

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

Adolfo Von Ende Cortez

**ANÁLISE DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA PARA CONSUMIDORES NO
MERCADO LIVRE DE ENERGIA**

**Santa Maria, RS
2020**

Adolfo Von Ende Cortez

**ANÁLISE DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA PARA CONSUMIDORES NO
MERCADO LIVRE DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Elétrica**

Orientador: Daniel Pinheiro Bernardon, Dr. Eng.

Santa Maria, RS
2020

Adolfo Von Ende Cortez

**ANÁLISE DE GERAÇÃO DISTRIBUIDA PARA CONSUMIDORES NO
MERCADO LIVRE DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada
ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica,
da Universidade Federal de Santa Maria
(UFSM, RS), como requisito parcial para a
obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia
Elétrica**

Aprovado em 10 de dezembro de 2020:

Daniel Pinheiro Bernardon, Dr. Eng. (UFSM)
(Orientador)

Mauro dos Santos Ortiz, Msc. Eng. (UFSM)

Emerson Rafael da Silva, Msc. Eng (UFSM)

Santa Maria, RS
2020

Dedico este trabalho a Deus, à minha família e a toda espiritualidade de luz.

AGRADECIMENTOS

Acredito que a vida não se vale tanto daquilo que temos, mas sim do que realizamos com aquilo que possuímos, e acima de tudo o que fazemos de nós mesmos. O bem que fazemos, a mão que estendemos, as pessoas a quem amamos, companheiros de jornada com qual compartilhamos momentos e crescemos juntos, disso sim se vale a alegria e a sabedoria da vida.

Primeiramente agradeço a Deus, pois esse é responsável por nos manter de pé e sempre em frente, te agradeço Pai por estar sempre junto a mim, em todos os momentos de minha vida. Agradeço também a toda espiritualidade de luz, guias, mentores e amigos que zelam e nos acompanham em nossa jornada de aprendizado e evolução terrena.

Agradeço a minha mãe Norma Von Ende, por ser o exemplo de pessoa dedicada, de mãe de amor infinito e de guerreira incansável, obrigado por tudo que me ensinaste, pela paciência, pelo apoio, pelo amor e muito além de meras palavras, sou eternamente grato a ti.

Agradeço a toda minha família, aos que aqui estão no plano físico e aos que estão em outros planos de existência, obrigado a cada um de vocês por sempre me fazerem acreditar que com dedicação, trabalho e com Deus do nosso lado todos os sonhos podem ser alcançados. Obrigado por serem a família que são, pelos princípios, valores e ensinamentos que fazem de mim quem sou.

Agradeço também aos inúmeros amigos e colegas pelo apoio, incentivo, momentos de alegria e companheirismo, essenciais para o contínuo empenho na jornada. Em especial ao Guilherme, Inácio, Douglas, Ana e entre tantos amigos e parceiros que como digo, são de fé.

Agradeço ao professor Daniel Bernardon, por todos os ensinamentos e pelo companheirismo em aceitar o convite de trabalharmos juntos em um assunto tão recente e desafiador.

Agradeço à empresa Lumenk Energia Solar e a todos os colegas pelo apoio, contribuição e empenho para a realização deste trabalho.

Agradeço especialmente à equipe da CVI Refrigerantes, em especial ao Rodrigo Dias e ao Breno Jacobi, que pacientemente me auxiliaram em toda a evolução deste estudo, superando as adversidades para a conclusão de um trabalho conciso e de resultados sólidos, sem vocês este trabalho não seria possível.

“Se quiser descobrir os segredos do Universo,
pense em termos de energia, frequência e
vibração.”

(Nikola Tesla)

RESUMO

ANÁLISE DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA PARA CONSUMIDORES NO MERCADO LIVRE DE ENERGIA

AUTOR: ADOLFO VON ENDE CORTÊS
ORIENTADOR: DANIEL PINHEIRO BERNARDON

O presente trabalho é um estudo de conclusão de curso em engenharia elétrica que tem como objetivo tratar sobre o mercado livre de energia e as suas mudanças para o ano de 2021, a geração distribuída e seus resultados técnicos e econômicos na fonte consumidora, como também sobre a implementação da geração própria a consumidores já pertencentes ao ACL – Ambiente de Contratação Livre de Energia na modalidade de APE – Autoprodutores de Energia, juntamente com uma breve análise no que tange a qualidade de energia e instalação da GD. Dessa maneira, será realizado, juntamente com a abordagem teórica, um estudo de caso de um consumidor já pertencente ao Mercado Livre de Energia, bem como trazer uma análise técnica e econômica dos benefícios da implementação da GD a este consumidor, com foco em geração de energia através de fonte solar fotovoltaica, já sendo consideradas as mudanças no setor elétrico, mudanças estas principalmente atribuídas ao Mercado Livre de Energia, como o PLD Horário, novo modelo de cálculo do Custo Marginal de Operação – CMO, o modelo DESSEM. No que diz respeito ao estudo de caso, que tem por objetivo tornar este trabalho mais fidedigno, a indústria de refrigerantes foco deste estudo atua no segmento de bebidas por meio da produção, comercialização e distribuição de produtos nas diversas linhas de bebidas como refrigerantes, isotônicos e entre outros. Tem sua participação no ambiente de contratação livre desde o ano de 2016 com seu horário de funcionamento fabril em período comercial. A indústria em pauta possui diversas filiais e centros de distribuição no estado do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: Geração Distribuída. Mercado Livre de Energia. Energia fotovoltaica. PLD Horário. Autoprodução. Qualidade de Energia.

ABSTRACT

ANALYSIS OF DISTRIBUTED GENERATION FOR CONSUMERS IN THE FREE MARKET OF ENERGY

**AUTHOR: ADOLFO VON ENDE CORTÊS
ADVISOR: DANIEL PINHEIRO BERNARDON**

The present review is a graduation conclusion study in electrical engineering that aims to treat the subjects about the Brazilian free market of energy and its changes for the year 2021, the distributed generation and its results technical and economic for the energy consumer, as well as approach the implementation of the own generation of energy to consumers that are already belong to the Free Environment of Contracting Energy in form of self-producers, along with a brief analysis regarding the power quality and implementation of GD. In this way, it will be carried out, together with the theoretical approach, a case study of a consumer already belonging to the Free Market of Energy, as well as bringing a technical and economic analysis of the benefits of GD implementation to this consumer, focusing on energy generation through solar photovoltaic source, already considering changes in the electricity sector, these changes mainly attributed to the Free Market of Energy, such as the PLD Hourly, a new calculation model for the Marginal Cost of Operation - CMO, the DESSEM model. With regard to the case study, which aims to make this work more reliable, the beverage industry focus of this study operates in the beverage segment through the production, commercialization and distribution of products in the various beverage lines such as soft drinks, isotonic and among others. It has been participating in the free contracting environment since 2016 with its factory operating in hours in the commercial period. The industry in question has several branches and distribution centers in the state of Rio Grande do Sul.

Keywords: Distributed Generation. Free Market of Energy. Photovoltaic Energy. Solar Energy. Self-producer of energy. Power Quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz energética brasileira.....	12
Figura 2 – Esquemático das instituições e agentes envolvidos no funcionamento do setor elétrico brasileiro	17
Figura 3 – Segmentos SEB	20
Figura 4 – Rede básica de transmissão de energia elétrica.....	21
Figura 5 – Estruturação do Mercado de Energia Elétrica.....	24
Figura 6 – Dados para implementação de novos requisitos mínimos para acesso ao ACL	27
Figura 7 – Participação dos itens das Parcelas A e B e dos tributos na Receita Anual da média das distribuidoras.....	29
Figura 8 – Sistema de Compensação de Energia Elétrica	34
Figura 9 - Irradiação Horizontal Global média no ano.....	36
Figura 10 – Curvas típicas de geração fotovoltaica: dias ensolarados (a) e dias nublados (b)	36
Figura 11 – Sistema off-grid.....	38
Figura 12 – Sistema de microgeração de energia solar fotovoltaica	39
Figura 13 – Processos de Fabricação de um Módulo Fotovoltaico.....	40
Figura 14 – Inversor em um sistema on-grid.....	41
Figura 15 – Evolução do número de agentes no ACL.....	42
Figura 16 – Tipos de contrato no setor elétrico brasileiro.....	44
Figura 17 – Funcionamento do Mercado de Curto Prazo.....	46
Figura 18 – Processo de Formação PLD	49
Figura 19 – PLD no submercado Sudeste no decorrer dos anos.	50
Figura 20 – Arranjos para autoprodução	54
Figura 21 – Curva de demanda horária em dias úteis de outubro de 2019 e outubro de 2020.....	56
Figura 22 – Horário de maior carga registrado no dia 14/10/2019 às 14 horas.	57
Figura 23 – Horário de maior carga registrado no dia 14/10/2020 as 15 horas.	57
Figura 24 – Verificação do potencial de geração FV e área de telhado.....	61
Figura 25 – Perfil de Carga x PLDh.....	61
Figura 26 – Balanço Energético – Exposição Negativa das 8 às 11 horas e das 14 às 17 horas	64
Figura 27 – Balanço Energético com GD solar FV	64
Figura 28 – Perfil de carga do SIN em dias de fim de semana.....	66
Figura 29 – Exposição Negativa no MCP	67
Figura 30 – Gráfico comparativo entre consumo medido e geração mensal estimada para cenário 3	67
Figura 31 – Pico de corrente gerado por circuito retificador.....	70
Figura 32 – Distúrbios típicos na forma de onda.....	71
Figura 33 – Diagrama unifilar rede elétrica Linha 3 e 4	72
Figura 34 – Distorção harmônica TR04	73
Figura 35 – Afundamento de tensão e corrente.....	74
Figura 36 – Tabela 2.1 Prodlist Adaptada	75
Figura 37 – Continuação Tabela 2.1 Prodlist Adaptada.....	76
Figura 38 – Normatizações do Filtro Capacitivo	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo projetado de energia elétrica, 2019-2023	14
Tabela 2 – Operacionalização na CCEE - Autoprodutor X SPE.....	55
Tabela 3 – Características contratuais do consumidor livre	60
Tabela 4 – Características contratuais específicas do intervalo de tempo analisado.....	60
Tabela 5 – Semana útil durante a pandemia	62
Tabela 6 – Semana útil fora da pandemia.....	62
Tabela 7 – Fim de semana durante a pandemia.....	62
Tabela 8 – Fim de semana fora da pandemia	62
Tabela 9 – Semana útil durante a pandemia	63
Tabela 10 – Semana útil fora da pandemia.....	63
Tabela 11 – Fim de semana durante a pandemia.....	63
Tabela 12 – Fim de semana fora da pandemia	63
Tabela 13 – Semana útil durante a pandemia	65
Tabela 14 – Semana útil fora da pandemia.....	65
Tabela 15 – Fim de semana durante a pandemia.....	65
Tabela 16 – Fim de semana fora da pandemia	65
Tabela 17 – Tempo de retorno estimado	68
Tabela 18 – Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental).....	73
Tabela 19 – Estimativa de custos e retorno financeiro com a implementação de filtros capacitivos	79

LISTA DE ABREVIATURAS

ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Comercialização de Energia
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASMAE	Administradora de Serviços do Mercado Atacadista de Energia
BBCE	Balcão Brasileiro de Comercialização de Energia
CCEAI	Contratos de Comercialização de Energia Incentivada
CCEAL	Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Livre
CCEAR	Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisa de Energia Elétrica
CMO	Custo Marginal de Operação
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico
CPAMP	Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico
CVU	Custo Variável Unitário
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESS	Encargos Serviço do Sistema
FCF	Função de Custo Futuro
GFOM	Geração Fora da Ordem de Mérito
MAE	Mercado Atacadista de Energia
MCP	Mercado de Curto Prazo
MME	Ministério de Minas e Energia
MRE	Mecanismo de Realocação de Energia
NET	Balanco energético
ONS	Operador Nacional do Sistema
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PCL	Posição Contratual Líquida
PDDE	Programação Dinâmica Dual Estocástica
PDD	Programação Dinâmica Dual
PDE	Plano Decenal de Energia
PEN	Plano da Operação Energética
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças
PMO	Programa Mensal da Operação
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
RE-SEB	Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro
REE	Reservatório Equivalente de Energia
RPO	Reserva de Potência Operativa
SCDE	Sistema de Coleta de Dados de Energia
SEB	Sistema Elétrico Brasileiro
SIN	Sistema Interligado Nacional
TEO	Tarifa Energética de Otimização
TGGC	Consumo total de geração
TGG	Geração total
TRC	Consumo total

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2	JUSTIFICATIVA	14
1.3	OBJETIVOS	15
1.3.1	Objetivos principais	15
1.3.2	Objetivos específicos	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	16
2.1.1	Os agentes do Setor Elétrico	22
2.1.2	Estrutura do Mercado de Energia Elétrica	23
2.2	TIPOS DE ENERGIA	26
2.3	TIPOS DE CONSUMIDOR	26
2.4	ESTRUTURA TARIFÁRIA DE ENERGIA ELÉTRICA	28
2.4.1	Estrutura tarifária do Grupo A	30
2.4.2	Estrutura tarifária do grupo B	31
2.4.3	Postos tarifários	32
2.5	GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	33
2.6	SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA	33
2.7	ENERGIA FOTOVOLTAICA	34
2.7.1	Funcionamento da energia fotovoltaica	37
2.7.2	Componentes do Sistema Fotovoltaico	38
2.7.3	Módulo Solar	39
2.8	O MERCADO LIVRE DE ENERGIA	41
2.8.1	Benefícios e riscos do ambiente de contratação livre	42
2.8.2	Mecanismo de funcionamento	43
2.8.4	Planejamento de operação do Sistema Elétrico Brasileiro	47
2.8.5	Preço de liquidação das diferenças	48
2.8.6	Preço de liquidação das diferenças horário	49
2.9	AUTOPRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	51
3	ESTUDO DE CASO	56
4.1	METODOLOGIA	58
3.1.1	Cenário 1: Geração de 30% do consumo médio mensal	61
3.1.2	Cenário 2: Geração de 40% do consumo médio mensal	63
3.1.3	Cenário 3: Geração de 50% do consumo médio mensal	65
3.2	QUALIDADE DE ENERGIA	69
3.2	ANÁLISE PRÁTICA	72
3.3	IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES VERIFICADAS	78
4	CONCLUSÃO	80
	REFERÊNCIAS	82

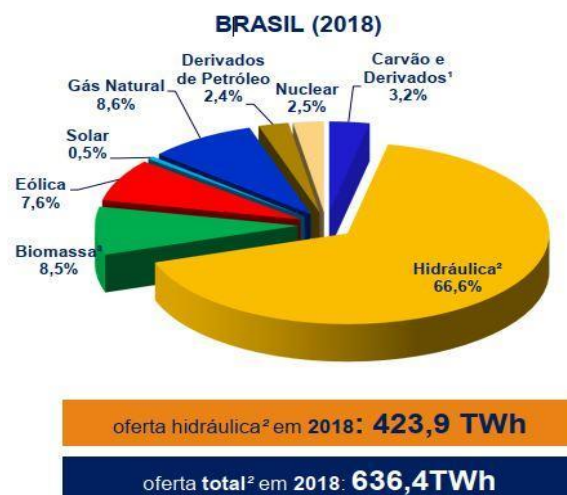
1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Desde as revoluções industriais nos meados do século XIX, o aumento das emissões de CO₂ e outros poluentes vem sendo substancial. Como consequência disso, a resposta da natureza acaba por ser notável no meio ambiente em que vivemos. Na 21ª Conferência das Partes (COP21), realizada em 2015, em Paris, foi adotado um novo acordo com o objetivo central de fortalecer a resposta global à ameaça da mudança no clima e de reforçar a capacidade dos países para lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças. Como compromisso, o Brasil colocou a meta de reduzir 43% das emissões de gases de efeito estufa até 2030. Dessa maneira, a busca pela diversificação da matriz energética aumentou ainda mais através de fontes renováveis de energia elétrica, por sua grande representatividade na matriz energética e por serem consideradas fontes “limpas” de energia.

Atualmente, a matriz de energia elétrica do Brasil caracteriza-se pela grande participação de fontes renováveis. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN, 2019), estima-se que aproximadamente 84% da oferta de energia elétrica no Brasil é proveniente de fontes renováveis, grande parte dela de origem hídrica e outra parcela proveniente da geração distribuída de energia, que teve um aumento total de 131% no ano de 2018.

Figura 1 – Matriz energética brasileira



Fonte: ANEEL (2018)

Para entender o cenário atual do Sistema Interligado Nacional, deve-se retroceder um pouco no tempo. Por volta dos anos 2000, juntamente com o desenvolvimento de novas formas de geração de energia descentralizadas, o cenário tecnológico e socioambiental estava

provocando avanços nos atuais modelos de negócio. Para acompanhar essa evolução, o Setor Elétrico Brasileiro, com o objetivo de promover mudanças no quadro regulatório, comercial e operacional, buscando novas opções para uma participação mais ativa dos consumidores na gestão de seu consumo de energia e visando a possibilidade de escolhas individuais, criou o Ambiente Livre de Contratação (ACL), mais conhecido como mercado livre de energia, que nasceu através da publicação da Lei nº 9.074 em 7 de Julho de 1995. Três anos após isso, com a Lei nº 8.674 publicada em 28 de julho de 1998, foi criada a Agência Nacional de Energia Elétrica, a ANEEL. Naquela época, somente consumidores de alta tensão com alimentação maior ou igual a 69kV e com demanda contratada maior ou igual a 10.000kW podiam escolher seu fornecedor de energia. Em suma, o mercado era altamente restrito. Segundo a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), em novembro de 1999 saía do papel a ideia do Mercado Livre de Energia, pois passaram a fazer parte como primeiros consumidores livres no país a Carbocloro e a Volkswagen. Posteriormente, com o apoio do governo do presidente Fernando Henrique Cardoso, com um projeto de incentivo a novos consumidores participantes do ambiente livre de contratação, o Projeto RE-SEB, o governo lançou uma série de leis com o intuito de atrair o capital privado para apoiar a expansão da oferta de energia e incentivar o mercado livre de modo a aumentar a competitividade da indústria e comércio, além de aumentar o investimento no Sistema Interligado Nacional através da iniciativa privada das empresas e consumidores que iriam fazer parte do ACL.

No entanto, mesmo com a iniciativa da abertura do Ambiente de Contratação Livre e com o aumento das Gerações Distribuídas, a carga aplicada ao sistema interligado nacional ainda crescia fortemente, o que resulta em uma ampla e contínua busca por novas fontes de energia capazes de suprir a demanda por energia elétrica da matriz elétrica brasileira de forma limpa. Segundo o BEN, em 2018 o consumo de energia elétrica no ano foi de 535,4TWh, sendo 89,42TWh ainda provenientes de fontes não renováveis, e a projeção, segundo a ONS e o Ministério de Minas e Energia, é que a demanda por energia elétrica, considerando uma expansão da economia brasileira de 5% ao ano, tenha um aumento de aproximadamente 3,4% ao ano, o que, em projeção, representa que, até o 2023, o Brasil alcance a marca de 565,8TWh de consumo anual.

Tabela 1 – Consumo projetado de energia elétrica, 2019-2023

Período	Unid.	2019	2020	2021	2022	2023
PLAN 2019-2023 [A] (1)	GWh	487.515	505.681	523.921	544.473	565.808
PREVISÃO 1ª RQ 2019 [B] (2)	GWh	485.281	504.364	522.556	541.968	564.170
DESVIO [B] - [A]	GWh	-2.234	-1.316	-1.365	-2.505	-1.638
DESVIO [B] / [A]	%	-0,5%	-0,3%	-0,3%	-0,5%	-0,3%

(1) Nota Técnica EPE-DEA 32/18 - ONS 163/2018 - CCEE 0083/2018 - Previsão de carga para o Planejamento Anual da Operação Energética 2019-2023, de dezembro/2018.

(2) Previsão atual apresentada nesta nota técnica para a 1ª Revisão Quadrimestral de 2019.

Fonte: EPE/ONS/CCEE

1.2 JUSTIFICATIVA

Considerando os fatos apresentados anteriormente, temos dois aspectos importantes a serem analisados, um deles é a grande necessidade de novas estratégias para suprir o crescimento energético do país, sejam de consumidores pertencentes ao ambiente de contratação regular ou no ambiente de contratação livre, diversificando a natureza das fontes de geração de energia, de maneira que se consiga fornecer a energia necessária as cargas sem que haja grande necessidade de grandes investimentos em novas redes dentro do SIN. E, o outro aspecto é o econômico, tendo em vista não só o lado de consumidores livres ou cativos, como o lado das concessionárias e geradoras que, para manter a qualidade da energia gerada, transmitida e distribuída precisam investir em melhorias nas redes, algumas vezes atualizando as já existentes e em outras elaborando novas linhas para que se possa manter a confiabilidade e qualidade do sistema como um todo.

No dia 17 de abril de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou a normativa REN 482 que regulamenta e permite que os consumidores em geral possuam sua geração própria de energia através de gerações distribuídas (GDs) conectadas ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Essa é uma solução que já vem sendo amplamente utilizada, ou seja, a geração de energia elétrica a partir de pequenas centrais geradoras alocadas em diferentes pontos do Sistema Interligado Nacional, que possam utilizar diferentes fontes renováveis de energia elétrica ou a cogeração, conectadas à rede de distribuição por meio de instalações nas unidades consumidoras, de acordo com o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE). Os consumidores pertencentes ao ambiente de contratação livre podem ser enquadrados como autoprodutores, ou seja, parte de sua energia é comprada através de contratação pelo mercado livre, podendo esta ser comprada de gerador que produz energia por meio de fontes renováveis

ou não, e a outra parte é suprida por meio de sua geração própria. Já os consumidores pertencentes ao ambiente de contratação regular ficam sob resguardo da regulamentação REN 482, podendo gerar até 5 megawatts em cada central geradora.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivos principais

Este trabalho tem como principal objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica de consumidores, pertencentes ao ambiente de contratação livre (ACL), possuírem uma geração própria de energia elétrica na modalidade de autoprodutor, visto as grandes mudanças que vêm sendo estruturadas dentro do setor elétrico brasileiro e a alta volatilidade do mercado energético, bem como realizar um estudo de caso da empresa produtora de refrigerantes em questão, a qual possui sua matriz na cidade de Santa Maria, no estado do Rio Grande do Sul, que já é pertencente ao ambiente de contratação livre de energia desde fevereiro de 2020.

1.3.2 Objetivos específicos

Como objetivos secundários, serão abordados neste trabalho os impactos econômicos e técnicos das gerações distribuídas de energia elétrica dentro do Sistema Interligado Nacional, com foco em consumidores pertencentes ao ambiente de contratação livre, assim como as mudanças já previstas para este ambiente nos anos seguintes e os resultados técnicos e econômicos que podem ser obtidos com a implementação de uma geração própria de energia elétrica no que diz respeito à eficiência energética e à qualidade de energia na unidade geradora.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO

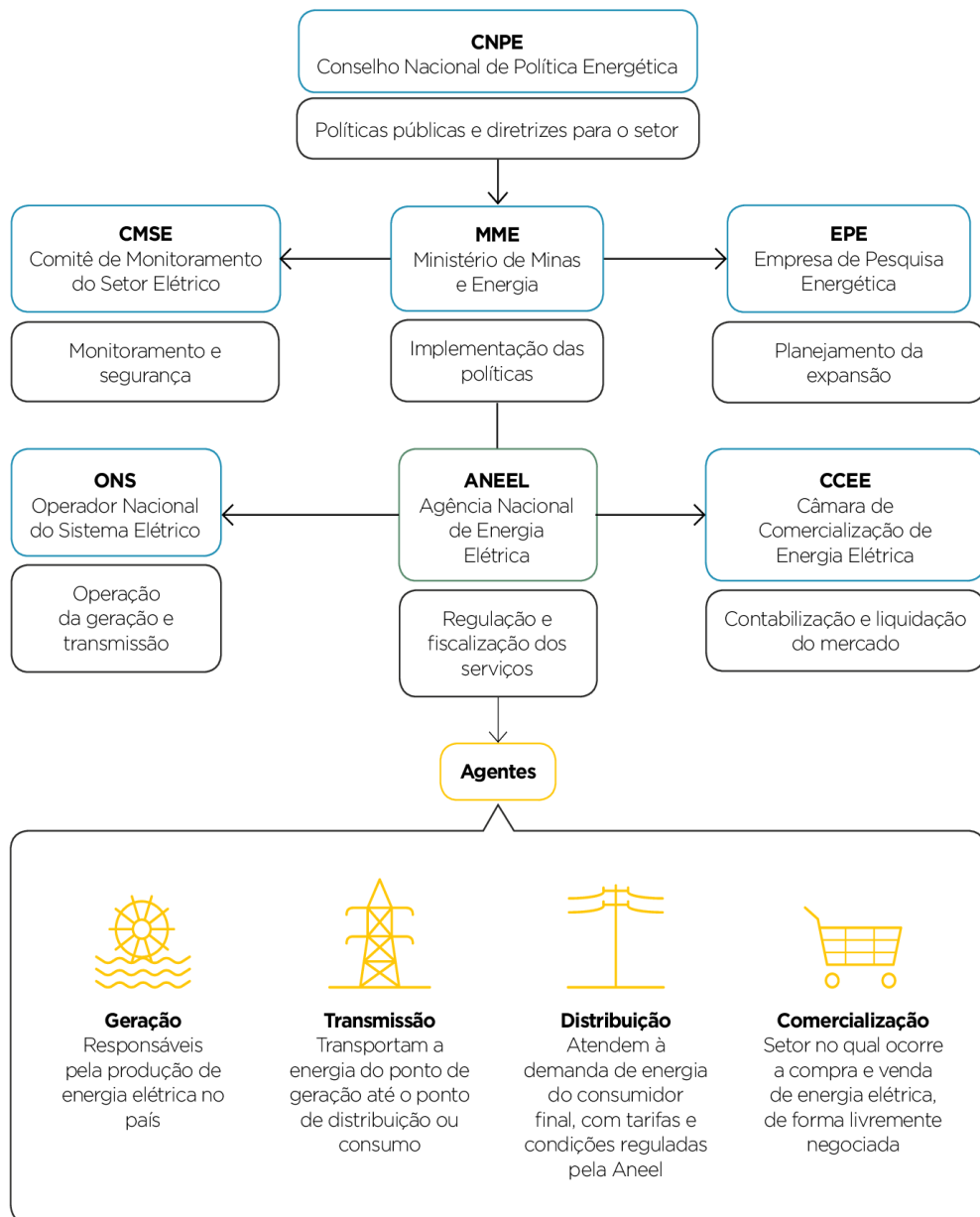
Em 1993, com a criação da Lei 8.631, deu-se início ao programa de reforma do Setor Elétrico Brasileiro (SEB). Essa Lei extinguiu o regime de remuneração garantida, dispondo sobre o regime tarifário para o serviço público de energia elétrica. Desde então, passou-se a criar contratos de suprimento entre geradores e distribuidores. A reforma do setor elétrico é marcada com a promulgação da Lei 9.074, em 1995, que cria a figura do consumidor livre e o Produtor Independente de Energia.

No momento atual, após a evolução e a formatação do setor elétrico brasileiro, pode-se dizer que, de forma resumida, o modelo de comercialização de energia elétrica é baseado em contratos bilaterais que podem ser firmados no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) ou no Ambiente de Contratação Livre (ACL).

Os contratos no ACR são firmados entre as distribuidoras e os vencedores dos leilões de energia elétrica, sendo que os novos contratos de energia praticados são de longo prazo e permitem que os geradores financiem os empreendimentos, utilizando como garantias os recebíveis destes contratos. Os contratos no ACL são realizados por meio de comercialização bilateral ou de leilões particulares de energia, livremente negociados entre as partes. O ambiente comercial, realizado na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), é separado do ambiente operacional, pois a operação centralizada do sistema, realizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), define o despacho econômico ótimo, considerando os modelos do sistema vigentes. As diferenças entre os montantes contratados de geração e consumo de energia elétrica e os valores efetivamente verificados são tratadas de maneira centralizada pela CCEE.

A fim de entendermos melhor a hierarquização dos órgãos, organizações e conselhos que fazem parte das decisões tomadas no sistema elétrico brasileiro. A Figura 2 apresenta um esquemático dos principais operadores do SEB.

Figura 2 – Esquemático das instituições e agentes envolvidos no funcionamento do setor elétrico brasileiro



Fonte do autor, adaptado de FIESP (2020).

● **Ministério de Minas e Energia – MME**

O Ministério de Minas e Energia foi criado novamente em 1992 pela Lei nº 8.422, após ser extinto por dois anos. Tem como abrangência as áreas de recursos minerais e energéticos, de geologia, de aproveitamento de energia hidráulica, mineração e metalurgia, petróleo e seus derivados e de energia elétrica (incluindo a nuclear). Vinculado a este ministério e presidido pelo ministro de Minas e Energia, está o Conselho de Política Energética (CNPE). Esse conselho está ligado ao presidente da República com o objetivo de propor políticas

nacionais e medidas para o setor. As empresas vinculadas ao MME são: CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica), CGTEE (Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica S.A), CHESF (Companhia Hidro Elétrica do São Francisco S.A.), Eletrobrás (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.), Eletronorte (Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A.), Eletronuclear (Eletrobrás Termonuclear S.A.), Eletrosul (Eletrosul Centrais Elétricas S.A.), Itaipu (Itaipu Binacional), Petrobrás (Petróleo Brasileiro S.A) e Manaus Energia S.A.

- **Empresa de Pesquisa Energética – EPE**

No dia 15 de março de 2004, pela Lei nº 10.847, foi autorizada a criação da Empresa de Pesquisa Energética. De acordo com o artigo 2º, "A Empresa de Pesquisa Energética - EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras".

- **Conselho de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE**

O Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico (CMSE) foi criado pela lei 10.848, de 2004, com a função de acompanhar e avaliar permanentemente a continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o território nacional. De acordo com o Decreto 5.175, de 9 de agosto de 2004, o CMSE será presidido pelo ministro de Minas e Energia.

- **Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL**

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foi criada em 1996 pela Lei nº 9.427, sendo esta uma entidade estatal autônoma e vinculada ao MME. Tem como atribuições regular e fiscalizar o funcionamento do SEB no que diz respeito à geração, transmissão, distribuição e comercialização. Tem como responsabilidade garantir tarifas justas, zelar pela qualidade do serviço, exigir investimentos na rede e atender seus agentes consumidores, sempre buscando o equilíbrio entre as partes envolvidas. Também concede, permite e autoriza instalações e serviços de energia elétrica.

- **Operador Nacional do Sistema – ONS**

Instituído como uma pessoa jurídica de direito privado, sob a forma de associação civil sem fins lucrativos, o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) foi criado em 26 de agosto de 1998, pela Lei nº 9.648, com alterações introduzidas pela Lei nº 10.848/2004 e regulamentado pelo Decreto nº 5.081/2004. O ONS é o órgão responsável pela coordenação e

controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (ONS, 2020).

- **Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE**

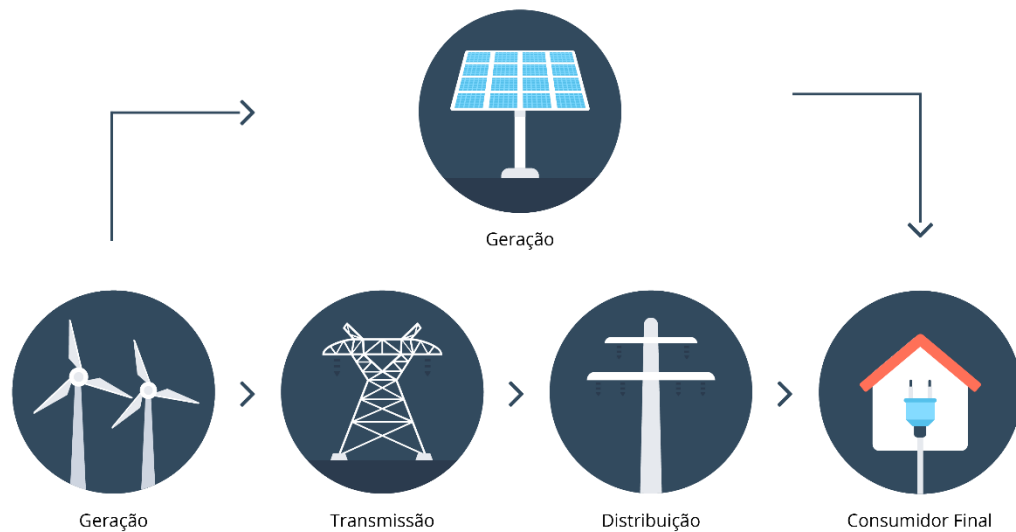
Sucedendo o antigo Mercado Atacadista de Energia (MAE) e regulamentada pelo Decreto nº 5.177, foi criada em 2004 a Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Uma organização privada e sem fins lucrativos, criada e mantida pelos agentes do mercado brasileiro para viabilizar a compra e venda de energia elétrica no Brasil. A instituição surgiu como resultado do projeto RE-SEB (Reforma do Setor Elétrico Brasileiro), iniciado pelo Governo Federal em 1996 para a criação de um mercado competitivo de energia elétrica no país, que, até então, operava em um ambiente de amplo predomínio estatal.

As primeiras atribuições da instituição são de registrar todos os contratos de compra e venda de energia e liquidar as diferenças entre os valores contratados e efetivamente consumidos ou gerados pelos participantes do mercado. É responsável também pelo desenvolvimento das regras iniciais de comercialização e pelo cálculo do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD), utilizado para valorar a energia transacionada no mercado de curto prazo.

A CCEE acumula ainda várias outras funções de importância fundamental para o setor elétrico, tais como a administração do sistema de medição da geração e consumo de energia; a manutenção dos registros de todos os agentes participantes do mercado; o processamento da contabilização e posterior liquidação financeira mensal de cinco agrupamentos de operações, com destaque para o mercado de curto prazo, energia de reserva, cotas de Angra e Mecanismo de Compensação de Sobras e Déficit – MCSD. Além disso, a CCEE realiza o monitoramento constante das boas práticas negociais entre os agentes e a busca pelo desenvolvimento e pelo bom funcionamento do mercado de energia (CCEE, 2020).

Ainda dentro do modelo vigente no SEB, podemos destacar os agentes atuadores do setor, dividindo-os em quatro segmentos, desde a geração da energia elétrica até a chegada ao seu consumidor final, como podemos observar na Figura 3.

Figura 3 – Segmentos SEB



Fonte: Soma Energia (2020)

Para fins de definição, podemos definir tais segmentos como:

I. Geração

No segmento da geração em produção de energia elétrica se incluem as usinas hidrelétricas, térmicas, assim como fontes renováveis de geração de energia como usinas eólicas, fotovoltaicas e PCH's. Nesse segmento, a energia elétrica pode ser vendida tanto no mercado livre como no regulado, pelos leilões de energia entre geradores e as distribuidoras de energia.

Os consumidores no ambiente regulado com suas próprias gerações, enquadrados na REN 482, podem enviar o excedente de sua geração, que não for utilizada pelo consumo instantâneo, para a rede, de modo que esta energia ativa injetada é contabilizada e entra para o sistema de compensação. Quando a energia injetada na rede for maior que a consumida, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh) a ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário ou na fatura dos meses subsequentes. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 60 meses. Essa contabilização de energia gerada e fornecida à rede e energia é registrada pelo medidor bidirecional (ANEEL, 2016).

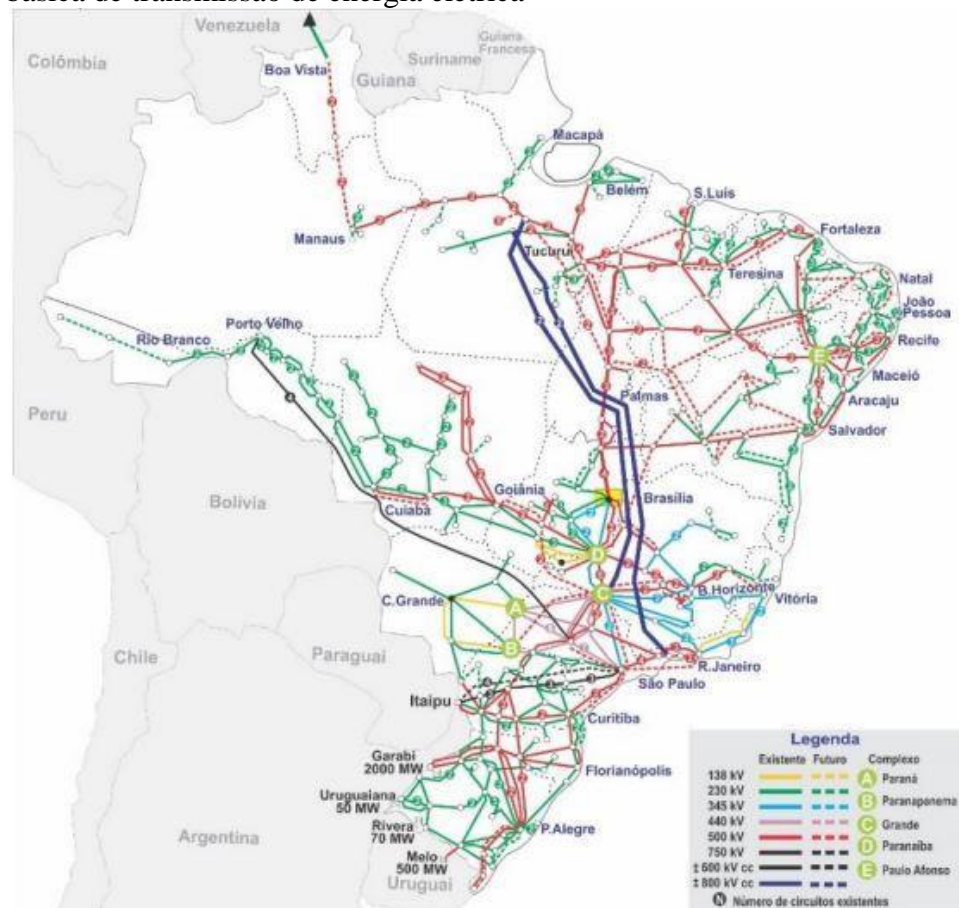
Para consumidores no ambiente de contratação livre, preços de venda de energia são criados e negociados em contratos bilaterais entre o gerador e o consumidor livre. Para os

geradores do ACL também é permitido acesso livre às redes de transmissão e distribuição do SIN.

II. Transmissão

São as estruturas que fazem a intermediação entre os agentes geradores e os consumidores, tendo como finalidade a transmissão de energia elétrica. Em função de que grande parte da matriz energética do Brasil ainda é sustentada por meio de grandes usinas hidrelétricas, essas normalmente situam-se a distâncias consideráveis dos maiores centros de consumo e, em razão disso, as instalações de transmissão costumam percorrer longas extensões territoriais, podendo alcançar níveis de tensão de até 750kV.

Figura 4 – Rede básica de transmissão de energia elétrica



Fonte: Horizonte (2019)

III. Distribuição

Podemos considerar este segmento como sendo a etapa final no sistema de fornecimento de energia elétrica aos consumidores. Aqui pertencem os agentes que desempenham a atividade

de transporte de energia aos consumidores finais, fazendo assim a ligação entre os agentes de transmissão e o consumidor residencial, comercial e industrial. Esse papel de fornecimento de energia elétrica é regulamentado pela ANEEL por meio do sistema tarifário.

Desempenha o papel do fornecimento de energia elétrica e serviços de conexão à rede de forma regulamentada e de livre direito a todos os consumidores.

IV. Consumidor Final / Comercialização

Neste segmento, no ambiente de contratação regular, podemos definir como sendo de fato a última etapa do sistema, onde a energia elétrica que foi gerada nas usinas, transmitida pelas linhas de transmissão e distribuída pelas concessionárias de energia finalmente chega ao seu consumidor final para ser utilizada.

O ambiente de contratação livre é o segmento do mercado de energia que realiza a compra, importação, exportação e venda de energia elétrica aos consumidores livres ou a fornecedores. No ambiente regulado, a venda se restringe apenas aos agentes distribuidores.

2.1.1 Os agentes do Setor Elétrico

Além das instituições responsáveis pela parte operacional e organizacional apresentadas anteriormente, há ainda os agentes setoriais, que contribuem para um melhor funcionamento do setor, sendo que estes podem ser divididos em quatro categorias:

- Agentes de geração: responsáveis pela produção e fornecimento de energia, independentemente da fonte. Tem liberdade de atuação tanto no ambiente de contratação regular como no livre, podendo ser divididos em três classes:

- a) Agentes concessionários de serviço público de geração, que têm sua participação na produção e fornecimento de energia a título de serviço público;

- b) Produtores independentes de energia elétrica (PIE): Criado pela Lei 9.074, de 1996 (Art. 11 e 12), que prevê condições especiais para os produtores independentes baseados em unidades de cogeração. É a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco (ANEEL, 2020).

- c) Autoprodutores, que são as empresas que têm a permissão para produzir energia para uso exclusivo do próprio agente. Havendo um

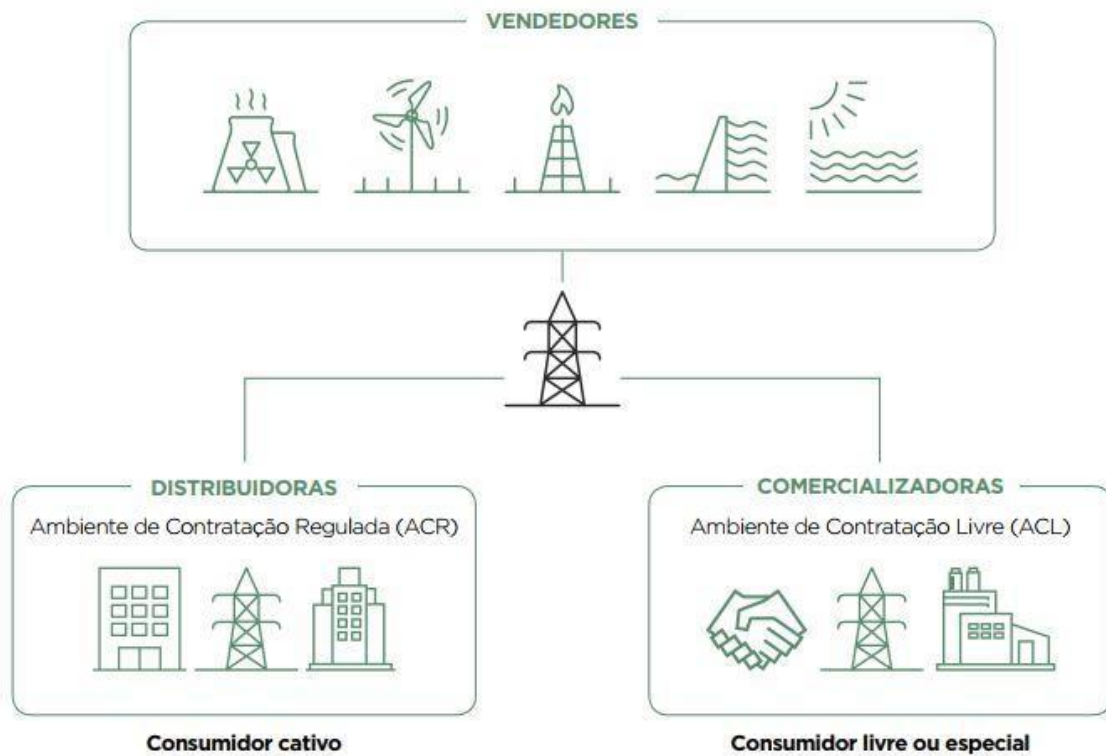
eventual excedente de energia elétrica, têm a liberdade de comercializá-la desde que autorizadas pela ANEEL.

- Agentes transmissores: possuem a concessão da infraestrutura para a realização da transmissão de energia elétrica na rede básica entre os agentes geradores e os distribuidores.
- Agentes distribuidores: responsáveis pela distribuição da energia elétrica na região de sua concessão, sendo essa energia proveniente de contratos celebrados no ACR por meio de leilões regulados pela ANEEL. Realizam o atendimento de demanda de novas ligações, manutenção da rede e construção de novas linhas para atender às necessidades das unidades consumidoras, conforme a REN 414.
- Agentes comercializadores: fazem a importação, exportação e comercialização interna de energia, inclui-se os consumidores livres e especiais, os quais serão abordados de maneira mais específica posteriormente neste trabalho, devido ao papel fundamental que exercem dentro do ACL.

2.1.2 Estrutura do Mercado de Energia Elétrica

Atualmente, a comercialização de energia elétrica dentro do mercado de energia está estruturada em dois ambientes distintos, o Ambiente de Contratação Regulada (ACR) e o Ambiente de Contratação Livre (ACL). Dentro do ACR, os vendedores (geradores, comercializadores e produtores independentes de energia) vendem energia para os agentes distribuidores, que, por sua vez, fornecem a energia aos consumidores do mercado cativo. Diferentemente do ACR, no ACL, os comercializadores vendem a energia diretamente para os consumidores livres. Podemos observar tal formatação através da Figura 5:

Figura 5 – Estruturação do Mercado de Energia Elétrica



Fonte: do autor, adaptado de FIESP (2020).

- **Ambiente de Contratação Regulada (ACR)**

Segundo a ANEEL, o ambiente de contratação regulada pode ser definido como o segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica entre agentes vendedores e agentes de distribuição, precedidas de licitação, com exceção dos casos previstos em lei, conforme regras e procedimentos de comercialização específicos.

Nesse ambiente, as distribuidoras de energia realizam compras de pacotes de energia em leilões dos agentes vendedores (geradores, produtores independentes e comercializadores). Essas compras se efetivam através de contratos bilaterais entre as partes (distribuidoras e vendedores), denominados Contratos de Comercialização de Energia Elétrica no Ambiente Regulado (CCEAR), segundo o artigo 27 do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004.

Os contratos bilaterais de compra de energia realizados neste ambiente têm como objetivo fornecer energia elétrica, por meio das redes elétricas das distribuidoras, aos consumidores finais, estes sendo denominados de *consumidores cativos*. As distribuidoras de energia elétrica têm obrigatoriedade por lei de fornecer energia elétrica para cem por cento desses consumidores.

Os consumidores cativos, por sua vez, ficam responsáveis pelo pagamento da energia fornecida pela distribuidora através das faturas de energia elétrica, sendo esta última exposta a tarifas regulamentadoras estipuladas pela ANEEL, que são reajustadas anualmente. O valor das tarifas é o resultado de uma análise dos contratos de longo prazo, assim como análise de riscos de diferenças de preços entre submercados, preços adicionais da utilização de usinas termelétricas quando acionadas e a variação cambial nas tarifas de Itaipu.

O mercado onde ocorrem as negociações entre os vendedores (geradores, produtores independentes e comercializadores) e as distribuidoras, e onde o consumidor compra energia integralmente da concessionária ou permissionária é denominado *mercado cativo*.

- **Ambiente de Contratação Livre (ACL)**

Através do decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004, pode-se definir o ambiente de contratação livre como “o segmento do mercado no qual se realizam as operações de compra e venda de energia elétrica, objeto de contratos bilaterais livremente negociados, conforme as regras e procedimentos de comercialização específico”. O ambiente de mercado em que se realizam esses tipos de negociações chama-se Mercado Livre e seus agentes participantes podem ser denominados como agentes geradores, comercializadores ou consumidores livres, sendo que esses têm a obrigatoriedade de registrar todas as transações na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Os consumidores pertencentes a esse ambiente têm a liberdade de escolher seus fornecedores de energia elétrica, tendo a portabilidade da conta de luz por direito. Porém, ficam sujeitos aos riscos de exposição no Mercado de Curto Prazo – MCP, ou seja, no caso de constatada a diferença entre o montante de energia contratado e montante real consumido, haverá a necessidade de comercialização da diferença constatada a um determinado preço chamado de Preço de Liquidação das Diferenças – PLD, que visa encontrar um valor de preço, conforme a lei da oferta e demanda, para a semana de liquidação em questão.

O PLD é valorado semanalmente pela CCEE para cada submercado e para cada nível de carga do sistema. O cálculo é realizado a partir de modelos desenvolvidos pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), e que também são utilizados pelo ONS. No início de cada ano, a ANEEL elabora e divulga o piso e o teto do PLD (valores máximos e mínimos). Vale ressaltar que, para o cálculo do teto do PLD no ano de 2020, foi avaliado o custo da última termelétrica com contrato regulado que equivale a R\$ 559,75/MWh, enquanto o piso para o PLD desse mesmo ano foi valorado pelo maior valor entre a receita recebida pelas usinas que

tiveram concessões renovadas ou relicitadas e o custo da operação da usina de Itaipu, tem o valor de PLD mínimo do megawatt hora de R\$ 39,68/MWh (ANEEL, 2012).

Devido à grande diferença de valores entre o piso e o teto do PLD, é válido salientar que, como os modelos de cálculo utilizados são extremamente sensíveis a variações climáticas, para uma melhor elaboração contratual no mercado livre de energia é necessário um planejamento detalhado do consumo da unidade consumidora para que os contratos realizados no ACL sejam o menos vulneráveis possível às variações dessa tarifa.

2.2 TIPOS DE ENERGIA

Dentro do ACL, os consumidores dentro de seus contratos de compra e venda de energia podem optar pela compra de energia incentivada ou convencional, dependendo do seu perfil e do estudo de análise de contratação, devido à sazonalização e perfil de consumo que está se fazendo. Dessa maneira, é interessante elucidar cada um desses tipos de energia para o melhor entendimento do estudo:

- Energia incentivada: A energia incentivada foi estabelecida pelo Governo para estimular a expansão de geradores de fontes renováveis, limitados a 30 MW de potência, como as Pequenas Centrais Hidroelétricas (PCH), Biomassa, Eólica e Solar. Para esses geradores serem mais competitivos, o comprador da energia proveniente deles, chamada de energia incentivada, recebe descontos (de 50%, 80% ou 100%) na tarifa de uso do sistema de distribuição.
- Energia convencional: É proveniente dos outros tipos de geradores, como usinas térmicas a gás ou grandes hidroelétricas. Apesar de o consumidor não obter nenhum desconto nas tarifas de distribuição ou transmissão na compra dessa energia, são as que possuem os preços mais competitivos e atrativos do mercado de energia.

2.3 TIPOS DE CONSUMIDOR

A estrutura atual do mercado de energia elétrica brasileiro vem sofrendo algumas modificações no que diz respeito às condições necessárias para participação do ambiente livre ou do ambiente regular, ou seja, há uma maior possibilidade de atuação no mercado, principalmente no ambiente livre. Assim sendo, dentro do arranjo atual, podemos definir os três tipos de consumidores do mercado como:

- **Consumidores cativos:** pertencem ao ACR, em que só é permitida a compra de energia da distribuidora de energia com a concessão ou permissão na área em que fica localizada a unidade consumidora do acessante, segundo a Resolução Normativa n° 482 da ANEEL. (ANEEL, 2012).

- **Consumidores livres:** pertencem ao ACL, possuindo a liberdade de contratar energia proveniente de qualquer gerador independente de sua fonte de geração, cuja demanda contratada deve ser maior ou igual 2.000kW atendidos em qualquer tensão. Em 28 de dezembro de 2018 foi publicado no Diário Oficial, pelo Ministério de Minas e Energia, a Portaria n° 514 de 27 de dezembro de 2018, cujo objetivo foi diminuir os limites de carga para contratação de energia elétrica por parte dos consumidores. Anteriormente, os limites de carga demandada para inclusão como consumidor livre eram de 3.000kW até 1° de julho de 2019, 2.500kW até 1° de janeiro de 2020 e atualmente o limite mínimo é de 2.000kW. Essas reduções de limites mínimos de carga demandada da rede devem-se à Minuta de Portaria 314/2019 que visa alterar a Portaria n° 514/2018, diminuindo os requisitos para acesso de consumidores ao Mercado Livre de Energia Elétrica. Essas reduções de demanda mínima previstas são apenas para a compra de energia convencional, visto que, atualmente, o requisito de demanda mínima para compra de energia incentivada é de 500kW. Pode-se visualizar as mudanças previstas pela Minuta de PRT 314/2019 para compra de energia convencional nos anos seguintes na Figura 6, a seguir (ABRACEEL, 2019; MME, 2019).

Figura 6 – Datas para implementação de novos requisitos mínimos para acesso ao ACL



Fonte: adaptado de ENGIE Brasil (2020).

- **Consumidores especiais:** pertencem ao ACL e possuem uma demanda contratada igual ou maior que 500 kW e menor que os limites mínimos para a compra de energia convencional citados anteriormente. A particularidade que diferencia esses consumidores, denominados especiais – embora sejam consumidores livres, é de que estes só tem a possibilidade de comprar energia proveniente de fontes incentivadas, ou seja, renováveis, como de UFV, PCHs, usinas eólicas, biomassa e hidráulicas, de empreendimentos com potência inferior ou igual a 50 MW. Os consumidores especiais, embora tenham a restrição de compra de apenas energia incentivada, têm a possibilidade de realizar a comunhão de cargas caso possuam demanda inferior a 500Kw. Sendo assim, consumidores de mesmo CNPJ (matriz e filiais) ou localizadas em área contígua podem unir-se para atingir o nível mínimo de 500kW para se tornarem consumidores especiais e realizarem a compra de fontes de energia incentivada (ABRACEEL, 2019).

2.4 ESTRUTURA TARIFÁRIA DE ENERGIA ELÉTRICA

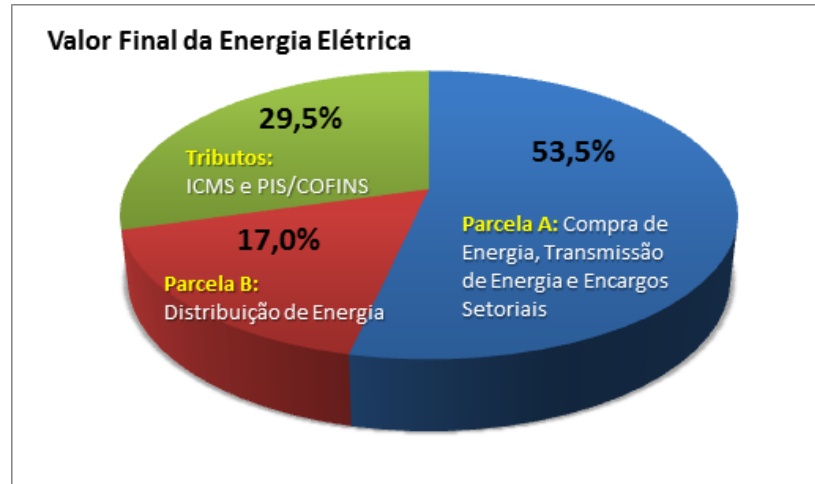
Dentro do ACR, o meio pelo qual ocorre a remuneração das distribuidoras de energia é através das tarifas de energia. Os custos de energia presente na fatura de energia do consumidor brasileiro representam, atualmente, a maior parcela de custos com a compra de energia, transmissão e encargos setoriais (53,5%), seguido dos custos com Tributos (29,5%). A parcela referente aos custos com distribuição, ou seja, o custo para manter os ativos e operar todo o sistema de distribuição representa apenas 17% dos custos das tarifas (ANEEL 2018).

A estrutura de cálculo utilizada para a formação do preço das tarifas utilizadas pelas distribuidoras pode ser dividido, para o melhor entendimento, em duas parcelas A e B. A parcela A diz respeito aos custos não gerenciáveis das concessionárias de energia, no que se incluem custos de transporte de energia pelas linhas de transmissão e sistema de distribuição. Já para a parcela B incluem-se os custos de domínio da concessionária de energia, como custos de operação, manutenção e investimentos na rede e sistema elétrico.

Ademais, das taxas que incluem os custos físicos para o funcionamento do sistema elétrico, cita-se os tributos federais que incidem sobre a fatura de energia: Programa de Integração Social (PIS), Contribuição para Financiamento de Seguridade Social e Estadual (COFINS) e Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços (ICMS). Esses tributos são pagos pelos consumidores em suas respectivas faturas de energia, contribuições que são repassadas das distribuidoras e permissionárias ao Governo Federal e estadual. A Figura 7, a

seguir, representa a participação tributária e das parcelas A e B na média da tarifa de energia elétrica brasileira, segundo a ANEEL 2017.

Figura 7 – Participação dos itens das Parcelas A e B e dos tributos na Receita Anual da média das distribuidoras



Fonte: ANEEL (2017).

Ainda na composição da fatura de energia, a tarifa de energia aplicada aos consumidores de energia é dividida em duas partes, a Tarifa de Energia (TE) e a Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD). Embora ambas as tarifas sejam auto explicativas, pode-se definir a TE como o valor incidente sobre a energia em si e os demais custos nele subentendidos. Já a TUSD refere-se à prestação de serviço necessário para que se faça o consumo de energia elétrica, a disponibilização da rede elétrica, cabeamento, transformadores e todos os equipamentos necessários para a correta operação da infraestrutura do setor elétrico.

Os consumidores de energia elétrica são classificados, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), de acordo com o nível de tensão que são atendidos. Consumidores atendidos acima de 2,3 kV, como indústrias, shopping centers e alguns edifícios comerciais, com altas cargas instaladas aos seus sistemas, são classificados no Grupo A, que é subdividido da seguinte forma:

- Subgrupo A1: 230 kV ou mais;
- Subgrupo A2: 88 a 138 kV;
- Subgrupo A3: 69 kV;
- Subgrupo A3a: 30 a 44 kV;
- Subgrupo A4: 2,3 a 25 kV;
- Subgrupo AS: para sistemas subterrâneos.

Consumidores em geral, atendidos com 127 V ou 220 V, como residências, lojas, edifícios residenciais e prédios públicos federais, são classificados no grupo B, que se subdivide em:

- Subgrupo B1: residencial e residencial baixa renda;
- Subgrupo B2: rural e cooperativa de eletrificação rural;
- Subgrupo B3: demais classes;
- Subgrupo B4: iluminação pública.

Os diferentes tipos de subgrupos estão sujeitos a diferentes cargas tributárias e tarifações sobre a utilização e disponibilidade de energia elétrica pelas concessionárias de energia. Também estão sujeitos às bandeiras tarifárias, que caracterizam uma representação no reajuste da fatura devido às condições de geração de energia elétrica em todo o Sistema Interligado Nacional que é somado ao valor da tarifação utilizada por cada subgrupo.

A partir de 2015, o sistema de bandeiras tarifárias entrou em vigor. Até o presente momento, este sistema passou por diversas testes e modificações. Em períodos favoráveis à geração de energia hidrelétrica, com os reservatórios em bons níveis de utilização, a bandeira tarifária é verde, isto é, não incide nenhum valor adicional à tarifa.

No dia 3 de novembro de 2017, a ANEEL reajustou as bandeiras tarifárias, contemplando todos os custos de geração que variam conforme o cenário hidrológico. A *bandeira vermelha* passou a ter dois patamares (1 e 2), representando respectivamente R\$4,00 e R\$6,00, valores que são acrescentados a cada 100 kWh (quilowatt-hora) consumidos por haver condições de geração mais custosas de geração e operação. Já a *bandeira amarela* representa R\$1,50 acrescentados a cada 100 kWh.

2.4.1 Estrutura tarifária do Grupo A

A estrutura tarifária do Grupo A pode ser dividida em três grupos, tarifa convencional, tarifa horária verde e tarifa horária azul. Geralmente o maior consumo de energia é das 18h às 21h, denominado horário de ponta (com exceção dos sábados, domingos, terça-feira de carnaval, sexta-feira da Paixão, Corpus Christi, e outros feriados). Essas três horas do dia torna-se mais caro para a concessionária, devido ao alto carregamento da rede elétrica. Desse modo, o nível de consumo elétrico atinge o máximo em períodos secos, que correspondem aos meses de maio a novembro, quando a disponibilidade de água nos reservatórios é mínima, tendendo a elevar o preço da tarifa.

2.4.1.1 Tarifa convencional

O consumidor pode optar pela tarifa convencional, em que ele faz a contratação de demanda direto com a concessionária de energia elétrica, de acordo com a sua necessidade. A demanda funciona por potência contratada independente da hora do dia (ponta ou fora de ponta) ou período do ano (seco ou úmido).

Na tarifa convencional, os clientes são aqueles com tensão de alimentação inferior a 69kV e demanda menor que 300 kW. Ainda, os 11 meses anteriores ao contrato não podem ter três registros consecutivos, ou seis registros alternados, de demanda superior a 300 kW. (PROCEL, 2011)

2.4.1.2 Tarifa horária verde

O consumidor também pode optar pela tarifa horária verde. Nesse tipo de tarifa, a cobrança é separada pelos horários de ponta e fora de ponta de consumo e a demanda tem um valor de contratação fixo. Essa tarifa é opcional para o consumidor com tensão inferior a 69 kV e com demanda a partir de 50 kW, sendo destinada principalmente aos consumidores com baixo consumo no horário de ponta.

2.4.1.3 Tarifa horária azul

Esse tipo de fatura possui tarifação para horário de ponta e fora do horário de ponta, tanto para o consumo quanto para a demanda, considerando diferenciação no valor do consumo de acordo com as bandeiras tarifárias. A tarifa azul é obrigatória para consumidores com tensão superior a 69 KV e demanda maior que 500 kW, ficando opcional para consumidores com tensão inferior a 69 KV e demanda maior que 50 kW.

2.4.2 Estrutura tarifária do grupo B

As unidades consumidoras que se enquadram no grupo B apresentam tarifa monômnia, ou seja, são cobrados apenas pela energia que consomem e podem se enquadrar nos seguintes modelos tarifários:

- Tarifa convencional: possui apenas um único valor para a energia consumida independente do horário de consumo. Apenas incidem sobre essa tarifa a variação da

bandeira tarifária, sendo que os custos com demanda de carga encontram-se incluídos no custo de consumo.

- Tarifa horária branca: possui variação de valor tarifário em função do horário de consumo. Não se enquadram nesse modelo tarifário consumidores dos subgrupos B4 e B1 baixa renda. Tem como objetivo incentivar consumidores a deslocarem seus horários de consumo dos períodos de ponta e intermediários (horários com tarifas mais caras) para os períodos de menor carga no sistema elétrico.

2.4.3 Postos tarifários

Os postos tarifários são diferentes possibilidades de faturamento da energia e da demanda de potência contratada que se pode diferenciar ao longo do dia. Nas modalidades tarifárias do Grupo A, aplicam-se os horários de ponta e fora ponta. E na Tarifa Branca aplicada ao Grupo B, aplicam-se os três postos tarifários: ponta, intermediário e fora ponta. Os postos tarifários são definidos por distribuidora, no seu processo de revisão tarifária periódica (a cada 4 ou 5 anos), de acordo com a Resolução Normativa (REN) nº 414/2010, art. 59, e os Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET). Pode-se definir os postos tarifários entre três tipos:

- Horário (posto) fora de ponta: período diário composto pelas horas consecutivas e complementares ao horário de ponta e intermediário.
- Horário (posto) intermediário: período de horas conjugadas ao horário de ponta, aplicado exclusivamente às unidades consumidoras que optem pela Tarifa Branca. Pode variar de 1h a 1h30 antes e depois do horário de ponta.
- Horário (posto) de ponta: período diário de 3h consecutivas, com exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais

Existe também o horário especial (também conhecido como período reservado), aplicado às unidades consumidoras da subclasse rural irrigante ou aquícultora. O horário especial é o período de 8h30min do dia que abrange toda a madrugada, em que a carga destinada à irrigação ou aquícultura recebe um desconto na tarifa de acordo com a região em que se localiza e o grupo tarifário a que pertence. A REN nº 414/2010, nos arts. 53-J, 53-L, regulamenta esse desconto. Os postos são definidos por área de concessão ou permissão. Contudo, existem exceções para algumas distribuidoras, que constam na Resolução que homologa a revisão tarifária da distribuidora. Os postos tarifários são aplicados aos dias úteis.

Já nos fins de semana e feriados nacionais, todas as horas são consideradas como fora de ponta. (ANEEL, 2017)

Para a distribuidora de energia elétrica RGE Sul com concessão em região no estado do Rio Grande do Sul pela resolução 2.557 de 2019, o horário intermediário 1 é definido pelo período que compreende das 16h às 18h, o horário intermediário 2 é definido pelo período que compreende das 21h às 22h, o horário de ponta é definido pelo período que compreende das 18h às 21h e o horário fora ponta é definido pelo período que complementa o horário de ponta.

2.5 GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Toda geração de energia elétrica proveniente de um gerador de pequeno porte, sendo através de fontes renováveis ou por combustíveis fósseis, situado próximo aos centros de cargas, pode-se chamar de geração distribuída. No Brasil, o Decreto de Lei nº 5.163/2004 (BRASIL, 2004) define GD como fontes renováveis, pequenas centrais hidrelétricas e cogeração qualificada. Esse termo vem sendo cada vez mais difundido e divulgado pelos seus grandes benefícios ao consumidor, como a melhora do nível de tensão da rede nos períodos de alto consumo, baixo impacto ambiental e principalmente pela economia e dependência de energia da rede elétrica das concessionárias de energia.

Com o intuito de incentivar a implementação, padronizar e definir diretrizes para a utilização de GD no Brasil, no dia 17 de abril de 2012, a ANEEL estabeleceu o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, em que todo consumidor brasileiro pode gerar e fornecer sua própria energia elétrica, e, havendo excedentes na geração, pode-se distribuir na rede local.

As GDs são classificadas pela capacidade de geração: a microgeração distribuída, que se apresenta com capacidade instalada menor ou igual a 75 quilowatts (kW); e a minigeração distribuída, que incorpora sistemas com potência instalada entre 75kW a 3MW (para fontes hídricas) ou 5MW para as demais fontes (ANEEL, 2016).

2.6 SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA

Desde a criação da Resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012, fica permitida a conexão de GD à rede, bem como sua regulamentação. Esse tipo de geração se caracteriza como a modalidade de compensação de energia, que é definida como um arranjo no qual a energia ativa injetada na rede pela unidade consumidora, através da microgeração ou minigeração

distribuída, é cedida à distribuidora local e, posteriormente, compensada com o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2016).

Quando a energia injetada na rede for maior que a consumida, o consumidor receberá um crédito em energia (kWh) a ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário ou na fatura dos meses subsequentes. Os créditos de energia gerados continuam válidos por 60 meses. Essa contabilização de energia gerada e fornecida à rede é registrada pelo medidor bidirecional, melhor compreendido na Figura 8 (ANEEL, 2016).

As GDs conectadas à rede são totalmente dependentes de tal conexão, e não funcionam na falta de eletricidade. Tal fato se deve pelo motivo de que as GDs não devem injetar energia na rede em momentos de manobras de manutenção. Devido a isso, é necessário que os conversores possuam o sistema de anti-ilhamento, conforme estabelecido na NR 687 da ANEEL.

Existem também outras possibilidades na utilização dos créditos pelo consumidor, como, por exemplo, utilizar esses créditos em outras unidades previamente cadastradas dentro da mesma área de concessão e caracterizada como autoconsumo remoto, geração compartilhada ou integrante de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras (condomínios), em locais diferentes do ponto de consumo.

Figura 8 – Sistema de Compensação de Energia Elétrica



Fonte: ANEEL (2016).

2.7 ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia solar é fonte primária de recursos energéticos para diversas outras fontes, como a hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos. Sendo também

recurso para aquecimento de fluidos e ambientes, provedora de iluminação natural e, ao ser convertida, fonte de energia elétrica (ANEEL, 2005).

Em 1973 e 1974, com a crise energética mundial, que fez com que o mundo buscasse novas formas de produção de energia, e, com isso, o uso da energia fotovoltaica não se restringiu apenas em satélites, mas também em aplicações práticas em solo terrestre. Abaixo, é apresentada a linha do tempo da evolução dos sistemas fotovoltaicos, de acordo com o Ministério de Minas e Energia do Brasil (2018).

- 1950: Laboratório Bell (início das pesquisas e aplicações práticas);
- 1954: Célula fotovoltaica de silício;
- 1973: Crise mundial (estudos de novas aplicações);
- 1978: Produção de células fotovoltaicas ultrapassava 1MWp/ano;
- 1999: Potência instalada acumulada atinge o primeiro Giga Watts Pico (GWp);
- 2002: Potência instalada acumulada dobra em relação a 1999;
- 2009: 23GWp em geração de energia fotovoltaica no mundo;
- 2011: 70GWp em geração de energia fotovoltaica no mundo;
- 2014: 180GWp em geração de energia fotovoltaica no mundo.

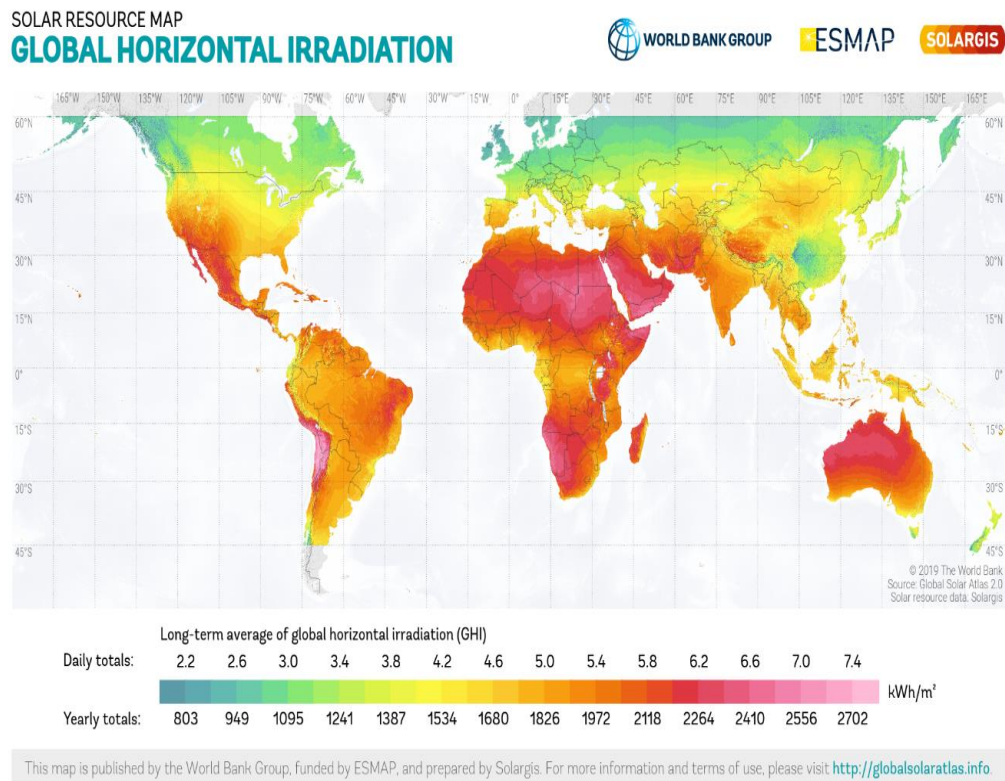
A irradiação solar recebida na superfície do nosso planeta é comumente aproveitada de duas formas distintas de conversão de energia: térmica e fotovoltaica. A energia térmica faz uso de dispositivos de aquecimento que utilizam tal irradiação como fonte de calor combustível. Já a energia fotovoltaica utiliza a radiação solar para a geração de energia elétrica através do efeito fotovoltaico, presente em dispositivos semicondutores.

De toda a radiação de energia oriunda do sol, uma parcela é refletida pela atmosfera de volta ao espaço, aproximadamente 30%, e a outra parcela é então absorvida pelas nuvens, mares e crosta terrestre. A parcela de radiação que atravessa a atmosfera e chega à crosta é decomposta em Irradiação Direta Normal (DNI) e Irradiação Horizontal Difusa (DHI) (IFC, 2012).

A DNI é o total da energia solar recebida em uma unidade de área de superfície permanentemente voltada para o sol e a DHI é a energia recebida em uma unidade de área de superfície horizontal de todas as direções quando a radiação é dispersa para fora da atmosfera ou área circundante. Ambas as radiações são decompostas da Irradiação Horizontal Global (GHI), que corresponde ao total da energia solar recebida em uma unidade de área de superfície horizontal, geralmente em kWh/m².

A soma anual da GHI, apresentado na Figura 9, é de particular relevância para as plantas de energia fotovoltaica, que são capazes de fazer uso de ambas as componentes difusas e de feixe de radiação solar (IFC, 2012).

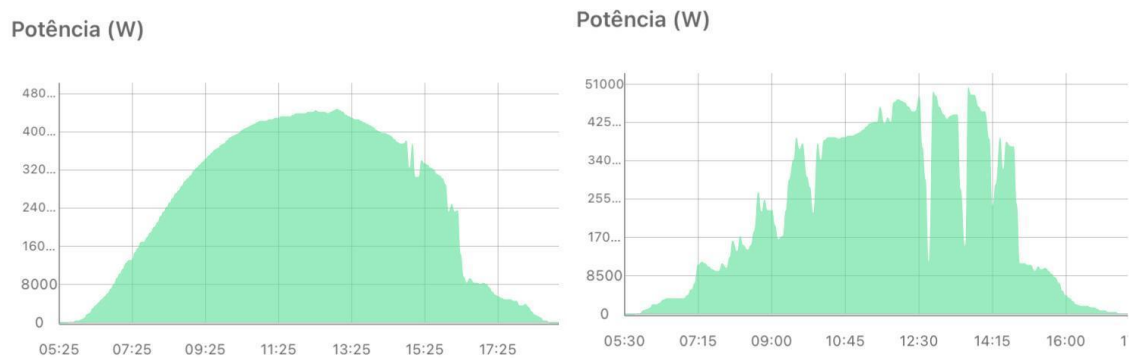
Figura 9 - Irradiação Horizontal Global média no ano.



Fonte: World Bank Group (2019).

Em curtos períodos de tempo, a irradiação solar pode variar de forma abrupta devido a fatores climáticos, na Figura 10, observa-se tal influência do clima na geração fotovoltaica nas curvas de geração em dias nublados e ensolarados.

Figura 10 – Curvas típicas de geração fotovoltaica: dias ensolarados (a) e dias nublados (b)



Fonte: do autor.

2.7.1 Funcionamento da energia fotovoltaica

Em 1905, Einstein sugeriu que, em algumas circunstâncias, a luz se comportava não como uma onda, mas como uma partícula, concedendo-lhe então uma natureza dual onda-partícula. Este trabalho, que lhe rendeu um prêmio Nobel, se baseia na ideia de que se pode pensar na luz como num fluxo de partículas, chamadas de fótons, cada qual funcionando como um pequeno pacote de energia. A energia correspondente a cada um destes fótons é diretamente proporcional à frequência da onda do fóton.

Para poder aproveitar essa energia incidente, é necessário a presença de um campo elétrico. Para tal, utiliza-se a camada de depleção que surge ao se unirem dois cristais semicondutores, um dopado positivamente e outro negativamente (RESNICK, 2002 apud DAZCAL, 2007).

Células fotovoltaicas são fabricadas com material semicondutor, geralmente o silício, que possui condutibilidade baixa. O silício então é dopado, utilizando outros elementos como fósforo e o boro, para se obter um material portador de carga negativa (tipo N), e um material com cargas positivas livres (tipo P). Com a incidência de luz sobre a célula, os fótons se chocam com os elétrons e os fornecem energia. Devido ao efeito do campo presente na junção P-N, os elétrons ficam orientados e fluem de uma camada para a outra por meio de condutores externos, que conectam às duas camadas, gerando assim um fluxo de elétrons.

Atualmente, existe geração conectada na rede (*on-grid*) ou totalmente isolada (*off-grid*). Em um sistema *on-grid*, trabalha-se com o princípio de que este esteja conectado à rede, ou seja, o sistema fotovoltaico trabalha em sintonia com distribuição da concessionária de energia elétrica. No momento em que há mais geração do que consumo, o medidor bidirecional irá medir tal geração excedente, gerando créditos que, segundo a Resolução Normativa nº 687, poderão ser usados até 60 meses após a geração.

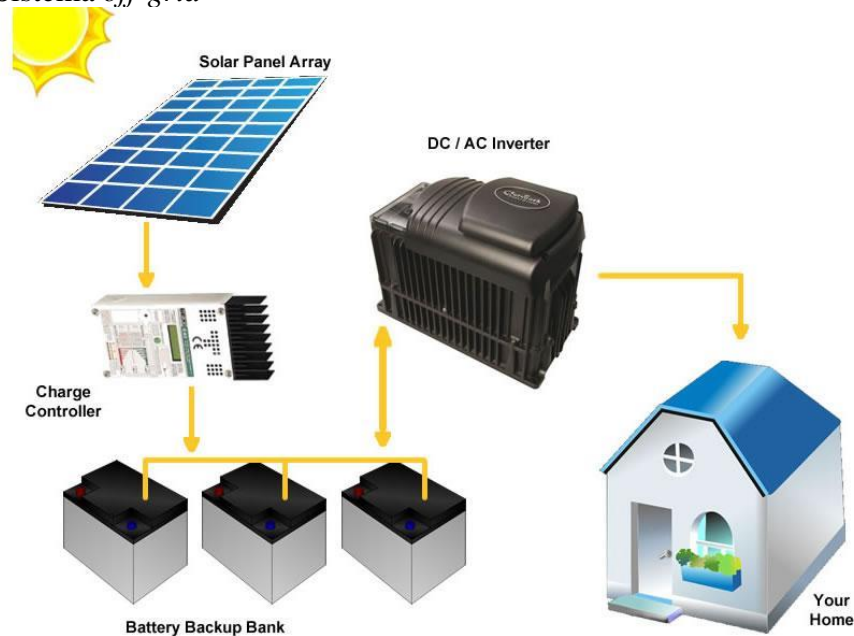
O módulo solar gera energia em corrente contínua (CC), mas, como as principais cargas são alimentadas em corrente alternada (CA), é necessária a instalação de um conversor de energia. Para isso, utiliza-se o inversor de frequência, também responsável pela interligação entre a rede elétrica e o sistema de geração distribuída local.

No sistema *off-grid*, a instalação é totalmente isolada da rede elétrica de distribuição. Portanto, o uso de um sistema armazenador de energia é necessário durante os momentos que não há incidência de luz solar nos módulos. Após a geração do módulo solar, é necessário um controlador de carga. Esse controlador tem como função controlar o fluxo de energia enviada

para as baterias, as quais são responsáveis por alimentar os equipamentos, ou seja, a função do módulo solar é repor a energia consumida pelas baterias.

Para esse sistema, dependendo da carga, é necessária uma grande quantidade de baterias para armazenamento de energia, tornando muitas vezes inviável economicamente. Tal sistema é melhor exemplificado na Figura 11.

Figura 11 – Sistema *off-grid*

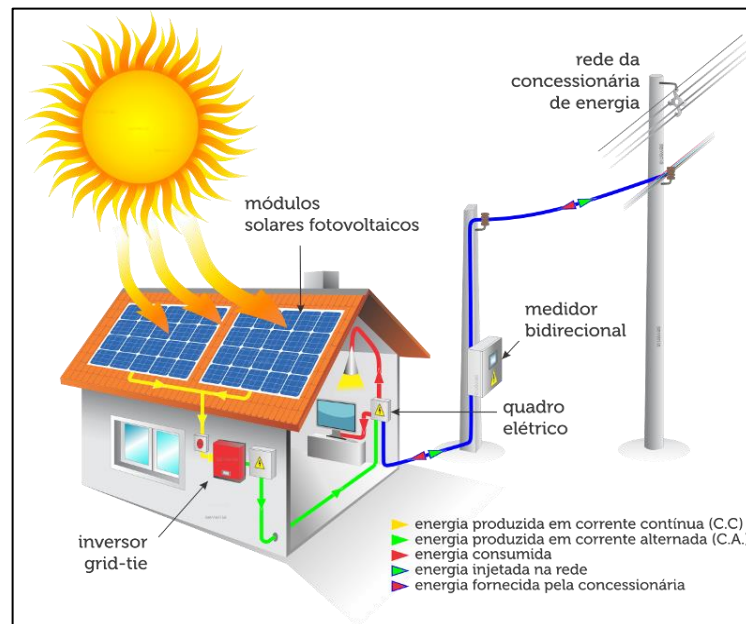


Fonte: GreatSolarPV (2019).

2.7.2 Componentes do Sistema Fotovoltaico

Um exemplo de microgeração distribuída utilizando sistema fotovoltaico conectado à rede (*on-grid*) pode ser observado na Figura 12, em que se nota que o sistema nada mais é que um conjunto de módulos fotovoltaicos, um arranjo de inversores de frequência e um medidor bidirecional. Os módulos fotovoltaicos enviam a energia gerada, por meio de cabos, para o inversor, que é conectado ao quadro elétrico e é responsável por gerenciar a energia que é gerada ou consumida da rede. O quadro elétrico, por sua vez, é conectado ao medidor bidirecional, que tem conexão com a rede de distribuição da concessionária local.

Figura 12 – Sistema de microgeração de energia solar fotovoltaica



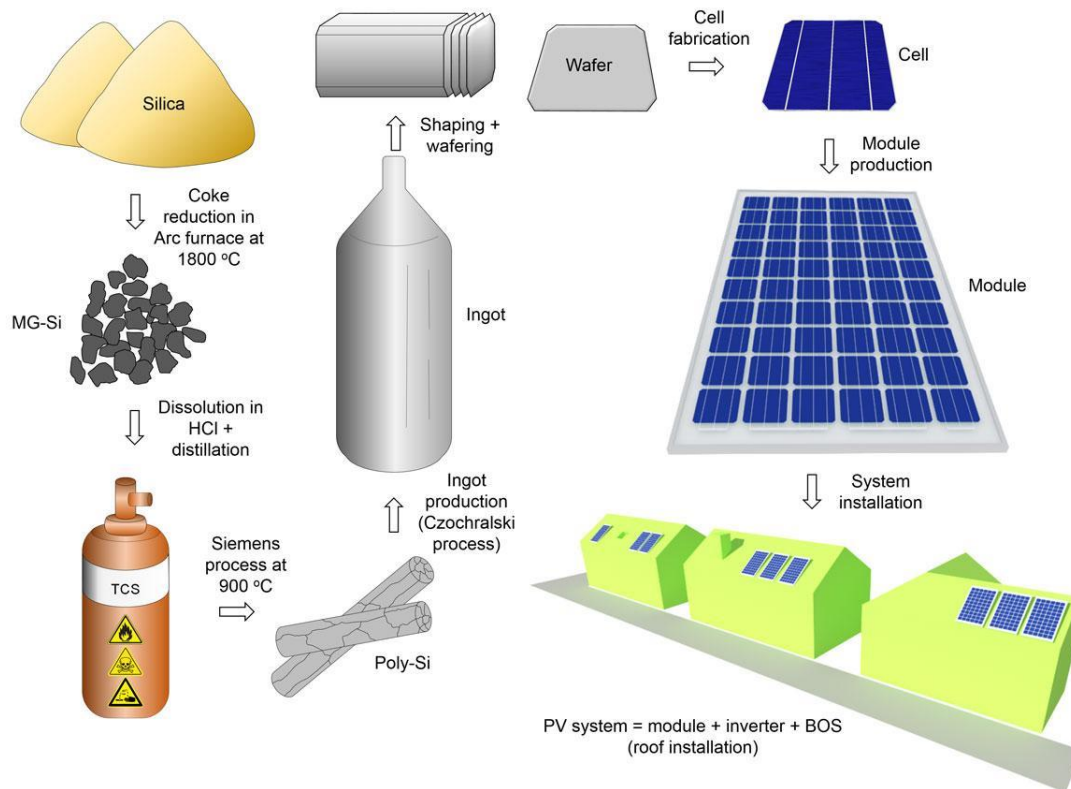
Fonte: Portal Solar (2020).

2.7.3 Módulo Solar

Os módulos solares são compostos de células fotovoltaicas que utilizam os fótons para gerar corrente elétrica. Uma célula fotovoltaica é um dispositivo elétrico que converte a luz diretamente em energia elétrica através do efeito fotovoltaico, composta por metais semicondutores como silício e cádmio. A energia elétrica gerada pelos módulos é em corrente contínua (CC) e para conectar na rede elétrica é convertida em corrente alternada (CA) pelos inversores de frequência (PORTAL SOLAR, 2019).

Um exemplo de como é o processo de fabricação desde o princípio, ou seja, pela matéria prima, pelo processamento em lingotes e, por fim, pelo refinamento em pastilhas, células fotovoltaicas e módulos fotovoltaicos é apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Processos de Fabricação de um Módulo Fotovoltaico



Fonte: do autor, adaptado CheetahExchange (2018).

Novos materiais semicondutores estão sendo testados hoje em dia nos maiores centros de pesquisas do mundo, visando melhorar ainda mais a eficiência dos módulos fotovoltaicos. Atualmente, os fabricantes garantem entre 16% e 20% de eficiência. Os dois módulos mais utilizados são o monocristalino e o policristalino.

A principal diferença entre as duas tecnologias é o método utilizado na fundição dos cristais. O monocristalino é feito a partir de um único cristal de silício ultrapuro, em formato tubular, que é fatiado, tratado e transformado em células fotovoltaicas, possuindo um custo mais alto e eficiência melhor que o policristalino. Já no policristalino, os cristais de silício são fundidos em um bloco, preservando a formação de múltiplos cristais, porém diminui-se a eficiência da célula fotovoltaica e o custo de fabricação.

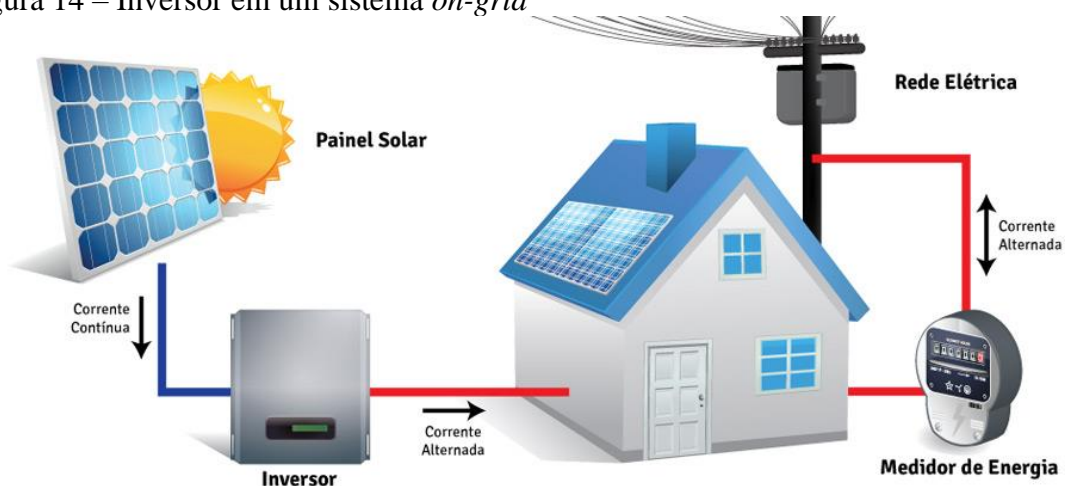
2.7.3.1 Inversor de frequência

A utilização de inversores de frequência é imprescindível em sistemas fotovoltaicos conectados à rede, pois são responsáveis por fazer a conversão de corrente contínua (CC) para corrente alternada (CA). Outra função importante do inversor em um sistema *on-grid* é garantir

a segurança de toda a operação, bem como medir toda a geração realizada pelas células fotovoltaicas.

Os inversores podem possuir diversas especialidades técnicas adicionais, como sistemas de monitoramento da geração de energia pelas células fotovoltaicas e conexão com a internet, possibilitando um melhor monitoramento do desempenho do sistema. Podem incluir, também, dispositivos seguidores de máxima potência, que ajustam a tensão nos módulos de acordo com as condições climáticas de forma a otimizar a geração. Observa-se, na Figura 14, um tipo de inversor aplicado em sistemas *on-grid*.

Figura 14 – Inversor em um sistema *on-grid*



Fonte: do autor adaptado StromBrasil (2018).

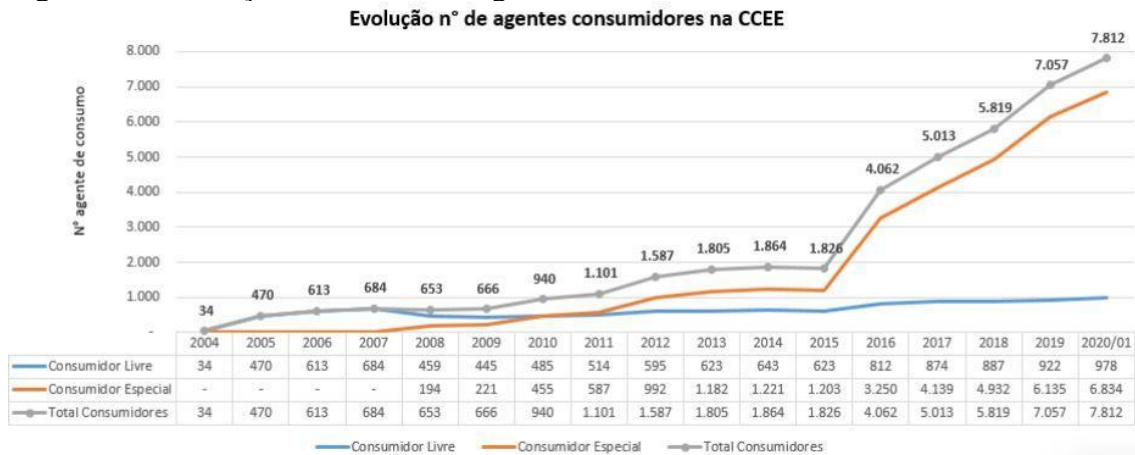
2.8 O MERCADO LIVRE DE ENERGIA

Conforme mencionado anteriormente, o mercado livre de energia, desde sua criação em 1995 pela Lei nº 9.074, tem como premissa ampliar o poder de decisão do consumidor de energia elétrica dentro do SIN através de contratos de compra e venda de energia com condições personalizadas de montante de energia, período de contratação, sazonalidade e diferentes aspectos a serem geridos por conta do próprio consumidor, a fim de possibilitar um melhor aproveitamento econômico de seu consumo de energia e a consequente otimização do sistema elétrico de energia com montantes de energia predefinidos a serem consumidos pela carga.

Devido à grande expansão que o ambiente de contratação livre obteve desde a sua criação, conforme podemos observar pela Figura 15, juntamente com seu crescimento em número de participantes, a complexidade e volatilidade são consequência do constante aumento de consumo de energia elétrica e dos diversos agentes que atuam no setor. Dessa maneira, neste

subcapítulo serão abordadas as áreas pertinentes ao mercado livre de energia, seus benefícios, riscos, mecanismos de funcionamento atuais e mudanças futuras no mercado como o PLD horário, assim como será realizado uma análise da implementação de geração própria para consumidores pertencentes ao ACL na modalidade de autoprodutores.

Figura 15 – Evolução do número de agentes no ACL



Fonte: CCEE (2020).

2.8.1 Benefícios e riscos do ambiente de contratação livre

A autonomia da gestão de energia elétrica proporcionada pelo mercado livre pode significar uma economia expressiva nos custos com energia elétrica, desde que sejam previamente analisadas e estudadas as condições contratuais negociadas entre consumidor e gerador. Os pontos como o período de fornecimento, o volume de energia, a sazonalidade, o perfil de consumo e geração, os preços e outros aspectos determinaram a economia ou a exposição econômica negativa no Mercado de Curto Prazo (MCP).

A previsibilidade de custos com energia também se torna um ponto positivo para o ACL, já que uma empresa pode incluir o consumo de energia dentro de seus custos operacionais, mesmo que haja pequenas variações no Preço de Liquidação das Diferenças (PLD). Dentre as possibilidades de modulação de contrato para diminuição de custos com energia, não se pode deixar de citar a contratação de energia de fontes alternativas, que se encaixam como energias de fonte incentivada, o que significa em uma diminuição ou até isenção de taxas e impostos incidentes sobre a transmissão e a distribuição da energia contratada.

De maneira geral, podemos definir como os principais benefícios do pertencimento ao Ambiente de Contratação Livre: autonomia de compra de energia, horários de ponta e fora ponta sem diferenças de preços, maior previsibilidade de custos com energia elétrica, preços

mais competitivos quando comparados ao ACR, possibilidade de planejamento de produção adequando ao período de menor custo de energia e oportunidade de compra conjunta de energia para empresas de um mesmo grupo.

Todos esses fatores, aliados ao período de alta na inflação e instabilidades políticas e econômicas em que o Brasil está passando, além da criação de políticas que favorecem e facilitam a entrada no mercado livre, como a portaria 514 do Ministério de Minas e Energia formalizada no ano de 2018 (ANEEL, 2018), geram uma grande onda de migração de consumidores ao ACL nos últimos cinco anos, como podemos observar na Figura 15 anterior.

Por outro lado, o pertencimento ao ACL proporciona também alguns riscos aos seus participantes, cabendo destacar: a exposição ao mercado de curto prazo, imprevisibilidade do mercado no momento da renovação de contratos, prazo mínimo para nova negociação contratual, exigência de acompanhamento constante da gestão de energia de acordo com as premissas contratuais e situação da carga e geração no SIN para que se possa obter uma maior economia e aproveitamento da energia contratada.

Segundo a ABRECEEL, nos últimos 12 meses, o valor do MWh em reais dentro do mercado de curto prazo teve uma variação de 160% (ABRACEEL, 2020), o que representa uma grande variação do preço da energia elétrica dentro do ACL Mesmo sendo este um ano atípico, devido aos impactos causados pela pandemia do COVID19, condições como a estiagem, sobrecarga de demanda do sistema e outros fatores podem representar alterações substanciais do valor do kWh dentro do MCP, ou seja, uma constante gestão energética e monitoramento do SIN é essencial, tanto para a perspectiva de operação e carga do consumidor como para as condições do gerador e do sistema como um todo.

2.8.2 Mecanismo de funcionamento

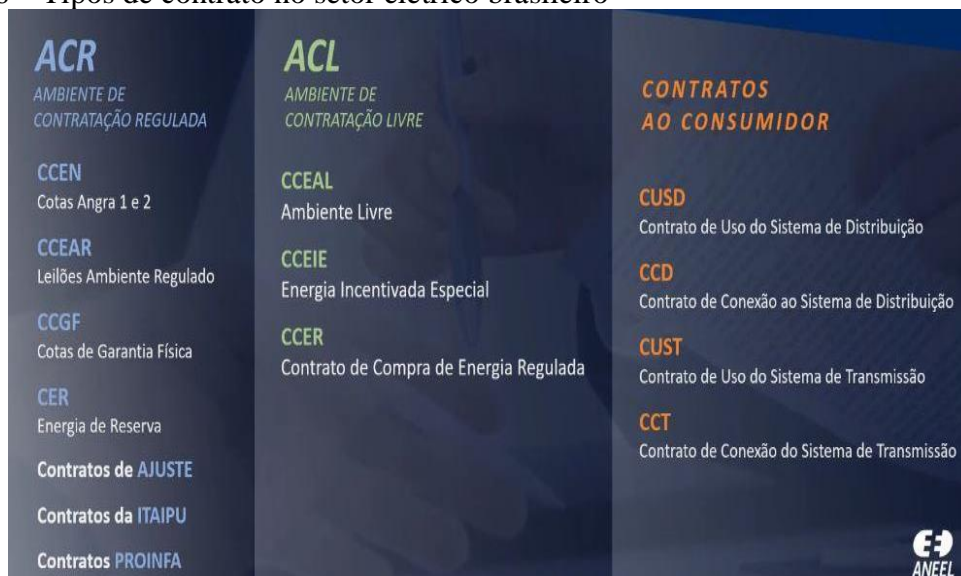
Até outubro de 2020, já foram contabilizados 8.105 consumidores pertencentes ao Mercado Livre de Energia. Destes, 7.110 consumidores especiais e 995 consumidores livres (ABRACEEL, 2020). Nos últimos 12 meses, houve um crescimento de 22% no número de consumidores no ACL, ou seja, 1.450 novos integrantes. Atualmente, o consumo médio mensal do mercado livre de energia é de 20.563MWh, o que representa 33% de toda a energia consumida no país.

Partindo da premissa de que o estudo de viabilidade de migração para o mercado livre de energia foi feito, a denúncia do contrato no mercado cativo foi realizada e foi iniciado o

processo de adesão e modelagem junto a CCEE, é de fundamental importância o conhecimento sobre o mecanismo de funcionamento do ACL e suas peculiaridades.

Os contratos de energia empreendidos no mercado livre são chamados de Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Livre (CCEAL), ou no caso de contratos de firmados através de fontes incentivadas provenientes de PCHs, fontes eólicas, usinas a biomassa e energia solar, são chamados de Contratos de Comercialização de Energia Incentivada Especial (CCEIE). Ambos os contratos apresentam preço, volume de energia, período de atendimento e demais condições negociadas entre comprador e gerador, sendo que esses devem ser registrados na CCEE de acordo com o art. 56 do Decreto nº 5.163/04 e no art. 7º da Convenção de Comercialização de Energia. Também há os contratos denominados de Contratos de Cessão, de acordo com a Portaria MME nº 185/2013 é possível que os consumidores livres e especiais efetuem a cessão dos montantes de energia, contanto que as cessões respeitem a quantidade contratada, período de suprimento e contrato de origem.

Figura 16 – Tipos de contrato no setor elétrico brasileiro



Fonte: adaptado ANEEL (2020)

A fim de que ocorra um melhor despacho de energia dentro do SIN entre as distribuidoras e consumidores cativos, bem como geradores e consumidores livres, o ONS utiliza modelos computacionais que recebem constantes atualizações de informações do SIN, como previsões de carga, condições hidrometeorológicas (importante para avaliação utilização de usinas hidrelétricas e seus respectivos reservatórios), cronograma e estado de usinas geradores e linhas de transmissão. Essas informações, inseridas e divididas dentro de cada

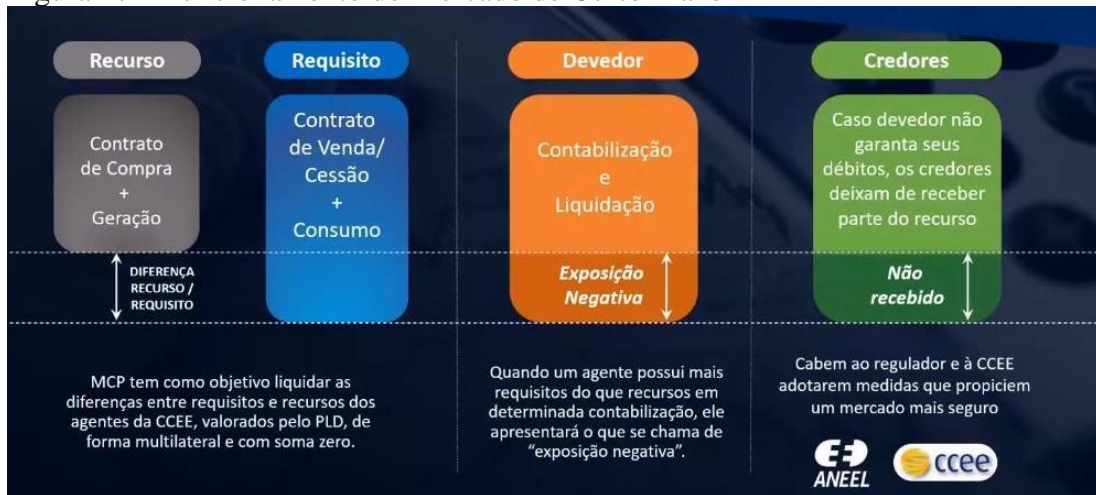
subsistema ou submercado do SIN – Norte, Nordeste, Sul e Sudeste – o proporcionam uma maior estabilidade e confiabilidade.

O propósito do ONS, no que diz respeito ao gerenciamento da rede nacional, se faz em promover a otimização da operação do sistema eletroenergético, visando ao menor custo para o sistema, observados os padrões técnicos e os critérios de confiabilidade estabelecidos nos procedimentos de rede aprovados pela Aneel. Hoje em dia, são utilizados três modelos computacionais de cálculo desenvolvidos pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), sendo eles o NEWAVE, o modelo DECOMP e o modelo mais atual, o DESSEM, que teve sua utilização desde o dia 1º de janeiro de 2020, com a finalidade de apoio para a definição de preços e quantidades de energia em intervalos máximos de uma hora, sendo que este será oficializado para operação pelo ONS para fins de formatação de preço em 2021 (MME, 2019).

2.8.3 Mercado de Curto Prazo

O MCP é o mercado em que as diferenças entre os montantes de energia gerados, contratados e consumidos são contabilizadas e liquidadas. Todos os contratos de compra e venda de energia celebrados no mercado – tanto no ACR como no ACL – devem ser registrados na CCEE, que realiza a medição dos montantes efetivamente produzidos/consumidos por cada agente. As diferenças apuradas, positivas ou negativas, são contabilizadas por perfil de agente, semana, patamar de carga e submercado para posterior liquidação financeira no Mercado de Curto Prazo e valoradas ao Preço de Liquidação das Diferenças (PLD). O resultado do funcionamento desse mercado pode se observar pela Figura 17. O perfil de agente é um conceito que define o tipo de consumidor conforme as suas características de modo a garantir que o desconto concedido a agentes comercializadores de energia incentivada nas tarifas de uso do sistema seja aplicado aos contratos e repassado ao consumidor final. Vale também lembrar que o patamar de carga é a classificação das horas do mês segundo o perfil de carga do ONS.

Figura 17 – Funcionamento do Mercado de Curto Prazo



Fonte: adaptado ANEEL (2020)

Dentro do MCP, para os agentes vendedores, o recurso resulta de toda sua geração no período, mais eventuais contratos de compra firmados, já o requisito é a somatória do consumo com seus contratos de venda. Para fins de contratação, cabe salientar que as perdas implicam diretamente, no caso do vendedor, no montante gerado. Dessa maneira, é indicado comprometer menos energia em seus contratos de venda. No caso do agente consumidor, as perdas incidem na necessidade de aumento do seu requisito para compensar e totalizar o consumo verificado.

Assim, o Mercado de Curto Prazo pode ser definido como o segmento da CCEE onde são contabilizadas as diferenças entre os montantes de energia elétrica contratados pelos agentes e os montantes de geração e de consumo efetivamente verificados e atribuídos aos respectivos agentes. No Mercado de Curto Prazo não existem contratos, ocorrendo a contratação multilateral, conforme as Regras de Comercialização (CCEE, 2020).

A contabilização das diferenças entre a energia verificada e a contratada, bem como a energia gerada injetada na rede são calculadas conforme a equação do balanço energético a seguir:

$$NET_{a,s,r,w} = TGG_{a,s,r,w} + MRE_{a,s,r,w} - TGGC_{a,s,r,w} - TRC_{a,s,r,w} - PCL_{a,s,r,w} \quad (1)$$

Depois de obtido o resultado do cálculo do balanço energético, pode-se apurar o resultado do mercado de curto prazo pela seguinte equação:

$$MCP_{a,s,r,w} = NET_{a,s,r,w} \times PLD_{a,s,r,w} \quad (2)$$

Onde:

NET: Balanço Energético [MWh];

TGG: Geração Total [MWh];

MRE: Mecanismo de Realocação de Energia [MWh];

TGGC: Consumo de geração total [MWh];

TRC: Consumo total [MWh];

PCL: Posição contratual líquida [MWh];

PLD: Preço de liquidação das diferenças [R\$/MWh];

a: perfil de agente;

s: submercado;

r: patamar de carga;

w: semana.

Para obter um melhor resultado no mercado de curto prazo, é essencial definir uma estratégia comercial capaz de reduzir o risco de exposição, assim como ter entendimento, com clareza, das variáveis que interferem na formação do preço durante o tempo de duração do contrato.

2.8.4 Planejamento de operação do Sistema Elétrico Brasileiro

Visando a um melhor desempenho do sistema elétrico brasileiro com o menor custo de operação para o despacho ótimo de energia, o ONS utiliza de modelos computacionais, conforme citados anteriormente, que se utilizam de informações como dados climáticos, nível dos reservatórios das usinas hidrelétricas, preço dos combustíveis no mercado, demanda e consumo de energia elétrica da população e entre outros parâmetros, resultando no chamado Custo Marginal de Operação (CMO). É válido ressaltar que dentro do cálculo do CMO, a modalidade de geração hídrica possui um valor baixo, já a geração através de uma fonte termelétrica possui um CMO alto, de forma que o custo de operação de uma usina hidrelétrica é mais barato de que uma usina termelétrica.

Nos dias de hoje, estão sendo realizados testes com o modelo DESSEM, a chamada “Operação Sombra” em que há a simulação do custo marginal de operação considerando o despacho de energia em períodos semi-horários e horários para a formação dos preços de energia em cada hora. A fim de analisar o desempenho do novo modelo a ser implementado a partir de 2021, são calculados pelo modelo DESSEM o despacho de cada unidade geradora para

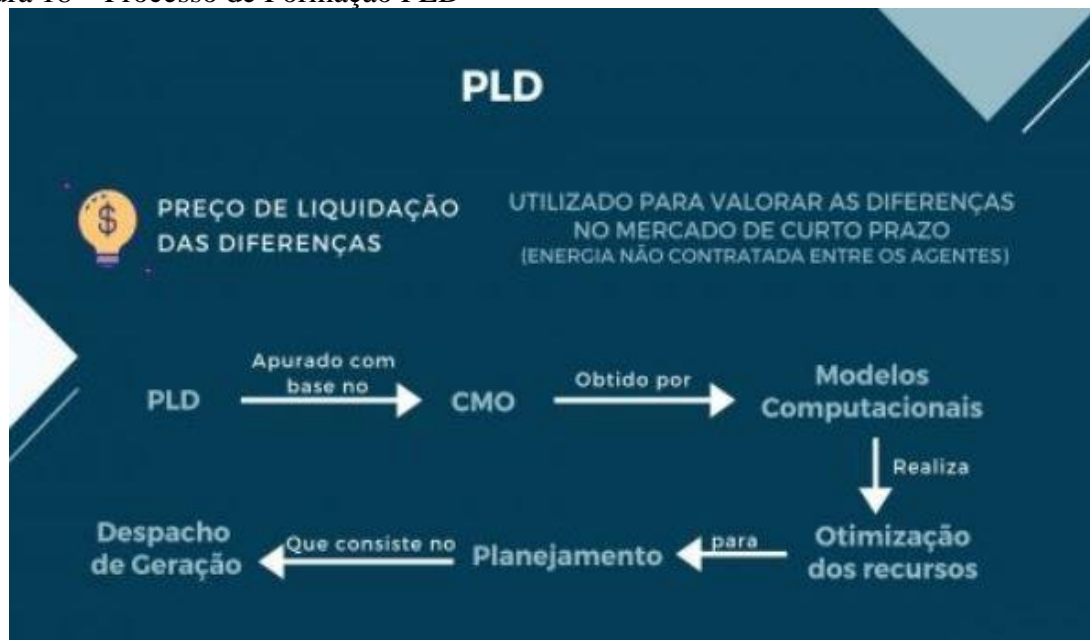
o próximo dia, os custos de operação em cada submercado e diferentes patamares de carga, operação horária conforme o nível dos reservatórios e fluxo de carga e também os status das linhas de transmissão e devidas condições de segurança (ONS, 2019).

2.8.5 Preço de liquidação das diferenças

O preço de liquidação das diferenças, conforme definido pelo decreto nº 5.177/2004, é o conjunto de valores apurados semanalmente pela CCEE através do CMO, tendo seu início no sábado e término na sexta-feira, chamada de semana operativa. Juntamente com o período semanal, o PLD ainda é dividido em três patamares de carga e quatro submercados. Os patamares de carga são: leve, médio e pesado e correspondem ao grau de consumo diário. O patamar leve corresponde ao grupo de horas em que o consumo de energia é baixo, o patamar pesado é quando o consumo está alto e o patamar médio é o meio termo. A divisão de submercados se dá entre Norte, Nordeste, Sul e Sudeste com Centro-Oeste. Dessa maneira, no período de um mês com quatro semanas temos 48 PLDs diferentes (4 semanas x 4 submercados x 3 patamares). Além disso, os valores de PLD são limitados por valores mínimo e máximo homologados pela ANEEL (2019).

Os valores divulgados semanalmente de PLD são utilizados no fechamento do balanço energético de um agente, de forma que, no mercado de curto prazo, a diferença entre o consumo contratado e o consumo verificado, ou da geração contratada e a geração verificada sejam liquidadas dentro do MCP, conforme o PLD daquela semana. A CCEE é responsável por calcular as sobras e faltas, valora de acordo com o PLD estipulado e liquida no final do mês. Isso determina um valor a pagar ou a receber por cada agente do setor.

Figura 18 – Processo de Formação PLD

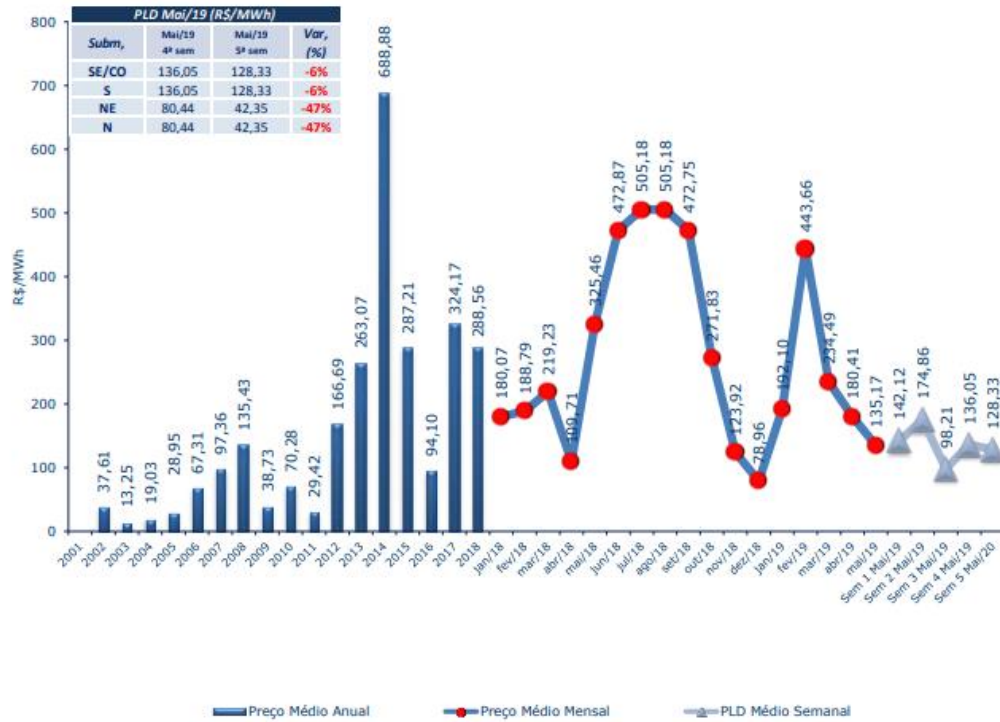


Fonte: do autor, adaptado de Energês (2020)

2.8.6 Preço de liquidação das diferenças horário

O mercado brasileiro de energia elétrica, diferentemente de outros mercados de energia no mundo, em que o preço de energia é definido através da lei de oferta e demanda, tem o preço da energia valorado de acordo com as condições físicas do sistema. Dado a maneira de formação do PLD, nota-se que este é fortemente ligado à hidrologia fluente, gerando, assim, uma certa volatilidade, ainda mais quando a predominância desse tipo de fonte está perdendo espaço na matriz energética (MAYO, 2009). Além disso, com uma predominância do preço de energia atrelada à hidrologia, evidencia-se uma maior volatilidade no longo prazo do que no curto prazo, visto que, em períodos úmidos, são previstos preços mais baixos por apresentarem excedentes de energia no SEB; no entanto, em caso de estiagem fora do planejamento, o preço aumentará exponencialmente. No curto prazo não se evidencia tal situação pelo fato de ainda poderem ser acionadas as aberturas de comportas dos reservatórios, modulando assim a carga em períodos de curto prazo (LEITE; CASTRO, TIMPONI, 2013) Na Figura 19 a seguir é possível observar a volatilidade do preço no longo prazo.

Figura 19 – PLD no submercado Sudeste no decorrer dos anos.



Fonte: CCEE (2019)

De acordo com a Consulta Pública 071/2019 do Ministério de Minas e Energia, realizada em abril de 2019, em que é tratado o assunto da implementação do modelo DESSEM e da análise técnica relatada pela Comissão Permanente para Análise de Metodologias e Programas Computacionais do Setor Elétrico (CPAMP) com foco na operação do PLD horário, foram destacadas as principais motivações para a redução de periodicidade do PLD semanal para horário:

- A mudança na matriz energética brasileira resulta na redução do grau de regularização hidráulica, assim dificultando o gerenciamento da carga e tornado essas mais dependentes das afluições;
- A inserção de usinas a partir de fontes não controláveis aumentou a variabilidade da oferta de energia, essa sendo compensada através do uso de termoelétrica e variação do intercâmbio de energia entre os submercados, além disso, o aumento dessas fontes intermitentes de acordo com o ONS fez com que a carga apresentasse um perfil horário;
- Aumento da resposta da demanda.

Verificadas as contribuições nas consultas públicas, juntamente com as pesquisas e resultados obtidos nas simulações realizadas pelo CPAMP, foi decidido pelo ONS que as alterações no modelo vigente ocorreriam em duas fases: em 2020, o ONS utilizará o modelo

DESSEM para realização da programação da operação do sistema, porém a CCEE utilizará o preço horário na contabilização somente em 2021. Além disso, após deliberação da CPAMP, o cálculo do PLD horário deverá ser sem a representação da rede elétrica (ANEEL, 2019).

De maneira geral, a adoção de preços horários para o balanço energético tem como objetivo obter um sinal de preço que seja mais preciso de acordo com a necessidade do sistema, baseando-se no seu maior detalhamento. Com isso, permite-se a representação dos requisitos de reserva de potência e restrições operativas, tais como as rampas de acionamento e desligamento de usinas termelétricas. Espera-se também a criação de oportunidades de negócio, como programas de resposta da demanda, armazenamento de energia e usinas hidrelétricas reversíveis (CCEE, 2019). Desde dezembro de 2018, a CCEE divulga os resultados da contabilização sombra do MCP com dados individualizados, possibilitando a análise dos impactos financeiros nas operações de cada empresa.

Além disso, podemos destacar que outros países, como Austrália, Canadá e Panamá também determinam o Preço spot, correspondente à cotação do mercado de curto prazo, após o processamento do CMO com base semi-horária. No Canadá, por exemplo, a operação do sistema ocorre a cada 1 minuto e contabilização financeira a 60 minutos; na Austrália, a operação é em 5 minutos e a contabilização em 15 minutos; no Panamá, a operação é realizada em 15 minutos e a contabilização em 30 minutos.

2.9 AUTOPRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

A autoprodução é uma alternativa de o consumidor possuir sua geração própria de energia, suprimindo parcialmente ou a totalidade de suas necessidades de consumo de energia elétrica. Regulamentado por meio da Lei 9.074/1995 no Decreto 2.003 realizado no dia 10 de setembro de 1996, é dito Autoprodutor de Energia Elétrica a pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo (BRASIL, 1996).

Entre os principais benefícios da utilização da modalidade da autoprodução estão:

- Previsibilidade de custos: de acordo com as características contratuais do mercado de energia, com a utilização da autoprodução, a necessidade de compra de energia diminui, aumentando assim a previsibilidade de custos com energia;
- Redução de custos: com um melhor controle de custos, abatimento nos encargos setoriais, valores mais baixos de taxas de utilização do sistema e a negociação antecipada dos valores em contrato de longo prazo resultam em economia para o

consumidor. No caso da geração *in situ*, a redução de custos é ainda maior devido à menor incidência de taxas como o ICMS, TUSD e outros;

- Sustentabilidade: possibilidade de geração e produção de energia através de fontes renováveis, que desconta nas taxas de utilização do sistema como energia incentivada, além da diminuição da emissão de gases de efeito estufa, colaborando com metas e protocolos de sustentabilidade;
- Incentivo à tecnologia: a utilização de energia proveniente de fontes flexíveis em contratos de longo prazo incentiva a construção de novas usinas geradoras, beneficiando não só a economia como a sociedade nacional com a criação de novas oportunidades.
- Diminuição da exposição ao MCP: como citado anteriormente, pela presença majoritária da geração hidráulica na matriz de energia elétrica brasileira, em períodos de estiagem, a volatilidade de preços no MCP aumentam consideravelmente, ou seja, com a autoprodução a exposição a fatores externos presentes no MCP é decrescida.
- Comercialização do excedente da energia: através da modalidade de autoprodução, o consumidor livre tem a possibilidade de vender o excedente de energia gerada no MCP para a CCEE. Com a implantação do novo modelo para o PLD Horário, a adequação de sistemas de geração diminui a necessidade de compra de energia em horários em que a carga do sistema for mais alta, diminuindo assim a necessidade de consumo de energia proveniente do SIN.
- Confiabilidade do Suprimento e Qualidade de Energia: Uma fonte de energia próxima à carga garante uma maior confiabilidade do suprimento de energia pela menor dependência da rede da distribuidora, da mesma maneira que a qualidade da energia obtida, principalmente no caso de autoprodução *in situ*, é melhorada devido ao fato de que os distúrbios provenientes da rede da distribuidora se tornam menos presentes no consumo de energia proveniente da fonte pela carga.

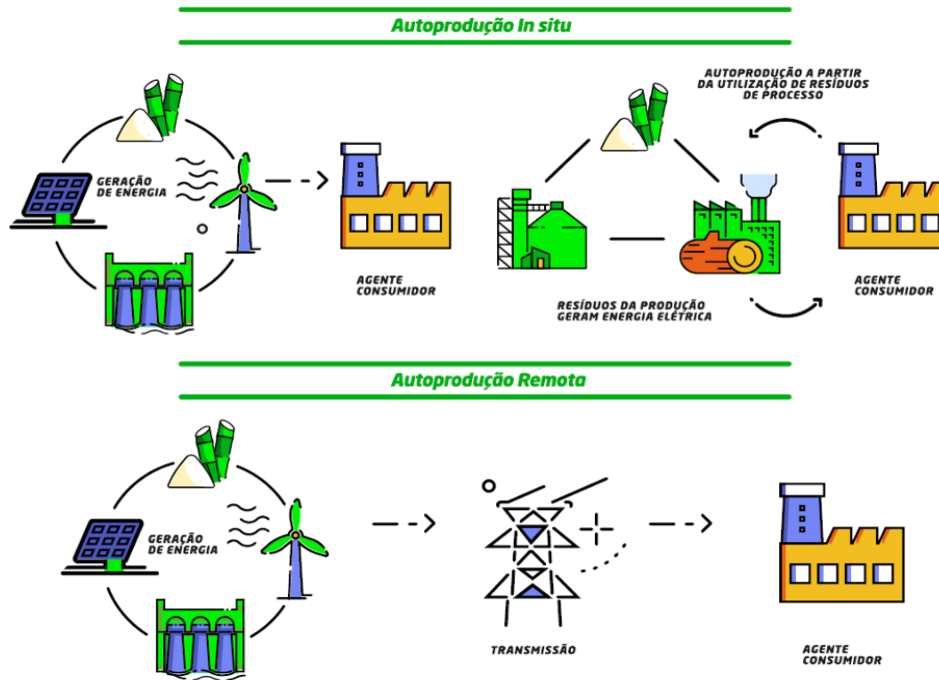
A economia obtida com o abatimento dos encargos setoriais diz respeito à Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), ao Programa de Incentivos de Fontes Alternativas (PROINFA) e à Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis dos Sistemas Isolados (CCC). O abatimento dos encargos setoriais não depende da localização da usina, pois essa redução ocorrerá para o consumo da unidade com geração no mesmo local ou para o consumo com usina em outro submercado. Por exemplo, um consumidor pode estar localizado no submercado Nordeste e possuir uma usina no submercado Sul, que terá abatimento nos encargos setoriais

proporcionais à geração. O mesmo ocorrerá para um consumidor que possuir uma usina localizada junto à unidade de consumo. Em alguns casos, esse abatimento pode trazer lucros significantes para a empresa em pouco tempo (SANTOS, 2019).

Outro benefício proporcionado pela implementação da geração como autoprodutor pode ser observado diretamente na redução da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) ou na Transmissão (TUST) por meio do abatimento desses encargos. Menor custo, maior segurança, confiabilidade e geração descentralizada são os principais diferenciais que fazem esse tipo de atividade uma estratégia bastante interessante para os consumidores que fazem a adesão à modalidade da autoprodução.

O consumidor que adere à modalidade de autoprodutor pode ser membro do mercado cativo ou livre, sendo que a autoprodução pode ser realizada em duas maneiras diferentes. A primeira, denominada de autoprodução *in situ*, é a maneira mais utilizada, quando a geração e o consumo se dão no mesmo local. A segunda maneira é a chamada autoprodução remota, quando a geração e o consumo ocorrem em lugares diferentes, sendo esta maneira a mais onerosa devido à necessidade de utilização das redes de transmissão e distribuição para a injeção de energia na rede quando a geração for maior que o consumo ou para a utilização da energia da rede quando a carga de consumo for maior que a geração. Segundo a Associação Brasileira dos Investidores em Autoprodução de Energia (ABIAPE), as fontes hidráulicas, termelétricas e eólica estão entre os maiores empreendimentos em autoprodução com a geração distante do consumo.

Figura 20 – Arranjos para autoprodução



Fonte: Adaptado de Comerc (2020).

Existem também modelos de geração compartilhada ou modelos societários alternativos para autoprodutores de energia, o mais tradicional é o investimento próprio e a posterior contratação de financiamentos. Outro modelo é a associação do consumidor com outro autoprodutor ou gerador por meio de consórcio de acordo com a Lei 6.404/1976. Há também a possibilidade de estruturação de uma Sociedade de Propósito Específico (SPE), com equiparação à condição de autoprodutor, para fins de não incidência de encargos, conforme estabelecido pela Lei 11.488/2007.

No caso de uma autoprodução de até 5MW, esta pode ser enquadrada como minigeração ou microgeração distribuída participando do modelo de compensação em que os excedentes de energia são injetados na rede, podendo ser utilizados em até 60 meses, sendo que estes créditos podem ser abatidos na própria unidade geradora ou também em outras unidades consumidoras que estejam atreladas ao mesmo CNPJ, desde que as unidades estejam sob atendimento da mesma distribuidora ou concessionária de energia.

Com os números de projetos crescendo mensalmente (somente no primeiro semestre de 2020 foram autorizados 8.093,31 MW de capacidade instalada em regime de autoprodução e produção independente de energia elétrica, conforme levantamento da MegaWhat), especialistas argumentaram durante o Brazil Energy Summit, realizado no dia 27 de agosto de

2020 que esse é um mercado que necessita de técnica, arcabouço regulatório e jurídico para sua operação (MEGAWHAT, 2020).

Tabela 2 – Operacionalização na CCEE - Autoprodutor X SPE

ENCARGOS	AUTOPRODUTOR		SPE (SOMENTE REMOTOS)	
	GERADOR	CONSUMIDOR	GERADOR	CONSUMIDOR
TUSD/TUST (Rs/MWh)	Com ou sem desconto	Com ou sem desconto (Não aplicável a contíguos)	Com ou sem desconto	Com ou sem desconto
TSFEE	0,4% x Capacidade Instalada x Tarifa de Benefício Econômico (TBE)	Não aplicável	0,4% x Capacidade Instalada x Tarifa de Benefício Econômico (TBE)	Não aplicável
CFURH (>30 MW)	7% x Energia Gerada x TAR (somente remotos com carga em estado distinto da geração)	Não aplicável	7% x Energia Gerada x TAR (somente remotos com carga em estado distinto da geração)	Não aplicável
CDE	Não aplicável	Não incide, reduz TUSD/TUST (Rs/MWh)	Não aplicável	Não incide, reduz TUSD/TUST (Rs/MWh)
PROINFA	Não aplicável	Não incide, reduz TUSD/TUST (Rs/MWh)	Não aplicável	Não incide, reduz TUSD/TUST (Rs/MWh)
EER	Não aplicável	Não incide	Não aplicável	Não incide
ESS-EL	Não aplicável	Não incide para Contíguos; pagamento integral para remotos	Não aplicável	Pagamento Integral
ESS-SE	Não aplicável	Não incide	Não aplicável	Não incide

TSFEE - Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica

CFURH - Compensação Financeira pela Utilização dos Recursos Hídricos

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

EER - Encargo de Energia de Reserva

ESS-EL - Encargo de Serviços do Sistema por Serviços Ancilares

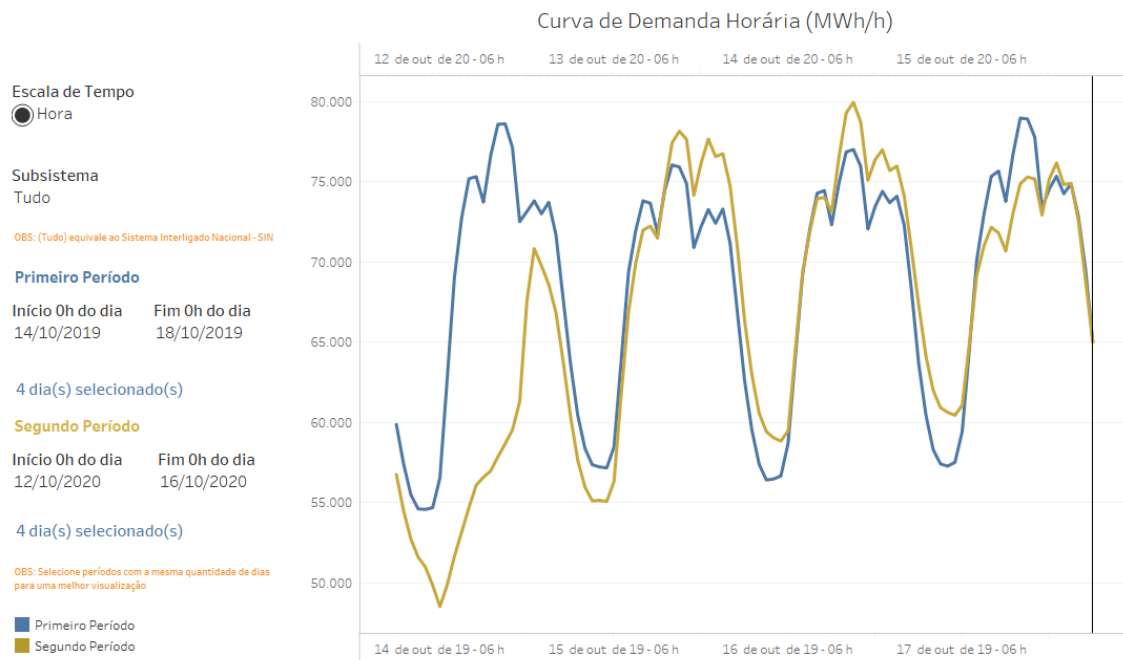
ESS-SE - Encargo de Serviços do Sistema por Segurança energética

Fonte: CCEE (2020)

3 ESTUDO DE CASO

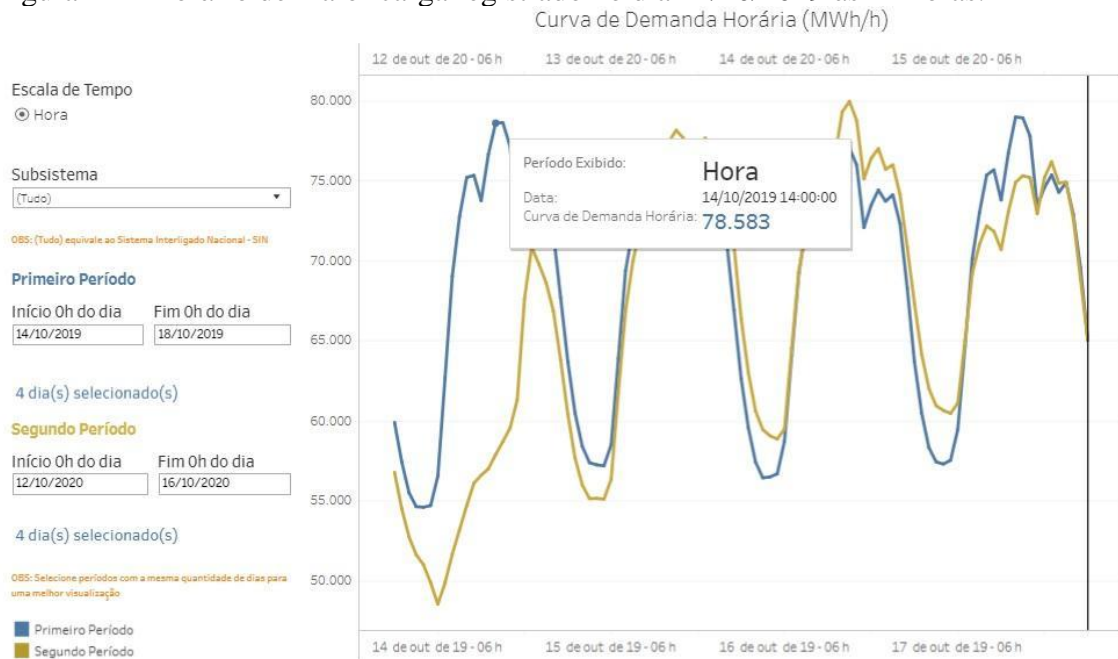
Conforme exposto durante este trabalho, a implementação do preço horário traz mudanças significativas para o sistema elétrico e para os agentes atuantes no MCP, bem como traz novas oportunidades de negócios e maior poder de decisão nas mãos dos agentes consumidores para sua própria gestão de energia. Em contrapartida aos benefícios da implantação de um PLD mais detalhado, haverá maiores variações de precificação ao longo do dia, causando uma maior exposição dos consumidores de acordo com a carga do SIN. De acordo com o ONS, atualmente os horários de maior carga do sistema ocorrem das 14h às 16h, conforme podemos observar pelas figuras 21, 22 e 23, em que são representados dois períodos de dias úteis do ano de 2019 (fora pandemia) e de 2020 (durante a pandemia).

Figura 21 – Curva de demanda horária em dias úteis de outubro de 2019 e outubro de 2020



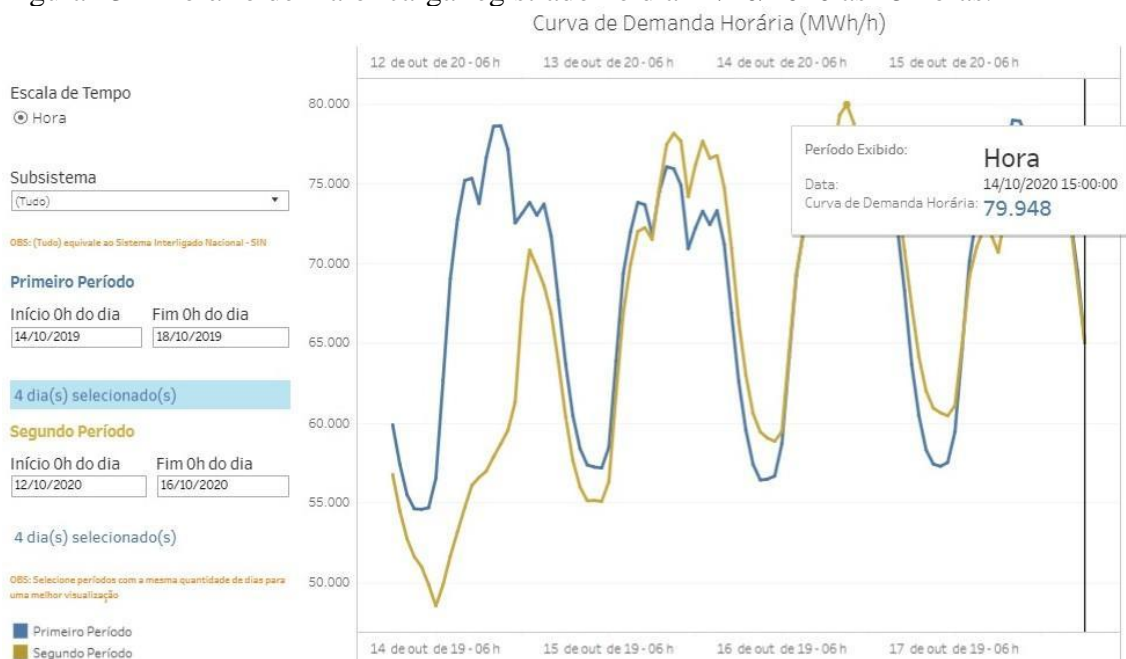
Fonte: do autor, dados do ONS (2020).

Figura 22 – Horário de maior carga registrado no dia 14/10/2019 às 14 horas.



Fonte: do autor, dados do ONS (2020).

Figura 23 – Horário de maior carga registrado no dia 14/10/2020 às 15 horas.



Fonte: do autor, dados do ONS (2020).

Dessa maneira, tendo em vista o mecanismo de funcionamento da precificação horária do sistema elétrico, com a sua maior valoração em R\$/MWh nos períodos de maior carga no SIN, podemos constatar que nesse sistema, mantendo as mesmas características de consumo

apresentadas anteriormente, o valor mais caro do MWh se dará em média, considerando os dias úteis da semana, no intervalo das 14h às 16h.

Pode-se analisar o caso de um consumidor do ramo do comércio varejista que tem seu horário de funcionamento o horário comercial, quando o preço da energia tende a ser maior, devido à carga do sistema ser maior no que do horário da noite. Para não pagar mais caro, o consumidor teria que manejar seu horário de funcionamento, o que num estabelecimento comercial não é viável. Dessa maneira, neste contexto, a complexidade para o agente pertencente ao mercado livre aumenta, pois, para diminuir os riscos da exposição a volatilidade do preço de energia e não ter seu planejamento financeiro prejudicado, é necessário uma melhor gestão energética, com ferramentas que atuem diretamente no consumo da energia, como soluções de resposta a demanda e geração de energia no ponto de consumo – a geração distribuída.

4.1 METODOLOGIA

O presente estudo de caso consiste em realizar uma avaliação sobre a implementação da geração distribuída para consumidores do ambiente de contratação livre na modalidade de autoprodutor através de uma fonte de geração de energia solar fotovoltaica, já sendo considerada a operação da precificação horária para o mercado de curto prazo.

A análise deste estudo será direcionada à indústria produtora de refrigerantes, que é consumidor livre desde fevereiro de 2016, tendo suas atividades enquadradas no ramo industrial com seu horário principal de produção ocorrendo durante horário comercial. A metodologia de estudo constitui-se da análise considerando as atuais condições contratuais do consumidor em pauta, averiguando-se em dois períodos diferentes, durante a pandemia do COVID19 e fora pandemia do COVID19. Devido à localização considerada, na região Sul, onde a geração fotovoltaica é maior nos meses de verão e menor nos meses de inverno, os meses de outubro de 2019 e outubro de 2020 foram priorizados por representarem períodos quando há variação mínima de geração fotovoltaica ano a ano.

A fonte de energia solar FV foi escolhida para este estudo como GD pelo fato de ter seu regime de operação durante horário comercial, da mesma forma que o consumidor em análise tem suas atividades de indústria também ocorrendo em horário comercial, aliado ao fato de que, atualmente, o pico de carga do SIN acontece também em horário comercial (conforme as figuras 21, 22 e 23), ou seja, horário em que a precificação no MCP é mais cara. Também, segundo a

Agência Internacional de Energia, hoje a geração de energia solar fotovoltaica é considerada a fonte energia mais barata para a GD (IEA, 2020).

O dimensionamento da usina fotovoltaica, custos com equipamentos e serviços, assim como a estimação de geração horária, bem como a simulação do comportamento da usina geradora no horizonte de um ano foram realizados pela empresa LUMENK Energia, que possui a expertise e segurança necessárias para o planejamento e execução de projetos como este.

Para aumentar a autenticidade do trabalho realizado, foram cedidos pela LUMENK dados como histórico de geração horária e informações do sistema FV de uma usina geradora pertencente à mesma localidade, ou seja, que possui os mesmos níveis de irradiação solar e potencial de geração fotovoltaico. Esses dados foram utilizados para fins de comparação com os resultados obtidos na simulação de geração horária da usina FV dimensionada no período analisado. O intervalo de tempo diário escolhido para averiguar as influências do PLD horário foi o intervalo das 5h às 19h, período quando ocorre a operação da usina FV.

Serão abordados três cenários distintos para o dimensionamento da GD, de acordo com o seu potencial de geração e o consumo médio mensal do consumidor: suprimento de 30%, 40% e 50% do consumo médio do mês através da fonte solar. Segundo especialistas do setor, no caso de dias nublados, período de inverno (para consumidores da região Sul) ou também dias chuvosos, quando a capacidade de geração da usina é diminuída, ocorre uma exposição maior do consumidor MCP, podendo haver a necessidade de compra de energia em horários mais caros e exigindo um remanejamento da compra de energia consumida conforme a geração. Dessa maneira, acaba sendo mais interessante que a capacidade de geração de energia da UFV seja inferior à totalidade do consumo. Assim, o consumidor garante a menor oneração com a compra de energia em horários mais caros e também mantém a segurança da menor exposição nesses momentos específicos (ENGIE BRASIL, 2020).

Premissas

- As informações de carga horária no sistema interligado nacional foram obtidas no portal virtual do ONS;
- As precificações do PLD horário foram retiradas do portal iterativo “Preço Horário Sombra” da CCEE;
- O resultado do MCP é obtido através da Equação 2, dadas as devidas alterações para a resolução temporal horária adotada;
- O intervalo de tempo diário analisado foi das 5h às 19h, período em que ocorre a operação da usina FV e quando se busca quantificar o risco de exposição em R\$/kWh;

- As simulações de geração horária e dimensionamento do sistema foram realizados através do software HelioScope em conjunto com as informações cedidas pela LUMENK;
- Foram respeitadas as características contratuais do consumidor livre em questão, as quais são apontadas nas tabelas 3 e 4;
- Não foram consideradas as isenções de encargos setoriais pela autoprodução através de fonte renovável, como também não foi considerado a flexibilidade contratual.

Tabela 3 – Características contratuais do consumidor livre

Período de fornecimento	01 de fevereiro de 2016 a de 31 de dezembro de 2020
Limites de sazonalização	Flat
Flexibilidade mensal	10%
Modulação	Flat
Submercado	Sul
Valor do contrato	R\$ 10.074.467,55

Fonte: Indústria de Refrigerantes

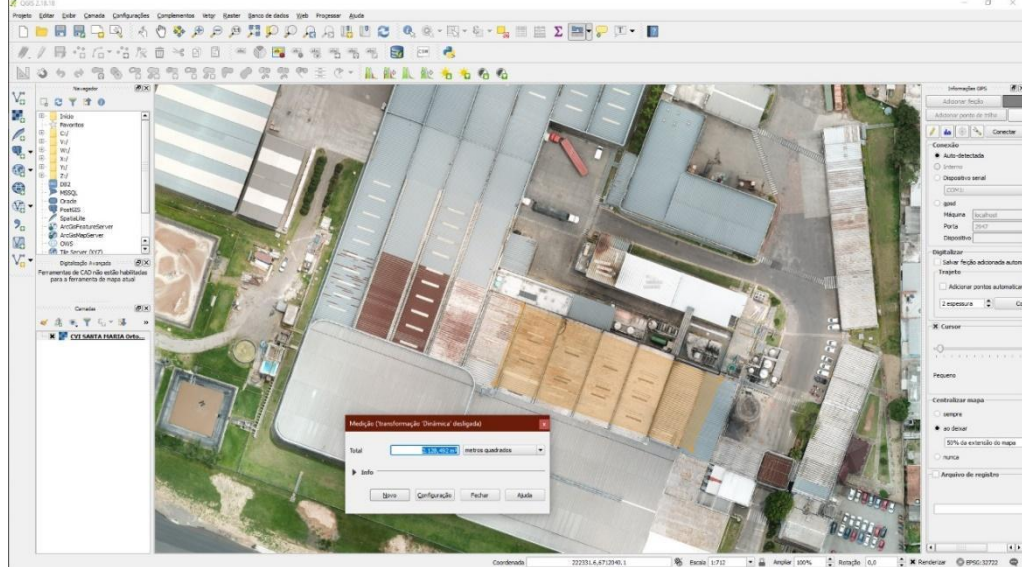
Tabela 4 – Características contratuais específicas do intervalo de tempo analisado

PERÍODO DE FORNECIMENTO	VIGÊNCIA	PREÇO CONTRATUAL (R\$/MWh)	ENERGIA CONTRATADA (MWh)
ANO IV	01/01/2019 a 31/12/2019	175,00	1.040,200
ANO V	01/01/2020 a 31/12/2020	169,00	1.040,200

Fonte: Indústria de Refrigerantes

Através de geoprocessamento aéreo feito com drone DJI Spark e do software de análise solar HelioScope, foi possível observar as dimensões de telhado, obstáculos, sombreamentos, áreas disponíveis e potenciais de geração por telhado. Foi constatado cerca de 16223m² de área bruta para alocação dos módulos fotovoltaicos, podendo haver variações devido à resistência mecânica das estruturas de telhado ou pontos de sombreamento específicos não apurados.

Figura 24 – Verificação do potencial de geração FV e área de telhado.

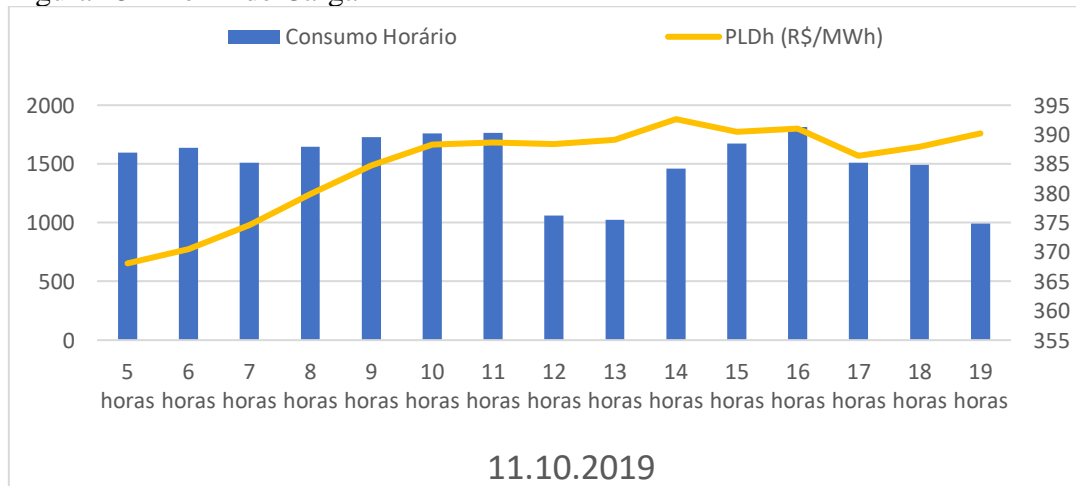


Fonte: do autor.

3.1.1 Cenário 1: Geração de 30% do consumo médio mensal

De acordo com a Figura 25, podemos observar o perfil de carga do consumidor que torna a se repetir nos outros dias úteis da semana conforme a Figura 27 para perfil de consumo com predominantemente comercial. Como seu contrato de compra é um contrato com modulação flat, se não houver uma estratégia contratual para este consumidor, ele será fortemente impactado pela implementação do PLD horário. Para esse cenário, foi dimensionado uma usina FV de 1907,28kWp de potência com capacidade de geração estimada 2.537.930 kWh/ano.

Figura 25 – Perfil de Carga x PLDh



Fonte: do autor.

As tabelas 5, 6, 7 e 8 a seguir demonstram os resultados obtidos no mercado de curto prazo para os intervalos de tempo analisados.

Tabela 5 – Semana útil durante a pandemia

	Sem Geração Própria	Com GD Solar FV a 30%
12/10/2020 - Feriado	R\$ 4.144,98	R\$ 7.210,81
13/10/2020	R\$ 1.067,86	R\$ 4.672,93
14/10/2020	R\$ 544,44	R\$ 3.418,95
15/10/2020	R\$ 49,24	R\$ 3.623,53
16/10/2020	R\$ 214,77	R\$ 3.751,86

Fonte: do autor.

Tabela 6 – Semana útil fora da pandemia

	Sem Geração Própria	Com GD Solar FV a 30%
07/10/2019	R\$ 792,12	R\$ 4.597,30
08/10/2019	-R\$ 402,44	R\$ 4.119,73
09/10/2019	-R\$ 847,93	R\$ 3.577,20
10/10/2019	-R\$ 334,43	R\$ 3.942,00
11/10/2019	-R\$ 377,20	R\$ 3.871,00

Fonte: do autor.

Tabela 7 – Fim de semana durante a pandemia

	Sem Geração Própria	Com GD Solar FV a 30%
17/10/2020	R\$ 2.032,15	R\$ 5.473,31
18/10/2020	R\$ 4.903,31	R\$ 8.294,52

Fonte: do autor.

Tabela 8 – Fim de semana fora da pandemia

	Sem Geração Própria	Com GD Solar FV a 30%
19/10/2019	R\$ 192,80	R\$ 4.317,43
20/10/2019	R\$ 6.756,41	R\$ 9.808,59

Fonte: do autor.

Embora pode-se constatar pelos relatórios mensais do gestor energético do consumidor em pauta um consumo médio mensal de 18,7% abaixo do montante de energia contratado, o que produz uma margem positiva considerável para o seu recurso, ainda houve exposições negativas dadas as circunstâncias contratuais, conforme podemos ver nos dias 8 a 11 de outubro de 2019, quando, sem uma geração distribuída compensando o volume de energia faltante nas horas de maior carga diária, a exposição negativa no MCP é inevitável. Mesmo compensando os dias com exposição negativa, foi possível se obter um resultado médio de R\$ 3.429,93 por dia para este cenário.

3.1.2 Cenário 2: Geração de 40% do consumo médio mensal

Para comensurar as variações de diferentes ambientes de geração visando diminuir os impactos da precificação horária sofrido pelo agente, foi analisado um cenário onde o agente possui uma geração capaz de suprir 40% do seu consumo médio mensal. Para a geração desse cenário foi dimensionado uma usina FV de 2543,04kWp de potência com geração estimada 3.383.907 kWh/ano. As tabelas 9, 10, 11 e 12 a seguir demonstram os resultados obtidos no mercado de curto prazo para os intervalos de tempo analisados.

Tabela 9 – Semana útil durante a pandemia

	Sem Geração Própria	Com GD Solar FV a 40%
12/10/2020 - Feriado	R\$ 4.144,98	R\$ 8.232,75
13/10/2020	R\$ 1.067,86	R\$ 5.874,61
14/10/2020	R\$ 544,44	R\$ 3.557,13
15/10/2020	R\$ 49,40	R\$ 4.814,41
16/10/2020	R\$ 214,77	R\$ 4.930,89

Fonte: do autor.

Tabela 10 – Semana útil fora da pandemia

	Sem Geração Própria	Com GD Solar FV a 40%
07/10/2019	R\$ 792,12	R\$ 5.865,18
08/10/2019	-R\$ 402,44	R\$ 5.627,12
09/10/2019	-R\$ 847,93	R\$ 5.052,25
10/10/2019	-R\$ 334,43	R\$ 5.367,48
11/10/2019	-R\$ 377,20	R\$ 5.287,07

Fonte: do autor.

Tabela 11 – Fim de semana durante a pandemia

	Sem Geração Própria	Com GD Solar FV a 40%
17/10/2020	R\$ 2.032,15	R\$ 6.620,36
18/10/2020	R\$ 4.903,31	R\$ 8.294,52

Fonte: do autor.

Tabela 12 – Fim de semana fora da pandemia

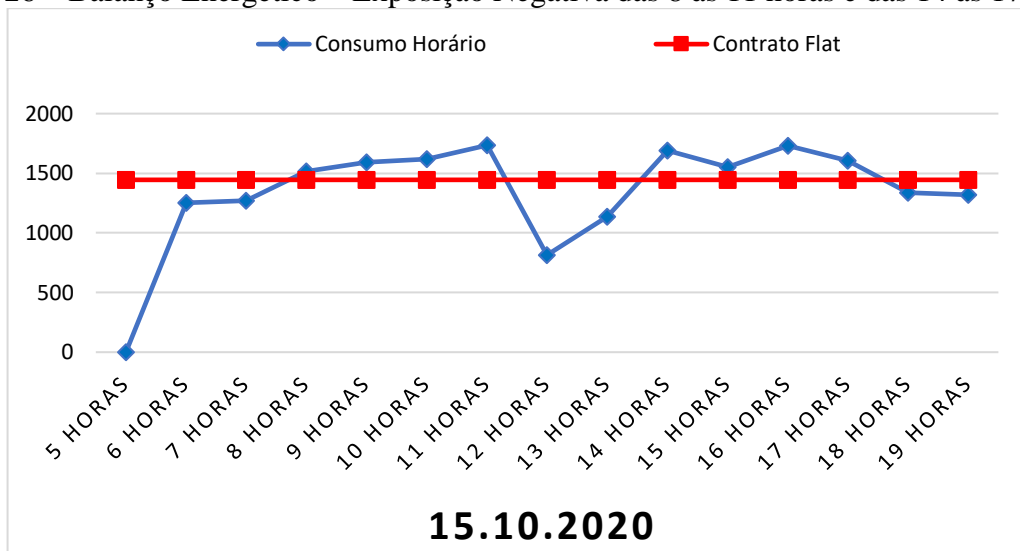
	Sem Geração Própria	Com GD Solar FV a 40%
19/10/2019	R\$ 192,80	R\$ 5.692,30
20/10/2019	R\$ 6.756,41	R\$ 9.808,59

Fonte: do autor.

O resultado médio obtido no balanço energético nesse cenário, tendo em vista o horizonte de tempo analisado, foi de R\$ 4.608,02 por dia. É válido ressaltar que, mesmo com

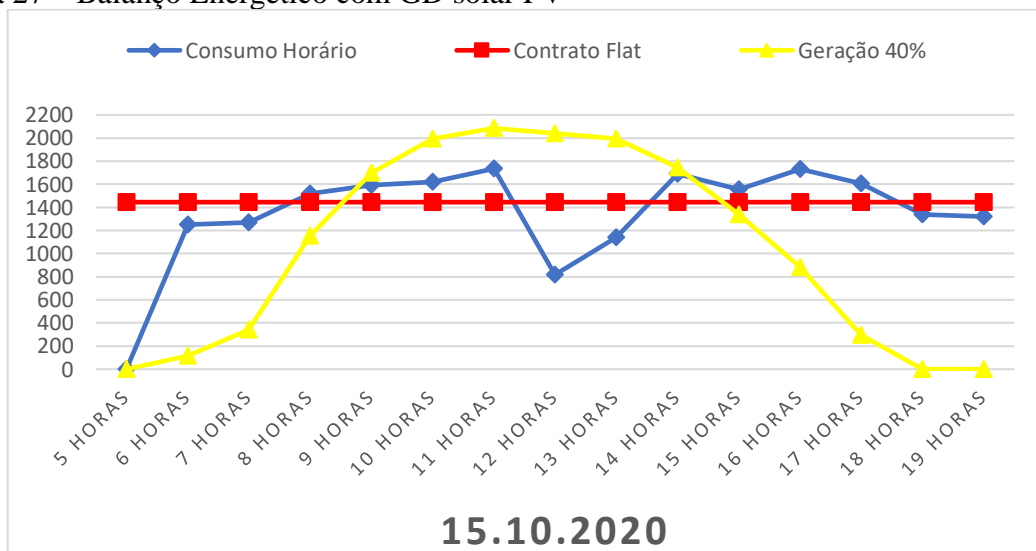
um recurso de quase 20% no consumo verificado e volume de energia contratado, em determinadas horas do dia, quando ocorrem os picos de produção industrial como podemos observar na Figura 26, houveram exposições negativas nos intervalos das 8h às 11h da manhã e das 14h às 17h da tarde. Com a atuação de uma geração distribuída nos momentos de maior consumo, como podemos observar no gráfico da Figura 27, há uma compensação da exposição negativa, tornando-a positiva e até gerando créditos ao consumidor para serem contabilizados no mercado de curto prazo.

Figura 26 – Balanço Energético – Exposição Negativa das 8 às 11 horas e das 14 às 17 horas



Fonte: do autor

Figura 27 – Balanço Energético com GD solar FV



Fonte: do autor

3.1.3 Cenário 3: Geração de 50% do consumo médio mensal

Para a geração desse cenário, com suprimento de 50% do consumo médio mensal, foi dimensionado uma usina FV de 3179,52kWp de potência com geração estimada de 4.230.842kWh/ano, os resultados obtidos no intervalo de tempo estudado são demonstrados nas tabelas 13, 14, 15 e 16, a seguir.

Tabela 13 – Semana útil durante a pandemia

	Sem Geração Própria	Com GD Solar FV a 50%
12/10/2020 - Feriado	R\$ 4.144,98	R\$ 9.255,85
13/10/2020	R\$ 1.067,86	R\$ 7.077,66
14/10/2020	R\$ 544,44	R\$ 4.311,15
15/10/2020	R\$ 49,24	R\$ 6.007,74
16/10/2020	R\$ 214,77	R\$ 6.111,26

Tabela 14 – Semana útil fora da pandemia

	Sem Geração Própria	Com GD Solar FV a 50%
07/10/2019	R\$ 792,12	R\$ 7.134,49
08/10/2019	-R\$ 402,44	R\$ 7.136,21
09/10/2019	-R\$ 847,93	R\$ 6.528,96
10/10/2019	-R\$ 334,43	R\$ 6.794,57
11/10/2019	-R\$ 377,20	R\$ 6.704,74

Tabela 15 – Fim de semana durante a pandemia

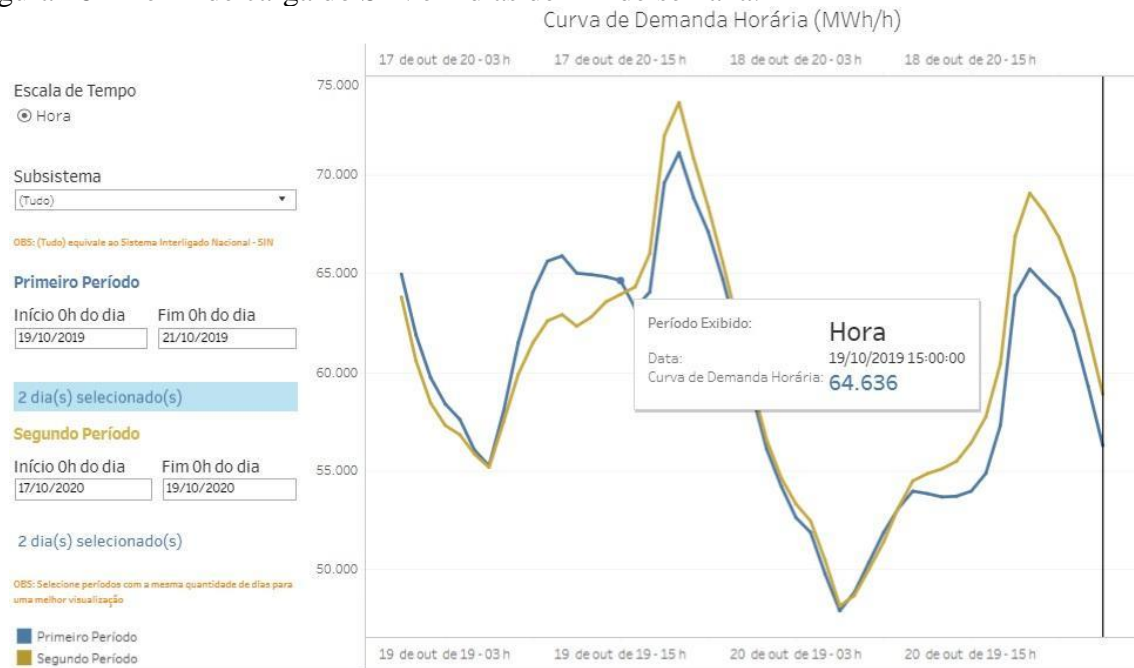
	Sem Geração Própria	Com GD Solar FV a 50%
17/10/2020	R\$ 2.032,15	R\$ 7.768,71
18/10/2020	R\$ 4.903,31	R\$ 10.556,61

Tabela 16 – Fim de semana fora da pandemia

	Sem Geração Própria	Com GD Solar FV a 50%
19/10/2019	R\$ 192,80	R\$ 7.068,74
20/10/2019	R\$ 6.756,41	R\$ 11.844,53

Observando as tabelas 15 e 16, em que é verificado o impacto da precificação horária nos dias de fins de semana com um consumo menor pela operação industrial reduzida, podemos notar uma maior contabilização de créditos e recursos para o consumidor. Embora o perfil de carga do SIN se altere em relação aos dias úteis da semana, como podemos observar pela Figura 27, o período das 10h às 15h continua com uma carga considerável, ou seja, uma precificação com considerável valorização do MWh.

Figura 28 – Perfil de carga do SIN em dias de fim de semana.

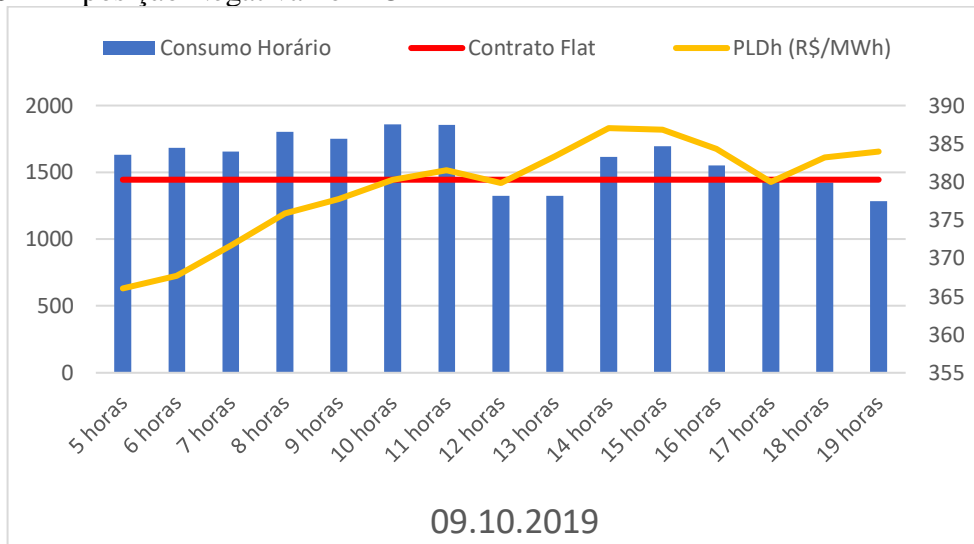


Fonte: ONS (2020)

O resultado médio obtido com a implementação da GD dimensionada para suprir 50% da carga, considerando a operação da precificação horária no mercado de curto prazo, foi de R\$ 5.831,51 por dia. Dessa maneira, pode-se verificar o saldo positivo que a GD produz em diferentes cenários para um consumidor com perfil de consumo predominantemente comercial.

Observando a Figura 29 a seguir, em que é representado no gráfico o consumo horário comparado com a precificação do MWh nas horas do dia, podemos ver o impacto de uma contratação de energia com modulação flat quando esse limite de consumo é ultrapassado, submetendo o consumidor a uma exposição negativa no mercado de curto prazo. Considerando essas exposições negativas nos momentos em que a precificação do MWh é mais alta, resultam em perdas financeiras significativas para o consumidor.

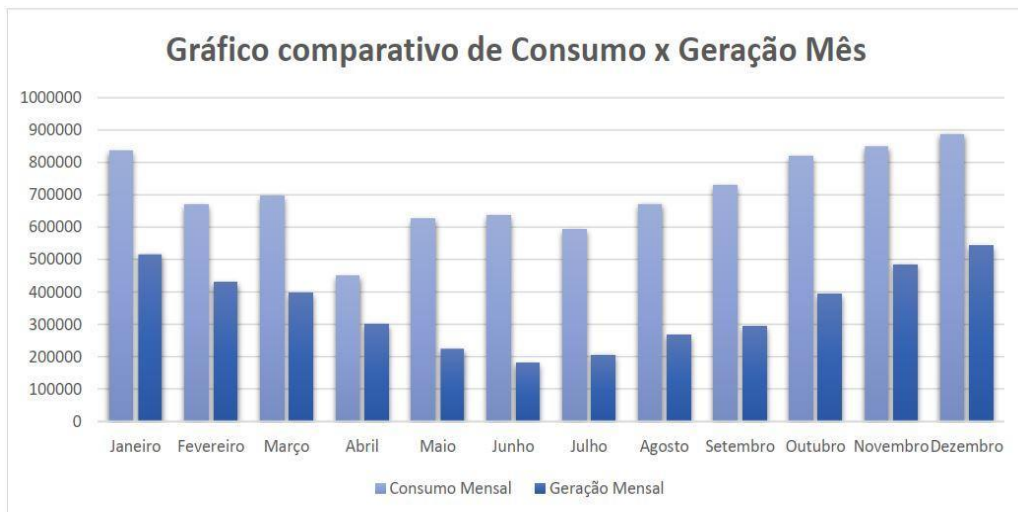
Figura 29 – Exposição Negativa no MCP



Fonte: do autor.

Outro fator importante a ser ressaltado é a sazonalização da geração solar fotovoltaica para consumidores localizados no submercado Sul. Na Figura 30, a seguir, podemos verificar o comportamento do gerador fotovoltaico no período de um ano para cenário 3, em que o pico de geração ocorre nos meses de verão devido à posição solar em relação à região Sul. Esse comportamento de geração implica diretamente no causado no mercado de curto prazo e no retorno financeiro da GD para um consumidor livre, bem como a exigência de uma gestão energética para o monitoramento da usina em dias nublados ou chuvosos, quando a geração solar será diminuída.

Figura 30 – Gráfico comparativo entre consumo medido e geração mensal estimada para cenário 3



Fonte: Lumenk Energia Solar.

Portanto, para se obter um resultado satisfatório com a implementação de uma geração própria, o consumidor livre deve adotar uma estratégia comercial adequada no contrato de compra de energia, em que deverá ser atrelado ao perfil de carga do consumidor o perfil de geração da GD. Nos casos considerados anteriormente, pelo fato de que nenhum deles considera a geração para 100% do consumo, toda a energia gerada será utilizada por consumo instantâneo nos dias úteis e fins de semana. Essa energia será contabilizada como créditos no sistema de compensação, podendo ser negociada no mercado de curto prazo. Considerando os dias específicos chuvosos ou nublados quando haverá o comprometimento da geração da usina, deve-se ter o monitoramento meteorológico da localização da usina por parte do gestor energético, para que, nesses casos, as precauções e manejos de energia no mercado de curto prazo sejam feitos no dia anterior, de acordo com as condições meteorológicas constatadas a fim de minimizar quaisquer exposições desnecessárias do consumidor ao MCP.

Sendo assim, nos dias ensolarados a GD *in situ* diminuirá a necessidade de consumo de energia proveniente da rede de distribuição, diminuindo os encargos tributários do uso da rede, além de que no período em que a usina fotovoltaica está em máxima geração também ocorre a maior valoração da precificação horária, isto é, no momento em que o MWh está mais caro se torna o momento em que o consumidor menos utilizará da energia proveniente da rede. No caso de o montante de energia gerada, somado com o volume de energia contratada, resultarem em sobra de energia esta será contabilizada como recurso para o consumidor, sendo que este será valorado conforme o horário em que essa energia foi gerada ou no caso de sobra de energia contratada, será conforme o horário em que foi estipulada a compra em contrato.

Considerando a durabilidade dos módulos, inversores e miudezas que compõem a usina solar fotovoltaica com 25 anos de vida útil, podemos estimar o tempo de retorno de investimento e o lucro aproximado para os diferentes cenários, como apresenta a Tabela 17 a seguir.

Tabela 17 – Tempo de retorno estimado

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Investimento (R\$)	6.742.287,00	9.019.237,00	11.320.631,00
Retorno estimado (anos)	5,39	5,36	5,29
Lucro aproximado (R\$)	24.537.719,22	32.965.775,08	41.931.472,655

Fonte: do autor.

Juntamente com as vantagens econômicas da implementação de uma usina solar fotovoltaica como forma de geração distribuída, os benefícios técnicos para o consumidor, como confiabilidade de entrega de energia, melhora da qualidade de energia, melhora dos níveis de tensão da rede elétrica interna, além dos benefícios técnicos para o próprio sistema interligado, como a diminuição das perdas na transmissão e distribuição de energia, diminuição dos níveis de sobrecarga do sistema, menor índice de acionamento de usinas térmicas e entre outros temas que serão abordados no capítulo sobre qualidade de energia a seguir, com foco para o caso da empresa produtora de refrigerantes, em estudo.

3.2 QUALIDADE DE ENERGIA

Por definição, a qualidade de energia elétrica é a medida que expressa quão bem a energia elétrica pode ser utilizada pelos equipamentos elétricos de uma instalação, estando associada a um conjunto de fenômenos que afetam a amplitude e a forma de onda da tensão e corrente elétrica. A própria geração distribuída, comentada em capítulos anteriores, é uma das medidas adotadas para a melhora da qualidade de energia, pois, quando a tensão fornecida possui forma de onda senoidal pura e sem alterações em amplitude, frequência ou fase, como se emanasse de uma fonte de potência infinita obtemos uma melhor qualidade de energia. Isso é, sendo a GD uma fonte de energia próxima a carga, tem como consequência a diminuição de distúrbios provenientes da rede elétrica da distribuidora de energia, melhora dos níveis de tensão da rede elétrica interna do consumidor e resultando em uma melhor qualidade de energia (HAN et al., 2006).

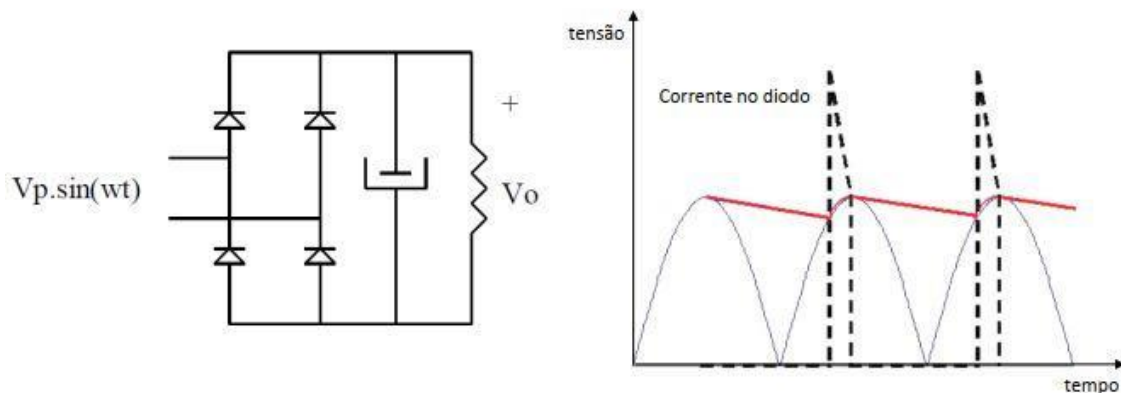
Quando observamos uma instalação elétrica com desvios de forma de onda da tensão e corrente, que se apresentam através de falhas de equipamentos ou até mesmo a sua queima, verificamos uma rede elétrica interna com uma qualidade de energia pobre, havendo necessidade da realização de uma análise mais minuciosa e precisa para averiguar as causas conforme os problemas apresentados, dentre esses podemos destacar:

- Falhas intermitentes/permanentes em equipamentos de computação;
- Interferência em equipamentos de comunicação de dados;
- Mal funcionamento em controladores de processos;
- Redução na vida útil de capacitores, transformadores e demais equipamentos dos sistemas elétricos;
- Inadequação de motores elétricos em operação e na partida;
- Sobrecarga em cabos, chaves, transformadores etc.

- Imprecisão nas medições de energia;
- Operação inadequada de geradores de emergência;
- Risco de choque elétrico fatal.

Um dos responsáveis por inserir oscilações nas instalações elétricas são as chamadas cargas não lineares. Cargas não lineares são cargas geralmente resistivas que, em um curto período de tempo, demandam uma potência de energia elétrica muito grande, produzindo distorções que se propagam na rede elétrica interna até que sejam estabilizadas. Na Figura 31, a seguir, temos um exemplo de um retificador com filtro capacitivo, em que podemos observar o pico de corrente gerado pelo circuito que é injetado na rede da instalação elétrica, causando distúrbios.

Figura 31 – Pico de corrente gerado por circuito retificador



Fonte: do autor.

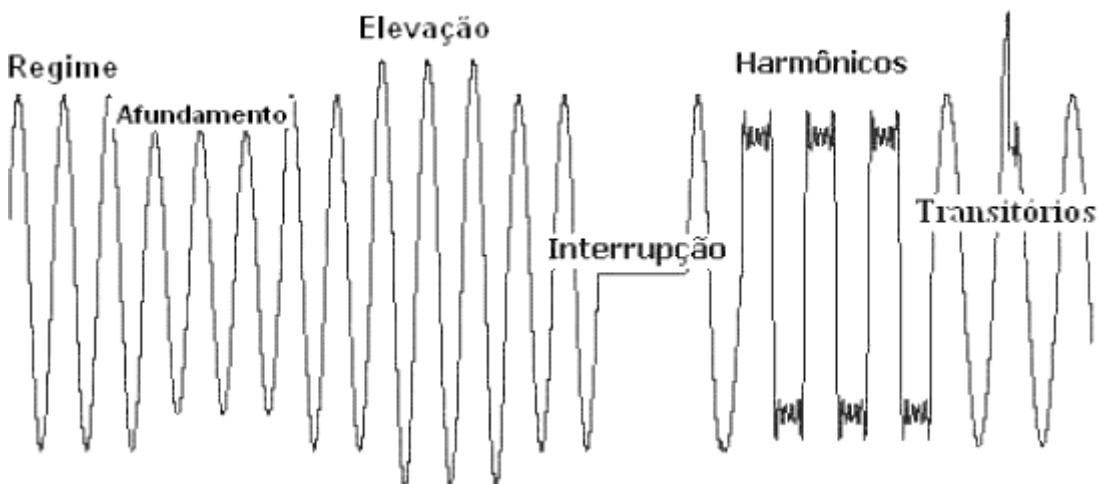
Com a evolução dos equipamentos eletrônicos, juntamente com a eficiência energética, que tem como premissa a realização da maior quantidade de trabalho com o menor custo de energia elétrica possível, foram desenvolvidos equipamentos de eletrônica de potência capazes de produzir mais com menos, como é o caso das fontes chaveadas que, em substituição das fontes lineares, melhoraram o rendimento dos equipamentos, mas introduziram a injeção de harmônicos no sistema elétrico.

Harmônicos são ondas senoidais de frequências múltiplas inteiras a uma frequência de referência, chamada fundamental. No caso do sistema elétrico brasileiro, a fundamental é a frequência padrão 60 Hz tendo como 2º harmônico uma onda senoidal de 120 Hz, 3º harmônico uma onda senoidal de 180 Hz e assim por diante. Os harmônicos são uma forma matemática de analisar a distorção de uma forma de onda, seja ela de tensão ou de corrente.

Esse malefício causa perdas para o consumidor e para a concessionária de energia. Apesar dessas perdas, os equipamentos mencionados têm um nível de susceptibilidade a harmônicos. Nos limites relacionados pelas normas, a norma brasileira estabelece 6% de THD de tensão para o sistema de baixa tensão (LA ROSA, 2006). Já o IEEE limita em 5% enquanto a IEC admite 8% de THD de tensão.

Nesse trecho, caracteriza-se os harmônicos causados por aparelhos eletroeletrônicos de consumidores residenciais e comerciais com a finalidade de mostrar o seu impacto no sistema de distribuição de energia elétrica, em que existem várias formas em que as distorções harmônicas afetam os equipamentos eletrônicos. O primeiro efeito a ser considerado são as múltiplas passagens de tensão pelo zero. Em alguns equipamentos eletrônicos, a passagem pelo zero da tensão fundamental é utilizada para contagens temporais. Entretanto, distorções harmônicas causam passagens pelo zero mais frequente, o que prejudica o correto funcionamento daqueles equipamentos. Como exemplo, há relógios digitais domésticos que irão avançar no tempo devido a inesperados cruzamentos pelo zero. Qualquer equipamento que depende do sincronismo de seu contador com a passagem pelo zero pode ser considerado vulnerável às distorções harmônicas.

Figura 32 – Distúrbios típicos na forma de onda



Fonte: do autor, adaptado de Elétron Energia (2018)

Esse contexto vem de encontro à atual situação da manutenção no Brasil, cujos custos com essa atividade representam cerca de 4,2% do PIB (Produto Interno Bruto), o equivalente a US\$ 28 bilhões por ano. Várias empresas adotam conjuntos de métodos destinados a garantir que cada máquina de um processo de produção seja sempre capaz de realizar as tarefas necessárias com a máxima eficácia possível e em muitos casos dinamismo do cotidiano

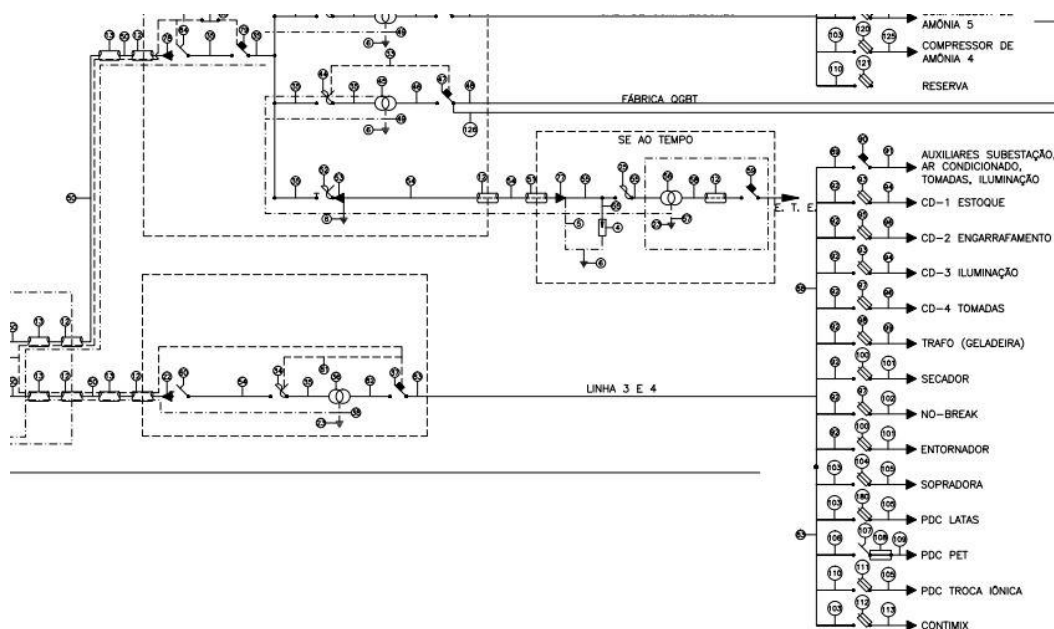
produtivo não permite o planejamento de paradas para cuidar dos equipamentos. Assim, as práticas de manutenção são focadas no sistema corretivo, trazendo custos inesperados e prejuízos (HADDAD; AGUIAR, 1999).

3.2 ANÁLISE PRÁTICA

De acordo com os capítulos anteriores, neste capítulo será realizada uma análise breve voltada a um caso real dos fatores inerentes à qualidade de energia e eficiência energética do chão de fábrica do consumidor estudado anteriormente – indústria de refrigerantes. Os dados e informações aqui analisados foram medidos e fornecidos por uma empresa terceira, responsável pelos relatórios de qualidade de energia, aterramento e instalações elétricas. Serão abordados os problemas elétricos como queimas de equipamentos, mal funcionamento do maquinário e falhas elétricas apresentados pela indústria de refrigerantes de modo a identificar a sua raiz, trazendo as soluções e melhorias possíveis na rede elétrica interna.

Como não foi possível realizar a visita *in loco*, devido à pandemia do COVID19, e tendo como premissa de que as instalações elétricas do consumidor em análise estejam adequadas aos padrões das normativas vigentes, como cabeamento apropriado à carga, disjuntor com potência de proteção ajustada, conexões e barramentos compatíveis com o fluxo de potência, entre outros, partiremos para a análise dos relatórios de qualidade de energia sob a ótica do diagrama unifilar da rede elétrica.

Figura 33 – Diagrama unifilar rede elétrica Linha 3 e 4

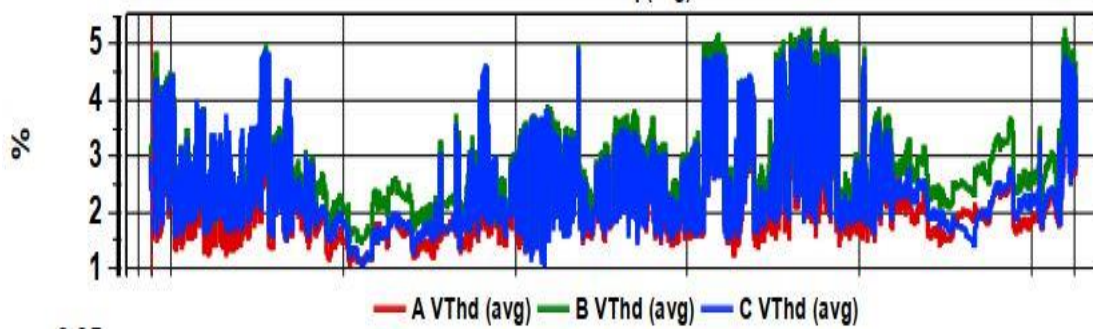


Fonte: Consumidor do estudo (2020).

De acordo com o responsável técnico pela manutenção e do relatório anual de manutenções do ano de 2020, o setor que apresenta mais manutenções e falhas elétricas é o correspondente à linha 3 e 4. Juntamente com a análise do relatório de manutenções, os relatórios de qualidade de energia que apresentam disfunções elétricas mais significativas são, também, dos equipamentos e máquinas do setor 3 e 4. Portanto, com a finalidade de trazer maiores resultados para o consumidor em estudo neste trabalho, será analisado com maior enfoque o setor que está apresentando mais falhas elétricas.

Observando a Figura 33, a seguir, podemos observar as variações de distorção harmônica nas fases A, B e C do transformador 04, que alimenta as linhas 3 e 4 no chão de fábrica.

Figura 34 – Distorção harmônica TR04



Fonte: Empresa terceira, gestora de energia elétrica do consumidor em análise.

Segundo o módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição (Prodlist), elaborado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) que trata sobre qualidade de energia, procedimentos de medição e limites variação dos parâmetros da rede elétrica, temos como limites máximos as distorções harmônicas totais de tensão os valores da tabela a seguir:

Tabela 18 – Limites das distorções harmônicas totais (em % da tensão fundamental)

Indicador	Tensão nominal		
	$V_n \leq 1,0 \text{ kV}$	$1,0 \text{ kV} < V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
DTT _{95%}	10,0%	8,0%	5,0%
DTT _{p95%}	2,5%	2,0%	1,0%
DTT _{95%}	7,5%	6,0%	4,0%
DTT _{395%}	6,5%	5,0%	3,0%

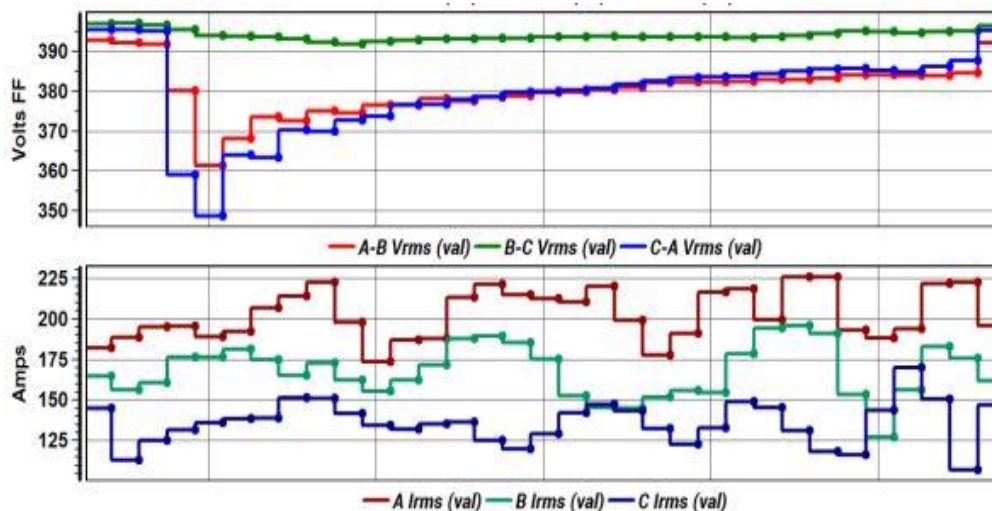
Fonte: ANEEL – PRODIST (2018).

De acordo a Tabela 18, o limite máximo para a THD (Distorção Harmonica Total) é de 5% para os níveis de tensão na operação fabril, ou seja, há ultrapassagem do limite máximo de

distorção harmônica de tensão no TR 04 que alimenta as linhas 3 e 4. Para a operação da máquina em questão não há variações dos níveis de tensão e corrente acima do permitido, sendo que sua potência de operação se encontra em 40% abaixo da nominal, o que não representa uma boa faixa de potência para a operação do transformador, por estar muito abaixo da sua potência nominal, podendo causar instabilidades ao não atuar corretamente na rede elétrica.

Outro equipamento que apresentou distúrbios e está presente na mesma malha alimentadora é a sopradora de engarrafamento SIPA, que apresentou seis afundamentos de tensão durante as medições, como podemos ver pela Figura 35 que mostra uma das distorções verificada na onda de tensão. Por ser uma carga predominantemente resistiva, requer uma potência instantânea alta para o momento do sopro da garrafa pet. Como o transformador que alimenta essa linha também apresenta distúrbios, é válida a hipótese de que esses distúrbios estejam se propagando na malha dessas linhas.

Figura 35 – Afundamento de tensão e corrente



Fonte: Gestora de Energia terceira (2019)

Através da análise gráfica, pode-se verificar a demanda de corrente ocorrendo precipitadamente, com ênfase na fase C, causando o afundamento da forma de onda da corrente, seguido do afundamento na tensão, sendo constatado um desequilíbrio de fase no barramento da sopradora trifásica, bem como sustentando a hipótese do pico de potência instantânea requisitada pela máquina e distúrbios propagados nas linhas alimentadoras das cargas.

Portanto, para analisar e apresentar melhorias na rede elétrica para um consumidor, primeiramente deve-se realizar as medições com medidor universal de grandezas (MUG) conforme determina o módulo 8 do Prodist (ANEEL, 2020) na entrada de energia da unidade consumidora, a fim de analisar todo comportamento da carga associada ao sistema, como

também em pontos estratégicos na malha da rede elétrica, buscando determinar pontos críticos de carga e limitações na própria estrutura das instalações. Com essas informações, pode-se chegar às soluções necessárias, como bancos de capacitores para conter a energia reativa injetada na rede elétrica por equipamentos com fator de potência baixo, e filtros capacitivos, para reduzir variações de tensão e corrente de alta frequência e corrigir imperfeições elétricas, como as harmônicas. De acordo com a tabela 2.1 do módulo 8 do Prodist, podemos observar os tipos de distúrbios e suas respectivas soluções de acordo com suas causas e efeitos, como vemos nas figuras 36 e 37, a seguir:

Figura 36 – Tabela 2.1 Prodist Adaptada

Tipo de Distúrbio	Causas	Efeitos	Soluções
Transitórios Impulsivos	-Descargas atmosféricas; -Chaveamentos de cargas.	-Excitação de circuitos ressonantes; -Redução da vida útil de motores, geradores, transformadores, etc.	-Filtros; -Supressores de surto; -Transformadores isoladores
Transitórios Oscilatórios	-Descargas atmosféricas; -Chaveamentos de: capacitores, linhas, cabos, cargas e transformadores.	-Mal funcionamento de equip. controlados eletronicamente, conversores de potência, etc.; -Redução da vida útil de motores, geradores, transformadores, etc.	-Filtros; -Supressores de surto; -Transformadores isoladores.
Sub e Sobreensões	-Partidas de motores; -Variações de cargas; -Chaveamento de capacitores.	-Pequena redução na velocidade dos motores de indução e no reativo dos bancos de capacitores; -Falhas em equipamentos eletrônicos; -Redução da vida útil de máquinas rotativas, transformadores, cabos, disjuntores, TP's e TC's; -Operação indevida de relés de proteção.	-Reguladores de tensão; -Fontes de energia de reserva; -Chaves estáticas; -Geradores de energia.
Interrupções	-Curto-circuito; -Operação de disjuntores; -Manutenção.	-Falha de equipamentos eletrônicos e de iluminação; -Desligamento de equipamentos; -Interrupção do processo produtivo (altos custos);	-Fontes de energia sobressalentes; -Sistemas "no-break"; -Geradores de energia.
Desequilíbrios	-Fornos a arco; -Cargas monofásicas e bifásicas; -Assimetrias entre as impedâncias.	-Redução da vida útil de motores de indução e máquinas síncronas; -Geração, pelos retificadores, de 3ª harmônico e seus múltiplos.	-Operação simétrica; -Dispositivos de compensação.

Fonte: do autor, adaptado de ANEEL (2020)

Figura 37 – Continuação Tabela 2.1 Prodlist Adaptada

Nível CC	-Operação ideal de retificadores de meia onda, etc.	-Saturação de transformadores; -Corrosão eletrolítica de eletrodos de aterramento e de outros conectores.	
Harmônicos	-Cargas não-lineares.	-Sobreaquecimento de cabos, transformadores e motores de indução; -Danificação de capacitores, etc.	-Filtros; -Transformadores isoladores.
Interharmônicos	-Conversores estáticos de potência; -Cicloconversores; -Motores de indução; -Equipamentos a arco, etc.	-Interferência na transmissão de sinais "carrier"; -Indução de "flicker" visual no "display" de equipamentos.	
"Notching"	-Equipamentos de eletrônica de potência.		
Ruídos	-Chaveamento de equip. eletrônicos de potência; -Radiações eletromagnéticas.	-Distúrbios em equip. eletrônicos (computadores e controladores programáveis).	-Aterramento das instalações; -Filtros.
Oscilações de Tensão	-Cargas intermitentes; -Fornos a arco; -Partidas de motores.	-"Flicker"; -Oscilação de potência e torque nas máquinas elétricas; -Queda de rendimento de equipamentos elétricos; -Interferência nos sistemas de proteção.	-Sistemas estáticos de compensação de reativos; -Capacitores série.
Variações na Frequência do Sistema Elétrico	-Perda de geração, perda de linhas de transmissão, etc.	-Pode causar danos severos nos geradores e nas palhetas das turbinas, etc.	

Fonte: do autor, adaptado de ANEEL (2020).

Para as falhas, queimas de equipamentos e pontos críticos identificados na rede elétrica da indústria de refrigerantes, de acordo com os relatórios de qualidade de energia e relatórios de manutenções, deve-se salientar que as distorções harmônicas, ruídos e oscilações de tensão ganham destaque na dificuldade da boa operação das instalações elétricas. Para tanto, de acordo com a tabela 2.1 do módulo 8 do PRODIST, e considerando o custo-benefício de investimento na instalação e retorno do investimento por parte do consumidor, os filtros para harmônicos se sobressaem dentre as soluções para a melhora na qualidade de energia e eficiência energética das instalações.

Atualmente, existem no mercado diversos tipos de equipamentos com esse fim. Porém, poucos são homologados e têm resultados sólidos. Através de pesquisa em indústrias e fabricas como Yoki, Garoto e Nestlé (LUMIGHT DO BRASIL, 2020a), com perfil de carga semelhante ao consumidor foco deste estudo, os quais já implementaram filtros com objetivo de minimizar as distorções harmônicas, ruídos e afins, chegou-se aos Filtros Capacitivos da Lumilight do Brasil. Esse filtro é considerado um filtro de harmônicas atuando em distorções e ruídos na rede elétrica. É válido ressaltar que, apesar de se chamar Filtro Capacitivo, possui uma atuação em distorções harmônicas e não se deve confundir com banco de capacitores que atuam na correção do fator de potência.

De acordo com a fabricante Lumilight do Brasil, o funcionamento específico dos filtros baseia-se em um sistema de automação que atua em paralelo à rede elétrica, com resposta na ordem de 5 a 15 milissegundos, drenando ruídos, picos e alterações da rede elétrica para o aterramento por meio de campos eletromagnéticos, resultando em uma melhor qualidade de energia circulante e eficiência energética, pois proporciona um melhor aproveitamento da energia elétrica por parte das máquinas e equipamentos elétricos (LUMIGHT DO BRASIL, 2020b). Segundo a fabricante, a melhora na qualidade de energia proporciona um aumento da vida útil dos equipamentos de até 70%, resultando na redução de custos com manutenção. Além disso, como o filtro gera a redução das componentes harmônicas da onda de corrente, ocasiona uma redução da medição do consumo de energia elétrica de 8 até 20% (LUMIGHT DO BRASIL, 2020a). Também possui como propriedades: dispositivo de proteção, sem interferência na potência instalada, alimentando uma tensão de 110V a 440V - 50/60 Hz – Brasil.

Ademais, as vantagens do filtro capacitivo citadas pela fabricante, os cases de sucesso do uso do equipamento, o embasamento científico necessário para a utilização do equipamento são as homologações do equipamento como podemos observar na Figura 38, bem como seus respectivos laudos de funcionamento dos laboratórios LAFAC da Universidade de São Paulo, Laboratório de Engenharia de Projetos da PUC/SP e o Laboratório lanteQ. É válido ressaltar também que a distribuidora de energia elétrica Eletrobrás fez a aquisição deste equipamento para a utilização em sua própria rede de distribuição através do pregão eletrônico processo PRE nº. 00038/2017 – Boa Vista Energia.

Figura 38 – Normatizações do Filtro Capacitivo

- | | |
|---|---|
| 1. IEC 60950 (2005). | 14. AIEE Transactions; PAS-75(III): 950-9, (1956). |
| 2. ABNT NBR 5410 (2004) – Resolução nº 529. | 15. IEEE Transaction on Power Delivery |
| 3. IEC 61000-4-2. | 16. Electrical Insulation Magazine, IEEE |
| 4. IEC 61000-4-5. | 17. General Electric TIS Report75CRD039 |
| 5. NBR IEC 61643-1. | 18. IEEE Transactions on Power Systems |
| 6. IEC 61000-3-2. | 19. Resolução Anatel 442 – "Regulamento para Certificação de Equipamentos de Telecomunicações Quanto aos Aspectos de Compatibilidade Eletromagnética". |
| 7. IEC 61000-3-4. | 20. Resolução Anatel 529 – "Regulamento para Certificação de Equipamentos de Telecomunicações Quanto aos Aspectos de Segurança Elétrica". |
| 8. IEEE 519. | |
| 10. NBR 5456: 1987. IEEE-519 (1991). | |
| 11. IEEE Task Force, 1982. | |
| 12. QT81BB, 2008. | |
| 13. AIEE Transactions; PAS-80430-44. (1961). | |

3.3 IMPLEMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES VERIFICADAS

Portanto, para realizar uma simulação da implementação do filtro capacitivo no chão da fábrica da indústria de refrigerantes, foi realizado o dimensionamento dos filtros e a identificação na planta elétrica do consumidor dos pontos ótimos para a instalação, com auxílio da empresa LUMENK Energia que, através de softwares de simulação de fluxo de potência, em conjunto com a análise da nodal da rede e suas respectivas cargas, definiu os pontos críticos para ajustes imediatos, estando estes localizados principalmente nas linhas 3 e 4. Os parâmetros de custos com equipamentos e serviços de instalação foram obtidos com a própria empresa fabricante que forneceu os dados necessários e requisitos para o correto funcionamento e o alcance do resultado esperado.

Lembrando que, segundo a fabricante Lumilight do Brasil, para o funcionamento correto do filtro capacitivo é essencial que a malha elétrica, a qual esse filtro for conectado, deverá possuir aterramento com impedância de terra menor ou igual a 10 ohms, de acordo com a ABNT NBR 5419, para que, dessa forma, o filtro atue corretamente e as distorções e ruídos identificados nas ondas de tensão e corrente possam escoar no tempo correto para terra, sem que essa energia com distorções seja utilizada na alimentação dos equipamentos elétricos.

Para fins de cálculo estimativo de redução de custos com manutenção de equipamentos elétricos e custos com energia ativa, foram utilizados os relatórios de consumo de energia dos últimos doze meses, a partir de outubro de 2020, fornecidos pela empresa terceira, gestora de energia do consumidor em pauta, para obter o custo em reais com energia ativa. Da mesma maneira, foi utilizado o relatório anual de manutenções corretivas de 2020 para se obter uma média de custos mensal e anual com manutenções elétricas. É imprescindível lembrar que o ano de 2020 foi um ano atípico, devido à pandemia do COVID19. Logo, o resultado estimado, utilizando os dados desse último ano, será abaixo do que considerado em condições normais de produção fabril e seu consequente aumento de consumo, como também maior custo de manutenção nos meses em que a operação da fábrica ficou reduzida pelo COVID19.

Conforme a Lumilight do Brasil, a redução com custos de manutenção corretiva referente à rede elétrica em que o filtro capacitivo for instalado é de até 70%, e a consequente redução na medição de energia ativa ocorre de 8 a 20%. Para fins de cálculo e fidedignidade do trabalho, no que diz respeito à redução dos custos com manutenção, foi utilizado um fator de redução de 50% e, para a redução da energia ativa medida, foi utilizado um fator de redução de 5%. Os resultados estimados obtidos através dos dados citados anteriormente são observados na Tabela 19, a seguir:

Tabela 19 – Estimativa de custos e retorno financeiro com a implementação de filtros capacitivos

Custo Médio Anual com Manutenção Corretiva	R\$ 193.484,24
Custo Médio Anual com Consumo de Energia Ativa	R\$ 2.508.395,84
Investimento Total*	R\$ 305.932,00
Economia Anual Estimada com Manutenção Corretiva	R\$ 96.742,12
Economia Anual Estimada com Energia Ativa	R\$ 125.419,79
Retorno Estimado do Investimento	1 ano e 5 meses

*O Investimento contempla o valor de 34 filtros capacitivos industriais (mínimo necessário para a demanda de consumo e carga do consumidor), juntamente com a mão de obra e serviço de instalação, podendo haver aumento na quantidade necessária para dez filtros, de acordo com visita técnica *in loco*.

Fonte: do autor.

Portanto, considerando as indústrias que já utilizam a tecnologia de filtro de harmônicas, e mais especificamente o filtro capacitivo, suas respectivas homologações e benefícios, os resultados obtidos com a simulação da implementação dos filtros capacitivos (lembrando que, para fins de cálculo, o resultado foi subestimado, considerando a pior hipótese de rendimento), concluem que a tecnologia dos filtros capacitivos é uma solução satisfatória possuindo 8 anos de garantia dados pela fabricante, e também visto que o filtro é uma opção que solucionaria não apenas as distorções advindas da rede elétrica ou gerados por equipamentos elétricos internos, mas também protegeria as instalações de surtos elétricos internos. Além disso, o custo obtido com a parada da produção fabril por falha elétrica ou necessidade de substituição de uma peça no equipamento pode ser, muitas vezes, ainda mais relevante do que o próprio investimento com a manutenção corretiva ou melhora da rede elétrica.

4. CONCLUSÃO

As constantes mudanças e a evolução no setor elétrico brasileiro buscam se adequar à crescente diversidade de fontes e cargas na matriz energética brasileira, o que resulta em uma complexidade maior para o ONS. Por outro lado, cada vez mais o consumidor tem a autonomia de gerir sua demanda por energia elétrica, bem como de gerar sua própria energia, de acordo com suas características energéticas e com o seu posicionamento no setor.

Tendo como referência esse ambiente, este trabalho teve como objetivo mensurar a viabilidade da implantação da geração distribuída para consumidores pertencentes ao ambiente de contratação livre, levando em consideração as atualizações previstas para o ano de 2021 como a precificação horária, novas tecnologias, tipos de carga e alternativas geração de energia elétrica por fonte de energia solar fotovoltaica e de outras fontes renováveis para a implementação da geração distribuída.

Através do estudo de caso, em que foi avaliado um consumidor presente no mercado livre com modulação flat e com perfil de consumo maior em horário comercial, foi possível analisar as consequências e as oportunidades geradas pela adoção da precificação horária no mercado de curto prazo. Para consumidores que têm seu consumo ocorrendo em horário predominantemente comercial, o impacto tende a ser maior caso não seja realizado um planejamento e não sejam adotadas estratégias contratuais e de consumo de energia para que não haja necessidade de haver contabilização no mercado de curto prazo em horários de pico de carga do SIN, ao mesmo tempo que exige uma gestão energética mais elaborada e com mais envolvimento por parte do consumidor.

Através dos resultados obtidos nos cenários simulados, a geração distribuída implementada a um consumidor livre, em conjunto com a operação do PLD horário, demonstrou ser uma alternativa válida, no que diz respeito a diminuir os impactos causados pelo consumo de energia nos horários em que é mais cara, tornando a carga líquida consumida pelo mercado livre como um produto mais flat e com um preço mais barato. É preciso ter atenção e cuidado com os dias chuvosos e nublados, quando a geração da usina ficaria prejudicada, havendo a necessidade de ter esse controle no dia anterior, pois, ou se utilizaria do mercado de curto prazo para se obter essa energia que não for suprida pela usina solar ou se utilizaria da margem contratual para não correr risco de exposição desnecessária ao mercado de curto prazo.

A geração de energia solar fotovoltaica para consumidores livres, quando aliada a um planejamento contratual, mostrou ser uma forte aliada, tecnicamente e economicamente, através

de estratégia comercial para consumidores que possuam maior consumo em horário comercial. Uma usina solar fotovoltaica, com geração acima de 60% do consumo do agente, não parece ser tão interessante pelo fato do risco alto de exposição no MCP nos momentos de geração reduzida. Porém, se em contrato possuir uma margem de flexibilização suficiente para cobrir a energia que não está sendo gerada pela usina FV, os riscos diminuem e o lucro líquido pela energia gerada aumenta, mesmo que haja energia excedente e esta seja liquidada no MCP, gerando lucro ao agente consumidor.

Embora o trabalho tenha demonstrado ganhos para o consumidor livre com geração solar, essa geração pode sofrer variações sensíveis relacionadas principalmente aos aspectos contratuais e burocráticos, perfil de consumo do agente, formação da precificação horária e custo marginal de operação do setor elétrico brasileiro. Para trabalhos futuros, é interessante a análise em cima de contratos que já consideram a operação do PLD horário como também a precificação horária real, e não somente o preço sombra. Uma simulação com dados concretos de operação da precificação horária e simulação com horizonte de tempo maior aumentará a confiabilidade do retorno de investimento no longo prazo. É válido lembrar que usinas até 5MW de potência não necessitam de outorga da ANEEL para operação como autoprodutor ou geração distribuída, tendo seus créditos contabilizados no sistema de compensação.

Em relação à qualidade de energia, uma fonte de energia próxima à carga sempre fará aumentar os fatores de confiabilidade e entrega de energia, podendo futuramente ser adequado ao sistema de armazenamento de energia. As soluções encontradas para a redução das distorções e ruídos causadores de falhas elétricas e queimas de equipamentos demonstraram ser válidas de acordo com as referências do equipamento, homologações e tempo de retorno obtido, quando comparado à vida útil e à garantia de 8 anos dada pelo fabricante, além da possibilidade de financiamento pelo BNDES, que garante lucro mensal na parcela de financiamento com os benefícios técnicos e econômicos obtidos com a implementação da solução.

Finalmente, além dos benefícios técnicos e econômicos obtidos com a geração distribuída por fonte de energia renovável, as vantagens socioambientais, como a redução das emissões de carbono nas perdas em transmissão e distribuição de energia elétrica, não devem deixar de serem lembradas. Uma empresa que tem como fonte de energia elétrica uma fonte sustentável, que pensa no meio ambiente e na sociedade a qual faz parte, também acaba sendo uma vantagem não só para a sua imagem pública, mas para a sociedade como um todo. E, por fim, parafraseando o Secretário de Energia Elétrica do Ministério de Minas e Energia, Rodrigo Limp, pode-se concluir que “A geração distribuída será a modalidade que mais crescerá a partir do ano de 2020, principalmente através da fonte solar” (TRANSIÇÃO ENERGÉTICA, 2020a).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída... **Diário Oficial da União**, 19 de abril de 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. **Audiência pública sobre limites de PLD recebe contribuições até 2/8/2019**. 2019. Disponível em: <<https://cutt.ly/KhcnpnSM>>. Acesso em: 17 nov. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. Portaria nº 514, de 27 de dezembro de 2018. **Diário Oficial da União**, 28 de dezembro de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. Resolução Normativa no 858, de 1 de outubro 2019. Estabelece os critérios e procedimentos para o cálculo dos limites máximo e mínimo do Preço de Liquidação de Diferenças... **Diário Oficial da União**, 7 de outubro de 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. ANEEL. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica**. 2020. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/modulo-8>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMERCIALIZADORES DE ENERGIA. ABRACEEL. **Mercado Livre de Energia Elétrica**: Um guia básico para quem deseja comprar sua energia elétrica no mercado livre. 2019. Disponível em: <http://www.abraceel.com.br/archives/doc/Cartilha_Mercado_Livre_Digital.pdf>. Acesso em: 10 set. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMERCIALIZADORES DE ENERGIA. ABRACEEL. **Mercado Livre de Energia Elétrica**: Um guia básico para consumidores potencialmente livres e especiais. Disponível em <http://www.abraceel.com.br/archives/files/Abraceel_Cartilha_MercadoLivre_V9.pdf>. Acesso em: 20 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE COMERCIALIZADORES DE ENERGIA. ABRACEEL. **Boletim setembro 2020**. Brasília, 2020.

BRASIL. Decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 30 de julho de 2004.

BRASIL. Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996. Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 11 de setembro de 2019.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. CCEE. **InfoPLD**, São Paulo, maio 2019.

CÂMARA DE COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. CCEE. **Comercialização**. 2020. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/onde-atuamos/comercializacao?_afLoop=24649091524410&_adf.ctrl-state=14zzslsdf_1#!%40%40%3F_afLoop%3D24649091524410%26_adf.ctrl-state%3D14zzslsdf_5>. Acesso em: 25 nov. 2020.

ELETRON ENERGIA. **Qualidade de Energia Elétrica**. 2020. Disponível em: <<http://www.eletronenergia.com.br/qualidade-de-energia-eletrica/>>. Acesso em: 14 out. 2020.

ENGIE BRASIL. **Vídeocast Além da Energia: Transição Energética**. 23 min. 2020a. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=b7ALLCNYSSw>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

ENGIE BRASIL. **Mercado de energia no cenário atual: como reduzir custos e garantir resultados?** 61 min. 2020b. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=JVnSMYIQ2Go>>. Acesso em: 14 nov. 2020.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. FIESP. **Cartilha Mercado Livre de Energia**. Departamento de Infraestrutura, 2019

HADDAD, J.; AGUIAR, S.C. (Org.). **Eficiência energética: integrando usos e reduzindo desperdícios**. Preparado para ANEELZ e ANP, Brasília, 1999

HAN, B. et al. Combined operation of unified power-quality conditioner with distributed generation **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 21, Issue 1, Jan. 2006.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. IEA. **World Energy Outlook 2020**. 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>>. Acesso em 20 nov. 2020.

INSTITUTO FEDERAL CATARINENSE. IFC. 2012. Disponível em: <<http://professor.luzerna.ifc.edu.br/david-jose/wp-content/uploads/sites/25/2016/02/Radiacao-D.pdf>>. Acesso em: 18 out. de 2020

LA ROSA, F. C. de. **Harmonics and Power System**. Boca Raton: CRC Press, 2006.

LEITE, A.; CASTRO, N.; TIMPONI, R. **Causas da volatilidade do preço spot de eletricidade no brasil**. Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, 2013.

LUMIGHT DO BRASIL. **Clientes**. 2020a. Disponível em: <<https://filtrocapacitivo.com.br/clientes.php>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

LUMIGHT DO BRASIL. **Filtros Capacitivos Lumilight do Brasil**. 2020b. Disponível em: <<https://filtrocapacitivo.com.br/filtros-capacitivos/>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

MAYO, R. **Derivativos de Eletricidade e Gerenciamento de Risco**. Rio de Janeiro: Synergia, 2009.

MEGAWHAT. Autoprodução está na moda, mas não é mercado. 2020. Disponível em: <<https://megawhat.energy/news/103778/autoproducao-esta-na-moda-mas-nao-e-mercado-para-amadores-advertem-especialistas>>. Acesso em: 10 nov. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. MME. Portaria n. 514 de 27 de dezembro de 2018. **Diário Oficial da União**. 28 de dezembro de 2018, 132, p. 74.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. MME. Portaria n. 314. **Diário Oficial da União**, 9 de agosto de 2019, 153, p. 97

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. MME. Portaria n°. 301, de 31 de julho de 2019. **Diário Oficial da União**, 1º de agosto de 2019.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. ONS. **Preço Horário da Energia: “Operação Sombra”**. Brasília, 2019.

SANTOS, L. **Autoprodução de energia**: redução do custo e maior confiabilidade de suprimento. 2019. Disponível em: <<https://ecomenergia.com.br/blog/autoproducao-de-energia-reducao-do-custo-e-maior-confiabilidade-de-suprimento/>>. Acesso em: 24 nov. 2020.

THE WORLD BANK. **Solar Photovoltaic Power Potential by Country**. 2020. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/topic/energy/publication/solar-photovoltaic-power-potential-by-country>>. Acesso em: 10 out. 2020