



## MELHORIA DA QUALIDADE DE VIDA EM REGIÕES RURAIS SEM ACESSO A ENERGIA ELÉTRICA POR MEIO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

*Lucas de Arruda Viana<sup>1</sup>, Laércio Zambolim<sup>1</sup>, Tiago Vieira Sousa<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa/Departamento de Engenharia Agrícola, Departamento de Fitopatologia, Avenida PH Rolfs, Viçosa, 36570-000 - Viçosa-MG, Brasil, [lucas.viana@ufv.br](mailto:lucas.viana@ufv.br), [zambolim@ufv.br](mailto:zambolim@ufv.br), [tiagronomia@yahoo.com.br](mailto:tiagronomia@yahoo.com.br)

**Resumo** - No Brasil, muitas famílias no meio rural não têm acesso à energia elétrica, o que piora qualidade de vida e reduz o desenvolvimento na propriedade rural. O sistema fotovoltaico é uma alternativa energética para essas regiões, às quais a rede convencional geralmente não está disponível. O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de sistemas fotovoltaicos em regiões rurais como proposta para o desenvolvimento agropecuário e para a melhoria da qualidade de vida. A implantação de sistema fotovoltaico de 2.5 kWp foi simulada, com armazenamento em baterias, em três regiões com distintas incidências de radiações solares diárias, e sem acesso a energia elétrica. Através deste estudo, verificou-se que o sistema fotovoltaico pode ser uma importante alternativa para melhorar a qualidade de vida e proporcionar desenvolvimento no meio rural.

**Palavras-chave:** Eletrificação rural; energia solar; meio rural; armazenamento em baterias.

**Área do Conhecimento:** Energia agrônômica.

### Introdução

O Brasil tem, atualmente, cerca de 207 milhões de habitantes, dos quais aproximadamente 16% vivem em zonas rurais, e destes, cerca de 595 mil residências não possuem acesso à energia elétrica (IBGE, 2017a,b ; PB, 2017).

A quantidade de energia usada em uma região, em especial a energia elétrica, é sinal de desenvolvimento e melhor qualidade de vida. Por outro lado, a falta de acesso à energia elétrica, reduz a qualidade de vida e o desenvolvimento agropecuário, fonte de renda da população rural.

Regiões rurais que já possuem acesso à rede de distribuição apresentam problemas com qualidade de energia elétrica que chega a propriedade. Além disso, frequentemente ocorre falta de energia elétrica por longos períodos, o que compromete a produção (SILVA et al., 2002).

O aumento da extensão da rede de distribuição é uma forma de fornecer energia elétrica a regiões remotas. O problema de aumentar a extensão da rede é o custo implantação, que somado ao aumento de perdas e do custo de geração, tornando-se muitas vezes inviável (MITSCHER; RÜTHER, 2012).

Alternativamente, a geração solar fotovoltaica com armazenamento em bateria, é especialmente útil na geração de energia elétrica em regiões rurais, de modo a proporcionar acesso à energia elétrica. Esta forma de geração de energia pode ser viável nesses locais cujo acesso à rede de distribuição é inviável.

Na geração solar fotovoltaica, a reduzida radiação solar e a falta de espaço para a montagem dos equipamentos necessários, podem limitar essa técnica. No Brasil, estes agravantes são reduzidos pelas condições territoriais e climáticas, portanto, a geração de energia elétrica por meio de sistemas fotovoltaicos é potencialmente útil no acesso à energia elétrica em regiões remotas e sem a energia convencional disponível.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de sistemas fotovoltaicos com armazenamento em baterias em regiões rurais sem acesso a rede de distribuição de energia elétrica convencional, como proposta para o desenvolvimento rural e o aumento da qualidade de vida.

### Metodologia

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 convencional. Os dados de radiação solar média anual usados no desenvolvimento deste trabalho estão listados na

Tabela 1. Cada região hipotética foi escolhida de modo a abranger da mínima a máxima radiação solar no plano inclinado média anual que incide no território brasileiro.

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

Tabela 1- Radiação solar média anual em três regiões rurais do Brasil.

| Regiões rurais | Radiação solar média anual<br>(kWh.m <sup>-2</sup> .dia <sup>-1</sup> ) |
|----------------|---|
| R-I            | 4,25  |
| R-II           | 5,40  |
| R-III          | 6,40  |

Fonte: PEREIRA et al. (2006).

### Aumento da qualidade de vida

Foi assumido como aumento da qualidade de vida no meio rural a capacidade de ter energia elétrica suficiente para o funcionamento dos indispensáveis aparelhos elétricos residenciais. Estimou-se em 100 kWh/mês a energia necessária para o conforto de cada residência familiar rural.

Foi calculado quanto vale em reais (R\$), a qualidade de vida proporcionada pelo sistema fotovoltaico, sendo definido o valor como igual ao custo 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 do grupo tarifário B2-Rural/Normal da Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG, 2017).

### Energia disponível para o desenvolvimento agropecuário

O restante da energia elétrica 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, uma ensiladeira, entre outros equipamentos 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 8 horas por dia, durante 7 dias por semana, equivalente à energia gerada pelo sistema fotovoltaico para o desenvolvimento agropecuário.

Foi calculado quanto, em reais (R\$), equivale à energia elétrica, destinada ao desenvolvimento agropecuário, gerada e convertida em horas de trabalho de um trabalhador rural com carteira assinada, sendo o valor usado 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 R\$ equivalente ao que o sistema fotovoltaico, com armazenamento em baterias, proporcionou em melhoria na qualidade de vida e na geração de energia elétrica disponível para o desenvolvimento agropecuário na propriedade rural sem acesso à energia elétrica.

### Sistema fotovoltaico

Para esta análise, foi feito o levantamento dos preços de implantação de sistemas fotovoltaicos, com armazenamento em baterias, pela empresa 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 do sistema fotovoltaico e composição dos custos para o ano de 2017.

| 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 <sup>2</sup> )            | 1,62                   |
| Custo total de investimento do sistema (R\$) | 30.811,50              |

A energia gerada pelos módulos fotovoltaicos durante um ano foi calculada segundo a Equação 1 (LACCHINI; SANTOS, 2013),

$$E_{ger} = 365 R_d A \eta \quad [1]$$



em que:

$E_{ger}$  - energia gerada anualmente ( $kWh \cdot ano^{-1}$ );

$R_d$  - irradiação média diária ( $kWh \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$ );

$A$  - área do conjunto de módulos ( $m^2$ ); e

$\eta$  - eficiência total do sistema (%).

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

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) |
| Tempo de vida útil do sistema (anos)                  | 30   |                          |
| Taxas de desconto anual (%)                           | 8    | (ANEEL, 2017)            |
| Custos operacionais em 30 anos (%) **                 | 0,5  | (MITSCHER; RÜTHER, 2012) |
| Aumento anual da tarifa de energia de 0 a 30 anos (%) | 3    | (MITSCHER; RÜTHER, 2012) |
| Perda anual do rendimento do sistema (%)              | 0,65 | (MITSCHER; RÜTHER, 2012) |

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

### Análise econômica da viabilidade de implantação do sistema fotovoltaico

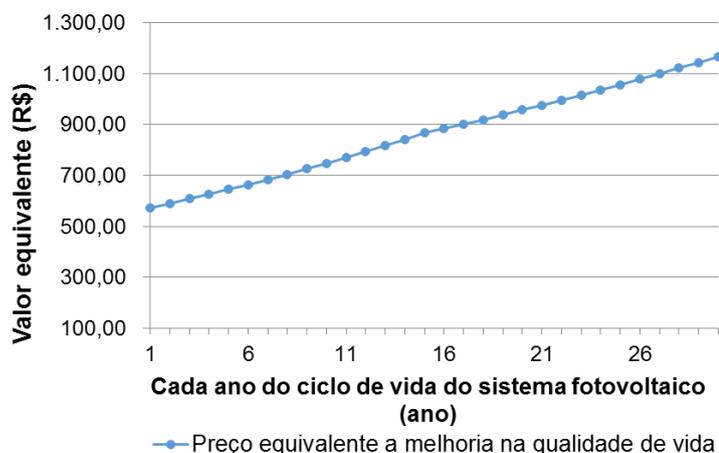
Neste trabalho, a análise da viabilidade econômica da implantação sistema fotovoltaica com baterias, foi considerada que as saídas são iguais à avaliação econômica tradicional, mas para as entradas foi considerado o valor em reais equivalente a externalidade do desenvolvimento do meio rural pela geração fotovoltaica. Diante disto, foi calculado o valor presente líquido (VPL), *payback* descontado e a taxa interna de retorno (TIR) considerando e desconsiderando a externalidade.

## Resultados

### Aumento da qualidade de vida

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

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

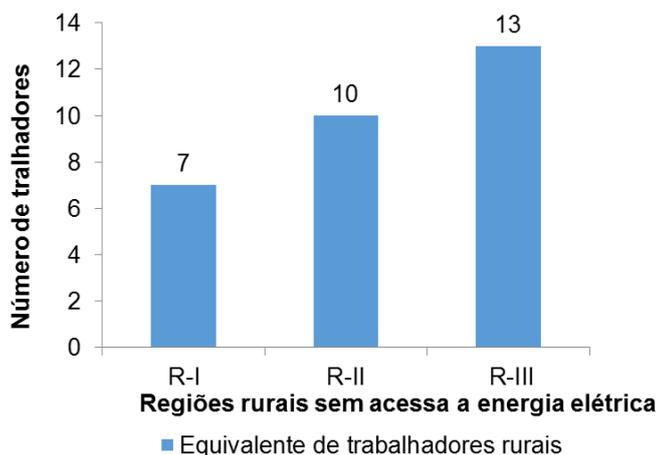


### Energia disponível para o desenvolvimento agropecuário



A Figura 2 representa as estimativas do número de trabalhadores rurais diário, com jornada de trabalho de 8 horas por dia, equivalentes a 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 a energia elétrica gerada, pelo sistema fotovoltaico de 2,5 kWp, e disponibilizada para a atividade agropecuária.



#### 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 a energia elétrica. Os resultados da Tabela 4 foram obtidos considerando como receita a venda da energia elétrica gerada, ou seja, análise tradicional. Na tabela 5, os resultados das receitas são resultantes da externalidade do desenvolvimento do meio rural pela geração solar fotovoltaica.

Tabela 4: Análise de viabilidade econômica da implantação do sistema fotovoltaico 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 considerando como receita somente a externalidade.

| 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                        |

## Discussão

### Aumento da qualidade de vida



Nota-se, Figura 1, que a partir do primeiro ano de funcionamento do sistema fotovoltaico, cada família que tem o sistema tem um ganho fictício de R\$ 572,64. Este ganho representa o preço equivalente à melhora de vida proporcionada a família rural que não tinha acesso à energia elétrica.

A cada ano o ganho é aumentado, mesmo considerando a perda anual do rendimento do sistema, atingindo R\$ 1.165,75 anual 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 à melhora 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 proposto por Mitscher e Rütther (2012).

Estimar o preço equivalente à melhoria de vida das pessoas é difícil, pois é impossível estimar o valor da 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 há erros.

### **Energia disponível para o desenvolvimento agropecuário**

Pela Figura 2, zona rural que apresente radiação solar igual à região R-I, R-II e R-III, tem geração de energia elétrica diária com potência elétrica equivalente ao trabalho de 7, 10 e 13 trabalhadores rurais, respectivamente. Quanto maior for a radiação solar diária que incide em uma região, mais potência elétrica será gerada pelo sistema fotovoltaico. Por isto 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.

Ferrari et al. (2004) estudaram o efeito do êxodo rural de jovens. Seu estudo constata-se a redução da mão de obra rural a cada ano, diante disto, o uso de sistemas fotovoltaicos em zonas rurais pode contribuir para minimizar o efeito da redução do número de trabalhadores rurais.

A potência elétrica pode ser usada para acionar motobombas para irrigação, e outros motores elétricos. Diante disto, existe a possibilidade da substituição de alguns trabalhos manuais por trabalho automatizado. A energia no campo é sinal de desenvolvimento e possibilidade de maior produtividade, além da redução dos custos de produção, aumentando a competitividade dos produtos rurais.

### **Análise econômica da viabilidade de implantação do sistema fotovoltaico**

A Tabela 4 mostra que a viabilidade do sistema fotovoltaico de 2,5 kWp só acontece para regiões rurais que incide radiação solar diária igual a região rural R-III, com VPL positivo. Para regiões semelhantes a R-I e R-II não foi viável a implantação, pois os VPL foram negativos a taxa de 8% a.a.

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

Ainda, pela Tabela 5, toda propriedade rural sem acesso a energia elétrica e com radiação solar igual às regiões R-I, R-II e R-III, a implantação de sistema fotovoltaico é viável. Os valores de VPL e TIR foram positivos e altos na análise econômica, pois a energia elétrica gera trabalho, e a este 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. Isto leva, muitas vezes, a uma inviabilidade de implantação, que em termos puramente econômicos é ideal, mas que em aspecto social, não é.

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

Avaliando o efeito de outras externalidade do sistema fotovoltaico na viabilidade econômica deste, Viana (2017) conclui que as externalidade contribuem para melhorar o desempenho econômico do sistema fotovoltaico, exatamente o que aconteceu na Tabela 5.

### **Conclusões**



Moradores de regiões rurais, sem acesso a energia elétrica convencional, têm uma qualidade de vida inferior que os moradores que possuem acesso à energia elétrica. Pela Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, todos os brasileiros são iguais e possuem os mesmos direitos, portanto, o acesso à energia elétrica a todos os brasileiros deve ser uma prioridade.

Verificou-se a necessidade de melhores políticas de incentivo a geração solar fotovoltaica, em regiões rurais sem acesso a energia elétrica convencional. 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 importante alternativa para superação dos desafios de expandir o acesso de energia elétrica a localidades isoladas, especificamente no meio rural.

## Agradecimentos

Os autores são gratos à 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

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Parâmetros econômicos: Taxa de desconto aplicado 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](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/consulta_publica/documentos/DEA%2027-13%20-%20Taxa%20de%20Desconto.pdf)>. Acesso em 25 jan. 2017.

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](http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx)>. Acesso em: 30 mai. 2017.

FERRARI, D. L. et al. Dilemas e estratégias dos jovens rurais: ficar ou partir? **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 12, n. 2, p. 237-271, 2004.

GOERING, C.E. et al. **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 mai. 2017a.

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 mai. 2017b.

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 mai. 2017

PEREIRA, E. B. et al. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos : INPE, 2006, 60p.

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.

VIANA, L. A. **Avaliação de externalidades ambientais, saúde pública e demanda de pico de sistemas solares fotovoltaicos**. 2017. 132 f Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.