

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

Leonardo Judice Francé

TÍTULO: Estudo da qualidade e da disponibilidade energética em pequenas propriedades rurais visando a implantação de geração de energia elétrica distribuída.

Ilha Solteira
2023

Leonardo Judice Francé

TÍTULO: Estudo da qualidade e da disponibilidade energética em pequenas propriedades rurais visando a implantação de geração de energia elétrica distribuída.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Nome do orientador
Prof. Dr. Dionízio Paschoareli Júnior

Ilha Solteira
2023

Leonardo Judice Francé

TÍTULO: Estudo da qualidade e da disponibilidade energética em pequenas propriedades rurais visando a implantação de geração de energia elétrica distribuída.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica
Faculdade de Engenharia
Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"

Departamento de Engenharia Elétrica
Faculdade de Engenharia
Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"

Departamento de Engenharia Elétrica
Faculdade de Engenharia
Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho"

Ilha Solteira(SP), _____ de _____ de _____.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente aos meus pais e a todos aqueles que de alguma maneira me ajudaram e contribuíram para que eu chegasse até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade, aos meus pais Anderson e Viviane por todo o carinho, suporte e aconselhamentos. Agradeço em especial meu orientador, Prof. Dr. Dionízio Paschoareli Júnior, pela paciência e por ter acreditado em mim.

Agradeço a todos os meus amigos da universidade pela parceria de longa data e por terem me ajudado quando eu precisei. Agradeço à FEIS – UNESP, todos os seus colaboradores e a cidade de Ilha Solteira - SP por terem me acolhido durante esta jornada.

“Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

Ayrton Senna.

RESUMO

Este trabalho de graduação propõe o estudo e a avaliação da qualidade de energia elétrica disponível em pequenas propriedades rurais, localizadas no Assentamento Estrela da Ilha – Ilha Solteira, com o intuito de verificar a eficiência no uso de energia e a disponibilidade energética para geração local com foco na autoprodução de energia elétrica. Nesse contexto, previamente foram efetuados estudos com relação às cargas consumidoras da localidade. Nesta análise evidenciou-se a classe de consumo e os padrões elétricos dos lotes estudados. Em seguida, realizou-se o modelamento e a simulação de uma área específica da rede elétrica rural do assentamento, este caracterizado pela concentração de pequenas propriedades rurais. A simulação teve como intuito avaliar a qualidade e eficiência de suprimento de energia elétrica na localidade. Os ensaios de fluxo de carga da malha foram executados de posse do software Power Factory, com a licença do mesmo disponibilizada pela Universidade. Por último, a partir dos resultados dos ensaios de fluxo de carga, foram analisadas as possibilidades de implantação de geração distribuída em determinadas regiões comprometidas do assentamento. A partir daí, novamente com o auxílio de ensaios, verificou-se as melhorias na eficiência e capacidade de suprimento energético da malha, consequência da alocação de pequenas unidades produtoras de energia elétrica comerciais on-grid em localidades importantes da rede elétrica estudada.

Palavras-Chave: Qualidade de energia elétrica, geração distribuída, disponibilidade energética local, suprimento energético.

ABSTRACT

This graduation work proposes the study and evaluation of the quality of electric energy available in small rural properties, located in the Estrela da Ilha Settlement - Ilha Solteira, in order to verify the efficiency in the use of energy and the energy availability for local generation with focus on self-production of electricity. In this context, previously studies were carried out in relation to the consuming loads of the locality. In this analysis, the consumption class and electrical standards of the studied batches were evidenced. Then, the modeling and simulation of a specific area of the rural electrical network of the settlement was carried out, which is characterized by the concentration of small rural properties. The simulation aimed to evaluate the quality and efficiency of electricity supply in the locality. The mesh load flow tests were performed using the Power Factory software, with the same license provided by the University. Finally, based on the results of the load flow tests, the possibilities of deploying distributed generation in certain compromised regions of the settlement were analyzed. From then on, again with the help of tests, improvements were verified in the efficiency and energy supply capacity of the grid, a consequence of the allocation of small commercial on-grid electric energy producing units in important locations of the electrical grid studied.

Keywords: Electric power quality, distributed generation, local energy availability, energy supply.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz energética mundial 2019.....	17
Figura 2 – Matriz energética brasileira 2021.....	18
Figura 3 – Matriz elétrica mundial 2019.....	18
Figura 4 – Matriz elétrica brasileira 2021.....	19
Figura 5 - Classificação das fontes de energia em renováveis ou não renováveis.....	21
Figura 6 – Organograma do setor elétrico brasileiro.....	23
Figura 7 – Subsistemas de um sistema elétrico de potência (SEP).....	24
Figura 8 – Esquema de uma microrrede.....	25
Figura 10 - Domínio do consumidor.....	28
Figura 11 – Imagem de uma casa ribeirinha isolada na região Amazônica, com a presença de painéis fotovoltaicos instalados.....	29
Figura 12 – Representação do fluxo de energia em um sistema fotovoltaico on-grid.....	30
Figura 13 - Mini Central Termelétrica de 480 kW de potência instalada.....	32
Figura 14 – Geradores da Mini Central Termelétrica alimentados com o biogás rico em metano.....	32
Figura 15 – Assentamento Estrela da Ilha localização espacial.....	37
Figura 16 – Mapa de Parcelamento do Solo do Assentamento.....	38
Figura 17 – Distribuição da classe de consumo.....	39
Figura 19 – Gráfico demonstrando em que intervalo se agrupam as cargas declaradas.....	41
Figura 20 - Comparativo entre as faixas de valores consumidos de potência na fatura de novembro de 2015.....	42
Figura 21 – Interface do software PowerFactory.....	43
Figura 22 - Imagem da modelagem do Assentamento Estrela da Ilha.....	44
Figura 23 - Rede de alimentação convencional do assentamento.....	45
Figura 24 - Janela para a configuração do fluxo de carga (load flow) da rede externa (external grid).....	45
Figura 25 – Janela de dados básicos de um barramento.....	46
Figura 26 – Seleção do tipo de barramento.....	47
Figura 27 – Janela para a configuração do Load Flow do barramento BB1.....	47
Figura 28 – Representação de um transformador no Power Factory.....	48
Figura 29 – Janela Basic Data transformador 1.....	48
Figura 30 - Escolha do tipo/característica do transformador.....	49
Figura 31 - Representação de uma carga no Power Factory.....	50
Figura 32 - Janela Basic Data da carga 155.....	50
Figura 34 - Representação de uma linha no Power Factory.....	51
Figura 35 - Janela Basic Data da linha Line(1)_a.....	52
Figura 37 - Janela Load Flow - Type.....	54
Figura 38 - Resulting Values.....	54
Figura 39 - Atalho para o cálculo do Load Flow.....	55
Figura 40 - Load flow calculation.....	56
Figura 41 - Representação do resultado do fluxo de carga na malha elétrica.....	56
Figura 42 - Legenda indicando por cores os parâmetros obtidos pelo fluxo de carga.....	57
Figura 43 - Transformador 1.....	58

Figura 44 - Transformador 14.....	58
Figura 45 - Curva de geração do aerogerador H9.0.....	59
Figura 46 - Imagem ilustrativa do porte e construção do aerogerador H9.0.....	60
Figura 47 - Gerador assíncrono.....	60
Figura 48 - Janela Basic Data do Gerador 1.....	61
Figura 49 - Janela Basic Data Type Gerador 1.....	61
Figura 50 - Janela Load Flow Gerador 1.....	62
Figura 51 - Região da malha elétrica do transformador 1 após a inserção do gerador assíncrono eólico.....	63
Figura 52 - Curva de geração do aerogerador H8.0.....	63
Figura 53 - Imagem ilustrativa do porte e construção do aerogerador H8.0.....	64
Figura 54 - Janela Basic Data Type do Gerador 2.....	64
Figura 55 - Janela Load Flow gerador 2.....	65
Figura 56 - Região da malha elétrica do transformador 14 após a inserção do gerador eólico assíncrono.....	66

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.

SIN	Sistema Interligado Nacional
IEA	Agência Internacional de Energia
EPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PCHs	Pequenas centrais hidrelétricas
CO2	Gás Carbônico
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
CC	Corrente contínua
CA	Corrente alternada
CIBIO	Congresso Internacional de Biomassa
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NIST	Instituto Nacional de Normas e Tecnologias dos EUA
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
CIBIOGÁS	Centro Internacional de Energias Renováveis
UCs	Unidades consumidoras
PF	Power Factory
PV	Barra de geração
PQ	Barra de carga

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.	15
2 CONJUNTURA ATUAL DO SETOR ELÉTRICO: CONTEXTUALIZAÇÃO, TECNOLOGIAS E REGULAMENTAÇÃO.	17
2.1 Matriz Energética e matriz elétrica.	17
2.2 Fontes de Energia Elétrica.	20
2.1.1 Renováveis.	20
2.1.2 Não renováveis.	20
2.3 Hierarquia do setor elétrico brasileiro	22
2.4 Microrredes (microgrids).	24
2.5 Redes inteligentes (smart grids).	26
2.6 Geração distribuída.	28
2.6.1 Off-grid.	28
2.6.2 On-grid (grid-tie).	30
2.7 Procedimento de Distribuição (PRODIST).	33
2.7.1 Módulo 1 – Introdução.	33
2.7.2 Módulo 3 – Acesso ao sistema de distribuição.	33
2.7.3 Módulo 8 – Qualidade da energia elétrica.	34
2.8 Fluxo de carga.	35
28.1 Definição.	35
2.8.2 Modelagem matemática.	36
3 O ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA.	37
4 O SOFTWARE POWER FACTORY.	43
4.1 Modelagem da malha do assentamento.	43
4.2 Configuração de Rede externa, barramentos, transformadores, cargas e galhos da malha elétrica.	44
4.2.1 Rede externa.	44
4.2.2 Barramentos principais.	46
4.2.3 Transformadores.	48
4.2.4 Cargas.	49
4.2.5 Configuração de linhas da malha elétrica.	51
5 SIMULAÇÕES.	55
5.1 Fluxo de carga para a rede original do assentamento Estrela da Ilha.	55
5.2 Fluxo de carga com a alocação de uma fonte de geração distribuída na malha.	59
5.2.1 Alocação de um gerador eólico 20 kW sobre o terminal 47.	59
5.2.2 Alocação de um gerador eólico 10 kW sobre o terminal 40.	63
6 CONCLUSÕES.	67
REFERÊNCIAS.	69
APÊNDICE A - QUADRO 1 - CLASSE DE CONSUMO, ALIMENTAÇÃO MÍNIMA E MÁXIMA E FASES LIGADAS.	74

APÊNDICE B - QUADRO 2 - CARGA DECLARADA E LEITURA 11/2015.	83
APÊNDICE C - DIAGRAMA UNIFILAR ESPECIFICANDO A REGIÃO DO ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA MODELADA.	92
APÊNDICE D - DIAGRAMA UNIFILAR DO TRANSFORMADOR 1.	93

1 INTRODUÇÃO.

Ao longo dos séculos, desde os primórdios da era pré-histórica, o ser humano atenta-se a procurar por fontes energéticas para a sua sobrevivência. Nos primórdios da humanidade utilizava-se da força muscular como principal fonte de energia, utilizada principalmente para a caça de animais. Posteriormente com o descobrimento do fogo, este se tornaria a principal fonte energética para as atividades cotidianas. Isto aconteceria também com a domesticação dos animais e o uso dos mesmos para as atividades agrícolas de tração, o que facilitou com que a agricultura naqueles locais se desenvolvesse ocasionando no surgimento dos primeiros povoados humanos.

Já na era moderna durante a revolução industrial na Inglaterra (século XVII), a utilização do carvão mineral possibilitou o desenvolvimento científico e industrial, bem como o crescimento e adensamento populacional nas grandes cidades, o que criou a necessidade de uma maior produção energética em função do crescimento contínuo na demanda pela mesma.

Neste sentido a busca por novas fontes energéticas se intensificou, e com isso novas maneiras de gerar energia elétrica começaram a se desenvolver. Isto só foi possível graças ao crescimento e diversificação das matrizes energética e elétrica.

Com relação a geração de energia atualmente, é importante salientar o surgimento do conceito de geração distribuída e seus dois modos de operação primordiais, sendo eles: a geração que atende à carga em paralelo com o sistema elétrico, denominado on-grid, e o sistema isolado da rede elétrica, denominado off-grid (NARUTO, 2017).

Lincado a isto, vem o conceito de microrredes ou *microgrids* oriundo da utilização de geração distribuída utilizada para suprir cargas localmente, adaptando a geração às necessidades da carga. Partindo da ótica atual da geração estando distante da distribuição, ligados pela transmissão, pode-se enxergar a distribuição como uma carga ativa. Assim um cliente pode tanto consumir quanto fornecer potência do sistema principal, devido à geração de pequena escala próxima das cargas.

As microrredes somadas à geração distribuída de energia on-grid podem ser consideradas como partes fundamentais da construção das smart grids. As redes

inteligentes (smart grids) conferem a capacidade de fluxo bidirecional de fluxo energético à rede elétrica.

Uma rede de distribuição ativa expressa que os consumidores (carga), não mais serão unidades passivas do sistema, esperando que a energia proveniente de gerações a quilômetros de distância chegue até eles. Nesse novo conceito a geração seria mais próxima do consumo (carga), diminuindo com isto as perdas, perturbações e aumentando o grau de independência com relação ao sistema nacional.

Neste sentido, este projeto teve como enfoque principal avaliar a qualidade da energia elétrica e a disponibilidade energética em pequenas propriedades rurais do Assentamento rural – Estrela da Ilha, verificando a possibilidade de implantação de geradores distribuídos e de redes inteligentes, considerando o potencial de geração local de energia elétrica e outras ações que reduzam o consumo de eletricidade. Um estudo das características do ambiente selecionado proporcionou definições mais concretas e objetivas para as tecnologias a serem utilizadas, bem como o impacto social e ambiental dessas novas tecnologias. Assim, deve-se verificar a disponibilidade de fontes primárias de energia (sol, vento, biomassa, água dos córregos e riachos, etc) que possam ser convertidas em energia elétrica ou outros tipos de energia.

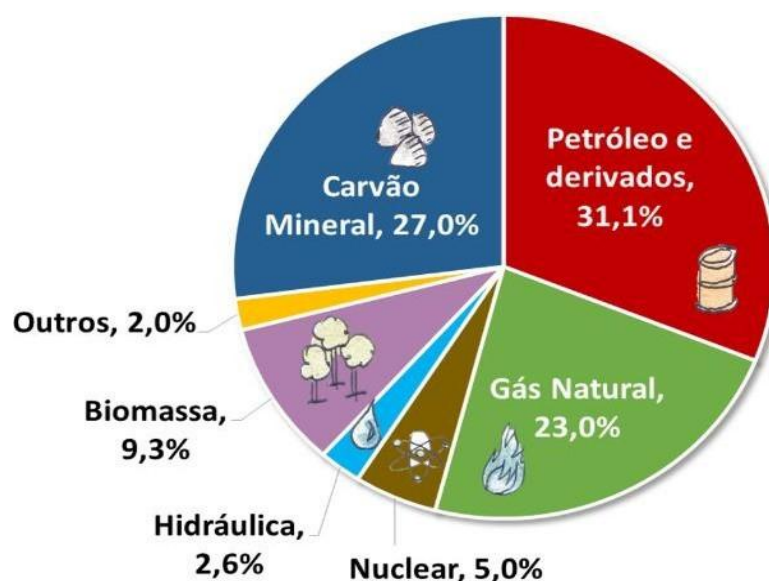
2 CONJUNTURA ATUAL DO SETOR ELÉTRICO: CONTEXTUALIZAÇÃO, TECNOLOGIAS E REGULAMENTAÇÃO.

2.1 Matriz Energética e matriz elétrica.

Há uma diferença existente entre os termos matriz energética e matriz elétrica, muito utilizados atualmente. A matriz energética caracteriza-se como o conjunto de fontes de energia disponíveis para movimentar os carros, preparar a comida no fogão e gerar eletricidade, enquanto que a matriz elétrica é formada pelo conjunto de fontes disponíveis apenas para a geração de energia elétrica. Concluimos assim que a matriz elétrica é parte da matriz energética (EPE, 2022).

A matriz energética mundial baseia-se muito em função de combustíveis não-renováveis, como o gás natural, petróleo e carvão mineral, como demonstrado na figura 1(EPE, 2022).

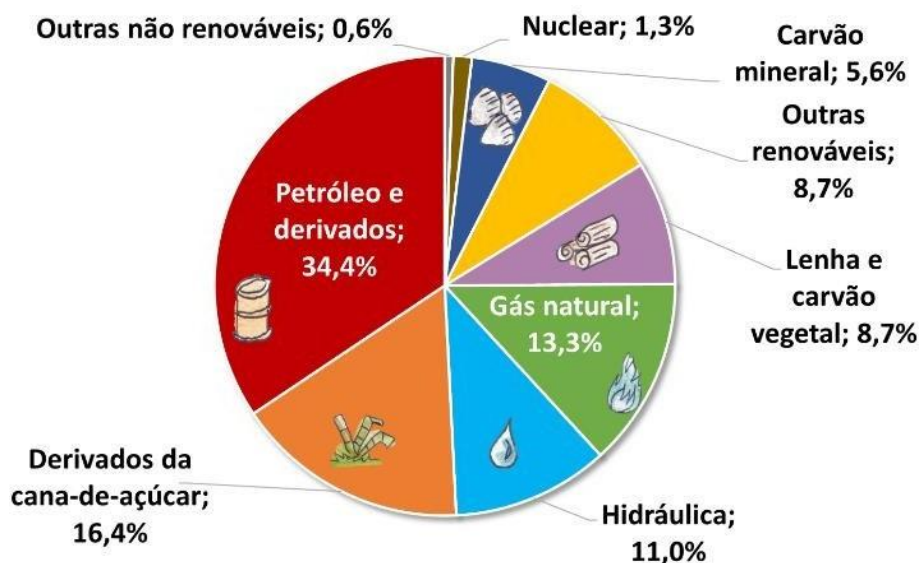
Figura 1 – Matriz energética mundial 2019.



Fonte: (EPE, 2022)

Por sua vez, a matriz energética brasileira caracteriza-se por utilizar mais fontes renováveis que no resto do mundo. Somando lenha e carvão vegetal, hidráulica, derivados de cana e outras renováveis, nossas renováveis totalizam 44,8%, quase metade da nossa matriz energética. A figura 2 caracteriza a matriz energética brasileira.

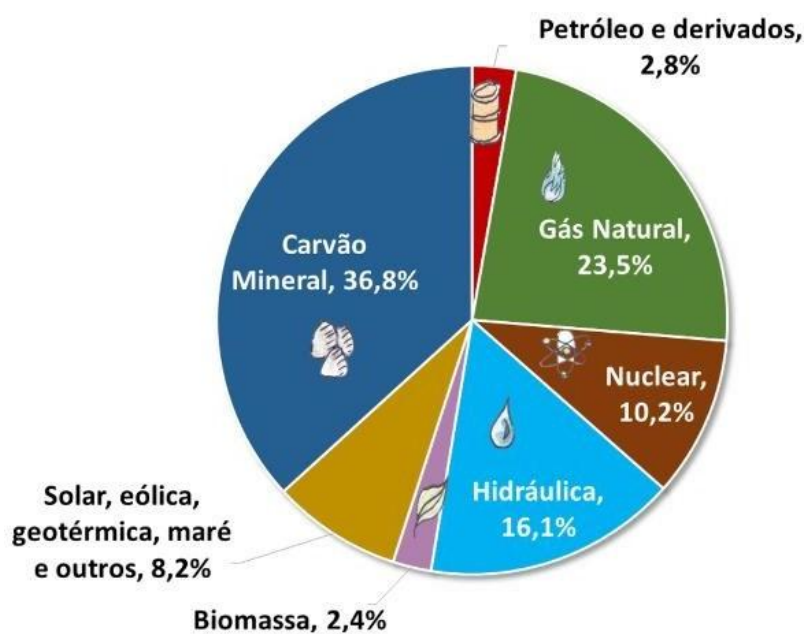
Figura 2 – Matriz energética brasileira 2021.



Fonte: (EPE, 2022)

No mundo a geração de energia elétrica é baseada, principalmente, em combustíveis fósseis como carvão, óleo e gás natural, em termelétricas. Conforme a figura 3, observamos a característica da matriz elétrica mundial (EPE, 2022).

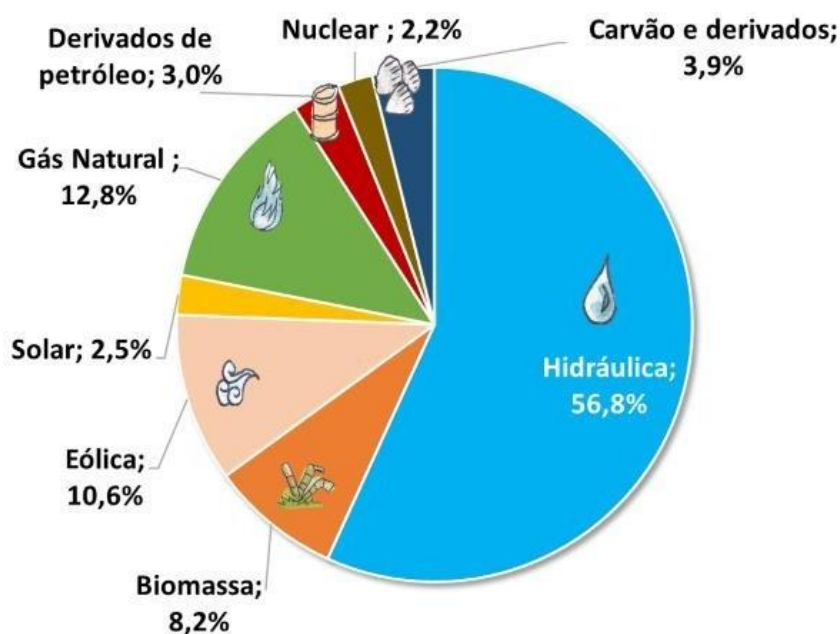
Figura 3 – Matriz elétrica mundial 2019.



Fonte: (EPE, 2022).

A matriz elétrica brasileira por sua vez, caracteriza-se por ser mais renovável do que a mundial, isso porque grande parte da energia elétrica gerada no Brasil vem de grandes usinas hidrelétricas. A energia eólica também vem crescendo bastante, contribuindo para que a nossa matriz elétrica continue sendo, em sua maior parte, renovável (EPE, 2022). A figura 4 ilustra a matriz elétrica brasileira no ano de 2021.

Figura 4 – Matriz elétrica brasileira 2021.



Fonte: (EPE, 2022)

Com o intuito de diversificar a matriz elétrica e minimizar a dependência dos consumidores para com a rede elétrica convencional, aumentando a flexibilidade, e melhorando eficiência do sistema elétrico, um conceito que vem se difundindo amplamente a nível mundial é o de geração distribuída de energia elétrica, que facilita a utilização de diversas fontes de energia visando sempre qualidade e confiabilidade do sistema. Além disso, a utilização de recursos não convencionais e renováveis de energia vem sendo estimulada e incentivada pelos governos, através de incentivos econômico-financeiros e facilidades de aquisições, e pelas organizações em prol do meio ambiente, através de campanhas sustentáveis. Sendo os países europeus – como Alemanha e Portugal - e asiáticos – como China e Japão, os principais incentivadores e precursores deste novo nicho, principalmente no setor de energia fotovoltaica (PV) (SOLAR POWER EUROPE, 2015).

2.2 Fontes de Energia Elétrica.

A produção de energia elétrica e segurança energética têm sido alvos de grande interesse por todas as nações globais, uma vez que, a geração de energia elétrica está atrelada a questões de custos/receitas, geopolítica e o mais importante, questões sócio-ambientais. Sendo assim, a energia tem sido tratada como um bem de natureza estratégica, tendo grande relevância na agenda mundial.

Atualmente, as fontes de energia podem ser divididas em dois grandes grupos, os renováveis e não-renováveis, estes grupos são diferenciados pela capacidade natural de reposição dos recursos daquela fonte.

2.1.1 Renováveis.

Os renováveis, como o próprio nome indica, são recursos que podem ser repostos imediatamente. Alguns exemplos são os potenciais hidráulicos (quedas d'água, rios com desníveis), eólicos (ventos), a energia das marés e das ondas (maremotriz), a radiação solar e o calor do fundo da Terra (geotermal) (ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM FUTURO SUSTENTÁVEL, 2007).

A biomassa que também é uma fonte renovável de energia, pode ser dividida em diversas subcategorias, desde as mais tradicionais e antigas, destacando-se a lenha e os resíduos animais e vegetais, e chegando até as mais modernas como o etanol para automóveis (que pode ser oriundo da cana-de-açúcar ou do milho), biodiesel, bagaço de cana para cogeração energética e gás de aterros sanitários utilizados para a geração de eletricidade (ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM FUTURO SUSTENTÁVEL, 2007).

2.1.2 Não renováveis.

As não renováveis são aquelas que necessitam de milhões e milhões de anos para serem repostas na natureza. Alguns exemplos são as fontes provenientes de recursos fósseis, como carvão mineral, petróleo e o gás natural. Combustíveis nucleares utilizados na produção de energia nuclear, como o urânio e o plutônio também são caracterizados como não renováveis (ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM

FUTURO SUSTENTÁVEL, 2007). A figura 5 elucida a classificação das fontes de energia em renováveis ou não renováveis.

Figura 5 - Classificação das fontes de energia em renováveis ou não renováveis.

Fontes		Energia primária	Energia secundária	
Não-renováveis	Fósseis	carvão mineral	termoeletricidade, calor, combustível para transporte	
		petróleo e derivados		
		gás natural		
	Nuclear	materiais físséis	termoeletricidade, calor	
Renováveis	"Tradicionais"	biomassa primitiva: lenha de desmatamento	calor	
	"Convencionais"	potenciais hidráulicos de médio e grande porte	hidreletricidade	
		potenciais hidráulicos de pequeno porte		
	"Novas"	biomassa "moderna": lenha replantada, culturas energéticas (cana-de-açúcar, óleos vegetais)	biocombustíveis (etanol, biodiesel), termoeletricidade, calor	
		outros	energia solar	calor, eletricidade fotovoltaica
			geotermal	calor e eletricidade
			eólica	eletricidade
maremótriz e das ondas				

Fonte: (ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM FUTURO SUSTENTÁVEL, 2007).

Conforme a figura 5 podemos perceber que a classificação das fontes renováveis é ainda especificada em tradicionais, convencionais e novas. As tradicionais são caracterizadas pelas fontes mais primitivas, como a lenha, que vem sendo utilizada pelos seres humanos desde a pré-história. As convencionais são as que já vem sendo dominadas e comercializadas a algumas décadas, como a hidráulica, utilizada em empreendimentos de usinas hidrelétricas de médio e grande porte. E as novas são aquelas emergentes que estão começando a competir

comercialmente com as fontes tradicionais, é o caso da energia proveniente de painéis solares, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), biomassa moderna, etc (ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM FUTURO SUSTENTÁVEL, 2007).

Os horizontes de vida útil para algumas fontes não-renováveis de energia são estimados em 50 anos para o petróleo e de 60 anos para o gás natural. Cada vez mais dinheiro será gasto para tentar ampliar este horizonte, porém em lugares cada vez mais remotos do planeta (ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM FUTURO SUSTENTÁVEL, 2007).

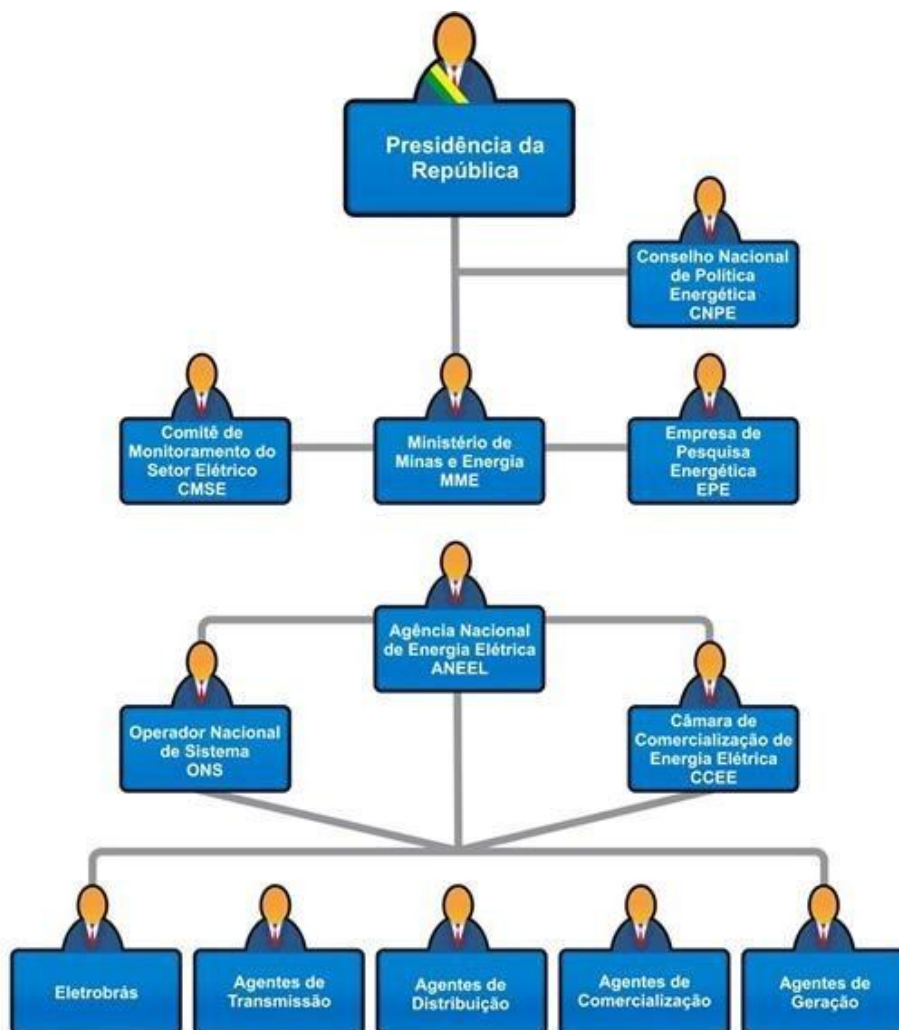
Os impactos ambientais e as mudanças climáticas que a utilização destes recursos altamente poluidores têm causado no meio ambiente são imensuráveis, como por exemplo, a alta taxa de deposição de CO₂ na atmosfera, em decorrência da queima de combustíveis oriundos do petróleo e gás natural, e os constantes derramamentos de óleo em oceanos e zonas de proteção ambiental.

Isto tem levado os países a cada vez mais olharem para os recursos renováveis como uma saída para a crise energética global iminente, e uma solução plausível para se ter um desenvolvimento mais sustentável, pois emitem um índice muito menor de carbono em seu ciclo de vida, e se utilizados de maneira correta e inteligente, são praticamente inexauríveis (ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM FUTURO SUSTENTÁVEL, 2007).

2.3 Hierarquia do setor elétrico brasileiro

Entre os anos de 1995 e 2004 o setor elétrico brasileiro passou por estruturas institucionais. Essas reformas resultaram na atual estrutura de funcionamento do setor, idealizada prezando por um equilíbrio institucional entre agentes de governo, agentes públicos e privados. A figura 6 ilustra o esquema do mapeamento organizacional das instituições que dão corpo ao setor elétrico nacional.

Figura 6 – Organograma do setor elétrico brasileiro.



Fonte: (SESTARI FILHO, 2020)

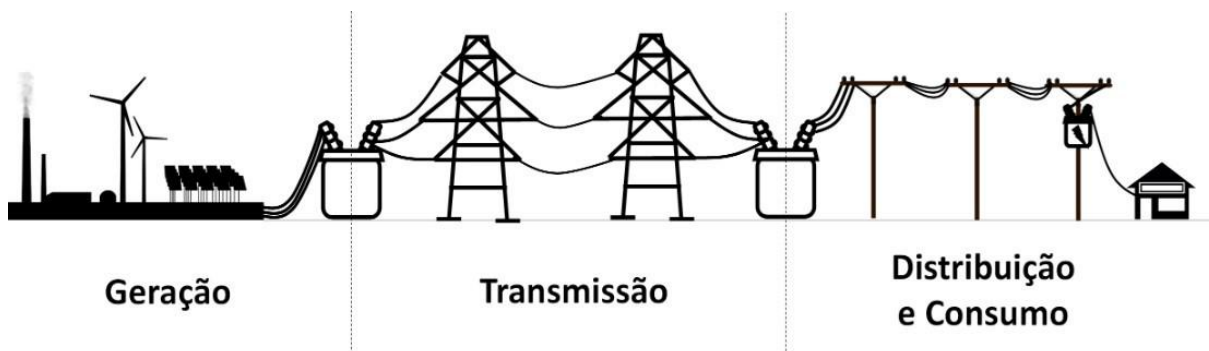
Em linhas gerais os órgãos do governo são os responsáveis pela política energética do setor, sua regulação, operação centralizada e comércio de energia. São eles: CNPE, CMSE e MME (SESTARI FILHO, 2020).

- O CNPE é órgão que assessoria o Presidente da República para formulação de políticas e diretrizes de energia e é presidido pelo Ministro de Estado de Minas e Energia (SESTARI FILHO, 2020).
- O CMSE tem como função o acompanhamento e a avaliação permanente da continuidade e a segurança do suprimento eletroenergético em todo o território nacional. É constituído pela ANEEL, ANP, CCEE, EPE e ONS (SESTARI FILHO, 2020).

- O MME é órgão da administração federal direta, representa a União como Poder Concedente e formulador de políticas públicas, bem como indutor e supervisor da implementação dessas políticas nas áreas de geologia, recursos minerais e energéticos, aproveitamento da energia hidráulica, mineração e metalurgia, petróleo, combustível e energia elétrica, inclusive nuclear (SESTARI FILHO, 2020).
- A ANEEL é responsável pelas atividades regulatórias e de fiscalização. Já as atividades de planejamento, operação e contabilização são exercidas por empresas públicas ou de direito privado sem fins lucrativos, como a EPE, ONS e CCEE (SESTARI FILHO, 2020).

As atividades permitidas e reguladas são exercidas pelos demais agentes do setor: geradores, transmissores, distribuidores e comercializadores, conforme ilustrado na figura 7:

Figura 7 – Subsistemas de um sistema elétrico de potência (SEP).



Fonte:(O SISTEMA... 2022)

2.4 Microrredes (*microgrids*).

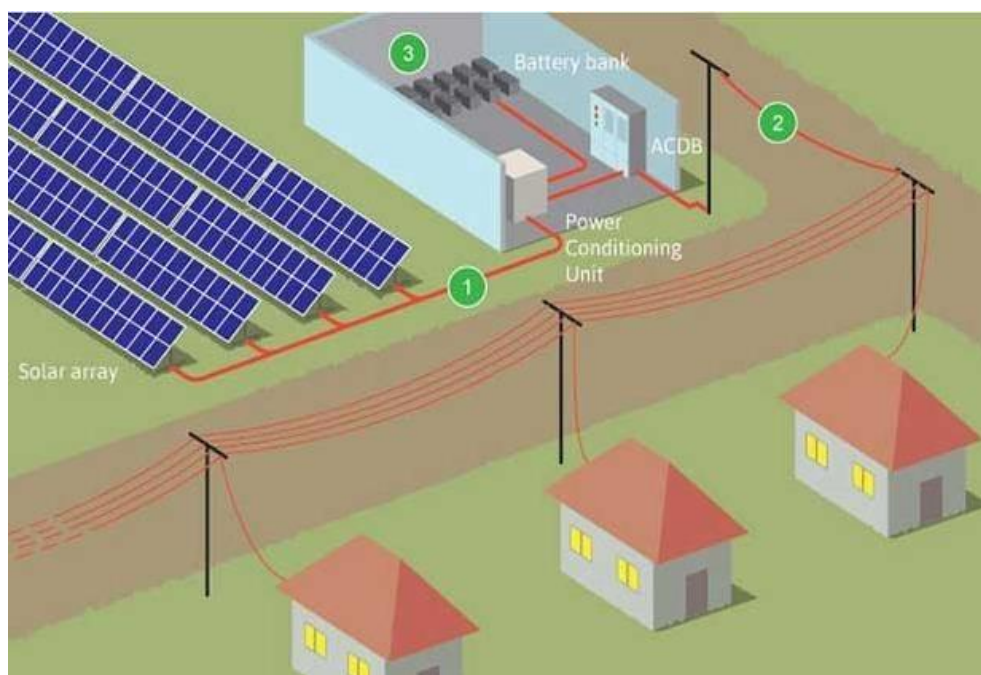
O conceito de microrredes vem sendo alvo de grandes discussões sobre geração de energia elétrica e eletrificação em todo o mundo. Esta proposta surge como uma revolução na maneira de se pensar geração, transmissão e distribuição, mudando o modelo unidirecional e hierárquico que se observa na maior parte dos sistemas elétricos mundiais.

A definição sobre microrredes até o presente momento é alvo de muitas dúvidas e discussões, porém segundo o Glossário de Termos Técnicos do PRODIST ela é descrita como uma rede de distribuição de energia elétrica habilitada para operar de maneira isolada ou não do sistema de distribuição, e que é atendida diretamente por uma unidade de geração distribuída (ABNT, 2016).

As microrredes como dito anteriormente podem operar de maneira autônoma (ilhada / desabilitada da rede convencional), habilitada em paralelo com a rede convencional, ou em transição entre os modos de operação em conexão com a rede ou ilhamento. Assim a mesma caracteriza-se sendo uma rede de distribuição ativa, pois ela pode estar gerando energia e não somente sendo uma carga consumidora. (CHOWDHURY, CHOWDHURY e CROSSLEY, 2009).

A figura 8 demonstra o funcionamento de uma microrrede.

Figura 8 – Esquema de uma microrrede



Fonte: (AAQIB, 2022).

A partir do esquema demonstrado na figura 8, percebe-se a presença de painéis solares (*solar array*), responsáveis pela geração de energia elétrica renovável e limpa através dos raios solares, estes painéis fazem parte do conjunto de geração distribuída desta determinada localidade (processo que será explicado mais à frente no decorrer do trabalho). Verifica-se também a presença de uma

estrutura civil, contendo um banco de baterias (*battery bank*), para armazenamento de energia elétrica, unidade de condicionamento de energia (*power conditioning unit*), responsável por manter um nível adequado de qualidade da energia elétrica gerada, e por último o inversor de frequência (*ACDB*), que é o responsável por transformar a corrente contínua (gerada nos painéis solares) em corrente alternada.

Este sistema se caracteriza como *on-grid*, em que a microrrede está em paralelo com a rede convencional, essa oriunda das linhas de transmissão.

2.5 Redes inteligentes (*smart grids*).

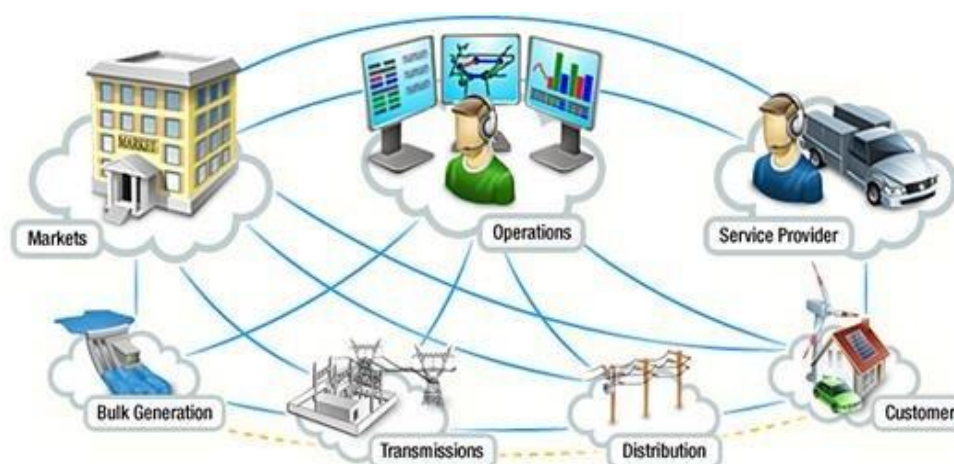
Pode-se entender *Smart Grid* como a tecnologia digital que permite a comunicação bidirecional entre a concessionária e seus clientes, e a detecção ao longo das linhas de transmissão. Consiste na aliança dos controles, computadores, automação e novas tecnologias à infraestrutura da rede elétrica para responder digitalmente à nossa demanda elétrica em rápida mudança (SmartGrid.gov, 2023).

O conceito de *Smart Grid* agrega uma gama de benefícios associados, sendo eles:

- Transmissão mais eficiente de eletricidade;
- Restauração mais rápida de eletricidade após distúrbios de energia;
- Custos reduzidos de operação e gerenciamento para concessionárias e, finalmente, custos de energia mais baixos para os consumidores;
- Demanda de pico reduzida, o que também ajudará a reduzir as tarifas de eletricidade;
- Maior integração de sistemas de energia renovável em larga escala;
- Melhor integração dos sistemas de geração de energia do proprietário do cliente, incluindo sistemas de energia renovável;
- Segurança aprimorada.

A figura 9 ilustra um modelo de *smart grid*.

Figura 9 - Modelo de *Smart Grid*, segundo o Instituto Nacional de Normas e Tecnologias dos EUA (*NIST*).

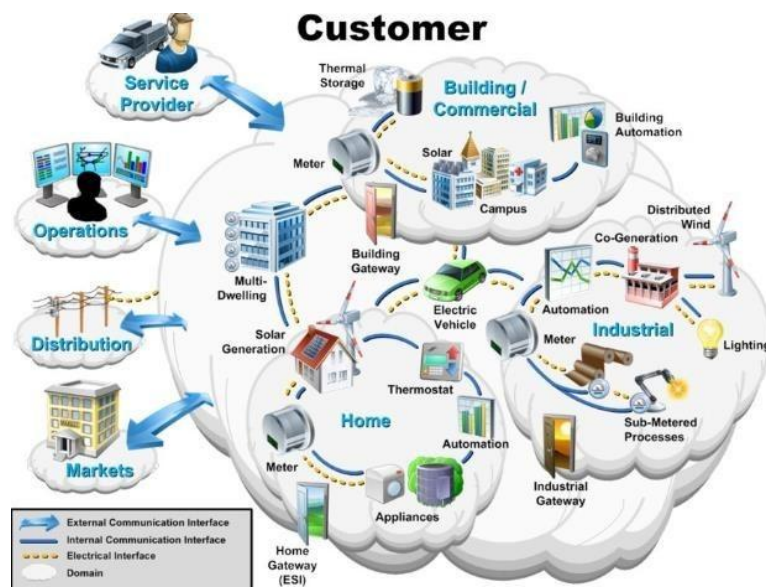


Fonte: (IEEE, 2013).

Em suma a *smart grid* é uma rede complexa, não podendo ser representada apenas por um tipo de consumidor/elemento. É um sistema elétrico moderno, dinâmico, ativo e adaptativo. Pela figura 9 observamos os mercados (*markets*), a geração em massa (*bulk generation*), a transmissão (*transmissions*), a distribuição (*distribution*), o cliente (*customer*), o provedor de serviço (*service provider*), e por fim o operador (*operations*).

A figura 10 ilustra os detalhes da complexidade do domínio do consumidor e como esses consumidores são conectados à rede de distribuição através dos medidores inteligentes (*smart meters*), que gerenciam o fluxo de energia para/dos clientes (SILVEIRA, 2013).

Figura 10 - Domínio do consumidor.



Fonte: (IEEE, 2013).

2.6 Geração distribuída.

A Agência Internacional de Energia (*IEA*), define que geração distribuída de energia é a produção de energia próxima à unidade consumidora (carga), e que este conceito é independente da capacidade de geração instalada e dos recursos utilizados para a produção da mesma (*IEA*, 2002)

Este tipo de geração caracteriza-se por não necessitar de linhas de transmissão de alta tensão como no sistema convencional centralizado, em que a energia para abastecer uma carga é gerada a milhares de quilômetros de distância.

As microrredes, já abordadas no presente trabalho, são atendidas pela geração distribuída de energia para suprir a demanda de suas cargas em sua malha elétrica.

A geração distribuída pode ser classificada de duas maneiras sendo denominada como *ON-GRID* ou *OFF-GRID*.

2.6.1 Off-grid.

A geração distribuída *off grid* caracteriza-se por estar isolada da rede elétrica convencional e não ser abastecida pelas grandes linhas de transmissão. Ela está desligada do sistema elétrico interligado, e é utilizada na maioria dos casos em

microrredes de regiões isoladas do Brasil e do mundo, como povoados ribeirinhos na Amazônia ou então fazendas mais remotamente localizadas.

A energia produzida ali, ou é consumida imediatamente pela carga, ou então pode ser estocada em baterias que garantem o abastecimento energético durante períodos de escassez de produção de energia elétrica.

O Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA) estima que quase um milhão de brasileiros não possuem acesso à energia no país, sendo que a maior parte destes se encontram localizados principalmente na Amazônia Legal (TEIXEIRA, 2020). Nestes casos os sistemas de geração de energia fotovoltaica off grid são excelentes, devido à proximidade da região Amazônica à Linha do Equador, o que lhe confere uma incidência de radiação solar que se mantém constante e alta praticamente durante o ano todo. A figura 11 ilustra uma residência com a presença de painéis fotovoltaicos instalados.

Figura 11 – Imagem de uma casa ribeirinha isolada na região Amazônica, com a presença de painéis fotovoltaicos instalados.



Fonte: (PRESTES, 2022).

No Brasil um exemplo de sistema off-grid de geração distribuída é o das comunidades São Francisco do Aiucá e São Paulo do Coraci, localizadas nas Reservas de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá e Amanã, que fazem parte dos

municípios de Uarini, Fonte Boa e Maraã, no estado do Amazonas. Até o ano de 2007 foram instalados um total de 23 sistemas de geração para as populações ribeirinhas que ali residem (GOMES, 2020).

2.6.2 On-grid (*grid-tie*).

A geração distribuída *on-grid* caracteriza-se por estar conectada em paralelo com a rede elétrica convencional, assim, em momentos em que não há produção de energia in loco, é possível utilizá-la da distribuidora e, em casos de excesso de produção, recebem-se créditos de energia. Com o sistema *on-grid* não se faz necessário a utilização de baterias para o armazenamento de energia, em virtude da conexão com a rede elétrica convencional. A figura 12 ilustra este caso.

Figura 12 – Representação do fluxo de energia em um sistema fotovoltaico *on-grid*.



Fonte: (BLUE SOL ENERGIA SOLAR, 2019).

A figura 12 ilustra uma geração distribuída fotovoltaica conectada à rede (*on-grid*). Em suma pode-se entender que quando há incidência solar, ocorre a geração

de energia elétrica, em corrente contínua (CC) sendo transformada em corrente alternada (CA) pelo inversor.

A partir daí toda a energia gerada pelos painéis solares fotovoltaicos é injetada no quadro geral da unidade consumidora, que neste caso é a casa presente na figura. Todos os aparelhos eletrônicos da casa se alimentarão desta potência gerada pelos painéis.

Caso esta energia gerada esteja em superávit com a demanda, o excedente será exportado para a rede elétrica convencional, passando pelo medidor de energia bidirecional, computando esta como energia injetada.

O valor da energia injetada é utilizado como crédito energético, e serve para abater do valor da energia consumida. O máximo que pode ser abatido é 100% do valor da energia consumida. Caso a energia injetada seja maior que a consumida naquela unidade consumidora, os créditos gerados poderão ser utilizados em outras unidades consumidoras do proprietário.

Caso a geração pelos painéis seja nula (período noturno) ou esteja em débito com relação a demanda requisitada pela casa (carga), será importado da rede elétrica convencional o faltante para alimentação completa da casa. Esta energia importada também é contabilizada pela passagem no medidor bidirecional de energia (MENDONÇA, 2011)

Um exemplo de geração distribuída on-grid no Brasil é o caso da Central de Bioenergia a Biogás em Entre Rios do Oeste no estado do Paraná.

O objetivo do projeto consiste na geração de energia elétrica a partir do biogás produzido em propriedades suinocultoras do oeste do Paraná. Este biogás é derivado dos dejetos orgânicos produzidos pelos animais. Além do biogás, outro material obtido do processo é um fertilizante natural, utilizado em pastagens.

As propriedades produtoras do biogás, possuem um sistema de coleta de gás de 20,6 quilômetros, responsável por transportar o mesmo até a Mini Central Termelétrica de 480 kW de potência instalada. A energia é responsável por abastecer mais de 40 prédios públicos do município.

Além dos ganhos em termos de geração, obtendo 3000 MW/h ano de energia elétrica, e a possibilidade de utilizar este sistema de geração elétrica em paralelo com a rede elétrica convencional, este projeto propiciou ganhos ambientais para a região, com o tratamento diário de 215 toneladas de resíduos, evitando a contaminação de recursos hídricos e da atmosfera (contenção da liberação de gases

poluentes). Está gerando uma renda extra para os suinocultores, sendo esta determinada pela quantidade de biogás cedida para a Mini Central Termelétrica. Além de claro gerar uma economia mensal de energia para o município de Entre Rios do Oeste (CIBIOGÁS, 2022). As figuras 13 e 14 ilustram a infraestrutura do projeto.

Figura 13 - Mini Central Termelétrica de 480 kW de potência instalada.



Fonte: (CIBIOGÁS, 2022).

Figura 14 – Geradores da Mini Central Termelétrica alimentados com o biogás rico em metano.



Fonte: (CIBIOGÁS, 2022).

2.7 Procedimento de Distribuição (PRODIST).

Os Procedimentos de Distribuição são procedimentos elaborados pela Aneel que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas à geração, transmissão, consumo de energia elétrica e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2022).

Atualmente é composto por onze módulos, sendo cada um deles responsável por detalhar as ações técnicas dos agentes de distribuição, ou seja, das partes interessadas que estão conectadas ou que irão se conectar.

Basicamente para nosso trabalho, será de grande valia as informações presentes nos módulos 1, 3 e 8. A seguir segue um resumo elucidando do que trata cada módulo.

2.7.1 Módulo 1 – Introdução.

O módulo 1 do PRODIST, além de ser um módulo introdutório, visa também estabelecer as responsabilidades dos agentes de distribuição em relação ao PRODIST e disponibilizar o dicionário dos outros módulos, o Glossário.

Em suma, a matriz de responsabilidades diz respeito à forma como os agentes devem cumprir, participar e disseminar as normas contidas nos Procedimentos de Distribuição (ANEEL, 2022).

2.7.2 Módulo 3 – Acesso ao sistema de distribuição.

Em suma, o módulo 3 do PRODIST define os critérios necessários para o acesso e/ou uso do sistema de distribuição. Nesse sentido, o módulo 3 estabelece critérios que devem ser observados pelos acessos e pelas acessadas.

O Módulo 3 do PRODIST é dividido em 6 seções além da Introdução:

- **Procedimento de acesso** – condições de conexão elétrica de UCs na rede;
- **Critérios técnicos e operacionais** – condições de projeto para conexão elétrica;
- **Requisitos de projeto** – requisitos de projetos de subestação e memorial;

- **Implantação de novas conexões** – vistoria e aprovação da distribuidora de novas UCs;
- **Requisitos para operação, manutenção e segurança da conexão** – diretrizes de segurança da operação e manutenção das UCs.
- **Contratos** – definição de contratos de distribuição (ANEEL, 2022).

2.7.3 Módulo 8 – Qualidade da energia elétrica.

Em linhas gerais o módulo 8 se trata dos procedimentos relativos a parametrização da:

- **Qualidade do Produto** - apresenta informações sobre a conformidade da tensão de fornecimento disponibilizada aos consumidores, ou seja, qualidade de tensão de fornecimento.
- **Qualidade do Serviço** - se refere aos indicadores de continuidade do fornecimento de energia, à quantidade e a frequência de interrupções pelas quais o sistema passa ao longo de um ciclo de faturamento.
- **Qualidade no Tratamento das Informações das Distribuidoras** – avaliação das distribuidoras sobre as reclamações dos clientes (ANEEL, 2022).

2.8 Fluxo de carga.

28.1 Definição.

O fluxo de carga consiste em um estudo que prevê tensões, correntes e potências no estado estacionário de um sistema elétrico, ele é de fundamental importância para o projeto de infraestrutura de uma malha elétrica.

Pode ser empregado tanto em projetos novos, como também em sistemas que já se encontram em funcionamento, possibilitando o teste nestes sistemas de situações adversas que não poderiam ser testadas no sistema real, pois causarão danos prejudiciais à rede. Simulam várias situações adversas, como perda de um transformador ou de linha de transmissão, variação de carga ou então a inserção de um ou mais geradores no sistema.

Destaca-se que o estudo de fluxo de potência é uma exibição matemática (muitas vezes iterativa) de uma rede elétrica, com modelos criados e desenvolvidos há muitos anos como os métodos de Newton-Raphson e Gauss Seidel. Como os cálculos geralmente são complexos surge a necessidade de se ter um software eficiente para o estudo como o PowerFactory.

Determinações realizadas através de um de fluxo de potência pode-se:

- Fluxo de potência ativa e reativa;
- Tensões nos barramentos;
- Tap de transformadores;
- Perdas no sistema
- Dimensionamento de equipamentos;
- Carregamento de equipamentos;
- Desempenho sob cargas e mínimas;
- Desempenho sob contingências.

Estas informações são pilares valiosos para a aferir a viabilidade econômica e de investimentos, para futuras expansões de um sistema (PRONEXT ENGENHARIA, 2022).

Para a realização do fluxo de potência algumas suposições devem ser esclarecidas. As três principais são:

- Cargas ativas e reativas nos barramentos do sistema são constantes;
- Admite-se que o sistema elétrico opere de forma equilibrada e assim, é realizada apenas uma representação unifilar;
- Os elementos passivos do sistema são representados com parâmetros concentrados.

2.8.2 Modelagem matemática.

A modelagem matemática para resolução do problema se baseia na equação nodal de uma rede com N nós:

$$[Y_n] [V_n] = [I_n]$$

Onde: $[Y_n]$ é a matriz de admitância nodal do sistema; $[V_n]$ é o vetor de tensões nodais do sistema e $[I_n]$ é o vetor das correntes injetadas nos nós do sistema.

Se o vetor de corrente fosse conhecido o problema estaria resolvido, porém ele é dependente das potências e tensões do sistema. Assim, para a resolução do problema, existem N equações complexas, que separadas em parte real e imaginária fornecerão um conjunto de 2N equações com seis variáveis.

Logo, seis variáveis, das quais duas devem sempre ser especificadas para que o problema tenha solução.

Dependendo de quais variáveis são especificadas e quais serão consideradas como incógnitas, pode-se definir três tipos de barramento:

- Barramento de carga ou tipo PQ;
- Barramento de geração ou tipo PV;
- Barra de referência, *Swing* ou *Slack*.

A partir daí os métodos de cálculo iterativos são utilizados para resolução do problema (PRONEXT ENGENHARIA, 2022).

3 O ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA.

O assentamento Estrela da Ilha, localizado no município de Ilha Solteira – SP foi criado em 2005 e possui em torno de 230 lotes ocupados, estando a uma distância de apenas alguns quilômetros da área urbana da cidade de Ilha Solteira. A proximidade da área urbana facilita as visitas e as atividades de campo realizadas no projeto. A figura 15 ilustra a área e localização do local.

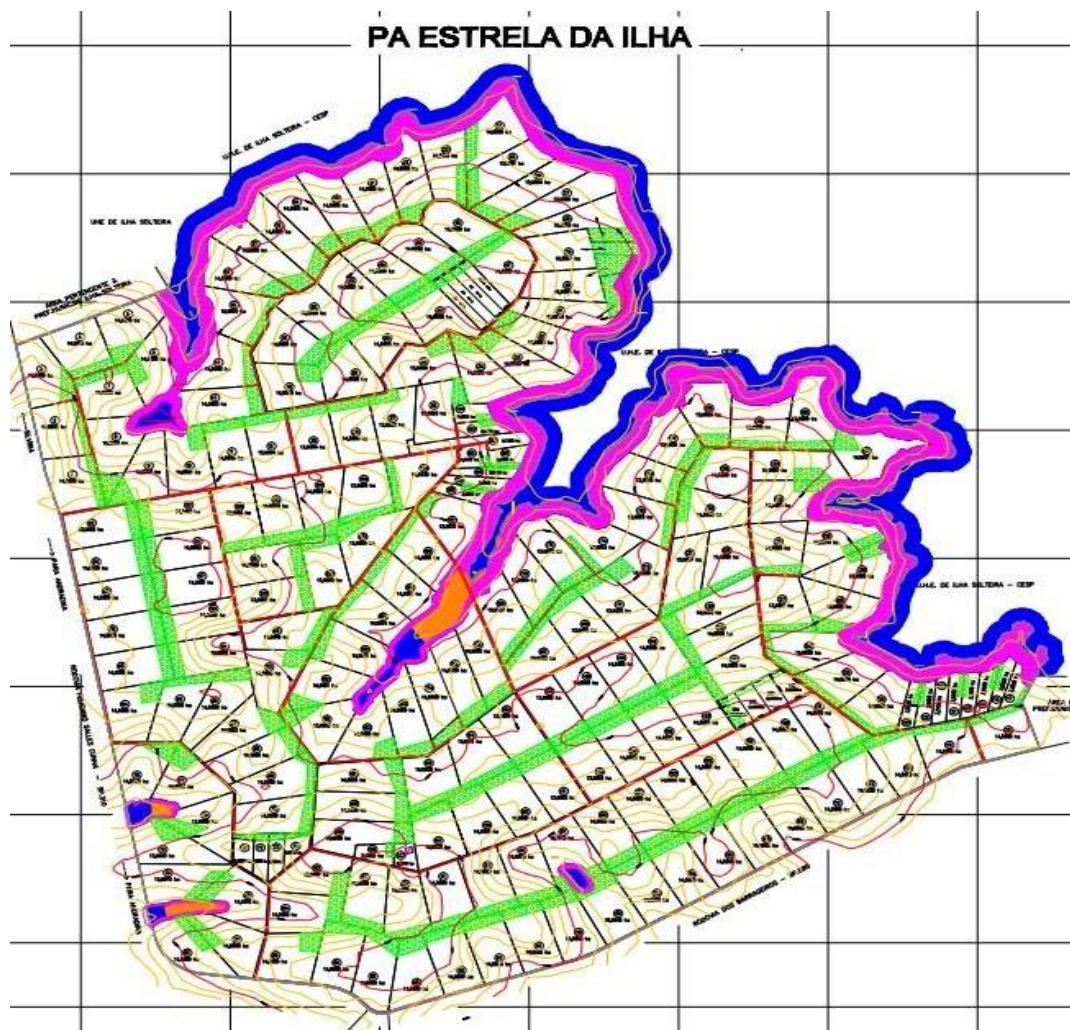
Figura 15 – Assentamento Estrela da Ilha localização espacial.



Fonte: (JÚNIOR, 2022).

Verifica-se pela figura 15 que o assentamento possui uma enorme área, fazendo fronteira com o Rio São José dos Dourados à Norte e Nordeste, pelo Sul temos a Rodovia dos Barrageiros e a Leste a Rodovia SP – 595. A seguir tem-se o mapa de parcelamento do solo, que exhibe exatamente como está a divisão de lotes naquela área. A figura 16 ilustra o parcelamento dos lotes do local.

Figura 16 – Mapa de Parcelamento do Solo do Assentamento.

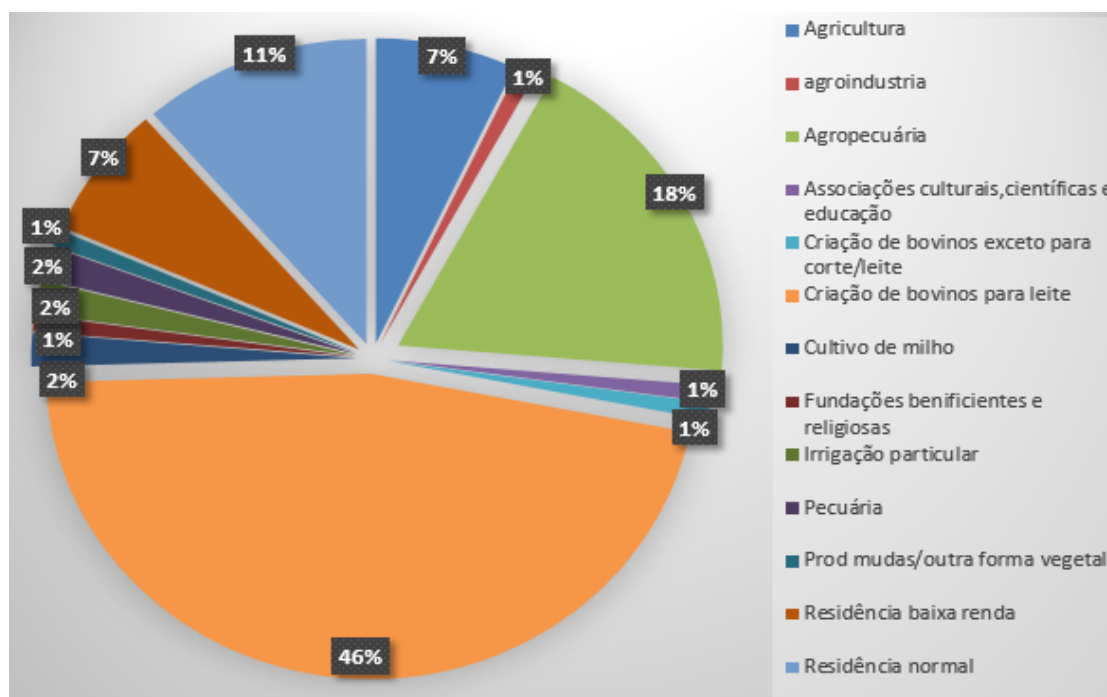


Fonte: (JÚNIOR, 2022).

Foram disponibilizados pela Concessionária de energia elétrica Elektro, diversas faturas de energia elétrica do Assentamento Estrela da Ilha. Dos 230 lotes totais foram disponibilizadas as faturas de 114 lotes, o que proporcionou uma boa amostragem com respeito às características daquela localidade. Por questões éticas e legais todas as identidades das pessoas presentes nas faturas foram cuidadosamente mantidas em sigilo, e não foram reveladas neste trabalho. O quadro 1 no Anexo - A, evidencia a classe de consumo, a alimentação e as fases ligadas dos lotes estudados, a partir do mesmo, conseguiu-se realizar diferentes análises dos dados contidos no mesmo.

Primeiramente foi realizada uma análise sobre o tipo de classe consumidora de energia elétrica cadastrada na concessionária. A figura 17 ilustra os dados obtidos.

Figura 17 – Distribuição da classe de consumo.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A partir do gráfico da figura 17 elucida-se uma esmagadora abrangência de lotes cadastrados como Criação de gado para leite, chegando a 46% dos 144 lotes analisados, estando em segundo com 18% a Agropecuária, como a produção de milho. Isso é característico, como era de se esperar, de um assentamento rural, mas demonstra a preferência da população local pelo uso da terra destinado predominantemente para a pecuária bovina de leite.

Nota-se também o cadastro de muitos lotes apenas como residenciais, destacando-se as residências normais com 11% e residências de baixa renda com 7%.

A partir destes dados de classe consumidora fica explícito a real possibilidade de implantação de um biodigestor alimentado por fezes do gado leiteiro, que alimentaria através da queima do seu produto (gás metano), as turbinas para a produção de energia elétrica limpa, renovável e distribuída.

Esta geração distribuída poderia ser conectada à rede convencional (on-grid), o que se traduziria em uma maior dinâmica de abastecimento, redução das faturas de energia elétrica e conseqüentemente melhoria na qualidade da energia daquela microrrede.

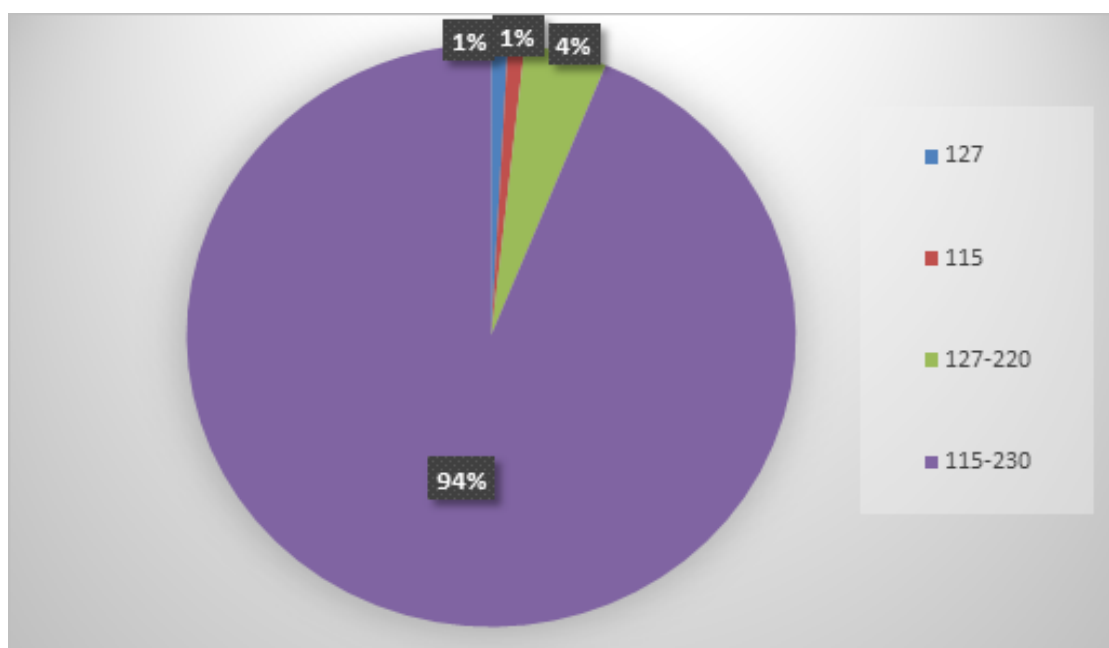
O outro produto proveniente da decomposição da matéria orgânica seria um biofertilizante, que poderia ser utilizada nas outras culturas agrícolas do assentamento, em especial a do milho

É importante salientar que já foram realizados estudos relacionados à biomassa, comprovando a real possibilidade produtiva daquele local. É o caso do artigo “POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS – O CASO DO ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA” em que tem como um dos autores o Professor Dr. Dionízio Paschoareli Júnior (COELHO et al., 2018).

Além disso, já se encontra em funcionamento uma fossa biodigestora instalada em um dos lotes daquela localidade, tendo como objetivo criar um sistema de tratamento do esgoto sanitário, descontaminando o líquido e tornando-o rico em nutrientes, podendo também ser utilizado em plantações. O projeto é desenvolvido pela Engenheira Civil Letícia Beatriz Lima, pós-graduanda em recursos hídricos pela Unesp – FEIS (SUZUKI, 2021).

A figura 18, demonstra por quais tensões estas fases são constituídas e como são distribuídas.

Figura 18 – Tipos de instalações elétricas de tensão presentes no Assentamento.

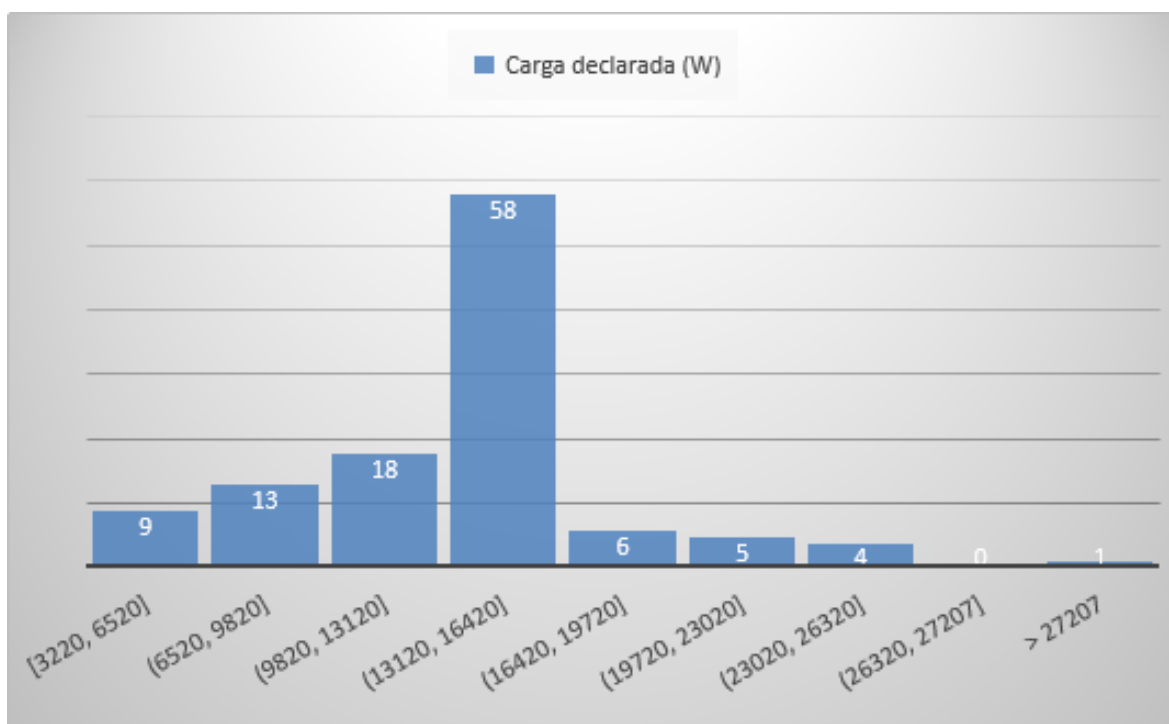


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pelo gráfico da figura 18 nota-se majoritariamente a presença de lotes compostos por padrões bifásicos 127 – 220 V ou 115 – 230 V, constituindo cerca de 98% da rede elétrica do assentamento. Especificamente a tensão secundária de 115 - 230 V provém de transformadores abaixadores com derivação central, permitindo a utilização dessas tensões. Pelo gráfico percebe-se que foram encontrados dois circuitos monofásicos na rede local, sendo um constituído por 127 V e outro por 115 V.

Para as próximas análises o quadro 2 contido no Anexo B se fez necessário, de posse do mesmo foi possível realizar a análise das cargas declaradas nos lotes. A figura 19 demonstra os intervalos de potência.

Figura 19 – Gráfico demonstrando em que intervalo se agrupam as cargas declaradas.

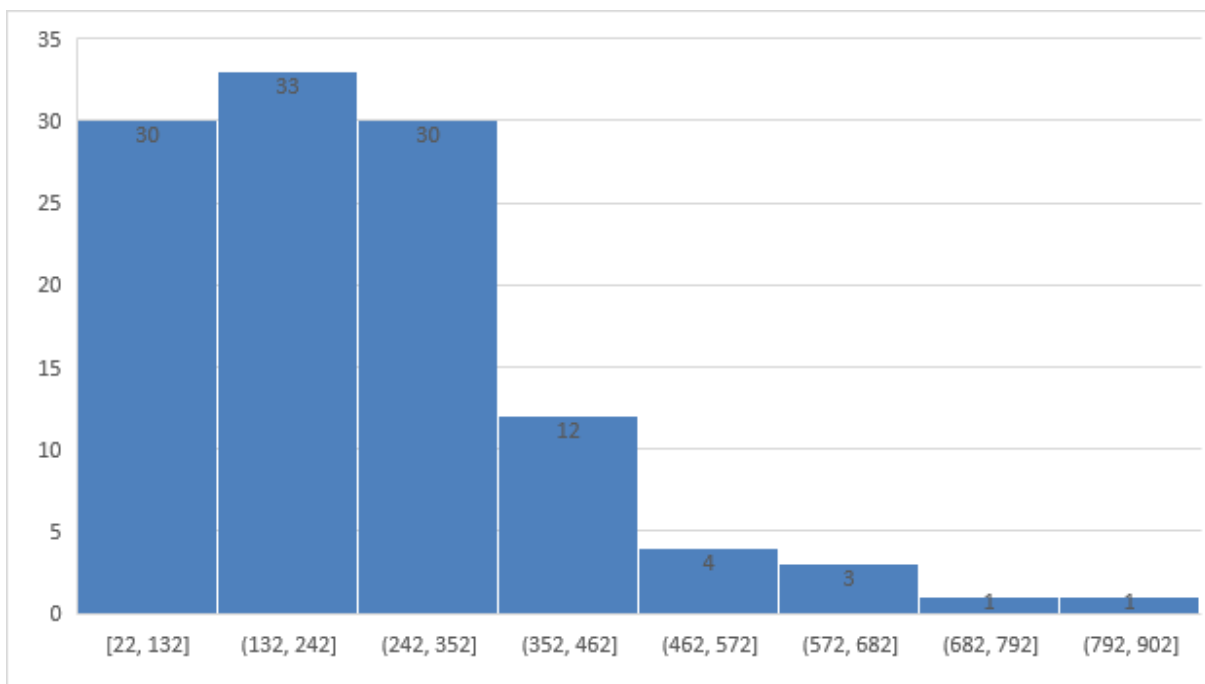


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Fica evidente neste estudo o intervalo de potência entre 13,120 – 16,420 kW em que se concentrou o maior número de cargas declaradas do assentamento, lembrando que a carga declarada se caracteriza pela somatória das potências nominais de todos os equipamentos eletrônicos residenciais, neste caso dos lotes.

Por último, plotou-se um histograma evidenciando as faixas de consumo de potência das faturas do mês de novembro de 2015 dos respectivos 114 lotes, como mostrado na figura 20.

Figura 20 - Comparativo entre as faixas de valores consumidos de potência na fatura de novembro de 2015.



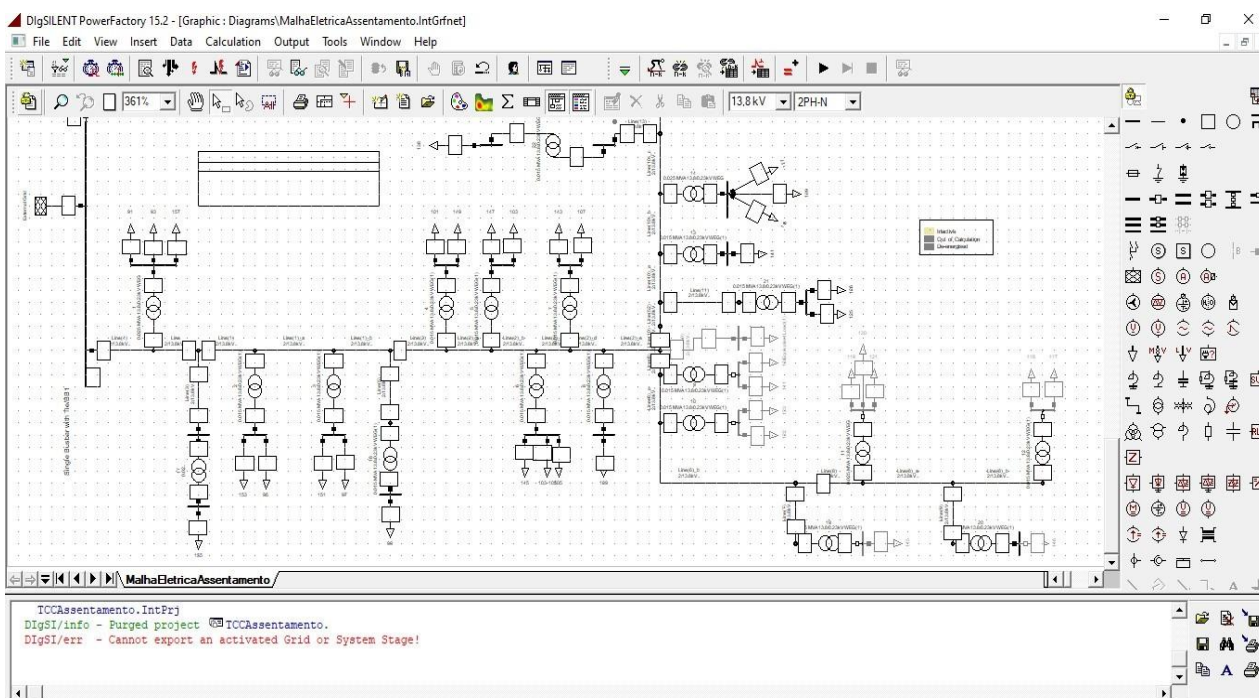
Fonte: Elaboração do próprio autor.

A partir da figura 20 percebe-se que para o mês de novembro do ano de 2015 os valores de potência consumidos nas faturas se mantiveram em sua maioria entre a faixa de 22 W à 352 W.

4 O SOFTWARE POWER FACTORY.

Para a modelagem e simulações da malha do assentamento rural Estrela da Ilha, foi utilizado o software PowerFactory da DigSILENT. Na figura 21 evidencia-se imagem da interface da ferramenta.

Figura 21 – Interface do software PowerFactory.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

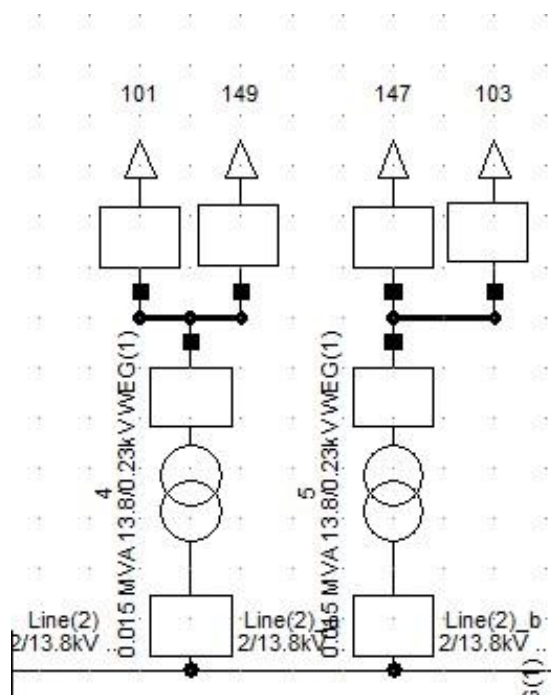
O PowerFactory é uma ferramenta utilizada mundialmente para análise de sistemas de energia, abrangendo a geração, transmissão, distribuição residenciais e industriais. O mesmo engloba uma infinidade de funcionalidades, partindo de recursos padrões e incluindo tópicos mais complexos e atuais, como a energia eólica, geração distribuída, simulações em tempo real, monitoramento de desempenho, etc. (DIGSILENT, 2022).

4.1 Modelagem da malha do assentamento.

Para a modelagem da malha do assentamento, foram disponibilizados dados oriundos da Concessionária de energia Elektro. As informações disponibilizadas que foram utilizadas na modelagem foram as contas de energia elétrica dos lotes,

contendo o consumo médio e as especificações do ramal elétrico de cada unidade consumidora. As características de cada um dos transformadores, contendo dados como: o fator de potência, enrolamentos primário e secundário, potência, etc, também foram cruciais. O comprimento de cada ramo da malha também foi de suma importância para a real caracterização do assentamento nas simulações realizadas. Para melhor visualização da região modelada, no apêndice C encontra-se o diagrama unifilar de tal região, no apêndice D encontra-se o diagrama unifilar do transformador 1. A figura 22, ilustra a modelagem com a malha contendo os ramos, barramentos, unidades consumidoras, transformadores, etc.

Figura 22 - Imagem da modelagem do Assentamento Estrela da Ilha.



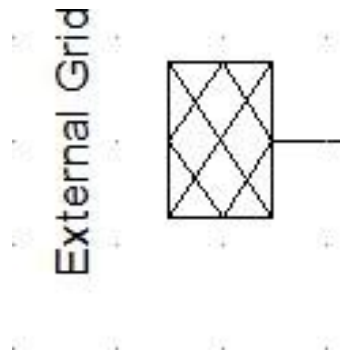
Fonte: Elaboração do próprio autor.

4.2 Configuração de Rede externa, barramentos, transformadores, cargas e galhos da malha elétrica.

4.2.1 Rede externa.

Para a simulação da rede elétrica externa convencional que alimenta o assentamento primeiramente foi adicionado o componente no software nomeado *External Grid*. Segue na figura 23 a imagem do elemento.

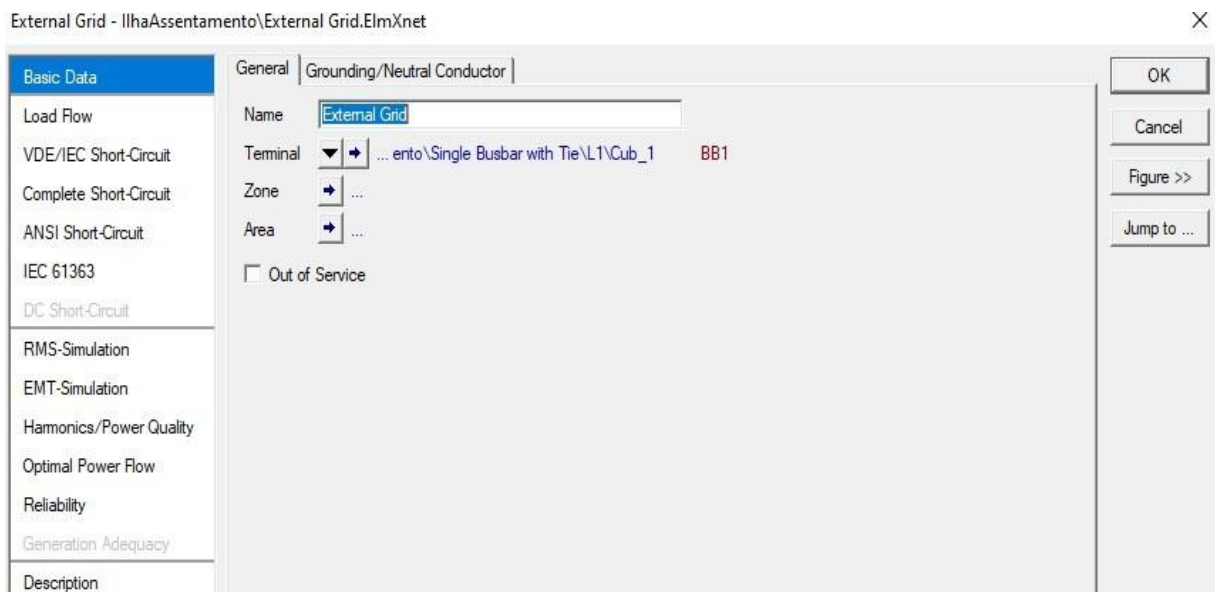
Figura 23 - Rede de alimentação convencional do assentamento.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Para a configuração do componente foi aberta a janela *Load Flow* do mesmo, como demonstrado na figura 24.

Figura 24 - Janela para a configuração do fluxo de carga (*load flow*) da rede externa (*external grid*).



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pela figura 24 nota-se que na opção *Bus Type* (Tipo de barramento) foi setado a opção PV, e em Setpoint foi configurada a opção local. Configurou-se a fonte para uma potência ativa de 20 MW e o Voltage Setpoint em 1 p.u. Nas outras opções de configuração da *External Grid* não foram realizadas alterações.

4.2.2 Barramentos principais.

Após isto foram adicionados os barramentos, sendo os mesmos também configurados segundo os dados reais da malha.

Um exemplo para elucidar melhor a configuração de tal componente do circuito é o barramento BB1. Na figura 25 observa-se a imagem da janela de configuração do mesmo.

Figura 25 – Janela de dados básicos de um barramento.

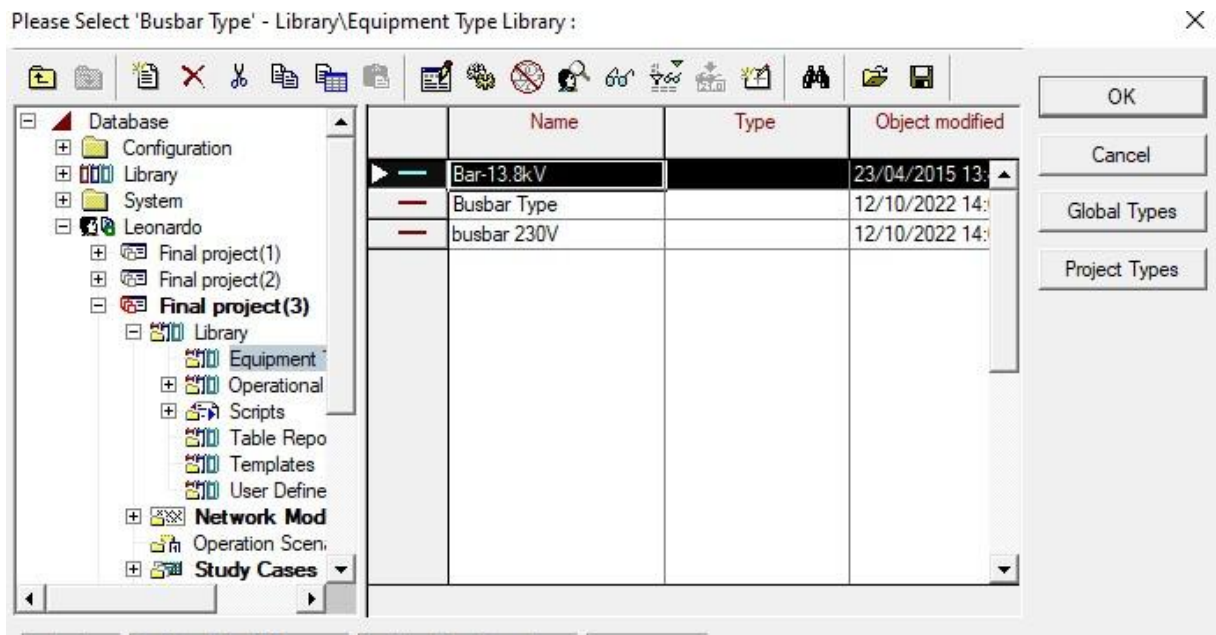
Terminal - IlhaAssentamento\Single Busbar with Tie\BB1.ElmTerm

Basic Data	Name	BB1	OK
Load Flow	Type	Equipment Type Library\Bar-13.8kV	Cancel
VDE/IEC Short-Circuit	Zone	... (from Substation)	Jump to ...
Complete Short-Circuit	Area	... (from Substation)	Cubicles
ANSI Short-Circuit	Substation	IlhaAssentamento\Single Busbar with Tie	
IEC 61363	<input type="checkbox"/> Out of Service		
DC Short-Circuit	System Type	AC	Usage: Busbar
RMS-Simulation	Phase Technology	2PH-N	
EMT-Simulation	Nominal Voltage		
Harmonics/Power Quality	Line-Line	13,8 kV	
Protection	Line-Ground	7,967434 kV	
Optimal Power Flow	<input type="checkbox"/> Earthed		
Reliability			
Generation Adequacy			
Tie Open Point Opt.			
Description			

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nesta janela foi nomeado o elemento com o nome de BB1, e configurado para operar em tensão AC, com duas fases e um neutro, possuindo uma tensão linha- linha de 13.8 kV. Por último foi selecionado o tipo do barramento como sendo um 13.8 kV a partir da livraria, conforme especificado na figura 26.

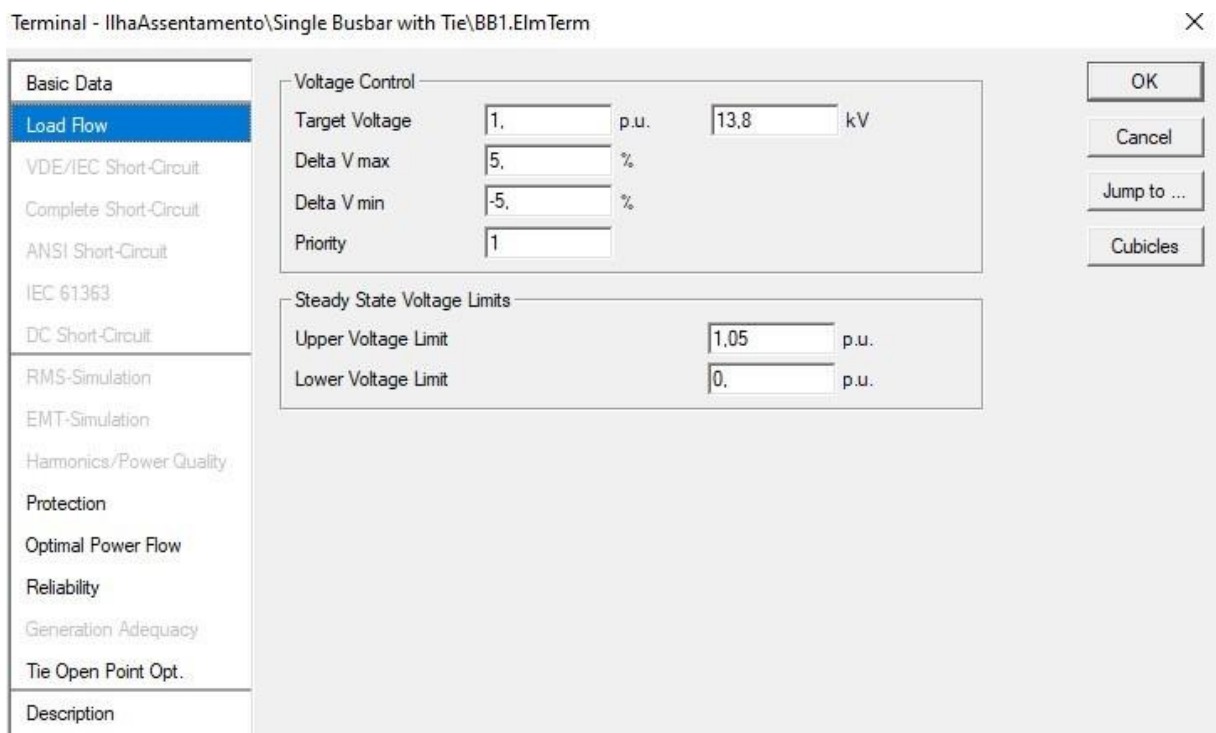
Figura 26 – Seleção do tipo de barramento.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Na janela *Load Flow* as configurações se seguem conforme figura 27.

Figura 27 – Janela para a configuração do *Load Flow* do barramento BB1.



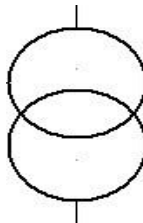
Fonte: Elaboração do próprio autor.

Neste ambiente apenas foram definidos o *Target Voltage* como sendo 1 p.u e novamente o valor nominal de 13.8 kV.

4.2.3 Transformadores.

Tomando-se como exemplo o transformador 1, define-se a configuração do mesmo para a realização do fluxo de carga. A figura 28 ilustra a representação de um transformador no software Power Factory.

Figura 28 – Representação de um transformador no Power Factory.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Com um *double click* sobre o componente como já representado pela figura 28, abre-se a tela de Basic Data do transformador representado pela figura 29.

Figura 29 – Janela Basic Data transformador 1.

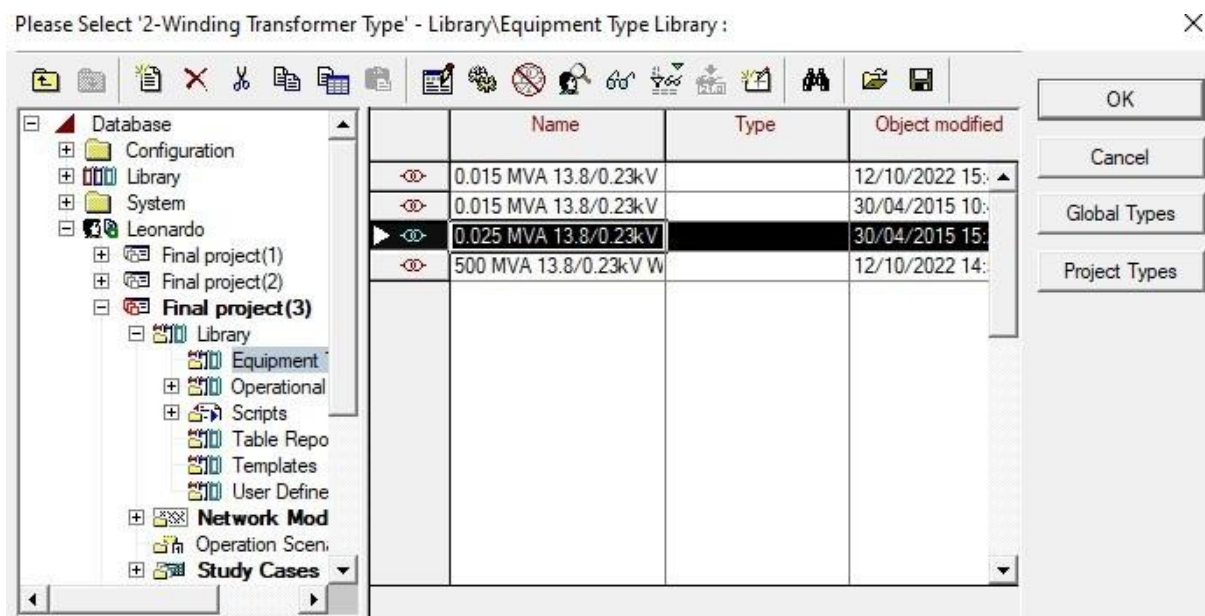
2-Winding Transformer - IlhaAssentamento\1.ElmTr2

Basic Data	General	Grounding/Neutral Conductor
Load Flow	Name: 1	
VDE/IEC Short-Circuit	Type: ... ent Type Library\0.025 MVA 13.8/0.23kV WEG	
Complete Short-Circuit	HV-Side: IlhaAssentamento\Terminal(4)\Cub_4	Terminal(4)
ANSI Short-Circuit	LV-Side: IlhaAssentamento\Terminal(47)\Cub_4	Terminal(47)
IEC 61363	Zone: HV-Side	
DC Short-Circuit	Area: HV-Side	
RMS-Simulation	<input type="checkbox"/> Out of Service	
EMT-Simulation	Number of parallel Transformers: 1	Flip Connections
Hamonics/Power Quality	Thermal Rating: ...	
Protection	Rating Factor: 1.0	Rated Power (act.): 0,025 MVA
Optimal Power Flow	Supplied Elements	
State Estimation	Mark Elements in Graphic	
Reliability	Edit Elements	
Generation Adequacy		
Tie Open Point Opt.		
Description		

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nesta tela na opção *Type* é possível escolher através de uma livreria o tipo de transformador que será utilizado, conforme figura 30.

Figura 30 - Escolha do tipo/característica do transformador.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pela figura 30 elucida-se que foi escolhido um transformador abaixador de tensão de 13.8 kV para 230V, além disso o mesmo pode comportar uma potência aparente de até 0.025 MVA.

Ainda na janela *Basic Data* (figura 29) se configura o terminal da parte de tensão mais alta do transformador (HV-Side), assim como o terminal com a tensão mais baixa do transformador (LV-Side). Nota-se que o lado de alta tensão do transformador está conectado ao terminal 4, enquanto que o lado de baixa tensão do transformador está conectado ao terminal 47.

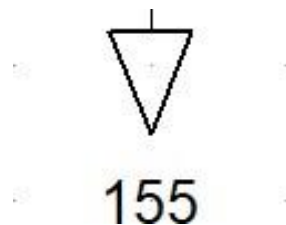
Para a janela *Load Flow* não foram realizadas modificações para os transformadores.

4.2.4 Cargas.

Tomando-se como exemplo a carga 155, a seguir ilustra-se a configuração das mesmas para a realização do fluxo de carga. Vale ressaltar que para todas as cargas presentes no circuito as mesmas foram modeladas considerando-as como

sendo cargas de baixa voltagem, elemento presente no software. A figura 31 representa a carga em nossa malha.

Figura 31 - Representação de uma carga no Power Factory.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Com um *double click* sobre o componente como já representado pela figura 31, abre-se a tela de Basic Data da carga como representado pela figura 32.

Figura 32 - Janela Basic Data da carga 155.

A imagem mostra a janela de configuração 'Basic Data' para a carga 155. O título da janela é 'Low-Voltage Load - IlhaAssentamento\155.ElmLodlv'. A interface contém um menu lateral com opções: 'Basic Data' (selecionado), 'Load Flow', 'Reliability', 'Optimal Power Flow' e 'Description'. O formulário principal contém os seguintes campos:

- Name:** Campo de texto com o valor '155'.
- Type:** Menu suspenso com uma seta para cima e uma seta para a direita, seguido de '...'
- Terminal:** Menu suspenso com o valor 'IlhaAssentamento\Terminal(52)\Cub_1' e o texto 'Terminal(52)' em vermelho à direita.
- Zone:** Menu suspenso com uma seta para a direita e '...'
- Area:** Menu suspenso com uma seta para a direita e '...'
- Out of Service:** Caixa de seleção desmarcada.
- Technology:** Menu suspenso com o valor '2PH-'YN''.
- Number of Customers:** Campo de entrada com o valor '0' e setas de incremento/decremento.

À direita da janela, há uma barra de botões com as opções: 'OK', 'Cancel', 'Figure >>', 'Jump to ...' e 'Add. Loads'.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nesta janela configura-se o nome da carga, e o terminal que a mesma está conectada. Pela figura 32 verifica-se que a carga se encontra conectada com o terminal 52. Também é configurado a tecnologia da carga, observa-se que para este caso a carga é alimentada com duas fases e um neutro. Na figura 33, evidencia-se a janela *load flow* da carga 155.

Figura 33 - Janela *Load Flow* da carga 155.

Fixed Load		Actual Values	
Load Type	S, cos(phi)	Voltage, U(L-L)	0,23 kV
		Apparent Power, S	8,37 kVA
		Power Factor, cos(phi)	0,8
Adjusted by Load Scaling	<input checked="" type="checkbox"/>	Scaling Factor	1,022404

Night Storage Heater		Actual Values	
P	0, kW		0, kW

Variable Load			
Number of Customers	0	P/Customer	0, kW
Utilisation Factor	1,		
Max. Load	0, kVA	Power Factor	0,95
Average Load	0, kVA		

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pela figura 33, observa-se que para a janela *Load Flow* da carga são configurados diversos parâmetros, sendo primeiramente o *Load Type*. Para este caso foi escolhido a opção da potência aparente e do fator de potência da carga. A partir disso, informa-se os valores de tensão linha-linha, potência aparente e fator de potência, como também a característica do mesmo (indutivo, capacitivo ou resistivo). O Fator de escala também foi ajustado em 1,022404.

4.2.5 Configuração de linhas da malha elétrica.

Tomando-se como exemplo da Line(1)_a, a seguir verifica-se a configuração das mesmas para a realização do fluxo de carga. Segue imagem representativa de uma linha em nossa malha na figura 34.

Figura 34 - Representação de uma linha no Power Factory.

Line(1)_a
2/13.8kV ..

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Com um *double click* sobre o componente como já representado pela figura 34, abre-se a tela de Basic Data da linha como representado pela figura 35.

Figura 35 - Janela *Basic Data* da linha Line(1)_a.

Line - IlhaAssentamento\Line(1)_a.ElmLine

Basic Data

Name: Line(1)_a

Type: ... Type Library\2\13.8kV ACSR_SWAN_4AWG

Terminal i: IlhaAssentamento\Terminal(8)\Cub_0 Terminal(8)

Terminal j: IlhaAssentamento\Terminal(10)\Cub_1 Terminal(10)

Zone: Terminal i

Area: Terminal i

Out of Service

Number of parallel Lines: 1

Parameters

Thermal Rating: ...

Length of Line: 342.76 m

Derating Factor: 1.

Resulting Values

Rated Current (act.)	0,14 kA
Pos. Seq. Impedance, Z1	0,4824162 Ohm
Pos. Seq. Impedance, Angle	16,4263 deg
Pos. Seq. Resistance, R1	0,462726 Ohm
Pos. Seq. Reactance, X1	0,1364185 Ohm
Zero Seq. Resistance, R0	1,388178 Ohm
Zero Seq. Reactance, X0	0,4092554 Ohm
Earth-Fault Current, Ice	0, A
Earth Factor, Magnitude	0,6666667
Earth Factor, Angle	-0,00000115 deg

Type of Line: Overhead Line

Line Model

Lumped Parameter (PI)

Distributed Parameter

Sections/Line Loads

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nesta janela configura-se o nome da linha, e os terminais que a mesma está conectada. Pela figura 35 observa-se que a carga se encontra conectada nos terminais 8 e 10.

Após isto foi configurado o parâmetro *Type* do cabo que será utilizado naquela linha em questão. A figura 36 elucida a janela *Basic Data – Type* que é aberta neste momento.

Figura 36 - Janela Basic Data – Type.

Line Type - Equipment Type Library\2\13.8kV ACSR_SWAN_4AWG.TypLne

Basic Data	Name	2/13.8kV ACSR_SWAN_4AWG		OK		
Load Flow	Rated Voltage	13,8	kV	Cancel		
VDE/IEC Short-Circuit	Rated Current	0,14	kA			
Complete Short-Circuit	Nominal Frequency	60,	Hz			
ANSI Short-Circuit	Cable / OHL	Overhead Line				
IEC 61363	System Type	AC	Phases	2		
DC Short-Circuit			Number of Neutrals	1		
RMS-Simulation	Parameters per Length 1,2-Sequence		Parameters per Length Zero Sequence			
EMT-Simulation	AC-Resistance R'(20°C)	1,35	Ohm/km	AC-Resistance R0'	4,05	Ohm/km
Harmonics/Power Quality	Reactance X'	0,398	Ohm/km	Reactance X0'	1,194	Ohm/km
Protection	Parameters per Length, Neutral		Parameters per Length, Phase-Neutral Coupling			
Optimal Power Flow	AC-Resistance Rn'	0,	Ohm/km	AC-Resistance Rpn'	0,	Ohm/km
Reliability	Reactance Xn'	0,	Ohm/km	Reactance Xpn'	0,	Ohm/km
Generation Adequacy						
Cable Sizing						
Description						

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pela Figura 36 verifica-se que é possível modelar todos os parâmetros inerentes ao cabo, conforme seu padrão real utilizado no Assentamento Estrela da Ilha, sendo possível definir a tensão, corrente e frequências nominais, bem como a característica do sistema em que o cabo será inserido, como número de fases e a existência ou não de neutro, etc.

Também são caracterizadas as resistências e reatâncias das sequências por km de cabo. Após isso é caracterizada a janela *Load Flow - Type*, conforme a figura 37.

Figura 37 - Janela Load Flow - Type.

Line Type - Equipment Type Library\2\13.8kV ACSR_SWAN_4AWG.TypeLne

Basic Data
Load Flow
 VDE/IEC Short-Circuit
 Complete Short-Circuit
 ANSI Short-Circuit
 IEC 61363
 DC Short-Circuit
 RMS-Simulation
 EMT-Simulation
 Harmonics/Power Quality
 Protection
 Optimal Power Flow
 Reliability
 Generation Adequacy
 Cable Sizing
 Description

Parameters per Length 1,2-Sequence
 Max. Operational Temperature: 80 degC
 AC-Resistance R(20°C): 1.35 Ohm/km
 Conductor Material: Aluminium-Steel

Parameters per Length 1,2-Sequence
 Susceptance B': 0 uS/km
 Ins. Factor: 0

Parameters per Length Zero Sequence
 Susceptance B0': 0 uS/km
 Conductance G0': 0 uS/km

Parameters per Length, Neutral
 Susceptance Bn': 0 uS/km

Parameters per Length, Phase-Neutral Coupling
 Susceptance Bpn': 0 uS/km

OK
 Cancel

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nesta janela foram configurados apenas a temperatura máxima de operação, a resistência do condutor por km e o tipo de material utilizado no condutor do cabo. Voltando para a janela *Basic Data* da figura 35, é configurado o parâmetro comprimento da linha (*Length of Line*). Observa-se que para este caso, foi adicionado um comprimento de 342,76 metros.

Após todas as modificações pode-se verificar-se todos os valores finais dos parâmetros/características da linha pela janela *Resulting Values*, ilustrado na figura 38.

Figura 38 - Resulting Values.

Resulting Values	
Rated Current (act.)	0,14 kA
Pos. Seq. Impedance, Z1	0,4824162 Ohm
Pos. Seq. Impedance, Angle	16,4263 deg
Pos. Seq. Resistance, R1	0,462726 Ohm
Pos. Seq. Reactance, X1	0,1364185 Ohm
Zero Seq. Resistance, R0	1,388178 Ohm
Zero Seq. Reactance, X0	0,4092554 Ohm
Earth-Fault Current, Ice	0, A
Earth Factor, Magnitude	0,6666667
Earth Factor, Angle	-0,00000115 deg

Fonte: Elaboração do próprio autor.

5 SIMULAÇÕES.

De posse da modelagem do assentamento Estrela da Ilha foram iniciadas as simulações de fluxo de carga sobre a mesma.

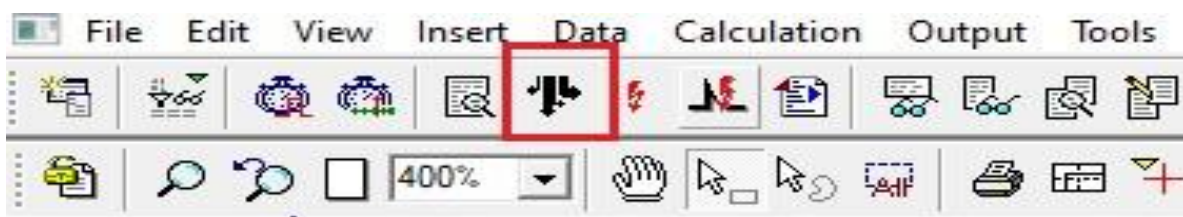
É importante salientar que a licença utilizada para o software Power Factory é oferecida e utilizada por universidades e outras instituições acadêmicas para fins educacionais, em função disso o número máximo de nós simultâneos que poderão ser simulados para a realização de fluxos de carga é de 50. A licença é particularmente adequada para uso em cursos práticos de até 25 alunos, e o uso comercial da mesma não é permitido.

5.1 Fluxo de carga para a rede original do assentamento Estrela da Ilha.

A primeira simulação de fluxo de carga realizada foi com uma parte da malha original do assentamento que não ultrapassasse o limite máximo de 50 nós, a mesma não continha a presença de modificações relevantes de geração ou consumo em sua estrutura.

A figura 39, elucida o símbolo representativo do atalho do fluxo de carga, o qual deve ser pressionar com o botão esquerdo do mouse para o início desta etapa.

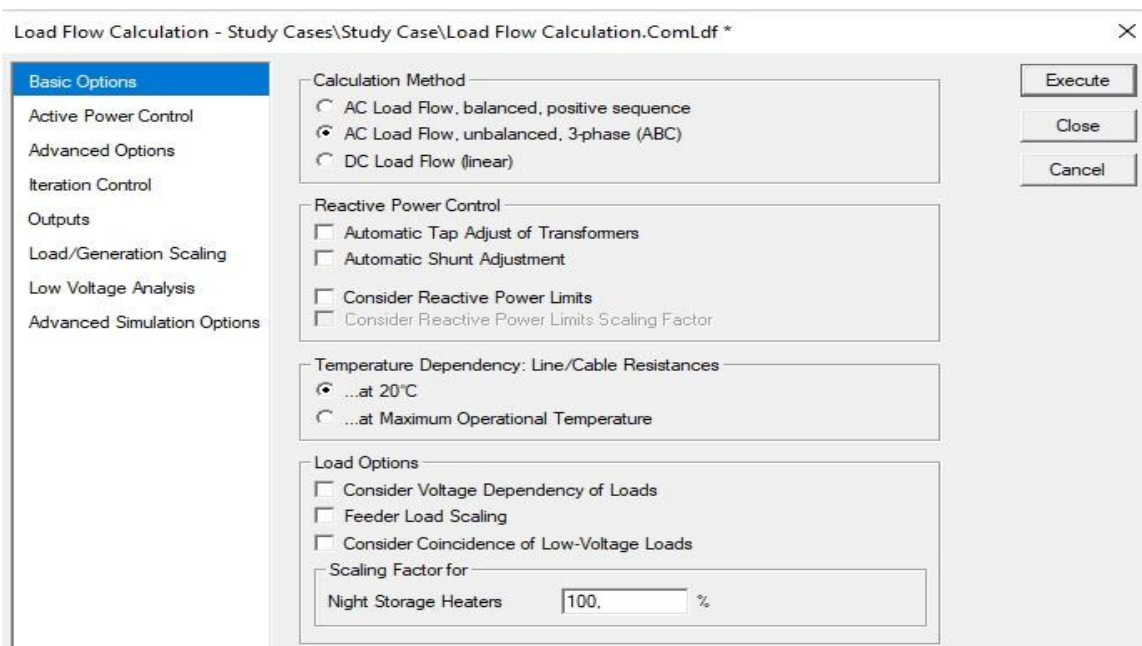
Figura 39 - Atalho para o cálculo do *Load Flow*.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Após isso é aberta a janela *load flow calculation* (cálculo do fluxo de carga), como segue na figura 40:

Figura 40 - Load flow calculation.

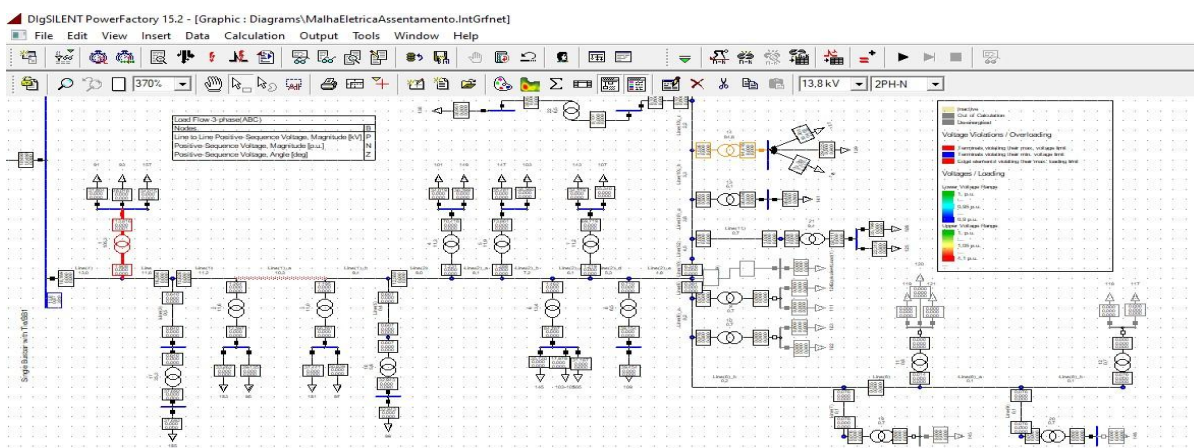


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Nesta etapa é de suma importância atentar-se para a questão do método de cálculo do fluxo. Para esta simulação foi utilizado o *AC Load Flow, unbalanced, 3 phase (ABC)*, já que a malha do assentamento se caracteriza como um sistema de corrente alternada, desequilibrado, sendo o barramento principal composto por um trifásico e os demais barramentos sendo bifásicos.

Executando-se o fluxo de carga o mesmo é representado na malha elétrica conforme a figura 41.

Figura 41 - Representação do resultado do fluxo de carga na malha elétrica.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

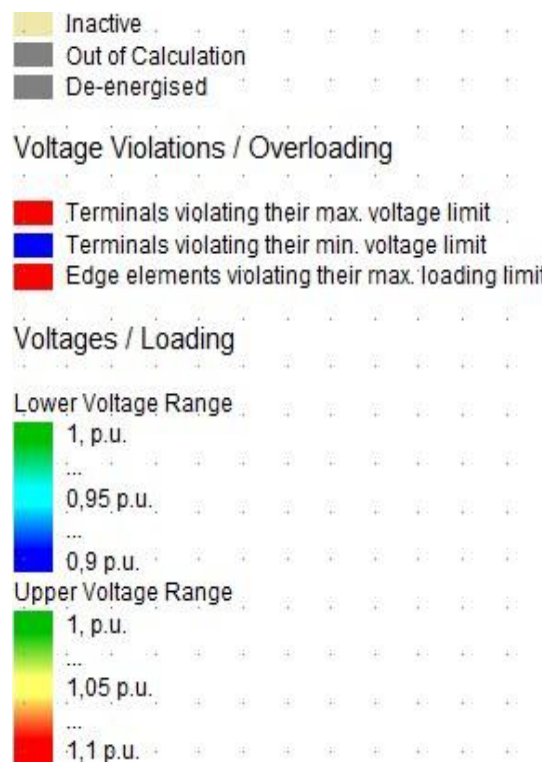
Pela figura 41 nota-se que além das informações elucidadas nas caixas em destaque ocorreu também a mudança de cor de alguns barramentos e transformadores da malha. Isto é uma maneira representativa do software Power Factory apresentar que um componente está com um bom funcionamento ou mau funcionamento, estando sobrecarregado por exemplo.

Para todos os barramentos percebe-se a cor azul, ou seja, os mesmos estão em perfeito funcionamento sem sobrecargas.

No entanto, para os transformadores 1 e 14 evidenciou-se uma modificação de cor quando comparados aos outros transformadores do circuito.

A figura 42 ilustra as imagens da legenda contida no software e dos transformadores 1 e 14 respectivamente.

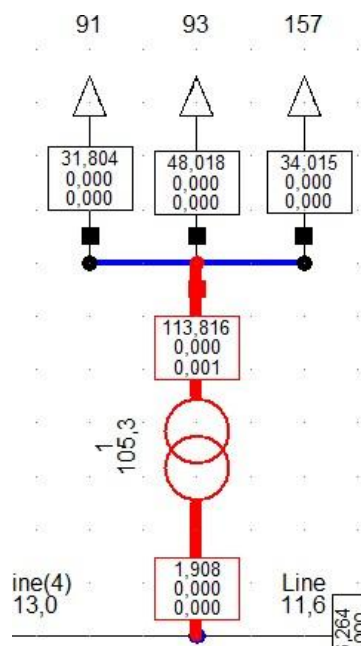
Figura 42 - Legenda indicando por cores os parâmetros obtidos pelo fluxo de carga.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

A figura 43 elucidada o fluxo de carga no circuito do transformador 1.

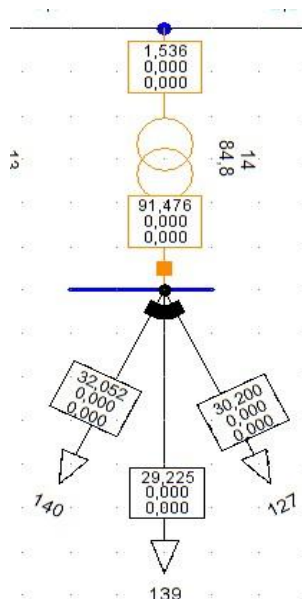
Figura 43 - Transformador 1.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pela figura 43, observa-se que o transformador 1 encontra-se com sobrecarga já que possui um carregamento de 105,3%, ou seja, 5% superior à sua capacidade nominal instalada. A figura 44 elucida o fluxo de carga no circuito do transformador 14.

Figura 44 - Transformador 14.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Assim como no caso da figura 43, pela figura 44 observa-se que o transformador 14 encontra-se com quase sua totalidade de potência instalada em uso, cerca de 84,4%. Sendo assim evidencia-se que o mesmo não esteja com um carregamento superior ao projetado, o software trata de informar elucidando com cores (alaranjado) e dados que a máquina está próxima de seu uso em sua totalidade projetada.

5.2 Fluxo de carga com a alocação de uma fonte de geração distribuída na malha.

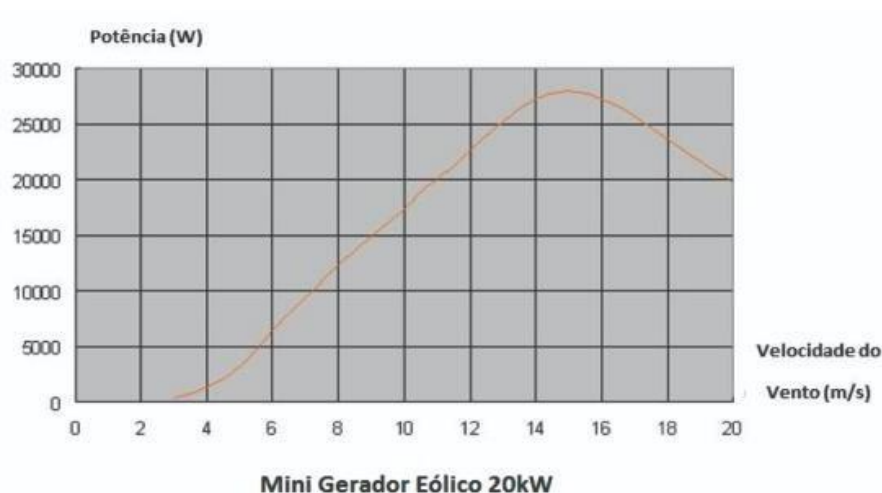
Para as simulações seguintes de fluxo de carga foram realizadas algumas modificações na malha elétrica, visando uma melhora no fluxo de potência e carregamento de alguns pontos do circuito

5.2.1 Alocação de um gerador eólico 20 kW sobre o terminal 47.

Com o intuito de eliminar a sobrecarga sobre o transformador 1, como elucidado no item 5.2, foi adicionado ao barramento terminal 47 um aerogerador assíncrono.

O aerogerador escolhido para a modelagem foi o modelo H9.0 de potência nominal ativa de 20 kW. Na figura 45 está a curva de geração do mesmo e na figura 46 o aspecto físico da máquina montada.

Figura 45 - Curva de geração do aerogerador H9.0.



Fonte: (ENERGYBRAS, 2022)

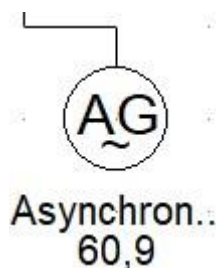
Figura 46 - Imagem ilustrativa do porte e construção do aerogerador H9.0.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

O elemento utilizado no software para a modelagem da máquina assíncrona atuando como gerador de potência está representado na figura 47.

Figura 47 - Gerador assíncrono.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Com um *double click* sobre o elemento evidenciado na figura anterior, adentra-se a janela *Basic Data* do gerador assíncrono. Segue figura 48.

Figura 48 - Janela *Basic Data* do Gerador 1.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

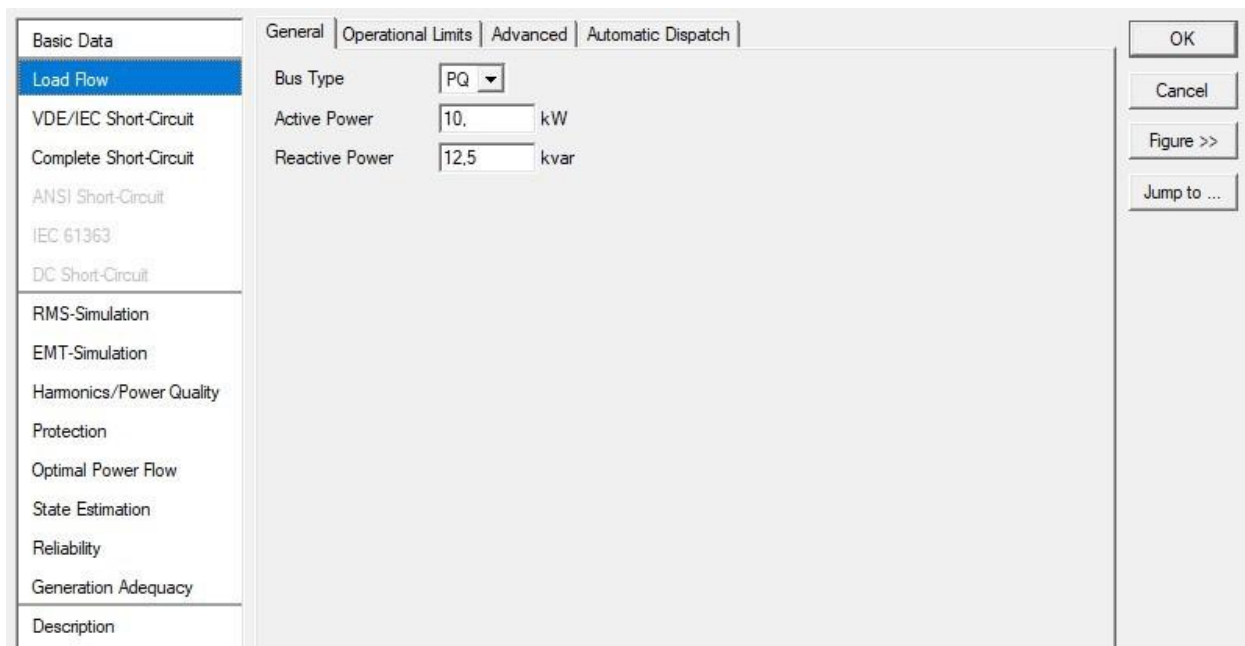
Pela figura 48 nota-se que para esta janela a modificação mais relevante foi a especificação da máquina atuando como gerador eólico (*Wind Generator*). Segue figura 49 demonstrando a janela *Basic Data Type* do mesmo gerador 1.

Figura 49 - Janela *Basic Data Type* Gerador 1.

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pela figura 49, nota-se que foi especificado uma tensão nominal de geração de 0.23 kV, potência ativa nominal em 20 kW, frequência de operação em 60 Hz, número de pólos configurado em 1, assim como sua conexão com a rede em Y. Por fim, configurou-se a janela *load flow* do gerador 1 conforme figura 50.

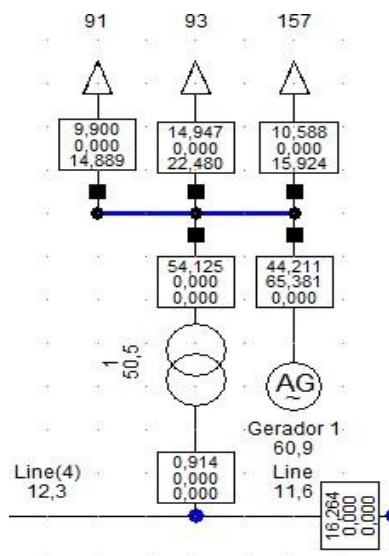
Figura 50 - Janela Load Flow Gerador 1.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pela figura 50, nota-se que na janela *load flow* do gerador 1 foram configurados apenas as potências ativa e aparente, os valores definidos foram os necessários para a melhora no fluxo de carga sobre o transformador 1, em decorrência disso a capacidade total do aerogerador não foi utilizada em sua plenitude o que também não sobrecarrega o funcionamento do mesmo. A figura 51 expõe nos quadros os valores, respectivamente de cima para baixo, de potência ativa, reativa e a corrente elétrica nos elementos daquela região da malha. Percebe-se também que o transformador 1 acabou possuindo um carregamento de 50,5 % e o aerogerador de 60,9 %.

Figura 51 - Região da malha elétrica do transformador 1 após a inserção do gerador assíncrono eólico.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

5.2.2 Alocação de um gerador eólico 10 kW sobre o terminal 40.

Também com o intuito de eliminar a sobrecarga sobre o transformador 14, como já elucidado no item 5.2, foi adicionado ao barramento terminal 40 um aerogerador assíncrono.

O aerogerador escolhido para a modelagem neste caso foi o modelo H8.0 de potência nominal ativa de 10 kW. Na figura 52 está a curva de geração do mesmo e na figura 53 o aspecto físico da máquina montada.

Figura 52 - Curva de geração do aerogerador H8.0.



Fonte: (ENERGYBRAS, 2022).

Figura 53 - Imagem ilustrativa do porte e construção do aerogerador H8.0.



Fonte: (ENERGYBRAS, 2022)

Com um *double click* sobre o elemento já evidenciado na figura 47, adentramos a janela *Basic Data* do gerador assíncrono 2, o mesmo será configurado assim como já feito na figura 48.

Novamente nota-se que para esta janela a modificação relevante foi a especificação da máquina atuando como gerador eólico (*Wind Generator*), assim como na máquina anterior (gerador 1). Na figura 54 está elucidada a janela *Basic Data Type* do gerador 2.

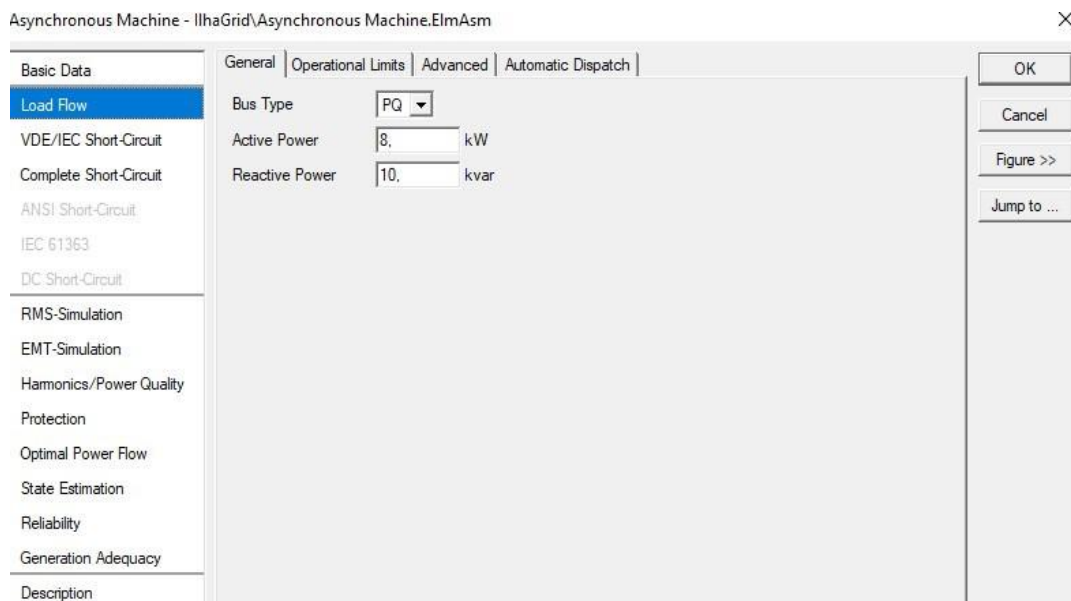
Figura 54 - Janela Basic Data Type do Gerador 2.

Parameter	Value	Unit
Name	Asynchronous Machine EnergyBras1	
Rated Voltage	0,23	kV
Input Mode	Electrical Parameter	
Rated Apparent Power	10,76767	kVA
Rated Mechanical Power	10	kW
Rated Power Factor	0,9376391	
Efficiency at nominal Operation	99,0473	%
Nominal Frequency	60	Hz
Nominal Speed	3565,703	rpm
No of Pole Pairs	1	
Connection	Y	

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pela figura 54, nota-se que foi especificado uma tensão nominal de geração de 0,23 kV, potência ativa nominal em 10 kW, frequência de operação em 60 Hz, número de pólos configurado em 1, assim como sua conexão com a rede em Y. Por fim, configurou-se a janela *load flow* do gerador 2 conforme figura 55.

Figura 55 - Janela *Load Flow* gerador 2.

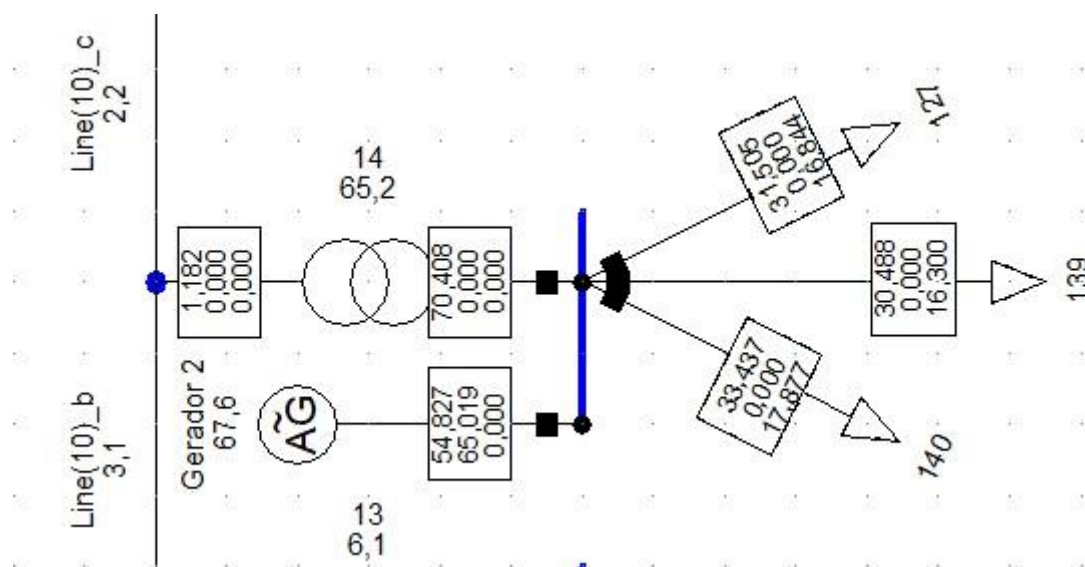


Fonte: Elaboração do próprio autor.

Pela figura 55, nota-se que na janela *load flow* do gerador 2 foram especificadas novamente apenas as potências ativa e aparente, os valores definidos foram os necessários para a melhora no fluxo de carga sobre o transformador 14, em decorrência disso a capacidade total do aerogerador não foi utilizada em sua plenitude o que também não acabou sobrecarregando o funcionamento do mesmo, assim como o ocorrido no caso 1.

A figura 56 expõe em seus quadros os valores, respectivamente de cima para baixo, de potência ativa, reativa e a corrente elétrica nos elementos daquela região da malha. Percebe-se também que o transformador 14 acabou possuindo um carregamento de 65,2 % e o aerogerador de 67,6 %.

Figura 56 - Região da malha elétrica do transformador 14 após a inserção do gerador eólico assíncrono.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

6 CONCLUSÕES.

Através da realização, em primeiro momento, da revisão da bibliografia foi possível, aprofundar-se a respeito dos temas de qualidade de energia, disponibilidade energética, fontes limpas e renováveis de energia, geração distribuída, microrredes e smart-grids.

As características elétricas e físicas do Assentamento Rural Estrela da Ilha – SP puderam ser estudadas conforme informações adquiridas em outros trabalhos e principalmente das amostras de faturas de energia elétrica da concessionária local de energia.

Através das avaliações e estudos realizados sobre os dados do assentamento, foi possível concluir através da classe consumidora que praticamente mais da metade dos moradores do local se concentram na prática de pecuária, mais especificamente lidando com o gado leiteiro. Esta prática gera como dejetos as fezes dos animais, que podem ser utilizadas em um projeto em conjunto de todo o assentamento, para alimentar um biodigestor. O biodigestor tem como um dos produtos o gás metano, proveniente da decomposição da matéria orgânica presente nele. Com esse gás seria possível implementar naquela localidade uma geração de energia elétrica distribuída limpa e renovável, estando conectada à rede elétrica convencional, o que possibilitaria um dinamismo à microrrede do assentamento, independência da rede convencional e conseqüentemente uma melhoria na qualidade de energia. É importante salientar que além do gás metano extraído do processo do biodigestor, outro produto deste procedimento é a matéria orgânica sólida, que poderia ser utilizada como biofertilizante em outras culturas agrícolas do assentamento.

Outros levantamentos demonstraram que o padrão elétrico do assentamento é quase que em sua totalidade bifásico e sendo alimentado em sua maioria por tensões nominais de 115 V e 230 V. No entanto foram encontrados em menor número lotes monofásicos e trifásicos, como também lotes com tensões nominais de 127 V e 220 V.

Por fim, foram realizados o modelamento e as simulações de fluxo de carga no software Power Factory sobre uma parcela da malha elétrica do assentamento, isso devido a limitação de 50 nós para a licença disponibilizada. Num primeiro fluxo de carga gerado evidenciou-se um carregamento excessivo em dois

transformadores de partes distintas daquela malha. O problema foi resolvido com o projeto e adição, em ambos os ramos dos transformadores, de dois pequenos aerogeradores assíncronos eólicos comerciais que conseguiram amenizar o carregamento nos transformadores, este evidenciado novamente por um fluxo de carga sobre o circuito. Com isso, ficou elucidado a melhora de rendimento, eficiência energética, vida útil e funcionalidade que a implementação da geração distribuída on-grid pode trazer para uma malha elétrica.

REFERÊNCIAS.

MATRIZ Energética e Elétrica. Disponível em:

<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 15 jan. 2022.

BRASIL. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. . BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL: brazilian energy balance. Rio de Janeiro: Epe, 2020.

PEREIRA, Narlon Xavier. DESAFIOS E PERSPECTIVAS DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO BRASIL: GERAÇÃO DISTRIBUÍDA VS GERAÇÃO CENTRALIZADA. 2019. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2019. Disponível em:

https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/181288/pereira_nx_me_soro.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 13 jan. 2022.

LOPES, Yona et al. Geração Distribuída de Energia: Desafios e Perspectivas em Redes de Comunicação. 2015. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Telecomunicações, Universidade Federal Fluminense (Uff), Niterói, 2015.(LOPES et al., 2015)

SOLAR POWER EUROPE. GLOBAL MARKET Outlook: For Solar Power 2015-2019. 2015. Disponível em:<http://helapco.gr/pdf/Global_Market_Outlook_2015_2019_lr_v23.pdf>.

NARUTO, Denise Tiekko. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA. 2017. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

MENDONÇA, Lucas Paulis. Introdução às microrredes e seus desafios. 2011. 78f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Ufrj, Rio de Janeiro, 2011.

S.Chowdhury, S.P. Chowdhury e P.Crossley. "Microgrids and Active Distribution Networks." IET 2009 (1ª ed.). Cap. 1,2,3,4 e 7

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. PRODIST - MÓDULO 1: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Rio de Janeiro: Aneel, 2016. Disponível em:
https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo1_Revis%C3%A3o10/f6c63d9a-62e9-af35-591e-5fb020b84c13. Acesso em: 16 jan. 2022.

AAQIB. Solar Micro Grids of 1899 Kwp Installed In India. Disponível em:
<https://www.saurenergy.com/solar-energy-news/solar-micro-grids-1899-kwp-installed-india>. Acesso em: 17 jan. 2022.

ENERGIAS RENOVÁVEIS: UM FUTURO SUSTENTÁVEL. São Paulo: Revista Usp,2007. Disponível em:
<file:///C:/Users/Leonardo/Downloads/13564-Texto%20do%20artigo-16539-1-10-20120517.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2022.

IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Distributed Generation in Liberalised Electricity Markets. OECD/IEA. Paris, France, 2002.

TEIXEIRA, Aldo Pereira. Geração de energia solar OFF GRID leva desenvolvimento a áreas isoladas e economia a meios urbanos. 2020. Disponível em:
<https://www.aldo.com.br/blog/geracao-de-energia-solar-off-grid-leva-desenvolvimento-a-areas-isoladas-e-economia-a-meios-urbanos/>. Acesso em: 15 jan. 2022.

GOMES, Augusto. Tecnologia fotovoltaica possibilita acesso à energia a comunidades ribeirinhas da Amazônia. 2020. Disponível em:
<https://www.mamiraua.org.br/noticias/tecnologias-energia-limpa-possibilitam--acesso-comunidades-ribeirinhas-amazonia>. Acesso em: 14 jan. 2022.

PRESTES, Monica. Painéis solares tiram comunidades amazônicas da escuridão: sistemas residenciais, com tecnologia barateada pela china, contrastam com megaprojetos de infraestrutura. Sistemas residenciais, com tecnologia barateada pela China, contrastam com megaprojetos de infraestrutura. 2019. Disponível em: <https://dialogochino.net/pt-br/mudanca-climatica-e-energia-pt-br/30462-paineis-solar-es-tiram-comunidades-amazonicas-da-escuridao/>. Acesso em: 13 jan. 2022.

BLUE SOL ENERGIA SOLAR. Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (On Grid): o Guia 100% Completo. 2019. Disponível em: <https://blog.bluesol.com.br/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede-on-grid/>. Acesso em: 15 jan. 2022.

CIBIOGÁS. Central de Bioenergia a Biogás em Entre Rios do Oeste (PR). Disponível em: https://cibiogas.org/portfolio-items/minicentral_termeletrica_biogas_entre_rios_do_oeste/. Acesso em: 14 jan. 2022.

LOCALIZAÇÃO do Assentamento Estrela da Ilha – Área Rural do Município de Ilha Solteira (SP). Escala 2km. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Localizacao-do-Assentamento-Estrela-da-Ilha-Area-Rural-do-Municipio-de-Ilha_fig1_269409506. Acesso em: 17 jan. 2022.

SUZUKI, Millena - Jornal. Biodigestor é implantado em lote no Assentamento Estrela da Ilha. 2021. Disponível em: <https://www.hojemais.com.br/ilha-solteira/noticia/geral/biodigestor-e-implantado-em-lote-no-assentamento-estrela-da-ilha>. Acesso em: 18 jan. 2022.

COELHO, Bruno Medeiros et al. POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA EM PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS – O CASO DO ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA. In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. Artigo. Gramado: Unesp, 2018. p. 1-7. Disponível em: <file:///C:/Users/Leonardo/Desktop/609-Texto%20do%20artigo-609-1-10-20180416.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2022.

Aneel. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/prodist>. Acesso em: 18 jan. 2022.

Neoenergia. SMART GRIDS: O QUE É E COMO FUNCIONA ESSA INOVAÇÃO EM DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em: <https://www.neoenergia.com/pt-br/te-interessa/inovacao/Paginas/smart-grid-o-que-e-como-funciona-inovacao-em-distribuicao-de-energia-eletrica.aspx>. Acesso em: 19 jan. 2022.

SILVEIRA, Patrícia Apólito. Análise de microrredes: estudo de caso. 2013. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <C:/Users/Leonardo/Desktop/000898540.pdf>. Acesso em: 18 jan. 2022.

IEEE. The expertise to make smart grid. Disponível em: <http://smartgrid.ieee.org/ieee-smart-grid-conceptual-model>. Acesso em: 19 jan. 2022.

DIGSILENT. POWERFACTORY APPLICATIONS. Disponível em: <https://www.digsilent.de/en/powerfactory.html>. Acesso em: 23 nov. 2022.

PRONEXT ENGENHARIA. ESTUDO DE FLUXO DE POTÊNCIA. Disponível em: <https://pronextengenharia.com.br/estudo-de-fluxo-de-potencia/>. Acesso em: 24 nov. 2022.

ENERGYBRAS. Modelo H9.0 – 20000 W. Disponível em: <http://energybras.com.br/produtos/aerogeradores/modelo-h90-20000w>. Acesso em: 25 nov. 2022.

ENERGYBRAS. Modelo H8.0 – 10000 W. Disponível em: <http://energybras.com.br/produtos/aerogeradores/modelo-h80-10000w>. Acesso em: 25 nov. 2022.

O SISTEMA Elétrico de Potência (SEP) Unidade 1 - Seção 1. Disponível em:
http://dedmd.com.br/validacao/2019_1/SISTEMAS%20EL%3%89TRICOS%20D%20POT%3%8ANCIA%20I/Unidade%201/s1/. Acesso em: 11 dez. 2022.

SESTARI FILHO, Fernando Antônio. Reserva de potência e integração de geração eólica: o caso brasileiro. 2020. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo Escola Politecnica, São Paulo, 2020.

JÚNIOR, Dionízio Paschoareli. Arquivos Dionízio. Acesso em: 12 jan. 2022.

SmartGrid.gov. What is the Smart Grid. Disponível em:
https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html. Acesso em: 20 jan. 2023.

APÊNDICE A - QUADRO 1 - CLASSE DE CONSUMO, ALIMENTAÇÃO MÍNIMA E MÁXIMA E FASES LIGADAS.

Lote	Classe de Consumo	Faixa de tensão permitida (V)	Fases ligadas
Porteirinha	Agropecuária	115-230	A e B + N
Porteirinha B	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 02	Prod. mudas/outra forma vegetal	115-230	A e B + N
lote 03	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 04	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 102	Criação bovinos, exceto corte/leite	115-230	A e B + N
lote 05	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 06	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 07	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 08	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 09	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 104	Criação de	115-230	A e B + N

	bovinos para leite		
lote 10	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 11	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
Sítio duas irmãs	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 108	Pecuária	115-230	A e B + N
lote 106	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 112	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 113	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 24	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 36	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 38	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 52	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 53	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 54	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 54A	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N

lote 58	Pecuária	115-230	A e B + N
lote 59	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 60	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
Sítio N. Jerusalém	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 81	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 82	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 85	Cultivo de milho	115-230	A e B + N
lote 86	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 88	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 90	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 98	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 100	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 96	Agropecuária	115-230	A e B + N

lote 94	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 92	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 168	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 172	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 175	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 191	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 193	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 194	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 196	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 198	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 199	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 52	Agricultura	115-230	A e B + N
lote 04-UZ	Residência normal	115-230	A e B + N

lote 25	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 56	Residência de baixa renda	115-230	A e B + N
lote casa C	Residência de baixa renda	115-230	A e B + N
lote 103	Agroindústria	115-230	A e B + N
lote 85 B	Residência normal	115-230	A e B + N
lote Casa 2	Residência normal	115-230	A e B + N
lote sede	Residência de baixa renda	115-230	A e B + N
Sítio Sonho Meu	Residência normal	115-230	A e B + N
Sítio União lado	Residência normal	115-230	A e B + N
lote 09 casa 2	Residência normal	115-230	A e B + N
lote 177	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 178	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 179	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N

lote 180	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 176	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 181	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 186	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 187	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 182	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 189	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 189B	Agropecuária	115-230	A e B + N
N S. dos Prazeres	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 183	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 200	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 201	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 202	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N

lote 203	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 188	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 184	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 185	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 173	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
Sítio 3 meninos	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 131	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 126	Agricultura	115-230	A e B + N
lote 1 C	Agricultura	115-230	A e B + N
lote 204	Cultivo de milho	115-230	A e B + N
lote 201	Agricultura	115-230	A e B + N
lote 159	Agricultura	115-230	A e B + N
lote 71	Agricultura	115-230	A e B + N

lote 57 casa 2	Residência normal	115-230	A e B + N
lote 206	Residência normal	115-230	A e B + N
Sítio sol nascente	Residência de baixa renda	115-230	A e B + N
Sítio sempre verde	Agricultura	115-230	A e B + N
lote 205	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 157	Residência normal	127-220	A e B + N
A C II	Residência normal	127-220	A e B + N
lote 79	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 210	Residência de baixa renda	115	A e B + N
Área comunitária	Associações culturais, científicas e educação	127-220	A e B e C + N
lote A	Irrigação particular	127-220	A e B + N

Irrigação	Irrigação particular	127-220	A e B + N
Poço artesiano	Criação de bovinos para leite	115-230	A e B + N
lote 41	Fundações beneficentes e religiosas	127	A + N
lote 105	Residência normal	115-230	B e C + N
lote 104 B	Residência de baixa renda	115-230	A e C + N
lote 115 fundos	Residência normal	115-230	A e C + N
lote 64 B	Residência normal	115-230	A e B + N
lote 50 B	Agricultura	115-230	A e B + N
lote 1	Residência de baixa renda	115-230	A e B + N
Sítio Araçatubinha	Residência de baixa renda	115-230	A e C + N
lote 117	Agropecuária	115-230	A e B + N
lote 87	Agropecuária	115-230	A e B + N

Fonte: Elaboração do próprio.

APÊNDICE B - QUADRO 2 - CARGA DECLARADA E LEITURA 11/2015.

Lote	Carga declarada (W)	leitura 11/2015 (W)
Porteirinha	13140	595
Porteirinha B	9720	268
lote 02	12790	415
lote 03	13140	252
lote 04	13740	363
lote 102	15440	615
lote 05	14240	264
lote 06	13340	245
lote 07	13840	143
lote 08	13140	266
lote 09	13340	243
lote 104	12290	282

lote 10	12340	131
lote 11	13840	372
Sítio duas irmãs	17340	870
lote 108	12940	97
lote 106	12840	166
lote 112	13940	132
lote 113	12940	197
lote 24	21060	30
lote 36	22360	325
lote 38	13040	301
lote 52	14240	264
lote 53	15440	163
lote 54	6400	423
lote 54A	10020	146

lote 58	13340	140
lote 59	13340	409
lote 60	15340	302
Sítio Nova Jerusalém	13340	164
lote 81	13940	212
lote 82	14340	334
lote 85	21140	314
lote 86	13940	323
lote 88	15340	245
lote 90	14440	668
lote 98	13040	144
lote 100	13840	337
lote 96	14340	240
lote 94	13340	423

lote 92	24260	148
lote 168	13940	72
lote 172	14140	469
lote 175	14340	388
lote 191	14480	99
lote 193	13340	720
lote 194	13740	108
lote 196	14640	340
lote 198	13540	345
lote 199	14040	64
lote 52	3220	419
lote 04-UZ	7800	321
lote 25	14870	112
lote 56	14870	78

lote casa C	15100	170
lote 103	8200	205
lote 85B	25000	159
lote Casa 2	10300	109
lote sede	12200	344
Sítio Sonho Meu	6600	221
Sítio União lado	12600	205
lote 09 casa 2	14300	135
lote 177	13740	277
lote 178	14240	349
lote 179	15340	322
lote 180	14140	380
lote 176	13440	426
lote 181	13740	125

lote 186	13340	221
lote 187	9520	104
lote 182	13040	221
lote 189	17160	101
lote 189B	22860	238
Nossa S. dos Prazeres	9520	30
lote 183	14240	242
lote 200	20580	269
lote 201	14140	289
lote 202	18060	523
lote 203	15180	292
lote 188	17660	127
lote 184	18240	202
lote 185	13540	369

lote 173	13340	193
Sítio 3 meninos	15340	169
lote 131	13640	568
lote 126	3220	132
lote 1 C	8140	76
lote 204	8040	186
lote 201	13300	95
lote 159	3220	528
lote 71	3220	74
lote 57 casa 2	8000	171
lote 206	12200	97
Sítio sol nascente	14820	77
Sítio sempre verde	9720	197
lote 205	3220	415

lote 157	27840	149
A C II	16000	144
lote 79	4020	30
lote 210	24610	106
Área comunitária	13750	113
lote A	12820	22
Irrigação	6440	245
Poço artesiano	4570	72
lote 41	8100	94
lote 105	12000	320
lote 104 B	13100	206
lote 115 fundos	13000	202
lote 64 B	6900	163
lote 50 B	7700	82

lote 1	14700	102
Sítio Araçatubinha	25000	271
lote 117	13340	155
lote 87	17460	314

Fonte: Elaboração do próprio autor.

APÊNDICE C - DIAGRAMA UNIFILAR ESPECIFICANDO A REGIÃO DO ASSENTAMENTO ESTRELA DA ILHA MODELADA.

