

# METODOLOGIA PARA GERAÇÃO E USO DE ENERGIA ELÉTRICA DE FONTES RENOVÁVEIS COM FOCO NOS VALORES SOCIOCULTURAIS LOCAIS

[\[ver artigo online\]](#)

C. B. FARIAS<sup>1</sup>  
L. N. CANHA<sup>2</sup>  
G. C. OCACIA<sup>3</sup>  
R. M. DE AZEVEDO<sup>4</sup>  
W. S. BRIGNOL<sup>5</sup>

## RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido um método para ajudar os municípios a reduzirem os seus custos energéticos, gerando a sua própria energia para compensar o seu consumo, sendo a produção realizada com a composição do aproveitamento energético local, através da complementaridade das fontes de energias renováveis. Os produtos energéticos produzidos pela comunidade podem ser aproveitados, promovendo o seu desenvolvimento e reduzindo as perdas do sistema elétrico pela redução da distância percorrida pela energia, devido à geração local. A ordem de uso das fontes é definida por meio de uma hierarquia obtida pelo método AHP (Analytic Hierarchy Process) a partir de critérios específicos, considerando os valores socioculturais locais. Os critérios são analisados pelos tomadores de decisão locais, em termos técnicos, econômicos, sociais e ambientais. Os principais resultados são: aproveitamento dos potenciais energéticos locais disponíveis, redução do custo dos municípios com energia elétrica, desenvolvimento das comunidades locais e redução das perdas de energia. O estudo de caso foi realizado em um município localizado no sul do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

**Palavras-chave:** Complementaridade das Fontes Locais de Energia Renovável; Valores Socioculturais Locais, Hierarquia de Fontes; Compensação Energética e Processo Hierárquico Analítico.

- 1 C. B. Farias, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil, (e-mail: clovis.borba@hotmail.com).
- 2 L.N. Canha, Brasil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil (e-mail: lucianecanha@gmail.com).
- 3 G. C. Ocacia, Brasil, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, Rio Grande do Sul, Brasil (e-mail: gilnei.ocacia@gmail.com).
- 4 R.M. de Azevedo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil (e-mail: rodrigoazevedo@ifsul.edu.br).
- 5 W. S. Brignol, Brasil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil (e-mail: wagner.brignol@gmail.com).



# METHODOLOGY FOR THE GENERATION AND USE OF ELECTRICAL ENERGY FROM RENEWABLE SOURCES FOCUSING ON LOCAL SOCIOCULTURAL

Values

## ABSTRACT

In this work, a method was developed to help municipalities to reduce their electricity costs by generating their own energy and promoting local development. Thereunto, local renewable energy sources are used to compensate for their consumption of electricity, through the complementarity of renewable energy sources. This article suggests that a mutual cooperation be realized between the municipal administration and local managers, in order to use the by-products and other resources of local companies as energy products, thus helping the development of the municipality. The order of use of the sources is defined through a hierarchy obtained from the AHP method (Analytic Hierarchy Process), where specific criteria are established and used by local decision makers, who must consider the local socio-cultural values to answer the forms. The analysis will be through technical, economic, social and environmental aspects, seeking as main results: the use of available local energy potentials, the reduction of the cost of municipalities with electricity, the incentive to the development of local communities and the cost of electricity under control of the municipality. The methodology developed in this article was applied, as a case study, in a municipality located in the south of the state of Rio Grande do Sul, Brazil.

**Keywords:** Complementarity of Local Renewable Energy Sources; Local Sociocultural Values; Hierarchy of Sources; Energy Compensation and Analytic Hierarchy Process.

## 1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica das instalações de responsabilidade das prefeituras municipais, entes federativos, representam custos econômicos relevantes. Os gestores locais das administrações municipais estão próximos aos munícipes e seus atos, quando bem-sucedidos, servem de exemplos que podem contribuir em novas atitudes por uma parte da comunidade. As prefeituras municipais podem reduzir seus custos com energia elétrica através do uso de recursos energéticos distribuídos locais com base no regime de sistema de compensação de energia elétrica.

Esta autoprodução de energia por parte dos municípios pode ser justificada, tendo em vista que os custos com energia elétrica representam sua segunda maior fonte de despesas, inferior apenas ao custo com pessoal. Em um país desenvolvido a iluminação pública (IP) corresponde a aproximadamente 60% do consumo municipal com energia elétrica (J. ARAÚJO et al., 2020). Neste contexto, no Brasil, a IP representa entre 70 e 80% do consumo total de energia, ou seja, corresponde de 60 a 70% do custo total com esse insumo.

Com a publicação da Resolução Normativa 482 em abril de 2012 (REN 482/2012), pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e com a introdução do sistema net metering no Brasil, mais conhecido como sistema de compensação de energia, foram também instituídas as classificações da geração distribuída (GD) como minigeração distribuída e microgeração distribuída, permitindo que cada unidade consumidora de energia elétrica produza sua própria energia e despache o excedente de sua produção nas redes de distribuição. Desta forma, reduziram as barreiras para a conexão de sistemas de geração renováveis à rede de distribuição (ANEEL, 2015; ANEEL, 2012; ANEEL 2017).

A GD, amplamente discutida e difundida em diversos países, é uma realidade nos sistemas elétricos de potência (P. DONADUZZI RIGO et al., 2019). As gerações distribuídas que abrangem desde as grandes escalas, na ordem de MW, até aos pequenos aproveitamentos, estão integradas ao sistema elétrico. As fontes renováveis de energia, como a solar, eólica, biomassa e as células combustíveis, que vêm tendo presença significativa na matriz energética de diversos países, apresentam um menor impacto ambiental na geração de energia elétrica. No Brasil, as fontes renováveis de geração de energia elétrica a biomassa, fotovoltaica e eólica,

representaram aproximadamente 20% da oferta interna de energia, no primeiro trimestre de 2020 (SIGA, 2022).

A utilização de insumos energéticos para geração de energia apresentada por (K. SALOMON, E. LORA, 2005; W. KONG ET AL., 2021; N. C. ROEKRAI AND W. KHAN-NGERN, 2020), vem ao encontro de que as administrações municipais, de modo geral, têm interesse nos resultados econômicos e sociais advindos de empreendimentos locais. Nesse contexto os micros e pequenos investidores encontram dificuldades para se adequarem às exigências legais, principalmente às ambientais, como no descarte dos subprodutos e resíduos. Por isso, considerando as expertises tanto das administrações municipais como dos investidores, este artigo trata, também, da mútua cooperação entre eles. Os investidores poderão receber auxílios das administrações municipais, como no licenciamento ambiental, e em contrapartida disponibilizam os subprodutos de suas atividades para as prefeituras gerarem a energia elétrica e através do sistema de compensação, reduzirem seus custos com energia.

Uma forma usual de obter redução no consumo de energia descrito por (S. BRUNO et al., 2019) e, conseqüentemente, no custo financeiro, é a utilização de novas tecnologias e, alterar a forma de utilização das cargas elétricas através da substituição de equipamentos, tais como os motores elétricos, aparelhos de ar condicionado, lâmpadas e luminárias, principalmente no sistema de IP, por equipamentos com maior eficiência, conforme abordam os autores em (D. TOPIC et al., 2019; T. P. NAM e N. VAN DOAI, 2019).

A inserção de sistemas de geração distribuída de pequeno porte no Brasil é crescente ao longo dos últimos anos e inúmeros são os benefícios oriundos destes recursos energéticos distribuídos (LMR SILVA et al., 2020). Sendo assim, outra alternativa para redução destes custos, está na geração de energia elétrica com base nos recursos proveniente de fontes locais em complementariedade (R. SHARMA E V. GOYAL, 2015; VENDOTI, M. MURALIDHAR e R. KIRANMAYI, 2018), ou seja, quando um recurso natural de geração não consiga atender a necessidade de demanda do município a utilização de outros recursos energéticos poderiam ser adotados de forma a viabilizar por meio de uma complementação a compensação do consumo de energia, conforme destacam (P. ARAUJO AND M. MARINHO, 2019; H. ROCHA ET AL., 2018).

A proposta deste estudo consiste na criação de uma metodologia de definição da composição de aproveitamento dos recursos energéticos distribuídos através da

complementariedade das fontes de energias renováveis locais. Para isso, o modelo desenvolvido pelo método AHP estabelecerá uma prioridade no aproveitamento dessas fontes locais estabelecendo um ranking das fontes de geração distribuída elencadas no próprio município. Havendo a necessidade de complementação de recursos energéticos para atingir a capacidade de demanda exigida pelo município, o método já elencara as prioridades de recursos a serem utilizados como complementação. A classificação de fontes em ordem de prioridade e auxílio em decisões não mensuráveis numericamente, são utilizados em diversos trabalhos com métodos de multicritérios para tomada de decisão, como abordam em seus estudos (Y. LI et al., 2021; İHSAN KAYA ET AL., 2019; A. SOUZA, 2016.).

O método desenvolvido neste trabalho, diferentemente de estudos consolidados na bibliografia atual, como os casos de (L. OLIVEIRA, T. MARIA, 2017; B. RIBEIRO, 2017), contempla na aplicação do AHP, critérios específicos definidos e avaliados por decisores locais, considerando os valores socioculturais da comunidade local.

É recorrente que municípios, principalmente os pequenos, tenham dificuldade de mão de obra técnica. Para não onerar as pequenas comunidades, este método terá melhor aplicabilidade se apresentado às prefeituras municipais por uma instituição de ensino ou um órgão de fomento ao desenvolvimento de municípios.

## **2. METODOLOGIA**

O método consiste em definir índices de priorização através de uma pontuação total atribuída a cada fonte, utilizando o método de auxílio à tomada de decisão multicriterial. Para definir a pertinência são estabelecidos critérios para serem analisados sob os aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais, estabelecendo no final uma hierarquia entre as fontes. Para atribuir valores aos critérios poderão ser considerados aspectos quantitativos ou qualitativos, no contexto dos decisores locais.

Após a classificação das fontes renováveis e a hierarquização destas, será determinado o montante a ser gerado em cada fonte de energia e sua contribuição na composição do aproveitamento energético das fontes renováveis locais, considerando a necessidade de atender a demanda de energia elétrica, em quantidade suficiente de energia para compensação do consumo em regime de tempo permanente.

Para que fontes geradoras com pequenos potenciais energéticos sejam investimentos economicamente viáveis, faz parte da metodologia verificar as especificidades locais que viabilizem esses investimentos. Quando da prospecção das possíveis fontes é verificada a possibilidade de mútua cooperação entre a administração municipal e os administradores de empreendimentos locais existentes, ou a serem instalados, no município. Esta cooperação objetiva o aproveitamento de subprodutos ou resíduos indesejáveis para os investidores e o possível aproveitamento destes para o poder público municipal gerar energia.

Para aplicação do método são estabelecidos critérios específicos, para que estes sejam analisados pelos decisores locais. Os critérios específicos representam elementos relevantes para a comunidade local e estes delimitam o espectro de análises frente a investimentos em determinadas fontes de energias renováveis.

Os decisores locais vão analisar e valorar os critérios específicos sobre os aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais, de forma quantitativa ou qualitativa, estabelecendo valores a esses critérios. Com o auxílio do método multicritério para tomada de decisão, é possível estabelecer o “ranking” das fontes e determinar com qual prioridade cada fonte participará na formação da composição do aproveitamento energético local.

Para a aplicação do método é relevante que ele seja compreendido e aceito pelas comunidades locais e que, pelo menos, o conjunto de apoio aos decisores locais municipais participe do processo da composição do aproveitamento energético local e que, desta forma, possam a envolver as comunidades nessas ações.

As atividades gerenciais dos municípios são comandadas por decisores locais que exercem sua atividade por um período determinado de tempo e, em muitos casos, depois de algum tempo, são substituídos por outros decisores locais com valores e diretrizes administrativas que podem ser diferentes dos seus antecessores. Por esta razão é relevante que a metodologia, ora desenvolvida, tenha um viés de política municipal e, não, de política de governo. Conforme (J. STRACHULSKI, 2017), quando ocorre o desenvolvimento de uma comunidade obedecendo a seus valores socioculturais, os resultados tendem a ser conquistados de forma mais harmônica e estável.

Para desenvolver o método, após a estimação do potencial existente e disponível, é estabelecido o contorno do problema através de critérios específicos a serem valorados pelos decisores locais diante das especificidades locais. Na aplicação do método, dependendo da

visão dos decisores locais, poderão ocorrer mudanças de alguns critérios específicos para melhor representar a realidade local.

O método inicia com o envolvimento dos decisores locais em seis etapas para definir a composição do aproveitamento energético das fontes renováveis locais, conforme Tabela I.

Tabela I - Etapas para definir a composição do aproveitamento energético local

Etapa	Ação
1 <sup>a</sup>	Estimar o potencial disponível
2 <sup>a</sup>	Caracterização das cargas do município
3 <sup>a</sup>	Reconhecimento das condições iniciais e definição do contorno do problema
4 <sup>a</sup>	Definição do “ranking” das fontes
5 <sup>a</sup>	Determinar a participação de cada fonte na composição do aproveitamento energético local
6 <sup>a</sup>	Análise da viabilidade econômica para geração de energia e investimentos

Fonte: Autor

#### A. *Estimar o potencial disponível*

A primeira etapa do trabalho consiste em realizar uma primeira reunião com os decisores locais, gestores municipais, para levantar as principais especificidades da localidade e verificar os locais e condições das possíveis fontes renováveis que podem ser utilizadas para geração de energia e por consequência compensar o consumo de energia elétrica do município. Ainda nesta etapa é observada a viabilidade para estabelecer a mútua cooperação entre a instituição pública municipal e os empreendedores locais, para viabilizar a instalação e funcionamento das gerações de energia. Após verificada a viabilidade são levantados os dados necessários para se estimar o potencial de geração de cada fonte de energia elétrica.

#### B. *Caracterização das Cargas do Município*

Nesta etapa é verificado a carga instalada e as tecnologias dos materiais utilizados, analisando a conveniência da substituição da tecnologia da carga, visando economia de energia elétrica.

Com o levantamento da carga instalada e o consumo de energia, é determinada a demanda atual. Se for conveniente será substituída a tecnologia da carga e reavaliado o novo consumo de energia do município.

### *C. Reconhecimento das Condições Iniciais e Definição do Contorno do Problema*

Para esta etapa, diante dos dados obtidos na etapa anterior, são discutidos com os gestores municipais os potenciais disponíveis e os custos para que a prefeitura instale as possíveis gerações. É examinado também a viabilidade da prefeitura municipal firmar parcerias com os empresários locais para que o município possa gerar energia através da mútua cooperação e reduzir seus custos – tanto na implantação como na operação das fontes geradoras.

Para delimitar o problema são definidos critérios específicos, onde pelo menos alguns devem ter relação com os aspectos socioculturais locais, dando relevância aquilo que as fontes geradoras representam para a comunidade local. Os critérios específicos utilizados para avaliação são representados por variáveis e índices condizentes com cada uma das fontes geradoras avaliadas. Um exemplo é descrito na Tabela II. Esses critérios podem ser alterados dependendo das especificidades locais.

TABELA II - CRITÉRIOS ESPECÍFICOS PARA AVALIAÇÃO DE DECISORES

Nº	Variável	Nome	Definição
1	X	Custo da Instalação	Critério Econômico
2	Y	Custo da Energia Gerada	Critério Econômico
3	Z	Potencial de Energia Gerada	Critério Técnico
4	W	Custo kW Instalado	Critério Econômico
5	$\alpha$	Empregos Locais	Critério Econômico
6	$\beta$	Contribuição para a Matriz Produtiva Local	Critério Econômico e Social
7	$\gamma$	Melhoria na Qualidade de Vida da População	Critério Ambiental e Social
8	$\delta$	Impacto na Economia Municipal	Critério Econômico e Social
9	$\epsilon$	Tempo de Implementação da Fonte	Critério Técnico
10	$\phi$	Fixação do Homem no Município	Critério Social

Fonte: Autor



#### D. Definição do “Ranking” das Fontes

Para definir o ranking de utilização das fontes renováveis os decisores locais atribuem valores a cada um dos critérios específicos, respondendo a um questionário disponibilizado em forma de tabelas, considerando aspectos quantitativos ou qualitativos. Com o auxílio do método AHP, as fontes são enumeradas em ordem de prioridade.

Na última operação indicada pelo método AHP é realizada a multiplicação da MATRIZ CRITÉRIOS (J), onde os valores das linhas e colunas são obtidos diante da comparação das fontes de energia frente a cada critério específico, pela MATRIZ PESOS (P), formada pelos valores obtidos diante da comparação dos critérios específicos relacionados entre si. Com esta operação obtêm-se a matriz resultados, MATRIZ HIERARQUIA DAS FONTES (HF). Esta matriz representa a posição hierárquica de cada fonte, diante da opinião dos decisores locais, apresentando a ordem hierárquica para a sua utilização na formação da complementariedade das fontes renováveis locais. A complementariedade se dará até o montante necessário para compensar o consumo de energia elétrica do município.

Na Figura 1, é mostrado o exemplo da operação a ser realizada, sendo utilizadas seis fontes de energia, conforme definido por esta metodologia, para hierarquizar onde as variáveis recebem os índices de 1 a 6.

Figura 1. Hierarquização das Fontes

$$\begin{bmatrix} J_{X1} & J_{Y1} & J_{Z1} & J_{W1} & J_{\dots 1} & J_{\varphi 1} \\ J_{X2} & J_{Y2} & J_{Z2} & J_{W2} & J_{\dots 2} & J_{\varphi 2} \\ J_{X3} & J_{Y3} & J_{Z3} & J_{W3} & J_{\dots 3} & J_{\varphi 3} \\ J_{X4} & J_{Y4} & J_{Z4} & J_{W4} & J_{\dots 4} & J_{\varphi 4} \\ J_{X5} & J_{Y5} & J_{Z5} & J_{W5} & J_{\dots 5} & J_{\varphi 5} \\ J_{X6} & J_{Y6} & J_{Z6} & J_{W6} & J_{\dots 6} & J_{\varphi 6} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} P_X \\ P_Y \\ P_Z \\ P_W \\ P_\alpha \\ P \\ \dots \\ P_\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} HF_1 \\ HF_2 \\ HF_3 \\ HF_4 \\ HF_5 \\ HF_6 \end{bmatrix}$$

Fonte: Autor

A ordem de utilização das fontes renováveis obedece a uma hierarquia que é definida pelos decisores locais, estabelecida com o auxílio do método multicritérios AHP, utilizando critérios específicos que consideram valores socioculturais locais.

Após a hierarquização das fontes, é determinado o montante a ser gerado em cada fonte de energia e sua contribuição na composição do aproveitamento energético das fontes renováveis locais, considerando a necessidade de compensar o consumo de energia do município.

#### *E. Determinação da Participação de Cada Fonte para a Composição do Aproveitamento Energético Local*

O montante de energia consumido pelo total das cargas do município e o gerado por cada uma das fontes é totalizado para o período de 365 dias, em alguns casos, tanto o consumo como a geração, poderão não ocorrer durante alguns dias desse período.

O consumo de energia de um município, formado por cargas diversas e a carga do sistema de iluminação pública, é calculado conforme (1).

$$E_{TC} = \sum_{i=1}^m n_i \cdot P_i \cdot \Delta t \cdot Y + \sum_{j=1}^k S_j \cdot P_j \cdot \Delta t \cdot Y \quad (1)$$

Onde,  $E_{TC}$  é a estimativa de consumo total anual de energia elétrica da prefeitura em kWh/ano;  $m$  é o número de distintas potências de lâmpadas;  $n_i$  é o número de lâmpadas de cada potência;  $P_i$  é a demanda para as distintas capacidades em kW;  $\Delta t$  é o número médio de horas de utilização dos equipamentos em h/dia;  $Y$  é o número de dias do ano que há consumo de energia;  $S_j$  é o número de cargas de cada potência;  $P_j$  é a potência das cargas diversas em kW;  $k$  é o número de distintas cargas.

O termo “estimativa de consumo” apresentado pela equação (1) é utilizado pelo fato de haver a possibilidade de alterações de funcionamento dos equipamentos em geral do município. No caso da iluminação pública, especificamente, a previsibilidade está relacionada as variações de consumo devido as condições climáticas estabelecerem períodos com maior ou menor luminosidade para o dia, ou seja, influenciando diretamente no tempo de funcionamento das mesmas.

Para suprir o montante de energia necessário e compensar o consumo de energia elétrica do município, é efetuado o somatório do potencial de geração das diversas fontes de energias renováveis, complementariedade, conforme a ordem definida na 4ª Etapa, ou seja, Definição

do Ranking das Fontes. O montante gerado é determinado conforme (A. MEHINOVIC et al., 2020).

A construção das fontes é executada de acordo com a ordem de prioridade e, são utilizadas tantas fontes até que satisfaça a condição estabelecida em (2).

$$E_{Total} = E_{TC} \leq \sum_{j=1}^r E_F \quad (2)$$

Onde  $E_{Total}$  é a energia total a ser gerada em kWh;  $r$  é o número de distintas fontes;  $E_F$  é o somatório da energia gerada pelo conjunto das fontes geradoras em kWh.

A estimação da energia gerada através da fonte eólica é determinada por (3).

$$E = \left( \sum_{i=C_i}^{C_o} \frac{\frac{1}{2} \rho A_r V_i^3 C_{PI}}{1000} \Delta t_i \right) \cdot (365 - Y) \quad (3)$$

Onde,  $E$  é a energia da fonte eólica em, kWh;  $C_i$  é a velocidade de entrada em operação do gerador em  $m.s^{-1}$ ;  $C_o$  é a velocidade de saída de operação do gerador em  $m.s^{-1}$ ;  $\rho$  é a densidade do ar, sendo  $1.225 \text{ kg/m}^3$  no nível do mar e a  $15^\circ\text{C}$ ;  $A_r$  é a área varrida pelo rotor em  $m^2$ ;  $V_i^3$  é a velocidade instantânea do vento em  $m/s$ ;  $C_{PI}$  é o coeficiente de potência para cada velocidade em %;  $\Delta t_i$  é o tempo, em horas, de ocorrência de cada velocidade, h;

A estimação da energia gerada através de uma fonte solar é determinada por (4).

$$E_{PV} = R \cdot A \cdot \eta_{GPV} \cdot (365 - Y) \quad (4)$$

Onde,  $E_{PV}$  é o potencial de geração em uma determinada área em kWh.dia-1;  $R$  é a radiação diária média incidente em kWh.m-2.dia-1;  $A$  é a área a ser utilizada em  $m^2$ ;  $\eta_{GPV}$  é o rendimento do sistema de geração em %.

A estimação para produção diária da energia gerada através da fonte biogás é determinada por (5).

$$EE = PB \cdot Pci \cdot \eta \cdot 1,163 \times 10^{-3} \cdot (365 - Y) \quad (5)$$

Onde,  $EE$  é a energia elétrica diária produzida pelo biogás em kWh;  $PB$  é a produção diária de biogás em  $m^3$ /dia;  $P_{ci}$  é o poder calorífico do biogás em kcal/ $m^3$ ;  $\eta$  é o rendimento do conjunto do sistema de geração energia elétrica;  $1,163 \times 10^{-3}$  é o fator de conversão de kcal para kWh.

A estimação da energia gerada através da fonte biomassa é determinada por (6).

$$E_{UTE} = M_C \cdot P_{Ci} \cdot \eta_{UTE} \cdot (365 - Y) \quad (6)$$

Onde,  $E_{UTE}$  é a energia em MJ,  $M_C$  é a quantidade de massa a ser utilizada em kg;  $P_{Ci}$  é o poder calorífico inferior da biomassa utilizada em MJ.kg<sup>-1</sup>;  $\eta_{UTE}$  é o rendimento da UTE.

A estimação da energia gerada através da fonte hídrica é determinada por (7).

$$E_{UHE} = Q \cdot \gamma \cdot H \cdot \eta_{TG} \cdot \Delta t \cdot (365 - Y) \quad (7)$$

Onde,  $E_{UHE}$  é a energia em kWh;  $Q$  é a vazão em  $m^3.s^{-1}$ ;  $\gamma$  é o peso específico da água em kN.m<sup>-3</sup>;  $H$  é a altura disponível em mca;  $\eta_{TG}$  é o rendimento global do conjunto turbina-gerador em %;  $\Delta t$  é o tempo em horas.

Para suprir o montante de energia necessário e compensar o consumo de energia elétrica do município, é efetuado o somatório do potencial de geração das diversas fontes de energias renováveis, conforme a ordem definida na quarta etapa.

#### *F. Análise da Viabilidade Econômica para Geração de Energia e Investimentos*

Os investimentos das prefeituras em equipamentos com novas tecnologias, via de regra, trazem benefícios econômicos em curto período de tempo, seja com a redução da carga elétrica e a diminuição da energia consumida e ou com o aumento da vida útil dos equipamentos.

Para que os investimentos sejam realizados através de financiamentos de instituições de fomento, é necessário que os projetos se enquadrem dentro das normas vigentes para cada tipo de instalação. No caso da carga de iluminação pública, dependendo da característica do município, pode exigir a alteração da distribuição dos pontos de iluminação para se enquadrar na legislação, conforme (ABNT, 2018), o valor a ser investido e a economia de energia pode

mudar de um município para outro de forma substancial, dependendo da tecnologia e da distribuição do fluxo luminoso existente nesse município.

As tarifas de energia elétrica dos órgãos públicos municipais são: tarifa “poder público”, tarifa “serviço público” e a tarifa “iluminação pública”. O custo anual com energia elétrica no município é calculado conforme (8).

$$C_{en} = T_{PP} \sum_{q=1}^z C_{PP} + T_{SP} \sum_{q=1}^z C_{SP} + T_{IP} \sum_{q=1}^z C_{IP} \quad (8)$$

Onde,  $C_{en}$  é o custo atual com energia elétrica no município em R\$;  $z$  é o número de instalações de cada tipo;  $T_{PP}$  é a tarifa de energia poder público, com impostos em R\$/kWh;  $C_{PP}$  é o somatório do consumo de energia poder público em kWh/ano;  $T_{SP}$  é a tarifa de energia serviço público, com impostos em R\$/kWh;  $C_{SP}$  é o somatório do consumo de energia serviço público em kWh/ano;  $T_{IP}$  é a tarifa de energia iluminação pública, com impostos em R\$/kWh e  $C_{IP}$  é o somatório do consumo de energia da iluminação pública em kWh/ano.

As cargas municipais podem ser conectadas na unidade de consumo através de ligações monofásicas, bifásicas e trifásicas. A equação (9) mostra a quantidade de energia elétrica considerada para a compensação de energia, considerando os tipos de unidades consumidoras.

$$E_{CD} = \sum_{i=1}^z (30I_{MF} + 50I_{BF} + 100I_{TF}) \quad (9)$$

Onde,  $E_{CD}$  é a energia considerada para pagamento do valor da disponibilidade em kWh;  $z$  é o número de instalações de cada tipo;  $I_{MF}$  é o número de instalações monofásicas;  $I_{BF}$  é o número de instalações bifásicas e  $I_{TF}$  é o número de instalações trifásicas.

A disponibilidade é o valor cobrado mensalmente pela distribuidora para permitir a compensação de energia elétrica, e é calculada através da (10).

$$D = E_{CD} (T_{PP} + T_{SP} + T_{IP}) \quad (10)$$

Onde,  $D$  é a disponibilidade em R\$.

Os custos dos investimentos nas instalações e na operação das fontes de energia elétrica renováveis, para que sejam economicamente positivas aos municípios, devem obedecer às condições descritas em (11).

$$\sum_{l=1}^u (C_F + C_{TC} + J_I - C_E) \leq \sum_{l=1}^u (C_{OP} + C_D) \quad (11)$$

Onde,  $C_F$  é o custo de investimento em fontes renováveis;  $C_{TC}$  é o custo de investimento na troca da tecnologia da carga;  $J_I$  é o juro do montante dos investimentos no período do financiamento;  $C_E$  é o somatório do custo em energia elétrica evitado;  $C_{OP}$  é o custo operacional das fontes geradoras; e  $C_D$  é o somatório dos custos de disponibilidade das instalações que fazem parte da compensação de energia no município.

### 3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado no município de Morro Redondo – RS, que está situado na região Sul do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, com uma área territorial de 244,6 km<sup>2</sup> e população de 6.548 habitantes (IBGE, 2022), e o consumo de energia elétrica mensal da prefeitura, incluindo iluminação pública, é de 52.884 kWh.

O município tem sua atividade econômica principal baseada na cultura e industrialização de pêssego. A agropecuária de corte e a produção leiteira aparecem com menor importância econômica.

Conforme apresentado na metodologia deste trabalho, após realizadas as seis etapas, verificou-se que conforme as especificidades econômicas e socioculturais do município foram possíveis estabelecer a mútua cooperação entre a administração municipal e empreendedores locais.

Para a mútua cooperação ficou estabelecido que os produtores industriais e os confinadores de gado, disponibilizam os subprodutos e resíduos de suas atividades para que a administração municipal gere energia elétrica e compense seu consumo. Em contrapartida, dentro da sua expertise, a administração municipal auxilia os industriais e os confinadores nos seus licenciamentos e destinação dos resíduos.

Os decisores locais avaliaram seis tipos de fontes de energia renovável possíveis de serem utilizadas nesse município. Para a hierarquização com o auxílio do AHP, foram utilizados os dez Critérios Específicos apresentados na terceira etapa da metodologia deste trabalho. As fontes possíveis de serem utilizadas, foram numeradas conforme a Tabela III.

TABELA III - ENUMERAÇÃO DAS FONTES DE GERAÇÃO RANQUEADAS

Fontes	Nomenclaturas
1	Geração Eólica
2	Geração Solar PV
3	Biogeração - Carvão de Pêssego
4	Biogeração - Confinamento Bovino
5	Geração Hídrica
6	Tecnologia da Carga

Fonte: Autor

Na Figura 2, estão apresentados os resultados dos questionários dos decisores locais, aparecendo os valores das linhas da MATRIZ CRITÉRIOS (J), parte da coluna da MATRIZ PESOS (P), e o resultado da MATRIZ HIERARQUIA DAS FONTES (HF).

Figura 2. Avaliação dos Decisores Locais com a utilização do AHP

<b>(J)</b>		<b>(P)</b>		<b>(HF)</b>																																																
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td>0,049</td><td>0,060</td><td>...</td><td>0,100</td><td>0,041</td></tr> <tr><td>0,150</td><td>0,139</td><td>...</td><td>0,136</td><td>0,042</td></tr> <tr><td>0,319</td><td>0,282</td><td>...</td><td>0,208</td><td>0,443</td></tr> <tr><td>0,209</td><td>0,262</td><td>...</td><td>0,205</td><td>0,290</td></tr> <tr><td>0,182</td><td>0,160</td><td>...</td><td>0,144</td><td>0,117</td></tr> <tr><td>0,089</td><td>0,093</td><td>...</td><td>0,204</td><td>0,064</td></tr> </table>	0,049	0,060	...	0,100	0,041	0,150	0,139	...	0,136	0,042	0,319	0,282	...	0,208	0,443	0,209	0,262	...	0,205	0,290	0,182	0,160	...	0,144	0,117	0,089	0,093	...	0,204	0,064	$\times$	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td>0,030</td></tr> <tr><td>0,046</td></tr> <tr><td>...</td></tr> <tr><td>...</td></tr> <tr><td>0,051</td></tr> <tr><td>0,220</td></tr> </table>	0,030	0,046	...	...	0,051	0,220	$=$	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr><td>0,046</td><td>6°</td></tr> <tr><td>0,069</td><td>5°</td></tr> <tr><td>0,387</td><td>1°</td></tr> <tr><td>0,279</td><td>2°</td></tr> <tr><td>0,115</td><td>3°</td></tr> <tr><td>0,101</td><td>4°</td></tr> </table>	0,046	6°	0,069	5°	0,387	1°	0,279	2°	0,115	3°	0,101	4°
0,049	0,060	...	0,100	0,041																																																
0,150	0,139	...	0,136	0,042																																																
0,319	0,282	...	0,208	0,443																																																
0,209	0,262	...	0,205	0,290																																																
0,182	0,160	...	0,144	0,117																																																
0,089	0,093	...	0,204	0,064																																																
0,030																																																				
0,046																																																				
...																																																				
...																																																				
0,051																																																				
0,220																																																				
0,046	6°																																																			
0,069	5°																																																			
0,387	1°																																																			
0,279	2°																																																			
0,115	3°																																																			
0,101	4°																																																			

Fonte: Autor

Conforme os valores encontrados na Figura 2, e realizando os passos do método AHP, a hierarquização para utilização das fontes renováveis do município ficou definida conforme a Tabela IV.

TABELA IV - HIERARQUIA DAS FONTES RENOVÁVEIS

Posição	Nomenclaturas
1 <sup>a</sup>	Biogeração - Caroço de Pêssego
2 <sup>a</sup>	Biogeração – Confinamento Bovino
3 <sup>a</sup>	Geração Hídrica
4 <sup>a</sup>	Tecnologia da Carga
5 <sup>a</sup>	Geração Solar_PV
6 <sup>a</sup>	Geração Eólica

Fonte: Autor

Após a hierarquização das fontes é feita a composição do aproveitamento energético local através de (2). Foram utilizadas as três primeiras fontes ranqueadas com a utilização do método AHP, sendo elas: Biogeração de caroço de pêssego (Biogeração\_CP), Biogeração de confinamento de bovinos (Biogeração\_RB) e Geração Hídrica, pois satisfazem o consumo total mensal de energia do município, 52.884 kWh. A descrição é apresentada na Tabela V.

TABELA V - POTÊNCIA DE GERAÇÃO DAS FONTES RANQUEADAS

Fontes	Potência Instalada	Geração Mensal
Biogeração_CP	30 kW	21.600 kWh
Biogeração_CB	10 kW	7.200 kWh
Geração Hídrica	85 kW	24.200 kWh
Total		53.000 kWh

Fonte: Autor



### A. *Análise da Viabilidade Econômica e Investimentos*

A soma dos investimentos nas três fontes ranqueadas do primeiro ao terceiro lugar, suficientes para gerar energia e compensar o consumo da prefeitura atingiu o montante de R\$ 874.000,00.

Para viabilizar a geração de energia através de fontes de energia renovável por parte da prefeitura analisada neste estudo de caso, ela busca recurso junto a bancos de fomentos (BNDS) com prazo de 10 anos para o pagamento.

Com referência a mutua cooperação ficou estabelecido que as indústrias de conserva entregam o caroço de pêssego no local de geração, os confinadores geram o gás e disponibilizam para a prefeitura gerar energia e o proprietário e uma queda natural entrega o excedente do seu consumo para a prefeitura, operando o sistema de geração hídrica. Com estes acordos de cooperação restou a prefeitura um custo anual, considerado como “Custos Diversos”, no valor de R\$ 55.639,00.

Foi analisado um período de dez anos em que a prefeitura faz o investimento em fontes renováveis, no valor de R\$ 874.000,00. O recurso investido, obtido através de financiamento de banco de fomento a uma taxa de 7,5% a.a. Na Tabela VI, são apresentadas as parcelas a serem pagas anualmente e o total, incluídos os juros, calculados com o auxílio da tabela SAC (Sistema de Amortização Constante).

O custo anual de energia elétrica do município é de R\$ 299.281,00. A esse valor é acrescida anualmente uma taxa de 2,95%, conforme (IBGE, 2021), valor estimado para aumento anual do custo do kWh nos próximos dez anos. O valor de energia atual, acrescido de reajustes, totaliza aquilo que a prefeitura seria devedora anualmente se não investir em fontes de geração e compensação de energia.

Quando feitos investimentos em geração e compensação de energia, surgem novos custos. O de disponibilidade, calculada conforme (5) e os custos derivados de arranjos de negócios entre município e empresários locais restaram denominados custos diversos, no valor de R\$ 55.639,00 ao ano, que também são acrescidos de 2,95% ao ano.

O saldo é a diferença entre o valor que deveria ser gasto com energia elétrica se não houvesse investimento em fontes geradoras, e a soma das parcelas anuais dos investimentos em fontes, mais os custos diversos, os valores estão apresentados na Tabela VI.

TABELA VI - ANÁLISE DE CUSTOS E INVESTIMENTOS

Período	Investimento em Fontes (R\$)	Custo com Energia Evitado	Custos Diversos	Saldo
1º Ano	152.950	299.281	55.639	90.692
2º Ano	146.395	308.110	57.280	104.434
3º Ano	139.840	317.199	58.970	118.389
4º Ano	133.285	326.556	60.710	132.562
5º Ano	126.730	336.190	62.501	146.959
6º Ano	120.175	346.107	64.344	161.588
7º Ano	113.620	356.318	66.243	176.455
8º Ano	107.065	366.829	68.197	191.567
9º Ano	100.510	377.650	70.209	206.932
10º Ano	93.955	388.791	72.280	222.556
<b>TOTAL</b>	<b>1.234.525</b>	<b>3.423.031</b>	<b>636.373</b>	<b>1.552.134</b>

Fonte: Autor

Como mostra a Tabela VI, já no primeiro ano o saldo é positivo, levando em consideração a soma dos gastos com as parcelas dos investimentos em fontes com os custos diversos, é menor do que os custos evitados.

No décimo ano, cessam as parcelas do financiamento, a diferença entre o que a prefeitura deveria ter pago de energia, se não tivesse investido em fontes renováveis, menos a soma do que pagou de financiamento, disponibilidade e custos diversos, é de: R\$ 1.552.134,00.

No final do décimo ano o saldo anual é positivo para a prefeitura no valor de R\$ 222.556,00.

#### *B. Análise da influência dos critérios específicos no resultado da hierarquia*

Para realizar a análise de influência foram abordados ensaios da aplicação da metodologia, sendo retirados gradativamente os critérios específicos relativos as especificidades locais.

Foram realizados cinco ensaios com exclusão dos critérios específicos, apresentados na Tabela VII.

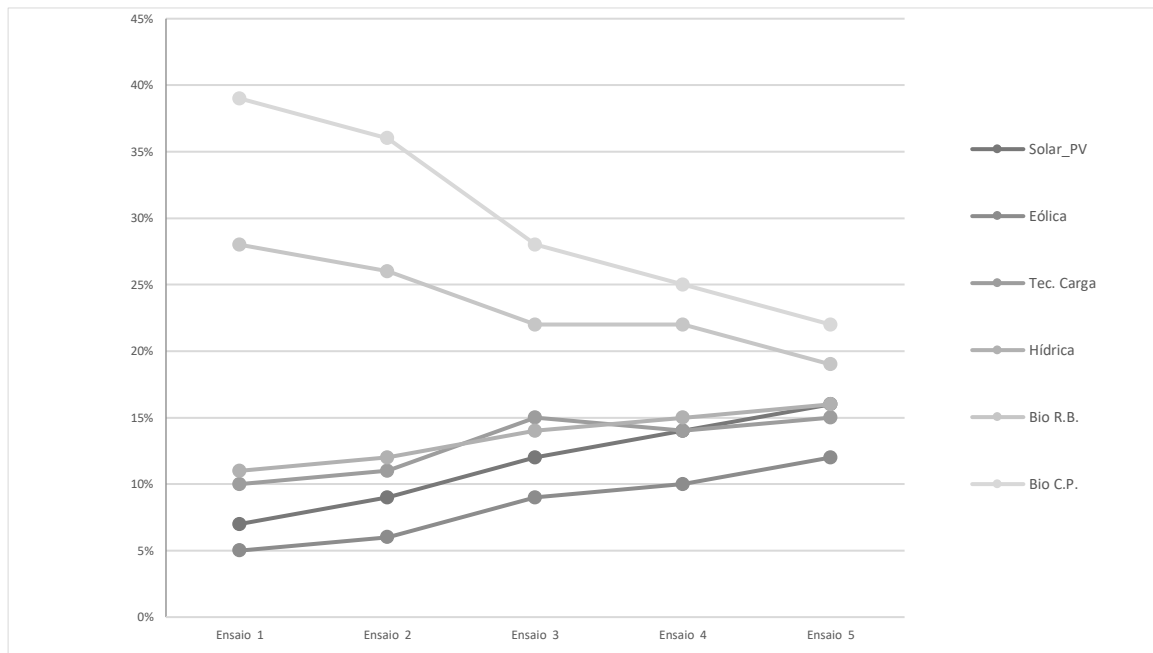
TABELA VII - ENSAIOS PARA ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

Ensaio	Ação
1	Modelo Original
2	Exclusão do Critério: Empregos Locais
3	Exclusão dos Critérios: Empregos Locais, Fixação do Homem no Município e Contribuição Para a Matriz Produtiva Local;
4	Exclusão dos Critérios: Empregos Locais, Fixação do Homem no Município, Contribuição Para a Matriz Produtiva Local e Impacto na Economia Municipal;
5	Exclusão dos Critérios: Empregos Locais, Fixação do Homem no Município, Contribuição Para a Matriz Produtiva Local, Impacto na Economia Municipal e Melhoria na Qualidade de Vida da População.

Fonte: Autor

Na Figura 3, observa-se que o número de critérios específicos analisados, referentes às especificidades locais, influencia diretamente no percentual de preferência das fontes renováveis. Quando retirados os critérios específicos locais, a amplitude de preferência hierárquica se mostra menos significativa, alternando a hierarquia em alguns casos.

Figura 3. Ensaio para a Análise de Sensibilidade: Hierarquia das Fontes (%)



Fonte: Autor

Na Figura 3, análise de sensibilidade, observa-se que quanto menor o número de critérios específicos, referentes às especificidades locais forem analisados, menor é a diferença percentual quanto a preferência de utilização das fontes renováveis.

#### **4. CONCLUSÃO**

O método desenvolvido neste trabalho possibilita a diminuição dos custos com energia elétrica nos municípios, incentiva o desenvolvimento de empresas locais trazendo benefícios aos investidores por meio da mútua cooperação. Desta forma aumenta-se a possibilidade de outros investimentos no município, motivados pela demonstração do interesse cooperativo da administração municipal e dos investidores.

Conforme verificado na análise de sensibilidade fica evidenciado que a utilização de critérios específicos, com foco nos valores socioculturais locais, aumenta a influência daquelas fontes que integram o dia a dia da comunidade, de forma que elas sejam as primeiras a serem implementadas e com isso receberem os investimentos locais.

Com a aplicação do método proposto, o custo do kWh consumido pelo município poderá ser gerenciado pelo mesmo. Desta forma a diminuição dos custos do município e o incentivo às empresas locais podem gerar a possibilidade de uma maior arrecadação de tributos para as prefeituras, que poderiam assim, destinar maiores recursos a outros serviços da comunidade.

Por fim, a instalação de fontes de acordo com o método apresentado, com exceção do custo da disponibilidade, poderá proporcionar as prefeituras municipais o domínio do custo da energia elétrica que consomem.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. “NBR 5101/2018: Iluminação Pública – Procedimento”. Rio de Janeiro, 2018. [Online]. Disponível: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=406808>
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. “Resolução Normativa Nº 687”, de 24 de novembro de 2015, 2015. [Online]. Disponível: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. “Resolução Normativa n. 482”, de 17 de abril de 2012. Brasília, DF, 2012. [Online]. Disponível: <http://www.aneel.gov.br>
- ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. “Resolução Normativa n. 786”, de 17 de outubro de 2017. Brasília, DF, 2017. [Online]. Disponível: <http://www.aneel.gov.br>
- A. Mehinovic, D. Borovina, M. Zajc, A. Souvent and N. Suljanovic, "Local energy exchange using energy community interaction matrix," 2020 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe), The Hague, Netherlands, 2020, pp. 1065-1069, doi: 10.1109/ISGT-Europe47291.2020.9248802.
- A. Souza. “Proposta de uma matriz de decisão em energia hidrelétrica com o uso do método multicritério, para formulação de políticas públicas no estado do Paraná”. 2016. Tese (Doutorado em Tecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016. [Online]. Disponível: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1683>
- B. Ribeiro. “Proposta para revelar as preferências de Comitês de Especialistas a partir do Método AHP: Uma Aplicação ao Setor Elétrico”. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – PUC-Rio, Rio de Janeiro. 2017. [Online]. Disponível: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/32280/32280.PDF>
- D. Topic et al., "Analysis of PV Systems and Charging Stations Integration into the Public Lighting Infrastructure," 2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe), Bucharest, Romania, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISGTEurope.2019.8905562.
- H. Rocha, L. Silvestre, W. Celeste, D. Coura, L. Rigo Jr. “Forecast of Distributed Electrical Generation System Capacity Based on Seasonal Micro Generators using ELM and PSO”. IEEE Latin America Transactions, v. 16, n. 4, april 2018. [Online]. Disponível: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8362148>.
- İhsan Kaya, Murat Çolak, Fulya Terzi, A comprehensive review of fuzzy multi criteria decision making methodologies for energy policy making, Energy Strategy Reviews, Volume 24, 2019, Pages 207-228, ISSN 2211-467X, <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.03.003>.
- IBGE. “Geociências: Municípios Brasileiros”, 2022. [Online]. Disponível: [www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/todos-os-produtos-geociencias/15761-areas--dos-municipios.html?=&t=downloads](http://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/todos-os-produtos-geociencias/15761-areas--dos-municipios.html?=&t=downloads)
- IBGE. Agência de Notícias: “IPCA sobe 0,73% em dezembro e fecha 2021 em 10,065%”, 2021. [Online].

- J. Araújo, L. Silva, L. Oliveira, M. Fortes, B. Borba e A. Colombini, "Avaliação da atualização tecnológica da iluminação pública no Brasil", em IEEE Latin America Transactions , vol. 18, n. 06, pp. 985-991, jun 2020, doi: 10.1109 / TLA.2020.9099674.
- J. Strachulski. "O desenvolvimento econômico local: da perspectiva econômica a perspectiva sociocultural". Caderno de Geografia 2017, 27 (Abril-Junho). [Online] Disponível: < <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/p.23182962.2017v27n49p304/11321>
- K. Salomon, E. Lora. "Estimativa do Potencial de Geração de Energia Elétrica para Diferentes Fontes de Biogás no Brasil". Artigo, Biomassa & Energia, Viçosa, MG, v. 2, n. 1, p. 57-67, 2005.
- L. Oliveira, T. Maria. "Planning of Renewable Generation in Distribution Systems Considering Daily Operatin Periods". IEEE Latin America Transactions, v. 15, n. 5, may 2017. [Online]. Disponível: [http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol15/vol15issue05May2017/15TLA5\\_18WillerOliveira.pdf](http://www.ewh.ieee.org/reg/9/etrans/ieee/issues/vol15/vol15issue05May2017/15TLA5_18WillerOliveira.pdf)
- LMR Silva, A. Beluco e G. Daronco, "Um sistema híbrido fotovoltaico a diesel para energizar uma estação de esgoto em Santa Rosa, no sul do Brasil", em IEEE Latin America Transactions, vol. 18, n. 04, pp. 773-780, abril de 2020, doi: 10.1109 / TLA.2020.9082221.
- N. C. Roekrai and W. Khan-ngern, "Energy, Economic, and Environmental (3E) Analysis of Zero Energy Consumption Building: A Case Study of Thai Style Mediation House," 2020 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI), Chiangmai, Thailand, 2020, pp. 117-120, doi: 10.1109/ICPEI49860.2020.9431515.
- P. Araujo and M. Marinho, "Analysis of Hydro - Wind Complementarity in State of Pernambuco, Brazil by means of Weibull Parameters," in IEEE Latin America Transactions, vol. 17, no. 04, pp. 556-563, April 2019, doi: 10.1109/TLA.2019.8891879.
- P. Donaduzzi Rigo, JC Mairesse Siluk, D. Pacheco Lacerda, V. Thomasi, G. Rediske e C. Brum Rosa, "Avaliação do sucesso de um sistema de energia fotovoltaica de pequena escala", em IEEE Latin America Transactions , vol. 17, n. 09, pp. 1474-1481, setembro de 2019, doi: 10.1109 / TLA.2019.8931141.
- R. Sharma and V. Goyal, "A hybrid model of solar-wind - biomass power generation system: A review," 2015 2nd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), New Delhi, India, 2015, pp. 1201-1203.
- S. Vendoti, M. Muralidhar and R. Kiranmayi, "HOMER Based Optimization of Solar-Wind-Diesel Hybrid System for Electrification in a Rural Village," 2018 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), Coimbatore, India, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICCCI.2018.8441517.
- S. Bruno, G. Giannoccaro, M. La Scala, G. Lopopolo and C. Rodio, "A Microgrid Architecture for Integrating EV Charging System and Public Street Lighting," 2019 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), Genova, Italy, 2019, pp. 1-5, doi: 10.1109/EEEIC.2019.8783640.

SIGA – SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE GERAÇÃO DA AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Banco de Informações da Geração, 2022. Disponível em: <https://bit.ly/2IGf4Q0>.

T. P. Nam and N. Van Doai, "Application of Intelligent Lighting Control for Street Lighting System," 2019 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE), Dong Hoi, Vietnam, 2019, pp. 53-56, doi: 10.1109/ICSSE.2019.8823357.

W. Kong, X. Wu, G. Geng, E. Li, X. Zhang and W. Tangi, "Optimal scheduling of multi-energy system in rural farms for biomass/photovoltaic/geothermal efficient utilization," 2021 IEEE Sustainable Power and Energy Conference (iSPEC), Nanjing, China, 2021, pp. 944-951, doi: 10.1109/iSPEC53008.2021.9735902.

Y. Li, J. Huang, Y. Liu, H. Wang, Y. Wang and X. Ai, "A Multi-Criteria Optimal Operation Framework for Renewable Energy Integrated Data Center Microgrid with Waste Heat Recovery," 2021 IEEE/IAS 57th Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS), Las Vegas, NV, USA, 2021, pp. 1-11, doi: 10.1109/ICPS51807.2021.9416605.