

## ESTUDO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM REDE RURAL MONOFILAR DE RETORNO POR TERRA (MRT) E OS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS AMBIENTAL

Eduardo Teixeira da Silva<sup>169</sup>

Carlos. Reisser Júnior<sup>170</sup>

Rodrigo M. Azevedo<sup>171</sup>

### RESUMO

Atualmente a preservação da natureza, o desenvolvimento sustentável a busca por geração de energia limpa e renovável estão em evidência pelos governos, entidades civis organizadas e população em geral. Conforme determinação da resolução normativa 482 da ANEEL, no Brasil o consumidor pode ser autoprodutor de energia e ter a possibilidade de utilizar a rede de distribuição de energia como forma de armazenamento da mesma, por meio do programa de net metering. O presente trabalho tem como objetivo avaliar os impactos sociais, ambientais, econômicos gerados em uma comunidade quilombola de agricultura familiar, pela instalação de um sistema de micro geração de energia por meio de fontes solar-fotovoltaica e eólica na geração distribuída conectado a rede rural, bem como o comportamento do mesmo. Para tanto, foi monitorado o sistema e acompanhado a influência desse no cotidiano da comunidade, constatado maior conscientização dos moradores com o meio ambiente, ampliando o consumo sustentável, gerando renda para os mesmos através da redução do valor na conta de energia.

**PALAVRA-CHAVE:** Energias renováveis; geração distribuída; energia fotovoltaica; energia eólica.

### 1 INTRODUÇÃO

<sup>169</sup> E-mail: edudjey@gmail.com

<sup>170</sup> Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil (carlos.reisser@embrapa.br)

<sup>171</sup> Instituto Federal de Educação do Rio-Grande do Sul (IFSul), Pelotas, Brasil (rodrigo\_motta@pelotas.ifsul.edu.br)



O trabalho foi desenvolvido com recurso do Ministério de Desenvolvimento Agrário dirigido pela Embrapa em parceria com duas universidades, utilizando como estudo de caso uma comunidade Quilombola. Localizada no estado do Rio Grande do Sul, sendo o primeiro quilombo no Brasil a fazer parte do programa net metering e o primeiro sistema da concessionária local conectado a rede rural com retorno por terra. O trabalho foi realizado com visitas a comunidade, monitoramento do sistema, levantamento de dados, troca de experiência com os moradores e observação do cotidiano dos mesmos. A seguir uma descrição dos conceitos fundamentais das fontes utilizadas.

## **2 RADIAÇÃO SOLAR**

A radiação solar é a forma de transferência de energia solar por meio da propagação de ondas eletromagnéticas. Ao ser emitida pelo sol, a energia atinge a camada externa da atmosfera com intensidade média de  $1.366 \text{ W/m}^2$ , valor conhecido como constante solar ( $G_0$ ). Devido a diversos fatores, ao atravessar a atmosfera chega à superfície terrestre com cerca de  $1000 \text{ W/m}^2$  (CRESESSEB, 2015).

A radiação solar apresenta três componentes, sendo eles a radiação direta, caracterizada como a radiação incidente sem nenhuma interferência do meio, radiação indireta, quando há alguma interferência do meio como nuvens, e radiação refletida, também conhecida como albedo, esta tem dependência direta do índice de reflexão do meio.

## **3 CÉLULAS FOTOVOLTAICAS**

As células são compostas por materiais semicondutores que formam uma junção P-N. A radiação solar ao incidir na célula faz surgir uma tensão elétrica entre os terminais da mesma, gerando uma diferença de potencial (DDP). Um dispositivo ligado nos terminais da célula passa a ter corrente elétrica percorrendo-o.

A função da célula é converter a energia solar em energia elétrica, sendo a energia elétrica convertida com tensão e corrente contínua ( $V_{cc}$  e  $I_{cc}$ ).

## **4 ENERGIA DO VENTO**

A humanidade utiliza a energia oriunda do vento desde a antiguidade em moinhos para moer os cereais e para bombear água. Com o surgimento da eletricidade no final do século XIX, os primeiros protótipos de turbinas eólicas modernas foram produzidos, utilizando tecnologia baseada no tradicional moinho de vento. Desde então, decorreu um processo lento até que a energia eólica fosse aceita como um método de produção de energia economicamente viável (SHEPHERD, 1994).

A crise do petróleo nos anos 1970 e o movimento contra a energia nuclear nos anos 1980 aumentaram o interesse pelas energias alternativas e intensificaram a investigação no sentido de encontrar novas formas ecológica e economicamente viáveis de produção de energia.

## **5 O VENTO**

Todos os planetas do sistema solar envoltos por gases possuem ventos em suas superfícies. Em especial, a Terra, em torno de 2% da energia absorvida do sol e convertida em energia cinética dos ventos. Embora este percentual pareça pequeno, ele representa mais de cem vezes a potência de geração de energia anual instalada nas diversas centrais geradores de energia elétrica em todo mundo (CRESESB, 2015).

Os ventos têm origem na linha do equador, onde a latitude é zero grau, e acontece um maior aquecimento nas massas de ar, que são então dissipadas para as regiões norte e sul do planeta.

## **6 VELOCIDADE DO VENTO**

Dois fatores que influenciam a velocidade do vento são a localização geográfica e a altitude. Essas variações são perceptíveis em intervalos de tempo diário, sazonal ou anual.

Quanto maior o número de dados coletados anualmente sobre as variações, melhor é o conhecimento do regime dos ventos da região estudada. Atualmente o documento de maior utilização para obtenção da velocidade dos ventos no Brasil é o Atlas do potencial eólico brasileiro.

A velocidade  $V$  do vento em uma altura  $h$  qualquer (equação 1) pode ser estimada através de diversas relações, uma delas, conhecida como lei logarítmica, descreve o perfil da velocidade através da equação (CARVALHO, 2003).

$$V(h) = V_{ref} \times \frac{\ln \frac{h}{Z_0}}{\ln \frac{h_{ref}}{Z_0}} \quad 1$$

Onde:  $V$  é a velocidade do vento calculada na altura  $h$ ;

$H$  é a altura na qual se deseja saber a velocidade do vento;

$H_{ref}$  é a altura de referência de medição da velocidade do vento;

$V_{ref}$  é a velocidade do vento medida nesta altura de referência;

$Z_0$  é a rugosidade (pequenas saliências e reentrâncias que caracterizam uma superfície).

## 7 SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA

É composto por um gerador eólico e solar-fotovoltaico, também conhecido como sistema híbrido conforme figura 1. Os principais componentes estão descritos a seguir.

### 7.1 Solar-fotovoltaico

**GERADOR SOLAR:** Composto por 5 placas fotovoltaicas conectadas em série, marca Yingli Solar, modelo YL245P-29b cada qual contendo uma tensão nominal de 30,2V, uma corrente nominal de 8,11A e corrente de curto circuito de 8,83A. Tendo capacidade de 245 W, tensão de pico de 148V, corrente de pico de 8,28 A, tensão de circuito aberto de 187,5V, totalizando um potencial nominal de geração de 1,225 kW.

**INVERSOR DE FREQUENCIA FOTOVOLTAICO:** Inversor Solar marca Growatt modelo 1500, ver figura 2. Tendo na sua entrada capacidade de tensão CC de 450V, uma corrente CC máxima de 10A. Quando na sua saída a tensão nominal CA será de 220 à 240V e sua corrente de 8A. Totalizando em seu potencial de geração 1,6 kW, especificações conforme tabela 1 e 2.

Tabela 1: Dados técnicos de entrada do inversor SFVCR

Entrada (Corrente Contínua)	
Potência máxima	1800 W
Tensão máxima	450 V
Tensão de funcionamento	100 V – 450 V
Faixa de tensão mppt	175 V – 450 V
Número de seguidores mpp	1
Corrente máxima	10 A

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Tabela 2: Dados técnicos de saída do inversor SFVC

Saída (Corrente Alternada)	
Potência nominal	1600 W
Potência máxima	1650 W
Corrente máxima	8 A
Faixa de tensão	180 – 280 V
Frequência	60 Hz
Fator de potência	1
Taxa de distorção harmônica total	< 3%
Tipo de conexão	Monofásico

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Figura 1: Aerogerador e Painel fotovoltaico - sistema híbrido



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

## 7.2 Sistema eólico

**GERADOR EÓLICO:** Composto por um motor CA síncrono trifásico, da marca GERAR, modelo 246 com potência nominal de 1,0 kW. Acoplado ao seu eixo de rotação 3 pás metálicas torcidas de 2,46m de diâmetro. Ainda assim, pratica uma rotação de 740rpm, com uma velocidade de partida de 2,0m/s com capacidade de fornecer tensões que vão de 24 à 400V.

**INVERSOR DE FREQUÊNCIA EÓLICO:** Inversor Eólico marca Aurora, modelo UNO-2.5-I-OUTD-W / UNO-I-OUTD-US-W, ver figura 2. Tendo na sua entrada capacidade de tensão CC de 500V, uma corrente CC máxima de 12,5A e uma corrente de curto circuito de 15A. Quando na sua saída a tensão nominal CA passa a ser de 230V, a corrente CA máxima será 12,0A. Totalizando um potencial de fornecimento de 2,5 kW.

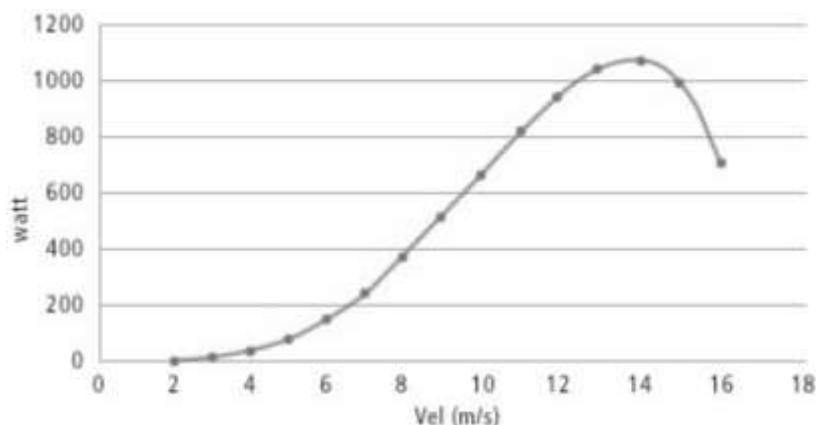
Figura 2: Quadro geral dos equipamentos e sistemas de proteção



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

As informações pertinentes as características técnicas do aerogerador Gerar 246, estão apresentadas na tabela 3, a curva de potência e a produção de energia figura 3.

Figura 3: Curva de potência do aerogerador



Fonte: Enersud, 2014.

Tabela 3: Características do aerogerador

Diâmetro da hélice	2,46 m
Potência a 12,5 m/s	1000 Watt
Rotação a 12,5 m/s	740 rpm
Número de pás	3
Tipo de pás	Torcida (5 aerofólios)
Velocidade de partida	2,0 m/s
Torque de partida	0,3 Nm
Controle de velocidade	Stall
Proteção contra altas velocidades	Active Stall (Controle de Passos)
Sistema magnético	Neodímio(imã permanente)
Sistema elétrico	Trifásico
Tensão de saída	24 / 48 / 220 / 400 volts
Topologia	Fluxo Axial (com estator encapsulado em resina epóxi)
Peso total (alternador+pás+ cab.Rot.)	35 Kg
Material Anti Corrosão	Alumínio / Inox / Mat.Galvanizado
Balanceamento	Estático (confirmação após pintura)

Fonte: Enersud, 2014.

Tabela 4: Capacidade de geração de energia mensal do aerogerador

Altura / Velocidade	5 m/s	5,5 m/s	6 m/s	6,5 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s
Incidência direta	103	130	158	183	206	240	258	264	264	264
25 m	78	101	127	152	175	216	243	259	264	264
18 m	67	89	113	137	160	202	233	253	263	264
15 m	62	83	105	129	152	194	227	249	261	264
12 m	56	75	97	119	142	185	219	243	258	264
09 m	49	67	86	107	129	171	208	235	252	262

Fonte: Enersud, 2014.

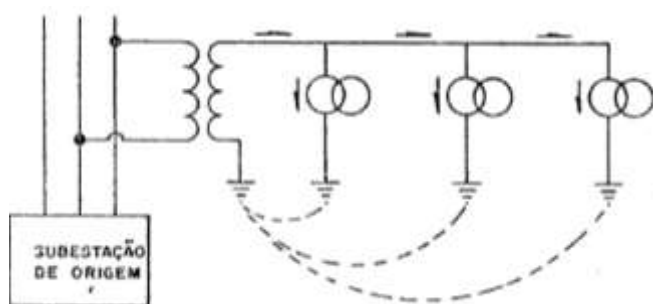
Acima estão descritas as principais informações acerca do aerogerador selecionado. Na tabela 4, a altura de 12m foi marcada, pois a torre onde o aerogerador está acoplado tem 12 m de altura. Além disso, esta altura a velocidade mínima do

vento para que o aerogerador produza a mesma energia que os módulos fotovoltaicos é de 7 m/s.

## 8 SISTEMA MONOFILAR COM RETORNO POR TERRA

A rede MRT também é conhecida como rede monobucha ver figura 5, nome herdado do transformador utilizado para rebaixar a tensão que possui apenas uma bucha, (Camargo, 2010). Constitui-se de um único condutor metálico ligado diretamente a uma das fases de uma linha trifásica, tendo o solo como caminho de retorno da corrente, figura 4. Os transformadores de distribuição por ele alimentados têm seus enrolamentos primários ligados entre o condutor e o solo.

Figura 4: Sistema monofilar com transformador de isolamento



Fonte: Cepel, 2015.

No Brasil é amplamente utilizada no meio rural por apresentar algumas vantagens como baixo custo de construção e manutenção, rapidez na execução da obra, possibilidade de utilizar vãos maiores entre estruturas já que as flechas do condutor fase serão maiores que os padrões dos sistemas convencionais e menor necessidade de equilíbrio entre fases (CEPEL, 2015).

Além do Brasil, ela é utilizada em outros países, como Austrália, Nova Zelândia, Canadá, Estados Unidos, Alemanha, África do Sul, Índia, entre outros. Na maior parte de suas aplicações a nível mundial ela apresenta mais fatores positivos que negativos.

As tensões da rede onde está conectado ao sistema ver figura 5, nas medições realizadas oscilam na faixa de 220V a 253V, sendo as variações de tensões uma das características destes sistemas por serem linhas muito longas, estando muitas vezes condicionado a ajuste da tensão conforme o período de maior ou menor consumo de



energia na linha, ficando neste caso numa faixa de tensão acima do Prodist que é definida com limites de 201V a 231V, (PRODIST, 2015).

Figura 5: Rede MRT, transformador monofásico.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

## 9 COMUNIDADE QUILOMBOLA

O quilombo Monjolo é o primeiro no país a ser conectado a rede com geração distribuída utilizando essas fontes de energia. Está localizado no distrito de Faxinal, interior de São Lourenço do Sul, estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Possui oficialmente 25 famílias, distribuídas em uma área de 30 hectares (INCRA, 2013). Das 25 famílias, 17 participam ativamente nas ações comunitárias, nos mutirões e nos grupos de trabalho quando há excedentes na produção ou algum vizinho precisa de auxílio. Conscientes da sua descendência de escravos fugidos, os moradores também decidiram coletivamente adotar o nome atual do quilombo – ao invés do antigo, Serrinha. De acordo com os moradores do local, o nome Monjolo foi escolhido por se identificar com a cultura africana, e é fruto de um moinho que havia próximo ao quilombo, e que era construído com “mão de pilão para socar canjica”.

## 10 PROJETO E COMPOSIÇÃO DO SISTEMA ESTUDADO

É um projeto piloto, financiado pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário (MDA), desenvolvido pela Embrapa em parceria com duas universidades. O sistema está instalado em uma residência de um dos moradores que foi escolhido por consenso pela comunidade figura 6. Atende uma das famílias que é composta por três pessoas, um casal e sua filha, possuem uma demanda de energia de 15,7 kW. O sistema está conectado a uma rede monofásica de 220V com retorno por terra (MRT) da concessionária de energia elétrica CEEE-D.

Figura 6: Residência atendida pelo sistema.



Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

## 11 COMPENSAÇÃO DE ENERGIA

Contudo o sistema vem apresentando um bom desempenho, gerando em média 117 kWh com consumo ativo médio de 88 kWh conforme demonstrado na tabela 5.

Tabela 5: Geração e fatura do sistema ano 2015

Mês	Geração	Consumo ativo	Valor da fatura	Fatura a pagar
Fevereiro	117	231	68,00	33,54
Março	104	101	44,75	2,11
Abril	107	134	57,33	13,08
Maió	99	99	44,25	6,20
Junho	161	78	34,5	5,04

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.588-600, dez. 2015.

Total	588	443	248,83	61,97
-------	-----	-----	--------	-------

Fonte: Elaborada pelos autores, 2015.

Conforme verificado na tabela 5 o sistema está gerando mais do que o consumo, e de acordo com as faturas demonstradas houve geração de renda indireta, pois teve uma redução de aproximadamente 75% na conta de energia elétrica, recurso este que a comunidade pode usar para outras despesas.

## **12 COTIDIANO DA COMUNIDADE**

O sistema foi conectado à rede em Outubro de 2014, após a instalação é notório as mudanças de hábitos no quilombo, segundo Silva et al, 2012, energização com fontes renováveis ajuda a ampliar o grau de consciência ambiental das comunidades. Nesse caso aumentou o cuidado com o meio ambiente, a reflexão sobre o melhor aproveitamento de fontes naturais, como captação de água da chuva através de cisternas, estufas para secagem de grãos, etc., principalmente uma maior consciência ambiental com atenção a separação do lixo seco, redução do consumo de água e de energia elétrica. Destaque para as crianças que estão vivenciando um modo de vida sustentável e com geração de parte da energia elétrica que consomem.

Segundo relato de um dos moradores e membro da associação comunitária Sr. JR, todos estão se adaptando e buscando um conhecimento básico do funcionamento do sistema para poderem atender a demanda crescente de visitantes que desejam conhecer e confirmar a possibilidade de gerar energia localmente, visita de alunos universitários e reunião com membros da comunidade. A comunidade vem recebendo visitas de alunos de escolas locais, universidades e outros interessados em conhecer o sistema, com esses expõem seus produtos e os comercializa.

## **13 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com os dados coletados até o momento o sistema atende o propósito definido pelo Ministério de Desenvolvimento Agrário, pois o mesmo gera renda para agricultura familiar, de forma indireta quando deixam de pagar a concessionária o total do consumo ativo. Traz maior autonomia energética e consumo consciente da mesma. Outra forma de geração de renda se dá pelas visitas recebidas com vendas de R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.588-600, dez. 2015.

produtos produzidos pela comunidade. Possibilita a multiplicação do conhecimento e divulgando da viabilidade da geração distribuída.

Referente ao impacto social ambiental constata-se pelo contato e relatos de membros da comunidade, o despertar da consciência ambiental dos moradores, pois estão visíveis iniciativas de maior cuidado com o meio ambiente e com os recursos naturais. As relações sociais se fortalecem nas reuniões da comunidade em discussões de estratégias, para qualificar o atendimento aos visitantes pela apropriação do conhecimento de funcionamento do sistema.

O sistema de retorno por terra (MRT) necessita de mais estudos, pois, até o momento pelos equipamentos utilizados não é possível afirmar que possa ter havido impacto negativo no sistema, apesar da tensão oscilar em uma faixa acima dos limites estabelecidos pelo Prodist.

## **STUDY OF DISTRIBUTED GENERATION IN RURAL NETWORK SINGLE WIRE EARTH RETURN (SWER) AND ENVIRONMENTAL SOCIO-ECONOMIC IMPACTS**

### **ABSTRACT**

Currently the preservation of nature, sustainable development, the search for clean, renewable power generation are in the spotlight by governments, organized civil society groups and the general population. As established by rules of ANEEL Resolution 482, in Brazil the consumer can be self-producer of energy and to be able to use the power distribution network as storage form of it through the net metering program. This study aims to evaluate the social, environmental and economic impacts on a quilombola community of family farming by installing a micro power generation through solar-photovoltaic and wind power system in connected to the rural network distributed generation as well the its behavior. For this, the system was monitored and following the influence of the community daily life, having been provided greater awareness of residents about the environment expanding sustainable consumption, generating income for the same by reducing the value in the energy bill.

**KEYWORDS:** Renewable energy; distributed generation; photovoltaics; wind energy.

### **REFERÊNCIAS**

R. gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.588-600, dez. 2015.

CAMARGO, E.J.S. Programa Luz para Todos - Da eletrificação rural à universalização do acesso a energia elétrica – Da necessidade de uma política de estado. **Dissertação de mestrado**, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, 2010.

CARVALHO, P. Geração eólica; **Imprensa Universitária**. Universidade Federal do Pernambuco, Fortaleza, Brasil, 2003.

CEPEL. **Centro de Pesquisas de Energia Elétrica**. Disponível em: < <http://www.cepel.br>>. Acesso em: 12 Mar. 2015.

CRESESB. **Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sérgio De Salvo Brito**. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: 2 Mai. 2015.

ENERSUD. **Enersud indústria e comércio de aerogeradores**. Disponível em: < <http://enersud.com.br/>>. Acesso em: 07 Mai. 2015.

SILVA, E. Teixeira; TORRES, Ednildo Andrade; COSTA, Caiuby Alves. **Estudo de viabilidade para energização com sistema híbrido eólico e solar-fotovoltaico em uma comunidade isolada**. IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. São Luiz do Maranhão, 2012.

SHEPHERD, D.G., “**Historical Development of the Windmill**”. In Wind Turbine Technology – Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering, 1994.

PRODIST. Módulo 3, seção 3.7. **Procedimentos de distribuição de energia elétrica no sistema elétrico nacional**. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/>>. Acesso em: 15 Mar. 2015.