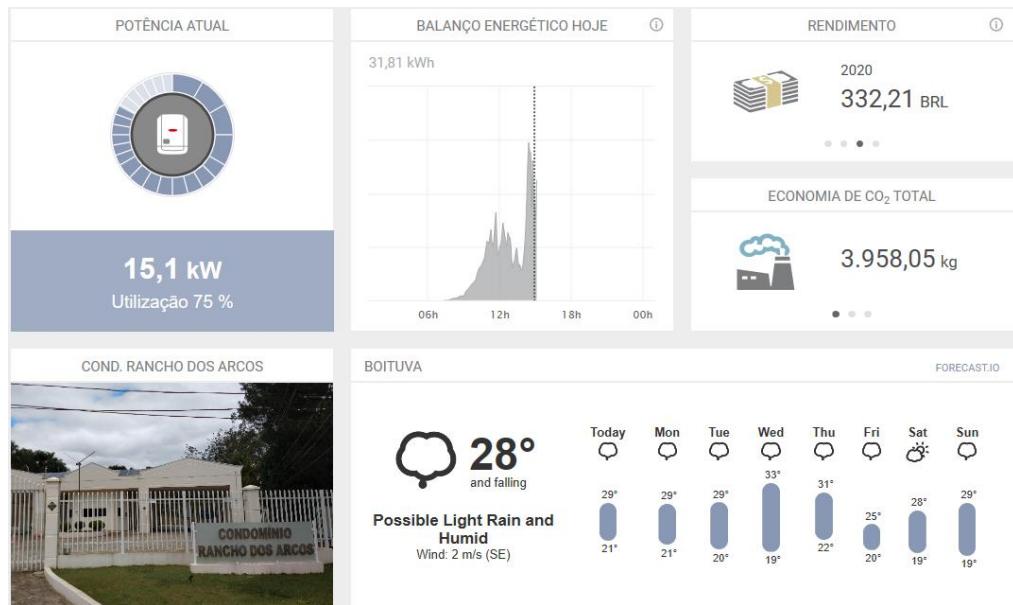
Foi realizado a adequação da entrada de energia para padrão trifásico com a substituição do transformador da concessionaria, após o medidor, com a instalação do quadro geral, existente e orientação dos condutores Neutro e Terra para o quadro QDF (a instalar), conforme indicado no projeto.

Foi realizada a instalação do quadro QDF (a instalar), recebendo a alimentação da do inversor CC/CA a ser injetada na rede da concessionária em baixa tensão conforme resolução ANELL 482/12 e 687/15 **GD 1503requisito da CPFL**.

Após a instalação concluída, realizamos o Comissionamento da usina de Geração Fotovoltaica os a execução dos testes de seccionamento mandatórios.

Até o momento da finalização dessa monografia o gerador fotovoltaico encontra-se em produção e monitorado 24horas, como mostrado abaixo:

Figura 19: Monitoração online do Gerador Rancho dos Arcos



Fonte: Solar web Fronius.

Finalizado a montagem do gerador fotovoltaico, agora no final de 2019, nossa proposta é, a partir do segundo semestre, iniciar o projeto do gerador Eólico, pois o empreendimento necessitará do investimento de recursos estão sendo obtidos da produção de energia injetada no grid da CPFL e da distribuição da água potável.

### Dimensionamento do Gerador Eólico

Como no sistema fotovoltaico, para o dimensionamento do gerador eólico foram usadas as informações do CRESES e, como não tínhamos todos os instrumentos necessários para fazer o levantamento em campo, como realizado no projeto do GFV, utilizamos o software HOMER, que é uma plataforma de simulação para sistemas de microredes, com a finalidade de definir o aerogerador, que será a segunda fonte de energia na manutenção do armazenamento de energia do banco de baterias de resiliência do sistema.

Com o dimensionamento, partindo de uma simulação computacional, os resultados obtidos serão posteriormente aferidos em campo e será redigido um adendo a esse trabalho.

O Objetivo será, durante a execução desse projeto, comparar os resultados do aerogerador do microgrid com os resultados do gerador instalado no IEE- Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para se obter uma referência operacional.

A velocidade média trimestral do vento para a cidade de Boituva-SP a uma altura de 50 m. A fim de garantir que haja energia disponível também nos meses de menor recurso, a velocidade média utilizada nos cálculos foi de 5,9 m/s, valor registrado nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, conforme CRESESB.

Tabela 13: Levantamento da velocidade do vento para Boituva nas coordenadas do condomínio

Coordenada Geográfica						
Latitude	Longitude					
23.17	Sul	47.4	Oeste			
Dados de Vento						
<b>Latitude:</b> 23,17° S <b>Longitude:</b> 47,4° O						
Atlas do Potencial Eólico Brasileiro		Dados de vento a 50 m de Altura				
Grandeza	Unidade	Dez-Fev	Mar-Mai	Jun-Ago	Set-Nov	Anual
velocidade média do vento	m/s	4,55	5,96	6,45	6,84	5,95
fator c		5,14	6,73	7,27	7,72	6,72
fator k		2,23	2,26	2,47	2,2	2,17
densidade de potência	W/m <sup>2</sup>	100	221	262	342	231

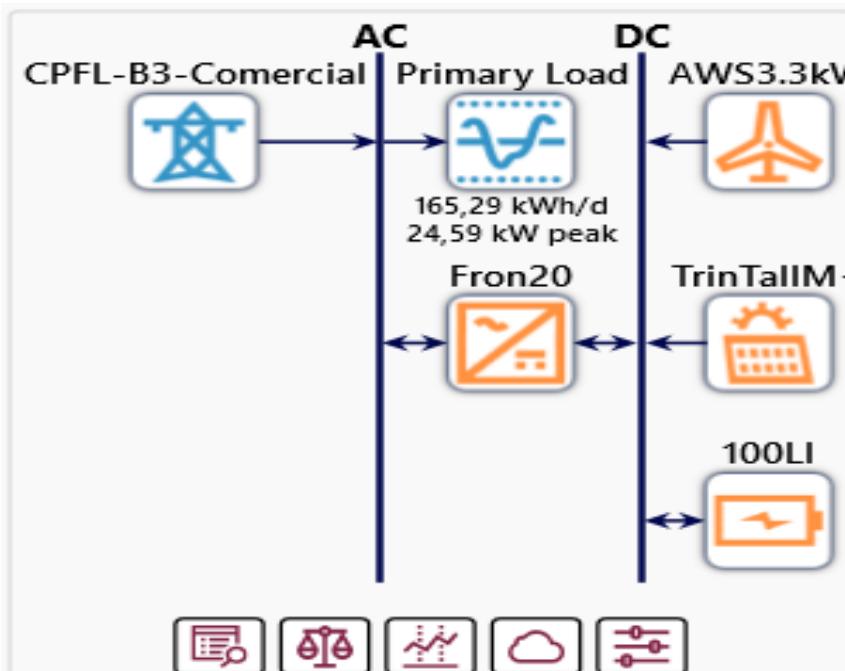
Velocidade Média Sazonal de Vento a 50 m de Altura [m/s]

Localidade: 23,17° S;47,4° O

Fonte: [www.cresesb.cepel.br](http://www.cresesb.cepel.br)

Entramos com as informações da carga e os parâmetros no software simulador e obtivemos os resultados abaixo para cada sistema. Assim, vamos mostrar somente o dimensionamento eólico e armazenamento, uma vez que o sistema fotovoltaico do projeto piloto se encontra concluído.

Figura 20: Layout do Projeto Piloto



Fonte: Software Homergrid.

A turbina eólica escolhida para dimensionamento do sistema é da marca AWS HC 1,8Kw Wind Turbine, Australiana. Essa escolha foi baseada na baixa velocidade inicial do vento necessária para que ela entre em operação, resultando em uma produção maior e diminuindo riscos de indisponibilidade de energia, conforme os dados da velocidade do vento na localidade fornecido pelo CRESESB.

Para um valor de velocidade média do vento a 5,4 m/s, tem-se que a energia gerada pela projetada turbina é de 288 kWh/mês. Considerando que a potência total gerada pelo sistema eólico deverá suprir a carga para a manutenção do carregamento das baterias utilizaremos uma turbina eólica para o projeto piloto.

Tabela 14: Especificações Técnicas da Turbina

AVERAGE WIND SPEED				TECHNICAL SPECIFICATIONS	
KMPH	M/S	MPH	MONTHLY GENERATION	Rated Output	1500W
14.5	4.0	9	117 kWh	Rated Wind Speed	10.5m/s, 24mph
16	4.5	10	166 kWh	Peak Output	1700W
17.7	4.9	11	202 kWh	Cut In	2.7m/s, 6mph
19.3	5.4	12	288 kWh	Yaw System	Passive by Tail Vane
<b>Performance series</b>				Yaw / Tower Cable	N x 360° Freedom
AWS HCP 1.5kW wind turbine has a 1.8kW stator, allowing this wind turbine to produce more power than the original AWS				Generator	PM 3 phase alternator (variable speed)
				Insulation Class & Efficiency	Class "H" > 87%
				Stator Skew	1 slot pitch
				Max Stator Core Temp	180°C
				Poles	16
				RPM—50Hz/60Hz	375 / 150
				Over Speed Limit	525RPM / 70Hz
				Rotor Diameter	3.2m / 11ft
				Number of Blades	3
				Blade Material	Carbon Fibre Composite ~ 0.37
				Swept Area	9.2 sq.m / 95 sq.feet
				Min Tip Clearance	28cm / 11in
				Tip Speed Ratio	8.5
				Lateral Thrust (max)	1200nts
				Governor-Over Speed Limit	Uptilt tilt (Hydraulic assisted)
				Govern Speed	27mph
				Gov. Shut down speed/opt stop	Electro-dynamic Switch
				Unit Weight (Tower Top)	34kg
				Tower Top Pipe / Yaw Adapter	P 2.5" Shd 40
				Voltage Options	12 to 48 LV / 50—140 HV
				Electronic Controller	Included but separate
				Warranty	2 years
				Operating Life	20 years
				Survival Wind Speed	55 m/s
				Suggested Routine Maintenance	Annual Inspection

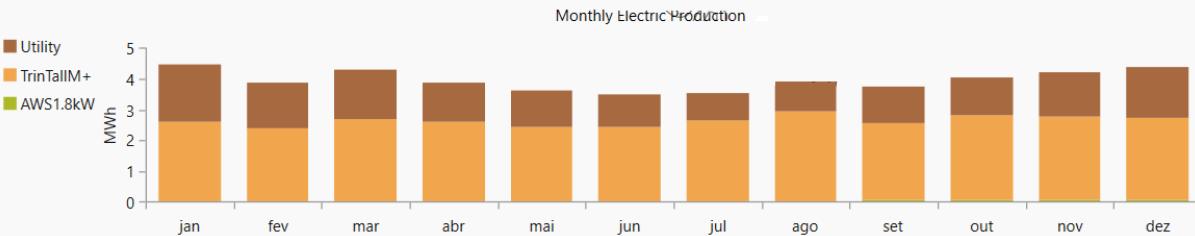
Fonte: <https://www.australianwindandsolar.com/aws-hc-wind-turbines>

A capacidade do sistema fotovoltaico é de 20 kW e o maior valor de potência obtido na saída é de 20,4 kW. O sistema produz energia durante 4.406 horas/ano, o que equivale a aproximadamente 12 horas de operação por dia. A geração diária é de 78 kWh, em média, o que representa 47% da demanda solicitada diária.

Assim, as fontes renováveis contribuem, segundo a simulação, com 65% da energia no sistema. Caso esses números sejam confirmados em campo, o condomínio poderá se tornar autossustentável em 4,5 anos.

Gráfico 4: Capacidade do Sistema Fotovoltaico

Production		kWh/yr	%
GFV		30.836	65,0
AWS HC 1.8kW Wind Turbine		754	1,59
Grid Purchases		15.856	33,4
Total		47.446	100
Consumption	kWh/yr	%	
AC Primary Load		36.500	78,8
Grid Sales		9.826	21,2
Total		46.326	100
Quantity		kWh/yr	%
Excess Electricity		0	0
Quantity		Value	Units
Renewable Fraction		65,8	%
Max. Renew. Penetration		909	%



Fonte: Software Homer. Nota: O aerogerador nesse momento não aparece na base porque estamos usando com gerador no barramento DC, para carregamento das baterias.

## Dimensionamento do Banco de Baterias

A proposta é o banco de bateria suportar as cargas de alimentações de iluminação da área comum do microgrid.

Figura 21: Especificações do Banco de Baterias

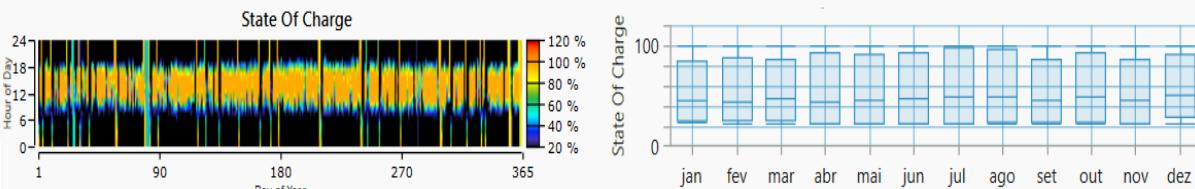
Quantity	Value	Units
Batteries	20,0	qty.
String Size	20,0	batteries
Strings in Parallel	1,00	strings
Bus Voltage	74,0	V

Quantity	Value	Units
Autonomy	3,43	hr
Storage Wear Cost	0,000118	R\$/kWh
Nominal Capacity	20,4	kWh
Usable Nominal Capacity	16,3	kWh
Lifetime Throughput	52.939	kWh
Expected Life	11.1	yr

Quantity	Value	Units
Energy In	5.025	kWh/yr
Energy Out	4.559	kWh/yr
Storage Depletion	-19,9	kWh/yr
Losses	446	kWh/yr
Annual Throughput	4.753	kWh/yr



Fonte: Software Homer.

## 11 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Para a análise de viabilidade econômica desse projeto temos, que levar em consideração os custos de implementação e manutenção, precificação da energia gerada e os aportes sugeridos para os sistemas propostos nos contratos inteligentes (Smartcontracts). Ao final, é feita a análise do tempo de retorno (payback) e o fluxo de caixa para 25 anos para cada unidade participante do Microgrid inteligente.

Os custos de projeto e instalação do gerador fotovoltaico que será a fonte de fornecimento de energia elétrica no Smartgrid com o gerenciamento do Blockchain, através da plataforma de geração de Smart Contracts.

Os custos com materiais e equipamentos estão apresentados de forma que, no final, conseguiremos transformar na relação de valor R\$/kWp, converter e atrelar ao valor do US\$ Dólar, moeda que os ativos financeiros digitais estão indexados nas Exchange do Blockchain.

Tabela 15 - Investimento inicial no Microgrid

Custos de Importação dos Geradores			
Descrição	USD\$	R\$	R\$ 3,25
Gerador Eólico e Torre	\$ 24.150,00	R\$ 78.487,50	
Inversor de Frequencia	\$ 23.780,20	R\$ 77.285,65	
Frete+ Seguro Internacional	\$ 2.000,00	R\$ 6.500,00	
<b>CIF: Inversor +Seguro</b>	<b>\$ 25.780,20</b>	<b>R\$ 162.273,15</b>	
a) 14% Imposto de Importação	\$ 3.609,23	R\$ 11.729,99	
b) IPI- 15% sobre CIF	\$ 4.408,41	R\$ 14.327,35	
c)PIS-1,65% -dentro de CIF+A+B	\$ 557,66	R\$ 1.812,41	
d) ICMS 7%	\$ 2.057,26	R\$ 6.686,09	
e)COFINS 7,6%	\$ 2.568,64	R\$ 8.348,07	
<b>f) Total de Impostos</b>	<b>\$ 13.201,20</b>	<b>R\$ 42.903,91</b>	
g) Taxas Diversas 12%-Siscomex,Armaz e outros	\$ 1.584,14	R\$ 5.148,47	
h) Despachantes Importadoras	\$ 1.200,00	R\$ 3.900,00	
<b>ii) Custos de Internalização</b>	<b>\$ 15.985,35</b>	<b>R\$ 51.952,38</b>	
<b>TOTAL : CIF+ (I)</b>	<b>\$ 41.765,55</b>	<b>R\$ 214.225,53</b>	

Fonte: Autoria própria.

Para podermos especificar os valores propostos da energia gerada pelo GFV-Usina Central do Microgrid, levamos em consideração a produção anual, sendo cobrada pela tarifa oficial da concessionária local incluindo a previsão de correções oficiais, perdas de eficiência dos módulos ao longo de sua vida útil e taxa de manutenção.

Abaixo, mostramos que o projeto se torna viável no aspecto financeiro para apenas um único investidor, pelo apelo da redução de consumo e custos do autoconsumo de energia, frente às taxas e aumentos tarifários praticados pela agência reguladora e pelas concessionárias. No

entanto, quando pensamos no Smartgrid conectado ao Blockchain, onde através de um Samart Contracts o usuário consiga obter somente a energia para seu consumo e o presumidor possa comercializar o excedente da sua produção de forma descentralizada, os resultados poderão ser bastante vantajosos, pois toda a produção e consumo serão contabilizadas em tempo real.

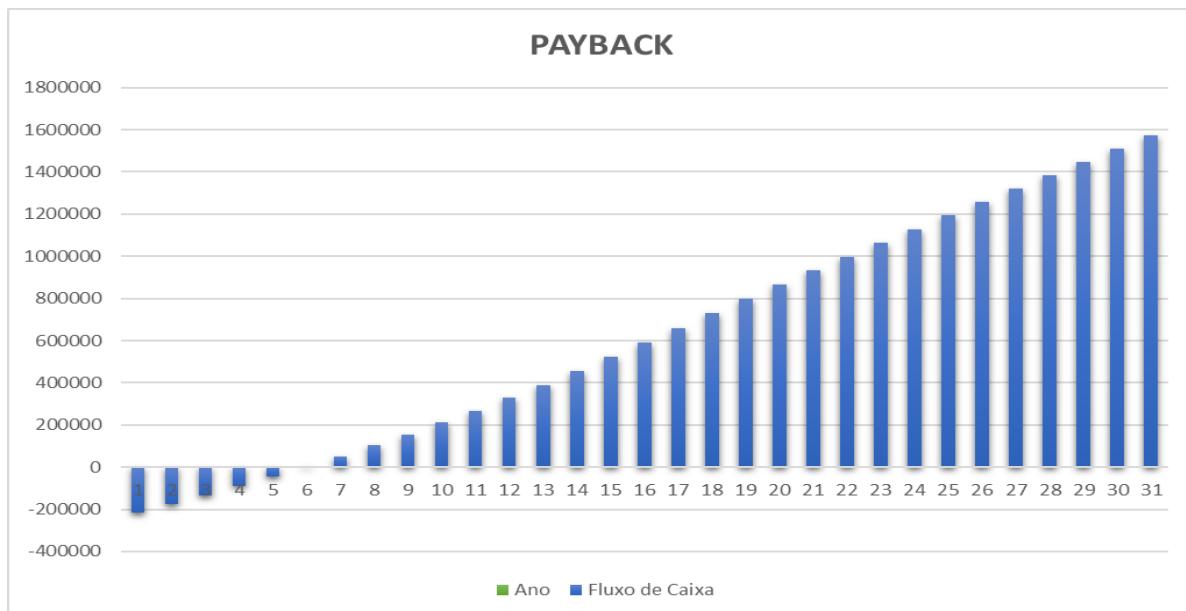
Tabela 16: Fluxo de caixa. Obs.: Considerar as incertezas das políticas tarifárias

DEMONSTRATIVO		Tarifa (TUSD) (R\$/kWh)	Tarifa TE (R\$/kWh)	Custo do Capital-Selic			6,50%
TAXA ENEL-2019 GRUPO B		R\$ 0,25971	R\$ 0,25588				
Ano	Geração de Energia com depreciação do Painel Solar (0,8% a.a)Kwh ano	Geração com perdas (18%)Kwh ano	Tarifa de Energia R\$ ( Kwh)-com reajuste Aneel - 4,8% a.a *	Remuneração do Sistema	Fluxo de Caixa	Custo Manutenção Taxa 3% a.a	VP-FLC taxa de Desconto
0					-R\$ 214.225,29		
1	95649	78432	0,51559	R\$ 40.438,85	-R\$ 175.754,54	R\$ 500,00	R\$ 38.470,75
2	94884	77805	0,54034	R\$ 42.040,87	-R\$ 133.713,67	R\$ 515,00	R\$ 37.580,73
3	94125	77182	0,56627	R\$ 43.706,36	-R\$ 90.007,30	R\$ 530,45	R\$ 36.712,72
4	93372	76565	0,59346	R\$ 45.437,84	-R\$ 44.569,47	R\$ 546,36	R\$ 35.866,24
5	92625	75952	0,62194	R\$ 47.237,90	R\$ 2.668,43	R\$ 562,75	R\$ 35.040,79
6	91884	75345	0,65179	R\$ 49.109,28	R\$ 51.777,71	R\$ 579,64	R\$ 34.235,90
7	91149	74742	0,68308	R\$ 51.054,79	R\$ 102.832,50	R\$ 597,03	R\$ 33.451,10
8	90420	74144	0,71587	R\$ 53.077,38	R\$ 155.909,88	R\$ 614,94	R\$ 32.685,94
9	89696	73551	0,75023	R\$ 55.180,09	R\$ 211.089,97	R\$ 633,39	R\$ 31.939,99
10	88979	72962	0,78624	R\$ 57.366,11	R\$ 268.456,07	R\$ 652,39	R\$ 31.212,80
11	88267	72379	0,82398	R\$ 59.638,72	R\$ 328.094,80	R\$ 671,96	R\$ 30.503,98
12	87561	71800	0,86353	R\$ 62.001,37	R\$ 390.096,16	R\$ 692,12	R\$ 29.813,10
13	86860	71225	0,90498	R\$ 64.457,61	R\$ 454.553,78	R\$ 712,88	R\$ 29.139,77
14	86165	70656	0,94842	R\$ 67.011,17	R\$ 521.564,95	R\$ 734,27	R\$ 28.483,61
15	85476	70090	0,99395	R\$ 69.665,88	R\$ 591.230,83	R\$ 756,29	R\$ 27.844,24
16	84792	69530	0,99395	R\$ 69.108,55	R\$ 660.339,38	R\$ 778,98	R\$ 26.010,19
17	84114	68973	0,99395	R\$ 68.555,69	R\$ 728.895,07	R\$ 802,35	R\$ 24.304,10
18	83441	68422	0,99395	R\$ 68.007,24	R\$ 796.902,31	R\$ 826,42	R\$ 22.717,25
19	82773	67874	0,99395	R\$ 67.463,18	R\$ 864.365,49	R\$ 851,22	R\$ 21.241,55
20	82111	67331	0,99395	R\$ 66.923,48	R\$ 931.288,97	R\$ 876,75	R\$ 19.869,44
21	81454	66793	0,99395	R\$ 66.388,09	R\$ 997.677,06	R\$ 903,06	R\$ 18.593,89
22	80803	66258	0,99395	R\$ 65.856,98	R\$ 1.063.534,04	R\$ 930,15	R\$ 17.408,37
23	80156	65728	0,99395	R\$ 65.330,13	R\$ 1.128.864,17	R\$ 958,05	R\$ 16.306,78
24	79515	65202	0,99395	R\$ 64.807,49	R\$ 1.193.671,66	R\$ 986,79	R\$ 15.283,45
25	78879	64681	0,99395	R\$ 64.289,03	R\$ 1.257.960,69	R\$ 1.016,40	R\$ 14.333,10
26	78248	64163	0,99395	R\$ 63.774,72	R\$ 1.321.735,41	R\$ 1.046,89	R\$ 13.450,80
27	77622	63650	0,99395	R\$ 63.264,52	R\$ 1.384.999,92	R\$ 1.078,30	R\$ 12.631,99
28	77001	63141	0,99395	R\$ 62.758,40	R\$ 1.447.758,33	R\$ 1.110,64	R\$ 11.872,39
29	76385	62636	0,99395	R\$ 62.256,33	R\$ 1.510.014,66	R\$ 1.143,96	R\$ 11.168,05
30	75774	62134	0,99395	R\$ 61.758,28	R\$ 1.571.772,95	R\$ 1.178,28	R\$ 10.515,27

Fonte: Autoria própria.

Incertezas	A partir do 15º ano o valor da correção permanece sem Alteração devidos as incertezas de reajustes da concessionaria
------------	--

Gráfico 5: Retorno do Investimento na GD-Compensação 482



Fonte: Autoria Própria.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) projetada e o VPL maior que zero (positivo) mostram que o empreendimento é economicamente viável:

Tabela 17: Retorno do Investimento

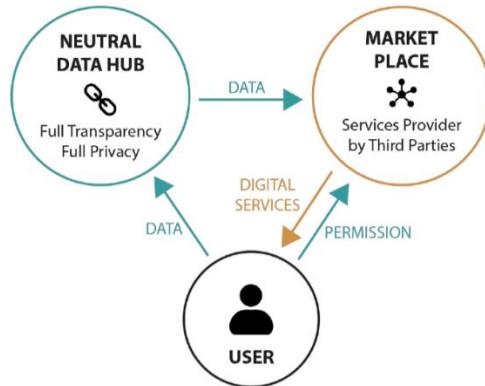
<b>TIR</b>	<b>22%</b>	
<b>VPL</b>	<b>R\$ 384.354,51</b>	
<b>Payback</b>	<b>4 Anos</b>	<b>11 Meses</b>

Fonte: Autoria Própria.

## **12 CENÁRIO MOTIVADOR com integração com o Projeto PYLON como referência.**

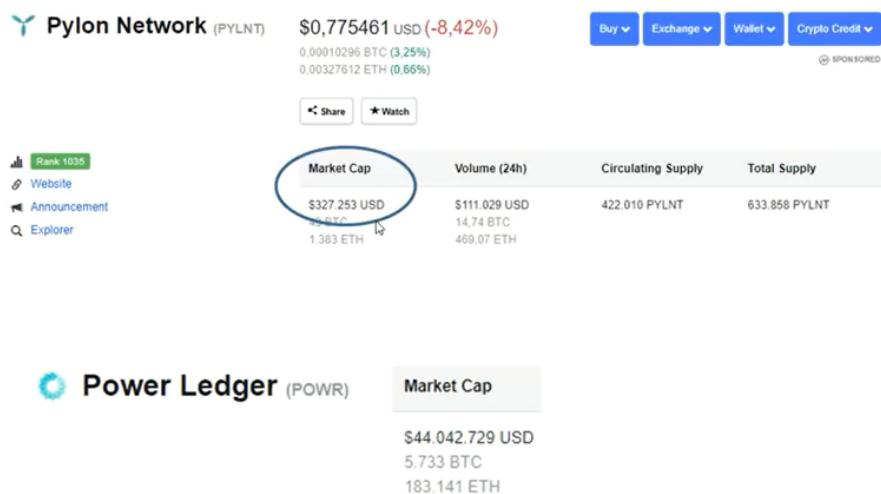
A Pylon Network (Espanha) é um projeto que consiste na criação de um banco de dados de energia suportado pela tecnologia Blockchain de código aberto, que foi projetada para atender às necessidades do setor de energia, Market Place, onde serão disponibilizados diversos serviços, como por exemplo, registros dos contratos inteligentes de compra e venda de energia de curto, médio e longo prazo ou o usuário contratar um serviço de consultoria de eficiência energética usando seus créditos de energia como forma de pagamento, e inúmeras possibilidades.

Figura 22: Diagrama da proposta do projeto



Fonte: Pylon Network.

Figura 23: Plataforma de comercialização



Fonte: Pylon Network.

Nesse caso, a moeda utilizada é a PyLN - Paylon Coin, lembrando que todas moedas estão indexadas ao dólar americano.

Assim, o desenvolvimento de um código Blockchain que é rápido, escalável e com requisitos mínimos de energia, projetado para desempenhar o papel da infraestrutura de comunicação digital para o aumento da participação de ativos distribuídos e partes interessadas nos mercados de energia, bem como a prestação de serviços de energia digital, podemos num futuro próximo conseguir controlar o desperdício de energia, se antecipar à escassez dos

recursos naturais, construir redes inteligentes e, ainda, com os nossos futuros sistemas energéticos democratizados; o usuário final e, consequentemente, a sociedade, terá melhor qualidade de vida.

## **12 CONCLUSÕES**

Como podemos observar, a tecnologia continua em plena evolução e, nos últimos cinco anos, o Blockchain já provocou uma revolução no mercado financeiro, pois a cada dia está entrando em outros setores e provocando mudanças, nos processos, nos paradigmas, e quebrando o conservadorismo da sociedade.

Neste sentido, uma distribuidora poderá ser remunerada pelos serviços prestados e investimentos realizados pela utilização de sua infraestrutura, e poderá melhorar o atendimento de sua base de consumidores. A utilização de um Smart Contracts, por sua vez, garantirá que o consumidor esteja sendo atendido em suas necessidades de forma equânime.

O barateamento dos sistemas fotovoltaicos no Brasil se dará quando o mercado de energia solar alcançar uma capacidade de grande escala, caso seja implementado em programas governamentais. Tendo isso em vista, não podemos retroceder, pois a tecnologia caminha para frente e possibilita grandes revoluções. Portanto, as mudanças das resoluções devem ser para implantações de novos sistemas, que proporcionem segurança e qualidade de vida para a sociedade, em toda as suas classes, de forma democrática e descentralizada.

Concluímos que utilizando a estrutura de rede inteligente de distribuição atual, com o uso da inteligência da tecnologia Blockchain, as distribuidoras ANEEL, ONS, CCEE e EPE poderão oferecer uma gama de serviços e facilidades à sociedade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- I. RIVERA, R.; ESPOSITO, A. S.; TEIXEIRA, I. Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local, 2013. **[recurso eletrônico]**. Disponível em:
- II. [https://www.bnDES.gov.br/SiteBNDES/bnDES/bnDES\\_pt/Galerias/Convivencia/Publicacoes/Consulta\\_Expressa/Tipo/Revista\\_do\\_BNDES/201312\\_02.html](https://www.bnDES.gov.br/SiteBNDES/bnDES/bnDES_pt/Galerias/Convivencia/Publicacoes/Consulta_Expressa/Tipo/Revista_do_BNDES/201312_02.html). Acesso em: 18 junho 2018.
- III. ABRADEE. Visão Geral do Setor. **[recurso eletrônico]**. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletro/visao-geral-do-setor>>. Acessado em: 19 nov. 2017.
- IV. ANEEL. **Boletim de Informações Gerenciais**, Brasília. set 2017. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14854008/Boletim+de+Informa%C3%A7%C3%B5es+Gerenciais++3%C2%BA+trimestre+2017/> b609461f-e490-79e8-89bb-ba0f02d0fba9>. Acesso em: 21 jan. 2018.
- V. CCEE - Início - Câmara de Comercialização de Energia Elétrica [www.ccee.org.br](http://www.ccee.org.br) acesso em 15/06/2018.
- VI. BLOCKCHAIN. **[recurso eletrônico]**. <https://www.blockchain.com> acesso em: 18/06/2018
- VII. ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica**, 2005, 2a edição. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/>>. Acessado em: 23 fev. 2018.
- VIII. ONS, O Sistema em Números. Disponível em <<http://www.ons.org.br/pt/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>> acesso em: 10 de junho de 2018
- IX. PAULI, A. A., SMART GRID: O MODELO BRASILEIRO, SEAE- Secretaria de Acompanhamentos Econômicos, Brasília, 2012. **[recurso eletrônico]**. Disponível em <<http://www.seae.fazenda.gov.br/programa-de-intercambio/edicoesanteriores/intercambioseae-2012/intercambio-seae-2012/Artigo%20Alinne.pdf>>. Acesso em: 18 jun 2018
- X. ANEEL. Perda de Energia. **[recurso eletrônico]**. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/metodologia-distribuicao-/asset\\_publisher/e2INtBH4EC4e/content/perdas/654800?inheritRedirect=false](http://www.aneel.gov.br/metodologia-distribuicao-/asset_publisher/e2INtBH4EC4e/content/perdas/654800?inheritRedirect=false)>. Acessado em: 29 jan 2018.
- XI. CCEE. Ambiente livre e ambiente regulado. **[recurso eletrônico]**. Disponível em: <[https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/como-participar/ambiente-livre-ambienteregulado?afrLoop=436068922994157](https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/como-participar/ambiente-livre-ambienteregulado?afrLoop=436068922994157)>. Acessado em: 20 maio. 2018.

- XII.** MME. Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes. **Relatório**, 2010. Disponível em: Acessado em: 17 junho de 2018. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/acoes/energia-eletrica/relatoriosmart-grid>>. Acesso em: 18 jun. 2018
- XIII.** ENE. Estudo dos Efeitos da Implementação de Tecnologias de Redes Elétricas Inteligentes (Smart City) - **Projeto Cidade Inteligente Búzios**, cap. 1, 2016.
- XIV.** SCHNEIDER ELECTRIC USA, INC. Preparing for Distributed Energy Resources, 2012. **[recurso eletrônico]**. Disponível em: <[http://www2.schneider-electric.com/documents/support/white-papers/electric-utilities/998-2095-05-29-12\\_preparing-for-distributedenergy-resources.pdf](http://www2.schneider-electric.com/documents/support/white-papers/electric-utilities/998-2095-05-29-12_preparing-for-distributedenergy-resources.pdf)>. Acesso em dezembro 2015.
- XV.** RENEWABLE ENERGY WORLD. How Smart Contracts could simplify clean energy distribution, 2017. **[recurso eletrônico]**. Disponível em <<https://www.renewableenergyworld.com/articles/2017/05/how-smart-contracts-could-simplify-clean-energy-distribution.html>>. Acesso em 01/07/2018.
- XVI.** RENEWABLE ENERGY WORLD. Blockchain could change everything for energy, 2018. **[recurso eletrônico]**. Disponível em <<https://www.renewableenergyworld.com/articles/2018/02/blockchain-could-change-everything-for-energy.html>>. Acesso em 01/07/2018.
- XVII.** WORLD ECONOMIC FORUM. How blockchain can manage the electricity grid, 2018. **[recurso eletrônico]**. Disponível em <<https://www.weforum.org/agenda/2018/05/how-blockchain-can-manage-the-electricity-grid>>. Acesso em 01/07/2018.
- XVIII.** SIEMENS. A microgrid grows in Brooklyn, 2018. **[recurso eletrônico]**. Disponível em <<https://www.siemens.com/innovation/en/home/pictures-of-the-future/energy-and-efficiency/smart-grids-and-energy-storage-microgrid-in-brooklyn.html>>. Acesso em 01/07/2018.
- XIX.** J. N.; BUENO, T. B. A.; RANK, N. I. **Análise dos Fatores de Perdas nos Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica**.
- XX.** CHABAUD, F. JOUX, A. Differential Collisions in SHA-0. CRYPTO 1998. pp56–71.
- XXI.** VITOR M. Péres. **Revista INNOVER**/dezembro 2014.
- XXII.** Pylon Network: <https://pylon-network.org/#roadmap> visitado desde 2017 até 2019 base da tecnologia em desenvolvimento.
- XXIII.** LAURENCE, T. Blockchain para leigos. **[recurso eletrônico]** / Tiana Laurence. – Rio de Janeiro : Alta Books, 2019.