

**MELHORIA DA QUALIDADE DE VIDA EM REGIÕES RURAIS SEM ACESSO À ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA**Lucas de Arruda Viana¹, Laércio Zambolim², Tiago Vieira Sousa³ & Deborah Campos Tomaz⁴

1 - Engenheiro agrícola e ambiental, doutorando em Engenharia Agrícola, DEA/UFV, Viçosa-MG, lucas.ar.viana@gmail.com

2 - Engenheiro agrônomo, professor da UFV, Viçosa-MG, laerciozambolim@gmail.com

3 - Engenheiro agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento Vegetal, UFV, Viçosa-MG, tiagronomia@yahoo.com.br

4 - Química, doutoranda em Agroquímica, DEQ/UFV, Viçosa-MG, binhatomaz@hotmail.com

Palavras-chave:

Eletrificação rural

Energia solar

Meio rural

Armazenamento em baterias

RESUMO

No Brasil, muitas famílias no meio rural não têm acesso à energia elétrica, o que dificulta terem melhor qualidade de vida e desenvolvimento na propriedade rural. O sistema fotovoltaico pode ser uma alternativa de conduzir energia a regiões rurais às quais a rede convencional, geralmente, não possui acesso. O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de sistemas fotovoltaico em regiões rurais como proposta para o desenvolvimento agropecuário e aumento da qualidade de vida. O trabalho simulou a implantação de um sistema fotovoltaico de 2,5 kWp, com armazenamento em baterias, em três regiões com distintas incidências de radiações solares diárias e sem acesso à energia elétrica. Foi classificada a energia gerada pelo sistema em dois tipos, a destinada para o desenvolvimento agrário e a para a melhoria de vida no meio rural. Foi feita análise econômica de viabilidade do uso do sistema com e sem a externalidade da geração fotovoltaica. Verificou-se que o sistema fotovoltaico é uma importante alternativa de superação dos desafios de melhorar a qualidade de vida e proporcionar desenvolvimento no meio rural.

Keywords:

Rural electrification

Solar energy

Countryside

Battery storage

IMPROVING THE QUALITY OF LIFE IN RURAL REGIONS WITHOUT ACCESS TO ELECTRICITY BY MEANS OF PHOTOVOLTAIC SOLAR GENERATION**ABSTRACT**

In Brazil, many families in rural areas do not have access to electricity, which makes it difficult to have a better quality of life and development in the rural property. The photovoltaic system can be an alternative of taking energy to rural areas to which the conventional network generally does not have access. The objective of this work was to evaluate the use of photovoltaic systems in rural regions as a proposal for agricultural development and increase in the quality of life. The work simulated the implantation of a 2.5 kWp photovoltaic system, with storage in batteries, in three regions with different incidence of daily solar radiation and without access to electric energy. The energy generated by the system was classified in two types, the one destined for the agricultural development and the one for the improvement of life in the rural environment. An economic analysis of feasibility of the use of the system with and without the externality of the photovoltaic generation was made. It was verified that the photovoltaic system is an important alternative to overcome the challenges of improving the quality of life and providing development in the rural environment.

INTRODUÇÃO

O Brasil tem atualmente cerca de 207 milhões de habitantes, dos quais aproximadamente 16% vivem em zonas rurais. Dessa população rural, cerca de 595 mil residências não têm acesso à energia elétrica (IBGE, 2018a; IBGE, 2018b; PB, 2018).

A quantidade de energia usada em uma região, em especial energia elétrica, é sinal de desenvolvimento e melhor qualidade de vida. O não acesso de residências, em zonas rurais, à energia elétrica leva os habitantes dessa região a terem uma qualidade de vida pequena e baixa possibilidade de desenvolvimento agropecuário, sendo este último a principal fonte de renda da população rural.

Regiões rurais que já têm acesso à rede de distribuição têm problemas com qualidade de energia elétrica que chega à propriedade, além de muitas vezes ficarem por longo período com falta de energia elétrica, o que compromete a produção agropecuária (SILVA *et al.*, 2002).

Uma forma de levar energia elétrica a regiões sem acesso é através do aumento da extensão da rede de distribuição, de modo a também atender a essas regiões. O problema de aumentar a extensão da rede é o custo de implantação, que, somado ao aumento de perdas e ao aumento do custo de geração, torna muitas vezes inviável essa implantação (MITSCHER; RÜTHER, 2012).

Uma maneira de geração de energia elétrica em regiões rurais, de modo a proporcionar acesso à energia elétrica de qualidade e com proteção contra a falta de energia elétrica, é a partir da geração solar fotovoltaica com armazenamento em bateria. Essa geração é viável principalmente em lugares que o acesso à rede de distribuição é inviável.

A geração solar fotovoltaica usa a radiação solar para produzir energia elétrica de forma fácil. Um problema que compromete a geração é a reduzida radiação solar e a falta de espaço para a montagem dos equipamentos necessários em uma região.

Nas regiões rurais brasileiras, espaço e radiação solar não são problemas, e a mínima radiação solar no plano inclinado no território do Brasil é, em média, 4,25 kWh/m²/dia. Portanto, a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaico com armazenamento em baterias pode ser uma

boa forma de dar acesso à energia elétrica a essas regiões e proporcionar melhor qualidade de vida da população e estimular o desenvolvimento agropecuário (PEREIRA *et al.*, 2006; RELLA, 2017).

Diante dessas premissas apresentadas, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de sistemas fotovoltaico com armazenamento em baterias em regiões rurais sem acesso à rede de distribuição de energia elétrica como proposta para o desenvolvimento agropecuário e aumento da qualidade de vida.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi simulada a implantação de um sistema fotovoltaico de 2,5 kWp, com armazenamento em baterias, em três regiões rurais hipotéticas do Brasil sem acesso à energia elétrica. Os dados da média diária da radiação solar no plano inclinado usada no desenvolvimento deste trabalho estão listados na Tabela 1. Cada região hipotética foi escolhida de modo a abranger da mínima à máxima da média anual da radiação solar no plano inclinado que incide no território brasileiro de acordo com Pereira *et al.* (2006).

Tabela 1. Média anual da radiação solar no plano inclinado em três regiões rurais do Brasil

Regiões rurais	Radiação média solar no plano inclinado (kWh m ⁻² dia ⁻¹)
R-I	4,25
R-II	5,40
R-III	6,40

Fonte: PEREIRA *et al.*, 2006.

Todas as simulações e os cálculos deste trabalho foram desenvolvidos no *software* Excel 2013.

Aumento da qualidade de vida

Foi assumida como aumento da qualidade de vida no meio rural a capacidade de ter energia elétrica suficiente para o funcionamento de uma geladeira, uma televisão, iluminação e um liquidificador, além de um extra para acionar outros possíveis aparelhos elétricos residenciais. Adotou-

se 100 kWh/mês como a energia necessária para o conforto de cada residência familiar rural.

Foi calculado o valor em reais (R\$) da qualidade de vida proporcionada pelo sistema fotovoltaico e foi assumido neste estudo o valor similar ao custo de consumo de 100 kWh/mês de energia elétrica.

Para os cálculos, foi usada a tarifa de energia elétrica no valor de 0,47720 R\$/kWh. Tarifa enquadrada no grupo tarifário B2-Rural/Normal da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG, 2018).

Energia disponível para o desenvolvimento agropecuário

O restante da energia gerada pelo sistema fotovoltaico de 2,5 kWp que não foi usada para aumentar a qualidade de vida foi tomado como energia disponível para o desenvolvimento agropecuário, isto é, energia elétrica disponível para ligar uma motobomba, um triturador forrageiro; uma ensiladeira, entre outros aparelhos elétricos úteis para o desenvolvimento da exploração agropecuária.

Cada ser humano, segundo Goering *et al.* (2003), tem a capacidade de trabalho contínuo de 0,1 kW.

Foi calculado quantos homens trabalhando oito horas por dia durante sete dias por semana equivalem à energia gerada pelo sistema fotovoltaico para o desenvolvimento agropecuário.

Foi calculado quanto equivale em reais (R\$) a energia elétrica, destinada ao desenvolvimento agropecuário, gerada e convertida em horas de trabalho de um trabalhador rural com carteira assinada. O valor usado foi de R\$ 5,83 por hora de trabalho.

Externalidade do desenvolvimento do meio rural pela geração solar fotovoltaica

Foi denominado de externalidade do desenvolvimento do meio rural pela geração solar fotovoltaica o valor em reais (R\$) equivalente ao que o sistema fotovoltaico, como armazenamento em baterias, proporcionou em melhora na qualidade de vida e na geração de energia elétrica disponível para o desenvolvimento agropecuário na propriedade rural sem acesso à energia elétrica.

Análise econômica da viabilidade de implantação

do sistema fotovoltaico

Na análise tradicional da viabilidade econômica de sistemas de geração de energia elétrica, no fluxo de caixa consideram-se somente como saídas os custos de investimentos, associados à formação de capital e os custos de geração, já as entradas são representadas pela venda da energia elétricas.

Neste trabalho, na análise da viabilidade econômica da implantação do sistema fotovoltaica com armazenamento em baterias, as saídas são iguais à avaliação tradicional, mas as entradas não são em função da venda de energia, mas sim de um valor em reais (R\$) que represente os efeitos do sistema fotovoltaico em proporcionarem melhora na qualidade de vida no meio rural e de gerar energia elétrica para o desenvolvimento agropecuário de uma propriedade, ou seja, a externalidade do desenvolvimento do meio rural pela geração solar fotovoltaica.

Sistema fotovoltaico

Para esta análise foi realizado o levantamento do custo de sistemas fotovoltaicos com armazenamento em baterias na empresa brasileira Portal Solar. A Tabela 2 apresenta o custo de investimento do sistema fotovoltaico simulado para a implantação nas regiões rurais R-I, R-II e R-III.

Tabela 2. Características básicas do sistema fotovoltaico e composição dos custos para o ano de 2018

Características do sistema	
Tecnologia usada	Silício policristalino
Capacidade instalada (kWp)	2,5
Número de módulos de 260 W	10
Eficiência (%)	16,0
Área por módulo (m ²)	1,62
Custo dos componentes	R\$
Módulos fotovoltaicos	8.451,00
Baterias	8.100,00
Inversor de frequência	7.890,00
Frete, medidor bidirecional, cabos e taxas	2.550,00
Instalação do sistema	3.820,50
Custo total de investimento do sistema	30.811,50

A energia gerada pelos módulos fotovoltaicos

durante um ano foi calculada segundo a Equação 1 (LACCHINI; SANTOS, 2013):

$$E_{\text{ger}} = 365 R_d A \eta \quad (1)$$

em que,

E_{ger} = energia gerada anualmente, kWh.ano⁻¹;

R_d = irradiação média diária, kWh.m⁻².dia⁻¹;

A = área do conjunto de módulos, m²; e

η = eficiência total do sistema, decimal.

A Tabela 3 apresenta outros parâmetros operacionais assumidos para a análise econômica de viabilidade da implantação dos sistemas fotovoltaicos.

Análise econômica

Receita financeira

As receitas resultantes da implantação do sistema fotovoltaico com armazenamento em baterias devem-se ao valor em R\$ equivalente ao que o sistema fotovoltaico proporcionou em melhora na qualidade de vida e na geração de energia elétrica disponível para o desenvolvimento agropecuário na propriedade rural em cada uma das três regiões hipotéticas do Brasil, avaliadas: R-I, R-II e R-III. Em outras palavras, as receitas são o valor da externalidade do desenvolvimento do meio rural pela geração solar fotovoltaica.

Investimentos

O detalhamento do investimento necessário para a implantação do sistema fotovoltaico com baterias encontra-se na Tabela 2.

Custos operacionais

Os custos operacionais estão baseados nos gastos com manutenção e operação do sistema fotovoltaico. Foi estimado o custo operacional do sistema fotovoltaico durante seu ciclo de vida em 0,5% do investimento inicial (MITSCHER; RÜTHER, 2012).

Indicadores econômicos

Estabelecidos os custos e os benefícios dos sistemas, foram determinados o fluxo de caixa do projeto e a análise de viabilidade econômica por meio dos seguintes indicadores: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e tempo de retorno do capital (*payback* descontado).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aumento da qualidade de vida

A Figura 1 apresenta os valores estimados, em reais (R\$), que equivalem à melhora na qualidade de vida de moradores de regiões rurais após terem o acesso à energia elétrica gerado pelo sistema fotovoltaico de 2,5 kWp ao longo do ciclo de vida desse sistema.

Nota-se que, na Figura 1, a partir do primeiro

Tabela 3. Parâmetros operacionais assumidos em cada cenário para o processo de análise econômica, corrigida a inflação, de sistema solar fotovoltaico.

Parâmetros de cálculo		Referências
Eficiência de conversão CC-CA (%)	85	LACCHINI; SANTOS, 2013
Eficiência da bateria (%)	85	
Tempo de vida útil do sistema (anos)	30	
Taxas de desconto anual (%)	8	ANEEL, 2018
Custos operacionais em 30 anos (%)*	0,5	MITSCHER; RÜTHER, 2012
Aumento anual do preço da tarifa de energia de 0 a 15 anos (%)	3	MITSCHER; RÜTHER, 2012
Aumento anual do preço da tarifa de energia de 15 a 30 anos (%)	2	MITSCHER; RÜTHER, 2012
Perda anual do rendimento do sistema (%)	0,65	MITSCHER; RÜTHER, 2012

* 0,5% do investimento inicial do sistema fotovoltaico.

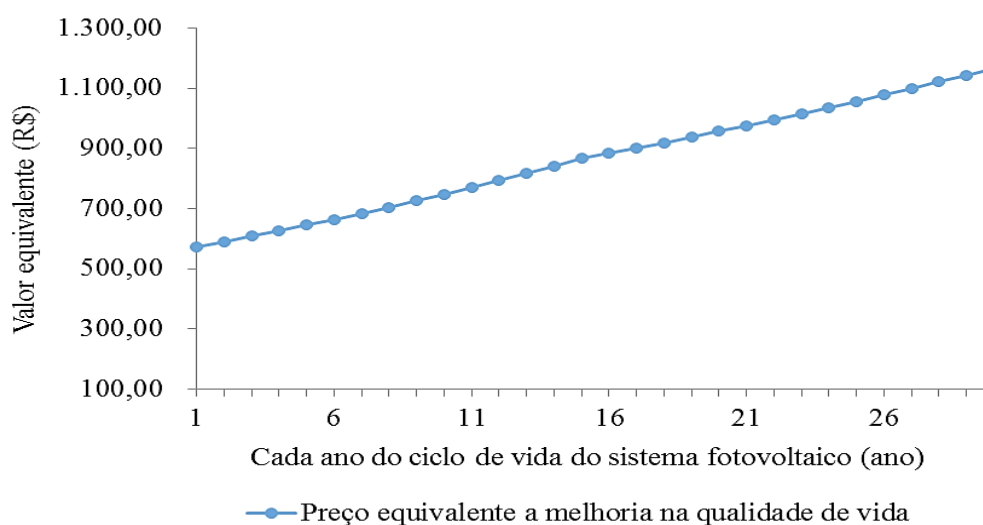


Figura 1. Valores estimados, em reais (R\$), que equivalem à melhoria na qualidade de vida de moradores de regiões rurais após o acesso à energia elétrica

ano de funcionamento do sistema fotovoltaico com armazenamento em baterias, cada família que tem o sistema tem um ganho fictício de R\$ 572,64. Esse ganho fictício representa o preço equivalente à melhoria de vida proporcionada à família rural que ainda não tinha acesso à energia elétrica.

A cada ano, o ganho é aumentado, atingindo R\$ 1.165,75 após 29 anos de funcionamento do sistema fotovoltaico. O aumento a cada ano é linear, visto que este estudo considerou para estimar o preço equivalente a melhoria de vida proporcionada pelo sistema fotovoltaico, o valor pago de tarifa de energia elétrica e assumiu um aumento da tarifa a cada ano, seguindo o que é proposto por Mitscher e Rütther (2012).

Estimar o preço equivalente à melhoria de vida das pessoas é difícil, pois ninguém sabe quanto vale a felicidade de uma pessoa, quanto vale o sorriso no rosto de uma pessoa que antes não tinha acesso à energia elétrica e passa a ter. Ou quanto vale a abertura das novas possibilidades proporcionadas após o acesso à energia elétrica. São perguntas que não têm respostas exatas, e toda estimativa tem erros (W-BIAŁOWOLSKA, 2016; RIDDERSTAAT *et al.*, 2014).

Energia disponível para o desenvolvimento agropecuário

A Figura 2 representa as estimativas do número

de trabalhadores rurais diário, com jornada de trabalho de oito horas por dia, equivalentes à energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico, a cada dia em todo o seu ciclo de vida e destinada a ser usada para o desenvolvimento agropecuário de cada propriedade localizadas nas regiões hipotéticas R-I, R-II e R-III avaliadas neste trabalho.

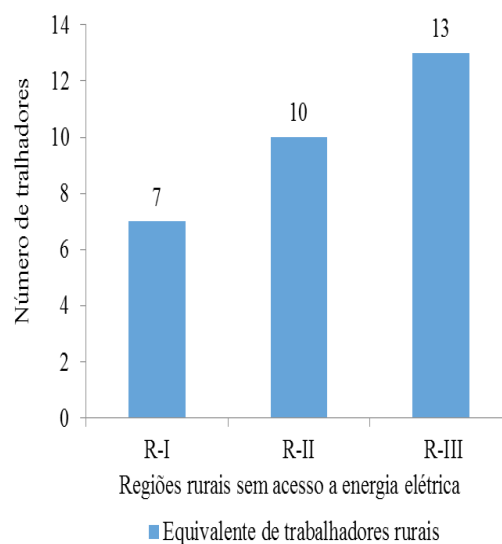


Figura 2. Número de trabalhadores rurais por dia que equivale à energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico de 2,5 kWp e disponibilizada para a atividade agropecuária

Pela Figura 2, toda zona rural que tem radiação

solar igual à região R-I tem geração de energia elétrica diária com potência elétrica capaz de gerar o mesmo trabalho que um grupo de sete trabalhadores rurais. Para as regiões R-II e R-III, o número de trabalhadores sobe para 10 e 13, respectivamente.

Quanto mais radiação solar diária incidir em uma região, mais potência elétrica será gerada pelo sistema fotovoltaico instalado na mesma. Por isso que o sistema fotovoltaico de 2,5 kWp instalado na região R-III gera mais potência elétrica e assim é capaz de gerar na propriedade rural o mesmo trabalho que 13 trabalhadores.

A potência elétrica pode ser usada para acionar motobombas para irrigação, motores elétricos em ensiladeiras e em debulhador, entre outros. Diante disso, ao invés de ser trabalho manual, a energia elétrica possibilita automatizar o trabalho contribuindo para a qualidade de vida. Energia no campo é sinal de desenvolvimento e possibilidade de maior produtividade.

Análise econômica da viabilidade de implantação do sistema fotovoltaico

As Tabelas 4 e 5 apresentam os resultados da análise de viabilidade econômica da implantação

do sistema fotovoltaico, com armazenamento em baterias, em regiões rurais sem acesso à energia elétrica. Os resultados da Tabela 4 foram obtidos considerando como receita a venda da energia elétrica gerada, ou seja, análise tradicional; já para os resultados da Tabela 5 as receitas foram resultantes da externalidade do desenvolvimento do meio rural pela geração solar fotovoltaica.

A Tabela 4 mostra que a viabilidade de implantação do sistema fotovoltaico de 2,5 kWp só acontece para regiões rurais em que incide radiação solar diária igual à região rural R-III, com VPL positivo (R\$ 2.157,42). Para regiões semelhantes, R-I e R-II, não foi viável a implantação, os VPL foram negativos à taxa de 8% a.a. Regiões do Brasil que apresentam as características da R-III, como o leste da Bahia e pequena parte do norte de Minas Gerais (PEREIRA *et al.*, 2006).

Na Tabela 5 a análise de viabilidade considera os efeitos indiretos do benefício que o sistema fotovoltaico promove de melhora na qualidade de vida na propriedade rural e a capacidade da energia elétrica disponível para o desenvolvimento agropecuário, gerar trabalho e por reduzir a necessidade de mão de obra rural.

Pela Tabela 5, toda propriedade rural sem

Tabela 4. Análise tradicional de viabilidade econômica da implantação do sistema fotovoltaico, com armazenamento em baterias, em regiões rurais sem acesso à energia elétrica considerando como receita somente a venda da energia

Regiões rurais	Taxa de desconto anual (%)	VPL (R\$)	TIR (%)	Payback descontado (ano)
R-I	8	- 9.274,07	5,01	aTVU
R-II	8	- 3.159,55	7,03	aTVU
R-III	8	2.157,42	8,64	26

Nota: aTVU: acima do tempo de vida útil.

Tabela 5. Análise de viabilidade econômica da implantação do sistema fotovoltaico, com armazenamento em baterias, em regiões rurais sem acesso à energia elétrica considerando como receita somente a externalidade do sistema fotovoltaico

Regiões rurais	Taxa de desconto anual (%)	VPL (R\$)	TIR (%)	Payback descontado (ano)
R-I	8	241.036,67	79,51	1
R-II	8	312.582,22	100,68	1
R-III	8	374.795,75	119,09	1

acesso à energia elétrica e com radiação igual às regiões R-I, R-II e R-III são viáveis à implantação de sistema fotovoltaico com armazenamento em bateria, portanto toda região do Brasil poderia ser usada para a geração de energia elétrica pelo sistema fotovoltaico.

Os valores de VPL e TIR foram positivos e altos na Tabela 5, principalmente porque levam em conta, na análise econômica, que a energia elétrica gera trabalho, e a esse trabalho foi dado o preço igual ao pago por hora a um trabalhador rural de carteira assinada.

A análise tradicional de viabilidade econômica de implantação de sistemas fotovoltaicos, tal como a usada na Tabela 4, não leva em consideração os efeitos indiretos que o sistema proporciona em uma localidade. Isso leva muitas vezes a uma inviabilidade de implantação que em termos puramente econômicos é ideal, mas que em aspecto social não.

Uma análise de viabilidade econômica de implantação com proposta mais social de desenvolvimento e de melhora na qualidade de vida de uma região, tal como a usada na Tabela 5, torna-se melhor para desenvolvimento de políticas governamentais para o incentivo a geração de energia em regiões rurais sem acesso à energia elétrica, especialmente em regiões com grande radiação solar.

CONCLUSÕES

- Implantar sistema fotovoltaico em regiões rurais proporciona melhor qualidade de vida e desenvolvimento na propriedade rural.
- A geração solar fotovoltaica com armazenamento em baterias pode ser considerada uma alternativa importante para superação dos desafios de expandir o acesso de energia elétrica a localidades isoladas, especificamente no meio rural com maior radiação solar.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de

Viçosa, pelo apoio acadêmico e disponibilização de laboratórios, e ao Ministério de Agricultura Pecuária e Armazenamento (MAPA), pelo apoio financeiro para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL – Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Parâmetros econômicos: Taxa de desconto aplicada na avaliação das alternativas de expansão.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/DEA%2027-13%20-%20Taxa%20de%20Desconto.pdf>. Acesso em 25 de janeiro de 2018.

W-BIAŁOWOLSKA, D. Quality of life in cities – Empirical evidence in comparative European perspective. **Cities**, v.58, p.87-96, 2016.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais. **Valores de tarifa e serviços.** Disponível em<http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em: 30 de maio de 2018.

GOERING, C.E.; STONE, M.L.; SMITH, D.W.; TURNQUIST, P.K. Off-road vehicle engineering principles. **ASAE**, MI. 2003, 474 p.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/>. Acesso em: 29 de maio de 2018a.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **7 a 12.** Disponível em: <http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-povo/caracteristicas-da-populacao.html>. Acesso em: 29 de maio de 2018b.

LACCHINI, C.; SANTOS, J.C.V. Photovoltaic energy generation in Brazil – Cost analysis using coal-fired power plants as comparison. **Renewable Energy**, v.52, p.183-189, 2013.

MITSCHER, M.; RÜTHER, R. Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil.

Energy Policy, v.49, p.688-694, 2012.

PB – Portal Brasil. **Energia elétrica chega a 97,8% dos domicílios brasileiros, mostra censo demográfico**. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2011/11/energia-eletrica-chega-a-97-8-dos-domicilios-brasileiros-mostra-censo-demografico>. Acesso em: 29 de maio de 2018.

PEREIRA, E.B.; MARTINS, F.R.; ABREU, S.L.; RÜTHER, R. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos : INPE, 2006, 60p.

RELLA, R. Energia solar fotovoltaica no brasil.

Revista de Iniciação Científica, v.15, n.1, 2017

RIDDERSTAAT, J.; CROES, R.; NIJKAMP, P. The Tourism Development–Quality of Life Nexus in a Small Island Destination. **Journal of Travel Research**, v.55, n.1, p.79-94, 2014.

SILVA, A.J; MUNHOZ, F.C.; CORREIA, P.B. Qualidade na utilização de energia elétrica no setor rural: problemas, legislação e alternativas. **Encontro de Energia no Meio Rural**, v.2, n.4, 2002.