

PROTÓTIPO DE MONITORAMENTO DO POTENCIAL ENERGÉTICO NO MODELO HÍBRIDO, SOLAR E EÓLICO

Flávio Leandro Pirola¹, Kristian Madeira², Sergio Coral³

Resumo: Com o aumento do aquecimento global, as alternativas de geração de energia de maneira renovável se tornaram um tema em alta. Por tanto, essa pesquisa visa medir a geração de energia no modelo híbrido solar e eólico, verificando o potencial de geração de cada tipo de energia. Por meio de um protótipo foi possível medir os dois tipos de energia com base na irradiação solar e velocidade do vento para chegar a uma conclusão sobre os tipos de geração de energia e posteriormente apresentar alguns dados coletados por meio de uma Dashboard. Após a verificação da análise de dados estatística, entendeu-se que a placa solar tem mais desempenho que a turbina eólica, e apresenta coerência de comparação aos trabalhos de conclusão de curso semelhantes. Verificando os dados coletados durante 30 dias foi possível chegar à conclusão que a placa solar desempenha melhor durante o período diurno, já a turbina eólica apresenta melhor desempenho no período noturno.

Palavras-chave: Energia Eólica. Energia Solar. Irradiação Solar. Velocidade do Vento. Raspberry PI. Arduino.

ABSTRACT: With the increase in global warming, renewable energy generation alternatives have become a hot topic. Therefore, this research aims to measure energy generation in the solar and wind hybrid model, verifying the generation potential of each type of energy. Through a prototype it was possible to measure the two types of energy based on solar irradiation and wind speed to reach a conclusion about the types of energy generation and later present some data collected through a Dashboard. After verifying the statistical data analysis, it was understood that the solar panel has more performance than the wind turbine, and presents consistency of comparison to similar course completion works. Checking the data collected over 30 days, it was possible to

¹flavio5070@unesc.net

²kristian@unesc.net

³sergiocoral@unesc.net

conclude that the solar panel performs better during the daytime, while the wind turbine performs better at night

Keywords: Wind Energy. Solar energy. Solar irradiation. Wind speed. Raspberry Pi. arduino.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional, o mundo atualmente depende de uma quantidade significativa da produção de fontes de energia, logo a eletricidade acabou se tornando um fator extremamente necessário para o capitalismo industrial e conseqüentemente tornando o setor muito avançado e maduro (SIMABUKULO et al, 2017). Visando essa situação, o setor energético tem crescido absurdamente, mas um dos pontos ligados ao setor energético é a emissão de gases efeitos estufa utilizando fontes de produção não renováveis como, por exemplo, a utilização do carvão.

Segundo o Balanço Nacional Energético de 2021 (EPE, 2020) no Brasil a geração elétrica a partir de não renováveis representou 15,8% do total nacional, contra 17,7% em 2019. Visando cada vez mais reduzir a emissão desses gases extremamente prejudiciais, essa pesquisa colabora com o intuito de minimizar os danos que estão causando ao meio ambiente, apresentando dois tipos de geração de energias renováveis.

De acordo com estudos apresentados pelo Ministério de Minas e Energia publicados no ano de 2021, a emissão de gases de efeito estufa foram reduzidos na geração de energia elétrica no Brasil utilizando como base os dados produzidos no ano de 2020. Estabelecendo o crescimento de energias dos tipos renováveis e minimizando a utilização de combustíveis fósseis e emissões de gases de efeito estufa para produzir a energia elétrica.

Um dos tipos de produção de energia abordada é a energia eólica. A produção de energia em um conversor eólico ou aerogerador depende da interação do rotor eólico com os ventos, o vento pode ser considerado uma composição da velocidade média e das flutuações em torno dela. (FADIGAS, 2011).

Outro tipo de produção de energia renovável que será destacada é a energia solar, que é a transformação da irradiância solar em energia, células

fotovoltaicas são instaladas com direcionamento ao sol, com a incidência de luz solar nessas células, baseado no efeito fotovoltaico. Segundo Wanderley e Campos (2013), em seu artigo este efeito acontece quando dois materiais semicondutores de propriedades elétricas diferentes recebem luz entre sua junção gerando uma tensão elétrica.

Este trabalho teve como objetivo mensurar a geração de energia nos modelos solar e eólico, com base na irradiação solar e na velocidade do vento. Para isso, foi utilizado um protótipo para medir a energia gerada no modelo híbrido. Além disso, foi desenvolvida uma dashboard que possibilita a verificação dos dados capturados.

2 TRABALHOS CORRELATOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados os seguintes trabalhos como referência:

2.1 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA MEDIÇÃO DA EFICIÊNCIA NA GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO MICROCONTROLADORES COM MONITORAMENTO VIA SISTEMA SUPERVISÓRIO ONLINE

Trabalho de conclusão de curso desenvolvido por Adriel Cardoso da Rosa apresentado na Universidade do Extremo Sul Catarinense, e defendido em 2019. O presente trabalho apresenta um protótipo de estação para a aquisição de dados de uma de energias renováveis, permitindo a medição de eficiência na geração elétrica de determinada localidade, juntamente com um sistema que visou demonstrar os dados capturados, permitindo a visualização das informações adquiridas.

2.2 ANÁLISE DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UMA MICRO USINA FOTOVOLTAICA EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR

Trabalho de conclusão de curso desenvolvido por Bruno Mageste Silva e Ernandes Júnior Abreu apresentado em Faculdades Integradas de Caratinga,

defendido em 2017. O presente trabalho analisa economicamente a implantação de uma pequena usina de geração de energia solar, utilizando-se para análise um sistema on grid, visando comparar a quantidade de energia gerada pelo custo proposto para a instalação do sistema por algumas empresas e escolhendo uma para efetuar uma viabilização econômica.

2.3 ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A IMPLANTAÇÃO DE GERADOR EÓLICO RESIDENCIAL

Trabalho de conclusão de curso desenvolvido por André da Silva Silveira apresentado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, defendido em 2021. O presente trabalho se propôs a avaliar tecnicamente e economicamente a implantação de uma turbina eólica de pequeno porte para fornecer energia gerada com o potencial eólico disponível do local para uma instalação residencial. Avaliando a microgeração por meio de conceitos da Matemática Financeira.

2.4 POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DAS ENERGIAS EÓLICA E SOLAR EM GOIÂNIA

Trabalho de conclusão de curso desenvolvido por Leandro Mendes da Silva, apresentado na Universidade Federal de Goiás, defendido em 2016. O presente trabalho busca analisar duas fontes alternativa de energias renováveis híbridas, energia solar fotovoltaica e eólica, para a micro e minigeração na cidade de Goiânia, visando a verificação do uso de energia solar na malha urbana e o potencial do uso de energia eólica a partir de dados meteorológicos de 10 anos.

2.5 COMPARATIVO DE SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA E ENERGIA EÓLICA PARA RESIDÊNCIAS

Trabalho de conclusão de curso desenvolvido por Cristiano Ales Ramos e Felipe Luis Rodrigues de Sousa, apresentado na Faculdades Integradas de Caratinga,

defendido em 2017. O presente trabalho busca analisar a viabilidade financeira de instalação de sistema de energia fotovoltaica em comparação com energia eólica para residências, traçando pontos negativos e positivos entre os dois sistemas. Por meio de uma pesquisa foram coletados dados de capacidade de geração de energias para residências para os dois tipos de energia, para viabilizar o custo de implantação de cada tipo de sistema de produção de energia.

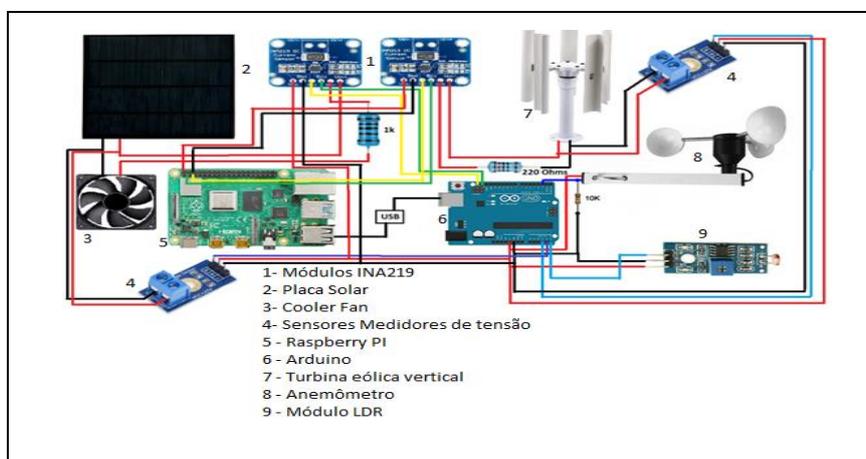
3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para desenvolvimento do projeto foram utilizados cerca de dez componentes, uma placa microcontroladora e um microcomputador para a captura de informações, e envio para um banco de dados na nuvem.

3.1 Componentes

Abaixo segue uma imagem que mostra o esquema de montagem dos componentes entre si e ligados ao microcomputador e a placa microcontroladora.

Figura 1 – Esquema de montagem do projeto



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Arduino e sensores usados pelo microcontrolador

Alguns sensores e módulos foram conectados ao Raspberry Pi, enquanto outros foram conectados ao Arduino, devido ao fato de o Arduino possuir portas analógicas.

3.2.1 Módulo LDR

Um dos sensores conectados ao Arduino foi o módulo fotoresistor (LDR), que é um módulo analógico. As informações são capturadas pela seguinte parte de código do Arduino, conforme a figura abaixo.

Figura 2 – Código do Arduino para leitura do módulo LDR

```
float ldr;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
}

void loop() {
  ldr = analogRead(A0);
  tensao = ldr*(3.3/4095.0);
  tensao2 = tensao*(5.0/3.3);

  rad = 4464.9*exp(-17.73*tensao2);
  Serial.print("IS");
  Serial.println(rad);
  delay(100);
}
```

Fonte: Elaborado do autor.

Antes de iniciar a conversão de valor para radianos, é necessário converter o valor obtido pelo sensor de bits para uma escala de 0V a 3.3V, e após efetuar uma conversão de escala de 3.3V a 5.V que é a tensão usada para alimentar o sensor, conforme o fórum do Arduino (2020).

Segundo um Artigo produzido na Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), (2015), foi possível utilizar um LDR para medição da irradiação solar, empregando a seguinte equação para calibrar a medição de saída do LDR e transformar em radianos, conforme a figura abaixo.

Figura 3 – Fórmula para conversão da informação do LDR para irradiação solar

$$Rad = 4464,9 \times e^{-17,73 \times V_{saída}}$$

Fonte: Revista de Engenharia e Tecnologia (2015)

Após essas conversões obtemos a irradiação solar no valor em W/m² que incide sobre a placa solar.

3.2.2 Anemômetro

Outro componente incluso na leitura do Arduino foi o anemômetro. Esse componente foi utilizado para medir o vento em Km/h, para o código de leitura das informações, fornecido pela Usinainfo (s.d.). Para a montagem foi recomendado um resistor de 10k ligado ao negativo do Arduino e ao pino 2 para leitura do valor do sensor. O código utiliza o raio do anemômetro, um valor de tempo para leitura do componente, constante PI e as rotações por minuto, conforme a figura abaixo.

Figura 4 – Código da coleta de informações do anemômetro

```
const float pi = 3.14159265;           // Numero pi
int period = 2000;                     // Tempo de medida(milliseconds)
int delaytime = 2000;                 // Time between samples (milliseconds)
int radius = 147;                     // Raio do anemometro(mm)

void windvelocity(){
  speedwind = 0;
  windspeed = 0;

  counter = 0;
  attachInterrupt(0, addcount, RISING);
  unsigned long millis();
  long startTime = millis();
  while(millis() < startTime + period) {
  }
}

void RPMcalc(){
  RPM=((counter)*60)/(period/1000); // Calculate revolutions per minute (RPM)
}

void SpeedWind(){
  speedwind = (((4 * pi * radius * RPM)/60) / 1000)*3.6; // Calculate wind speed on km/h
}

void addcount(){
  counter++;
}
```

Fonte: Usinainfo(s.d.).

Após obter os valores de velocidade o anemômetro foi necessário dividi-los por 60, que representa uma hora, dividir por 1000 e multiplicar por 3.6 que é a quantidade de segundos de uma hora para receber o valor em Km/h.

3.2.3 Sensor medidor de tensão

Para a leitura dos valores de tensão e corrente da turbina eólica vertical foram utilizados dois sensores. Um deles é o sensor medidor de tensão, que mede a tensão de geração pelos pólos positivos e negativos da turbina, por meio do seguinte código fornecido pela MasterWalker. (s.d.), conforme a figura abaixo.

Figura 5 -Código de leitura do sensor medidor de tensão

```

const int pinoSensor = A2;

float tensaoEntrada = 0.0;
float tensaoMedida = 0.0;

float valorR1 = 30000.0;
float valorR2 = 7500.0;
int leituraSensor = 0;

void setup(){
  pinMode(pinoSensor, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}
void loop(){
  leituraSensor = analogRead(pinoSensor);
  tensaoEntrada = (leituraSensor * 5.0) / 1024.0;
  tensaoMedida = tensaoEntrada / (valorR2/(valorR1+valorR2));

  Serial.print("Tensão DC medida: ");
  Serial.print(tensaoMedida,2);
  Serial.println("V");
  delay(500);
}

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.4 Módulo INA219 ligado ao RASPBERRY PI

Junto a esse sensor, foi utilizado o módulo INA 219, um sensor medidor de corrente, tensão e potência, para medir os valores da placa solar. O componente recebe alimentação positiva e negativa, dois pinos para troca de informação com o Arduino, e dois pinos para medir corrente, tensão e potência, utilizando as funções nativas da biblioteca fornecidas pelo criador do componente. A função BusVoltage retorna o valor em Volt (V), getCurrent retorna o valor em miliAmpère (mA) e getPower retorna o valor em miliwatt (mW), conforme a figura abaixo.

Figura 6 – Código de leitura das informações do INA219

```

busvoltage = ina219.getBusVoltage_V();
current_mA = ina219.getCurrent_mA();
power_mW = ina219.getPower_mW();

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi conectado aos pinos de consumo de energia o polo positivo no pino Vin positivo do sensor e a saída do Vin negativo ligado a um resistor a um Cooler Fan que termina o ciclo no negativo da placa. Dessa forma, é possível consumir a energia gerada pela placa solar.

Foram utilizados dois sensores de medidores de tensão, pois o módulo INA219 apresenta alguns valores altos pelo fato de não ter informações de energia gerada no sensor, resultando em valores lidos incorretamente. Um dos sensores mede a tensão da turbina eólica e outro mede a tensão da placa solar fotovoltaica.

3.2.5 Envio de dados do Arduino para o RASPBERRY PI

O Arduino lê todos esses dados e envia via serial para o Raspberry PI conectado por USB. O código de envio de dados via serial utilizado no Arduino, conforme a figura abaixo.

Figura 7 – Código de envio de informação do Arduino para o Raspberry PI

```
Serial.print("VA");  
Serial.print(speedwind);  
Serial.println();  
delay(100);  
Serial.print("IS");  
Serial.println(rad);  
delay(100);  
Serial.print("VTP");  
Serial.print(busvoltage);  
Serial.println();  
delay(100);  
Serial.print("VTT");  
Serial.print(tensaoMedida1);  
Serial.println();  
delay(100);  
Serial.print("VCP");  
Serial.print(current_mA);  
Serial.println();  
delay(100);  
Serial.print("VPP");  
Serial.print(power_mW);  
Serial.println();  
delay(100);
```

Fonte: Elaborado pelo autor

3.3 RASPBERRY PI e sensores usados pelo microcomputador

Durante esse tópico será apresentado alguns componentes que foram integrados ao RASPBERRY PI, recebimento dos dados e tratamento para envio ao banco de dados.

3.3.1 Recebimento das informações no RASPBERRY PI

As informações enviadas pelo Arduino são salvas no Raspberry PI pela leitura serial, conforme a figura abaixo.

Figura 8 – Leitura dos dados enviados do Arduino para o Raspberry PI

```

ser = serial.Serial("/dev/ttyUSB0", 115200)

while True:
    while(potencia_placa == 'null'):
        resposta = ser.readline()
        resp=str(resposta)
        if 'VA' in resp :
            velocidade = resp.replace("r", "").replace("n", "").replace("b", "").replace("'", "").replace("\\", "").replace("VA", "")
        elif 'IS' in resp:
            irradiacao = resp.replace("r", "").replace("n", "").replace("b", "").replace("'", "").replace("\\", "").replace("IS", "")
        elif 'VTP' in resp:
            tensao_placa = resp.replace("r", "").replace("n", "").replace("b", "").replace("'", "").replace("\\", "").replace("VTP", "")
        elif 'VTT' in resp:
            tensao_turbina = resp.replace("r", "").replace("n", "").replace("b", "").replace("'", "").replace("\\", "").replace("VTT", "")
        elif 'VCP' in resp:
            corrente_placa = resp.replace("r", "").replace("n", "").replace("b", "").replace("'", "").replace("\\", "").replace("VCP", "")
        else:
            potencia_placa = resp.replace("r", "").replace("n", "").replace("b", "").replace("'", "").replace("\\", "").replace("VFP", "")

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.2 Módulo INA219 Ligado ao RASPBERRY PI

Após a leitura oriunda do Arduino, resta o sensor que é lido pelo Raspberry PI. Foi utilizado um módulo INA219 para ler a tensão, corrente e potência da turbina eólica. A turbina eólica possui dois pólos, o polo positivo vem até o Vin positivo e sai pelo pino Vin negativo da INA219 passa por um resistor de 220 Ohms e finaliza o circuito ao negativo da turbina eólica. Sendo assim, é possível medir as informações de energia gerada pelo seguinte código, conforme a figura abaixo.

Figura 9 – Conexão e Leitura do Módulo INA219 ao Raspberry PI

```

i2c = busio.I2C(board.SCL, board.SDA)
sensor = adafruit_ina219.INA219(i2c)

corrente_turbina = round(sensor.current, 2)
potencia_turbina = sensor.power
tensao_turbina_ina = sensor.bus_voltage

```

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3.3 Envio das informações para o banco de dados

O Raspberry PI faz a leitura pelas funções fornecidas pela biblioteca e envia a um banco de dados na nuvem fazendo a conexão e enviando conforme a figura abaixo.

Figura 10 – Envio das informações para o banco de dados

```

date=datetime.now()
date_atual1 = datetime.strptime(date.strftime('%Y-%m-%d %H:%M:%S'), "%Y-%m-%d %H:%M:%S")
sql = f'INSERT INTO projeto_tcc(IRR_SOLAR,TENSAO_PLACA,CORRENTE_PLACA,POTENCIA_PLACA,VEL_VENTO,TENSAO_TURBINA,
'TENSAO_TURBINA_INA,CORRENTE_TURBINA,POTENCIA_TURBINA,DATA_CAPTURA) VALUES(
'{irradiacao},{tensao_placa},{corrente_placa},{potencia_placa},{velocidade},{tensao_turbina},'
'{tensao_turbina_ina},{corrente_turbina},{potencia_turbina},"{date_atual1}"'
try:
    db_connection = mysql.connector.connect(host='containers-us-west-117.railway.app',
                                             port = '7228',user='root',
                                             password='q91reoR2Rlkq9MrbV382',
                                             database='railway')

    print("Database connection made!")
    mycursor = db_connection.cursor()
    mycursor.execute(sql)
    db_connection.commit()
    print(mycursor.rowcount, "was inserted.")
except mysql.connector.Error as error:
    if error.errno == errorcode.ER_BAD_DB_ERROR:
        print("Database doesn't exist")
    elif error.errno == errorcode.ER_ACCESS_DENIED_ERROR:
        print("User name or password is wrong")
    else:
        print(error)
else:
    db_connection.close()

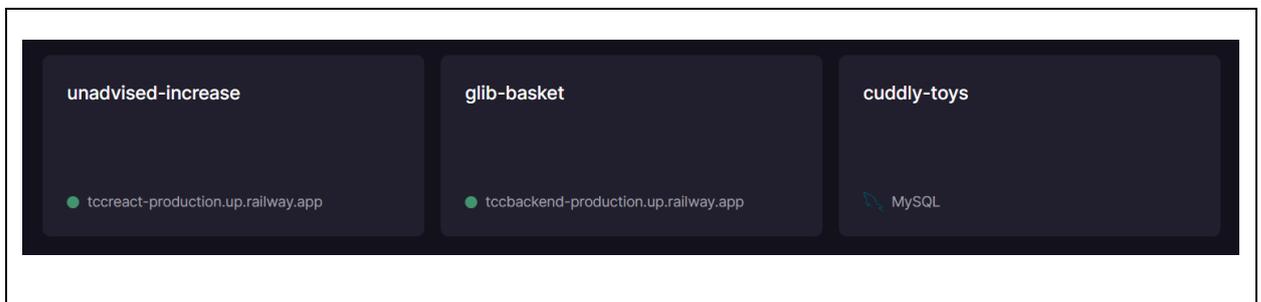
```

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Banco de dados e dashboard

Essas informações são enviadas a um banco de dados MySQL hospedado no site Railway. Os dados são consumidos por um Dashboard desenvolvidos em ReactJS uma biblioteca Javascript e faz a conexão via banco de dados por um webservice desenvolvido em NodeJS e Express, conforme a imagem abaixo.

Figura 11- Aplicações utilizadas no projeto



Fonte: Railway

Os códigos fonte desenvolvidos estão disponíveis no GitHub:

Front-End: https://github.com/Flavio-LP/Tcc_react

Back-End: https://github.com/Flavio-LP/tcc_backend

Os dados gerados podem ser visualizados pelo seguinte site:

<https://tccreact-production.up.railway.app/>. Basta clicar em um dos dias entre o dia 28 de abril a 28 de maio de 2023.

Os dados mostrados na Dashboard são buscados por requisições no webservice que consulta as informações no banco de dados e retorna para a Dashboard.

3.5 Análise de dados capturados

Os valores coletados foram organizados e analisados em planilhas do software IBM *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) versão 21.0. As variáveis foram expressas por meio de média e desvio padrão.

As análises inferenciais foram realizadas com um nível de significância $\alpha = 0,05$, ou seja, confiança de 95%. A investigação da distribuição das variáveis quanto à normalidade foi realizada por meio da aplicação do teste de Shapiro-Wilk. A investigação da homogeneidade das variâncias foi realizada por meio da aplicação do teste de Levene.

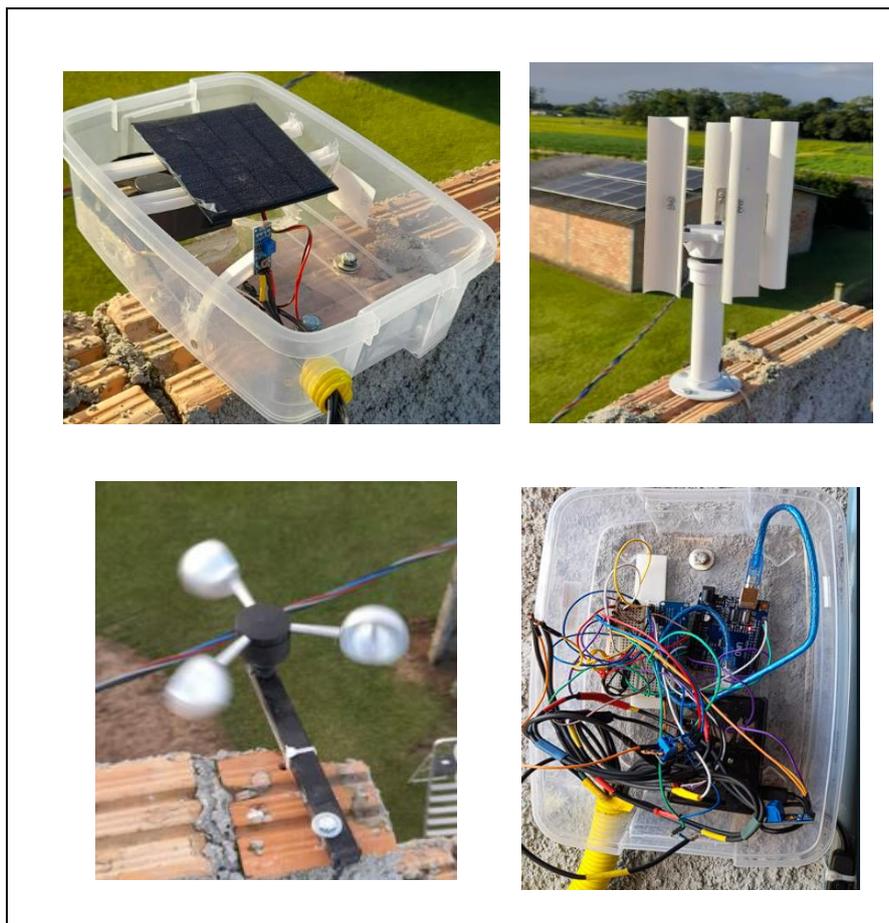
A comparação dos níveis de tensão, corrente e potência entre as fontes de energia solar e eólica foi realizada por meio da aplicação do teste t de Student para amostras independentes quando os dados apresentaram distribuição normal e pelo teste U de Mann-Whitney quando os dados não seguiram esse tipo de distribuição.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados coletados, foram efetuadas análises importantes para identificação da eficiência dos dois tipos de potencial de energia abordadas pelo protótipo.

4.1 Área instalada dos componentes

A Turbina eólica, anemômetro, módulo LDR, placa solar fotovoltaica e a Cooler Fan foram fixados em um galpão localizado em uma área rural na cidade de Forquilha a cerca de 7.5 metros de altura em uma parte plana e ligados por 10 metros de fios aos microcomputadores ligados a energia da rede e conectados à internet por meio de Wifi, conforme a figura abaixo.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A placa solar fotovoltaica e o módulo LDR foram fixados a 0 graus na escala de inclinação ao céu. A turbina também foi fixada na mesma escala de inclinação juntamente com o anemômetro em uma área aberta sem nenhuma interferência com objetos para impedir a propulsão do vento.

4.2 Dados capturados

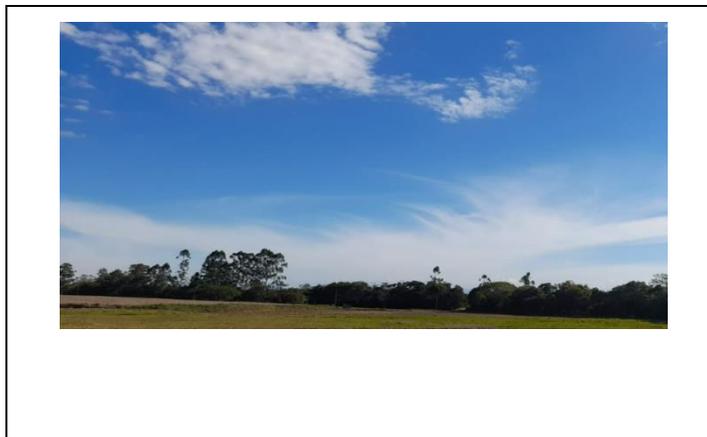
A montagem das informações mencionadas abaixo foram buscadas a primeira captura dentro do horário estipulado e efetuado entre as 06:00 horas da manhã até 20:00 horas da noite, efetuando várias capturas e disponibilizando no dashboard a primeira captura de cada horário nos gráficos de irradiação solar e velocidade do vento, e para as informações de energia gerada foram buscados os valores representados para cada horário dos gráficos e efetuado uma média pela quantidade de horários disponíveis no gráfico, ou seja, buscadas 15 informações de

potência, tensão e corrente e dividindo a quantidade de cada tipo de informação buscada por 15 horários.

4.2.1 Placa solar

Durante o um dia ensolarado a placa solar apresenta uma ótima eficiência com geração máxima em sua capacidade, a imagem abaixo representa o dia 28/04/2023 com o céu limpo e ensolarado.

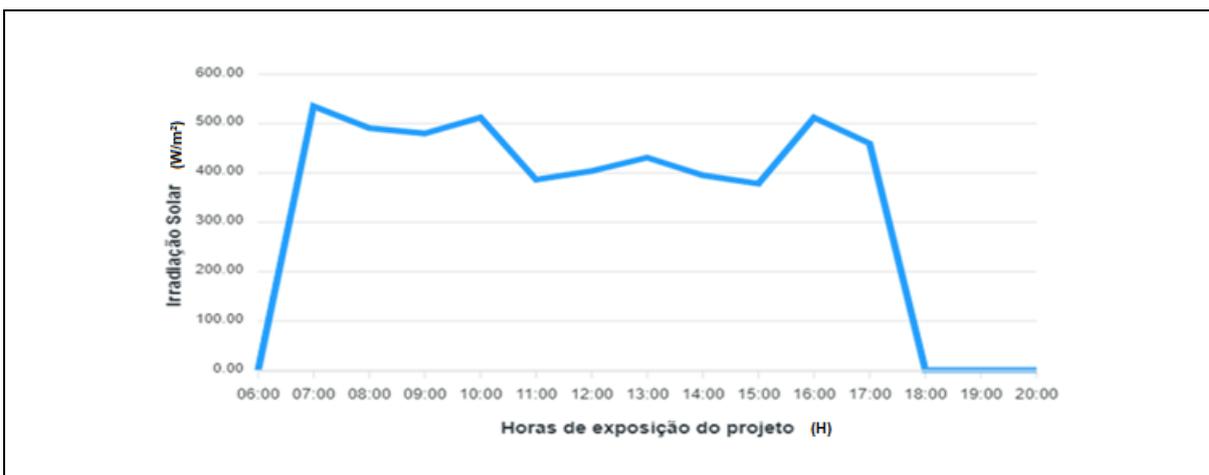
Figura 13 – Dia 28/04/2023



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme a figura acima, a irradiação solar se apresenta da seguinte maneira, conforme o gráfico abaixo.

Gráfico 1 – Gráfico de irradiação solar medido pelo sensor LDR



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme o gráfico, as informações em uma média dos horários informados no gráfico apresentam cerca de 332 W/m².

Tendo como geração nesse dia um média de 7.67V de tensão, 7.53 mA de corrente e 91.87 mW de potência gerados pela placa solar e consumidos pelo resistor e o cooler fan.

A placa solar apresenta mais eficiência de geração entre os horários de 06 horas até 18 horas. Em análise ao banco de dados efetuada entre os dias 01/05/2023 e 27/05/2023 foram encontrados 146.690 registros com potência de geração maior que 0, foram coletados os dados energéticos e somados dentro dessa escala citada acima chegando ao seguinte resultado, média de tensão de 10.18V, corrente de 10.07mA e potência de 113.88mW.

4.2.2 Turbina Eólica Vertical

A montagem das informações também segue o mesmo fluxo da irradiação solar, capturando informações e efetuando a busca dos horários conforme o gráfico abaixo.

Gráfico 2 – Velocidade dos ventos obtido pelo anemômetro.

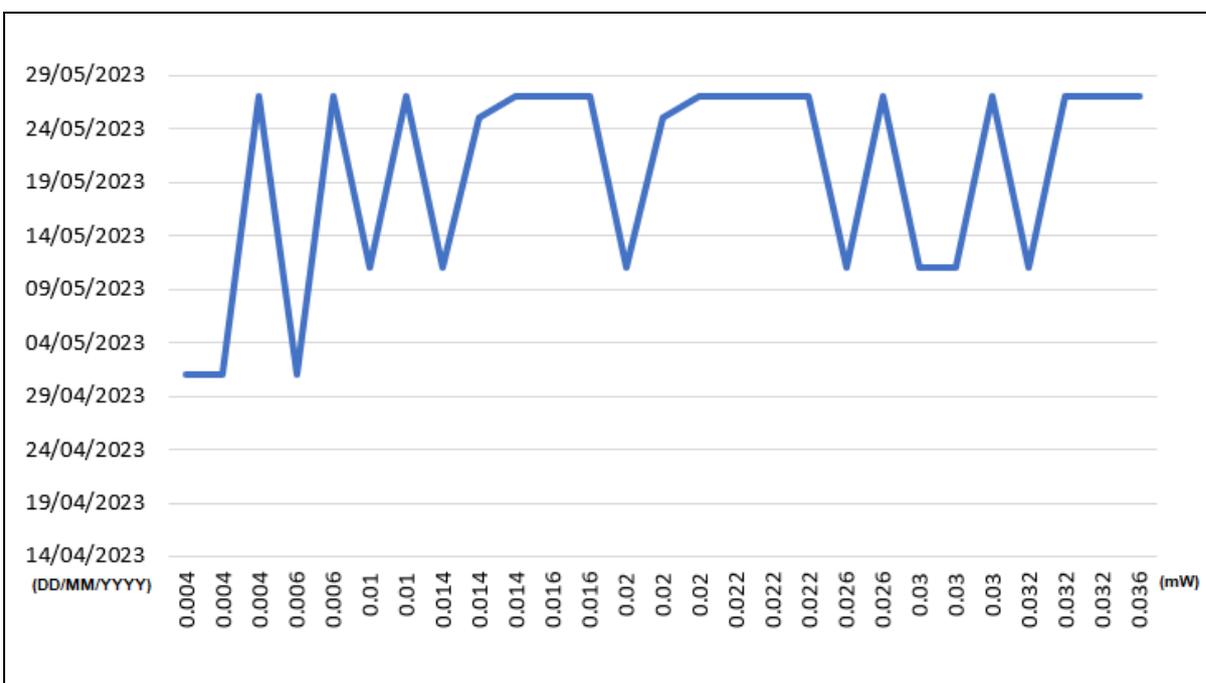


Fonte: Elaborado pelo autor.

O gráfico apresenta velocidade do vento em média no dia 28/04/2023 cerca de 5,32 Km/h. Em análise, a turbina eólica vertical não apresenta boa eficiência de geração, pois a média de geração e consumo de energia é praticamente zerada.

Em uma consulta no banco de dados, tiveram 816 registros capturados entre a data 01/05/2023 a 27/05/2023 que variam de 0,004 mW a 0.036 mW, segue um gráfico demonstrativo abaixo.

Gráfico 3 – Dados de energia gerada pela turbina eólica vertical.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme o trabalho de conclusão de curso de Átila Poll Menezes que integra geração de energia eólica com fotovoltaica em sistema isolados, é apresentado uma curva de potência da energia solar e eólica, e nota-se que a curva de potência da energia solar apresenta de 0W á 14W durante 10 medições já a curva de potência da geração eólica apresenta de 0W á 1W durante 10 medições, chegando a conclusão de que a geração eólica tem uma eficiência muito menor tendo uma baixa contribuição na geração de energia em comparação com a energia solar, levando em consideração que é necessário muitas rajadas de vento para geração de energia, tendo um baixo rendimento em relação ao aerogerador. Efetuando uma correlação ao protótipo produzido, os dois trabalhos de conclusão de curso têm comportamentos similares em relação a geração de energia. A placa solar fotovoltaica apresenta geração de 0mW a 160mW de potência gerada, já a turbina eólica apresenta geração extremamente inferior a geração solar, devido à baixa quantidade de rajadas de vento, sem passar de 0.036mW de potência.

Em um trabalho de conclusão de curso de Leandro Mendes da Silva apresentado na Universidade federal de Goiás no ano de 2016, mostra a irradiância horária média mensal (W/m^2) nos meses de abril e maio se encontram aproximadamente entre os valores 380 a 390.

Em relação ao projeto desenvolvido com uma análise no banco de dados foi efetuado um média da quantidade de dados capturados entre os dias 01/05/2023 e 27/05/2023 das 06 horas até 18 horas, foram encontrados 181.008 registros, somando todos os valores de irradiação solar encontrada pela quantidade de registros há uma média de $416.13 W/m^2$, tensão de 8.35V, corrente de 8.21mA e potência de 92.29mW.

Para o potencial eólico do trabalho de conclusão de curso de Leandro Mendes da Silva chegou-se à conclusão de que a instalação de turbinas eólicas voltadas à microgeração na cidade de Goiânia não seria viável. Os valores sobre incidência dos ventos na cidade têm no máximo 7.5 m/s aproximadamente 27 km/h, sendo de com altura de instalação da turbina equivalente a 30 metros tem média 99,80% com valores menos que 9 km/h. Já com altura equivalente a 120 metros os valores menos que 9 km/h apresentam média de 89,25% dos valores. Em relação ao projeto desenvolvido uma média efetuada com a quantidade registrada no banco de dados entre a data de 01/05/2023 a 27/05/2023 apresentam 216529 registros de dados maiores que 0 km/h na medição da velocidade dos ventos, somando todas as

velocidades diferentes de 0 Km/h, apresenta cerca de 11.34 Km/h da velocidade do vento, tensão de 0.06V, corrente de 0.35mA e potência de 0.000021 mW.

Em comparação ao Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB), medições efetuadas a cerca de 50 metros de altura nos meses de março a maio apresentam média de 18.57 km/h. Já no projeto foram medidos os valores de 11.34 Km/h somente no mês de maio com a altura de 7.5 metros de altura. Para a irradiação solar no mês de maio apresentam uma média ao dia com 0° N de inclinação de 81 Kwh/m² e para o projeto desenvolvido apresentam valor de 0.11 Kwh/m² pelos valores coletados pela placa solar, já pelo módulo LDR apresenta 6,56 Kwh/m².

4.2.3 Análise dos dados

Tabela 1. Comparação da tensão, corrente e potência obtidas da placa solar e da turbina eólica conforme o período de coleta e condições do tempo.

	Fonte de energia, média ± DP		Condições do tempo, média ± DP		Valor-p***
	Placa solar n = 31	Turbina eólica n = 31	Irradiação solar (W/m ²) n = 31	Velocidade do vento (km/h) n = 31	
Tensão (V)					
Diurno*	7,58 ± 3,58	0,04 ± 0,03	371,50 ± 174,89	7,51 ± 5,32	<0,001†
Noturno**	0,42 ± 0,17	0,05 ± 0,05	1,06 ± 4,95	9,93 ± 8,65	<0,001††
Corrente (mA)					
Diurno	7,46 ± 3,57	0,30 ± 0,15	371,50 ± 174,89	7,51 ± 5,32	<0,001†
Noturno	0,31 ± 0,12	0,57 ± 0,19	1,06 ± 4,95	9,93 ± 8,65	<0,001††
Potência (mW)					
Diurno	84,18 ± 41,66	0,00 ± 0,00	371,50 ± 174,89	7,51 ± 5,32	<0,001†
Noturno	0,02 ± 0,12	0,00 ± 0,00	1,06 ± 4,95	9,93 ± 8,65	0,311††

*Coletas realizadas entre 6h00min e 18h00min. **Coletas realizadas entre 18h00min e 6h00min*. ***Valores obtidos da comparação da tensão, corrente e potência entre placa solar e turbina eólica conforme o período de coleta. †Valor obtido após aplicação do teste U de Mann-Whitney. ††Valor obtido após aplicação do teste t de Student para amostras independentes.

Fonte: dados da pesquisa, 2023.

Os dados de tensão (V), corrente (mA), potência (mW), irradiação solar (W/m^2) e velocidade do vento (km/h) foram coletados de forma ininterrupta durante 31 dias. Para viabilizar a realização dos testes de hipóteses, os dados de cada dia foram condensados em valores médios separados nos turnos diurnos, cujos dados foram coletados entre 6h00min e 18h00min e noturnos, cujos dados foram coletados entre 18h00min e 6h00min. Quanto à irradiação solar, o cenário de coleta apresentou valor médio no período diurno de $371,50 \pm 174,89 W/m^2$ e $1,06 \pm 4,95 W/m^2$ no período noturno. Já, a velocidade média do vento no período diurno foi de $7,51 \pm 5,32 km/h$ e no período noturno foi de $9,93 \pm 8,65 km/h$.

Ao comparar, no período diurno, os níveis médios de tensão ($7,58 \pm 3,58$), corrente ($7,46 \pm 3,57$) e potência ($84,18 \pm 41,66$) obtidos por meio da placa solar, aos níveis médios de tensão ($0,04 \pm 0,03$), corrente ($0,30 \pm 0,15$) e potência ($0,00 \pm 0,00$) obtidos por meio da turbina eólica, pode-se perceber diferença estatisticamente significativa ($p < 0,001$), indicando níveis mais elevados relacionados à captação de energia por placa solar.

No período noturno, pode-se perceber que os níveis médios de tensão obtidos por meio da placa solar ($0,42 \pm 0,17$) foram significativamente mais elevados que aqueles obtidos pela turbina eólica ($0,05 \pm 0,05$) ($p < 0,001$). No entanto, os níveis médios de corrente foram significativamente mais baixos quando obtidos pela placa solar ($0,31 \pm 0,12$) ao serem comparados com aqueles obtidos pela turbina eólica ($0,57 \pm 0,19$) ($p < 0,001$). Os níveis médios de potência obtidos pela placa solar ($0,02 \pm 0,12$) e pela turbina eólica ($0,00 \pm 0,00$) não apresentaram diferença estatisticamente significativa ($p = 0,311$).

5 CONCLUSÃO

Nesta pesquisa, foi utilizado uma metodologia para medir a geração de energia solar e eólica. Por meio de um protótipo físico com a integração de alguns componentes houve a possibilidade de captura e armazenamento de informações sobre a geração de energia nos dois modelos citados e os valores de irradiação solar incididos na placa solar e a velocidade do vento medidos por um anemômetro.

Em análise com outros projetos similares, os resultados apresentam os mesmos comportamentos apresentado no protótipo desenvolvido, possuindo muita eficiência na geração de energia por parte da placa solar fotovoltaica e eficiência

extremamente baixa na geração de energia eólica, pelo fato da incidência das rajadas de ventos serem muito baixas, ocasionando em valores de geração mínimos.

Levando em consideração a turbina eólica vertical utilizada, conforme Pinto (2013), essas turbinas são vantajosas pois não é necessário direcioná-las ao vento, porém o comportamento apresentado no projeto não é vantajoso, a turbina necessita de muitas rajadas de vento para que haja uma geração de energia contínua e pouco eficiente.

Já a placa solar fotovoltaica, apresenta eficiência de geração entre os horários de exposição ao sol, tendo o mesmo comportamento que as comparações efetuadas em trabalhos de conclusão similares.

Em análise aos resultados apresentados, a placa solar neste modelo de coleta de informações apresentou melhor eficiência para geração de energia, tendo rendimento total da geração proposta pela desenvolvedora do produto, já a turbina eólica não apresentou o mesmo comportamento, não havendo rajadas de vento suficientes para gerar a capacidade máxima de energia mencionada pelo desenvolvedor.

A velocidade dos ventos em comparação ao CRESESB, apresenta um valor um pouco inferior as informações relatadas pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica, levando em consideração que os valores apresentados pelo projeto estão aproximadamente a 6.7 vezes abaixo ao CRESESB, não houve variação de aproximadamente 60% dos valores obtidos pelo projeto.

A irradiação solar apresentou variação exorbitante no seu valor em comparação ao CRESESB, com uma inclinação de 0° N possui geração de 81 Kwh/m². Com os resultados obtidos pela placa solar há o valor de 0.11 Kwh/m² com o consumo da energia gerada pela placa solar fotovoltaica e com os valores oriundos do módulo LDR apresenta 6,56 Kwh/m², tendo uma diferença enorme entre os dados obtidos pelo projeto e os dados fornecidos pelo CRESESB. A escala de geração do projeto é extremamente diminuída em comparação aos dados fornecidos.

Para implementações futuras, recomenda-se a utilização de um gerador de energia eólica sem hélices, trata-se de um cilindro sem nenhuma hélice, funcionando verticalmente com vibrações geradas pelo movimento, segundo a empresa Vortex Bladeless, a geração de energia é cerca de 30% mais barata que os aerogeradores com hélices. Em relação a geração solar, recomenda-se a utilização das placas solares bifaciais, que segundo a HCC conseguem gerar cerca de 25% mais energias

que painéis solares comuns, tendo um aproveitamento melhor da luz solar e reduzindo custos.

Reforçado pela análise estatística produzida pelo professor se conclui que durante o período diurno a placa solar fotovoltaica apresenta desempenho muito eficiente, diferente do período noturno. Para a turbina eólica vertical possui-se um comportamento contrário, para o período diurno há um desempenho inferior em comparação ao período noturno.

REFERÊNCIAS

ANEEL. **Brasil ultrapassa marca de 10 GW em micro e minigeração distribuída.** Ministério de Minas e Energia, 2022. disponível: < <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/brasil-ultrapassa-marca-de-10-gw-em-micro-e-minigeracao-distribuida>>. Acesso em: 11 setembro 2022.

ARDUINO. **Irradiância Solar W/m² utilizando LDR sensor.** 2020. Disponível em: < <https://forum.arduino.cc/t/irradiancia-solar-w-m-utilizando-ldr-sensor/665825/4>>. Acesso em 21 maio. 2023.

CARDOSO. R.A. **Medição de geração de energia solar e eólica utilizando um protótipo híbrido.** Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). 2021. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/8197/1/ADRIEL%20CARDOSO%20DA%20ROSA.pdf>>. Acesso em 21 maio. 2023.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2021.** Ministério de Minas e Energia, 2021. Disponível em: < https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anu%C3%A1rio_2021.pdf>. Acesso em: 28 agosto. 2022.

FADIGA, E. A. F. A. **Energia Eólica.** 1ª edição. São Paulo: Manole, p.288, 2011. Disponível em: <<http://www.unesc.net/portal/capa/index/533>>. Acesso em 10 setembro. 2022.

HCC. **O que é um painel solar bifacial e quais suas funcionalidades.** (2022). Disponível em: < <https://hccenergiasolar.com.br/o-que-e-um-painel-solar-bifacial-e-quais-suas-funcionalidades/>>. Acesso em 28 maio. 2023.

INTRIERI, L. **Startup cria gerador de energia eólica sem hélice; veja como funciona.** Terra, 2023. Disponível em: <>. Acesso em 28 maio. 2023.

MASTERWALVER. **Sensor de Tensão DC 0-25V.** Masterwalver Electronic shop. "s.d". Disponível em: < <https://www.masterwalkershop.com.br/sensor-de-tensao-dc-0-25v>>. Acesso em: 17 novembro. 2022.

MAKERHERO. **Medindo corrente e tensão com o módulo INA219**. “s.d”. Disponível em: <<https://www.makehero.com/blog/medindo-corrente-e-tensao-modulo-ina219/>>. Acesso em 22 maio. 2023.

MENEZES. Á. P. **INTEGRAÇÃO DA GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA COM FOTOVOLTAICA EM SISTEMAS ISOLADOS – CAMPUS ALEGRETE**. Alegrete, 2011. Disponível em: <<https://dspace.unipampa.edu.br/bitstream/riu/944/1/Integra%C3%A7%C3%A3o%20da%20gera%C3%A7%C3%A3o%20de%20energia%20e%C3%B3lica%20com%20fotovoltaica%20em%20sistemas%20isolados%20%E2%80%93%20campus%20Alegrete.pdf>>. Acesso em 28 maio. 2023.

MME. Et. Al. **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de S. Brito**. CRESESB, 2014. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em: 28 maio. 2023.

PINTO, M. O. **Fundamentos de energia eólica**. Rio de Janeiro: LTC, 2013. Disponível em: <<http://www.unesc.net/portal/capa/index/533>>. Acesso em 03 outubro.2022

RAMOS. A. C; SOUZA. R. L. F. **COMPARATIVO DE SISTEMA DE ENERGIA FOTOVOLTAICA E ENERGIA EÓLICA PARA RESIDÊNCIAS**. Faculdades Integradas de Caratinga, 2017. Disponível em: <<https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/463/1/Monografia%20Final%20Cristiano%20e%20Felipe.pdf>>. Acesso em 21 maio. 2023.

SIMABUKILO, L. A. N. Et al. **ENERGIA, INDUSTRIALIZAÇÃO E MODERNIDADE – HISTÓRIA SOCIAL**. Projeto Eletromemória ,2017. Disponível em:<<https://eletromemoria.fflch.usp.br/content/energia-industrializacao-e-modernidade-historia-social-lucas-antonio-nizuma-simabukulo-luiz>>. Acesso em 10 setembro. 2022.

SILVA. M.B; ABREU.J. E. **ANÁLISE DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UMA MICRO USINA FOTOVOLTAICA EM RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR**. Faculdades Integradas de Caratinga, 2017. Disponível em: <<https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/469/1/TCC%20Bruno%20Ernandes.pdf>>. Acesso em 21 maio. 2023.

SILVA. M. L. **POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DAS ENERGIAS EÓLICA E SOLAR EM GOIÂNIA**. Universidade Federal de Goiás, 2016. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/POTENCIAL_DE_UTILIZA%C3%87%C3%83O_DAS_ENERGIAS_E%C3%93LICA_E_SOLAR_EM_GOI%C3%82NIA.pdf>. Acesso em 21 maio.2023.

SILVEIRA. S. A. **ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA A IMPLANTAÇÃO DE GERADOR EÓLICO RESIDENCIAL**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, 2021. Disponível em:<<https://repositorio.ifsc.edu.br/bitstream/handle/123456789/2207/TCC%20Vers%C3%A3o%20Final%20-%20Andr%C3%A9%20da%20Silva%20Silveira%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 21 maio. 2023.

VIEIRA, G. R. Et. Al. **MEDIÇÃO DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL UTILIZANDO SENSOR LDR**. Revista de Engenharia e Tecnologia, 2015. Disponível em: <<https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/11382/209209209348>>. Acesso em 21 maio. 2023.

WANDERLEY, A. C. F.; CAMPOS, A. L. P. S. **PERSPECTIVAS DE INSERÇÃO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO RIO GRANDE DO NORTE**. Holos, v. 3, p. 3, 2 ago. 2013. Disponível em: <<https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1493/677>>. Acesso em: 10 setembro. 2022.