

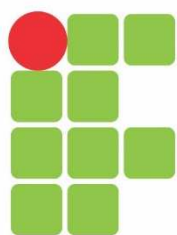
**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS**

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS

**ANNA HELOÍSA JORGE PEREIRA
FAGNER CHAGAS DE OLIVEIRA**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CUSTO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO
RURAL EM RELAÇÃO A MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA SOLAR
FOTOVOLTAICA ISOLADA PARA O ESTADO DO TOCANTINS SEGUINDO
A RESOLUÇÃO 488/2012**

**PALMAS, TO
2018**



**INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
TOCANTINS**

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM SISTEMAS ELÉTRICOS

ANNA HELOÍSA JORGE PEREIRA

FAGNER CHAGAS DE OLIVEIRA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CUSTO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO
RURAL EM RELAÇÃO A MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA SOLAR
FOTOVOLTAICA ISOLADA PARA O ESTADO DO TOCANTINS SEGUINDO
A RESOLUÇÃO 488/2012**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial
para obtenção do Título Tecnólogo do
Curso Superior de Tecnologia em
Sistemas Elétricos, do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins – Campus Palmas.

Orientador: Prof. Me. Felipe Tozzi
Bittencourt

**PALMAS, TO
2018**

Oliveira, Fagner Chagas de e Pereira, Anna Heloísa Jorge
Estudo Comparativo entre Custo de Rede de Distribuição Rural
em Relação a Microgeração Distribuída Solar Fotovoltaica Isolada para
o Estado do Tocantins seguindo a Resolução 488/2012. / Fagner Chagas
de Oliveira e Anna Heloísa Jorge Pereira. – Palmas, 2018.
44 f.

Monografia de Conclusão do Curso Superior de Tecnologia em
Sistemas Elétricos – Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia
do Tocantins – Campus Palmas, 2018.
Orientador Prof. Me. Felipe Tozzi Bittencourt.

1. Rede de Distribuição Rural. 2. Microgeração Distribuída Solar Fotovoltaica. 3. Resolução 488/2012. I. Título

**ANNA HELOÍSA JORGE PEREIRA e
FAGNER CHAGAS DE OLIVEIRA**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE CUSTO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO
RURAL EM RELAÇÃO A MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA SOLAR
FOTOVOLTAICA ISOLADA PARA O ESTADO DO TOCANTINS SEGUINDO
A RESOLUÇÃO 488/2012**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação do Curso
Superior de Tecnologia em Sistemas
Elétricos, do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins – Campus Palmas como
exigência à obtenção do grau em
Tecnólogo.

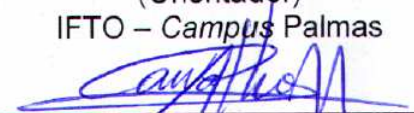
Orientador: Prof. Me. Felipe Tozzi Bittencourt

Aprovado em: 26 / 02 / 2018

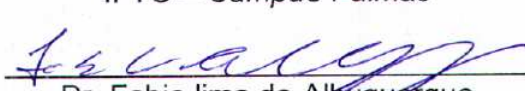
BANCA AVALIADORA



Prof. Me. Felipe Tozzi Bittencourt
(Orientador)
IFTO – Campus Palmas



Prof. Me. Adail Pereira Carvalho
IFTO – Campus Palmas



Dr. Fabio Lima de Albuquerque
IFTO – Campus Palmas

RESUMO

No presente trabalho é feita uma descrição e análise dos componentes principais que constituem os sistemas fotovoltaicos autônomos, e também sobre o custo de rede de distribuição rural de forma a verificar em quais situações é melhor utilizar rede de distribuição ou sistemas isolados. Com base na metodologia aplicada, foram feitos dois tipos de estudo: Custo de rede de distribuição rural e custo de Micro geração Distribuída Solar Fotovoltaica isolada.

Através dos estudos e cálculos em relação ao km da rede e os valores dos orçamentos feitos para sistema isolado, temos grande diferença de valores entre os dois. Portanto, constatou-se que a Micro geração Distribuída Solar Fotovoltaica em tais situações, é a melhor alternativa em relação aos custos e ao atendimento de clientes isolados a partir de 5km, conforme descreve a resolução normativa da qual tratamos. (Resolução Normativa 488/2012 da ANEEL)

Palavras-chave: energia solar, sistemas fotovoltaicos autônomos, rede de distribuição rural e microgeração distribuída, custo da rede, sistema isolado.

ABSTRACT

In the present work a description and analysis is made of the main components that make up the autonomous photovoltaic systems, as well as the cost of rural distribution network in order to verify in which situations it is better to use distribution network or isolated systems. Based on the applied methodology, two types of study were carried out: Rural distribution network cost and cost of Isolated Distributed Photovoltaic Solar Microgeneration.

Through the studies and calculations in relation to the km of the network and the values of the budgets made for isolated system, we have great difference of values between the two. Therefore, it was found that the Distributed Photovoltaic Solar Microgeneration in such situations is the best alternative in terms of costs and the service of isolated clients from 5km, as described in the normative resolution we are dealing with. (Normative Resolution 488/2012 of ANEEL)

Keywords: solar energy, autonomous photovoltaic systems, rural distribution network and distributed microgeneration, network cost, isolated system.

Sumário

RESUMO	3
ABSTRACT	6
LISTA DE ABREVIACÕES	8
1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Justificativa	10
1.2. Objetivos Gerais	10
1.3. Objetivos Específicos	10
1.4. Metodologia	11
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
2.1. Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica	12
2.2. Radiação Solar	13
2.3. Célula Fotovoltaica	13
2.3.1. CÉLULAS MONOCRISTALINAS	13
2.3.2. CÉLULAS POLICRISTALINAS	14
2.3.3. CÉLULAS AMORFAS	15
2.3.4. CÉLULAS DE PELÍCULA FINA	15
2.4. Módulos e Painéis fotovoltaicos	16
2.4.1 ASSOCIAÇÃO DE CÉLULAS EM SÉRIE	16
2.4.2. ASSOCIAÇÃO DE CÉLULAS EM PARALELO	17
2.5. Inversores para Sistemas autônomos	17
2.6. Baterias, requisitos de carga e carregadores	19
2.6.1. TIPOS DE BATERIAS	19
2.7. Rede de Distribuição Rural	22
2.7.1. PROCEDIMENTO DE SOLICITAÇÃO DE ENERGIA EM PROPRIEDADE RURAL	26
2.8. A Resolução Normativa 488/2012 da ANEEL	28
2.9. Domicílios rurais e o acesso à eletricidade	28
2.9.1. NORMAS DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZADAS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO RURAL	29
3. DESENVOLVIMENTO	38
3.1.1. Orçamento para Sistemas Isolados:	39
4. CONCLUSÃO	42
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

LISTA DE ABREVIACÕES

CA - Corrente Alternada

CC - Corrente Contínua

CdTe -Telurio de Cádmio

CiGs -Índio-Gálio-Silício

CIS - Cobre-Índio-Silício

SIN – Sistema Interligado Nacional

PLPT - Programa Luz Para Todos

RDR – Rede de Distribuição Rural

IBGE - Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

a-Si – Silício Amorfo

Ah – Ampére-Hora

MME – Ministério de Minas e Energia

ETO – Energisa Tocantins Distribuidora de Energia SA

ESS – Energisa Sul e Sudeste Distribuidora de Energia SA

EMT - Energisa Mato Grosso Distribuidora de Energia AS

ESSE - Energisa Sergipe Distribuidora de Energia SA

CAA – Cabo de Alumínio Nu

DT – Duplo T

MT – Média Tensão

GRT – Grampo de Rede Viva

AWG - American Wire Gauge (Escala Americana de Bitolas)

NDU – Norma de Distribuição Urbana

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

MRT – Média Tensão com Retorno por Terra

1. INTRODUÇÃO

A Energia elétrica é um dos commodities necessários para o desenvolvimento socioeconômico do ser humano no mundo atual. Hoje em dia dificilmente se vê uma sociedade que não faça seu uso em grande escala. Pode-se dizer que toda a tecnologia está baseada no uso da eletricidade, com pequenas exceções. No mundo em que vivemos, a geração de energia elétrica está basicamente ligada à fontes não renováveis, o que é uma ameaça ao meio ambiente e aos seres humanos, que se manifesta principalmente através dos problemas relacionados à saúde, aquecimento global, entre outros.

No caso do nosso país, os grandes empreendimentos hidrelétricos vêm trazendo grandes transtornos ambientais, tais como alagamento de terras como também, linhas de transmissão e distribuição, que trazem graves transtornos para as populações atingidas, causando muitas vezes perdas de seus patrimônios.

Ao considerarmos esses empreendimentos e os fins para os quais os mesmos foram construídos, entra em jogo uma contradição muito grande, de um país com vastas riquezas que não vem sendo tão bem utilizadas. Prova disso são várias linhas de transmissão que passam por centenas de quilômetros de terras habitadas, nos quais os habitantes não fazem uso dessa eletricidade em suas propriedades. Estes e muitos outros são alguns problemas que colocam em questionamento a eficácia do sistema energético atual.

Outro desafio que acontece atualmente, é a vasta dimensão do território nacional, o que na maioria dos casos geram altos custos de distribuição.

O Governo Federal, através do PLPT (Programa Luz Para Todos), vêm tentando suprir esse déficit. Porém, ainda há um investimento demasiadamente grande e em muitos casos, desnecessário, visto que se tem grandes riquezas naturais que podem suprir essa necessidade.

Há uma grande possibilidade de buscar soluções energéticas autônomas para as populações que vivem isoladas. Soluções que causem menos impactos ambientais e que sejam mais viáveis economicamente, tornando assim, essa população, parte desta grande massa que não vive sem a eletricidade.

1.1. Justificativa

Este estudo busca a facilidade e melhoria tanto em qualidade de vida, quanto em aspectos financeiros de pessoas que vivem em áreas isoladas e que não possuem energia elétrica, através de um estudo comparativo entre a Microgeração Distribuída Solar Fotovoltaica e os custos de uma obra de Rede de Distribuição Convencional.

1.2. Objetivos Gerais

Este trabalho tem como objetivo estudar, levantar e analisar estatisticamente o custo de rede de distribuição rural no estado do Tocantins em comparação a sistemas fotovoltaicos isolados, para assim verificar em quais situações é melhor utilizar rede ou sistemas isolados.

1.3. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Levantamento de Custo de RDR - MRT;
- Levantamento de Custo de Sistema Isolado;
- Realizar Análise de Regressão para custo de RDR - MRT;
- Realizar custo de Sistema Isolado;
- Fazer a conclusão e as observações de acordo com as curvas de regressão.

1.4. Metodologia

A metodologia utilizada será pesquisa bibliográfica sobre meios de atendimento elétrico para comunidades e consumidores eletricamente isolados do Sistema Interligado Nacional(SIN). Á posterior será realizado um levantamento junto à concessionária local, dos custos e distância das obras de extensão de rede de distribuição rural e também o levantamento de custos e geração de energia de sistemas solares fotovoltaicos isolados da rede. Com estes dados será feita a regressão linear. Com as curvas de regressão será feita a análise e discussão dos resultados obtidos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica

Um sistema fotovoltaico autônomo é concebido para alimentar um conjunto de cargas sem a presença da rede elétrica, durante todo o ano. Assim, o dimensionamento do painel é normalmente efetuado com base na radiação disponível no mês com menor radiação solar. Em conjunto com o painel solar o sistema deve incluir também:

- Baterias, de modo a assegurar a alimentação dos consumos nos períodos em que o recurso (radiação solar) não está disponível. As baterias são carregadas sempre que a radiação solar disponível permite gerar uma potência superior a potência de carga;
- Controlador de carga, para efetuar a gestão da carga da bateria;
- Inversor, no caso de haver cargas a alimentar em CA. Alguns sistemas autônomos não necessitam de armazenamento.

Dependendo do tipo de cargas a alimentar, os sistemas fotovoltaicos autônomos podem assumir uma ou mais configurações possíveis, tal como se pode observar na Figura (1).

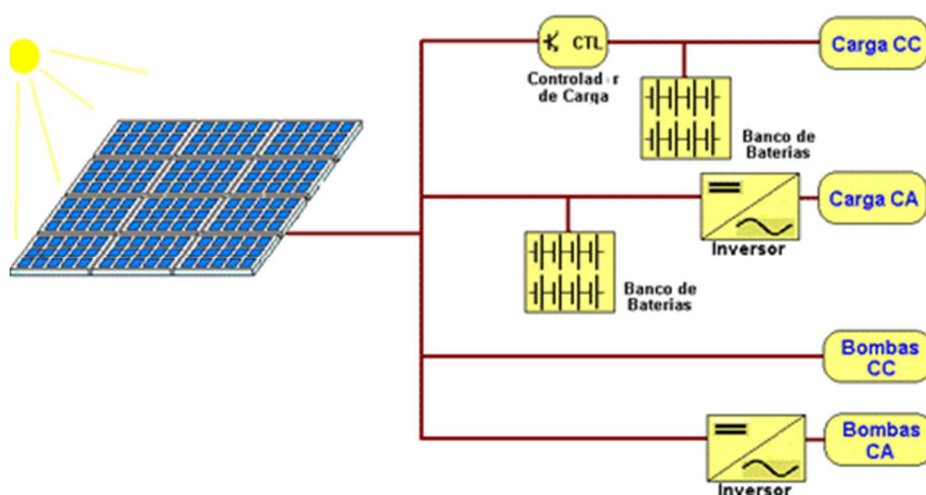


Figura 1 - Diagrama de sistemas fotovoltaicos em função da carga utilizada

Os Sistemas de energia solar fotovoltaicas convertem a energia proveniente da radiação solar que atinge a superfície terrestre em energia elétrica. Na maior parte das vezes a energia elétrica gerada é entregue à rede

receptora, (baixa ou média tensão), ou utilizada para alimentar cargas em rede isolada. Esta é a principal razão pela qual se distinguem dois tipos de energia solar fotovoltaica: sistemas ligados à rede e sistemas isolados.

Estes dois tipos de sistemas de energia diferem quanto aos requisitos a satisfazer e, em consequência, quanto ao tipo de componentes que integram. Neste estudo, trataremos dos sistemas autônomos.

2.2. Radiação Solar

A quantidade de energia proveniente do sol que atinge a superfície da terra corresponde, aproximadamente, a dez mil vezes a procura global de energia. Visto que para satisfazer as necessidades energéticas da humanidade, basta utilizar 0,01% desta energia.

2.3. Célula Fotovoltaica

A célula fotovoltaica é constituída por um material semicondutor, o silício, ao qual são adicionadas substâncias, ditas dopantes, de modo a criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico, isto é, à conversão direta da radiação solar em potência elétrica produzida em CC.

Dependendo do material utilizado na fabricação das células solares fotovoltaicas, estas podem ser classificadas como células monocristalinas, policristalinas e amorfas.

No entanto existem novas tecnologias em fase de desenvolvimento e comercialização. As células que utilizam estas novas tecnologias são denominadas por células de película fina. Em seguida é feita uma breve descrição sobre as diferentes tecnologias solares fotovoltaicas.

2.3.1. CÉLULAS MONOCRISTALINAS

O silício monocristalino é o material mais usado na composição das células fotovoltaicas, atingindo cerca de 60% do mercado. A uniformidade da estrutura molecular resultante da utilização de um cristal único é ideal para potencializar o efeito fotovoltaico. As células monocristalinas foram as primeiras a serem elaboradas a partir de um bloco de silício cristalizado num único cristal.

Apresentam-se sob a forma de placas redondas, quadradas, ou pseudo quadradas.

Contudo, apresentam dois inconvenientes:

- Preço Elevado;
- Elevado período de retorno do investimento.

A Figura (2) apresenta o aspecto visual das células monocristalinas.



Figura 2 – Células Monocristalinas

2.3.2. CÉLULAS POLICRISTALINAS

O silício policristalino, constituído por um número muito elevado de pequenos cristais da espessura de um cabelo humano, dispõe de uma quota no mercado de 30%. As descontinuidades da estrutura molecular dificultam o movimento dos elétrons e encorajam a recombinação com as lacunas, o que reduz a potência de saída. O processo de fabricação é mais barato que o do silício cristalino.

A Figura (3) apresenta o aspecto visual deste tipo de células.

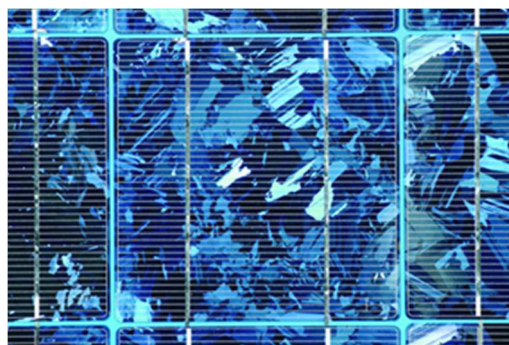


Figura 3 – Células Policristalinas

2.3.3. CÉLULAS AMORFAS

As células amorfas são compostas por um suporte de vidro ou de outra matéria sintética, na qual é deposta uma camada fina de silício (a organização dos átomos já não é regular como num cristal. O rendimento deste tipo de células é mais baixo que nas células cristalinas, mas mesmo assim, a corrente produzida é razoável.

A sua gama de aplicações são os pequenos produtos de consumo como relógios, calculadoras, mas podem também ser utilizadas em instalações solares. Apresentam como vantagem o fato de reagirem melhor à luz difusa e à luz fluorescente e, portanto, apresentarem melhores desempenhos a temperaturas elevadas.

A Figura (4) apresenta o aspecto visual das células amorfas.

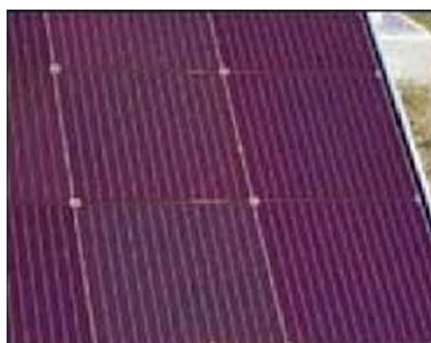


Figura 4 – Células Amorfas

2.3.4. CÉLULAS DE PELÍCULA FINA

As células de película finas tais como CIS, CdTe e CiGs, encontram-se em fase de desenvolvimento. Apesar de possuírem baixas eficiências, as células de película fina apresentam-se como uma alternativa promissora ao silício, por serem muito mais resistentes aos efeitos de sombreamento e a temperaturas elevadas. Estas apresentam custos de produção mais baixos.

Os painéis solares de CIS apresentam, como o a-Si (silício amorfo) e o CdTe, uma agradável aparência estética. Apresentam rendimentos algo inferiores ao do silício, mas em contrapartida encontram aplicações arquitetônicas diversas, devido às vantagens de utilizarem de películas finas e permitirem a passagem parcial de luz. No caso do CdTe, a pouca abundância dos elementos envolvidos a sua toxicidade são aspectos que têm de ser

considerados se esta tecnologia atingir quantidades significativas de produção. O aspecto visual das células de película fina está representado na Figura(5).

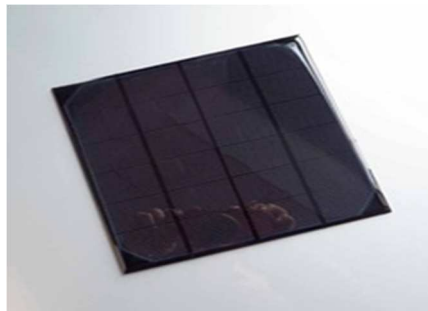


Figura 5 - Células de Película Fina

A Tabela (1) representa os rendimentos típicos e teóricos obtidos com cada uma destas tecnologias.

Material da Célula Solar	Eficiência da Célula
Silício Monocristalino	11 – 16%
Silício Policristalino	10 – 14%
Silício de Película Fina	6 – 8%
CIS, CIGS	4 – 7%

Tabela (1) – Rendimentos das diferentes tecnologias

2.4. Módulos e Painéis fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são constituídos por agrupamentos de células ligadas em série e/ou em paralelo de forma a se obter os valores desejáveis de tensão e corrente.

2.4.1 ASSOCIAÇÃO DE CÉLULAS EM SÉRIE

Num agrupamento ligado em série, as células são atravessadas pela mesma corrente e a característica resultante deste agrupamento é obtida pela adição das tensões aos terminais das células, para um mesmo valor de corrente, como mostra a Figura 6.

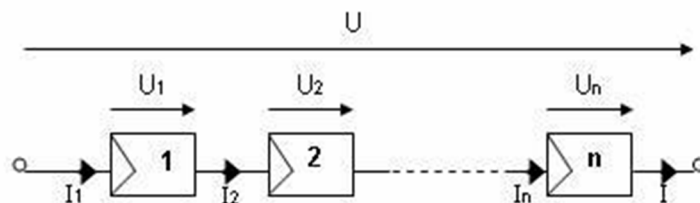


Figura 6 – Associação de células em série.

Logo:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

2.4.2. ASSOCIAÇÃO DE CÉLULAS EM PARALELO

Num agrupamento lido em paralelo, as células estão submetidas à mesma tensão e as intensidades de correntes adicionam-se. A característica resultante obtém-se por adição de correntes, para um mesmo valor de tensão, como mostra a Figura 7.

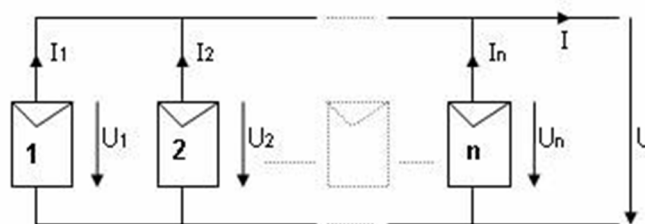


Figura 7 – Associação de Células em paralelo.

Logo:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_m$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

A grande maioria dos módulos são construídos associando primeiro lugar as células em série até se obter um nível de tensão considerável, e depois associando-as em paralelo até alcançar o nível de corrente desejado.

2.5. Inversores para Sistemas autônomos

Num sistema fotovoltaico isolado o armazenamento de energia nas baterias e o funcionamento da energia para consumo é feito em CC. Os

inversores são utilizados para possibilitar o uso de aparelhos elétricos convencionais que requerem alimentação em CA ($V=230V$ e $f=50Hz$) a partir da rede em CC. Um sistema isolado típico é apresentado a seguir através da Figura 8.

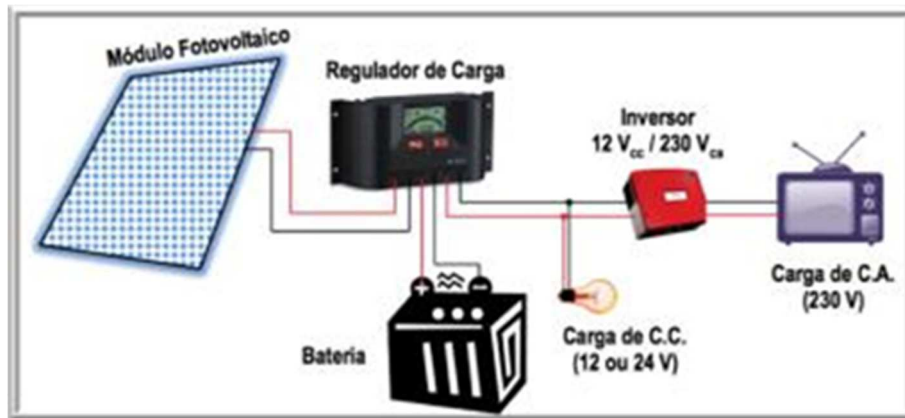


Figura 8 – Sistema Autônomo com Inversor.

Os inversores utilizados nos sistemas autônomos possuem grandes características bastante diferentes dos inversores utilizados em sistemas ligados à rede e são, por vezes, conhecidos como inversores para baterias ou inversores autônomos. A escolha de um inversor para um sistema deste tipo é feita tendo em conta a potência do inversor e atendendo a que potência nominal do inversor deve ser suficiente para alimentar as cargas de forma contínua.

Quando no sistema autônomo existirem motores ou outras cargas que exijam correntes de arranque elevadas, o inversor deverá ter capacidade de fornecer essas correntes de arranque. Por outro lado, os inversores devem possuir as seguintes características:

- Gerar uma onda de tensão em CA estável;
- A tensão CC de entrada deve acautelar as variações de tensão na bateria;
- Ser dimensionado de modo a ter capacidade de alimentar continuamente todas as cargas;
- Capacidade de fornecer correntes de arranque elevadas;
- Elevada eficiência para diferentes condições de carga;
- Fiabilidade elevada;
- Baixa interferência eletromagnética;

- Baixo consumo quando não há carga a ser alimentada.
- Num sistema autônomo podem ser usados dois ou mais inversores.

Existem no mercado inversores sofisticados que podem funcionar em paralelo segundo uma filosofia mestre-escravo, permitindo assegurar o nível elevado de segurança e aumentar a eficiência de sistemas de grande dimensão evitando a alimentação das cargas (por inversores) de forma separada.

2.6. Baterias, requisitos de carga e carregadores

Em sistemas fotovoltaicos autônomos, dado que a produção e consumo de energia muitas vezes não coincidem, quer ao longo, quer ao longo dos dias do ano, o armazenamento de energia assume um papel fundamental. Para tal são utilizadas baterias, as quais devem possuir tempos de vida útil longos em condições de carga e descarga diárias, também conhecidas como baterias de alta profundidade de carga. Outras características importantes são uma elevada eficiência de carga, mesmo para baixas correntes de carga e baixa razão de auto descarga.

As baterias são uma forma de armazenamento de energia, pois são capazes de transformar diretamente energia elétrica em energia potencial e posteriormente converter, diretamente, a energia potencial química em elétrica. Cada bateria é composta por um conjunto de células eletroquímicas ligadas em série, de modo a obter a tensão elétrica desejada.

2.6.1. TIPOS DE BATERIAS

A escolha apropriada da bateria, bem como sua capacidade, é uma tarefa essencial de modo a assegurar o adequado funcionamento do sistema solar fotovoltaico autônomo e proporcionar à bateria um longo tempo de vida útil.

As baterias podem ser classificadas em duas categorias, primária e secundária. As baterias primárias não podem ser recarregadas, ou seja, uma vez esgotados os reagentes que produzem energia elétrica, devem ser descartadas. As secundárias podem ser recarregadas através da aplicação de uma corrente elétrica aos seus terminais. Os sistemas fotovoltaicos utilizam baterias do tipo

recarregáveis sendo as de chumbo-ácido e as de níquel-cádmio as mais comuns.

O ciclo de carga/descarga das baterias repete diariamente, pelo que deve ser tido em conta o valor da percentagem de descarga no dimensionamento, uma vez que irá determinar o tempo de vida útil da bateria. Em resultado do processo de carga/descarga a capacidade da bateria diminui, sendo a perda de capacidade maior quanto maior for a profundidade de descarga. Para aumentar a durabilidade das baterias é necessário garantir um ciclo de carga/descarga adequado, de acordo com as recomendações do fabricante. O nível de carga de uma bateria nunca deve ser inferior ao valor máximo permitido para sua profundidade de carga. A escolha da bateria a ser utilizada em sistemas fotovoltaicos autônomos requer a avaliação de suas características. Para além da razão custo/desempenho, capacidade, requisitos de manutenção, tamanho e espaço necessário para a sua instalação, a sua eficiência e razão de auto descargas devem também ser considerados.

Nas subseções seguintes é apresentada a descrição destes dois tipos de baterias.

2.6.1.1. Bateria chumbo-ácido

As baterias de chumbo-ácido possuem esta denominação, porque são constituídas por uma solução aquosa de ácido sulfúrico. São formadas por elementos constituídos por duas placas de polaridades opostas, isoladas entre si e banhadas pela solução de ácido sulfúrico. A capacidade é medida pela quantidade de carga elétrica, ou seja, pelo número de horas que uma determinada corrente pode ser fornecida por uma bateria totalmente carregada, e expressa em Ampére – hora (Ah), isto é o produto da corrente em ampères pelo tempo em horas corrigido para a temperatura de referência.

Devido ao seu baixo custo e grande disponibilidade no mercado, as baterias de chumbo-ácido são frequentemente utilizadas nos sistemas solares fotovoltaicos autônomos. A célula eletroquímica de chumbo-ácido possui uma tensão nominal de 2v cc. Assim várias destas células são ligadas em série de modo a obter terminais da bateria valores de tensão desejáveis. No mercado existem baterias de chumbo-ácido de 12, 24 e 48v. No entanto a tensão nos terminais da bateria depende do seu estado de carga e do processo de

carga/descarga, baixando durante o processo de descarga e subindo durante o processo de carga.

2.6.1.2. Bateria níquel-cádmio

As baterias de níquel-cádmio são também utilizadas em sistemas de geração de energia elétrica fotovoltaica. Apresentam uma estrutura física semelhante às das baterias de chumbo-ácido, utilizando hidróxido de níquel para as placas positivas, óxido de cádmio para as placas negativas e hidróxido de potássio para o eletrólito.

As baterias de níquel-cádmio, quando comparadas às de chumbo-ácido, são menos afetadas por sobrecargas e podem ser totalmente descarregadas. Não estando sujeitas a sulfatação, possuem custo mais elevado que as de chumbo-ácido.

2.6.1.3. Requisitos de carga e carregadores

Tal como já foi referenciado anteriormente, nos sistemas fotovoltaicos autônomos a tensão aos terminais do painel fotovoltaico deverá ser compatível com a tensão nominal da bateria, devendo ser a tensão do painel superior à tensão da bateria.

Tendo em conta a dependência da tensão aos terminais do painel com a temperatura, é conveniente que para as temperaturas elevadas a tensão gerada seja suficientemente elevada para possibilitar a carga das baterias, e para valores baixos de temperatura é conveniente garantir que a tensão do painel fotovoltaico não supere a tensão de carga da bateria. Assim o controlador de carga mede a tensão da bateria e protege-a contra a possibilidade de sobrecarga. No caso da tensão no painel ser superior à tensão da bateria, o controlador de carga evita que a bateria descarregue através do painel, através da utilização de diodos de bloqueio que evitam a passagem de corrente inversa.

Como as baterias são em geral muito sensíveis tanto a sobrecargas como a descargas profundas, a utilização do controlador de carga contribui significativamente para o aumento do seu tempo de vida útil. Os controladores de carga são compostos por circuito de controle de comutação. Tendo em conta que a tensão máxima de carga e mínima de descarga da bateria dependem do

seu estado de carga, o circuito monitora a tensão, corrente e também a temperatura da bateria, processa essas informações e gera sinais de controle para o circuito de comutação. O circuito de comutação é formado por dispositivos semicondutores de potência que controlam a tensão e/ou a corrente de carga ou descarga das baterias.

As principais funções atribuídas aos controladores de carga das baterias são:

- Assegurar carregamento da bateria;
- Evitar a sobrecarga da bateria;
- Bloquear corrente inversa entre a bateria e o painel;
- Prevenir descargas profundas no cargo de baterias chumbo-ácido).

Existem basicamente dois tipos de controladores: os que são ligados em paralelo, e os que são ligados em série. Os controladores ligados em paralelo são constituídos por transístores que dissipam a potência gerada em excesso. Quando a tensão nos polos da bateria atingir um determinado valor, a tensão de corte recomendada é de 2,35 V/elemento quando a temperatura for de 25°C. Neste caso, é conveniente instalar um diodo de bloqueio entre a bateria e o transístor para evitar dissipação da energia das baterias através dos transístores. Por sua vez, os controladores ligados em série desligam os painéis das baterias quando a tensão atinge o valor correspondente à tensão máxima de carga. O interruptor utilizado pode ser um dispositivo eletromecânico, como um relé estático, por exemplo, um transístor.

2.7. Rede de Distribuição Rural

De acordo com o Manual de Operacionalização - Programa “LUZ PARA TODOS” - Período 2015/2018, em novembro de 2003 ocorreu a antecipação do Processo de Universalização que iniciou com a edição do Decreto Nº 4.873, que instituiu o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - “LUZ PARA TODOS”.

Com bases no IBGE, em 2000 existiam dois milhões de domicílios rurais não atendidos pela Prestação dos Serviços de Energia Elétrica. E ainda cerca

de noventa por cento dessas famílias possuíam renda inferior a três salários mínimos.

Inicialmente era programado para atender essas famílias até o ano de 2008, porém foi prorrogado a 2011 com isso foram atendidas ao total dois milhões novecentos e sessenta e cinco mil, novecentos e oitenta e oito domicílios (Manual de Operacionalização - Programa “LUZ PARA TODOS” - Período 2015/2018).

Em virtude do sucesso e necessidade do projeto ‘Luz para todos’ novas demandas surgiram sendo em sua maioria nas Regiões Norte e Nordeste do País, que apresentam grandes índices de exclusão elétrica no início do programa em 2003.

Assim, visando o atendimento dessa demanda, o Decreto nº 7.520, de 8 de julho de 2011, instituiu o Programa “LUZ PARA TODOS” para o período de 2011 a 2014, sendo prorrogado pelo Decreto nº 8.387, de 30 de dezembro de 2014, até o ano de 2018 que irá possibilitar o atendimento a 206,2 mil famílias, 1 milhão de pessoas até dezembro de 2018. Cerca de 100 mil dessas pessoas encontram-se na Amazônia e serão atendidas com sistemas de energia solar fotovoltaicos, como indica a Figura 9:



Figura 9 - Beneficiados do Programa Luz Para Todos.
Fonte: MME, 2017.

Em razão da renda familiar dessas famílias descrito anteriormente, o programa teve como objetivo levar energia elétrica já em sua Primeira Etapa.

Nestes 12 anos, foram investidos R\$ 22,7 bilhões nas obras do Programa Luz para Todos, sendo R\$ 16,8 bilhões do governo federal, e o restante com recursos dos governos Estaduais e as distribuidoras de energia. Além das famílias, continuam prioritários os atendimentos às escolas rurais, às populações localizadas em áreas da extrema pobreza, quilombolas, indígenas, assentamentos, ribeirinhos, pequenos agricultores, famílias em reservas extrativistas e as afetadas por empreendimentos do Setor Elétrico, além de poços de água comunitários.

O Programa - que foi criado para ser uma política pública para atuar como vetor de desenvolvimento econômico e social, contribuindo para a redução da pobreza e da fome nas comunidades atendidas, proporcionou aos moradores da zona rural melhoria nas condições de trabalho, nas instalações das escolas conforme Figura 10, e a postos de saúde, além de o conforto domiciliar com o fim da queima de óleo nas lamparinas, para quebrar a escuridão da noite, ou ter que salgar a carne para que ela não estragasse.

No Brasil de acordo com Gusmão (2002) a eletrificação rural é caracterizada pela baixa densidade da população, baixo consumo, alto investimento por consumidor, devido às longas distâncias e elevado custo operacional. Uma alternativa para superar essas adversidades e levar a essa população o direito de acesso básico a um bem tão essencial para o seu desenvolvimento é a participação de entidades governamentais em programas de eletrificação rural, nos quais a energia alternativa não convencional também pode ser uma alternativa para atender a esta demanda.



Figura 10 - Instalações em escolas na zona Rural

As redes de distribuição rurais são destinadas ao fornecimento de energia em tensão de distribuição e cujo traçado se desenvolve na área configurada como rural. (ND21_rev03_Mai_2014, ELEKTRO Eletricidade e Serviços S.A.)

Para comparar as diversas alternativas de suprimento de eletrificação rural com a extensão de rede é fundamental entender os componentes do custo de uma rede de distribuição. Uma rede de distribuição divide-se em rede de baixa tensão ou rede secundária (380/220 volts ou 220/110 volts) e rede de média tensão ou rede primária (13,8 kV), com um transformador interligando as duas redes (RIBEIRO, 2002).

No Brasil, a estrutura de distribuição predominante é a radial aérea, com pequena participação das linhas subterrâneas em centros urbanos. O tipo de sistema a ser adotado depende da existência de diversos fatores como a existência ou não de um condutor neutro, configuração de linhas e troncos e ramais, combinação de bitola dos condutores, tipos de pólos, terreno, acessibilidade, mão-de-obra, infraestrutura de subtransmissão e espaçamento entre subestações existentes e previstas (PEREIRA, 2000).

No Tocantins, com base em dados da Concessionária de Energia elétrica do estado, Energisa Tocantins, cerca de 6.006 consumidores de áreas rurais, ainda estão sem acesso à energia elétrica. O prazo para encerramento de atividades do PLTP é 31.12.2018. Existem 34 municípios no estado, que ainda faltam ser atendidos neste prazo. Os municípios que não foram atendidos

nos anos de 2015, 2016 e 2017, com base nas informações recolhidas, consumidores com até 60 metros de rede, devem ser atendidos em até 100 dias, consumidores com 1 km de rede em até 120 dias, e consumidores com mais de 1km de rede, tem até 240 dias para serem atendidos, a partir do momento da solicitação e aceite do projeto pela concessionária.

Conforme Tabela 2, referencia-se as vantagens e desvantagens do uso da extensão de rede.

Vantagens	Desvantagens
• Flexibilidade de expansão e aumento da demanda;	• Logística de cobrança e dificuldade de medição;
• Reduzidos problemas de operação e manutenção;	• Superdimensionamento do condutor x demanda;
• Independência em relação á combustíveis e peças sobressalentes;	• Alterações políticas podem contribuir para agravar as dificuldades financeiras das concessionárias elétricas;
• Boa resposta a variações diárias sazonais;	• Altos custos de investimento;
• Aceitação quanto à segurança.	• Restrições legais podem dificultar o projeto.

Tabela 2 - Vantagens e Desvantagens da Extensão de Rede
Fonte: Baseado em Eletrobrás, 1982 e Pereira, 1992.

2.7.1. PROCEDIMENTO DE SOLICITAÇÃO DE ENERGIA EM PROPRIEDADE RURAL

O procedimento de solicitação de ligação de energia em propriedade Rural se dá por telefone (Call center) na concessionária de energia elétrica do Tocantins (Energisa Tocantins - ETO). Deste pedido é emitido uma ordem de serviço (OS) para levantamento in loco, onde é verificado se a propriedade a ser atendida realmente existe, e qual é a distância do ponto de ligação do Ramal. Após esta etapa a OS é encaminhada com as observações do levantamento para a elaboração do projeto, onde são feitos os orçamentos, listagem de materiais e especificações técnicas. Todo esse procedimento possui um prazo de 30 dias, prazo este determinado conforme resolução prevista para resposta ao cliente. (Resolução nº 223 de 2003 da ANEEL).

Passado o projeto, a obra é enviada ao Comitê Gestor Estadual que é uma comissão formada por representante do Ministério de Minas e Energia, Representante do Governo do Estado, Representante da Agência Nacional de Energia Elétrica a ANEEL, Representante da(s) Associação(ões) de Prefeitos do Estado, Representante da(s) concessionária(s) e cooperativas de eletrificação rural de distribuição estadual - quando Agente Executor do Programa, e outros definidos pelo Coordenador do Comitê Gestor Estadual em conjunto com o representante do Governo do Estado, sendo eles os responsáveis por aprovarem as obras e classificarem os atendimentos caracterizados como prioritários. A obra é contratada com uma empresa terceirizada para implantação da Rede de Distribuição Rural conforme o projeto (30dias). Logo depois é feita a ligação do consumidor e a obra vai para a fiscalização e pagamento por parte da concessionária.

Ocorrendo os seguintes processos: Solicitação, Levantamento, Projeto e Execução que indicam as etapas que seria o início até o fim da execução da obra.

Onde a Solicitação é informado os seguintes dados: nome do proprietário e seus dados pessoais, nome da propriedade, município, roteiro de chegada, relação de carga instalada e telefones para contatos.

Já no Levantamento consiste no Croqui do pré-projeto, coordenadas geográficas (UTM), relatórios fotográficos e documentos diversos necessários (autorização de passagem, documentos pessoais, entre outros). É nesta fase que todas as condições existentes do terreno devem ser avaliadas, inclusive com os dados de possíveis alterações futuras, onde o projetista alia a sua criatividade à experiência para avaliar no campo as alternativas de traçados para escolha da melhor solução técnica e econômica.

Quanto ao projeto é elaborado de acordo com os dados coletados no levantamento. Este segue as normas técnicas específicas de cada concessionária. É no projeto que se faz o estudo preliminar em cartas geográficas ou plantas da região visando identificação das condições de projeto. Onde é feito a correta verificação da viabilidade técnica para execução de um traçado o que é de grande importância, pois evita que ocorram imprevistos por ocasião da execução da obra, provocando modificações no projeto original, com consequente alteração no custo da obra.

Por fim a Execução depende da aprovação do Comitê Gestor Estadual, posteriormente é iniciado o processo de contratação e execução da obra.

2.8. A Resolução Normativa 488/2012 da ANEEL

No ano de 2012 foi estabelecido a resolução normativa 488/2012 da ANEEL, que em seu artigo 8 inciso 5º diz que para atendimento de consumidores rurais até cinco quilômetros deve-se utilizar rede convencional, a partir desta distância é necessário um estudo de atendimento por SIGFI (Sistema Individual de Geração de Energia Elétrica com Fonte Intermitente) ou MIGDI (Microssistema Isolado de Geração e Distribuição de Energia Elétrica). Este trabalho tem por finalidade comparar estes custos e verificar a viabilidade da mesma.

2.9. Domicílios rurais e o acesso à eletricidade

A Agência Internacional de Energia (IEA, 2015) estima que atualmente 1,2 bilhões de pessoas, cerca de 17% da população mundial, não tem acesso a eletricidade. Em 2030, de acordo com as previsões da agência, 800 milhões de pessoas ainda não terão acesso à eletricidade. Uma parte considerável dessa população vive nos países em desenvolvimento e somente terão acesso à eletricidade se os governos praticarem políticas públicas voltadas para tal. Isto porque elas vivem em áreas afastadas, ou isoladas, o que implica um elevado custo para fazer chegar até elas às redes de transmissão e distribuição de eletricidade e seu baixo consumo não justifica, para a concessionária de energia elétrica, os elevados custos neste tipo de investimento.

As pessoas que não tem acesso à energia elétrica não somente vivem na escuridão, no sentido literal da palavra, mas no sentido da privação do acesso a melhores condições de saúde, educação, trabalho e segurança. Por isso, um programa da magnitude do PLPT é tão importante. E devido à magnitude que alcançou ele foi escolhido pela ONU como referência para levar as populações mais pobres de todo o mundo o acesso ao serviço de suprimento de energia elétrica (PAC, 2012).

2.9.1. NORMAS DE DISTRIBUIÇÃO UTILIZADAS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO RURAL

Para a construção de redes de distribuição rural, seguimos a norma NDU-005 da Concessionária de Energia Elétrica do Estado do Tocantins - Energisa Tocantins - onde temos os seguintes componentes principais:

2.9.1.1. Rede Primária

As Redes de Distribuição Primárias serão em Estruturas Convencionais com cabos de alumínio nus CAA.

2.9.1.2. Estruturas Convencionais

As estruturas convencionais da rede de distribuição rural (RDR) primária, em cabo de alumínio nu CAA, são denominadas U (monofásica), N (normal), T (triangular), P (Plana), e H (horizontal). A montagem das estruturas convencionais deveram empregar cruzetas de concreto, poliméricas maciças, fibra de vidro, metálicas, isoladores tipo pilar, isolador polimérico de ancoragem e postes de concreto. Para sistemas a duas fases, as estruturas são iguais às adotadas para sistemas trifásicos, sendo eliminada a fase central. Para facilitar a identificação "carga fonte", recomenda-se que a cruzeta e/ou pino de topo nas estruturas "U1, N1 e T1", sejam instalados no lado da fonte. Nas estruturas N1 e N2, quando do lançamento da fase do meio, em vãos superiores a 80 m, alternar a posição do(s) isolador(es) central(is) a cada estrutura.

2.9.1.3. Estruturas Monofásicas

- Estrutura U1 - Usada em tangência, podendo também ser empregada em ângulos. Neste caso, a instalação do condutor no isolador deverá ser feita lateralmente. Recomenda-se que o pino de topo da estrutura U1, seja instalado do lado oposto ao sentido de tracionamento do condutor.

- Estrutura U2 - Usada em ângulos, podendo também ser empregada em tangências. Estrutura não utilizadas nas empresas ESS, EMT e ETO, as mesmas são substituídas pela estrutura U4. Vetada sua utilização em derivação e fim de rede.

- Estrutura U3 - Usada em derivações e fins de rede. Quando de fim de rede, a resistência nominal mínima do poste igual a 300 daN.

- Estrutura U3-U3 – Nas estruturas tipo "U3-U3", a estrutura superior deve receber o circuito oriundo da fonte e a inferior, o da carga. O lado de maior resistência do poste deverá ficar voltado para o sentido do maior vão ou maior esforço mecânico. A resistência nominal mínima do poste igual a 300 daN.

- Estrutura U4 - Usada em ângulos e em mudança de bitolas de condutores.

- Estrutura T1 / N1 - Usadas em tangências, podendo também ser empregadas em ângulos, neste caso, a instalação dos condutores nos isoladores deverá ser feita lateralmente. Nas estruturas N1, consecutivas, em vãos superiores a 80 m, devem ser alternadas as posições dos isoladores da fase central em relação ao poste. Recomenda-se que a cruzeta das estruturas T1/N1, seja instalada do lado oposto ao sentido de tracionamento dos condutores.

- Estrutura T2 / N2 - Usadas em ângulos, podendo também ser empregadas em tangências. Nas estruturas N2, consecutivas, em vãos superiores a 80 m, devem ser alternadas as posições dos isoladores da fase central em relação ao poste. Estrutura não utilizadas nas empresas ESS, EMT e ETO, as mesmas são substituídas pela estrutura T4/N4. Vetada sua utilização em derivação e fim de rede.

- Estrutura T3 / N3 - Usadas em derivações e fins de rede. Quando de fim de rede a resistência nominal mínima do poste igual a 600 daN.

- Estrutura T3-T3 / N3-N3 - Nas estruturas tipo "N3-N3", a estrutura superior deve receber o circuito oriundo da fonte e a inferior, o da carga. O lado de maior resistência do poste deverá ficar voltado para o sentido do maior vão ou maior esforço mecânico. A resistência nominal mínima do poste igual a 600 daN.

- Estrutura T4 / N4 - Usadas em ângulos e em mudança de bitolas de condutores e em tangência.

- Estrutura TE - Usadas em ângulos e em mudança de bitolas de condutores e em tangência. Altura mínima do poste é de 11 metros. Resistência nominal do poste igual a 300 daN.

- Estrutura P1 / P1A / P1T / P1TA – Usadas em tangências, podendo também ser empregadas em ângulos, neste caso, a instalação dos condutores nos isoladores deverá ser feita lateralmente. Deve ser usado nos mesmos critérios da N1 / T1. Vedada a utilização no sistema de neutro contínuo.

- Estrutura HT - Usadas em ângulos e em mudança de bitolas de condutores e em tangência. Sendo a resistência nominal mínima do poste igual a 300 daN. Estrutura não utilizada na empresa ETO.

- Estruturas HTE - Usadas em ângulos e em mudança de bitolas de condutores e em tangência. Sendo a resistência nominal mínima do poste igual a 300 daN.

- Estruturas HTT - Usadas em ângulos superiores as 60°. Sendo a resistência nominal mínima do poste igual a 600 daN. O lado de maior resistência dos postes deve ficar na direção da rede, sendo que para a poste central prevalece o sentido da rede com maior vão ou maior esforço mecânico. Os vãos internos, entre as cruzetas, devem ficar com uma tensão reduzida bastante para compensar a acomodação dos estais longitudinais). Estrutura não utilizada na empresa ETO.

- Estruturas HTTE - Usadas em ângulos superiores as 60°. Sendo a resistência nominal mínima do poste igual a 600 daN. O lado de maior resistência dos postes deve ficar na direção da rede, sendo que para o poste central prevalece o sentido da rede com maior vão ou maior esforço mecânico. Os vãos internos devem ficar com uma tensão reduzida (o bastante para compensar a acomodação dos estais longitudinais).

A Figura 11 referencia as estruturas primárias monofásicas padrão.

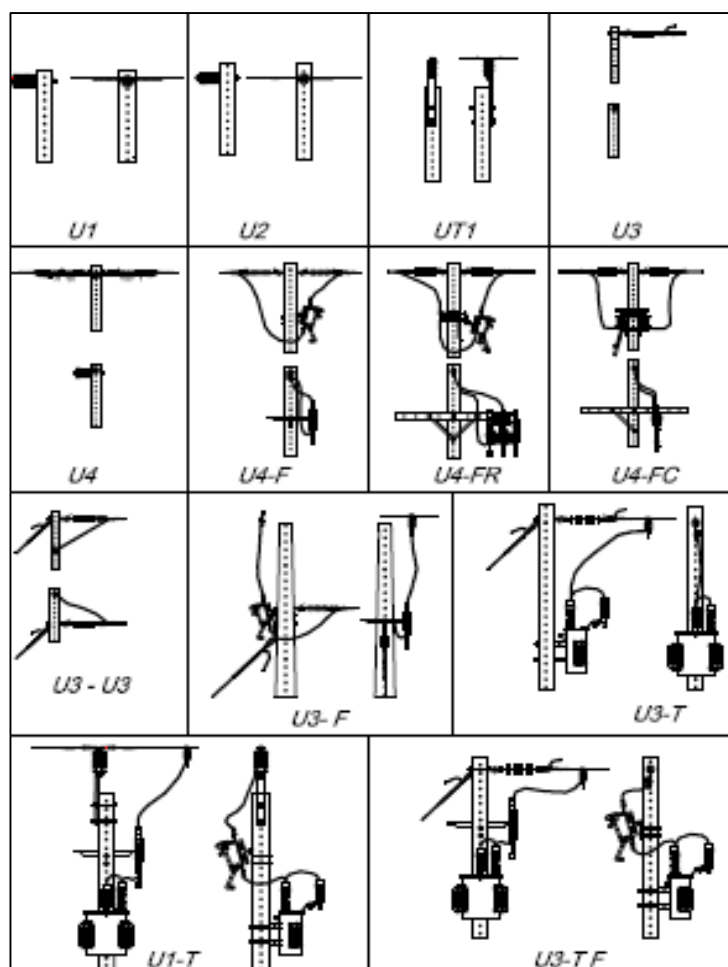


Figura 11 – Estruturas primárias monofásicas padrão

Fonte: NTD 15 - Montagem de redes de distribuição aérea rural trifásica e monofásica

2.9.1.4. Estruturas do Neutro

- Estruturas S1 - Estrutura de neutro passante é associada às estruturas de passagem do primário (U1, U2, T1/N1 e T2/N2), independente da tensão. A utilização de coxim é opcional. Sua amarração pode ser por laço pré-formado ou pelo conjunto fio e fita de alumínio. Seu posicionamento é sempre lateral ao poste.

- Estrutura S0 - Estrutura de neutro ancorado é associada às estruturas de ancoragem do meio de rede (U4, T4/N4, TE, HT, HTE e HTT), independente da tensão. Sua amarração é com a alça pré-formada de distribuição, a mesma utilizada no primário. Seu posicionamento é sempre lateral ao poste.

- Estrutura S0T - Estrutura de neutro ancorado de derivação e final de rede. É associada as estruturas de final de rede (U3 e T3/N3), independente da tensão. Sua amarração é com a alça pré-formada de distribuição, a mesma utilizada no primário. Seu posicionamento é sempre lateral ao poste.

2.9.1.5. Transformador

A ligação da rede primária convencional ou protegida ao transformador deverá ser feita através de cabo protegido com bitola mínima de 50mm², exceto para Energisa Sergipe, onde a ligação da rede primária convencional ou protegida ao transformador deverá ser feita através de cabo de cobre com bitola mínima de 35mm² com isolamento para 1kV.

Em postes de concreto DT, os transformadores devem ser instalados no lado de maior resistência do poste e voltados para a rua, ficando a rede secundária ancorada nos dois lados do poste.

2.9.1.6. Para-raios MT

Todo para-raios deverá ser conectado à rede distribuição por meio do conjunto Grampo de Rede Viva (GLV), composto pelo grampo de rede viva, estribo e conector indicado.

A ligação dos para-raios MT à rede deverá ser feita com cabo de alumínio protegido adequado. Na empresa ESE, a ligação dos para-raios MT à rede deverá ser feita com cabo de cobre adequado, com isolamento para 1 KV. O para-raios central deverá ser aterrado através de cabo terra e os laterais deverão ser interligados através de um único cabo, conectado ao cabo terra. O cabo terra deverá ser contínuo do para-raios até a haste de terra. O barramento deverá passar entre os suportes dos mesmos e a cruzeta, por baixo desta.

Em estruturas com transformador, os para-raios MT deverão ser fixados na carcaça do mesmo sendo ligados com o jumper da bucha primária após o cabo passar pela mesma.

2.9.1.7. Chave Fusível e Chave Fusível Religadora

Toda chave fusível e chave fusível religadora deverá ser conectado à rede distribuição por meio do conjunto Grampo de Rede Viva (GLV), composto pelo grampo de rede viva, estribo e conector indicado. A chave fusível ou fusível Religadora deve ser instalada em estrutura de ancoragem, com poste de altura mínima de 11 metros e resistência nominal mínima de 300 daN. A ligação da chave-fusível à rede deverá ser feita com cabo de alumínio protegido adequado, exceto na empresa ESE, onde a ligação da chave-fusível à rede deverá ser feita com cabo de cobre adequado, com isolamento para 1KV.

2.9.1.8. Chave Faca Unipolar

A chave faca deve ser instalada em estrutura de ancoragem, com poste de altura mínima de 11 metros e resistência nominal mínima de 300 daN. Deverá ser instalada com a abertura da lâmina para o lado da carga, que ficará desenergizada quando a chave faca estiver aberta. A ligação à rede primária deverá ser feita com o mesmo cabo da rede, dispensando o GLV. Quando da não possibilidade, a ligação da rede de distribuição será feita com cabo coberto ou protegido, adequado a tensão nominal da rede, através de conector terminal para chave faca.

2.9.1.9. Condutores

São utilizados condutores de alumínio nus com alma de aço, tipo CAA, nas bitolas: 34 mm² (2 AWG), 54 mm² (1/0 AWG), 107 mm² (4/0 AWG), 170 mm² (336,4 MCM).

Em locais com dificuldades ou impossibilidades de instalação de estais (lavoura tratorável, impedimento físico, haras, presença de árvores de madeira de lei, etc.), onde a rede irá utilizar condutores nas bitolas 4/0 AWG ou 336,4 MCM o responsável pelo projeto deverá consultar a concessionária.

Vãos contínuos sucessivos devem ser encabeçados em estruturas de ancoragem a cada 1.500 metros no máximo, para circuitos monofásicos e trifásicos com condutores CAA 2 AWG, a cada 1.200 metros para os circuitos

trifásicos de condutores CAA 1/0 AWG, a cada 800 metros para os circuitos trifásicos de condutores 4/0 AWG e a cada 500 metros para circuitos de condutores 336,4 MCM. O número de estais será conforme apresentado nos gráficos de utilização de estruturas ou ábacos, constantes na norma Critérios Básicos para Elaboração de Projetos de Redes de Distribuição Aéreas Rurais – NDU 007.

O condutor neutro, quando houver, deverá ficar no mínimo a 1,45 metros de distância dos condutores fase, para todos os vãos acima de 300 metros, exceto nas estruturas tipo TE.

Para o cálculo das tabelas de trações e tabelas de flechas dos condutores, apresentadas nesta Norma, adotaram-se os seguintes critérios:

- Tração máxima admissível igual a 40% da tração de ruptura do condutor, correspondente à temperatura de 15°C com 100 km/h (pressão de vento 47,10 daN/m²).

- Tração de maior duração igual a 20% da tração de ruptura do condutor para a temperatura de 20°C sem vento.

As tabelas de trações e tabelas de flechas para montagem foram calculadas a partir do módulo de elasticidade inicial do condutor.

A tração de montagem e flechas dos condutores foi calculada para vãos ancorados.

Para vãos contínuos, as trações de montagem e flechas devem ser obtidas a partir das mesmas tabelas, considerando-se o vão regulador calculado a partir da seguinte fórmula mostrada na Figura 13:

$$V_r = \sqrt{\frac{V_1^3 + V_2^3 + \dots + V_N^3}{V_1 + V_2 + \dots + V_N}}$$

Figura 13 – Cálculo das Trações de Montagem

Onde:

V_r = Vão regulador

V_1 a V_N = Vãos entre os vãos ancorados

2.9.1.10. Aterramento

Na área de concessão da Energisa serão utilizados hastes de terra de aço cobreado de 2400mm x 16mm com cabo de aço cobreado de 3 x 9 AWG.

A distância entre as hastes deve ser de 3000mm e a distância entre a haste e o poste deve ser de 1000mm.

A distância entre a haste e o poste deve ser de 1.000 mm. Depois de cravada, a distância entre o topo da haste e a superfície do solo deve ser de no mínimo 500 mm; do ponto de conexão à superfície do solo a distância deve ser de no mínimo 600 mm.

Recomenda-se abrir uma valeta com 600 mm de profundidade para passagem do cabo do aterramento. Recomenda-se também, que nos pontos de instalação das hastes, que os buracos tenham 600 mm diâmetro por 600 mm de profundidade para permitir a inserção da haste de aterramento.

É obrigatória a cobertura total dos conectores por massa de calafetar.

O cabo do aterramento deve ser contínuo da conexão com o neutro e/ou equipamento até o terminal conectado a haste.

2.9.1.11. Postes e Contra Poste

Os postes e contra postes a serem utilizados deverão ser Concreto Duplo T (DT), de altura de 10 a 13 metros.

Eventualmente, poderão ser empregados postes de maior altura de modo a atender uma das seguintes condições:

- Travessias sobre rodovias, ferrovias e hidrovias;
- Quando o perfil do terreno exigir poste mais elevado e, economicamente for mais vantajoso que intercalar outra estrutura.

Postes de 1.000 e 1.500 daN devem ser evitados. Quando os esforços superarem 600 daN pode ser utilizado estai de âncora lateral ou longitudinal. Considerar até 1.200 daN para um estai de âncora.

O poste duplo T deve ser instalado com o lado de menor resistência (parte cavada) voltado para a direção da rede, quando não houver ângulo de deflexão. Quando houver ângulo de deflexão menor que 60 graus, o poste deve ser instalado com o lado de maior resistência voltado para a direção da bissetriz do ângulo formado pelos condutores. Para ângulos entre 60 e 90 graus o poste

duplo T deve ficar com o lado de maior resistência voltado para o sentido do maior vão (maior esforço).

Nas estruturas de fim de rede, sem estais longitudinais, o poste duplo “T” (DT) deverá ser instalado com o lado de maior resistência do poste voltado para a direção da rede.

3. DESENVOLVIMENTO

Primeiramente foram feitos levantamentos sobre a distância das obras de extensão de rede de distribuição rural, e também o levantamento de custo junto à concessionária de energia elétrica local. À posterior, foi feito o levantamento de custos e geração de energia de sistemas solares fotovoltaicos isolados da rede. Com os dados obtidos, foi feito a regressão linear do custo da rede, e orçamentos de sistemas solar fotovoltaicos. A seguir são apresentados os resultados.

3.1 - Resultados Obtidos

Os resultados obtidos conforme descrito na metodologia serão apresentados neste capítulo.

Na Figura 14 é apresentada a reta de regressão linear para as obras executadas no estado do Tocantins pelo programa PLPT nos anos de 2014 a 2016 de tensão de 7,9 kV.

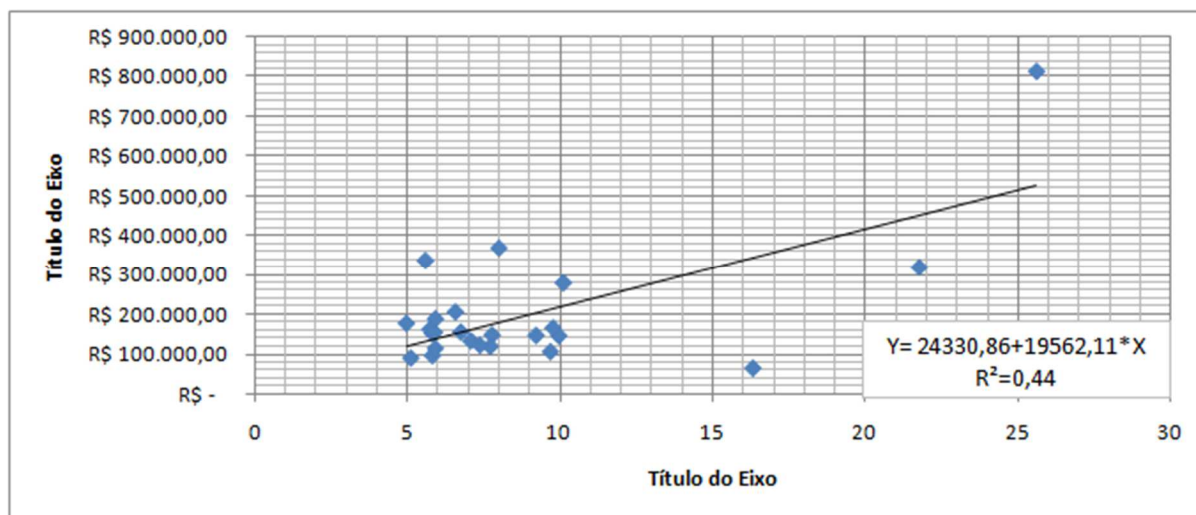


Figura 14 - Regressão das Obras do PLPT de 2014 a 2016 e 7,9 kV

Conforme visto na figura 14, é possível observar que as obras a partir de 5 km tem uma função de regressão. Por exemplo se uma obra tiver 13 km de extensão de rede, o custo previsto dessa obra será de R\$ 278.637,49. Tendo em vista que o custo médio da rede por Km é de R\$ 21.433,65.

Já na Figura 15 é apresentado a reta de regressão linear para as obras executadas no estado do Tocantins pelo programa PLPT nos anos de 2014 a 2016 de tensão de 19,9 kV.

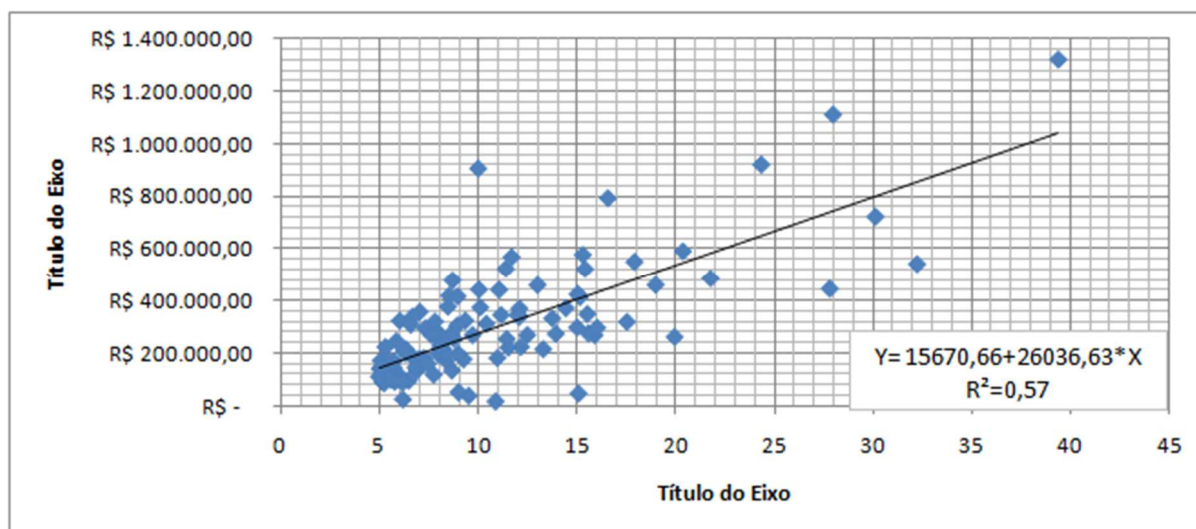


Figura 15 - Regressão das Obras do PLPT de 2014 a 2016 e 19,9 kV

Conforme visto na figura 15, é possível observar que as obras a partir de 5 km tem uma função de regressão, apresentado na figura. Por exemplo se uma obra tiver 15 km de extensão de rede, o custo previsto dessa obra será de R\$ 354.146,85, visto que o valor do Km de rede para este caso é R\$ 23.609,79

Observando as curvas de regressão das figuras 14 e 15, é possível verificar que o custo da rede de 19,9 kV é mais alto que a rede de 7,9 kV, isso se deve ao fato da tensão ser maior e consequentemente a necessidade de mais equipamentos e mão de obra para a execução da mesma.

3.1.1. Orçamento para Sistemas Isolados:

Para comparação com a extensão de rede, foi feito pesquisa e dimensionamento de sistemas isolados com energia solar para atendimento mensal de 80, 120, 160 e 200 kWh. Serão apresentadas a seguir as tabelas com os respectivos orçamentos.

Nas tabelas a seguir, são observados os orçamentos para sistema isolado para diferentes kWh.

Orçamento 80 kWh							
Item	Valor Dimensionado	Valor disponível no mercado	u	Qtd.	Qtd. Real	Preço Un.	Preço Total
Painel Solar	R\$ 1.066,67	R\$ 270,00	Wp	3,95	4	R\$ 599,00	R\$ 2.396,00
Bateria	R\$ 1.111,11	R\$ 240,00	Ah	4,63	5	R\$ 1.389,00	R\$ 6.945,00
Inversor	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00	W	1	1	R\$ 2.099,00	R\$ 2.099,00
Controlador de Carga	R\$ 44,44	R\$ 60,00	A	0,74	1	R\$ 599,00	R\$ 599,00
Total (Sem M.O. e mat. Pequenos)							R\$ 12.039,00
Total Considerando 40% de M.O. e outros							R\$ 16.854,60

Tabela 3 – Orçamento para Sistema Isolado 80 kWh

Conforme visto na Tabela 3, é possível observar que para obras com orçamento de 80 kWh o custo previsto para atendimento e conclusão desta obra será de R\$ 16.854,60.

Orçamento 120 kWh							
Item	Valor Dimensionado	Valor disponível no mercado	u	Qtd.	Qtd. Real	Preço Un.	Preço Total
Painel Solar	R\$ 1.600,00	R\$ 270,00	Wp	5,93	6	R\$ 599,00	R\$ 3.594,00
Bateria	R\$ 1.666,67	R\$ 240,00	Ah	6,94	7	R\$ 1.389,00	R\$ 9.723,00
Inversor	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00	W	1	1	R\$ 2.099,00	R\$ 2.099,00
Controlador de Carga	R\$ 66,67	R\$ 60,00	A	1,11	1	R\$ 599,00	R\$ 599,00
Total (Sem M.O. e mat. Pequenos)							R\$ 16.015,00
Total Considerando 40% de M.O. e outros							R\$ 22.421,00

Tabela 4 – Orçamento para Sistema Isolado 120 kWh

Conforme visto na Tabela 4, é possível observar que para obras com orçamento de 120 kWh o custo previsto para atendimento e conclusão desta obra será de R\$ 22.421,00.

Orçamento 160 kWh							
Item	Valor Dimensionado	Valor disponível no mercado	u	Qtd.	Qtd. Real	Preço Un.	Preço Total
Painel Solar	R\$ 2.133,33	R\$ 270,00	Wp	7,901	8	R\$ 599,00	R\$ 4.792,00
Bateria	R\$ 2.222,22	R\$ 240,00	Ah	9,259	10	R\$ 1.389,00	R\$ 13.890,00
Inversor	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00	W	1	1	R\$ 2.099,00	R\$ 2.099,00
Controlador de Carga	R\$ 88,89	R\$ 60,00	A	1,481	1	R\$ 599,00	R\$ 599,00
Total (Sem M.O. e mat. Pequenos)							R\$ 21.380,00
Total Considerando 40% de M.O. e outros							R\$ 29.932,00

Tabela 5 – Orçamento para Sistema Isolado 160 kWh

Conforme visto na Tabela 5, é possível observar que para obras com orçamento de 160 KWh o custo previsto para atendimento e conclusão desta obra será de R\$ 29.932,00.

Orçamento de 200 kWh							
Item	Valor Dimensionado	Valor disponível no mercado	u	Qtd.	Qtd. Real	Preço Un.	Preço Total
Painel Solar	R\$ 2.666,67	R\$ 270,00	Wp	9,88	10	R\$ 599,00	R\$ 5.990,00
Bateria	R\$ 2.777,78	R\$ 240,00	Ah	11,6	12	R\$ 1.389,00	R\$ 16.668,00
Inversor	R\$ 1.000,00	R\$ 1.000,00	W	1	1	R\$ 2.099,00	R\$ 2.099,00
Controlador de Carga	R\$ 111,11	R\$ 60,00	A	1,85	1	R\$ 599,00	R\$ 599,00
Total (Sem M.O. e mat. Pequenos)							R\$ 25.356,00
Total Considerando 40% de M.O. e outros							R\$ 35.498,40

Tabela 6 – Orçamento para Sistema Isolado 200 kWh

Conforme visto na Tabela 6, é possível observar que para obras com orçamento de 200 KWh o custo previsto para atendimento e conclusão dessa obra será de R\$ 35.498,40.

4. CONCLUSÃO

Os combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás, constituem fontes de energia que em breve se esgotarão e que são demasiado caras para serem desperdiçadas pelas centrais elétricas na produção de eletricidade. Além disso, estas formas tradicionais de produção de energia prejudicam o meio ambiente e o clima.

Já a Energia solar, além de infinita, tem várias vantagens, em relação às citadas acima. Uma delas, é que a energia solar não polui durante seu uso. A poluição decorrente da fabricação dos equipamentos necessários para a construção dos painéis solares é totalmente controlável utilizando as formas de controle existentes atualmente, as centrais necessitam de manutenção mínima e os painéis solares são a cada dia mais potentes, e com isso o seu custo vem decaindo, o que a torna cada vez mais uma solução economicamente viável. Também é excelente em lugares remotos ou de difícil acesso, pois sua instalação em pequena escala não obriga grandes investimentos em linhas de transmissão.

Conforme as análises feitas, cálculos e estudos, podemos concluir com os resultados obtidos, que existe uma grande diferença de valores, da RDR, em relação à Microgeração Distribuída Solar Fotovoltaica, tendo em vista que o presente trabalho trata de distâncias a partir de 5km de rede, porém, constatou-se que, mesmo para distâncias menores, ainda sim, seria a melhor alternativa, em questão de materiais, de mão de obra, e valores finais, visto que as diferenças de valores são significativas.

A partir dos resultados obtidos, pode-se avaliar que a Microgeração Distribuída Solar Fotovoltaica, é sim, a melhor alternativa em relação à custos e a atendimento de clientes isolados a partir de 5km, conforme descrito na resolução Normativa 488/2012 da ANEEL.

O presente trabalho se encerra alertando para a necessidade de avaliação de alternativas de eletrificação rural, considerando o lado da demanda. O trabalho desenvolvido aborda um destes tipos de energia alternativa – a energia solar fotovoltaica, focando o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos em relação a rede de distribuição rural.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, Carlos Alberto. Energia Solar - Lavras: UFLA/FAEPE, 2006.
- Cursos de Pós Graduação: "Lato Sensu" (Especialização) a Distância – Formas Alternativas de Energia.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica a ANEEL.
Resolução nº 223 de 2003 e 488 de 2012 da ANEEL;

BRASIL. Ministério do Planejamento (PAC, 2012).

Luz para Todos ultrapassou meta e já atendeu 2,9 milhões de famílias.

Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/noticia/612f9f43>>. Acesso em setembro de 2017.

Elétrica - Elektro - Eletricidade e Serviços S.A;

ELETROBRÁS Planejamento de Sistemas de Distribuição.
CODI – Comitê de Distribuição. Vol 1. Editora Campus, 1982.

ENERGISA TOCANTINS, Distribuidora de Energia S.A;

GUSMÃO, Marcos Vinícius. *et al.* O programa de eletrificação rural Luz no Campo: resultados iniciais.

In: 4th Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA, 2015). World Energy Outlook 2015 – Executive Summary. Disponível em:

http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEB_WorldEnergyOutlook2015/ExecutiveSummaryEnglishFinal.pdf Acesso em agosto de 2017.

MANUAL DE OPERACIONALIZAÇÃO - Programa "LUZ PARA TODOS" - Período 2015/2018;

Ministério de Minas e Energia. Disponível em http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/luz-para-todos-completa-12-anos-com-15-6-milhoes-de-brasileiros-beneficiados, acesso em agosto de 2017.

NORMA ND.21 _Projetos de Redes Aéreas Rurais de Distribuição de Energia

Painéis e Células Fotovoltaicas - Disponível em <http://www.archiproducts.com> - Acessado dia 05.03.2017

Painéis Fotovoltaicos - Disponível em <http://www.paineisfotovoltaicos.com> - Acessado dia 05.03.2017

PEREIRA, L. Eletrificação Rural com Sistemas Fotovoltaicos: Estudo de Caso Utilizando o Programa VIPOR. Monografia do Departamento de Engenharia Elétrica UFRJ. Rio de Janeiro, fevereiro, 2000.

PEREIRA, O. L. S. Rural Electrification and Multiple Criteria Analysis: a Case Study of State of Bahia, Brazil. Imperial Collage, 1992.

Portal Planalto com informações do Ministério de Minas e Energia. Disponível em <http://www2.planalto.gov.br/noticias/2015/05/prorrogado-ate-2018-luz-para-todos-deve-beneficiar-mais-um-milhao-de-brasileiros>, acesso em março de 2017.

RIBEIRO, C. M. Eletrificação Rural com Sistemas Fotovoltaicos Distribuídos no Contexto da Universalização do Serviço de Energia Elétrica no Brasil. Tese de Mestrado do Programa de Planejamento Energético PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, abril, 2002.

[Sistema off-grid de Energia Solar - Disponível em http://www.ecycle.com.br - Acessado dia 05.03.2017.](http://www.ecycle.com.br)