

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANA CLÁUDIA ANDREAZZA

**ESTUDO DE VIABILIDADE ENTRE A IMPLANTAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA E A MIGRAÇÃO PARA MERCADO LIVRE DE ENERGIA
ELÉTRICA PARA UMA EMPRESA DO RAMO METALÚRGICO LOCALIZADA
EM CAXIAS DO SUL/RS**

CAXIAS DO SUL

2020

ANA CLÁUDIA ANDREAZZA

**ESTUDO DE VIABILIDADE ENTRE A IMPLANTAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA E A MIGRAÇÃO PARA MERCADO LIVRE DE ENERGIA
ELÉTRICA PARA UMA EMPRESA DO RAMO METALÚRGICO LOCALIZADA
EM CAXIAS DO SUL/RS**

Trabalho apresentado como requisito para obtenção da aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul/RS.

Orientadora:

Profa. Me. Marta Baltar Alves

CAXIAS DO SUL

2020

ANA CLÁUDIA ANDREAZZA

**ESTUDO DE VIABILIDADE ENTRE A IMPLANTAÇÃO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA E A MIGRAÇÃO PARA MERCADO LIVRE DE ENERGIA
ELÉTRICA PARA UMA EMPRESA DO RAMO METALÚRGICO LOCALIZADA
EM CAXIAS DO SUL/RS**

Trabalho apresentado como requisito para obtenção da aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Civil da Universidade de Caxias do Sul/RS.

Aprovada em 04/12/2020

Banca Examinadora

Profª. Me. Marta Baltar Alves
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Tiago Cassol Severo
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Me. Givanildo Garlet
Universidade de Caxias do Sul – UCS

CAXIAS DO SUL

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom da vida e por ser a base de todas as minhas conquistas me dando força e coragem durante toda essa jornada.

Gratidão a toda minha família especialmente aos meus pais, Vainer e Rubino, por todo amor, carinho, paciência e ensinamentos durante todo esse tempo. Tenho certeza que vocês nunca mediram esforços para que chegasse até onde estou hoje. Vocês foram essencial nesta minha conquista.

Agradeço ao meu namorado, Jeison, por ter sido meu porto seguro durante essa caminhada. Tenha certeza que você tornou tudo mais leve e me incentivou cada vez mais a continuar nessa trajetória.

A todos as amigades que fiz durante os 6 anos da graduação, em especial a Luísa, Gabriela e Natália, que estão comigo desde o início e foram fundamentais durante todo esse tempo compartilhando momentos bons e ruins. Sem dúvidas levarei vocês sempre comigo.

As minhas amigas de longa data, Isadora e Camila, que sempre estiveram disponíveis para conversar e desabafar nos momentos difíceis.

A todos os meus professores que fizeram parte desta conquista, em especial a Marta e ao Tiago, que foram fundamentais para a realização deste trabalho. Vocês jamais serão esquecidos.

Agradeço também a empresa Magnani Materiais Elétricos, Iluminação e Energia Solar e a Ludfor Energia por todo o suporte prestado e o auxílio nas dúvidas para a concretização deste trabalho. Meu muito obrigado.

Por fim, agradeço a UCS que contribuiu de inúmeras formas para o meu crescimento profissional e pessoal.

*“Faça de suas escolhas teus caminhos
e deles os teus sonhos e dos sonhos
as suas realizações”*

Felipe Augusto Pereira

RESUMO

Devido à elevação significativa dos custos com energia elétrica pagos mensalmente a concessionária responsável se fez necessários estudos que visam a redução destes valores. Desta maneira, o presente trabalho tem como objetivo principal o estudo da viabilidade entre a instalação de energia fotovoltaica e o mercado livre de energia para uma empresa do ramo metalúrgico. Para tal análises foi selecionado o objeto de estudo Indústria Metalúrgica Rubizza e analisado suas faturas mensais de energia elétrica para ser determinado qual o método que possui maior viabilidade de implantação. Deste modo uma das possibilidades é a instalação de um sistema de geração energia fotovoltaica composto por 3.590 módulos, gerando mensalmente 131.683 kWh, atendendo assim as necessidades da empresa e possuindo um investimento inicial de R\$ 3.963.178,17 para a sua implantação. Por sua vez, outra alternativa analisada foi a migração ao mercado livre de energia elétrica que levou em consideração os aspectos legais que esse mercado apresenta. O cenário foi comparado separadamente para cada ano de acordo com as bandeiras tarifárias demonstrando assim uma previsão de custos como também a comparação com o mercado cativo de energia elétrica com a contratação de 131,64 MWh mensais proveniente de fontes renováveis. Deste modo possui um investimento inicial de R\$ 51.123,00. Portanto, de acordo com o objetivo da empresa metalúrgica, de redução de custos mensais com energia elétrica, a alternativa de migração ao mercado livre de se mostrou mais vantajosa.

Palavras-chaves: Energia Elétrica. Sistema de Energia Fotovoltaica. Mercado Livre de Energia. Estudo de Viabilidade.

ABSTRACT

Due to the significant increase in electricity costs paid monthly to the concessionaire responsible, studies were made to reduce these values. Thus, the main objective of this work is to study the feasibility between photovoltaic installation and the free energy market for a metallurgical company. For this analysis, the study object Rubizza Metallurgical Industry was selected and its monthly electricity invoices were analyzed to determine which method has the highest application feasibility. Thus one of the possibilities is the installation of a photovoltaic power generation system composed of 3,590 modules, generating monthly 131,683 kWh, thus meeting the needs of the company and having an initial investment of R\$ 3,963,178.17 for its implementation. In turn, another alternative analyzed was the migration to the free market of electricity that considered the legal aspects that this market presents. The scenario was compared separately for each year according to the tariff flags thus demonstrating a cost forecast as well as the comparison with the captive electricity market with the hiring of 131.64 MWh per month from renewable sources. Thus, it has an initial investment of R\$ 51,123.00. Therefore, according to the metallurgical company's objective of reducing monthly costs with electricity, the migration alternative to the free market proved more advantageous.

Keywords: Electric Power. Photovoltaic Power System. Free Energy Market. Feasibility Study.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Composição da tarifa de energia elétrica	26
Figura 2 – Caminho da energia elétrica	31
Figura 3 – Ranking estadual de geração distribuída (11/2020)	34
Figura 4 – Participação dos estados brasileiros no ACL no ano 2019	37
Figura 5 – Radiação Solar Alemanha e Brasil.....	43
Figura 6 – Painéis fotovoltaicos m-Si	45
Figura 7 – Células fotovoltaicas p-Si	45
Figura 8 – Módulos fotovoltaicos ligados em série.....	47
Figura 9 – Módulos fotovoltaicos ligados em série.....	47
Figura 10 – Ângulo azimutal.....	48
Figura 11 – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.....	52
Figura 12 – <i>Payback</i> para o sistema fotovoltaico	55
Figura 13 – Migração ao ACL com critérios da consulta pública Nº 33.....	56
Figura 14 – Fluxo de caixa cenário 1	58
Figura 15 – Fluxo de caixa cenário 2	59
Figura 16 – Metodologia.....	62
Figura 17 – Imagem aérea da Indústria Metalúrgica Rubizza	63
Figura 18 – Áreas disponíveis para instalação.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados financeiros para redução da fatura mensal de energia.....	57
Tabela 2 – Diferença do custo da conta de energia entre ACR e ACL	60
Tabela 3 – Resultados financeiros da migração.....	61
Tabela 4 – Consumo de energia elétrica da Indústria Metalúrgica Rubizza.....	69
Tabela 5 – Valor de energia pago a concessionária RGE.....	74
Tabela 6 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária verde - 2019	78
Tabela 7 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária amarela - 2019	78
Tabela 8 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 1 - 2019	79
Tabela 9 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 2 – 2019	79
Tabela 10 – Custos para mercado livre de energia elétrica - 2019	80
Tabela 11 – Economia entre ACR x ACL - 2019	81
Tabela 12 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária verde - 2020	83
Tabela 13 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária amarela - 2020	83
Tabela 14 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 1 - 2020	83
Tabela 15 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 2 - 2020	84
Tabela 16 – Custos para mercado livre de energia elétrica - 2020	84
Tabela 17 – Economia entre ACR x ACL - 2020	85
Tabela 18 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária verde - 2021	87
Tabela 19 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária amarela - 2021	87
Tabela 20 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 1 - 2021	88
Tabela 21 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 2 - 2021	88
Tabela 22 – Custos para mercado livre de energia elétrica – 2021	88
Tabela 23 – Economia entre ACR x ACL - 2021	89
Tabela 24 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária verde - 2022	90
Tabela 25 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária amarela – 2022	90

Tabela 26 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 1 - 2022	91
Tabela 27 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 2 – 2022....	91
Tabela 28 – Custos para mercado livre de energia elétrica - 2020	92
Tabela 29 – Economia entre ACR x ACL - 2022.....	92
Tabela 30 – Economia anual conforme bandeira tarifária	94
Tabela 31 – Economia total conforme bandeira tarifária	94
Tabela 32 – Parâmetros de dimensionamento energia fotovoltaica.....	95
Tabela 33 – Características dos arranjos fotovoltaicos	96
Tabela 34 – Componentes do sistema de energia fotovoltaica.....	98
Tabela 35 – Análise financeira para o ACL	103
Tabela 36 – Análise financeira das possibilidades de contratação	104

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo de energia no horário de ponta.....	71
Gráfico 2 – Consumo de energia no horário fora de ponta	71
Gráfico 3 – Consumo total de energia elétrica	72
Gráfico 4 – Demanda utilizada x Demanda contratada	73
Gráfico 5 – Valores tarifários de energia elétrica - 2019	81
Gráfico 6 – Valores tarifários de energia elétrica - 2020	85
Gráfico 7 – Valores tarifários de energia elétrica - 2021	89
Gráfico 8 – Valores tarifários de energia elétrica - 2022	93
Gráfico 9 – Energia gerada x Energia consumida.....	96
Gráfico 10 – Fluxo de caixa para instalação do sistema de energia fotovoltaica	103
Gráfico 11 – Fluxo de caixa para a migração ao ACL.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnica
ABRACEEL	Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	Balanço Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CNPJ	Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica
CMEB	Centro da Memória da Eletricidade no Brasil
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz e Energia
CRESESB	Centro de Referência das Energias Solar e Eólica
ENA	Energia Natural Afluente
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ICMS	Circulação de Mercadorias e Serviços
Inmetro	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IPCA	Índice de Preços ao Consumidor
MME	Ministério de Minas e Energia
m-Si	Silício Monocristalino
MWmed	Megawatt médio
PIE	Produtores Independentes de Energia

PIS	Programas de Integração Social
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
ProGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
p-Si	Silício Policristalino
RGE	Rio Grande Energia S/A
RS	Rio Grande do Sul
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
SMF	Sistema de Medição para Faturamento
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TE	Tarifa de Energia
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TRI	Tempo de Retorno do Investimento
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
VPL	Valor Presente Líquido
WWF	<i>World Wide Fund for Nature</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	18
1.1.	TÍTULO PROVISÓRIO	19
1.2.	TEMA DA PESQUISA	19
1.3.	QUESTÃO DE PESQUISA.....	19
1.4.	HIPÓTESES	19
1.5.	OBJETIVO PRINCIPAL E ESPECÍFICOS	20
1.5.1.	Objetivo Principal	20
1.5.2.	Objetivos Específicos	20
1.6.	PRESSUPOSTOS.....	20
1.7.	DELIMITAÇÕES.....	21
1.8.	LIMITAÇÕES.....	21
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1.	SURGIMENTO DA ENERGIA ELÉTRICA.....	22
2.2.	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL	23
2.3.	CONSUMIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA	24
2.3.1.	Tensão de consumo.....	24
2.3.2.	Mercado de contratação de energia	25
2.4.	TARIFA DE ENERGIA.....	26
2.4.1.	Modalidades tarifárias.....	27
2.4.1.1.	Grupo A	27
2.4.1.1.1.	<i>Tarifa azul e tarifa verde.....</i>	<i>27</i>
2.4.1.2.	Grupo B	27
2.4.1.2.1.	<i>Tarifa monômnia e tarifa branca.....</i>	<i>27</i>
2.5.	TARIFAÇÃO HORO SAZONAL.....	28

2.5.1.	Horário de ponta e horário fora de ponta.....	28
2.6.	BANDEIRAS TARIFÁRIAS.....	29
2.7.	TARIFA BINÔMIA	29
2.8.	DEMANDA CONTRATADA.....	30
2.9.	ENERGIA ATIVA E REATIVA	30
2.10.	CAMINHO ELÉTRICO.....	30
2.11.	GERAÇÃO DISTRIBUIDA.....	32
2.11.1.	Geração distribuída junto a carga.....	34
2.11.2.	Geração de autoconsumo remoto	35
2.11.3.	Geração de múltiplas unidades consumidoras	35
2.11.4.	Geração compartilhada.....	35
2.12.	MERCADO LIVRE DE ENERGIA ELÉTRICA	35
2.12.1.	Benefícios	36
2.12.2.	Situação no Brasil	36
2.13.	FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS	37
2.14.	FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS.....	38
2.14.1.	Energia Solar	39
2.15.	ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	39
2.15.1.	Aspectos legais	40
2.15.2.	Radiação solar	42
2.15.3.	Células fotovoltaicas.....	43
2.15.3.1.	Funcionamento.....	46
2.15.3.2.	Ligação em série e paralelo.....	46
2.15.3.3.	Orientação e inclinação dos módulos fotovoltaicos	48
2.15.3.4.	Efeito sombreamento	49
2.16.	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	50

2.16.1.	Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (on-grid).....	50
2.16.1.1.	Componentes dos sistemas on-grid	51
2.17.	ANÁLISE FINANCEIRA.....	52
2.17.1.	Tempo de retorno do investimento.....	52
2.17.2.	Valor presente líquido	53
2.17.3.	Taxa Interna de Retorno.....	53
2.18.	ESTADO DA ARTE	54
2.18.1.	Comparação entre geração de energia fotovoltaica e migração para o mercado livre de energia para uma indústria de médio porte	54
2.18.2.	Análise de viabilidade da adesão ao ambiente de contratação livre e autoconsumo em geração fotovoltaica	56
2.18.3.	Projeto de energia solar fotovoltaica para uma indústria do ramo metalmeccânico	58
2.18.4.	Migração para o mercado livre de energia: estudo de caso do centro de tecnologia da universidade federal do rio de janeiro.....	59
3.	METODOLOGIA APLICADA	62
3.1.	CARACTERIZACAO DO OBJETO DE ESTUDO.....	62
3.1.1.	Consumo de energia do objeto de estudo	63
3.2.	METODOLOGIA PARA ENERGIA FOTOVOLTAICA	64
3.2.1.	Sistema de energia fotovoltaica.....	65
3.2.1.1.	Análise do investimento energia fotovoltaica	66
3.3.	METODOLOGIA PARA MERCADO LIVRE DE ENERGIA	67
3.3.1.	Análise do investimento mercado livre de energia	68
3.4.	ANÁLISE DE VIABILIDADE	68
4.	ANÁLISES.....	68

4.1.	CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA	69
4.2.	POSSIBILIDADES DE CONTRATAÇÃO	73
4.2.1.	Mercado cativo	73
4.2.1.	Mercado livre de energia elétrica.....	75
4.2.2.	Mercado Cativo x Mercado Livre	77
4.2.3.	Economia dos valores pagos.....	93
4.2.4.	Energia solar fotovoltaica.....	94
4.3.	ESTUDO DE VIABILIDADE	101
4.3.1.	Análise financeira	101
4.3.1.1.	Energia Solar Fotovoltaica	101
4.3.1.2.	Mercado livre de energia elétrica	103
4.3.1.3.	Energia Solar Fotovoltaica x Mercado Livre de Energia Elétrica.....	104
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
5.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	107
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
	APÊNDICE A – ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA.....	117
	ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS MÓDULO FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO RSM72-6-345P RISEN.....	119
	ANEXO B – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS INVERSOR SIW500H ST060 WEG.....	121

ANEXO C – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DPS CA SPW275-20 123

**ANEXO D – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS CABO CONDUMAX SOLARMAX
FLEX SN 6 MM² 124**

**ANEXO E – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DISJUNTOR CA DWB160B125-3DX
WEG 12525**

1. INTRODUÇÃO

A busca constante para diversificação da matriz energética torna-se cada vez mais necessária e é motivada por dois principais motivos. O primeiro diz respeito a alta no preço da energia decorrente da necessidade de utilização de usinas termelétricas para geração de energia elétrica, que por sua vez são mais onerosas e poluente ao meio ambiente. Esse fato ocorreu devido a diminuição expressiva de chuvas o que comprometeu a geração de energia por meio de usinas hidrelétricas. Nesse contexto ocorreu um aumento significativo de até 60% nas contas de energia elétrica no país. O segundo fator é a necessidade por busca de fontes de energias renováveis contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável do planeta (ALMEIDA et al., 2015).

Assim um dos principais fatores para a escolha de energia fotovoltaica, segundo Goldemberg e Paletta (2012), deve-se ao fato das questões ambientais pois o processo de geração de eletricidade não gera quaisquer tipos de efluentes líquidos, sólidos ou gasosos prejudiciais ao meio ambiente, assim como não há a ocorrência de emissão de ruídos.

Atualmente, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Brasil possui aproximadamente 58 milhões de unidades consumidora de energia elétrica, contando com 305.769 estruturas instaladas de geração de energia fotovoltaica (ANEEL,2020). Com estes dados numéricos pode-se concluir que o Brasil tem muito a crescer quando comparado a outros países, como por exemplo Austrália onde uma a cada cinco residências possui este sistema instalado (NASCIMENTO, 2018). Se todo o potencial solar do país for aproveitado, é estimado uma produção de 283,5 milhões de Megawatt (MW) por ano de energia fotovoltaica.

Visando assim a redução nas contas de energia elétrica, pode-se citar também a migração das unidades consumidoras do mercado cativo para o mercado livre de energia elétrica. Onde o mercado livre de energia elétrica possui variados benefícios, entre eles está a maior previsibilidade orçamentária, preços competitivos quando comparado a mercado cativo, mesmo valor para horário de ponta e fora de ponta, entre outros. Com essas vantagens e o período de instabilidade econômica

política e o país está passando, resultou em um grande crescimento para os pedidos de adesão a esse tipo de contratação nos últimos anos (GENERGIA,2014).

Segundo boletim mensal do mês de novembro de 2020 da Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia (Abraceel), destacou o número de 8.247 consumidores no mercado livre de energia elétrica, onde 7.244 são consumidores especiais e 1.003 consumidores livres. Isso representa um aumento de 22% no número de consumidores nos últimos 12 meses.

O presente trabalho demonstra o estudo de viabilidade econômica entre o método de energia fotovoltaica versus o mercado livre de energia visando economia nos custos com a energia elétrica em uma indústria localizada na cidade de Caxias do Sul / RS.

1.1. TÍTULO PROVISÓRIO

Estudo de viabilidade entre a implantação de energia fotovoltaica e a migração para mercado livre de energia elétrica para uma empresa do ramo metalúrgico localizada em Caxias do Sul/RS.

1.2. TEMA DA PESQUISA

Comparação entre o uso de energia solar e mercado livre de energia elétrica.

1.3. QUESTÃO DE PESQUISA

Com o aumento do valor da energia elétrica no Brasil qual método para redução de custos é mais viável, a energia fotovoltaica ou o mercado livre de energia?

1.4. HIPÓTESES

As hipóteses para o presente trabalho são:

- dependendo do consumo de energia elétrica o mercado livre de energia elétrica não se torna viável, assim a edificação deve possuir uma carga de no mínimo de 0,5 MW (megawatts);

- o valor praticado no mercado livre é dependente de oferta e das normas em contrato;
- a insolação na edificação pode ser insuficiente para uma instalação de sistema de geração de energia fotovoltaica;
- o telhado pode não comportar a instalação de energia fotovoltaica e haver a necessidade de uma área livre para instalação em solo encarecendo o valor final da energia solar;
- para o caso da energia solar, os valores investidos serem iniciais ou financiados com juros, alterando assim o valor total do sistema.

1.5. OBJETIVO PRINCIPAL E ESPECÍFICOS

1.5.1. Objetivo Principal

Este trabalho possui como principal objetivo realizar o estudo de viabilidade entre a instalação de energia fotovoltaica e o mercado livre de energia para uma empresa metalúrgica localizada em Caxias do Sul/RS.

1.5.2. Objetivos Específicos

1.5.2.1. Analisar as faturas de energia elétrica dos últimos 12 meses fornecidas pela concessionária responsável a fim de ter conhecimento do histórico de energia elétrica da metalúrgica.

1.5.2.2. Efetuar estudos para dimensionar o sistema de energia fotovoltaicas necessária para atender a demanda necessária para a empresa.

1.5.2.3. Definir quanto de energia será necessária para o mercado livre de energia para a empresa.

1.5.2.4. Realizar o estudo viabilidade econômica entre os dois métodos

1.6. PRESSUPOSTOS

Para que os resultados deste trabalho sejam confiáveis parte-se do pressuposto que a empresa se encontra no mercado cativo de energia e que o

consumo de energia elétrica permanecerá o mesmo não havendo alteração ao longo do tempo.

1.7. DELIMITAÇÕES

O presente trabalho é limitado somente ao objeto de estudo, a empresa metalúrgica localizada em Caxias do Sul/RS.

1.8. LIMITAÇÕES

A limitação do presente trabalho é a comparação entre a viabilidade do uso de energia fotovoltaica com mercado livre de energia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica é de suma importância para trabalhos acadêmicos e é elaborada a partir de material já publicados disponíveis para devidas consultas. Este capítulo abordará conceitos importantes para o embasamento do conteúdo e que seja permitido deter os conhecimentos necessários para o entendimento do presente trabalho.

2.1. SURGIMENTO DA ENERGIA ELÉTRICA

A energia elétrica é um bem importante para todos e cada vez é mais evidente a sua essência para a organização das nações e dos indivíduos, e assim é observado o seu constante desenvolvimento desde a sua exploração comercial nos EUA e na Europa no final do século XIX. O primórdio do uso da energia elétrica no Brasil ocorreu a partir de 1880 através do monopólio privado com a implantação dos primeiros empreendimentos nacionais e estrangeiros onde a mesma era limitada ao uso somente para determinados serviços públicos e atividade fabril (GOMES; VIEIRA, 2009).

Por sua vez o período de 1931 a 1945 ficou conhecido pela presença do Estado que teve atuação nacional e em 1934 implantou o Código de Águas sendo este o primeiro marco regulatório do setor elétrico. Há um aumento na demanda de energia no país, porém, em contrapartida, não há investimentos e o crescimento da capacidade instalada de energia no país foi abaixo do esperado. Já entre os anos de 1946 e 1962 foi marcado pelo crescimento econômico acelerado, até mesmo no setor elétrico, onde houve a construção de várias usinas hidrelétricas. Ocorreu assim a criação da Eletrobrás em 1962, que somente entrou em operação em 1964, tem a função principal de coordenar todas as empresas do setor elétrico (GOMES; VIEIRA, 2009).

Assim nos anos seguintes, de 1963 a 1979, ocorreu um novo período na história do setor elétrico que teve apoio integral do setor político e econômico e ficou conhecido como o modelo estatal. Algumas das ações para o setor foi o reajuste do valor da tarifa da energia elétrica que possibilitou o crescimento dos recursos financeiros do setor. Para consolidar esse novo modelo estatal foi promulgada, em 1973, a Lei de Itaipu criando assim a Itaipu Binacional que atuava em todo território

nacional. Portanto em 1979 o campo já estava institucionalizado e a capacidade instalada aumenta em 388,22% (Cmeb, 1995a:144).

Com o choque de petróleo que ocorreu em 1973 e 1979 houve uma grande desvalorização da moeda da época, cruzeiro, ocorrendo então a elevação nas taxas de juros do mercado internacional. Sendo assim houve o desafio da substituição do petróleo, como fonte de energia, por uma fonte de energia renovável menos prejudicial ao meio ambiente e assim ampliando o interesse pelo uso de energia fotovoltaica. O período seguinte, de 1980 a 1992, ficou conhecido com a crise institucional que ocorreu afetando o setor elétrico e assim todas as obras e projetos da área sofreram paralisação e o modelo estatal passa a ser questionado por muitos. Desta vez a capacidade instalada do país cresce somente 120,31% (Boletim Anual do Comitê Brasileiro do Conselho Mundial de Energia, 2002:22).

Os próximos anos, 1993 a 2002, ficaram conhecido como o modelo híbrido onde a Lei nº8.631/93 foi aprovada e previa equacionar os débitos do setor. Já em 1995 a Lei da Concessões foi aprovada e é estabelecia que concessões fossem concedidas por meio de licitações. Ao final do ano de 2002 a geração e a transmissão de energia eram por empresas estatais e a distribuição por empresas privadas. Ao final disso a carga instalada do país cresce somente 36,17% (Boletim Anual do Comitê Brasileiro do Conselho Mundial de Energia, 2002:22).

A Lei nº 10.438/2003, Lei da Universalização, instituiu o direito de todos os solicitantes de energia serem atendido sem custos e assim então surgiu o programa Luz para Todos que procura promover a inclusão social de famílias rurais de baixa renda por meio do fornecimento de distribuição de energia elétrica. O referido programa é uma política pública federal coordenada Ministério de Minas e Energia (MME) e operacionalizada com a participação das Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Eletrobras e de suas empresas (Ministério de Minas e Energia, 2005).

2.2. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Segundo dados do MME (2019) o uso da energia no Brasil teve uma queda de 1,0 % quando comparado ao ano anterior de 2017. Assim o BEN, Balanço Energético Nacional, do ano de 2019 demonstrou que o consumo de energia elétrica na área de transporte de carga e passageiros foi o que possuiu maior

representatividade com 32,7% do uso total. Em seguida, destaca-se as indústrias que utilizaram 31,7%, logo após está o setor energético com 11,2% do uso. Por conseguinte, encontra-se as residências com 9,9% do total de uso de energia elétrica no nosso país. Em seguida encontra-se os serviços e agropecuária com 4,9% e 4,1%, respectivamente. Os 5,5% restantes se referem aos usos não energéticos de energia podendo ser citado o consumo de derivados de petróleo para outros fins que não a sua queima bem como o gás natural utilizado na produção de fertilizantes para a agricultura.

2.3. CONSUMIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA

Os consumidores de energia elétrica podem ser divididos pelas classes de consumo conforme a Resolução Normativa ANEEL nº 414/2010 em consumidores residenciais, industriais, comerciais e poder público (ANEEL,2015). Mas também podem ser divididos conforme a sua tensão e o mercado de contratação de energia elétrica.

2.3.1. Tensão de consumo

Há também a distinção pela tensão dos consumidores de baixa, média e alta tensão, sendo estabelecida de acordo com o uso de energia previsto pela unidade consumidora conforme projeto de levantamento de carga elétrica a ser utilizada. Também é importante considerar os equipamentos que serão instalados para que assim a concessionária possa enquadrar o cliente em determinada faixa de tensão e determinar se há a necessidade de instalação de transformadores no local de consumo. Assim o sistema é composto pelos níveis de alta tensão, locais que possuem consumo superior a 69 quilovolts (kV) e inferior a 230 kV, locais de media tensão, superior a 1 kV e inferior a 69 kV e baixa tensão as quais são as unidades de consumo igual ou inferior a 1 kV (ANEEL, 2015).

Assim as unidades de alta e média tensão são classificadas em grupo A e as unidades consumidores de baixa tensão se enquadram no grupo B (ANEEL,2020).

2.3.2. Mercado de contratação de energia

Pode-se classificar os consumidores também pelo método de contratação de energia elétrica em que eles utilizam. Assim os modelos de contratação de energia elétrica garantem uma melhor segurança para o suprimento de energia, tarifas módicas e inserção social da população que até então era excluída pelos programas de universalização de atendimento (BUBICZ et al., 2014).

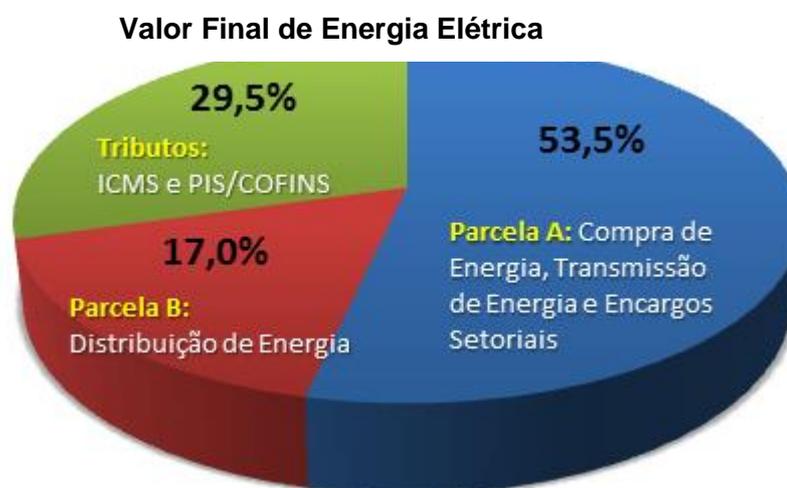
O mercado cativo de energia se refere àqueles consumidores, pessoa física ou jurídica, de energia que adquirem energia da maneira convencional no Ambiente de Contratação Regulada (ACR) da concessionária que realiza o atendimento da determinada localidade. Desta maneira é pago, uma fatura única que contabiliza o consumo, segundo medição realizada mensalmente pela concessionária que realiza os serviços de distribuição (BUBICZ et al., 2014). Nesse mercado não há negociação referentes a questão de valores, pois eles são estabelecidos a partir de tarifas e as operações de compra e venda, através de licitações, de energia elétrica realizada entre agentes vendedores e agentes distribuidores (PAMPONET, 2019).

Para o caso do mercado livre de energia, o consumidor seja pessoa física ou jurídica, salvo regras, opta por qual fornecedor ele deseja realizar a compra de energia elétrica. O Ambiente de Contratação Livre (ACL) refere-se aos vendedores e compradores que realizam a negociação entre si mediante cláusulas de contrato já preestabelecidas que determinam questões como preço, prazo e condições de entrega de energia (ENERGIA,2014). A primeira parte atribui as geradoras de energia enquadradas como produtores independentes de energia (PIE), que se determinam para aqueles que receberam concessão para produzir energia elétrica destinada ao comércio por sua responsabilidade de conta e risco. A segunda parte, constituída pela parte compradora, é composta pelos fornecedores que possuem demanda de energia elétrica superior a 0,5 MW (megawatt) para seu uso próprio (ANEEL,2008). Esses realizam uma fatura mensalmente referente ao serviço de distribuição de energia pela concessionária local e outra fatura referente a compra de energia.

2.4. TARIFA DE ENERGIA

A tarifa de energia elétrica é composta por três custos distintos entre eles está a energia gerada, distribuição e encargos setoriais. Além disso o Governo Federal, Estadual e Municipal cobra, respectivamente, na conta de luz encargos com PIS/COFINS, ICMS e contribuição para a iluminação pública. Assim para o valor final da energia elétrica tem-se que 53,5% equivale a encargos setoriais e compra e transmissão de energia, 29,5% diz respeito aos tributos como PIS/COFINS e 17% restante equivale a distribuição de energia como é demonstrado na Figura 1 (ANEEL,2017).

Figura 1 – Composição da tarifa de energia elétrica



Fonte: ANEEL (2017)

A unidade de energia elétrica atualmente utilizada pela ANEEL é o quilowatt-hora (kWh) ou o megawatt-hora (MWh). São unidades usadas para indicar a "potência por unidade de tempo" que uma usina de geração de energia pode produzir em um tempo especificado.

A energia elétrica sofre variações em seu valor devido a influência de diversos fatores onde pode ser citado, por exemplo, a Energia Natural Afluente (ENA) que resulta da vazão natural do afluente determinando assim a velocidade das turbinas instaladas nas usinas rio-abaxo. Outros fatores que contribuem para essa alteração de valor é o nível de armazenamento dos reservatórios (PAMPONET,2019).

2.4.1. Modalidades tarifárias

Os consumidores de energia elétrica podem ser classificados em dois grupos tarifário Grupo A ou Grupo B de acordo com a Resolução Normativa 414/2010. As modalidades tarifárias se referem as tarifas aplicadas ao consumo de energia elétrica e a demanda das potências ativas e diferem de acordo do grupo em que a unidade consumidora está enquadrada (ANEEL,2010).

2.4.1.1. Grupo A

O Grupo A é composto pelas unidades consumidoras de alta e média tensão, bem como as unidades de sistemas subterrâneos, enquadrando assim as indústrias, grandes comércios, lojas varejistas, centros de ensino, entre outros. Para esse grupo as tarifas são definidas pela tarifa azul e tarifa verde (ANEEL, 2010).

2.4.1.1.1. Tarifa azul e tarifa verde

A tarifa azul é caracterizada por tarifas diferenciadas de consumo de energia e demanda de potência, de acordo com as horas de utilização durante o dia. Para os contratos desse enquadramento é especificado as demandas contratadas por posto tarifário havendo diferenciação para o horário de ponta e fora de ponta. Portanto, para a tarifa horo sazonal verde tem-se tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica de acordo com as horas de utilização do dia e uma tarifa única de potência. Para estes consumidores há duas tarifas diferentes para o consumo dependendo do horário de uso e uma única tarifa para a demanda de potência (DIAS, 2020).

2.4.1.2. Grupo B

O Grupo B enquadra as unidades consumidoras de baixa tensão, das classes residenciais, rural, iluminação pública e demais classes não mencionadas anteriormente. Esse grupo inclui os pequenos comércios e pequenas indústrias também. A sua tarifa é definida pela tarifa única convencional monômnia e a tarifa branca (ANEEL,2010).

2.4.1.2.1. Tarifa monômnia e tarifa branca

A tarifa monômnia se diz respeito a tarifa convencional onde é cobrado somente os custos da energia consumida em kWh, independente das horas de utilização ao

longo do dia. No valor pago já incluído os custos com geração, transmissão e distribuição de energia, bem como encargos e impostos.

A tarifa branca, a partir do dia 01 de janeiro de 2020, passou a ser disponível a todos as unidades consumidoras exceto para a iluminação pública e clientes inscritos na tarifa social que abrange usuários de baixa renda. Sendo assim o consumidor passa a ter a possibilidade de pagar valores diferentes em função da hora e do dia da semana em que consome a energia elétrica. Portanto se o uso da energia for priorizado nos períodos de menor demanda haverá a redução do valor pago pela energia consumida. Essa tarifa está disponível desde 2018, mas somente para determinados consumidores e a cada ano abrangeu um novo grupo de clientes de baixa tensão e o fator de suma importância para migrar nessa tarifa é possuir o conhecimento sobre o perfil de consumo (ANEEL,2020).

2.5. TARIFAÇÃO HORO SAZONAL

Conforme a variação na disponibilidade de água em barragens ao longo do ano e ao comportamento das cargas elétricas ao longo do dia foi determinado, em meados de 1980, a estrutura de tarifação horo sazonal que é estruturada por horários de ponta e fora de ponta, bem como tarifas azul e verde. Esse enquadramento tem o propósito de alinhar o perfil elétrico do consumidor podendo assim prever o seu consumo (DIAS, 2020).

2.5.1. Horário de ponta e horário fora de ponta

O horário de ponta ou também chamado de horário de pico equivale a três horas consecutivas diárias, definida pela concessionária, entre as 18:00 e 21:00 horas de segunda a sexta-feira exceto em feriados nacionais definidos por lei. Para o horário de verão esse período é alterado para o intervalo das 19:00 às 21:00 horas. Nesse horário a energia elétrica tende a ter um consumo maior devido a ocorrência de vários equipamentos estarem conectados à rede elétrica simultaneamente, além de fábricas e até mesmo a iluminação pública estarem em funcionamento, sendo assim a tarifa tende a tendência a ser significativamente maior que em outros horários. Por sua vez, o horário fora de ponta compreende o restante dos dias e horários que não foram mencionados anteriormente (ANEEL,2015).

2.6. BANDEIRAS TARIFÁRIAS

A bandeira tarifária é um sistema de cobrança regulamentado pela ANEEL, cujo objetivo é repassar mensalmente ao consumidor, de forma mais transparente, os custos adicionais causados pela necessidade de acionamento de usinas termelétricas na geração de energia. Este acionamento tem o objetivo de economizar a água dos reservatórios das usinas hidrelétricas, porque, quanto menor forem os níveis dos reservatórios, maior é o número de usinas termelétricas acionadas.

A partir do ano de 2015, a conta de energia elétrica sofre acréscimos em seu valor devido ao Sistema de Bandeiras Tarifárias que depende diretamente do sistema de geração de energia. Através da Resolução Normativa nº 547, de 16 de abril de 2013, é estabelecido os procedimentos comerciais para aplicação do sistema de bandeiras tarifárias. O sistema é dividido por cores, sendo elas:

- bandeira Verde: quando as condições para a geração de energia são favoráveis, não havendo acréscimos nas contas;
- bandeira Amarela: quando as condições são um pouco menos favoráveis e há uma cobrança adicional na proporção de R\$ 0,01343 para cada kWh consumido
- bandeira Vermelha – Patamar 1: na ocasião em que as condições são desfavoráveis a tarifa sofre acréscimos de R\$ 0,04169 para cada kWh gasto;
- bandeira Vermelha – Patamar 2: quando as condições ficam mais custosas ainda para a geração de energia, o custo aumenta em R\$ 0,06243 para cada kWh consumido.

2.7. TARIFA BINÔMIA

A Tarifa binômia de fornecimento representa a tarifa constituída por valores monetários aplicáveis ao consumo de energia elétrica ativa e à demanda faturável. Ela é obrigatória para os clientes do Grupo A, ou clientes de alta e média tensão, que são representados pelas grandes indústrias. Nesse caso, além de um medidor de energia, é utilizado também um medidor de demanda.

2.8. DEMANDA CONTRATADA

Os clientes enquadrados no Grupo A necessitam, obrigatoriamente, segundo Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010, realizar a contratação de uma demanda que deverá ser garantida o seu fornecimento pela concessionária responsável à unidade consumidora. A demanda, expressa em kW, mesmo que não utilizada em sua totalidade deverá ser paga integralmente conforme valores e períodos de vigências estabelecidos em contratos. Quando a demanda consumida sofre alteração de 5% para mais do que a demanda contratada existe a cobrança devido a ultrapassagem do consumo conforme descrito no artigo 93 da Resolução Normativa 414 da ANEEL (2010).

2.9. ENERGIA ATIVA E REATIVA

Segundo Valle (2017), a energia ativa é a energia que efetivamente permite o funcionamento dos equipamentos elétricos e eletrônicos e é medida em kWh. Por sua vez a energia reativa é a parte da energia que gera os fluxos magnéticos necessários para os funcionamentos dos motores indutivos.

Quando a energia reativa se encontra em excesso torna-se prejudicial ao sistema elétrico, sendo assim é definido o fator de potência, que indica a eficiência com qual a energia está sendo usada, definida conforme Equação 1.

$$\text{Fator de potência} = \frac{\text{Energia Ativa}}{\sqrt{\text{Energia ativa}^2 + \text{Energia reativa}^2}} \quad (1)$$

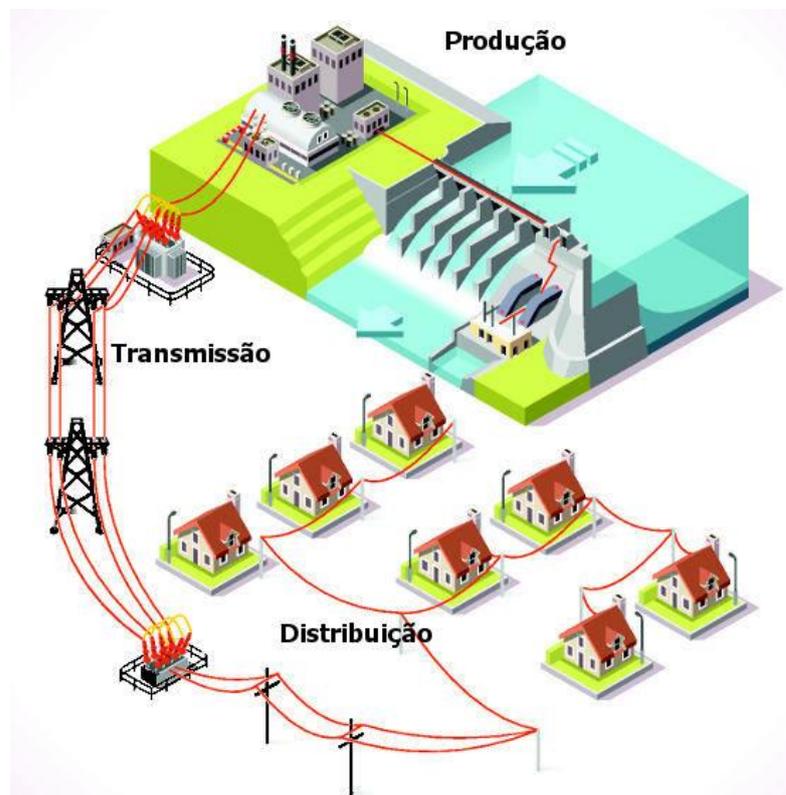
O valor aconselhável, segundo Resolução Normativa ANEEL n. 414, é próximo de 1 e o valor mínimo permitido é de 0,92 para as contas de energia. Abaixo desse valor a concessionária responsável pelo fornecimento de energia realiza a aplicação de multa na fatura mensal.

2.10. CAMINHO ELÉTRICO

A energia elétrica possui quatro etapas principais para percorrer desde a sua geração até o seu consumo no destino, sendo subdividido em geração, distribuição, transmissão e consumo, respectivamente nessa mesma ordem. Conforme a Figura 2

é observado as etapas desde a geração de energia até as unidades consumidoras de energia elétrica.

Figura 2 – Caminho da energia elétrica



Fonte: RIBEIRO (2020)

A geração de energia elétrica é o segmento da indústria de eletricidade responsável por produzir energia elétrica e inserir a mesma nos sistemas de transporte até os consumidores, seus dados são expressos em kWh ou MWh. As redes de transmissão de energia são responsáveis pelo transporte de energia que é produzida pelas usinas geradoras às subestações de alteração da tensão elétrica localizadas em centros de consumo. Ela é realizada através de cabos aéreos fixados em torres de metal e sua unidade de medida é em quilômetros (km). Por sua vez, as subestações têm como finalidade o direcionamento do fluxo energético, funcionando também como uma central de controle (ANEEL,2017).

A distribuição de energia elétrica tem como finalidade conduzir a energia desde a subestação de energia até o seu local de consumo. Esse processo é realizado através das empresas distribuidoras que podem ser públicas ou privadas. Esse sistema é mais amplo e ramificado quando comparado ao sistema de transmissão pois seu objetivo é chegar até o consumidor final (RIBEIRO, 2018). O consumo de

energia elétrica se refere a todos os equipamentos que necessitam de eletricidade para o seu funcionamento e que, na maioria das vezes, estão instalados nas unidades consumidoras como residências e indústrias (ANEEL,2017).

2.11. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

As fontes geradoras de energia elétrica encontram-se distantes dos centros consumidores gerando assim perdas consideráveis na transmissão, o que pode ser minimizado com o estímulo do uso de sistemas de geração de energia próximo ao seu lugar de consumo (DALVI et al, 2017). A geração distribuída de energia é a energia produzida no local de consumo ou próximo a ele, seguindo regras já estabelecidas quanto à capacidade instalada e a eficiência energética. Segundo a Resolução Normativa 687 (ANEEL, 2015), responsável pelas condições regulatórias para a inserção da geração distribuída na matriz brasileira, é destacado que:

- I - Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- II - Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes hídricas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- III - Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa;

Os benefícios que a geração distribuída favorece é uma maior diversificação na matriz energética, prevenção de perdas durante a transmissão de energia, sustentabilidade e principalmente a eficiência energética nos empreendimentos em que ela está instalada. Ela pode ser diferenciada de acordo com a localização do sistema e a unidade de consumo sendo: geração distribuída junto a carga, geração de autoconsumo remoto, geração de múltiplas unidades consumidoras e geração compartilhada.

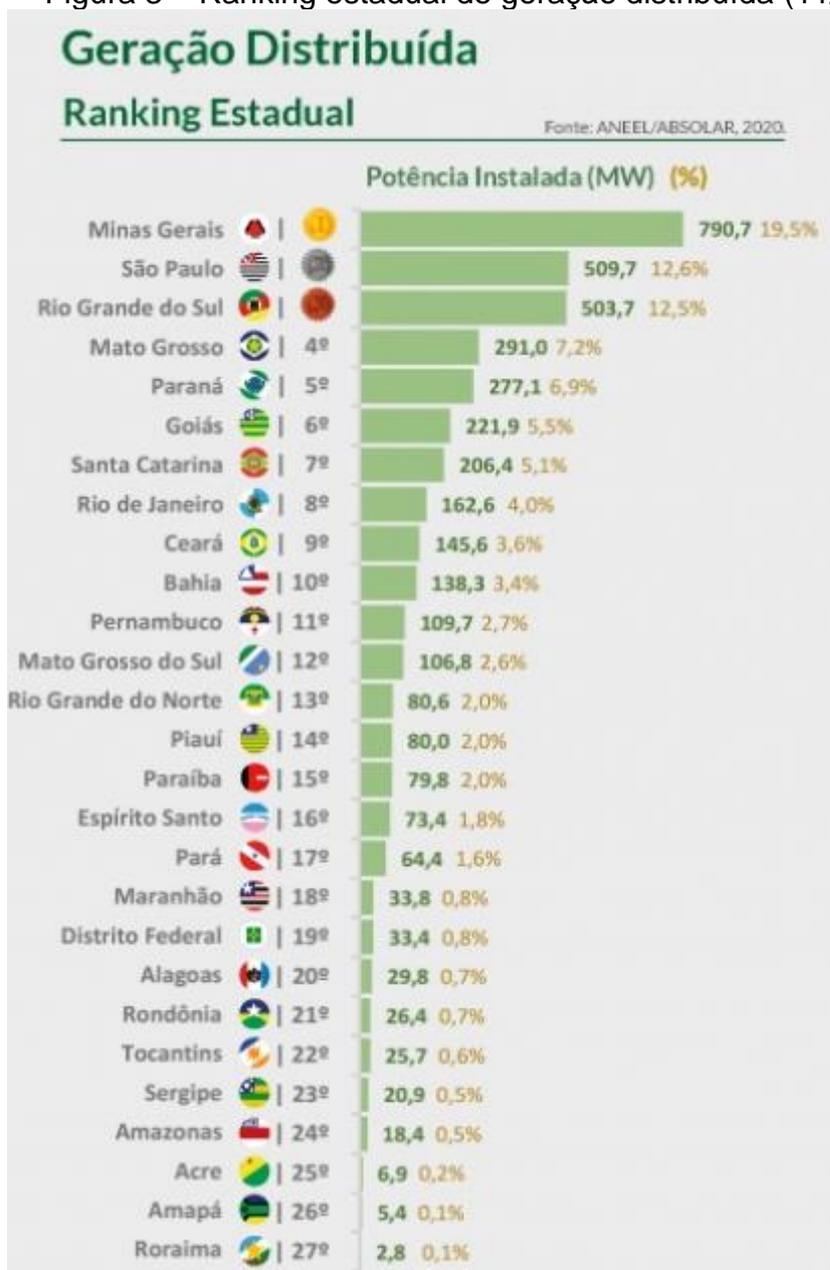
Assim em 15 de dezembro de 2015, o Ministério de Minas e Energia criou o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD),

ampliando assim as ações para a geração de energia e sua principal meta é a redução na emissão de CO₂ no meio ambiente.

Dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR) juntamente com a ANEEL demonstraram, em 2020, um valor de 3.018 MW de potência total instalada solar fotovoltaica em geração distribuída com 333.536 sistemas solares conectados à rede.

Para o *ranking* estadual de geração distribuída está o estado de Minas Gerais com 19,5 % da potência instalada no país, seguido de São Paulo que contribui com 12,6 % e em terceiro lugar encontra-se o estado do Rio Grande do Sul com 12,5 %. A cidade que se encontra em primeiro lugar no *ranking* municipal é Uberlândia com 49,5 MW de potência instalada (ABSOLAR,2020). A Figura 3 demonstra os estados do Brasil seguidos de sua participação na geração distribuída de nosso país.

Figura 3 – Ranking estadual de geração distribuída (11/2020)



Fonte: ANEEL/ABSOLAR, 2020

2.11.1. Geração distribuída junto a carga

A modalidade de geração distribuída junto a carga é caracterizada pela instalação do sistema de micro ou minigeração de energia juntamente com a unidade consumidora, ou seja, os créditos de energia compensados são utilizados no próprio local em que se encontra o sistema gerador. Neste caso os créditos somente podem ser usados pelo titular da unidade consumidora, seja pessoa física ou pessoa jurídica (BOUHID, 2019).

2.11.2. Geração de autoconsumo remoto

Essa modalidade se caracteriza pela instalação de um micro ou minigerador de energia em uma unidade consumidora com o envio de créditos de energia a outra unidade consumidora de mesma titularidade e que possua a mesma concessionária responsável. Esse método possibilita a instalação de usinas remotas em localidades que possuem melhor irradiação solar, por exemplo, do local de consumo da energia elétrica (BOUHID, 2019).

2.11.3. Geração de múltiplas unidades consumidoras

A geração de múltiplas unidades consumidoras refere-se pela instalação de sistemas de micro ou minigerador de energia junto a carga de um empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, como condomínios por exemplo. A unidade consumidora pode ser um condomínio vertical ou horizontal, bem como um conjunto de residências ou empreendimentos comerciais (FONTES, 2018).

2.11.4. Geração compartilhada

Essa modalidade é caracterizada pela instalação de sistemas de micro ou minigeração de titularidade de consórcio ou cooperativas com envio de créditos as unidades consumidoras participantes. O primeiro caso, consórcio, deve ser formado por dois ou mais unidades consumidoras que possuem o Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ), já por sua vez a cooperativa necessita de, no mínimo, 20 pessoas físicas para que a modalidade possa ser utilizada (FONTES,2018).

2.12. MERCADO LIVRE DE ENERGIA ELÉTRICA

Com a mudança do cenário atual, muitas empresas industriais migraram para o mercado livre de energia, movido pela expectativa da redução expressiva de custos. Desta maneira contribuindo também para a preservação do meio ambiente já que a origem dessa energia deve ser exclusivamente de fontes renováveis, bem como provenientes de geração hidrelétrica, eólica ou até mesmo biogás.

O mercado livre de energia elétrica possui grande comprometimento com o meio ambiente, sendo assim a energia vendida é proveniente de fontes renováveis,

principalmente de usinas hidrelétricas e através de biomassas, representando 62% e 89%, respectivamente. Há também o uso de energia derivada de através de energia eólica ou energia solar, porém não possuem uma grande representatividade como as anteriores (ANEEL,2020).

Para a compra de energia no mercado livre de energia elétrica deve ser considerado fatores que são essenciais para que essa ação tenha sucesso ao longo do tempo. Assim condições de pagamento, qualidade e consultoria da energia são essenciais para tomar decisões e respeito a contratação da compra de energia e para fazer parte do mercado livre de comercialização de energia as empresas devem se tornar sócias da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) (FLOREZI,2009).

2.12.1. Benefícios

A cobrança da tarifa de energia no Brasil prevê valores diferenciados conforme o horário utilizado. No mercado cativo, os consumidores pagam até 100% de acréscimo no valor da tarifa em horários de ponta (BUBICZ et al., 2014). Desta maneira, em indústrias que utilizam equipamentos com alta carga de energia o custo de operação tende a subir comprometendo assim a lucratividade. Por esse motivo muitas das indústrias realizam a parada de produção no horário de pico para evitar elevação no custo de energia elétrica. Quando ocorre a migração para o mercado livre, essa parada não tem mais necessidade pois a diferença de tarifa deixa de ser aplicada.

Assim é observado vários benefícios em relação a adesão para o mercado livre de energia elétrica como a possibilidade no aumento da produção, devido ao aumento das horas disponíveis a serem trabalhadas, que anteriormente eram bloqueadas pelo horário de ponta; possibilidade de turnos interruptos; redução de horas extras; fim da jornada diária antecipada e possibilidade de desativar geradores para casos específicos (BUBICZ et al., 2014).

2.12.2. Situação no Brasil

No último ano de 2019 o consumo médio de energia no mercado livre foi de 19.549 Megawatt médio (MWmed), representando 30% de toda energia consumida

no país. O estado que mais possui participação desta maneira de contratação de energia é o estado do Pará com 49,7%, seguido de Minas Gerais com 46,4% e Espírito Santo 36,6%. O estado do Rio Grande do Sul encontrasse em 9ª posição com 26,6% (ABRACEEL,2020). A Figura 4 demonstra a participação média dos estados no mercado livre de energia elétrica.

Figura 4 – Participação dos estados brasileiros no ACL no ano 2019



Fonte: ABRACEEL (2019)

O *ranking* internacional de liberdade de energia elétrica possui o Japão, Alemanha e Coréia do Sul nas primeiras três posições, possuindo como característica principal a abrangência de todos os consumidores para a contratação do mercado livre. O Brasil, atualmente, situa-se em 55º lugar possuindo algumas restrições para contratação conforme potência utilizada (ABRACEEL,2020).

2.13. FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS E NÃO RENOVÁVEIS

As fontes de energia, segundo Agapito (2008), podem ser classificadas como fontes renováveis ou não renováveis dependendo assim do seu fator de esgotamento e reação na natureza. As fontes de energia renováveis são aquelas que não se esgotam com o uso e não reagem na natureza tais como solar, eólica, hidrelétrica e seu impacto ambiental é muito baixo quase nulo. Por sua vez, as fontes de energia

não renováveis são aquelas se esgotam com o decorrer de seu uso e geram grandes impactos ambientais podendo ser citados os combustíveis fósseis e energia nuclear. Os recursos não renováveis utilizados para a geração de energia produzem alta emissão de gases de efeito estufa prejudiciais ao meio ambiente, gerando assim o esgotamento desse recurso e o risco de desenvolvimento das nações (LONG e FANG,2012).

2.14. FONTES DE ENERGIA RENOVÁVEIS

As energias renováveis podem ser geradas entre outras maneiras através de água, vento, biomassa, entre outros. A primeira se refere à energia hidrelétrica que teve origem na Antiguidade, onde era utilizada para a moagem de grãos e em meados do século XX passou a ser aplicada, exclusivamente, como matéria-prima de eletricidade. A energia hidrelétrica é gerada pelo aproveitamento do fluxo das águas em usinas de obras civis e sua capacidade de geração depende da altura d'água, vazão, capacidade instalada, localização, reservatório e tipo de barragem (ANEEL,2008). De acordo com dados do Balanço Energético Nacional (BEN), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, em 2018 foram gerados 388.971 Gigawatt hora (GWh) através de energias hidrelétricas, incluindo a geração distribuída.

A segunda maneira de fonte renovável, vento, diz respeito à energia eólica que é obtida através da energia cinética gerada pela migração das massas de ar provocada pela diferença de temperatura existente na superfície do planeta. Segundo dados do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro estudos indicam uma estimativa de potencial eólico no país de 143GW.

Por fim, a obtenção de energia através de biomassa corresponde à energia gerada através de qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica. Essa matéria-prima principal pode ser madeira, soja, arroz, cana-de-açúcar e até mesmo rejeitos urbanos que de maneiras diferentes são transformados em energia (ANEEL,2008). No Brasil há um crescimento bem expressivo e dados do BEN demonstram que a obtenção de energia através de biomassa equivale a 8,5% da matriz elétrica brasileira.

2.14.1. Energia Solar

A fonte renovável de energia mais importante para o estudo é a energia proveniente do Sol, energia solar, que pode ser captada de tal modo a produzir energia térmica ou elétrica, dependendo do tipo de equipamento utilizado para a captação. Para a energia ser transformada em calor, a superfície para a captação será escura absorvendo assim, uma maior quantidade de radiação, já para a captação de energia elétrica são usados painéis fotovoltaicos onde a transformação de radiação em eletricidade ocorre de forma direta (Atlas de energia elétrica do Brasil,2008). Segundo dados da ABSOLAR a potência total operacional instalada de sistema fotovoltaica no Brasil chegou ao marco de, aproximadamente, 5,1 GW, sendo que 2,43 MW foram provenientes da micro e minigeração distribuída.

2.15. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica ocorre quando a radiação eletromagnética do Sol é transformada em energia elétrica através de uma diferença de potencial sobre uma célula formada por um sanduiche de materiais semicondutores. Assim quando os fótons, presentes na energia do sol, incidem sobre o material semicondutor contido nas células, há a origem de uma corrente elétrica mais conhecida como Efeito Fotovoltaico (RÜTHER, 2004).

A primeira experiência quanto a energia fotovoltaica ocorreu em meados de 1839, por Becquerel, um físico e cientista francês, que descobriu a tensão elétrica resultante da ação da luz sobre um eletrodo metálico mergulhado em uma solução química. Já em 1877 foi a vez de Adams e Day, cientistas ingleses, constataram um efeito semelhante no selênio sólido, outro material semicondutor. Com o passar do tempo muitas experiências análogas foram desenvolvidas, entretanto em 1905 Albert Einstein, cientista alemão, evidenciou que o efeito fotoelétrico teria uma estreita relação com o efeito fotovoltaico como resultado de suas pesquisas que lhe renderam prêmio Nobel (VILLALVA,2015).

Em 1818, Czochralski, cientista polonês, desenvolveu métodos para a fabricação de cristais de silício, que atualmente são a matéria prima principal para a indústria de semicondutores para componentes eletrônicos e para as células fotovoltaicas. Nas décadas de 1970 e 1990 os dispositivos tiveram grande

desenvolvimento onde inicialmente eram usados na indústria aeroespacial, com bastante frequência, devido ao seu menor custo e peso, fornecendo assim energia necessária para longos períodos de permanência no espaço e atualmente vem ganhando cada vez mais espaço para aplicações terrestres (VILLALVA,2015).

2.15.1. Aspectos legais

Em 11 de novembro de 2003, através do Decreto nº 4.873, surgiu do governo federal, o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – Luz para Todos que posteriormente foi alterado pelo Decreto nº 6.442/2008 e nº 7.324/2010, com prolongamento dos prazos de universalização. Em 8 de julho de 2011 foi criado então o programa Luz para Todos para o período de 2011 a 2014 como o Decreto nº 7.520/2011. Complementando assim o Decreto nº 9.357 de 27 de abril de 2018 altera o prazo final e o Art. 1º institui que o programa valerá até 2022, proporcionando assim, atendimento com energia elétrica à parcela da população do meio rural que não possua acesso ao referido serviço público através de três tipos de iniciativas: extensão da rede das distribuidoras, sistemas de geração descentralizada com redes isoladas e sistemas de geração individuais.

A energia solar fotovoltaica até poucos anos atrás, era empregada apenas em sistemas isolados ou autônomos instalados em locais onde não havia rede elétrica como propriedades rurais e comunidades isoladas. Apesar disso, em 17 de abril de 2012, a Aneel através da resolução normativa nº 482 que “*Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências*” gerou um aumento muito significativo na quantidade de sistemas conectados à rede (VILLALVA,2015).

Por sua vez, em novembro de 2015, a resolução normativa nº 482 sofreu alterações e assim a resolução normativa nº 687 passou a ser válida, definido características de micro e minigeração, onde estabelece condições para a compensação de créditos de energia elétrica, possibilita a instalação de usina de energia fotovoltaica em telhados de residências e empresas para complementação do consumo próprio ou exportação de energia (VILLALVA,2015). Outras mudanças que são observadas são a melhoria ou reforços no sistema de distribuição em função da

conexão na rede, os consumidores podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica. Além das resoluções normativas citadas, também estão vigentes normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), com relação aos sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

A energia fotovoltaica no Brasil ainda encontra muitos obstáculos a serem vencidos, um exemplo disso é que até o início do ano de 2012 não havia regulamentação e normas técnicas para o setor fotovoltaico o que dificultava o surgimento de indústrias e de mercado voltado para o sistema de geração de baixa tensão, que são um dos maiores responsáveis pelo mercado de energia fotovoltaica no país (VILLALVA,2015) .

O crescimento do mercado também era dificultado pela ausência de incentivos por parte do governo como a concessão de subsídios e linhas de créditos para pequenos e médios sistemas fotovoltaicos. Atualmente já existem alguns programas de financiamento, porém são voltados para projetos de alto custo, mas ainda falta a criação de programas nacionais com o intuito de incentivar o uso de micro e mini sistemas de geração fotovoltaica (VILLALVA,2015).

A *World Wide Fund for Nature* (WWF) Brasil demonstra que há a necessidade de uma política específica do governo para o desenvolvimento da indústria fotovoltaica em nosso país. As principais ideias dessa estratégia é a isenção fiscal e tributária e linhas de financiamento com condições especiais equivalentes às existentes nos países competitivos na geração de energia fotovoltaica. Contudo também deve haver um apoio em relação a nacionalização da tecnologia bem como programas de treinamento e capacitação de profissionais para que a tecnologia possa ser disseminada em grade escala nos próximos anos (WWF,2015).

O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) permitiu que o assunto sobre eficiência energética fosse bastante discutido e divulgado em nosso país após a sua criação em 1985, seu objetivo principal é a redução do desperdício, consumo e demanda de energia elétrica. Dessa maneira, o programa é um grande incentivador quando o assunto é eficiência energética e conservação de energia (PROCEL, 2017).

Um dos maiores benefícios da energia solar fotovoltaica é a imunidade da unidade consumidora do sistema ao aumento dos preços da concessionária e o

abastecimento de eletricidade por, no mínimo, 25 anos que é o tempo mínimo de vida útil do sistema fotovoltaico (VILLALVA,2015).

2.15.2. Radiação solar

A radiação direta do sol é aquela que, como o nome diz, vem diretamente do Sol sem encontrar nenhum obstáculo até a superfície terrestre, sendo está a maior fonte de contribuição para o funcionamento de um sistema fotovoltaico. Por sua vez a radiação difusa do sol, corresponde aos raios solares que chegam indiretamente à superfície terrestre sofrendo difração na atmosfera através da reflexão da luz na poeira, nuvens e outros objetos. Dessa forma, o resultado entre a soma da radiação direta e da radiação difusa obtêm-se a radiação global (VILLALVA,2015).

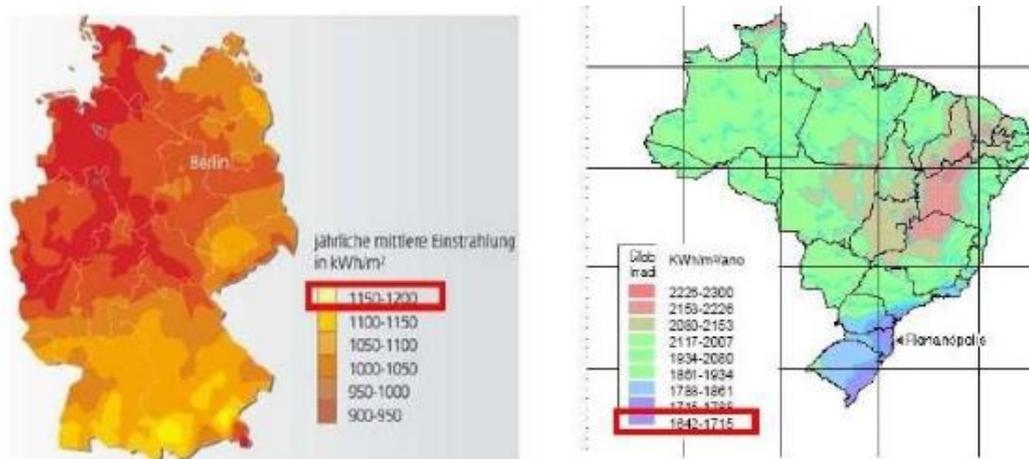
Assim quando a superfície estiver inclinada em relação à horizontal há uma parte da radiação solar que chega à superfície da terra que é refletida pelo ambiente do entorno como por exemplo o solo, a vegetação, terrenos rochosos, areia, nuvens, entre outros. Dessa forma o coeficiente da reflexão das superfícies é mais conhecido como radiação albedo (PINHO e GALDINO, 2014).

O Brasil pode ser considerado um país privilegiado quando o assunto é radiação solar pois recebe mais de 3000 horas por ano devido a sua localização no globo terrestre. O Atlas Solarimétrico do Brasil, elaborado em 2000, demonstra que a radiação solar no Brasil varia entre 8 a 22 MJ/m². dia, sendo que as menores variações ocorrem entre os meses de maio e julho, sendo os valores registrados entre 8 a 18 MJ/m². Por sua vez no trimestre compreendido os meses de outubro, novembro e dezembro as estações solarimétricas registram intensidades de radiação acima dos 16MJ/m². dia atingindo um valor máximo de até 24 MJ/m². dia. As regiões Nordeste e Centro-Oeste apresentam maiores potenciais para geração de energia devido a sua localização geográfica, por sua vez a região Sul é a menos privilegiada pois recebe menos irradiação solar.

Levando em consideração também que todas regiões recebem radiação solar, dessa forma é razoável esperar para o país um potencial de geração fotovoltaica pelo menos dez vezes superior à capacidade instalada atualmente na Alemanha, o que representaria o crescimento do uso de uma fonte não somente alternativa, mas uma opção viável e promissora para complementar e ampliar sua geração de eletricidade

(VILLALVA, 2015). Assim a Figura 5 demonstra que a região do Brasil com menor incidência de radiação solar, tem 43% mais radiação que a região com maior incidência da Alemanha demonstrando assim o nosso grande potencial fotovoltaico.

Figura 5 – Radiação Solar Alemanha e Brasil



Fonte: RÜTHER (2004)

Assim deve-se levar em conta também o fato de que mesmo em dias nublados há geração de energia pois o sistema não necessita, exclusivamente, do brilho do sol para entrar em funcionamento, mas sim da radiação solar que incide sobre o sistema. Fatores como latitude, estação do ano, condições atmosféricas como nebulosidade e umidade relativa do ar também deve ser levados em consideração para a instalação do sistema (ANEEL, 2008).

2.15.3. Células fotovoltaicas

Dentre os vários materiais utilizados para a energia fotovoltaica, pode-se destacar o uso de silício como o mais adequado devido a suas características únicas como a não-toxicidades, matéria prima para a indústria eletrônica, baixo coeficiente de segregação de metais e facilmente dopável (BRITO E SILVA, 2006). Uma das particularidades positivas do uso deste material é pelo fato do mesmo ser proveniente de reservas de quartzo, encontradas em grande quantidade em nosso país (SOUZA E FERREIRA, 2019). Assim existem várias tecnologias diferentes em que o silício pode ser utilizado, as mais usuais são as células fabricadas a partir de silício cristalino e de filmes finos. A primeira tecnologia representa 80% das células comercializadas que por sua vez representa o silício purificado até grau solar. Portanto o silício deve ter uma pureza de 99,9999% para que seja classificado como cristalino. Vale ressaltar

que nosso país possui em abundância a matéria-prima, mas ainda não desenvolveu a tecnologia necessária para silício em grau solar (SILVA, 2015).

O mercado de células fotovoltaicas é dividido em três grupos atualmente. O primeiro representa o mercado de energia fotovoltaica com o uso de silício cristalino que possui maior representatividade comercial devido ao fato de ser uma tecnologia mais consolidada e confiável, possuindo assim maior eficiência comercialmente disponível. Os filmes finos representam o segundo grupo e possuem uma eficiência menor que o grupo anterior havendo também a dificuldade para a disponibilidade de materiais necessários para sua produção. O terceiro grupo corresponde as células de multijunção e as células fotovoltaicas para concentração que ainda está em fase de pesquisa, desenvolvimento, teste em laboratório e produção em pequena escala que já demonstraram resultados positivos por conseguirem proporcionar o dobro de eficiência quando comparado aos outros grupos (PINHO E GALDINO,2014).

As células de silício monocristalino (m-Si) são obtidos a partir de fatias de um único grande cristal mergulhado em sílico fundido, mais conhecido como o processo de Czochralski (MACHADO E MIRANDA, 2015). A sua organização molecular é homogênea, tendo como característica um aspecto brilhante e uniforme (VILLALVA,2015). Segundo dados divulgados pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM) em 2007 as células de silício monocristalino apresentam eficiência de 12% a 15% de conversão fotovoltaica, sendo a maior eficiência quando comparada a outras tecnologias. O seu valor máximo de eficiência já alcançado em laboratório foi de 24%, porém só é possível encontrar no mercado células com eficiência de até 22,7%. A Figura 6 ilustra as células fotovoltaicas de silício monocristalino.

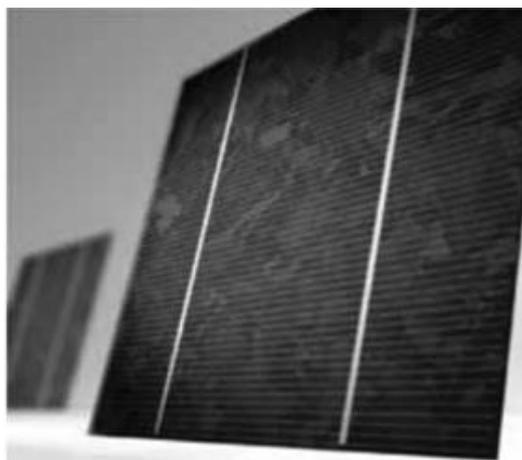
Figura 6 – Painéis fotovoltaicos m-Si



Fonte: VILLALVA (2015)

As células de silício policristalino (p-Si) tem um processo de fabricação mais econômico quando comparado as células m-Si e possuem uma eficiência em torno de 11% a 14%. O silício líquido de alta pureza do tipo p é resfriado formando assim um aglomerado de pequenos cristais, com tamanho e orientação diferentes possuindo assim uma aparência heterogênea. Em seguida, há a dopagem com o fósforo gerando assim a junção P-N (MACHADO E MIRANDA, 2015). A Figura 7 ilustra as células fotovoltaicas de silício policristalino.

Figura 7 – Células fotovoltaicas p-Si



Fonte: VILLALVA (2015)

Algumas tecnologias possuem um menor custo para a sua produção, porém apresentam uma eficiência de conversão da energia solar em eletricidade menor, sendo assim possuindo uma área maior de instalação (VILLALVA,2015).

A célula fotovoltaica é o elemento principal do sistema de geração de energia fotovoltaica e quando várias delas são colocadas em conjunto sobre uma estrutura

rígida e conectadas eletricamente, passam a ser chamadas de módulo ou painel fotovoltaico. Por sua vez um agrupamento de módulos fotovoltaicos recebe o nome de arranjo ou conjunto fotovoltaico (VILLALVA, 2015).

2.15.3.1. Funcionamento

O bom funcionamento de uma placa fotovoltaica para a geração de energia elétrica a partir da radiação solar, se dá ao fato da junção de duas camadas de material semicondutor, um do tipo P e outro do tipo N. O material do tipo N possui um número excedente de elétrons, enquanto o material do tipo P apresenta falta de elétrons. Assim quando os fótons de luz excitam o material semicondutor, os elétrons em excesso do material N migram para as lacunas em faltam elétrons do material P. Esse fenômeno só é permitido devido ao fato da camada superior do material N ser tão fina, possibilitando assim, que os elétrons ganhem energia e possam vencer sua barreira de potencial, migrando de camada. Assim os elétrons em movimentos são coletados por eletrodos metálicos existentes, formando uma corrente elétrica (VILLALVA, 2015).

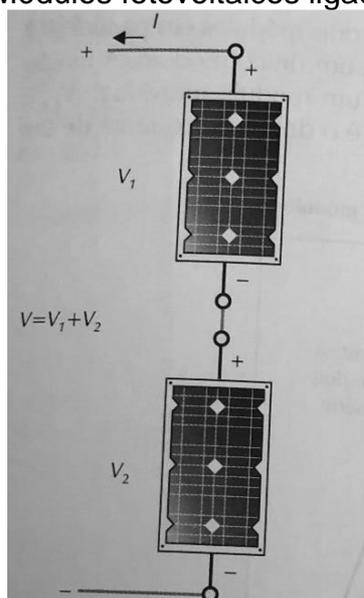
2.15.3.2. Ligação em série e paralelo

Para a ligação dos módulos em série a tensão de saída será correspondente a soma das tensões fornecidas por cada modulo e a corrente presente é a mesma para todos os módulos. A Figura 8 demonstra como ocorre essa ligação e a Equação 2 e 3 demonstram como é realizado o cálculo de tensão e corrente:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n \quad (2)$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (3)$$

Figura 8 – Módulos fotovoltaicos ligados em série



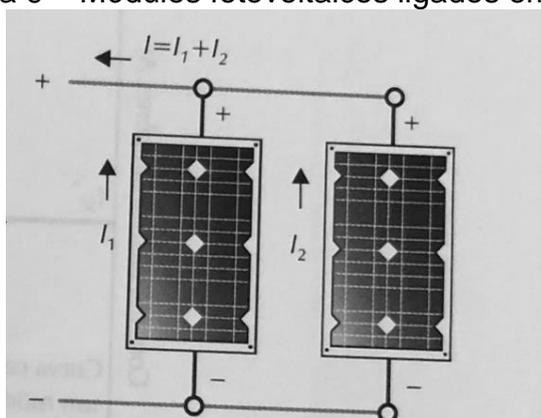
Fonte: VILLALVA (2015)

Para a ligação dos módulos em paralelo a tensão de saída do conjunto será a mesma tensão fornecida por um módulo individual e a corrente fornecida será a somadas correntes individuais de cada módulo e a Figura 9 demonstra como essa ligação é realizada. Como é observado a Equação 4 e 5.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (4)$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n \quad (5)$$

Figura 9 – Módulos fotovoltaicos ligados em paralelo



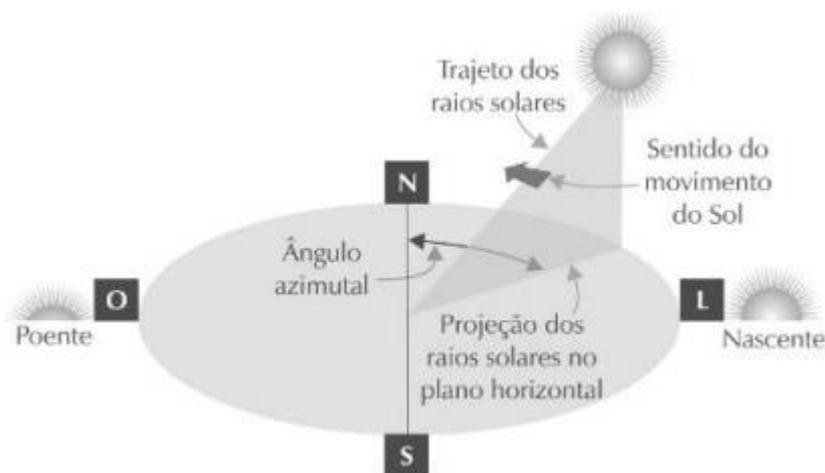
Fonte: VILLALVA (2015)

Na grande maioria das vezes, elas são conectadas em série para gerar tensões maiores e os terminais superiores de uma célula são ligados ao terminal inferior da outra e assim sucessivamente, até formar um conjunto com a tensão de saída desejada (VILLALVA, 2015).

2.15.3.3. Orientação e inclinação dos módulos fotovoltaicos

O ângulo azimutal representa o ângulo formado entre os raios solares no plano horizontal com direção Norte-Sul, conforme a Figura 10 demonstra, pode-se notar que ao longo do dia o Sol descreve diferentes ângulos azimutais. O valor pode variar entre -180° e $+180^\circ$ (PEREIRA et al., 2017).

Figura 10 – Ângulo azimutal



Fonte: VILLALVA (2015)

Portanto, para fins de instalação dos painéis fotovoltaicos, eles devem estar, de preferência, orientados para o ponto azimutal, ou seja, orientados para o sentido em que o ângulo azimutal seja igual a zero. Tendo como a Linha do Equador o azimute principal, os painéis instalados no hemisfério Sul estarão sempre orientados para o norte e para os que estão instalados no hemisfério norte deve ser orientado para o sul. Um cuidado especial é para aqueles que estejam instalados nas zonas tropicais, pois durante as estações do ano, o Sol realiza uma declinação diferente para o norte e para o sul, sendo assim pode ocorrer que as placas fotovoltaicas não receba, diretamente, os raios solares em alguns períodos (SOUZA,2015).

Para o hemisfério sul, o ângulo azimutal é zero quando o ângulo azimute solar coincidir com o norte polar da Terra, sendo assim tem-se a situação conhecida como meio dia solar. Assim quando o ângulo azimutal é nulo, o Sol já percorreu metade da sua trajetória, desde o momento que nasce até o momento que se põe, mas nem sempre nessa situação tem-se o meio dia horário (VILLAVA,2015).

A altura solar também é uma informação de grande relevância para definir a orientação de instalação dos módulos fotovoltaicos, ela representa o ângulo de

inclinação entre a reta que passa pelo centro do Sol e o plano horizontal formado pelo ponto de vista do observador, ou seja, é o ângulo entre os raios solares e a sua projeção sobre o ponto horizontal. Já o ângulo zenital é o seu ângulo complementar, isto é, o ângulo formado entre a reta que passa no centro do Sol e o zênite, ponto cima do observador (MAUAD et al., 2017).

Assim para a instalação dos módulos solares deve-se ter o cuidado também com a inclinação de instalação, pois quando há uma escolha incorreta, a captação dos raios solares será reduzida, diminuindo assim, a produção de energia elétrica. O ângulo que maximiza a captação da radiação solar direta é o ângulo de inclinação que faz os raios solares incidirem perpendicular à superfície do módulo. De acordo com Villava (2015) tem-se duas regras básicas para orientação dos módulos solares, a primeira indica que, sempre que possível, deve-se orientá-los para o norte geográfico, dessa maneira aumentando assim a produção média diária de energia elétrica. Por conseguinte, a segunda regra indica instalar os módulos com um ângulo de inclinação similar da latitude geográfica do local. Entretanto não é aconselhável a instalação de painéis com ângulos menores de 10° em função do acúmulo de poeira, gerando assim perda de desempenho indesejada.

2.15.3.4. Efeito sombreamento

Um ponto a ressaltar que deve ter durante a instalação dos módulos fotovoltaicos é o efeito de sombreamento que pode ocorrer, pois como sabe-se a intensidade da corrente elétrica de uma célula fotovoltaica é diretamente proporcional a intensidade de radiação incidente sobre ela. Assim quando estão conectadas em série se tornam dependentes umas das outras e o efeito de sombreamento se torna prejudicial para a eficiência do módulo pois impede a passagem de corrente elétrica. Assim para que esse efeito indesejado seja minimizado, é utilizado diodos de *bypass* ligados em paralelo com as células que recebem sombreamento. Deste modo, mesmo que a célula esteja produzindo pouca corrente, as outras células continuam a sua produção normalmente pois a corrente da célula que recebe sombreamento é desviada para o diodo. A situação ideal é que não exista sombreamento, mas caso essa circunstância não seja possível tem-se a alternativa acima citada como uma das soluções de garantir a eficiência do sistema (VILLALVA,2015).

2.16. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

As principais vantagens pelo uso de energia fotovoltaica se refere a economia gerada e a preservação ambiental por ser considerada uma energia limpa. Os sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica podem ser classificados em sistemas fotovoltaicos autônomos (*off-grid*) e sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (*on-grid*) (VILLALVA,2015).

O primeiro é utilizado com maior aplicabilidade em locais que zonas remotas que não são atendidos por uma rede elétrica ou em aplicações especiais que vão desde pequenos aparelhos eletrônicos até sistemas aeroespaciais. O sistema fotovoltaico autônomo é composto pelo painel fotovoltaico, banco de baterias, controlador de carga e o inversor. (PINHO e GALDINO, 2014). Por sua vez, o sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica será retratado no presente trabalho a ser uma possibilidade de implantação ao objeto de estudo.

2.16.1. Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (*on-grid*)

Os sistemas de energia fotovoltaica com conexão à rede são conectados à rede pública da concessionária de energia local. No período diurno o sistema envia para a rede a energia gerada, fornecendo, simultaneamente, energia para a residência. Caso a energia gerada seja maior que a energia consumida, o excedente é contabilizado como créditos. Por sua vez, durante o período noturno, os painéis fotovoltaicos não funcionam, e assim, a residência é alimentada eletricamente somente pela rede da concessionária. Assim a fatura mensal de energia elétrica será a subtração do total de energia gerada pelo sistema fotovoltaico e o total consumido pela residência (RÜTHER, 2004; VILLALVA, 2015).

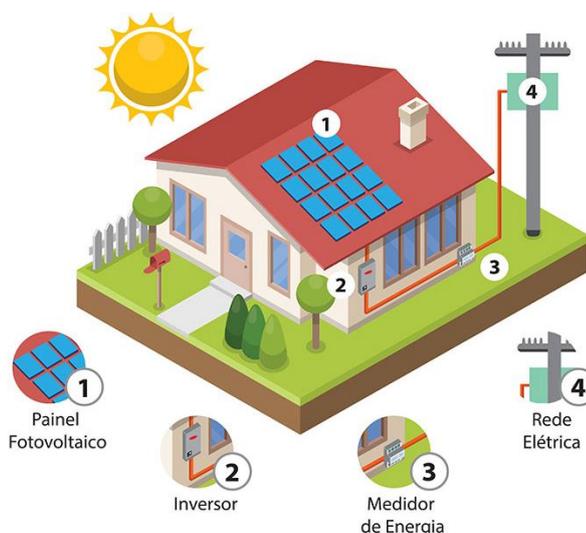
Para o caso do Brasil, a geração distribuída tem como base o *net metering* no qual o gerador-consumidor, ou melhor, prosumidor após realizado seu próprio consumo recebe um crédito referente ao seu saldo positivo de energia gerada (em kWh) e inserida na rede. Quando esse saldo existir o consumidor terá até 6 meses para utilizá-lo e não há a possibilidade de comercialização. A rede elétrica é utilizada como um *backup*, assim quando a energia gerada localmente não é suficiente para o consumo, o prosumidor utiliza essa energia “armazenada”.

Há também o sistema de tarifação *feed in* que incentiva o uso de energia renováveis e tem seu funcionamento semelhante ao *net metering*, nesse caso o consumidor é beneficiado com a instalação do sistema fotovoltaico e assim recebe um pagamento pela energia em que o sistema irá gerar. O pagamento por essa energia exportada é maior que o preço da rede pública, sendo assim esse modo de tarifa se torna mais vantajosa e rentável e seus contratos são de longo prazo, em torno de 15 anos. Esse método é utilizado com maior frequência em países asiáticos e europeus, no Brasil é adotado o método de *net metering* por não envolver circulação de moeda e conseqüentemente a ação da Receita Federal e por ser um sistema mais simples e menos oneroso quando comparado aos outros modelos existentes (VILLALVA,2015).

2.16.1.1. Componentes dos sistemas *on-grid*

Os sistemas de energia fotovoltaicas conectadas à rede são compostos pelos módulos fotovoltaicos que são responsáveis pela conversão da luz do Sol em energia elétrica. Pelos inversores que são dispositivos eletrônicos que convertem a energia elétrica contínua em alternada a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua. Há *strings box*, também conhecidos como fusível de proteção e disjuntores, que tem a função de proteger a série fotovoltaica do fluxo de corrente reversa de um conjunto série com tensão maior para um com tensão menor. Os quadros de proteção de corrente contínua e de corrente alternada também estão presente com o objetivo de proteger a instalação. (PINHO & GALDINO, 2014). Assim como também é possível a instalação de acessórios como estação meteorológica para análise de desempenho do sistema fotovoltaico diante de suas condições de operação e medidores de energia para o monitoramento da produção de energia do sistema fotovoltaico (VILLALVA,2015). A Figura 12 ilustra as componentes desse sistema.

Figura 11 – Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica



Fonte: COOPE SOLAR (2020)

2.17. ANÁLISE FINANCEIRA

A análise de investimentos é de suma importância para a decisão de aplicação de recursos aplicado a longo prazo, normalmente maiores que um ano, com o objetivo de avaliar o retorno adequado ao investidor (LUNELLI, 2018). Assim é analisado o Tempo de Retorno do Investimento (TRI), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL), baseado na vida útil do projeto. Essas análises são importantes para o estudo de viabilidade o investimento e a determinação da economia anual que os métodos analisados trará para a empresa,

2.17.1. Tempo de retorno do investimento

O TRI de um investimento nos remete a ideia do tempo de retorno do valor investido. Dessa maneira demonstra o tempo desde o investimento inicial até o momento em que os rendimentos acumulados se tornam iguais ao valor desse investimento (CAMARGO, 2016). A Equação 6 demonstra como obtêm-se o valor requerido que é expresso em unidade de tempo como meses ou anos.

$$TRI = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Fluxo de Caixa}} \quad (6)$$

Para que a aplicação dos valores monetários no projeto em questão possa ser considerado economicamente viável, o seu TRI deve ser inferior a vida útil do sistema para que o investimento se torne viável para o investidor.

2.17.2. Valor presente líquido

O cálculo do VPL demonstrar se o investimento em questão trará ganho ou prejuízo ao investidor. Esse método leva em consideração a taxa mínima de atratividade (TMA) e avalia o valor investido com o valor de benefícios esperado ao longo de um determinado período (AZEVEDO, 2015). A Equação 7 demonstra como o cálculo é realizado e os critérios de aceitação do investimento.

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC_n}{(1+i)^n} - PV_o \quad (7)$$

Onde:

VPL = Valor presente líquido;

FC_n = Fluxo de caixa para n período;

PV_o = Valor do investimento inicial;

n = Período analisado.

Para que o investimento seja aceito o VPL deve ser maior que zero representando assim que o investimento renderia mais que uma aplicação livre de risco. Para o caso de o valor encontrado ser menor que zero o investimento deve ser rejeitado, sendo assim não apresenta uma rentabilidade atraente, ou seja, a sua rentabilidade é superada por um investimento com o mínimo do retorno já definido (AZEVEDO, 2015).

2.17.3. Taxa Interna de Retorno

A TIR define a taxa necessária para que o fluxo de caixa e o VPL sejam igualados, ou seja, é a taxa de juros que iguala o valor presente de entrada com as saídas previstas em caixa. O cálculo é realizado com base no fluxo de caixa da empresa em função do investimento (GONÇALVES, 2018). A TIR é obtida pela Equação 8.

$$VPL = \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (8)$$

Onde:

VPL = valor presente;

N = quantidade de períodos;

F_t = entrada de capital no período t;

i = taxa interna de retorno.

Dessa maneira, a TIR pode ser classificada como a taxa de crescimento esperado do projeto. Para a análise na tomada de decisão o valor encontrado deve ser maior que a TMA para que o investimento seja viável.

2.18. ESTADO DA ARTE

Esse capítulo abordará o estado da arte de referenciais que auxiliaram no conhecimento necessário para a área de estudo do presente trabalho. Serão demonstrado quatro trabalhos distintos que possuíram maior relevância com o estudo de viabilidade entre a implantação de energia fotovoltaica e a migração para mercado livre de energia elétrica.

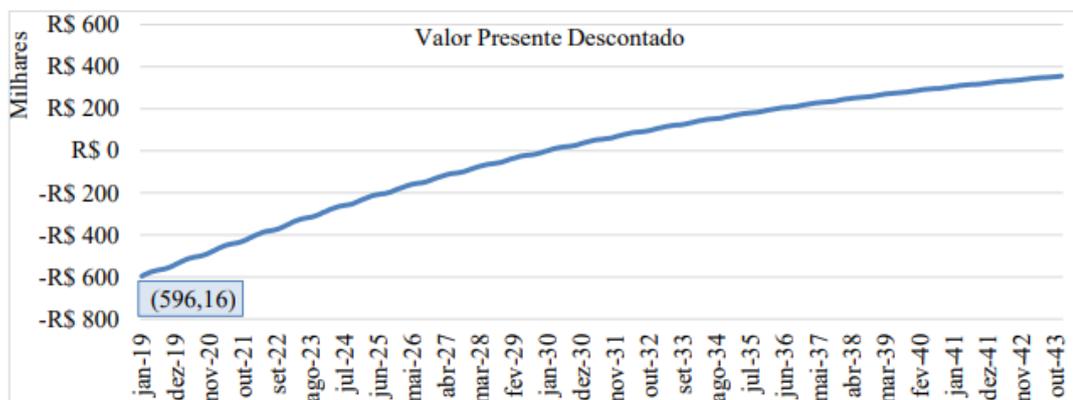
2.18.1. Comparação entre geração de energia fotovoltaica e migração para o mercado livre de energia para uma indústria de médio porte

O trabalho realizado por Bruna Marques da Silva da Universidade Federal do Rio Grande do Sul demonstra um estudo comparativo que possui como objetivo principal a redução de custos de energia elétrica para uma empresa de médio porte localizada em Porto Alegre/RS. O objeto de estudo é pertencente ao subgrupo A4 – Verde conectada em 13,8 kV e possui demanda única contratada de 93 kW.

Para o sistema fotovoltaico foi determinado um custo de implantação de R\$596.160,00 com 132,48 kWp total instalados. Foram utilizados 384 painéis TSM-345 DD14A fabricado pela Trina Solar de 345 kWp e três inversores TRIO-27.6-TL-OUTD fabricado pela ABB para que o sistema atingisse a quantidade de energia

desejada. O *payback* deste cenário foi de 9 anos e 11 meses como demonstrado na Figura 12.

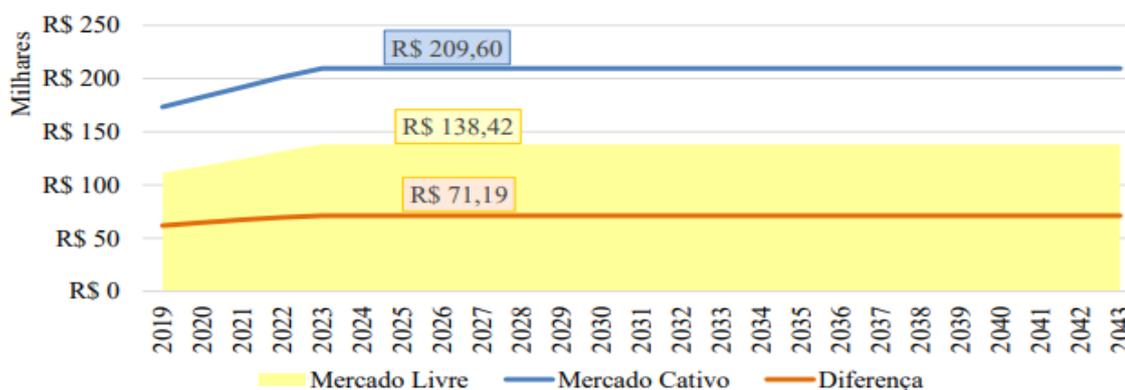
Figura 12 – *Payback* para o sistema fotovoltaico



Fonte: SILVA (2018)

Para o mercado livre de energia a demanda contrata foi baseada em 500 kW uma vez que esse é o critério mínimo de migração. O estudo levou em consideração os custos de adequação do sistema de medição para faturamento (SMF) e adesão ao mercado livre, resultando assim em um investimento inicial de R\$ 134.759,92. Como a elegibilidade do ACL é bastante alta quando comparada com a demanda contrata da empresa, pode-se determinar uma inviabilidade na migração, porém a consulta pública N° 33 do MME de 2017 tornaria todos os consumidores do grupo A elegíveis ao ACL até 2028. Considerando assim que a mudança tornaria a manutenção da demanda contratada, a unidade apresentaria um *payback* de 2 anos e 11 meses para a migração. Assim a Figura 13 demonstra a comparação dos custos entre o mercado livre e o mercado cativo considerando a consulta pública N°33 tornando assim viável a migração.

Figura 13 – Migração ao ACL com critérios da consulta pública N° 33



Fonte: SILVA (2018)

Assim o referido estudo concluiu que a geração de energia fotovoltaica se torna inviável para a indústria alvo devido ao seu investimento inicial e a migração ao mercado livre só se tornaria vantajosa quando a consulta pública N° 33 entrar em vigor. Por ora, uma opção para redução de custos de energia elétrica seria o aluguel de sistema fotovoltaico.

2.18.2. Análise de viabilidade da adesão ao ambiente de contratação livre e autoconsumo em geração fotovoltaica

No trabalho realizado, Erick Alves Sobrinho Pereira, destaca o estudo de caso do Centro de Tecnologia da UFRJ para análise de viabilidade para o ACL considerando a instalação de um sistema de energia fotovoltaica para autoconsumo. O objeto de estudo está enquadrado no perfil de consumidor A4 - Verde com rede de média tensão com fornecimento de 13,2 kV e demanda contratada de 5.150 kW. O custo médio de energia elétrica anual no ambiente de contratação regulada é de R\$ 1.150.871,36.

O primeiro cenário se diz respeito a contratação de energia no ACL onde foi considerado o investimento inicial com o custo de adequação ao sistema de medição de R\$ 73.550,00 e de adesão a CCEE de R\$ 6.321,00. Assim aplicando o método de VPL com uma TMA de 6,5% a.a. é observado que o *payback* ocorre já no primeiro ano de migração tornando a migração financeiramente viável e gerando uma economia em torno de R\$ 18.723.346,73 no final de 10 anos.

O segundo cenário de estudo por sua vez aborda a instalação de minigeração de energia elétrica com sistema fotovoltaico. Neste caso foi considerado um custo total de R\$ 4.018.854,18 referente ao custo dos equipamentos necessários para o funcionamento do sistema. Assim com a análise é observado que o *payback* do investimento, aplicando o método de VPL com TMA novamente de 6,5% a.a., ocorre no segundo ano de instalação. A TIR obtida é de 44% levando a concluir que o projeto é financeiramente viável e ao final de 10 anos é o consumidor terá uma economia próxima de R\$ 7.175.439,68.

O terceiro cenário por sua vez remete a contratação de energia elétrica no ACL com a produção de energia em um sistema fotovoltaico. Assim neste caso é levado em consideração os investimentos iniciais de R\$ 4.098.725,18 referente à adequação ao sistema de medição para faturamento e adesão à CCEE e instalação do sistema de minigeração de energia elétrica. O *payback* acontece no segundo ano após a instalação do projeto possuindo uma TIR de 1.165% levando a viabilidade financeira do projeto. Ao final de 10 anos, o consumidor terá uma economia de cerca de R\$ 23.535.760,38 considerando a TMA de 6,5% a.a..

A Tabela 1 demonstra a comparação entre os três cenários distintos de estudo e demonstra quais dos métodos geram uma maior economia na fatura mensal de energia. Assim então, caso haja capital inicial disponível para investimento o terceiro cenário se torna mais vantajoso. Entretanto caso isso não seja possível é demonstrado alternativas que alcançam o objetivo desejado.

Tabela 1 – Resultados financeiros para redução da fatura mensal de energia

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Investimento Inicial	R\$79.871,00	R\$ 4.018.854,18	R\$ 4.098.725,1
Economia Anual Máxima (R\$)	R\$ 5.803.897,88	R\$ 1.736.494,25	R\$ 6.485.924,89
Economia Anual Percentual	até 42%	12%	até 47%
Payback	menos de 1 ano	ano 2	ano 2
TIR	-	44%	1.165%
VPL	R\$ 18.723.346,73	R\$ 7.175.439,68	R\$ 23.535.760,38

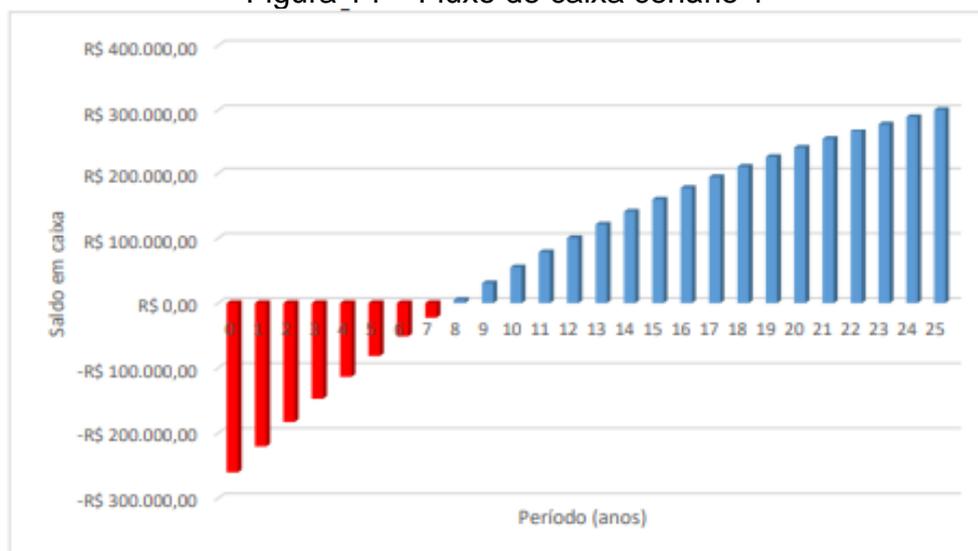
Fonte: PEREIRA (2019)

2.18.3. Projeto de energia solar fotovoltaica para uma indústria do ramo metalmeccânico

O projeto apresentado como requisito para conclusão de curso de Nicole Amanda Boff possui como objetivo principal a análise da viabilidade de implementação de um sistema fotovoltaico aplicado a uma indústria localizada em Caxias do Sul/RS. O objeto de estudo é classificado como A4 industrial – Tarifa Verde com consumo entre 2,3 a 25 kV e apresenta consumo médio mensal superior a 9.000kWh. Foram demonstrados dois possíveis cenários para o projeto em questão devido a sua orientação solar e a vida útil de 25 anos.

O primeiro cenário demonstra os painéis orientados para o Norte disposto em um estrutura de fixação na cobertura da edificação representando uma irradiação solar maior necessitando de um menor número de painéis. Entretanto por falta de área para instalação, é possível somente a instalação de 75% dos painéis necessários para a geração de energia sendo usado assim 190 painéis. Para esse cenário é apresentado um VPL de R\$ 288.657,38 e um tempo de retorno a partir do 8º ano de instalação com a TIR de 21,30%. A Figura 14 demonstra o fluxo de caixa em função do investimento.

Figura 14 – Fluxo de caixa cenário 1

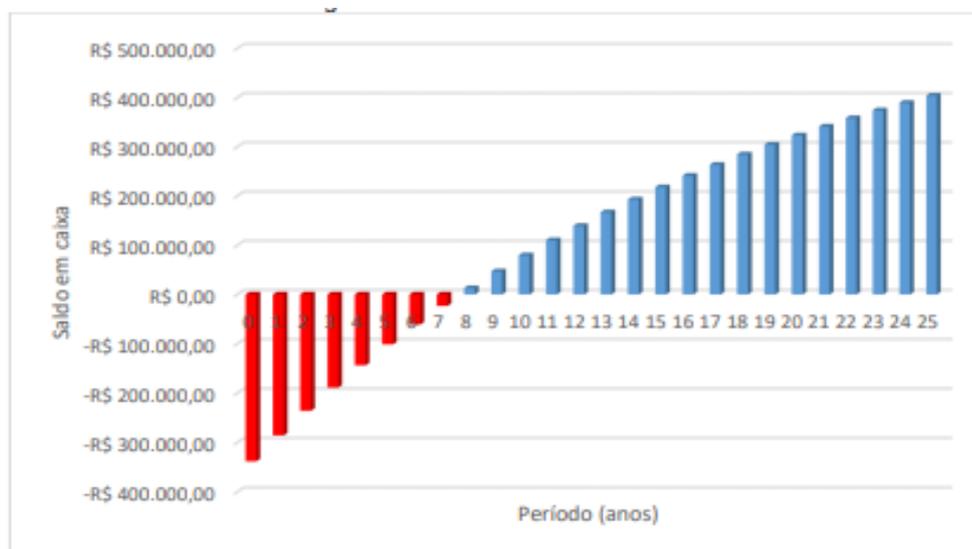


Fonte: BOFF (2018)

O segundo cenário, por sua vez, utiliza 277 painéis instalados diretamente na cobertura do objeto de estudo e assim demonstra um número maior de painéis sendo possível atender toda a demanda da empresa e por esse motivo possui um

investimento inicial maior. O VPL para esse caso é de R\$ 379.761,09 com a TIR de 21,65% e o tempo de retorno também a partir do 8º ano de funcionamento do sistema. A Figura 15, por sua vez, demonstra o fluxo de caixa para o cenário 2.

Figura 15 – Fluxo de caixa cenário 2



Fonte: BOFF (2018)

Assim para o estudo de viabilidade pode-se concluir que os dois cenários apresentam viabilidade de implementação. Para a viabilidade ambiental o primeiro cenário se mostra mais satisfatório por requisitar um menor número de placas e consequentemente um menor consumo de matéria prima e geração de resíduos na produção. Entretanto a necessidade de consumo de energia da concessionária é maior pelo fato de o sistema não atender toda a demanda necessária.

Dessa maneira como o referido trabalho defende a aplicação de um sistema fotovoltaico de geração de energia elétrica para a independência do sistema convencional de fornecimento da concessionária, o segundo cenário se tornaria o escolhido para implementação. Essa escolha é definida mesmo sabendo que o impacto ambiental é maior devido ao maior número de painéis solares.

2.18.4. Migração para o mercado livre de energia: estudo de caso do centro de tecnologia da universidade federal do rio de janeiro

A monografia desenvolvida por Felipe Farage Rizkalla tem como objetivo principal o estudo de migração para o ACL de um consumidor pertencente ao ACR. O objeto de estudo é o Centro de Tecnologia da UFRJ que possui demanda contratada

de 5.150 kW com tensão de fornecimento de 13,4 kV sendo enquadrado no subgrupo A4. Importante ressaltar que o consumidor é conectado à rede de energia anteriormente a 1995.

Dessa maneira é analisado a fatura mensal de gastos de energia elétrica durante um ano a fim de observar a sazonalidade de consumo do objeto de estudo. Observa-se assim que os maiores consumos de energia são registrados de março a maio e de setembro a dezembro devido à alta demanda de atividades decorrente ao período letivo de aulas do Centro Tecnológico. Logo os meses restantes demonstram baixa demanda de energia elétrica por serem os meses de férias escolares.

Mediante aos cálculos realizados, é determinado um valor médio mensal de R\$748,66/MWh gasto no ACR e com base em referenciais do preço médio praticado no mercado livre na região Sudeste é determinado o valor de R\$240,00/MWh demonstrando assim uma vantagem para a migração. A Tabela 2 demonstra a diferença de valores na fatura mensal de energia elétrica entre os dois mercados de contratação durante o período analisado.

Tabela 2 – Diferença do custo da conta de energia entre ACR e ACL

Mês	Conta no mercado cativo (R\$)	Conta no mercado livre (R\$)	Diferença (R\$)
mai/16	1.099.416,68	832.479,66	266.937,03
jun/16	908.905,08	683.287,75	225.617,33
jul/16	883.787,10	667.876,52	215.910,58
ago/16	749.226,80	572.380,23	176.846,57
set/16	933.518,35	701.561,94	231.956,41
out/16	937.918,06	704.890,97	233.027,08
nov/16	1.044.982,37	780.344,68	264.637,69
dez/16	1.046.280,44	783.023,37	263.257,07
jan/17	927.282,88	692.342,94	234.939,94
fev/17	1.049.238,36	776.158,07	273.080,29
mar/17	1.147.758,11	855.594,78	292.163,33
abr/17	1.102.933,76	816.546,31	286.387,45

Fonte: Rizkalla (2018)

Assim então para dar continuidade ao estudo, é estipulado um valor de investimentos iniciais de R\$ 50.000,00 referente as adequações necessárias ao sistema de medição para faturamento e determinado uma TMA de 12%, baseada na taxa do Sistema Especial de Liquidação e Custódia (SELIC). Os resultados obtidos são demonstrados na Tabela 3 observando que o payback do investimento já ocorre

no primeiro mês após a migração e ao final do primeiro ano haverá uma economia de 23%, determinando assim o projeto como viável para a sua implementação. Ressaltando o fato de que a migração só poderia ser realizada a partir do ano de 2019 com a aprovação da Lei nº 13.360 que permite adesão de consumidores ao ACL tenham demanda declarada igual ou superior a 3.000kW em 7 de julho de 1995.

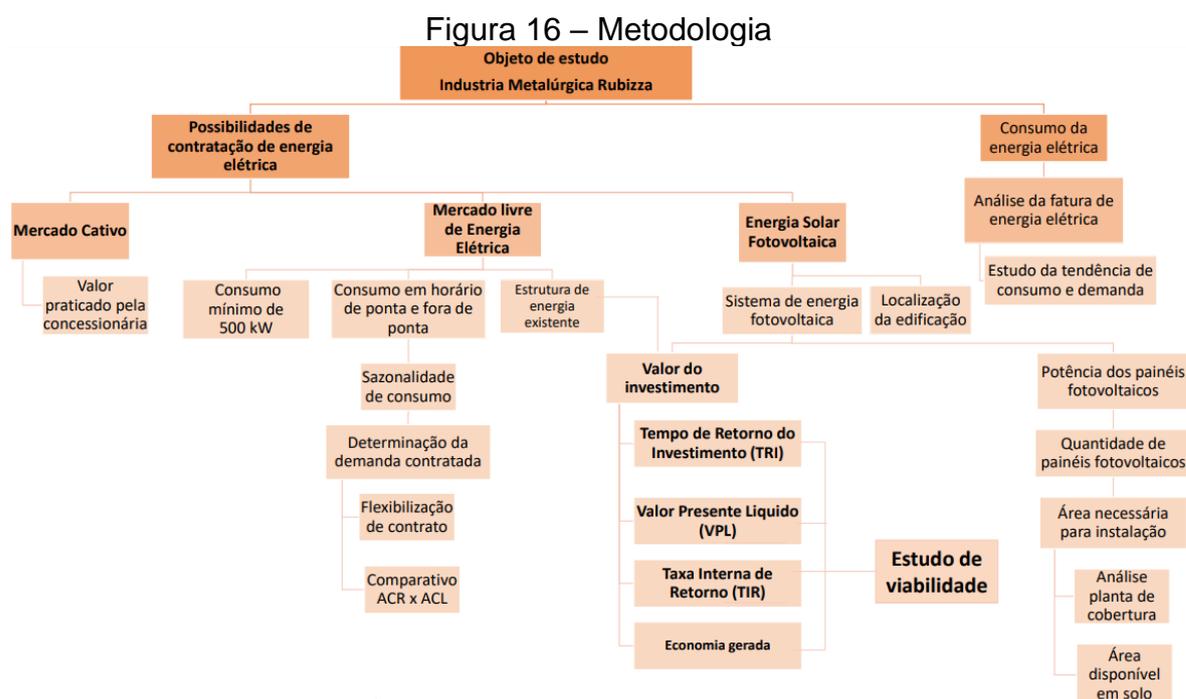
Tabela 3 – Resultados financeiros da migração

Mês	Receitas (R\$)	Despesas (R\$)	Fluxo de caixa (R\$)		TIR (%)
	Diferença entre cativo e livre	Investimento inicial	Descontado	Acumulado	
0	0	-R\$50.000,00	-R\$50.000,00	-R\$50.000,00	-
1	266.937,03	0	264.427,87	214.427,87	434
2	225.617,33	0	221.395,74	435.823,61	508
3	215.910,58	0	209.879,08	645.702,69	518
4	176.846,57	0	170.290,44	815.993,14	519
5	231.956,41	0	221.257,71	1.037.250,85	520
6	233.027,08	0	220.189,63	1.257.440,47	520
7	264.637,69	0	247.708,30	1.505.148,77	520
8	263.257,07	0	244.099,74	1.749.248,51	520
9	234.939,94	0	215.795,57	1.965.044,08	520
10	273.080,29	0	248.470,28	2.213.514,37	520
11	292.163,33	0	263.334,77	2.476.849,13	520
12	286.387,45	0	255.702,45	2.732.551,58	520

Fonte: Rizkalla (2018)

3. METODOLOGIA APLICADA

A metodologia aplicada no presente trabalho se delimita ao objeto de estudo, a empresa do ramo metalúrgico localizada em Caxias do Sul/RS. O organograma onde retrata a metodologia a ser seguida para o presente trabalho é mostrada na Figura 16. A comparação entre o uso de energia solar e a migração para o mercado livre foi realizado através de planilhas de cálculos e gráficos ilustrativos desenvolvidos pelo *software Excel*.



Fonte: Autor (2020)

3.1. CARACTERIZACAO DO OBJETO DE ESTUDO

O trabalho possui como objeto de estudo a Indústria Metalúrgica Rubizza localizada na Estrada Municipal Valentin Venturini, nº 5551, Bairro Monte Bérico, em Caxias do Sul que possui coordenadas de latitude -29.130728° Sul e longitude -51.236958° Oeste. A indústria atende diversos nichos de mercado e segmentos em âmbito nacional como ramo moveleiro, metalmecânico, guindastes, rodoviário, agrícola, equipamentos odontológicos, automação e automobilístico. A Figura 17 demonstra uma imagem aérea da empresa.

Figura 17 – Imagem aérea da Indústria Metalúrgica Rubizza



Fonte: Google Earth (2020)

A empresa foi fundada por Rubino Andreazza e Vainer Pagliarin Andreazza em 1992 fornecendo serviços de estamparia de peças em latão. Atualmente, atua na área metalúrgica com dobra e corte a laser de chapas e tubos e conta com 55 colaboradores, apresentando uma área construída até então de 4700m², se apresentando em fase de expansão de parque fabril que ao final totalizará 9300m². A empresa possui certificação ISO 9001 alcançada em 2006 e renovada para a versão 2015 com vigência até o ano de 2021.

Os produtos fabricados são desenvolvidos de acordo com a necessidade dos clientes, baseados em projetos existentes ou até mesmo customizados. Todos os processos envolvidos são acompanhados de profissionais qualificados e realizados com maquinário e insumos de tecnologia de ponta para manter a qualidade e satisfação desejada para o cliente.

3.1.1. Consumo de energia do objeto de estudo

A Indústria Metalúrgica Rubizza está localizada no município de Caxias do Sul que possui como concessionária de distribuição de energia elétrica a Rio Grande Energia S/A (RGE), responsável por realizar o atendimento de 65% do consumo de energia elétrica no estado do Rio Grande do Sul. A RGE pode ser considerada a maior distribuidora da Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) atendendo 2,86 milhões

de clientes entre eles residenciais, estabelecimentos industriais e comerciais em 381 municípios gaúchos (CPFL,2020).

O empreendimento que é utilizado como objeto de estudo do presente trabalho está classificado como Tarifa Verde A4 – Industrial, ou seja, a empresa apresenta consumo de energia elétrica entre 2,3 a 25 kV e está conectada em rede de alta tensão de 13,8 kV (ANEEL,2010).

Atualmente a empresa possui 40 equipamentos que se mantêm em funcionamento durante o período de expediente, divididos da seguinte maneira:

- Expediente de horário comercial: todos os setores da empresa estão em funcionamento das 7:30 horas às 11:50 horas e das 12:50 horas às 17:18 horas, possuindo uma hora de intervalo para almoço;
- Expediente noturno: somente o setor de máquinas de corte a laser estão em funcionamento, iniciando às 22:00 até às 06:00 horas, possuindo intervalo para o jantar de uma hora que compreende o intervalo entre às 02:00 horas e 03:00 horas.

O expediente noturno possui somente um setor em funcionamento devido a necessidade de fornecimento de serviços que não são supridos durante o horário comercial. A empresa possui estrutura de refeitório própria sendo administrado por uma empresa terceirizada.

Deste modo, para que as análises sejam realizadas e os resultados sejam obtidos, as faturas de energia elétrica de 12 meses foram analisadas para que seja possível entender o comportamento do histórico do consumo de energia por parte da empresa metalúrgica. Podendo assim determinar fatores importantes que foram utilizados para análises futuras como o valor da tarifa paga (R\$/kWh) e o custo total mensal (R\$) da unidade consumidora. Foram analisados 12 meses de consumo para que a média dos valores se torne mais próxima da realidade, não ocorrendo assim dados equivocados caso fosse utilizado somente um mês de amostragem.

O conhecimento sobre o consumo de energia elétrica do objeto de estudo é determinante para saber se o consumo de energia em horário de ponta e fora de ponta bem como o consumo total. Para isso será utilizada um método de tabelamento de consumo e demandas mensais que auxiliará na análise dos dados e o

desenvolvimento de gráficos para a determinação da tendência de utilização da energia elétrica.

Os dados serão tabelados em planilhas que demonstra o consumo de energia elétrica do objeto de estudo em questão para que seja possível tais análises. O objetivo é mostrar o histórico de 12 meses, de abril/18 até março/19, informando o consumo ponta, fora ponta e o total, bem como a demanda utilizada e a demanda contratada. Esse será o histórico utilizado para a comparação do estudo de viabilidade e para análise de gráficos de consumo.

3.2. METODOLOGIA PARA ENERGIA FOTOVOLTAICA

Para as análises do dimensionamento da energia fotovoltaica para a empresa metalúrgica deve-se ter informações que são determinantes para que o sistema seja dimensionado e atenda às necessidades de energia elétrica da unidade consumidora, sendo que foi utilizado um sistema de geração junto à carga. Desta forma a localização exata da edificação é de suma importância, para que assim seja analisado dados de insolação solar que incide sobre a empresa, bem como a sua orientação solar. Foi adotado como vida útil de 25 anos para o sistema de energia fotovoltaica, por ser a garantia média de uma placa fotovoltaica (PINHO E GALDINO,2014).

3.2.1. Sistema de energia fotovoltaica

Com o conhecimento sobre a demanda de energia elétrica da unidade consumidora, será dimensionado um sistema com todas as componentes necessárias para que atenda às necessidades do objeto de estudo, que são:

- a potência individual dos painéis utilizados;
- a potência total do sistema para que assim possa ser definido qual será a quantidade de painéis instalados;
- o material utilizado, que indicará qual será a eficiência dos módulos instalados sendo que quanto mais elevada ela será, maior será a energia gerada.

Após a determinação do tipo de painel fotovoltaico será realizado o cálculo da área necessária para instalação do sistema. Os painéis deverão ser instalados no

local mais adequado com a sua devida infraestrutura evitando ocorrer qualquer tipo de dano para a edificação. Um fator importante de ser analisado é a estrutura da edificação para que se tenha o conhecimento se suporta a instalação do sistema, caso essa limitação não seja possível, deve ser analisado espaço útil em solo. Outro fator relevante será o inversor utilizado em que possivelmente será necessárias trocas de manutenções ao longo do período de funcionamento do sistema fotovoltaico. Dessa maneira também é levada em consideração a depreciação de geração de energia por parte dos painéis fotovoltaicos instalados.

Os dados necessários para uma análise criteriosa dos painéis fotovoltaicos demonstra assim uma maior exatidão para os resultados. Assim será possível observar as características dos elementos que compõe a instalação para que o dimensionamento seja realizado com maior precisão.

Os parâmetros iniciais utilizados para o dimensionamento do sistema são baseados de acordo com a localização da edificação sendo possível determinar qual será a quantidade de energia gerada de acordo com a insolação incidente. As componentes necessárias que farão parte do sistema fotovoltaico dimensionado que possibilitará a geração de energia, serão tabelados constando a quantidade de determinado material bem como a sua descrição e a unidade de medição.

O sistema de geração de energia fotovoltaica pode ser estimado, com base na irradiação solar, a quantidade de energia gerada mensalmente. Com o auxílio de gráficos será possível representar quais serão os meses em que haverá compensação de energia ou em que a energia gerada não atenderá as necessidades do objeto de estudo.

Para a realização da análise entre o mercado cativo e a implantação de energia fotovoltaica, será definido o custo total de implantação e a economia que o sistema trará nas faturas de energia elétrica mensal.

3.2.1.1. Análise do investimento energia fotovoltaica

A análise dos dados para a determinação do TRI, VPL e TIR com será realizado com o auxílio de planilhas de cálculos, podendo ser visualizado qual será a economia que a empresa terá após a instalação. Será possível também determinar a viabilidade de implantação do sistema em questão.

O aumento da tarifa anual terá uma previsão estimadas para fins de cálculos e outro fator relevante para a análise de viabilidade é o rendimento dos painéis, que com o decorrer do tempo sofrem diminuição da capacidade de geração de energia alterando assim a geração de energia anual. A economia anual gerada é obtida através do custo do kWh multiplicado pela geração solar anual resultando assim no total acumulado ao longo dos anos.

Para que o valor do retorno de investimento seja obtido, subtrai-se o valor inicial investido pelo valor acumulado. Quando esse valor encontrado for maior que zero se determina que então nesse tempo todo o valor investido foi recuperado. Para facilidade de visualização esse dado também pode ser interpretado por meio de gráficos gerados relacionando o tempo com o valor de retorno.

3.3. METODOLOGIA PARA MERCADO LIVRE DE ENERGIA

A mudança do mercado cativo de energia para o mercado livre de energia elétrica leva diversos fatores em consideração para se torne viável e vantajosa para o cliente, lembrando que para migrar deve possuir um consumo mínimo de 500 kW. Deve ser analisado também a estrutura existente de medição de energia elétrica para que caso haja modificações necessárias, que sejam realizadas para que a migração seja aprovada.

Com base no histórico de consumo de energia é possível realizar projeções estimadas de economia de energia elétrica. Assim é determinado a tendência ao uso de energia elétrica da edificação, analisando o consumo em horários de ponta e fora de ponta, traçando assim uma sazonalidade de consumo para que possa ser identificado os meses em que a energia é utilizada em maior e menor quantidade. Com essa percepção então é estipulada uma demanda de energia a ser contratada para que supra as necessidades da empresa metalúrgica, estipulando assim flexibilidade no contrato para que o risco de exposição ao mercado de curto prazo seja minimizado e que não haja a ocorrência de multas aplicadas pela concessionária. Com a demanda de energia a ser contratada é avaliado o custo do MWh para que então seja determinada a economia que a migração trará para a empresa.

Por sua vez, sobre o mercado livre de energia, para fins de comparação, é determinado o valor total da economia que a migração trará a empresa relacionando

com a situação atual do mercado cativo sendo essa considerada como a segunda análise realizada. Assim então é realizada uma simulação entre o mercado cativo e o mercado livre de energia elétrica.

Dessa maneira a simulação de valores a serem pagos no mercado livre de energia elétrica será levado em consideração as adequações necessárias para a migração e a taxa de adesão da CCEE. Por conseguinte é comparado os valores obtidos entre os dois mercados de contratação e demonstrado a economia dos valores pagos tendo como base a bandeira tarifaria do mercado cativo, demonstrando a economia anual. Lembrando que essa análise será realizada para um horizonte de quatro ano, período aconselhado para os contrato de migração.

3.3.1. Análise do investimento mercado livre de energia

A análise do TRI, VPL e TIR com base na economia que a migração do mercado cativo ao mercado livre de energia elétrica trará para a empresa será realizada como auxílio de planilhas de cálculos do *software* Excel. É de suma importância esses dados para a análise de viabilidade de migração ao ACL por parte da empresa.

3.4. ANÁLISE DE VIABILIDADE

Com o valor total do investimento necessário para a implantação do sistema fotovoltaico e a economia que a migração ao ACL trará, pode-se determinar qual dos sistemas se torna economicamente viável para a empresa metalúrgica de Caxias do Sul/RS. Tendo como base o objetivo de redução no valor mensal da fatura de energia elétrica e a análise do VPL, TIR e TRI.

4. ANÁLISES

Esse capítulo apresenta as análises necessárias baseadas na metodologia proposta no presente trabalho. Essas análises levam em consideração o objeto de estudo a Indústria Metalúrgica Rubizza localizada em Caxias do Sul/RS. Deste modo foram analisados fatores como o consumo mensal da empresa para que seja possível

possuir o conhecimento dos valores praticados no mercado cativo, como também se há uma sazonalidade do consumo de energia elétrica por parte da empresa.

O segundo fator analisado foi a migração para o mercado livre de energia elétrica onde foi realizado um estudo para determinar a economia que a migração trará ao objeto de estudo. Por sua vez, o terceiro fator analisado foi a instalação de um sistema de energia fotovoltaica determinando assim se a sua instalação é possível na estrutura construída da empresa e se a mesma possui índices satisfatórios para o bom rendimento do sistema.

Por fim então, será realizado o estudo de viabilidade entre a migração ao mercado livre de energia elétrica e a implantação de um sistema fotovoltaico para a Indústria Metalúrgica Rubizza. Ressaltando que o estudo visa a redução mensal nos valores pagos de energia elétrica pela empresa.

4.1. CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

As contas de energia elétricas analisadas compreendem o período do mês de abril de 2018 a março de 2019. Foi adotado esse período para o estudo uma vez que em abril de 2019 a empresa alterou seu horário de trabalho e neste ano de 2020, o mundo está enfrentando um período atípico de pandemia ocorrendo assim flexibilização no horário de expediente, deste modo podendo ocorrer dados equivocados. Na Tabela 4 estão contidas as informações mais relevantes para que se obtenha o conhecimento dos gastos mensais de energia elétrica do objeto de estudo.

Tabela 4 – Consumo de energia elétrica da Indústria Metalúrgica Rubizza

Energia Elétrica Indústria Metalúrgica Rubizza					
Mês de Referência	Consumo Ponta (kWh)	Consumo Fora de Ponta (kWh)	Consumo Total (kWh)	Demanda Utilizada (kW)	Demanda Contratada (kW)
abr/18	2.838,00	104.318,00	107.156,00	449,00	500
mai/18	1.830,00	118.054,00	119.884,00	435,00	500
jun/18	2.757,00	121.628,00	124.385,00	417,00	500
jul/18	2.091,00	131.194,00	133.285,00	419,00	500
ago/18	3.237,00	146.333,00	149.570,00	432,00	500

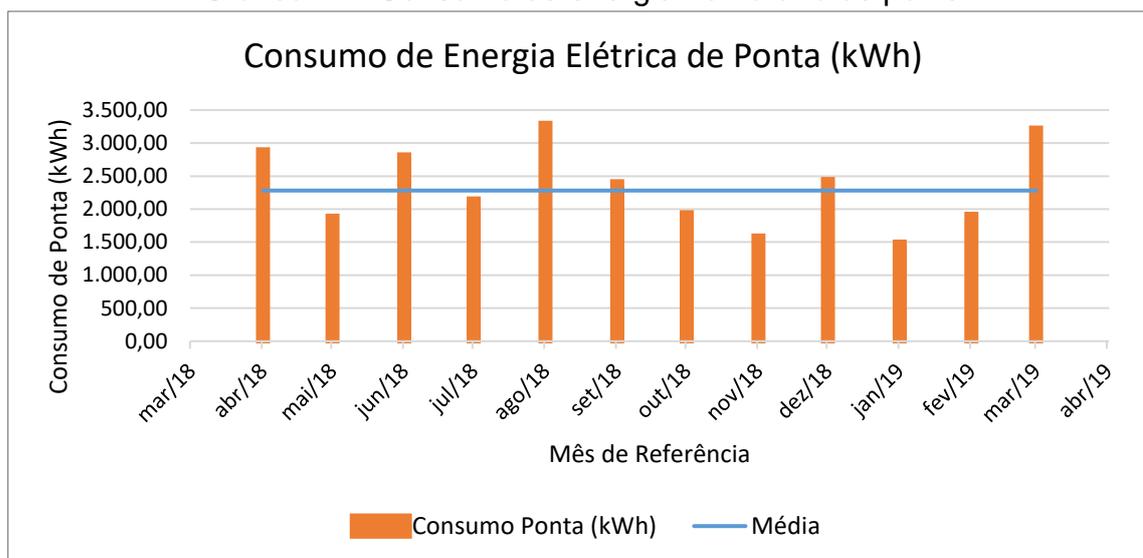
set/18	2.352,00	144.290,00	146.642,00	441,00	500
out/18	1.886,00	139.340,00	141.226,00	459,00	500
nov/18	1.533,00	137.869,00	139.402,00	471,00	500
dez/18	2.388,00	128.014,00	130.402,00	459,00	500
jan/19	1.439,00	96.972,00	98.411,00	479,00	500
fev/19	1.859,00	146.197,00	148.056,00	500,00	500
mar/19	3.165,00	138.112,00	141.277,00	481,00	500

Fonte: Autor (2020)

Assim foi observado que o mês de ago/18 apresenta maior consumo de ponta como consumo fora de ponta de 3.237,00 kWh e 146.333,00 kWh respectivamente. Esse fato pode ser explicado de que durante o mês em questão há uma maior demanda de serviços, o que acarreta uma maior produtividade e assim há um maior número de equipamentos conectados à rede elétrica. Há também a necessidade de realizar horas extras fora do período de expediente para suprir a demanda de trabalho, ou seja, a empresa continua em funcionamento no período entre as 18:00 e 22:00 horas, que compreende o horário de ponta de energia elétrica. Esse fato reflete diretamente na fatura mensal de energia, elevando assim o valor total no mês em questão.

O mês de jan/19 representa um menor consumo de energia no horário de ponta e fora de ponta quando comparado aos outros períodos. Isso deve-se ao fato de janeiro ser o primeiro mês do ano e a empresa, assim como alguns fornecedores, ainda estão em período coletivo de férias o que acarreta dias não trabalhados e conseqüentemente não há gastos com energia elétrica. Ocorre também o fato de que a demanda de trabalho ser menor, em questão de se tratar do início de um novo ano e os clientes ainda estarem planejando suas atividades para serem desenvolvidas. Dessa maneira foram consumidos somente 1.439,00 kWh para o consumo de ponta e 96.972,00 kWh para o consumo fora de ponta. Os gráficos 1 e 2 retratam o consumo de energia no horário de ponta e fora de ponta, respectivamente, para o objeto de estudo.

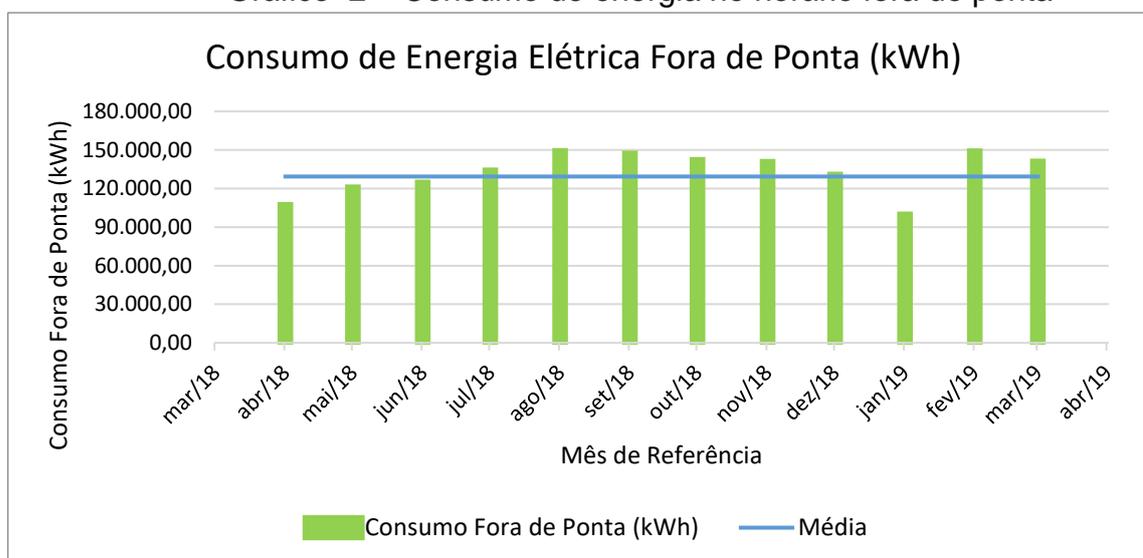
Gráfico 1 – Consumo de energia no horário de ponta



Fonte: Autor (2020)

Para o consumo de energia de ponta foi determinado o valor médio de 2.281,25 kWh para o período analisado. Sendo observado que nos meses de abr/18, jun/18, ago/18, set/18, dez/18 e mar/19 o consumo da empresa foi maior que a média anual, por sua vez os meses restante ficaram abaixo do valor médio. O Gráfico 2, por sua vez, determina o consumo de energia do objeto de estudo no horário fora de ponta.

Gráfico 2 – Consumo de energia no horário fora de ponta



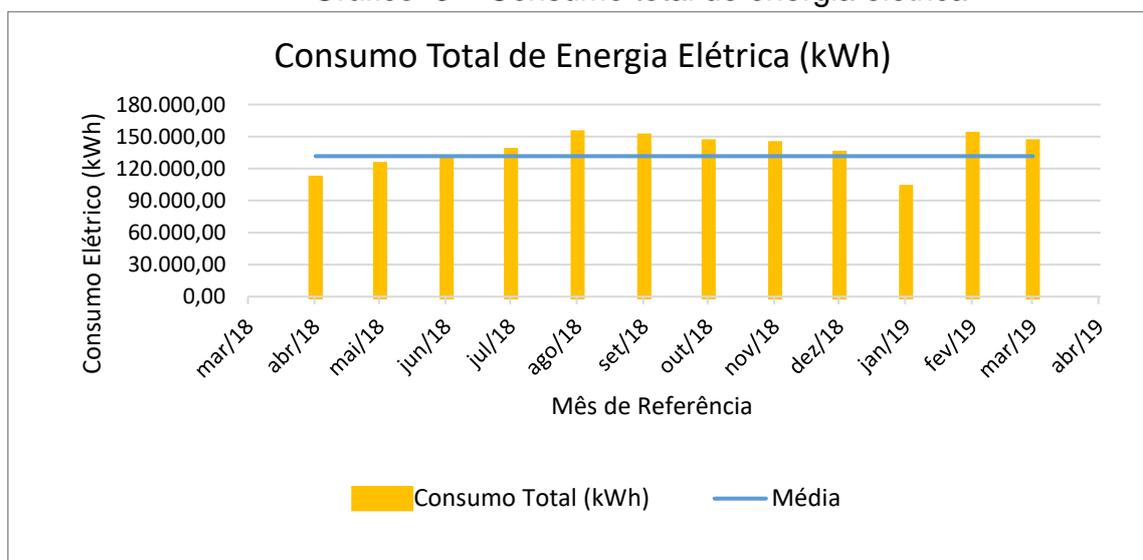
Fonte: Autor (2020)

Para o consumo de energia elétrica fora de ponta, demonstrado no Gráfico 2, foi registrado um valor médio de consumo de 129.360,08 kWh. Assim os meses de jul/18, ago/18, set/18, out/18, nov/18, fev/19 e mar/19 possuem o seu consumo de

energia fora de ponta acima do valor médio para o período. Por sua vez os meses não mencionando se encontram abaixo do valor médio.

O Gráfico 3 demonstra o consumo total de energia elétrica durante o período analisado relacionando com o valor médio total encontrado de 131.641,33 kWh. Assim fica evidente que os meses de jul/18, ago/18, set/18, out/18, nov/18, fev/19 e mar/19 apresentam um consumo acima da média e os meses restantes se encontram abaixo da média para os 12 meses considerados.

Gráfico 3 – Consumo total de energia elétrica



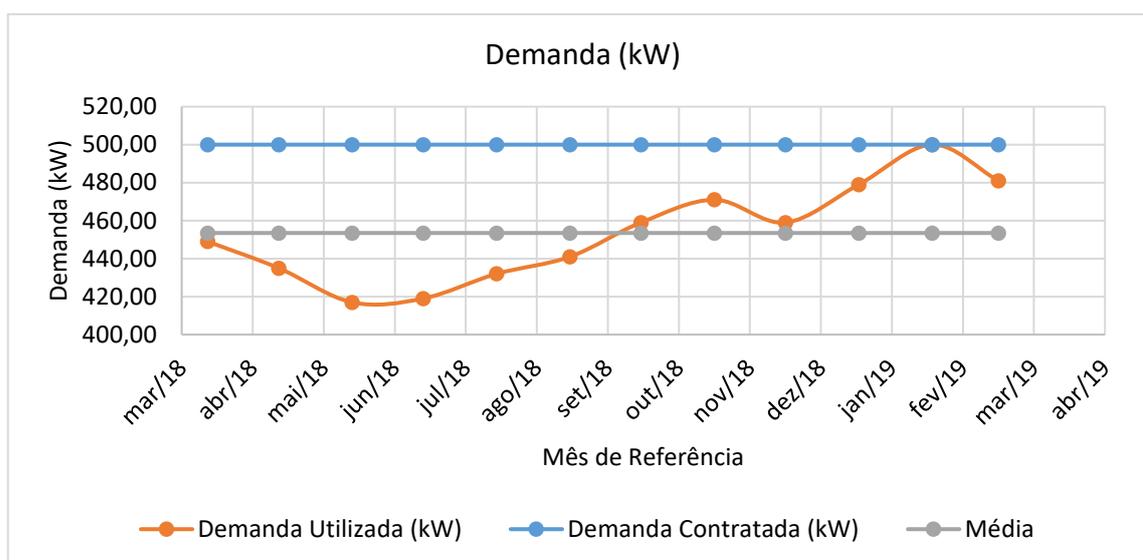
Fonte: Autor (2020)

Portanto é importante ressaltar que o consumo não segue uma tendência levando em consideração as estações do ano ou datas comemorativas por exemplo, já que a empresa depende exclusivamente da prestação de serviços aos clientes. Dessa maneira os meses que possuem maiores consumos de energia retratam uma maior demanda de trabalho realizado. Nessa situação há um número maior de equipamentos conectados à rede elétrica, bem como a necessidade da realização de horas extras de trabalho para que seja possível cumprir com os prazos de entrega determinados para os fornecedores.

Na questão da demanda foi observado que a demanda contratada está adequada ao objeto de estudo, uma vez que não ocorre em nenhum mês a ultrapassagem pela demanda utilizada, somente no mês de fev/19 que as duas demandas, utilizada e contratada, são igualadas. Já em jun/18 a demanda utilizada possui seu valor mínimo de utilização de 417 kW representando assim 83,4 % de utilização da demanda contratada o que pode ser observado uma redução de 16,6 %

no valor total da demanda. Esses dados podem ser observados no Gráfico 4, onde é apresentado o valor médio de demanda 453,5 kW sendo observado que ela é 9,3 % menor que a demanda total contratada. O eixo vertical foi ampliado para melhor visualização dos dados e assim conclui-se que de mar/18 a set/18 a demanda utilizada foi menor que a demanda média e nos meses de out/18 a abr/19 a demanda foi maior que 453,5 kW.

Gráfico 4 – Demanda utilizada x Demanda contratada



Fonte: Autor (2020)

4.2. POSSIBILIDADES DE CONTRATAÇÃO

O mercado cativo de energia elétrica é o método mais comum para o fornecimento de energia elétrica aos consumidores, ocorrendo através de uma concessionária responsável para cada localidade. Visando então a diminuição dos valores gastos com energia elétrica pelo objeto de estudo foram analisados duas outras possibilidades de contratação que é a migração ao ACL e a implantação de um sistema de energia fotovoltaica. Deste modo será realizado um estudo de viabilidade entre as possibilidades de contratação que será determinante para que a empresa atinja o seu objetivo desejado.

4.2.1. Mercado cativo

O objeto de estudo se enquadra como um consumidor do mercado cativo de energia, ou seja, o seu fornecimento de energia elétrica ocorre por meio da

concessionária responsável no local em que estabelecido. Dessa maneira os valores tarifários são estabelecidos pela RGE através da leitura mensal que contabiliza o consumo de energia elétrica e emite a fatura a ser paga. A Tabela 5 representa os valores, em reais, pagos para a RGE referente a energia elétrica durante o período analisado.

Tabela 5 – Valor de energia pago a concessionária RGE

Valores Pagos para a Concessionária	
Mês de Referência	Valor Pago (R\$)
abr/18	48.180,42
mai/18	54.537,70
jun/18	61.781,48
jul/18	74.895,00
ago/18	85.583,92
set/18	81.229,76
out/18	77.948,84
nov/18	73.877,90
dez/18	65.802,82
jan/19	51.041,05
fev/19	71.901,84
mar/19	70.857,61

Fonte: Autor (2020)

Assim foi observado um total de R\$ 817.683,34 pagos pela Indústria Metalúrgica Rubizza com energia elétrica no período analisado, o que resulta em um valor médio de R\$ 517,59 por MWh. O mês que registrou maior valor pago, em reais, foi ago/18 com R\$ 85.538,92 o que se torna coerente uma vez que foi o mês, dentre o período examinado, que possui um maior consumo de energia. Deste modo o MWh possui um valor de R\$ 572,20 sendo 10,55 % maior que o valor médio pago durante o período analisado. Por sua vez, isso não se repete para o mês com menor valor pago, visto que o esperado era jan/19 que possui o consumo total registrado de 98.411,00 kWh. Deste modo sendo pago a concessionária um total de R\$ 51.041,05 possuindo assim um valor de R\$ 518,65 ao MWh.

Assim o menor valor registrado foi no mês de abr/18 com R\$ 48.180,42 pagos a concessionária através da fatura mensal possuindo um consumo de 107.156,00 kWh e assim apresenta um valor para o MWh de R\$ 449,63 sendo este 13,13 % menor que o valor médio determinado. Uma das possíveis explicações para esse fato é de em

17 de abril de 2018 a Aneel homologou a Revisão Tarifária Periódica da RGE repassando aos consumidores os custos não-gerenciáveis e redefinindo os custos gerenciáveis. Dessa maneira a partir de 19 de abril de 2018 entrou em vigor o acréscimo de 24,99% no valor da fatura mensal para os clientes de alta tensão implicando assim em um reajuste dos valores a partir da fatura de maio deste mesmo ano (RGE, 2018).

Por esse motivo demonstrado que pode ser explicado que o menor valor pago em energia elétrica pela Indústria Metalúrgica Rubizza não condiz com o mês que possui um menor consumo de kWh. Ressaltando o fato que não foi levado em consideração o consumo de reativos que possam ocorrer com o maior número de máquinas conectadas a rede elétrica.

4.2.1. Mercado livre de energia elétrica

O primeiro passo para a adesão ao mercado livre de energia é a avaliação das condições de tensão e demanda mínima. Para que seja possível a migração, é necessário que a unidade consumidora possua a demanda mínima contratada, 500 kW. Após análises foi observado que o objeto de estudo atende o pré-requisito para migração. Em seguida, é necessário analisar o contrato vigente com a distribuidora a fim de comunicá-la pela denúncia dos contratos vigentes para a migração ao ACL.

O passo seguinte é a adequação ao SMF segundo a GED 16789 *“Procedimento para realização de serviço de implantação ou adequação SMF - classe de tensão A4 e A3a”*, onde será de responsabilidade total do consumidor realizar as adequações necessárias para estar apto a dar continuidade dos procedimentos de migração (CPFL,2020). Dessa maneira foi verificado que o objeto de estudo não está enquadrado nos conformes solicitados pela GED 16789 e será necessário o investimento de, aproximadamente, R\$ 15.000,00 para as adequações obrigatórias. Lembrando que para toda adequação no painel de medição deve ser agendado o desligamento programado da energia junto a distribuidora.

Por seguinte é necessário realizar a adesão à CCEE com o pagamento de um emolumento de adesão no valor de R\$ 6.123,00 conforme estabelecido na 62ª Assembleia Geral Extraordinária ocorrida em 27/10/2016. Esse pagamento se faz necessário pois o objeto de estudo deve se tornar sócio da CCEE para fazer parte do

mercado de comercialização de energia elétrica (CCEE, 2018). A partir do momento em que o consumidor decide migrar para o Mercado Livre e torna-se agente da CCEE, ele opera de acordo com as regras e procedimentos estabelecidas, devendo assumir e estar ciente do pagamento dos encargos, taxas e contribuições setoriais previstas na legislação.

Assim conforme os Gráficos 1 e 2, apresentados no capítulo anterior, é demonstrado um consumo médio de ponta de 2.281,25 MWh e de 129.360,08 MWh para o consumo médio fora de ponta, resultando assim em 131.641,33 MWh de consumo médio de energia elétrica para o período analisado. Dessa maneira, então é determinado o valor de consumo a ser contratado para o objeto de estudo. Importante ressaltar que o valor determinado deve estar acima da média anual para evitar exposição ao mercado de curto prazo e conseqüentemente aplicação de multas aplicadas pela concessionária.

Conforme observações realizadas foi determinado para o presente estudo o valor médio de 131,64 MWh a ser contratado mensalmente com uma margem de consumo flexível de 10% acima e abaixo do total contratado, reduzindo assim ainda mais os riscos de déficits e superávits da contratação de energia. Portanto o *take* máximo de consumo é de 144,80 MWh e o *take* mínimo de 118,48 MWh, o ideal para que não ocorra riscos de exposição ao mercado de curto prazo é de que o objeto de estudo sempre tenha o seu consumo enquadrado nessa margem de contratação. Esse valor foi determinado a partir de observações no consumo total da Indústria Metalúrgica Rubizza, onde no período analisado, 7 dos 12 meses totais se enquadraram nessa faixa de consumo e também por ser os valores médios observados nas faturas de energia durante o período analisado.

Segundo o art. 26º da Lei nº 9.648 de 27 de maio de 1998 que trata sobre o inciso I, a ANEEL estipula percentuais de redução para aqueles consumidores que adquirem energia de empreendimentos do referido inciso (BRASILIA,1998). Deste modo as tarifas referentes a transmissão e distribuição de energia sofrem redução de até 50%. Tendo como maior objetivo incentivar a venda deste tipo de geração de energia, fornecendo benefícios em razão das fontes serem mais onerosas para os geradores do que energias de fontes convencionais. Assim o objeto de estudo do presente trabalho contratará energia incentivada I5 - SUL, com 50 % de benefícios a ser abatido na demanda e na TUSD de Ponta.

4.2.2. Mercado Cativo x Mercado Livre

Com o valor de consumo a ser contrato definido, bem como a flexibilização e tipo de energia contratada foi então realizado o estudo comparativo entre o mercado cativo e o mercado livre de energia elétrica para que possa ser definido o total do valor economizado com a migração. Após sendo possível realizar o estudo de viabilidade entre os métodos. Serão analisados quatro anos seguidos compreendendo o período de 2019 a 2022, tendo como base o período recomendado para contratos que é de no máximo cinco anos (NOGUEIRA, 2016). Ressaltando o fato que o estudo se inicia no ano de 2019 devido a flexibilizações de trabalho que ocorreram após abril de 2019 o que poderia resultar em dados equivocados.

Para fins de cálculos a demanda utilizada para a simulação será de 500 kW, mantendo o valor de contrato que a empresa possui atualmente com a concessionária responsável. O valor de demanda é mantido uma vez que representa um montante que até o momento não foi ultrapassado, somente igualado. Contudo também que a previsão de demanda para os próximos anos será similar, ou seja, não haverá um aumento de carga significativo por parte da empresa.

Para a questão do consumo, a unidade utilizada será MWh para facilidade de cálculos, sendo utilizado valores médios anteriormente já cálculos de 2,28 MWh para o consumo de ponta e 129,36 MWh para o consumo fora de ponta totalizando assim 131,64 MWh. Foi considerado esses valores pelo fato de representarem um consumo médio, sendo assim pode ocorrer a variação dos valores para mais ou para menos. Os valores de tarifa, expressos em reais, utilizados não levaram em consideração os impostos incidentes tendo em conta que serão inseridos após o subtotal. Dessa maneira a alíquota do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) considerada é de 18% para o RS. O Programas de Integração Social (PIS) e a Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS) serão considerados como 5% em sua totalidade.

Para o mercado cativo foi considerado também um valor determinado em questão do uso de geradores, que são indispensáveis para a empresa gerando maior segurança e comodidade. O uso se dá pelo fato de que há falhas e até mesmo oscilações no fornecimento de energia elétrica gerando danos indesejados aos equipamentos conectados à rede elétrica.

A bandeira tarifária verde foi considerada como o preço base de cálculo e para as demais bandeiras tarifárias, amarela, vermelha - patamar 1 e vermelha - patamar 2, foi acrescido, respectivamente, R\$ 10,00, R\$ 30,00 e R\$ 50,00 para cada MWh consumido (TURELLA,2018). Os valores considerados têm como base o valor aplicado durante o período analisado de presente estudo. Para a migração ocorrer no ano de 2019 a Tabela 6 demonstra a simulação do método de cálculo para o preço base, a Tabela 7 por sua vez retrata o valor no mercado cativo quando a bandeira tarifária vigente é a amarela e por conseguinte as Tabelas 8 e 9 demonstram o valor para as bandeiras tarifárias vermelhas patamar 1 e patamar 2 nesta ordem.

Tabela 6 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária verde - 2019

Simulação de custos - Mercado Cativo 2019				
Descrição		Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	14,47	R\$ 7.235,00
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	1.060,95	R\$ 2.420,29
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	48,45	R\$ 6.267,50
	Ponta - TE	2,28	438,99	R\$ 1.001,45
	Fora de Ponta - TUE	129,36	279,48	R\$ 36.153,56
	Subtotal			
Imposto (R\$)	ICMS	18%		R\$ 9.554,00
	PIS/COFINS	5%		R\$ 2.653,89
Total Distribuidora				R\$ 65.285,68
Consumo (MWh)	Grupo Gerador			R\$ 1.200,00
Total Bandeira Tarifária Verde				R\$ 66.485,68

Fonte: Autor (2020)

Tabela 7 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária amarela - 2019

Simulação de custos - Mercado Cativo 2019				
Descrição		Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	14,47	R\$ 7.235,00
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	1.070,95	R\$ 2.443,10
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	58,45	R\$ 7.561,10
	Ponta - TE	2,28	448,99	R\$ 1.024,26
	Fora de Ponta - TUE	129,36	289,48	R\$ 37.447,16
	Subtotal			
Imposto (R\$)	ICMS	18%		R\$ 10.027,91

	PIS/COFINS	5%	R\$ 2.785,53
Total Distribuidora			R\$ 68.524,06
Consumo (MWh)	Grupo Gerador		R\$ 1.200,00
	Total Bandeira Tarifária Amarela		R\$ 69.724,06

Fonte: Autor (2020)

Tabela 8 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 1 - 2019

Simulação de custos - Mercado Cativo 2019			
Descrição	Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	14,47
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	1.090,95
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	78,45
	Ponta - TE	2,28	468,99
	Fora de Ponta - TUE	129,36	309,48
	Subtotal		
Imposto (R\$)	ICMS	18%	R\$ 10.975,73
	PIS/COFINS	5%	R\$ 3.048,81
Total Distribuidora			R\$ 75.000,81
Consumo (MWh)	Grupo Gerador		R\$ 1.200,00
	Total Bandeira Tarifária Vermelha - 1		R\$ 76.200,81

Fonte: Autor (2020)

Tabela 9 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 2 – 2019

(continua)

Simulação de custos - Mercado Cativo 2019			
Descrição	Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	14,47
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	1.090,95
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	78,45
	Ponta - TE	2,28	468,99
	Fora de Ponta - TUE	129,36	309,48
	Subtotal		

(conclusão)

Simulação de custos - Mercado Cativo 2019			
Descrição	Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Imposto (R\$)	ICMS	18%	R\$ 10.975,73
	PIS/COFINS	5%	R\$ 3.048,81
Total Distribuidora			R\$ 75.000,81
Consumo (MWh)	Grupo Gerador		R\$ 1.200,00
	Total Bandeira Tarifária Vermelha - 1		R\$ 76.200,81

Fonte: Autor (2020)

Assim para o mercado livre de energia elétrica foram consideradas as mesmas quantidades de demanda e consumo, onde há mudanças é no valor da tarifa, expressa em reais, que será de acordo com o mercado de contratação. Para o ACL não há a adição de custos com o uso de geradores e os valores referente a Tarifa de Energia (TE) que não se aplicam pois o preço de energia é livremente negociado dependente assim de preços definidos em contratos.

Por sua vez o valor definido como “CCEE/Gestão/Outros” é composto pelo valor de adesão a CCEE, a gestão realizada por uma empresa especializada quando contratada e outros gastos como a ocorrência de multas por excedentes reativos por exemplo. Esse valor é definido como R\$ 3.500,00 onde R\$ 2.500,00 são referentes a consultoria de uma empresa contratada e o restante de R\$ 1.000,00 corresponde ao rateio da taxa de adesão da CCEE bem como multas que podem ser aplicadas à excedentes de reativo, por exemplo. Lembrando que há o investimento inicial de R\$ 15.000,00 referente as adequações necessárias do SMF.

A Tabela 10 representa assim o total gasto caso o objeto de estudo migrar para o ACL. Lembrado que este é um valor único pois não depende das bandeiras tarifárias vigentes. O quesito “Consumo + Perdas” representa o consumo de ponta somado com o consumo fora de ponta da TUSD acrescido de 6,5% que representa as perdas durante a distribuição de energia elétrica para o estado do Rio Grande do Sul (ANEEL,2019). Deste modo os valores de tarifa para esse mesmo item seguem os valores estipulados no início do contrato baseados na previsões de valores do sub mercado que é adquirido a energia do mercado livre.

Tabela 10 – Custos para mercado livre de energia elétrica - 2019

Simulação de custos - Mercado Livre 2019				
	Descrição	Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	7,24	R\$ 3.617,50
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	554,70	R\$ 1.265,41
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	48,45	R\$ 6.267,50
	Ponta - TE	2,28	-	-
	Fora de Ponta - TUE	129,36	-	-

		Subtotal		R\$ 11.150,41
Imposto (R\$)	ICMS	18%		R\$ 2.007,07
	PIS/COFINS	5%		R\$ 557,52
Total Distribuidora				R\$ 13.715,00
Energia (MWh)	Consumo + Perdas ICMS	140,07	285,60	R\$ 40.002,96
		18%		R\$ 7.200,53
Total Energia				R\$ 47.203,49
CCEE/Gestão/Outros				R\$ 3.500,00
Total				R\$ 64.418,49

Fonte: Autor (2020)

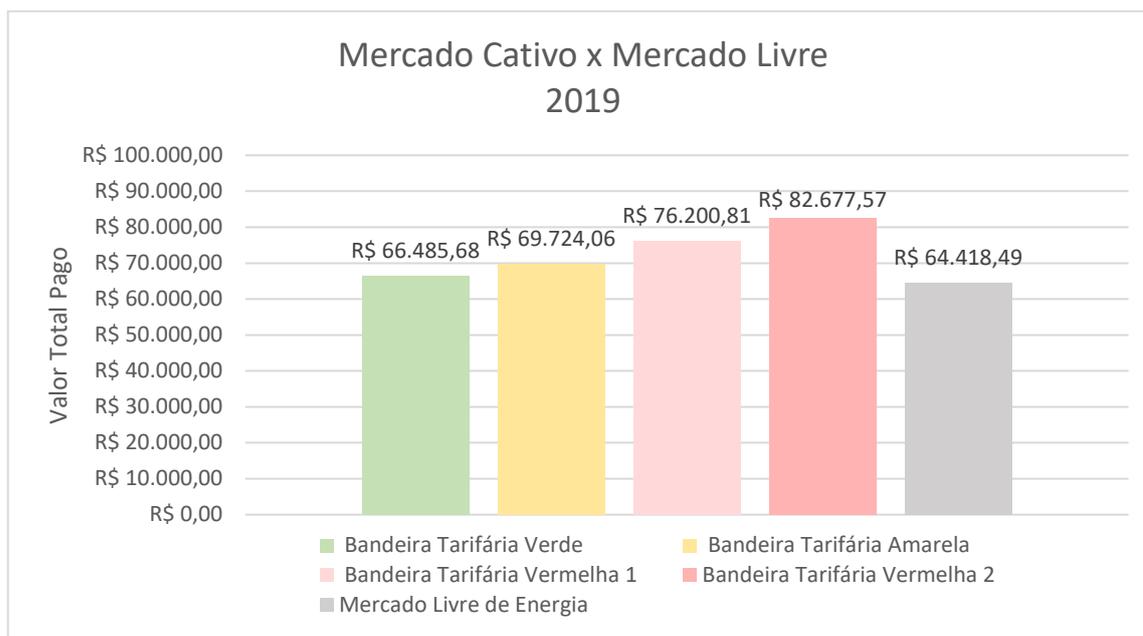
Dessa maneira foi realizado então uma comparação entre os valores obtidos para que seja possível definir a economia mensal de acordo com a bandeira tarifária, representada em valores monetários e porcentagem, apresentada pela Tabela 11. É observado que conforme a bandeira tarifária varia no mês analisado a economia se torna maior. Assim o Gráfico 5 demonstra a comparação entre os valores totais e o impacto que as bandeiras tarifárias têm sobre o aumento do valor das tarifas de energia elétrica.

Tabela 11 – Economia entre ACR x ACL - 2019

Bandeira tarifária	Cativo	Livre	Economia	%
Verde	R\$ 66.485,68	R\$ 64.418,49	R\$ 2.067,19	3,21
Amarela	R\$ 69.724,06		R\$ 5.305,57	8,24
Vermelha 1	R\$ 76.200,81		R\$ 11.782,32	18,29
Vermelha 2	R\$ 82.677,57		R\$ 18.259,08	28,34

Fonte: Autor (2020)

Gráfico 5 – Valores tarifários de energia elétrica - 2019



Fonte: Autor (2020)

Assim tendo como base os valores praticados no ano de 2019 o valor mínimo de economia é de R\$ 2.067,19 tendo o preço base como referência, representando assim 3,21% de economia, podendo chegar até R\$ 18.259,08 representando um total de 28,34% de valores economizados com a fatura mensal de energia elétrica. Esses resultados demonstram que há uma economia imediata de valores logo no primeiro mês logo após o momento de migração ao mercado livre de energia elétrica.

Dessa maneira o mesmo processo foi realizado para os quatro anos seguintes, período aconselhado para contrato de migração do mercado cativo para o mercado livre de energia elétrica. Assim foi considerado uma correção de 4,5% nos valores, o que representa o reajuste conservador anual médio baseado no Índice de Preços ao Consumidor (IPCA), o valor estimado para fins de cálculo foi baseado na meta acumulada da série histórica de dados (TORORADAR, 2019).

Portanto o processo é repetido para o ano de 2019, levando em consideração também os reajustes de bandeira tarifária aprovados devido ao *déficit* hídrico de anos anteriores. Assim o preço base sofre somente o acréscimo de 4,5% nas tarifas e a bandeira amarela, vermelha – patamar 1 e vermelha patamar 2 sofrem, além do reajuste baseado no IPCA, a adição de mais R\$ 15,00, R\$ 40,00 e R\$ 60,00, respectivamente, para cada MWh consumido (ANEEL,2019). Assim a Tabela 12 demonstra o método de cálculo do valor de energia para o preço base e a Tabela 13 retrata o cenário para a bandeira tarifária vigente como amarela. Por sua vez as

Tabelas 14 e 15 expressam os valores do mercado cativo para bandeira tarifária vermelha patamar 1 e vermelha patamar 2 respectivamente.

Tabela 12 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária verde - 2020

Simulação de custos - Mercado Cativo 2020				
Descrição		Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	15,12	R\$ 7.560,58
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	1.108,69	R\$ 2.529,21
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	50,63	R\$ 6.549,53
	Ponta - TE	2,28	458,74	R\$ 1.046,51
	Fora de Ponta - TUE	129,36	292,06	R\$ 37.780,47
Subtotal				R\$ 55.466,29
Imposto (R\$)	ICMS	18%		R\$ 9.983,93
	PIS/COFINS	5%		R\$ 2.773,31
Total Distribuidora				R\$ 68.223,54
Consumo (MWh)	Grupo Gerador			R\$ 1.200,00
Total Bandeira Tarifária Verde				R\$ 69.423,54

Fonte: Autor (2020)

Tabela 13 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária amarela - 2020

Simulação de custos - Mercado Cativo 2020				
Descrição		Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	15,12	R\$ 7.560,58
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	1.123,69	R\$ 2.563,42
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	65,63	R\$ 8.489,93
	Ponta - TE	2,28	473,74	R\$ 1.080,73
	Fora de Ponta - TUE	129,36	307,06	R\$ 39.720,87
Subtotal				R\$ 59.415,53
Imposto (R\$)	ICMS	18%		R\$ 10.694,80
	PIS/COFINS	5%		R\$ 2.970,78
Total Distribuidora				R\$ 73.081,10
Consumo (MWh)	Grupo Gerador			R\$ 1.200,00
Total Bandeira Tarifária Amarela				R\$ 74.281,10

Fonte: Autor (2020)

Tabela 14 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 1 - 2020

Simulação de custos - Mercado Cativo 2020

Descrição		Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	15,12	R\$ 7.560,58
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	1.148,69	R\$ 2.620,46
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	90,63	R\$ 11.723,94
	Ponta - TE	2,28	498,74	R\$ 1.137,76
	Fora de Ponta - TUE	129,36	332,06	R\$ 42.954,87
Subtotal				R\$ 65.997,60
Imposto (R\$)	ICMS	18%		R\$ 11.879,57
	PIS/COFINS	5%		R\$ 3.299,88
Total Distribuidora				R\$ 81.177,04
Consumo (MWh)	Grupo Gerador			R\$ 1.200,00
				Total Bandeira Tarifária Vermelha - 1 R\$ 82.377,04

Fonte: Autor (2020)

Tabela 15 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 2 - 2020

Simulação de custos - Mercado Cativo 2020				
Descrição		Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	15,12	R\$ 7.560,58
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	1.168,69	R\$ 2.666,08
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	110,63	R\$ 14.311,14
	Ponta - TE	2,28	518,74	R\$ 1.183,39
	Fora de Ponta - TUE	129,36	352,06	R\$ 45.542,07
Subtotal				R\$ 71.263,25
Imposto (R\$)	ICMS	18%		R\$ 12.827,39
	PIS/COFINS	5%		R\$ 3.563,16
Total Distribuidora				R\$ 87.653,80
Consumo (MWh)	Grupo Gerador			R\$ 1.200,00
				Total Bandeira Tarifária Vermelha - 2 R\$ 88.853,80

Fonte: Autor (2020)

A Tabela 16 representa assim a simulação de custos caso a Indústria Metalúrgica Rubizza estivesse no ambiente de contratação livre de energia elétrica. O valor total é único pois não depende de bandeiras tarifárias. Nesse caso também foram considerados o reajuste de 4,5% baseado na média do IPCA.

Tabela 16 – Custos para mercado livre de energia elétrica - 2020

Simulação de custos - Mercado Livre 2020

Descrição		Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	7,56	R\$ 3.780,29
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	579,66	R\$ 1.322,35
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	50,63	R\$ 6.549,53
	Ponta - TE	2,28	-	-
	Fora de Ponta - TUE	129,36	-	-
	Subtotal			
Imposto (R\$)	ICMS	18%		R\$ 2.097,39
	PIS/COFINS	5%		R\$ 582,61
Total Distribuidora				R\$ 14.332,17
Energia (MWh)	Consumo + Perdas	140,07	242,32	R\$ 33.940,88
	ICMS	18%		R\$ 6.109,36
Total Energia				R\$ 40.050,24
CCEE/Gestão/Outros				R\$ 3.500,00
Total				R\$ 57.882,42

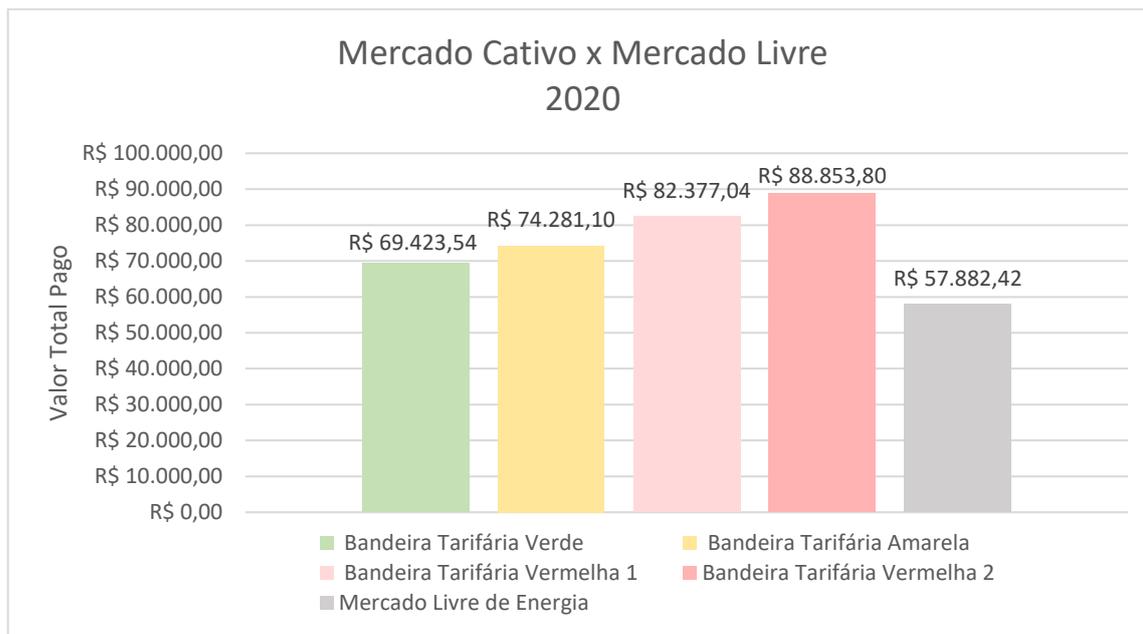
Fonte: Autor (2020)

Assim então foi realizado um estudo comparativo entre os valores obtidos para que seja determinada a economia mensal, representada em valores monetários e porcentagem, que a migração trará ao objeto de estudo no ano de 2020. A Tabela 17 demonstra os valores totais de acordo com cada mercado de contratação de energia elétrica. Deste modo, o Gráfico 6 demonstra os valores tarifários de cada mercado de contratação.

Tabela 17 – Economia entre ACR x ACL - 2020

Bandeira tarifária	Cativo	Livre	Economia	%
Verde	R\$ 69.423,54	R\$ 57.882,42	R\$ 11.541,12	19,94
Amarela	R\$ 74.281,10		R\$ 16.398,69	28,33
Vermelha 1	R\$ 82.377,04		R\$ 24.494,63	42,32
Vermelha 2	R\$ 88.853,80		R\$ 30.971,38	53,51

Fonte: Autor (2020)



Fonte: Autor (2020)

Pode ser observado que o valor mínimo de economia para o ano de 2020 é de R\$ 11.541,12 tendo como referência o preço base, ou seja, quando comparado o mercado cativo em bandeira tarifária verde e o mercado livre de energia, a economia mensal pode ser de até 19,94%. A economia máxima é de R\$ 30.971,38 quando a bandeira tarifária vigente para o mercado livre for a vermelha patamar 2, esse valor representa 53,51% de redução no valor mensal de energia elétrica ao objeto de estudo.

Para o ano de 2021, foi levado em consideração os mesmos critérios utilizados na perspectiva do ano de 2020 para o aumento da tarifa bem como os valores para as bandeiras tarifárias. Essa medida é imposta uma vez que a ANEEL havia proposto ajuste dos valores através de uma consulta pública a ser realizada no primeiro trimestre do ano. Entretanto devido ao período atípico de pandemia mundial, ela alterou de forma significativa os estudos e parâmetros utilizados para a tomada de decisões e implementou os mesmos valores monetários de bandeiras tarifárias até o final do presente ano (ANEEL,2020).

Deste modo, as Tabelas 18, 19, 20 e 21 demonstram a simulação para valores mensais de energia elétrica do mercado cativo para a Indústria Metalúrgica Rubizza quando as bandeiras tarifárias vigentes são verde, amarela, vermelha patamar 1 e vermelha patamar 2 respectivamente. Por conseguinte então a Tabela

23 demonstra o valor gasto caso o objeto de estudo estivesse no mercado livre de energia elétrica.

Tabela 18 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária verde - 2021

Simulação de custos - Mercado Cativo 2021				
Descrição		Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	15,80	R\$ 7.900,80
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	1.158,58	R\$ 2.643,02
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	52,91	R\$ 6.844,26
	Ponta - TE	2,28	479,39	R\$ 1.093,60
	Fora de Ponta - TUE	129,36	305,20	R\$ 39.480,59
Subtotal				R\$ 57.962,27
Imposto (R\$)	ICMS	18%		R\$ 10.433,21
	PIS/COFINS	5%		R\$ 2.898,11
Total Distribuidora				R\$ 71.293,60
Consumo (MWh)	Grupo Gerador			R\$ 1.200,00
Total Bandeira Tarifária Verde				R\$ 72.493,60

Fonte: Autor (2020)

Tabela 19 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária amarela - 2021

Simulação de custos - Mercado Cativo 2021				
Descrição		Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	15,80	R\$ 7.900,80
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	1.173,58	R\$ 2.677,24
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	67,91	R\$ 8.784,66
	Ponta - TE	2,28	494,39	R\$ 1.127,82
	Fora de Ponta - TUE	129,36	320,20	R\$ 41.420,99
Subtotal				R\$ 61.911,51
Imposto (R\$)	ICMS	18%		R\$ 11.144,07
	PIS/COFINS	5%		R\$ 3.095,58
Total Distribuidora				R\$ 76.151,16
Consumo (MWh)	Grupo Gerador			R\$ 1.200,00
Total Bandeira Tarifária Amarela				R\$ 77.351,16

Fonte: Autor (2020)

Tabela 20 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 1 - 2021

Simulação de custos - Mercado Cativo 2021			
Descrição	Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	15,80
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	1.198,58
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	92,91
	Ponta - TE	2,28	519,39
	Fora de Ponta - TUE	129,36	345,20
Subtotal			R\$ 68.493,58
Imposto (R\$)	ICMS	18%	R\$ 12.328,84
	PIS/COFINS	5%	R\$ 3.424,68
Total Distribuidora			R\$ 84.247,10
Consumo (MWh)	Grupo Gerador		R\$ 1.200,00
Total Bandeira Tarifária Vermelha - 1			R\$ 85.447,10

Fonte: Autor (2020)

Tabela 21 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 2 - 2021

Simulação de custos - Mercado Cativo 2021			
Descrição	Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	15,80
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	1.218,58
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	112,91
	Ponta - TE	2,28	539,39
	Fora de Ponta - TUE	129,36	365,20
Subtotal			R\$ 73.759,23
Imposto (R\$)	ICMS	18%	R\$ 13.276,66
	PIS/COFINS	5%	R\$ 3.687,96
Total Distribuidora			R\$ 90.723,86
Consumo (MWh)	Grupo Gerador		R\$ 1.200,00
Total Bandeira Tarifária Vermelha - 2			R\$ 91.923,86

Fonte: Autor (2020)

Tabela 22 – Custos para mercado livre de energia elétrica – 2021

(continua)

Simulação de custos - Mercado Livre 2021			
Descrição	Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	7,90
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	605,75
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	52,91
	Ponta - TE	2,28	-
	Fora de Ponta - TUE	129,36	-
Subtotal			R\$ 12.176,52

(conclusão)

Simulação de custos - Mercado Livre 2021				
Descrição		Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Imposto (R\$)	ICMS	18%		R\$ 2.191,77
	PIS/COFINS	5%		R\$ 608,83
Total Distribuidora				R\$ 14.977,12
Energia (MWh)	Consumo + Perdas	140,07	222,06	R\$ 31.103,14
	ICMS	18%		R\$ 5.598,57
Total Energia				R\$ 36.701,71
CCEE/Gestão/Outros				R\$ 3.500,00
Total				R\$ 55.178,83

Fonte: Autor (2020)

Dessa maneira a Tabela 23 e o Gráfico 7 demonstram a comparação entre os valores de cada mercado de contratação para o ano de 2021. Pode ser notado que a tendência de economia de valores é de aumentar ao longo dos anos após a migração.

Tabela 23 – Economia entre ACR x ACL - 2021

Bandeira tarifária	Cativo	Livre	Economia	%
Verde	R\$ 72.493,60	R\$ 55.178,83	R\$ 17.314,77	31,38
Amarela	R\$ 77.351,16		R\$ 22.172,34	40,18
Vermelha 1	R\$ 85.447,10		R\$ 30.268,28	54,85
Vermelha 2	R\$ 91.923,86		R\$ 36.745,03	66,59

Fonte: Autor (2020)

Gráfico 7 – Valores tarifários de energia elétrica - 2021



Fonte: Autor (2020)

Conclui-se então que para o ano de 2021 o valor mínimo de economia que o objeto de estudo terá é de R\$ 17.314,77 representando assim 31,38%. Esse valor é variável conforme a bandeira tarifária vigente e assim é observado que a maior economia de valores é quando a bandeira tarifária vigente é a vermelha patamar 2, demonstrando assim que serão economizados R\$ 36.745,03 sendo equivalente a 66,59%.

Como o período de contrato aconselhável para migração é de quatro anos, a última análise realizada foi para o ano de 2022. Assim ambos os processos são repetidos, levando em consideração novamente os ajustes anuais baseados no IPCA. Deste modo as Tabelas 24 e 25 demonstram a simulação para o mercado cativo na bandeira tarifária vigente como verde e amarela respectivamente. Por sua vez a Tabela 26 equivale a bandeira tarifária vermelha patamar 1 e a Tabela 27 demonstra o mercado cativo de energia elétrica para a bandeira tarifária vermelha patamar 2. Já a Tabela 28 demonstra a simulação no ACL após a migração.

Tabela 24 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária verde - 2022

Simulação de custos - Mercado Cativo 2022				
Descrição		Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	16,51	R\$ 8.256,34
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	1.210,72	R\$ 2.761,96
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	55,29	R\$ 7.152,25
	Ponta - TE	2,28	500,96	R\$ 1.142,82
	Fora de Ponta - TUE	129,36	318,93	R\$ 41.257,21
Subtotal				R\$ 60.570,58
Imposto (R\$)	ICMS	18%		R\$ 10.902,70
	PIS/COFINS	5%		R\$ 3.028,53
Total Distribuidora				R\$ 74.501,81
Consumo (MWh)	Grupo Gerador			R\$ 1.200,00
Total Bandeira Tarifária Verde				R\$ 75.701,81

Fonte: Autor (2020)

Tabela 25 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária amarela – 2022

(continua)

Simulação de custos - Mercado Cativo 2022				
Descrição		Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	16,51	R\$ 8.256,34
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	1.225,72	R\$ 2.796,17
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	70,29	R\$ 9.092,66

(conclusão)

Simulação de custos - Mercado Cativo 2022			
Descrição	Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Consumo (MWh)	Ponta - TE	2,28	R\$ 1.177,03
	Fora de Ponta - TUE	129,36	R\$ 43.197,61
Subtotal			R\$ 64.519,82
Imposto (R\$)	ICMS	18%	R\$ 11.613,57
	PIS/COFINS	5%	R\$ 3.225,99
Total Distribuidora			R\$ 79.359,37
Consumo (MWh)	Grupo Gerador		R\$ 1.200,00
Total Bandeira Tarifária Amarela			R\$ 80.559,37

Fonte: Autor (2020)

Tabela 26 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 1 - 2022

Simulação de custos - Mercado Cativo 2022			
Descrição	Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	R\$ 8.256,34
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	R\$ 2.853,21
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	R\$ 12.326,66
	Ponta - TE	2,28	R\$ 1.234,07
	Fora de Ponta - TUE	129,36	R\$ 46.431,62
	Subtotal		
Imposto (R\$)	ICMS	18%	R\$ 12.798,34
	PIS/COFINS	5%	R\$ 3.555,09
Total Distribuidora			R\$ 87.455,32
Consumo (MWh)	Grupo Gerador		R\$ 1.200,00
Total Bandeira Tarifária Vermelha - 1			R\$ 88.655,32

Fonte: Autor (2020)

Tabela 27 – Custos para mercado cativo bandeira tarifária vermelha 2 – 2022

(continua)

Simulação de custos - Mercado Cativo 2022			
Descrição	Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	R\$ 8.256,34
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	R\$ 2.898,83
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	R\$ 14.913,86
	Ponta - TE	2,28	R\$ 1.279,69
	Fora de Ponta - TUE	129,36	R\$ 49.018,82
	Subtotal		

(conclusão)

Simulação de custos - Mercado Cativo 2022				
Descrição		Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Imposto (R\$)	ICMS	18%		R\$ 13.746,16
	PIS/COFINS	5%		R\$ 3.818,38
Total Distribuidora				R\$ 93.932,07
Consumo (MWh)	Grupo Gerador			R\$ 1.200,00
Total Bandeira Tarifária Vermelha - 2				R\$ 95.132,07

Fonte: Autor (2020)

Tabela 28 – Custos para mercado livre de energia elétrica - 2020

Simulação de custos - Mercado Livre 2022				
Descrição		Quantidade	Tarifa (R\$)	Total
Demanda (kW)	Ponta - TUSD	500	-	-
	Fora de Ponta - TUSD	500	8,26	R\$ 4.128,17
Consumo (MWh)	Ponta - TUSD	2,28	633,00	R\$ 1.444,04
	Fora de Ponta - TUSD	129,36	55,29	R\$ 7.152,25
	Ponta - TE	2,28	-	-
	Fora de Ponta - TUE	129,36	-	-
Subtotal				R\$ 12.724,46
Imposto (R\$)	ICMS	18%		R\$ 2.290,40
	PIS/COFINS	5%		R\$ 636,22
Total Distribuidora				R\$ 15.651,09
Energia (MWh)	Consumo + Perdas	140,07	213,43	R\$ 29.894,37
	ICMS		18%	R\$ 5.380,99
Total Energia				R\$ 35.275,35
CCEE/Gestão/Outros				R\$ 3.500,00
Total				R\$ 54.426,45

Fonte: Autor (2020)

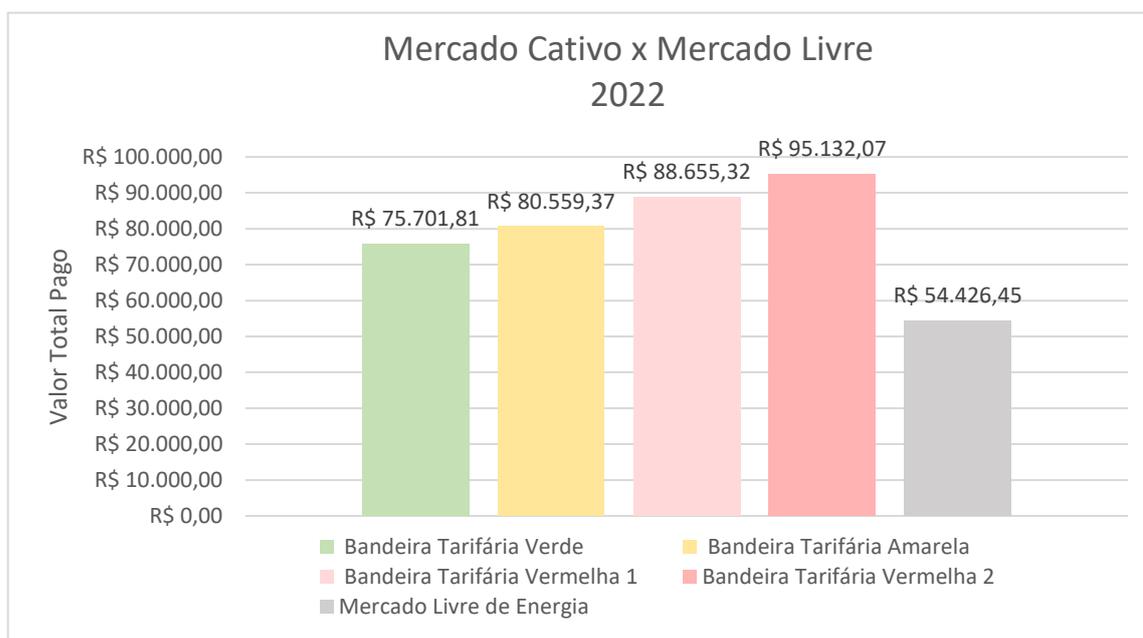
Por fim, foi realizado a comparação entre os valores obtidos para que seja possível determinar a economia que a migração ao mercado livre de energia elétrica trará ao objeto de estudo. A Tabela 29 demonstra os resultados obtidos e o Gráfico 8 demonstra a comparação de valores entre cada mercado de contratação de energia elétrica.

Tabela 29 – Economia entre ACR x ACL - 2022

Bandeira tarifária	Cativo	Livre	Economia	%
Verde	R\$ 75.701,81	R\$ 54.426,45	R\$ 21.275,36	39,09
Amarela	R\$ 80.559,37		R\$ 26.132,93	48,02
Vermelha 1	R\$ 88.655,32		R\$ 34.228,87	62,89
Vermelha 2	R\$ 95.132,07		R\$ 40.705,62	74,79

Fonte: Autor (2020)

Gráfico 8 – Valores tarifários de energia elétrica - 2022



Fonte: Autor (2020)

Dessa maneira, foi possível determinar que a economia de valores pagos de energia elétrica pode variar de R\$ 21.275,36 até R\$ 40.705,62 representando assim 39,09% e 74,79% respectivamente. A variação ocorre devido as bandeiras tarifárias vigentes em cada período analisado, mas mesmo levando em consideração o preço base, a economia já se torna bastante significativa para a Indústria Metalúrgica Rubizza.

4.2.3. Economia dos valores pagos

Assim então após a simulação da migração ao mercado livre de energia elétrica, foi possível determinar qual a economia anual que o proprietário da empresa terá durante o período de contrato. Deste modo, quando multiplicado os valores de economia mensal pela quantidade de meses em um ano, 12 meses, obtém-se a economia anual conforme a bandeira tarifária vigente. A Tabela 30 demonstra os resultados obtidos.

Tabela 30 – Economia anual conforme bandeira tarifária

Economia anual conforme bandeira tarifária				
Bandeira tarifária	2019	2020	2021	2022
Verde	R\$ 24.806,32	R\$ 138.493,44	R\$ 207.777,24	R\$ 255.304,36
Amarela	R\$ 63.666,84	R\$ 196.784,22	R\$ 266.068,03	R\$ 313.595,15
Vermelha 1	R\$ 141.387,88	R\$ 293.935,53	R\$ 363.219,33	R\$ 410.746,45
Vermelha 2	R\$ 219.108,93	R\$ 371.656,57	R\$ 440.940,37	R\$ 488.467,49

Fonte: Autor (2020)

O valor de economia equivale a R\$ 24.806,32 no primeiro ano de migração se a bandeira tarifária for verde e pode chegar até o seu valor máximo de R\$ 488.467,49 no último ano de migração se a bandeira tarifária vigente for vermelha patamar 2. Demonstrando assim uma grande vantagem de economia de valores pagos imediatamente após a migração. Deste modo então, a Tabela 31 demonstra a economia total, conforme bandeiras tarifárias, que o objeto de estudo terá após a migração. Ressaltando o fato que a simulação tem como o horizonte de quatro anos de estudo.

Tabela 31 – Economia total conforme bandeira tarifária

Economia total conforme bandeira tarifária	
Bandeira tarifária	Total
Verde	R\$ 626.381,36
Amarela	R\$ 840.114,23
Vermelha	R\$ 1.209.289,19
Vermelha 2	R\$ 1.520.173,36

Fonte: Autor (2020)

Pode-se observar então que os valores economizados são de, no mínimo, R\$ 626.381,36 e no máximo de R\$ 1.520.173,36. Destacando também que esses valores podem variar de acordo com fatores como aumento anual da tarifa de energia, alteração do preço de energia comercializada no mercado livre, manutenções necessárias no sistema, aumento de impostos incidentes, entre outros.

4.2.4. Energia solar fotovoltaica

Para a implantação de energia solar fotovoltaica deve-se ter conhecimento da localização exata do objeto para que assim seja possível determinar se a insolação é suficiente para a geração de energia elétrica. Como visto anteriormente, o nosso país é bastante privilegiado neste assunto e possui um grande potencial de geração de energia.

A Indústria Metalúrgica Rubizza está localizada na Estrada Municipal Valentin Venturini, nº 5551, Bairro Monte Bérico, em Caxias do Sul e possui como coordenadas de latitude -29.130728° Sul e longitude -51.236958° Oeste. Assim para essa localidade, baseado em dados do *software* SunData versão 3.0 que tem como base a estação localizada a 3,5 km do objeto de estudo, tem-se uma média de radiação solar de $4,43 \text{ kWh/m}^2$ dia. Esse valor, é baseado nos dados do ano de 2017, variando em cada mês, tendo o seu valor mínimo registrado no mês de junho com $2,41 \text{ kWh/m}^2$. dia e seu valor máximo no mês de dezembro de $6,49 \text{ kWh/m}^2$. dia (CRESESB, 2018).

Outro dado a ser levado em consideração é a irradiância na condição padrão, conhecida como GSTC, que tem como valor determinado 1.000 W/m^2 (SOUZA, 2016). Deste modo é determinada a performance ratio do sistema de geração de energia, que designa a relação entre o rendimento real e o rendimento esperado do sistema fotovoltaico, para esse caso determinado em 80%.

Baseado no consumo médio total de $131.641,33 \text{ kWh/mês}$ pode-se então determinar qual será a energia média gerada necessária para atender a demanda do objeto de estudo, tendo como base a média solar. Dessa maneira foi utilizado o módulo de energia fotovoltaica policristalino de 345 Wp do fornecedor RISEN pelo fato de que a empresa possui o compromisso com testes de qualidade rigorosos, seus produtos possuem certificação Classe A do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro) como também a sua preocupação com o meio ambiente garantindo assim a 7^o colocação no *ranking* mundial de maiores fabricantes de painéis solares (COLVILLE, 2019). Estes fatos, bem como a disponibilidade de venda destes módulos na região de Caxias do Sul garantem essa escolha de fornecedor. Assim as especificações técnicas do produto constam no Anexo A.

A Tabela 32 demonstra os parâmetros necessários para a instalação do sistema de geração de energia fotovoltaica. Assim então baseado na potência do produto foi determinado a necessidade de 3.590 módulos fotovoltaicos para que seja possível gerar o equivalente a 131.683 kWh/mês , atendendo a demanda média de energia que a empresa necessita.

Tabela 32 – Parâmetros de dimensionamento energia fotovoltaica

Parâmetros para dimensionamento		
Parâmetros	Grandeza	
Local	Caxias do Sul	
Média Solar	4,43	kWh/m^2 .dia

GSTC	1.000	W/m ²
Performance Ratio	80	%
Tempo	30	dias
Potência do Módulo	345	Wp
Quantidade de Módulos	3.590	unidade
Potência Instalada	1.238,55	kWp
Energia Gerada	131.683	kWh/mês
Consumo Médio Mensal	131.641,33	kWh/mês

Fonte: Autor (2020)

Desse modo então a Tabela 33 demonstra informações importantes dos arranjos fotovoltaicos da instalação em questão. Demonstrando assim dados como o material utilizado, bem como a eficiência dos módulos, peso e suas dimensões.

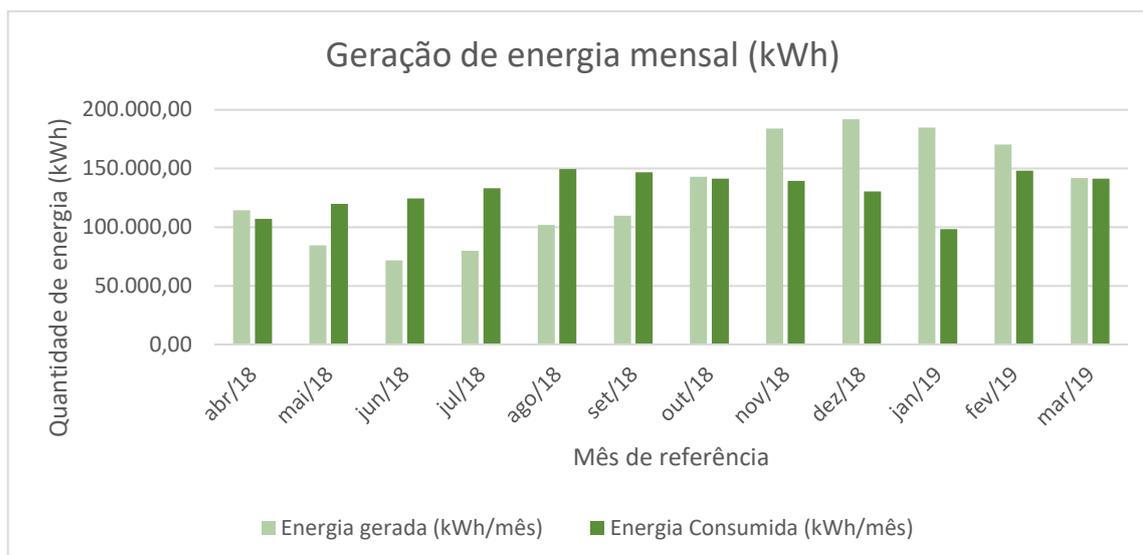
Tabela 33 – Características dos arranjos fotovoltaicos

Dados Arranjos Fotovoltaicos		
Descrição	Grandeza	
Material do painel fotovoltaico	Policristalino	
Eficiência do módulo	18,04	%
Arranjo das células	72 (6x12)	
Dimensão (AxLxE)	1956x992x40	mm
Peso unitário	22	kg
Peso total	78,98	ton
Área unitária	1,940	m ²
Área total necessária	6.965,86	m ²

Fonte: Autor (2020)

O Gráfico 9 compara a energia gerada pelo sistema com a energia consumida pelo Indústria Metalúrgica Rubizza mensalmente de acordo com a média solar no ângulo de plano horizontal disponível no *software* SunData versão 3.0. Realizando a simulação dos dados é possível observar os meses em que há maior e menor geração de energia, baseados nos dados de consumo do período analisado.

Gráfico 9 – Energia gerada x Energia consumida



Fonte: Autor (2020)

Foi observado que durante o período de temperaturas mais elevadas como novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, há uma geração de energia maior que a energia consumida. Esse fato ocorre justamente pela média solar registrada ser maior devido a maior incidência de raios solares no território brasileiro. Assim para esse período os créditos excedentes são injetados na rede elétrica a qual o objeto de estudo está interligado ocorrendo a compensação da energia excedente gerada.

Por sua vez, os meses que registram uma menor geração de energia por parte do sistema são os meses de maio, junho, julho e agosto que compreendem o período de inverno em Caxias do Sul. Durante esse período a energia consumida se torna maior que a energia gerada, não ocorrendo assim a compensação de créditos e a energia faltante deve ser suprida através da rede elétrica da concessionária responsável.

Conforme dados do gráfico 9 é demonstrado que o sistema atende sete dos doze meses analisados, possuindo assim um desempenho aceitável ao objeto de estudo. Uma solução para que em todos os meses a energia gerada supra a energia consumida é redimensionar o sistema para um maior número de módulos na instalação, encarecendo ainda mais o sistema instalado. Como também pode-se utilizar módulos fotovoltaicos com uma maior potência ou então utilizar o ângulo de inclinação conforme a latitude do objeto de estudo aumentando assim a média solar incidente no sistema.

Deste modo foi determinado o uso do inversor SIW500H ST060 da marca WEG onde suas especificações técnicas constam no Anexo B. Essa escolha se dá pelo fato de o produto estar disponível para a venda na região de Caxias do Sul e por possuir monitoramento inteligente de *strings* com economia de tempo na detecção de falhas bem como a garantia de segurança para o sistema como um todo. Para o presente estudo foram dimensionados 16 inversores que irão suprir o sistema instalado e serão responsáveis por fornecer energia em corrente alternada na tensão desejada. Também há o acesso ao aplicativo SolarView que demonstra todas as informações em tempo real da instalação de geração de energia elétrica. Devem ser utilizados 5 DPS do modelo CA SPW275-20 do fornecedor WEG que é responsável pela proteção contra surtos elétricos de tensão na rede onde suas especificações técnicas constam no Anexo C.

Assim deste modo para o sistema fora necessários 215 unidades do conector Risen Twinsel PV-SY02, IP68 que facilitará a conexão entre os painéis seguindo o modelo recomendado pelo fabricante dos módulos fotovoltaicos. Por sua vez a interligação entre os módulos fotovoltaicos e os equipamentos da instalação devem ser realizadas por meio do cabo Condumax Solarmax Flex SN 6 mm² na cor preta e também na cor vermelha, sendo utilizados 9300 m de cada um deles e suas especificações técnicas constam no Anexo D. Já o disjuntor utilizado para o sistema é o modelo CA DWB160B125-3DX do fornecedor WEG onde suas características técnicas estão contidas no Anexo E sendo necessário 16 unidades do produto.

Por fim os módulos fotovoltaicos devem instalados em uma estrutura metálica que manterá o sistema na mesma inclinação do telhado do objeto de estudo, deste modo serão utilizadas 898 estruturas para a fixação da instalação. A Tabela 34 demonstra os quantitativos de cada material utilizado para a geração fotovoltaica de 1238,55 kWp.

Tabela 34 – Componentes do sistema de energia fotovoltaica
(continua)

Componentes Gerador Fotovoltaico			
Quantidade	Material	Grandeza	Descrição
3.590	Módulo	unidade	Módulo Fotovoltaico Policristalino RSM72-6-345P RISEN
16	Inversor	unidade	Inversor SIW500H ST060 WEG
1	Monitoramento	unidade	SolarView
5	Proteção	unidade	DPS CA SPW275-20 WEG
215	Conector	unidade	Conector Risen Twinsel PV-SY02, IP68

(conclusão)

Componentes Gerador Fotovoltaico			
Quantidade	Material	Grandeza	Descrição
9.300	Cabo	metros	Condumax Solarmax Flex SN 6 mm ² PT
9.300	Cabo	metros	Condumax Solarmax Flex SN 6 mm ² VM
16	Disjuntor	unidade	Disjuntor CA DWB160B125-3DX WEG
898	Estrutura	unidade	Estrutura metálica de fixação 4 módulos

Fonte: Autor (2020)

Após determinar todas as componentes do sistema, bem como informações relevantes dos equipamentos, pode-se então determinar a melhor área de instalação do sistema levando em consideração também o peso total. Deste modo a área necessária para a instalação do sistema é de 6.965,86 m² possuindo um peso total de 78,98 toneladas. Avaliando a planta de cobertura do objeto de estudo, é determinado então se será necessária área livre em solo para o sistema em questão. Ressaltando o fato de que cada placa tem seu peso unitário de 22 kg e necessita de uma área de 1,94 m².

Assim a Indústria Metalúrgica Rubizza possui uma área total construída de 9.400 m², porém desse total há somente 8200 m² disponíveis de cobertura para a realização da instalação do sistema. Neste total estão inclusos a área de cobertura de escritórios, pavilhões e refeitório. Dessa maneira atende a área necessária dimensionada de 6.965,86 m². Assim então a Figura 18 demonstra as áreas disponíveis para instalação do sistema.

Figura 18 – Áreas disponíveis para instalação



Fonte: Adaptado Google Earth (2020)

Desta forma a área em azul denominada como área 1 possui um total de 4.368 m² abrangendo a área administrativa e área de produção empresa. Por sua vez a área 2, sinalizada em amarelo, demonstra a área de expansão da empresa e possui 3.500 m² de cobertura, abrangendo também a área de escritórios e fabril. Já a área 3 em verde, representa o refeitório e possui 365 m² de área de cobertura. Ressaltando o fato que todas as possíveis áreas de instalação são orientadas para o sentido Leste – Oeste e nenhuma possui possível efeito de sombreamento.

Em vista disso, para uma melhor organização do sistema, dividiu-se a instalação do sistema entre as três edificações, sendo 1.890 módulos na área 1, 1.700 módulos na área 2 e 100 módulos instalados na área 3. Somente foi considerado a área de cobertura uma vez que a área em solo é utilizada para o estacionamento de veículos de clientes e funcionários, sendo aproveitada também como área de manobras para os caminhões que entregam e retiram mercadorias. Assim levando em conta que cada módulo fotovoltaico possui 1,940 m² de área total foi determinado que será ocupado 3.667 m² na área 1, 3.299 m² na área 2 e 194 m² para a área 3.

Outro fator relevante é o peso do sistema instalado, assim como cada módulo pesa em torno de 22 kg tem-se que a instalação a área 1 possui 41,58 toneladas ao total, a área 2 por sua vez deve suportar um peso de 37,40 toneladas e assim a área 3 tem 2,20 toneladas como peso total. Avaliando o sistema construtivo de cada área pode-se determinar que a área de escritórios e refeitório é composta por alvenaria e telhado de fibrocimento, por sua vez a área fabril é composta por placas cimentícias e possui o sistema de estrutura com terças metálicas coberta por telhas do modelo sanduíche. Assim pode-se avaliar, junto com a análise do projeto estrutural, que a cobertura suporta o sistema instalado sendo permitida a sua instalação no local.

Dessa maneira então avaliando as componentes necessárias para o sistema foi determinado um custo total de R\$ 3.963.178,17 para a instalação, seguindo todas as normas vigentes da concessionária que atende a localidade. Lembrando que esse é um fator essencial, uma vez que o sistema em questão é on-grid, ou seja, conectado à rede elétrica. No valor citado está somente o custo das componentes e instalação do sistema, sendo excluído valores periódicos com manutenções necessárias ou juros incidentes em valores financiados por exemplo.

4.3. ESTUDO DE VIABILIDADE

Após a análise da migração ao mercado livre de energia elétrica e a implantação de um sistema de energia fotovoltaica foi realizado a análise financeira entre cada método para que então seja possível determinar qual é o mais viável para a Indústria Metalúrgica Rubizza. Com base no valor de investimento foi determinado então o TRI, VPL, TIR e a economia gerada de cada possibilidade de contratação de energia elétrica.

4.3.1. Análise financeira

Para analisar financeiramente um projeto vários itens são levado em consideração, para o presente projeto foi verificado três itens de suma importância. O TRI que demonstra o tempo de retorno do valor investido e para que o projeto em questão seja economicamente viável, o valor resultante deve ser inferior a vida útil do sistema. Por sua vez o VPL, baseado em uma TMA, que define se o investimento possui um rendimento melhor quando comparado a uma aplicação livre de riscos. Já o TIR que define a taxa de crescimento esperada do projeto. Essas análises serão realizadas isoladamente para cada possibilidade de contratação para após serem comparadas.

4.3.1.1. Energia Solar Fotovoltaica

Para o estudo de viabilidade da energia solar fotovoltaica foi estabelecido um aumento da tarifa anual estimado de 4,5%, seguindo assim o mesmo reajuste considerado para o mercado livre de energia elétrica, sendo baseado na série histórica de dados do IPCA. Os rendimentos dos painéis por sua vez sofrem perda de eficiência com o passar dos anos de funcionamento, sendo assim, não geram a mesma potência durante toda sua vida útil. No primeiro ano do sistema instalado é estimada uma perda de eficiência entre 1% a 2% e nos demais anos de 0,5% a 0,8% (FEIJÓO, 2017). Para o presente trabalho então foi considerado valores médios de perda de eficiência de 1,5% para o primeiro ano de funcionamento e de 0,65% para os demais anos. Lembrando que foi adotado 25 anos de vida útil do projeto.

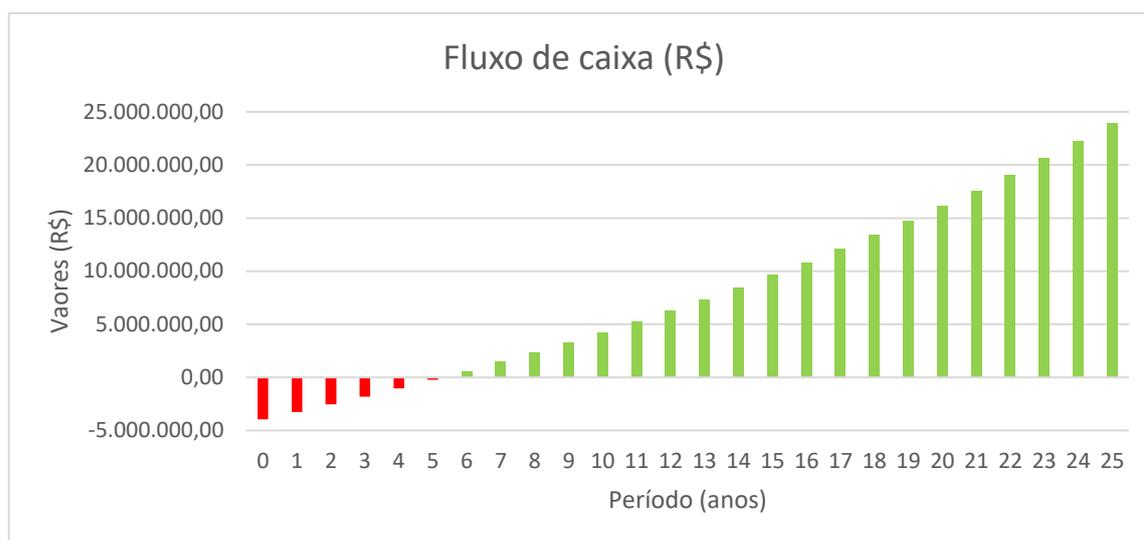
Deste modo a geração solar anual foi obtida pela multiplicação da energia gerada mensalmente pelo rendimento dos painéis pelos doze meses do ano. Assim

pode se ter o conhecimento de quantos kWh/ano o sistema irá gerar levando em consideração a perda de eficiência dos painéis. Com isso foi possível também determinar qual será a economia anual gerada para a empresa com a instalação do sistema, para isso foi multiplicado os valores de geração solar anual pelo custo do kWh de cada ano.

Em vista disso, com as informações disponíveis foi possível determinar os valores acumulados de economia ao longo dos anos de instalação do sistema como também o retorno do investimento a cada ano. Os dados acima citados são imprescindíveis para que a análise financeira do sistema seja realizado de forma correta e para melhor visualização o Apêndice A demonstra os dados tabelados.

Assim, para a definição do TRI, tem-se como base os valores acumulados ao longo dos anos da instalação, sendo observado um tempo de retorno de investimento de aproximadamente 5 anos, 3 meses e 22 dias que pode ser verificado no Gráfico 10. Já para o VPL, foi utilizado uma TMA de 9,96 % que representa a média dos valores acumulados da taxa SELIC dos últimos 10 anos (BRASIL, 2020), sendo encontrado assim um valor de final positivo de R\$ 3.642.394,00. Por sua vez para a TIR foi obtido uma taxa de aproximadamente 19,85 %. A economia gerada com esse sistema, ao longo de sua vida útil, é de aproximadamente R\$ 23.898.918,35. Com esses dados pode-se definir que a instalação do sistema de energia fotovoltaica é viável para a empresa. Um dos principais fatos é pela TIR ser maior que a TMA, sendo assim o projeto tem um rendimento de valores melhor do que o mercado financeiro de poupanças, por exemplo.

Gráfico 10 – Fluxo de caixa para instalação do sistema de energia fotovoltaica



Fonte: Autor (2020)

4.3.1.2. Mercado livre de energia elétrica

Para a migração ao mercado livre de energia elétrica foi realizado a análise financeira somente para a bandeira tarifária verde por ser o cenário mais arriscado, uma vez que possui uma menor economia de valores. Foi analisado somente o tempo de vigência do contrato estipulado de 4 anos de migração. Assim para o investimento inicial foi considerado os valores de adequação ao SMF e a taxa de adesão à CCEE, bem como o valor de uma consultoria mensal pago para uma empresa contratada. Deste modo a economia anual consiste nos valores que serão economizados após a migração ao ACL e quando subtraído as saídas previstas de caixa, apresenta o saldo de gastos previstos. Assim é possível determinar os valores acumulados ao longo dos anos. A Tabela 35 demonstra a análise de viabilidade para a bandeira tarifária verde.

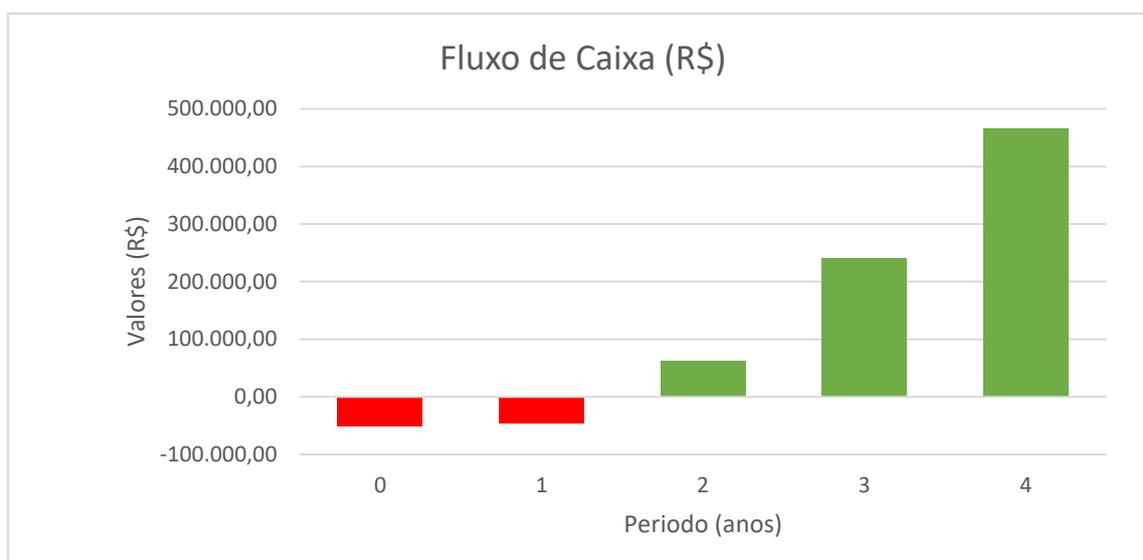
Tabela 35 – Análise financeira para o ACL

Ano de Referência		0	1	2	3	4
Dados analisados	Grandeza					
Economia anual gerada	R\$		R\$ 24.806,32	R\$ 138.493,44	R\$ 207.777,24	R\$ 255.304,36
Saídas previstas	R\$	-R\$ 51.123,00	-R\$ 30.000,00	-R\$ 30.000,00	-R\$ 30.000,00	-R\$ 30.000,00
Saldo	R\$	-R\$ 51.123,00	-R\$ 5.193,68	R\$ 108.493,44	R\$ 177.777,24	R\$ 225.304,36
Valores acumulado	R\$	-R\$ 51.123,00	-R\$ 45.929,32	R\$ 62.564,12	R\$ 240.341,36	R\$ 465.645,73
TRI	anos	1,63				
VPL	R\$	R\$ 47.668,58				
TIR	%	13%				

Fonte: Autor (2020)

Foi observado um TRI de 1 ano, 7 meses e 17 dias com base nos valores acumulados que podem ser observados no Gráfico 11. Para o VPL, foi utilizado o mesmo valor de TMA baseado nos valores acumulados da taxa SELIC, sendo obtido um valor positivo de R\$ 47.668,58. Por sua vez para a TIR foi obtido um valor de aproximadamente 13%. Deste modo para a bandeira tarifária verde foi determinado que a migração ao mercado de energia elétrica por parte do objeto de estudo é economicamente viável e a mesma trará uma economia de aproximadamente R\$ 465.645,73. A viabilidade é constatada pelo fato do VPL ser maior que zero, representando que na TMA considerada, as receitas são maiores que as despesas. Como também a TIR possuir um valor atrativo e o seu TRI ocorrer logo após a migração ao ACL.

Gráfico 11 – Fluxo de caixa para a migração ao ACL



Fonte: Autor (2020)

4.3.1.3. Energia Solar Fotovoltaica x Mercado Livre de Energia Elétrica

Realizando a comparação entre a análise financeira para a implantação de um sistema de geração de energia fotovoltaica e a migração para o mercado livre de energia elétrica tem-se os dados apresentados na Tabela 36. Assim foi observado qual das possibilidades de contratação de energia é mais benéfica a empresa.

Tabela 36 – Análise financeira das possibilidades de contratação
Análise de Viabilidade

Dados analisados	Grandeza	Energia Fotovoltaica	Mercado Livre
Valor Total do Investimento Inicial	R\$	R\$ 3.963.178,17	R\$ 51.123,00
Valor Total Economizado	R\$	R\$ 23.898.918,35	R\$ 465.645,73
TRI	anos	5,32	1,63
VPL	R\$	R\$ 3.642.394,00	R\$ 47.668,58
TIR	%	19,85%	13,00%

Fonte: Autor (2020)

Assim foi constatado um valor de investimento no primeiro ano de R\$ 3.963.178,17 para a energia solar fotovoltaica e R\$ 51.123,00 para a migração ao mercado livre de energia elétrica. Por sua vez, ao final do período analisado foi constatado uma economia total de R\$ 23.898.918,35 para o sistema fotovoltaico e R\$ 465.645,73 para o mercado livre de energia elétrica. Por fim, as análises financeiras resultaram em um TRI de 5,23 anos, um VPL de R\$ 3.642.394,00, baseado na TMA de 9,96%, e um TIR de 19,85% para a implantação de um sistema de energia fotovoltaica ao objeto de estudo. Já para a migração ao ACL foi obtido um TRI de 1,63 anos, um VPL de R\$ 47.668,58, levando em consideração uma TMA de 9,96%, e um TIR de 13%.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, o custo elevado de energia elétrica demonstra uma preocupação aos consumidores. Muitas campanhas para a economia de energia elétrica são realizadas, porém em casos específicos tais medidas não podem ser empregadas. O consumo de energia elétrica da Indústria Metalúrgica Rubizza é relativamente alto e a busca por fontes de energia limpas e renováveis está cada vez mais intensa, visando, principalmente, a redução dos impactos ambientais causados pelas fontes de energias convencionais e os valores gastos mensalmente.

Dessa maneira, a aplicação de maneiras distintas de contratação de energia se fez necessária levando em consideração a migração ao ACL e a implantação de energia solar fotovoltaica, questões que, atualmente, estão em pauta nos veículos de comunicação. Deste modo o presente trabalho demonstrou o estudo de viabilidade entre as duas maneiras citadas, avaliando principalmente fatores financeiros.

Assim as faturas de energia do período compreendido entre abril de 2018 a março de 2019 foram analisadas e determinado um valor médio de consumo de ponta de 2,28 MWh e de 129,36 kWh para o consumo fora de ponta. Foi definido também que a empresa não possui uma sazonalidade de consumo uma vez que depende exclusivamente da prestação de serviços de clientes. Portanto, os maiores consumos de energia elétrica retratam uma maior demanda de trabalho.

Uma das possíveis alternativas para redução de valores com energia elétrica é a aplicação de um sistema de geração de energia fotovoltaica composto por 3.590 módulos, demandando uma grande área útil para a instalação e um alto investimento inicial monetário podendo ocorrer a necessidade de financiamentos. Um fator a destacar é que a área de cobertura da edificação é orientada para o Leste - Oeste, podendo ocorrer uma geração de energia abaixo da esperada. Essa possibilidade foi considerável viável baseado no seu tempo de retorno que foi de 5 anos, 3 meses e 22 dias.

Por sua vez, outra possibilidade avaliada foi a migração para o mercado livre de energia elétrica com a contratação de 131,64 MWh proveniente de fontes renováveis, reduzindo significativamente os valores pagos com energia elétrica a concessionária responsável. O tempo de retorno de investimento para essa possibilidade é mais breve, ocorrendo em 1 ano, 7 meses e 17 dias após o início da

migração e o seu investimento inicial é 98,7 % menor que o necessário para a energia solar fotovoltaica.

Analisando detalhadamente cada cenário, se observa que ambos apresentam viabilidade de implementação, sendo que o investimento inicial consequentemente interfere no tempo de retorno de cada investimento. Portanto analisando os valores e o fluxo de caixa da Indústria Metalúrgica Rubizza é aconselhável a migração ao mercado livre de energia elétrica uma vez que os valores inicialmente investidos são menores e a fatura de energia elétrica sofre redução a partir do primeiro mês no ACL, não ocorrendo interferências na cobertura de cada edificação.

Em vista disso, é importante a contratação de uma empresa de consultoria do setor para realizar o devido assessoramento nesta etapa. Assim ela é responsável pelas questões burocráticas bem como adequações que possam ocorrer para que o contrato seja sempre adequado ao consumidor. Deste modo é estipulado a negociação bilateral pela oferta de energia entre o consumidor e a distribuidora.

É de suma importância ressaltar que a economia com a participação no Mercado Livre de energia se dá quando o consumidor faz o seu contrato com bons preços e com o volume de energia bem próximo do que realmente consome. Além disso, a economia também depende do perfil de consumo de cada cliente, e por isso a realização de um estudo de viabilidade de migração para o Mercado Livre antes da denúncia do contrato com a distribuidora se mostra essencial.

5.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No presente capítulo serão abordados algumas recomendações para futuras pesquisas com o objetivo de aprimorar ou complementar o estudo do presente trabalho. Em alguns itens são descritos assuntos que não foram levados em consideração durante a elaboração deste documento mas que podem ser explorados em trabalhos futuros.

É aconselhável a consideração dos custos com manutenção e trocas dos equipamentos bem como a simulação de financiamentos de valores do investimento inicial para a instalação de sistemas fotovoltaicos. Deste modo o valor desembolsado para o sistema se aproxima cada vez mais da realidade. Outra alternativa possível é o estudo do aluguel de um sistema fotovoltaico em que os valores monetários seriam

certamente bem reduzidos e os custos adicionais já estariam previstos na parcela fixa do aluguel mensal.

Por sua vez, para o mercado livre de energia elétrica, na análise das faturas de energia elétrica pode ser levado em considerações o impacto de reativos incidentes no consumo causados por um alto número de máquinas conectadas a rede elétrica. Outra questão é também considerar um consumo maior a ser contratado mensalmente para que todos os meses se enquadrem entre o *take* mínimo e *take* máximo e que o risco a exposição ao mercado de curto prazo seja inferior à apresentada neste documento. Da mesma forma, pode ser levado em consideração os valores do Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) que ocorrem quando há diferenças entre a energia contratada e a energia consumida.

Uma análise de um sistema híbrido também pode ser levado em consideração, onde o sistema de geração de energia fotovoltaica estaria acoplado ao mercado livre de energia elétrica. Assim, os painéis fotovoltaicos são utilizados para o próprio consumo de energia elétrica do estabelecimento ao mesmo tempo que o local está enquadrado no ACL. Deste modo, não ocorrendo interferências por parte dos sistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRACEEL, Associação Brasileira dos Comercializadores de Energia -. **Boletim ABRACEEL da Energia Livre**. 2020. Disponível em: <https://abraceel.com.br/wp-content/uploads/post/2020/04/Boletim04-Abril.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2020.

AGAPITO, Cassiano Augusto. **Fontes renováveis de energia elétrica: competitividade e participação na expansão do parque gerador brasileiro**. 2008. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258231/1/Agapito_CassianoAugusto_M.pdf. Acesso em: 14 mar. 2020.

ALMEIDA, Eliane et al. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. **Engenharias Online**, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, p. 21-33, out. 2015. Disponível em: <http://www.fumec.br/revistas/eol/article/view/3574/1911>. Acesso em: 14 abr. 2020.

AMARANTE, ODILON A. CAMARGO, et al. **Atlas do potencial eólico brasileiro**. Brasília: MME; Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2001. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/atlas_eolico_brasil/atlas-web.htm. Acesso em: 13 mar. 2020

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **ANEEL anuncia bandeira tarifária verde até dezembro de 2020**. 2020. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/aneel-anuncia-bandeira-tarifaria-verde-ate-dezembro-de-2020/656877?inheritRedirect=false&redirect=https%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Fsala-de-imprensa-exibicao-2%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-2%26p_p_col_pos%3D2%26p_p_col_count%3D3. Acesso em: 04 set. 2020.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **ANEEL atualiza metodologia de acionamento das bandeiras tarifárias**: resolução estabelece as faixas de acionamento e os adicionais das bandeiras tarifárias. Resolução estabelece as faixas de acionamento e os adicionais das bandeiras tarifárias. 2019. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/->

/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/aneel-atualiza-metodologia-de-acionamento-das-bandeiras-tarifarias/656877?inheritRedirect=false#:~:text=A%20proposta%20aprovada%20altera%20o,cada%20100%20kWh.. Acesso em: 04 set. 2020

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008. 236 p

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Perdas de Energia Elétrica na Distribuição**. Brasília: Aneel, 2019.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa N° 414, de 09 de setembro de 2010. **Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada.**, Brasília, DF, 09 set 2010.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012. **Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.**, Brasília, DF, 17 abr 2012.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa N° 687, de 24 de novembro de 2015. **Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição - PRODIST.**, Brasília, DF, 24 nov 2015.

ABSOLAR, Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. **Energia Fotovoltaica no Brasil**: Infográfico ABSOLAR. 2020. Disponível em: <http://absolar.org.br/infografico-absolar-.html>. Acesso em: 10 maio 2020.

AZEVEDO, Gustavo Henrique W. de. **Matemática Financeira: princípios e aplicações**. São Paulo: Saraiva, 2015. Acesso em: 20 jun. 2020.

BOFF, Nicole Amanda. **Projeto de energia solar fotovoltaica para uma indústria do ramo metalmeccânico**. 2018. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2018.

BOLETIM ANUAL DO COMITÊ NACIONAL BRASILEIRO DA CONFERÊNCIA MUNDIAL DE ENERGIA. **Estatística brasileira de energia**. Rio de Janeiro, ano XVI, n. 26, p. 40, 1980. Acesso em: 24 mar. 2020.

BOUHID, Carlos. **Mudança na regulamentação de energia solar: o que você precisa saber?** 2019. Disponível em:

<https://www.dusolengenharia.com.br/post/mudanca-na-regulamentacao-de-energia-solar-o-que-voce-precisa-saber/>. Acesso em: 04 jun. 2020.

BRASIL, Ministério da Economia - Receita Federal. **Taxa de Juros Selic**. 2020.

Disponível em: <https://receita.economia.gov.br/orientacao/tributaria/pagamentos-e-parcelamentos/taxa-de-juros-selic#Selicmensalmente>. Acesso em: 09 nov. 2020.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Manual de operacionalização do Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica – “Luz para Todos”**. Brasília: MMA, 2005.

BRASILIA, Constituição (1998), **Lei nº 9.648, Art. 286**. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9648cons.htm#:~:text=Altera%20dispositivos%20das%20Leis%20n,Brasileiras%20%2D%20ELETROBR%C3%81S%20e%20de%20suas. Acesso em: 20 de ago. 2020

BRITO, Miguel C.; SILVA, José A.. Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em eletricidade. **O Instalador**, Lisboa, jul. 2006. Disponível em:

<http://solar.fc.ul.pt/i1.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2020

BUBICZ, Marta Eliza et al. Ganhos de empresas industriais brasileiras com o mercado livre de energia elétrica. **Revista Geintec**, Sergipe, v. 4, n. 1, p. 588-603, 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/271182238>. Acesso em: 14 abr. 2020.

CAMARGO, Renata Freitas de. **Como o método Payback pode ajudar na Análise do Tempo de Retorno do Investimento em Projetos**. 2016. Disponível em: <https://www.treasy.com.br/blog/payback-tempo-de-retorno-do-investimentos/>. Acesso em: 20 jun. 2020.

CCEE, Câmara de Comercializadores de Energia Elétrica. **CO – Reajuste dos emolumentos: conheça os valores vigentes a partir de 1º/11/18**. 2018.

Disponível em: https://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/noticias-opiniao/comunicados/detalhe_comunicado?contentId=CCEE_643475&_adf.ctrl-state=18a56er6i_1&_afLoop=482827631802731#!%40%40%3F_afLoop%3D482827631802731%26contentId%3DCCEE_643475%26_adf.ctrl-state%3D18a56er6i_5. Acesso em: 25 ago. 2020.

CMEB, Centro da Memória da Eletricidade no Brasil. **Panorama do setor de energia elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro, 1988. ISBN 85-85147-03-2.

COLVILLE, Finlay. **Top 10 solar module suppliers in 2018**. 2019. Disponível em: <https://www.pv-tech.org/editors-blog/top-10-solar-module-suppliers-in-2018>. Acesso em: 18 out. 2020.

COOPE SOLAR. **Instalação e diferença de ambos sistemas**. 2020. Disponível em: <https://coopesolar.wordpress.com/on-grid/>. Acesso em: 26 mar. 2020.

CPFL, Companhia Paulista de Força e Luz.. **A RGE**. Disponível em: <https://www.rge-rs.com.br/institucional/quem-somos/arge/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 01 jun. 2020.

CPFL, Companhia Paulista de Força e Luz. **GED 16789**: Procedimento para realização de serviço de implantação ou adequação SMF - classe de tensão A4 e A3a. 1.8 ed. Campinas, 2020. 27 p. Disponível em: <http://sites.cpfl.com.br/documentos-tecnicos/GED-16789.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2020.

CRESESB, Centro de Referência das Energias Solar e Eólica. **Potencial Solar - SunData v 3.0**. 2018. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>. Acesso em: 10 set. 2020.

DALVI, Giovanni Gueler; OLIVEIRA FILHO, Delly; RODRIGUES, Élide Maria Bezerra. Feed-in tariff como alternativa de incentivo ao desenvolvimento da geração de energia elétrica por fontes renováveis no brasil. **Revista Brasileira de Energia**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 20-29, 2º trim. 2017. Disponível em: <https://sbpe.org.br/index.php/rbe/article/view/369>. Acesso em: 28 abr. 2020

DIAS, Ricardo. **Enquadramento tarifário, qual o melhor? Azul ou Verde?** 2020. Disponível em: <https://www.cubienergia.com/enquadramento-tarifario-azul-verde/>. Acesso em: 14 abr. 2020.

FEIJÓO, Guilherme Coelho. **Fatores que Influenciam a Geração de Energia Solar (Parte 2)**. 2017. Disponível em: <https://medium.com/@guilhermefeijoo/fatores-que-influenciam-a-gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-solar-parte-2-b0310f02f7c7#:~:text=De%20fato%2C%20no%20primeiro%20ano,%25%20a%200%2C8%25..> Acesso em: 05 nov. 2020.

FGV ENERGIA, Fundação Getúlio Vargas. **Recursos energéticos distribuídos**. Rio de Janeiro: Fgv Energia - Cadernos Fgv Energia, v. 7, n. 3, maio 2016. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/16628>. Acesso em: 23 mar. 2020

FLOREZI, Guilherme. **Consumidores Livres de Energia Elétrica**. Monografia (Mestrado). USP, 2009. Disponível em Acessado em 26 de abr 2018.

FONTES, Ruy. **Guia: Como Múltiplas Unidades Consumidoras Podem Dividir os Custos e Lucros da Energia Solar**. 2018. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/geracao-compartilhada/#:~:text=Gera%C3%A7%C3%A3o%20Compartilhada%20%C3%A9%20uma%20modalidade,%C3%A1rea%20de%20concess%C3%A3o%20da%20distribuidora>. Acesso em: 07 jun. 2020.

FREITAS, Gisele de; SILVEIRA, Suely de Fátima Ramos. Programa luz para todos: uma representação da teoria do programa por meio do modelo lógico. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA)**, Viçosa, p. 177-198, dez. 2015. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/6648>. Acesso em: 14 mar. 2020.

GENERGIA. **Tudo sobre mercado livre de energia**. 2013. Disponível em: <https://genergia.com.br/static/downloads/Genergia-Mercado-Livre-de-Energia.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2020

GOLDEMBERG, José; PALETTA, Francisco Carlos. **Energias renováveis**. São Paulo: Blücher, 2012. 212 p.

GOMES, João Paulo Pombeiro; VIEIRA, Marcelo Milano Falcão. O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 43, n. 2, p. 295-321, abr. 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122009000200002&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 24 mar. 2020.

GONÇALVES, Thiago. **Taxa Interna de Retorno (TIR): o que é e como calcular**: Entenda o que significa Taxa Interna de Retorno, para que serve, como calcular e os cuidados necessários ao se usar esse indicador. 2018. Disponível em: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/taxa-interna-de-retorno>. Acesso em: 20 jun. 2020.

LONG, Y.; FANG, Z. **Conference Report: World Congress of Bioenergy, 2012:** renewable energy for sustainability. *Biofuels*, v.3, n.4, p.377-378, 2012

LUNELLI, Reinaldo Luiz. **Análise de investimentos**. 2018. Disponível em: <http://www.portaldecontabilidade.com.br/tematicas/analiseinvestimentos.htm>. Acesso em: 20 jun. 2020.

MACHADO, C.; MIRANDA, F.. **Energia Solar Fotovoltaica: Uma Breve Revisão**. *Revista Virtual Química*, Niterói, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 126-143, 14, out. 2014. Disponível em: <http://rvq-sub.s bq.org.br/index.php/rvq/article/view/664>. Acesso em: 22 abr. 2020

MAUAD, Frederico Fábio. **Energia Renovável no Brasil: análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras**. Análise das principais fontes energéticas renováveis brasileiras. São Paulo: São Carlos: EESC/USP, 2017. 349 p.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Balanço Energético Nacional 2019**. Rio de Janeiro: MME, 2019. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2020.

MORI, V.; SANTOS, R. L. C.; SOBRAL, L. G. S.. **Metalurgia do silício: processos de obtenção e impactos ambientais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007. (Série Tecnologia Ambiental, 41).

NOGUEIRA, Danielle. **Entenda como funciona o mercado livre de energia:** número de empresas interessadas aumenta diante da queda da tarifa. 2016. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/economia/entenda-como-funciona-mercado-livre-de-energia-19911909>. Acesso em: 16 out. 2020.

PAMPONET, Marlon Caires. **Compra de energia elétrica no mercado livre**. Palmas, set. 2019.

PEREIRA, Ênio Bueno et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São Paulo: Inpe, 2017. 80 p. Disponível em: <http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>. Acesso em: 25 mar. 2020.

PEREIRA, Erick Alves Sobrinho. **Análise de viabilidade da adesão ao ambiente de contratação livre e autoconsumo em geração fotovoltaica**. 2019. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, UFRJ, Rio de Janeiro, 2019

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marco Antônio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio do Janeiro: Cepel - Cresesb, 2014. 530 p

RGE, Rio Grande Energia S/A. **Aneel homologa revisão tarifária da RGE Sul**. 2018. Disponível em: <https://www.rge-rs.com.br/releases/Paginas/aneel-homologa-revisao-tarifaria-da-rge-sul.aspx>. Acesso em: 03 set. 2020.

RIBEIRO, Amarolina. **"Distribuição de energia elétrica no Brasil"**; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/distribuicao-energia-eletrica-no-brasil.htm>. Acesso em 15 de abril de 2020.

RIZKALLA, Felipe Farage. **Migração para o mercado livre de energia: estudo de caso do centro de tecnologia da universidade federal do rio de janeiro**. 2018. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios Solares Fotovoltaicos**. Florianópolis: Labsolar, 2004. 118 p

SILVA, Bruna Marques. **Comparação entre Geração de Energia Fotovoltaica e Migração para o Mercado Livre de Energia para uma Indústria de Médio Porte**. 2018. 41. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

SILVA, Rutelly Marque da. **Energia Solar no Brasil: dos incentivos aos desafios**. Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, Fevereiro/2015 (Texto para Discussão nº 166). Disponível em: www.senado.leg.br/estudos. Acesso em 13 de abril de 2020.

SOUZA, A; ARISTONE, F., FERRARI, L.F., REIS, R.R. **Modelagem da Temperatura do Módulo de Células Fotovoltaicas em Função da Temperatura Ambiente, Velocidade dos Ventos e Irradiância**. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.5, n.4, p.504-518, 2016.

SOUZA, Ronilson di. **Os sistemas de energia solar fotovoltaica: livro digital de introdução aos sistemas solares.** livro digital de introdução aos sistemas solares. São Paulo: Blue Sol, 2015. 114 p. Disponível em:

<https://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdu%C3%A7%C3%A3o-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2020.

TIBA, Chigueru et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil:** banco de dados solarimétricos. Recife: Ed. Universitária da UFPE,, 2000. 111 p. Disponível em:

http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf. Acesso em: 25 mar. 2020.

TORORADAR. **O que é IPCA?**: entenda o índice IPCA e a inflação acumulada atual. Entenda o índice IPCA e a inflação acumulada atual. 2019. Disponível em:

<https://www.tororadar.com.br/investimento/bovespa/o-que-e-ipca-e-inflacao-acumulada>. Acesso em: 10 set. 2020.

TURELLA, Rafael. **Bandeiras Tarifárias 2018.** 2018. Disponível em:

<https://www.cubienergia.com/bandeiras-tarifarias-2018/>. Acesso em: 25 ago. 2020.

VALLE, Brenno. **O que significa Energia Reativa Excedente (EREX)?** entenda o que é a energia reativa excedente e como ela pode afetar de maneira significativa a saúde financeira do seu estabelecimento. 2017. Disponível em:

<https://enetec.unb.br/blog/o-que-significa-energia-reativa-excedente-erex/>. Acesso em: 28 abr. 2020.

VILLALVA, Marcelo Gradella. **Energia solar fotovoltaica.** 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2015. 224 p.

WWF, *World Wide Fund for Nature* – BRASIL. **Desafios e oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas.** Brasília, 2015.

APÊNDICE A – ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

Ano de Referência		Tempo de Retorno do investimento						
Dados analisados	Grandeza	0	1	2	3	4	5	6
Aumento da tarifa anual	%		0	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Custo do kWh	R\$		0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,48
Rendimento dos painéis	%		100	98,5	97,9	97,2	96,5	97,8
Geração solar anual	kWh/ano		1.580.191,63	1.556.488,76	1.546.371,58	1.535.546,98	1.524.798,15	1.545.593,34
Economia anual gerada	R\$		R\$ 695.284,32	R\$ 715.673,53	R\$ 743.017,63	R\$ 771.018,25	R\$ 800.074,07	R\$ 742.643,69
Economia acumulada	R\$		R\$ 695.284,32	R\$ 1.410.957,85	R\$ 2.153.975,48	R\$ 2.924.993,72	R\$ 3.725.067,79	R\$ 2.153.601,54
Retorno do Investimento	R\$	-3.963.178,17	-R\$ 3.267.893,85	-R\$ 2.552.220,32	-R\$ 1.809.202,69	-R\$ 1.038.184,45	-R\$ 238.110,38	R\$ 592.114,48
TRI	anos		5,32					
VPL	R\$		R\$ 3.642.392,57					
TIR	%		19,85%					

Fonte: Autor (2020)

Ano de Referência		Tempo de Retorno do investimento						
Dados analisados	Grandeza	7	8	9	10	11	12	13
Aumento da tarifa anual	%	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Custo do kWh	R\$	0,57	0,60	0,63	0,65	0,68	0,71	0,75
Rendimento dos painéis	%	95,1	94,5	93,8	93,2	92,5	91,9	91,2
Geração solar anual	kWh/ano	1.503.525,69	1.493.001,01	1.482.550,00	1.472.172,15	1.461.866,95	1.451.633,88	1.441.472,44
Economia anual gerada	R\$	R\$ 861.511,88	R\$ 893.977,96	R\$ 927.667,52	R\$ 962.626,67	R\$ 998.903,26	R\$ 1.036.546,92	R\$ 1.075.609,20
Economia acumulada	R\$	R\$ 5.416.804,54	R\$ 6.310.782,50	R\$ 7.238.450,01	R\$ 8.201.076,68	R\$ 9.199.979,94	R\$ 10.236.526,86	R\$ 11.312.136,06
Retorno do Investimento	R\$	R\$ 1.453.626,37	R\$ 2.347.604,33	R\$ 3.275.271,84	R\$ 4.237.898,51	R\$ 5.236.801,77	R\$ 6.273.348,69	R\$ 7.348.957,89

Fonte: Autor (2020)

Tempo de Retorno do investimento							
Ano de Referência		14	15	16	17	18	19
Dados analisados	Grandeza						
Aumento da tarifa anual	%	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Custo do kWh	R\$	0,78	0,81	0,85	0,89	0,93	0,97
Rendimento dos painéis	%	90,6	89,9	89,3	88,7	88,1	87,5
Geração solar anual	kWh/ano	1.431.382,14	1.421.362,46	1.411.412,92	1.401.533,03	1.391.722,30	1.381.980,25
Economia anual gerada	R\$	R\$ 1.116.143,53	R\$ 1.158.205,40	R\$ 1.201.852,37	R\$ 1.247.144,17	R\$ 1.294.142,80	R\$ 1.342.912,57
Economia acumulada	R\$	R\$ 12.428.279,59	R\$ 13.586.484,98	R\$ 14.788.337,35	R\$ 16.035.481,52	R\$ 17.329.624,33	R\$ 18.672.536,90
Retorno do Investimento	R\$	R\$ 8.465.101,42	R\$ 9.623.306,81	R\$ 10.825.159,18	R\$ 12.072.303,35	R\$ 13.366.446,16	R\$ 14.709.358,73

Fonte: Autor (2020)

Tempo de Retorno do investimento							
Ano de Referência		20	21	22	23	24	25
Dados analisados	Grandeza						
Aumento da tarifa anual	%	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5
Custo do kWh	R\$	1,02	1,06	1,11	1,16	1,21	1,27
Rendimento dos painéis	%	86,8	86,2	85,6	85,0	84,4	83,8
Geração solar anual	kWh/ano	1.372.306,38	1.362.700,24	1.353.161,34	1.343.689,21	1.334.283,38	1.324.943,40
Economia anual gerada	R\$	R\$ 1.393.520,23	R\$ 1.446.035,04	R\$ 1.500.528,87	R\$ 1.557.076,30	R\$ 1.615.754,73	R\$ 1.676.644,44
Economia acumulada	R\$	R\$ 20.066.057,13	R\$ 21.512.092,18	R\$ 23.012.621,05	R\$ 24.569.697,36	R\$ 26.185.452,08	R\$ 27.862.096,52
Retorno do Investimento	R\$	R\$ 16.102.878,96	R\$ 17.548.914,01	R\$ 19.049.442,88	R\$ 20.606.519,19	R\$ 22.222.273,91	R\$ 23.898.918,35

Fonte: Autor (2020)

ANEXO A – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS MÓDULO FOTOVOLTAICO POLICRISTALINO RSM72-6-345P RISEN

**HIGH PERFORMANCE
POLYCRYSTALLINE MODULE**

RSM72-6-325P-345P

72 CELL POLYCRYSTALLINE MODULE

325-345Wp POWER OUTPUT RANGE

1500VDC MAXIMUM SYSTEM VOLTAGE

17.8% MAXIMUM EFFICIENCY



About Risen Energy

Risen Energy is a leading, global tier 1 manufacturer of high-performance solar photovoltaic products and provider of total business solutions for residential, commercial and utility-scale power generation. The company, founded in 1986, and publicly listed in 2010, compels value generation for its chosen global customers. Techno-commercial innovation, underpinned by consummate quality and support, encircle Risen Energy's total Solar PV business solutions which are among the most powerful and cost-effective in the industry. With local market presence and strong financial bankability status, we are committed, and able, to building strategic, mutually beneficial collaborations with our partners, as together we capitalise on the rising value of green energy.

KEY SALIENT FEATURES



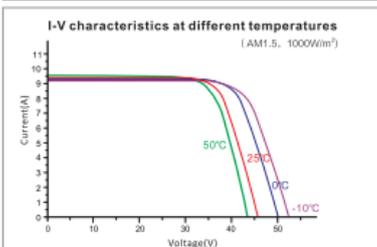
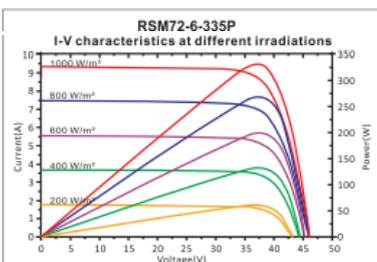
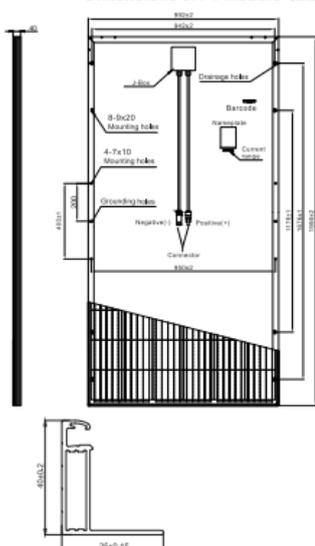
- Bloomberg
TIER 1 **Global, Tier 1 bankable brand, with independently certified state-of-the-art automated manufacturing**
- 🌡️ **Industry leading lowest thermal co-efficient of power**
- 12
years **Industry leading 12 years product warranty**
- ☀️ **Excellent low irradiance performance**
- PID **Excellent PID resistance**
- + **Positive tight power tolerance**
- 2
EL **Dual stage 100% EL Inspection warranting defect-free product**
- 📦 **Module Imp binning radically reduces string mismatch losses**
- 🏆 **Warranted reliability and stringent quality assurances well beyond certified requirements**
- ❄️ **Certified to withstand severe environmental conditions**
 - Anti-reflective & anti-soiling surface minimise power loss from dirt and dust
 - Severe salt mist, ammonia & blown sand resistance, for seaside, farm and desert environments
 - Excellent mechanical load 2400Pa & snow load 5400Pa resistance



RISEN ENERGY CO., LTD.
 Tashan Industry Zone, Meilin,
 Ninghai 315609, Ningbo | PRC
 Tel: +86-574-59953239
 Fax: +86-574-59953599
 E-mail: marketing@risenenergy.com
 Website: www.risenenergy.com



Dimensions of PV Module Unit: mm



Our Partners:

RSM72-6-335P-EN-PT1-1-2020

ELECTRICAL DATA (STC)

Model Number	RSM72-6-325P	RSM72-6-330P	RSM72-6-335P	RSM72-6-340P	RSM72-6-345P
Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	325	330	335	340	345
Open Circuit Voltage-Voc(V)	45.50	45.70	45.90	46.10	46.30
Short Circuit Current-Isc(A)	9.20	9.30	9.40	9.50	9.60
Maximum Power Voltage-Vmpp(V)	37.40	37.55	37.65	37.80	37.95
Maximum Power Current-Impp(A)	8.70	8.80	8.90	9.00	9.10
Module Efficiency (%) *	16.7	17.0	17.3	17.5	17.8

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.
 * Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

ELECTRICAL DATA (NMOT)

Model Number	RSM72-6-325P	RSM72-6-330P	RSM72-6-335P	RSM72-6-340P	RSM72-6-345P
Maximum Power-Pmax (Wp)	242.6	246.4	249.9	253.7	257.5
Open Circuit Voltage-Voc (V)	41.90	42.00	42.20	42.40	42.60
Short Circuit Current-Isc (A)	7.54	7.63	7.71	7.79	7.87
Maximum Power Voltage-Vmpp (V)	34.20	34.40	34.50	34.60	34.70
Maximum Power Current-Impp (A)	7.09	7.17	7.25	7.34	7.42

NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Polycrystalline, 5BB
Cell configuration	72 cells (6×12)
Module dimensions	1956×992×40mm
Weight	22kg
Superstrate	High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass
Substrate	White Back-sheet
Frame	Anodized Aluminium Alloy type 6063T5, Silver Color
J-Box	Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes
Cables	4.0mm ² (12AWG), 1200mm length
Connector	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	45°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.32%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.055%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.39%/°C
Operational Temperature	-40°C~+85°C
Maximum System Voltage	1500VDC
Max Series Fuse Rating	20A
Limiting Reverse Current	20A

PACKAGING CONFIGURATION

	40ft(HQ)	20ft
Number of modules per container	648	270
Number of modules per pallet	27	27
Number of pallets per container	24	10
Packaging box dimensions (LxWxH) in mm	1980×1130×1130	1980×1130×1130
Box gross weight[kg]	640	640

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.
 ©2020 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

ANEXO B – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS INVERSOR SIW500H ST060 WEG

Inversor String SIW500H - ST060



Inteligente

- Gerenciamento inteligente de 12 *strings* e rápido diagnóstico de problemas
- Suporta *Power Line Communication* (PLC)
- Suporta Diagnóstico *Smart String* I-V

Eficiente

- Eficiência Máxima de 98,7%, eficiência europeia de 98,5%
- 6 MPPTs para adaptações versáteis a diferentes layouts

Seguro

- Seccionadora CC integrada, segurança e praticidade para manutenção
- Supressor de surto Tipo II para CC e para CA
- Unidade de Monitoramento de Correntes Residuais integrada internamente
- Projeto sem fusíveis

Confiável

- Tecnologia de resfriamento natural
- Grau de proteção IP65

Curva de Eficiência

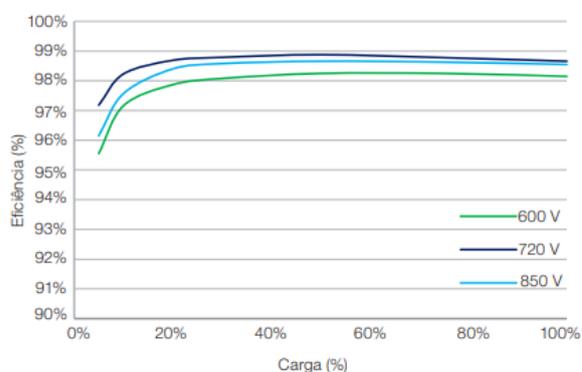
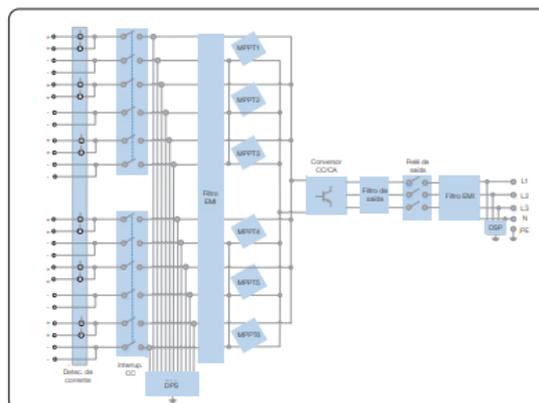


Diagrama do Circuito



SIW500H - ST060

Inversor String SIW500H - ST060

Especificações técnicas	SIW500H - ST060
Eficiência	
Eficiência máxima	98,7%
Eficiência europeia	98,5%
Entrada	
Tensão de entrada máxima	1.100 V
Corrente máxima por MPPT	22 A
Corrente de curto-circuito máxima por MPPT	30 V
Tensão de partida	200 V
Faixa de tensão de operação do MPPT	200 V ~ 1.000 V
Tensão de entrada nominal	600 V
Número máximo de entradas	12
Número de MPPTs	6
Saída	
Potência ativa nominal CA	60.000 W
Potência aparente CA máxima	66.000 VA
Potência ativa CA máxima (cosφ=1)	66.000 W
Tensão de saída nominal	220 V / 380 V, 230 V / 400 V, padrão 3 W+N+PE; 3 W+PE opcional nos ajustes
Corrente nominal de saída	91,2 A @ 380 V ca, 86,7 A @ 400 V ca
Frequência de rede CA nominal	50 Hz / 60 Hz
Corrente de saída máxima	100 A a 380 V ca, 95,3 A a 400 V ca
Fator de potência ajustável	0,8 LG ... 0,8 LD
Distorção harmônica total máxima	≤3%
Proteção	
Seccionadora no lado de entrada	Sim
Proteção anti-ilhamento	Sim
Proteção contra polaridade CC invertida	Sim
Monitoramento de falha de <i>string</i> no arranjo PV	Sim
Supressor de surto CC	Tipo II
Supressor de surto CA	Tipo II
Deteção de isolamento	Sim
Unidade de monitoramento de correntes residuais	Sim
Comunicação	
Display	Indicadores LED, Bluetooth + app
RS485	Sim
USB	Sim
PLC	Sim
Geral	
Dimensões (L x A x P)	1.075 x 555 x 300 mm
Peso (com placa de montagem)	73 kg
Faixa de temperatura de operação	-25 °C ~ 60 °C
Resfriamento	Convecção natural
Altitude máxima de operação	4.000 m
Umidade relativa	0 ~ 100%
Conector CC	Amphenol helios H4
Conector CA	Terminal PG à prova d'água + conector OT
Grau de proteção	IP65
Topologia	Sem transformador

ANEXO C – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DPS CA SPW275-20



DPS - Dispositivos de Proteção Contra Surtos - SPW e SPWC

Disponível na versão monopolar, *plug-in*, para classes de proteção I e II, o SPW é um dispositivo de proteção contra surtos elétricos de tensão na rede. Desenvolvido em versões com ou sem contato de sinalização remota, o SPW conta com sinalização visual para indicar o momento de substituição do módulo de proteção, e divide-se em 4 modelos de acordo com a corrente máxima de descarga presumida (onda 8/20 μ s): 12, 20, 45 e 60 kA. Módulos de proteção extraíveis são fornecidos como acessórios de reposição para todos os modelos.



Classe de Proteção

Os DPS de Classe I são indicados para locais sujeitos a descargas diretas e de alta intensidade, característica típica de instalações e edifícios alimentados diretamente por rede de distribuição aérea, exposta a descarga atmosférica.

Recomenda-se a instalação do DPS classe I no ponto de entrada da rede elétrica na edificação.

Já para os locais onde a rede elétrica está sujeita a descargas atmosféricas indiretas, caso típico de instalações internas de residências e/ou edificações alimentadas por rede elétrica embutida/subterrânea, são indicados os DPS de Classe II.

Recomenda-se sua instalação no quadro de distribuição.

Referência e Código WEG

Referência	Classe de proteção	Contato de sinalização	Corrente máxima de descarga, onda 8/20 μ s Imáx (kA)	Corrente nominal de descarga, onda 8/20 μ s In (kA)	Corrente máxima de impulso, onda 10/350 μ s Iimp (kA)	Nível de proteção (kV)	Máxima tensão de operação contínua Uc (V)	Código WEG
SPW275-12	II	Não	12	5	-	1,0	275	10609712
SPW275-20	II	Não	20	10	-	1,2	275	10609713
SPW275-45	II	Não	45	20	-	1,5	275	10609714
SPW275-60/12,5	II / I	Não	60	30	12,5	1,5	275	10609715
SPWC275-12	II	Sim	12	5	-	1,0	275	11402920
SPWC275-20	II	Sim	20	10	-	1,2	275	11402921
SPWC275-45	II	Sim	45	20	-	1,5	275	11402919
SPWC275-60/12,5	II / I	Sim	60	30	12,5	1,5	275	11402918

Dados Técnicos

Norma	IEC 61643	
Tensão máxima de operação contínua Uc	275 V CA (+5%)	
Nível de proteção Up	SPW275-12 / SPWC275-12	1,0 kV
	SPW275-20 / SPWC275-20	1,2 kV
	SPW275-45 / SPWC275-45	1,5 kV
	SPW275-60/12,5 / SPWC275-60/12,5	1,5 kV
Frequência	50/60 Hz	
Corrente máxima de descarga Imáx	Conforme tabela anterior	
Corrente nominal de descarga In	Conforme tabela anterior	
Corrente máxima de impulso Iimp	Conforme tabela anterior	
Classe de proteção	Conforme tabela anterior	
Contato de sinalização	Conforme tabela anterior	
Configuração do contato de sinalização	NA	
Número de polos	1	
Temperatura ambiente	-5 a 40 °C	
Grau de proteção	IP20	
Capacidade de conexão	1 a 25 mm ²	
Torque de aperto nos terminais	2,0 a 3,0 N.m	
Posição de montagem	Sem restrição	
Fixação	Trilho DIN 35 mm	
Peso (kg)	SPW275-12 / SPWC275-12	0,105
	SPW275-20 / SPWC275-20	0,110
	SPW275-45 / SPWC275-45	0,115
	SPW275-60/12,5 / SPWC275-60/12,5	0,120

ANEXO D – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS CABO CONDUMAX SOLARMAX FLEX SN 6 MM²

Cabo Solarmax Flex SN 0,6/1kV TUV 2Pfg 1169



Condutor

Formado por fios de cobre estanhado, têmpera mole, encordoamento classe 5.

Isolação

LSHF - Composto poliolefinico termofixo não halogenado com baixa emissão de fumaça na cor preta, com no mínimo 2% de negro de fumo.

Cobertura

LSHF - Composto poliolefinico termofixo não halogenado com baixa emissão de fumaça, com características especiais quanto à não-propagação, auto-extinção do fogo e com no mínimo 2% de negro de fumo para a cor preta e com proteção UV para as demais cores.

Identificação

Preta, Vermelha, Azul, Marrom, Branca, Cinza ou Verde.

Temperaturas máximas no condutor

- 120 °C em serviço contínuo.
- 160 °C em sobrecarga.
- 250 °C em curto-circuito.

Tensão de trabalho

- AC U₀/U = 600/1000 Volts
- DC U = 1800 Volts

Aplicação

Empregados na interligação entre os módulos fotovoltaicos (FV) e entre os módulos e os inversores, nos sistemas de geração de energia fotovoltaica, conectados ou não à rede de energia elétrica.

Características Complementares

- Excelente resistência ao intemperismo
- Isolado e coberto com materiais não halogenado, com características especiais quanto à não propagação, auto-extinção do fogo e baixa emissão de fumaça, livre de metais pesados atendendo às diretivas RoHS 2000/53 CE e 2002/95 CE
- Excelente resistência à abrasão
- Temperatura de trabalho: -40 °C a 120 °C

Normas Aplicáveis

TUV 2Pfg 1169/08.2007 - Requirements for cables for use in photovoltaic-systems

Dados Construtivos*

Seção Nominal (mm ²)	Diâmetro Condutor (mm)	Espessura Isolação (mm)	Espessura Cobertura (mm)	Diâmetro Externo (mm)	Massa (kg/km)	Acondicionamento Bobina (m)	Corrente (A)**	Queda Tensão V / (A x Km)***
2,50	1,9	0,7	0,9	5,0	44,9	2000	41	21,81
4,00	2,6	0,7	0,9	5,8	63,2	2000	55	13,55
6,00	3,2	0,7	0,9	6,3	83,0	1000	70	9,05
10,00	4,1	0,7	1,0	7,5	128,9	1000	98	5,24
16,00	5,2	0,7	1,0	8,6	183,6	1000	132	3,35
25,00	6,5	0,9	1,1	10,5	285,0	500	176	2,17
35,00	7,7	0,9	1,1	11,7	379,8	500	218	1,56

*Dados sujeitos a alterações sem prévio aviso

** O valor da corrente especificado, foi baseado na maneira de instalar subterrânea (Métodos 61 e 61A, maneira de instalar D, conforme tabelas 33 e 37 da NBR 5410, para dois condutores carregados). Qualquer maneira de instalar diferente da considerada deverá ser corrigido o valor da corrente em amperes.

*** Os valores da queda de tensão, foram calculados para dois condutores carregados e espaçamento de 2xD (diâmetro nominal do cabo)



120 °C

ANEXO E – ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DISJUNTOR CA DWB160B125-3DX WEG



Características Gerais



Carcaça		DWB160			DWB250				
Norma		IEC 60947-2			IEC 60947-2				
Número de polos		2 ¹⁾ , 3, 4 ^{1a)}			2 ¹⁾ , 3, 4 ^{1a)}				
Tensão de operação nominal	U _v	V ca	690 ⁷⁾			690 ⁷⁾			
		V cc	500			500			
Tensão de isolamento nominal	U _i	V	800			800			
Tensão de impulso nominal suportável	U _{imp}	kV	8			8			
Categoria de utilização	-	-	A			A			
Temperatura de referência	T	°C	45			45			
Grau de poluição	-	-	3			3			
Nível de capacidade de interrupção									
Capacidade de interrupção máxima de curto-circuito	I _{cu}	kA	B	N	L ²⁾	B	N	L ²⁾	
		240 V~	25	50	120	40	80	120	
		380 V~	18	30 ³⁾	80	18	36	80	
		415 V~	16	30 ⁴⁾	80	16	36	80	
		440 V~	10	20 ⁴⁾	80	15	30	80	
		500 V~	5	8	65	5	8	65	
		550 V~	4	6	25	4	7	25	
		690 V~	3	4	10	3	6	15	
		1 polo	125 V cc	35	65	-	35	65	-
		2 polos em série	250 V cc	35	65	-	35	65	-
3 polos em série	500 V cc	25	50	-	25	50	-		
Capacidade de interrupção de curto-circuito em serviço	I _{cs}	kA	B	N	L ²⁾	B	N	L ²⁾	
		240 V~	25	25	80	40	40	80	
		380 / 400 V~	16	16	60	16	17	60	
		415 V~	16	16	60	16	17	60	
		440 V~	10	10	60	15	15	60	
		500 V~	5	5	50	5	5	50	
		550 V~	4	4	20	4	4	20	
		690 V~	3	3	8	3	3	8	
		Tipo de proteção e aplicação ⁶⁾¹²⁾							
		Termomagnética para distribuição	Térmico fixo e magnético fixo	I _n	A	16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 150, 160	16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125	Não se aplica	
Térmico ajustável e magnético fixo	I _n		A	40, 50, 63, 80, 100, 125, 160	-	100, 125, 160, 200, 250	100, 125, 160, 200		
Térmico ajustável e magnético ajustável	I _n		A	Não se aplica		Não se aplica			
Termomagnética para gerador	Térmico fixo e magnético fixo	I _n	A	55, 75, 85, 105, 125, 140, 160	Não se aplica		Não se aplica		
	Térmico ajustável e magnético fixo	I _n	A	Não se aplica		100, 125, 160, 200, 250	Não se aplica		
	Térmico ajustável e magnético ajustável	I _n	A	Não se aplica		Não se aplica			
Magnética para motor	Magnético fixo	I _n	A	Não se aplica		25, 32, 40, 50, 65, 80, 95	Não se aplica		
	Magnético ajustável	I _n	A	Não se aplica		Não se aplica			
Elétrica (LSI) para distribuição e gerador	I _n	A	Não se aplica		Não se aplica				
Interruptor - sem proteção térmica e magnética ¹³⁾	I _n	A	125, 160		250				
Vida mecânica - ciclo C-0		Número de manobras/manobras por hora	8.000 / 120		8.000 / 120				
Vida elétrica - ciclo C-0 (I _n @ 690 V)		Número de manobras/manobras por hora	1.000 / 120		1.000 / 120				
Grau de proteção		Terminals	IP10		IP10				
		Tampa de acessórios	IP20		IP20				
Umidade relativa do ar máxima			95%		95%				
Conexões com cabo ¹¹⁾¹⁴⁾	Seção indicada	mm ²	Ver seção conexão em terminals		Ver seção conexão em terminals				
	Torque de aperto	Nm	6		25 ⁸⁾				
Conexões com barra	Seção indicada (largura x espessura)	mm x mm	Ver seção conexão em terminals		Ver seção conexão em terminals				
	Torque de aperto	Nm	6		8				
Resistência a vibração (IEC 60068-2-6)			2 a 13,2 Hz: amplitude ±1 mm 13,2 a 100 Hz: constante de aceleração 0,7 g		2 a 13,2 Hz: amplitude ±1 mm 13,2 a 100 Hz: constante de aceleração 0,7 g				
Resistência a choques mecânicos (IEC 60068-2-27 - 1/2 senóide)			12 g por 11ms		12 g por 11ms				
Dimensões (largura x profundidade x altura)	mm x mm x mm		2 polos: 78 x 71 x 122 3 polos: 78 x 71 x 122 4 polos: 102,5 x 71 x 122	3 polos: 78 x 136 x 143	2 polos: 105 x 78 x 162 3 polos: 105x 78 x 162 4 polos: 141 x 75 x 162	3 polos: 105 x 137 x 191			
			2 polos: 0,79 / 3 polos: 0,9 / 4 polos: 1,24	3 polos: 1,84	2 polos: 1,42 / 3 polos: 1,85 / 4 polos: 2,5	3 polos: 3,75			
Peso líquido	kg								

Notas: 1) 2 polos na carcaça de 3 polos, disponível somente para DWB160B com disparador fixo, DWB250B, DWB250N, DWB400N e DWB400H.

2) Disponível apenas na carcaça 3 polos, não disponível com proteção para gerador.

3) Para I_n ≤ 32A: I_{cu} = 20 kA @ 380 V / 415 V.

4) Para I_n ≤ 32A: I_{cs} = 15 kA @ 440 V.

5) Torque indicado para utilização do acessório terminal para cabos - PC (vendido separadamente). Se for utilizado terminal olhal diretamente no terminal do disjuntor deve-se considerar o torque indicado para conexão com barra.

6) Altura do produto sem cobre-bornes.

7) Para utilização em altitude acima de 2.000 m deve-se considerar os fatores de redução da tabela da página 33.

8) I_n = corrente nominal (disparador térmico fixo) ou valor máximo de ajuste (disparador térmico ajustável).