

**REDE DE ENSINO DOCTUM  
ENGENHARIA ELÉTRICA**

**MAYKON LINCOLN LIMA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA HÍBRIDO  
FOTOVOLTÁICO EÓLICO APLICADO A ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO  
LOTEAMENTO SILVA ARAÚJO EM CARATINGA**

**CARATINGA**

**2018**

**MAYKON LINCOLN LIMA  
REDE DE ENSINO DOCTUM**

**ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA HÍBRIDO  
FOTOVOLTÁICO EÓLICO APLICADO A ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO  
LOTEAMENTO SILVA ARAÚJO EM CARATINGA**

**Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Elétrica da Rede de Ensino Doctum, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Elétrica.**

**Área de Concentração: Energias  
Renováveis**

**Orientador: Prof. Msc. Ricardo Botelho  
Campos**

**CARATINGA**

**2018**

**TERMO DE APROVAÇÃO**

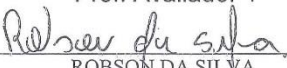
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO EÓLICO APLICADO A ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO LOTEAMENTO SILVA ARAÚJO EM CARATINGA, elaborado pelo(s) aluno(s) MAYKON LINCOLN LIMA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.**

Caratinga 06/12/2018

  
\_\_\_\_\_  
RICARDO BOTELHO CAMPOS  
Prof. Orientador

  
\_\_\_\_\_  
VINICIUS MURILO LIMA RODRIGUES  
Prof. Avaliador 1

  
\_\_\_\_\_  
ROBSON DA SILVA  
Prof. Examinador 2

*“Não a nós, Senhor, nenhuma glória a nós, mas, sim, ao Teu Nome, por Teu amor e  
por Tua fidelidade!”*

*(Sl 115.1 – Bíblia King James Atualizada)*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus, pois tudo que eu tenho, sou, ou faço, é pelo Seu favor em minha vida. Não há palavras para expressar minha gratidão por ter me concedido a conquista deste sonho. Toda honra e toda glória sejam dadas a Ele.

À minha mãe Maria Aparecida, que todas as vezes que eu pensei em desistir esteve ao meu lado, me incentivando e me dando auxílio, essa conquista é mais sua do que minha.

À minha família, que é minha base, pois a família é o bem mais precioso que possuímos. Em especial ao meu tio Márcio Ferreira, que esteve disposto sempre a me ajudar na graduação quando eu precisei.

Aos meus professores, por seus ensinamentos, paciência e incentivo ao longo da caminhada acadêmica, sem eles nada disso seria exequível. Em especial ao mestre Ricardo Botelho Campos, pois através de suas orientações foi possível realizar este trabalho.

Dai honra a quem tem honra.

*“Todos os nossos sonhos podem se realizar,  
se tivermos a coragem de persegui-los. ”*

*(Walt Disney)*

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais

CC – Corrente Contínua

CRESESB – Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito

COSIP - Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FV - Fotovoltaica

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

IP – Iluminação Pública

KW – Quilo Watts

MME – Ministério de Minas e Energia

MW – Mega Watts

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

SICONFI - Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro

SFCR - Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Taxa da COSIP .....	21
<b>Figura 2</b> - Sistema fotovoltaico conectado à rede.....	24
<b>Figura 3</b> - Sistema off-grid .....	25
<b>Figura 4</b> - Desenho esquemático turbina eólica .....	27
<b>Figura 5</b> - Evolução da geração eólica no Brasil .....	29
<b>Figura 6</b> - Poste híbrido fotovoltaico eólico.....	32
<b>Figura 7</b> - Esquema de ligação sistema híbrido.....	33
<b>Figura 8</b> - Loteamento Silva Araújo .....	35
<b>Figura 9</b> - Foto loteamento Silva Araújo .....	35
<b>Figura 10</b> - Potencial solar em Caratinga .....	38
<b>Figura 11</b> - Potencial eólico em Caratinga.....	40
<b>Figura 12</b> - Aerogerador <i>Air Breeze</i> .....	42
<b>Figura 13</b> - Curva de potência de saída do aerogerador .....	43
<b>Figura 14</b> - Placa fotovoltaica .....	44
<b>Figura 15</b> - Controlador de carga híbrido.....	45
<b>Figura 16</b> - Bateria estacionária.....	47
<b>Figura 17</b> - Especificações bateria estacionária .....	48
<b>Figura 18</b> - Inversor híbrido .....	48
<b>Figura 19</b> - Disposição dos postes no loteamento.....	50
<b>Figura 20</b> - Tarifa IP CEMIG .....	54



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Dados iluminação pública .....	36
<b>Tabela 2</b> - Consumo das lâmpadas .....	37
<b>Tabela 3</b> - Especificações luminária .....	41
<b>Tabela 4</b> - Consumo da luminária .....	41
<b>Tabela 5</b> - Consumo total das luminárias.....	42
<b>Tabela 6</b> - Especificações aerogerador .....	43
<b>Tabela 7</b> - Potência de saída do aerogerador por mês.....	44
<b>Tabela 8</b> - Especificações placa fotovoltaica .....	45
<b>Tabela 9</b> - Especificações controlador de carga .....	46
<b>Tabela 10</b> - Especificações inversor .....	49
<b>Tabela 11</b> - Geração de energia elétrica do aerogerador .....	51
<b>Tabela 12</b> - Geração de energia elétrica do sistema híbrido .....	51
<b>Tabela 13</b> - Custo dos equipamentos .....	53
<b>Tabela 14</b> - Custo IP lâmpadas vapor de sódio .....	54
<b>Tabela 15</b> - Custo equipamentos para 20 postes híbridos.....	54
<b>Tabela 16</b> - Custo IP luminária de led.....	55
<b>Tabela 17</b> - Economia IP substituindo as lâmpadas por led .....	55
<b>Tabela 18</b> - Custo equipamento para 6 postes híbridos .....	56

LIMA, Maykon Lincoln. **ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTÁICO EÓLICO APLICADO A ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO LOTEAMENTO SILVA ARAÚJO EM CARATINGA**. Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica. Curso de Engenharia Elétrica. Rede de Ensino Doctum. Caratinga, 2018.

## **RESUMO**

Os sistemas híbridos são aqueles que utilizam mais de uma fonte de energia para gerar energia elétrica, tendo assim uma melhor eficiência energética. Segundo a EPE (Empresa de Pesquisa Energética), em 2016 cerca de 3,3% de toda energia consumida no país, ou seja 15.035 GWh foi destinada a iluminação pública. O Brasil possui aproximadamente 20 milhões de pontos de iluminação pública, e sua maioria utilizam lâmpadas de vapor de sódio. O objetivo do presente trabalho é fazer um estudo de viabilidade para comprovar a utilidade desse sistema aplicado a iluminação pública, utilizando duas fontes renováveis, sendo elas fotovoltaica e eólica, com iluminação por led, trazendo economia, sustentabilidade e uma eficiência energética. Afim de diversificar a matriz elétrica brasileira, utilizando fontes renováveis, que vem sendo o futuro da geração de energia elétrica.

**Palavras-chave:** Sistemas Híbridos. Fontes Renováveis. Iluminação Pública.

LIMA, Maykon Lincoln. **ESTUDO DE VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTÁICO EÓLICO APLICADO A ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO LOTEAMENTO SILVA ARAÚJO EM CARATINGA**. Caratinga, 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Elétrica. Curso de Engenharia Elétrica. Rede de Ensino Doctum. Caratinga, 2018.

### **ABSTRACT**

Hybrid systems are those that use more than one source of energy to generate electricity. According to the EPE (Energy Research Company), in 2016 about 3.3% of all energy consumed in the country, that is, 15,035 GWh was intended for street lighting. Brazil has approximately 20 million public lighting points, and most of them use sodium lamps. The present work was made of a feasibility study to prove the usefulness of the public lighting system, using two renewable sources, being photovoltaic and wind, with controlled lighting, bringing economics, sustainability and energy. In order to diversify a Brazilian electrical matrix, using renewable sources, which is the future of electricity generation.

**Palavras-chave:** Hybrid systems. Renewable sources. Street lighting.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1 Objeto de estudo</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2 Hipóteses</b> .....	<b>15</b>
<b>1.3 Objetivos</b> .....	<b>16</b>
<b>1.4 Justificativa</b> .....	<b>17</b>
<b>2 REFERÊNCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 História da Iluminação pública</b> .....	<b>19</b>
2.1.1 Iluminação Pública no Brasil .....	20
2.1.2 Iluminação Pública em Caratinga / MG .....	21
<b>2.2 Energia Solar Fotovoltaica</b> .....	<b>22</b>
2.2.1 Equação para cálculo de geração de energia da placa fotovoltaica.....	25
<b>2.3 Energia Eólica</b> .....	<b>26</b>
<b>2.4 Sistemas Híbridos</b> .....	<b>29</b>
2.4.1 Poste híbrido fotovoltaico eólico aplicado a iluminação pública .....	31
<b>3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA</b> .....	<b>34</b>
<b>3.1 Escolha do local</b> .....	<b>34</b>
<b>3.2 Levantamento de dados da iluminação pública do local</b> .....	<b>36</b>
<b>3.3 Potencial solar do local</b> .....	<b>37</b>
<b>3.4 Potencial eólico do local</b> .....	<b>39</b>
<b>3.5 Poste com geração híbrida fotovoltaica eólica</b> .....	<b>41</b>
3.5.1 Aerogerador do poste híbrido.....	42
3.5.2 Placa fotovoltaica do poste híbrido.....	44
3.5.3 Controlador de carga híbrido.....	45
3.5.4 Bateria estacionária.....	47
3.5.5 Inversor .....	48
3.5.6 Cabeamento do sistema híbrido.....	49

<b>3.6 Geração de energia elétrica através do sistema híbrido .....</b>	<b>50</b>
<b>3.7 Estudo de viabilidade.....</b>	<b>51</b>
3.7.1 Poste híbrido na iluminação pública convencional .....	52
3.7.2 Poste híbrido na iluminação pública com luminárias de Led .....	52
3.7.3 Custo dos equipamentos.....	53
3.7.4 Custo da Iluminação Pública e viabilidade econômica.....	53
3.7.4.1 <i>IP lâmpadas de vapor de sódio</i> .....	54
3.7.4.2 <i>IP luminárias de led</i> .....	55
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica está presente no dia-a-dia e é fundamental para a vida humana, o ser humano busca uma comodidade e melhor qualidade de vida desde a pré-história. O homem, dentre todos os seres vivos é o mais dependente da energia em suas diversas formas, principalmente a elétrica. Através da energia elétrica o homem retira suas necessidades básicas, tais como sua a locomoção, alimentação e manutenção de vida. A partir daí, a cada ano que passa, a cada geração que se inicia, o consumo por energia elétrica aumenta. Novas tecnologias, novos processos, tudo isso vem com o intuito de aumentar a comodidade, o bem-estar, porém, traz consigo o aumento da geração de energia elétrica, e com isso diversos problemas, um deles sendo a degradação ao meio ambiente, pois “para qualquer fonte de energia há um dano ambiental, nem que seja para produzir a energia que ela usa”.

O consumo de energia elétrica é um dos principais indicadores que o país está se desenvolvendo economicamente, e aumentando assim seu nível de qualidade de vida. Muitos estudos têm apontado o alto crescimento do consumo de energia no Brasil. Um estudo feito pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) realizado em 2014, relata que o consumo de energia elétrica no país irá crescer 4,3%, em média, nos próximos 10 anos. Com o crescente consumo de energia elétrica, é preciso aumentar a geração de energia, o que causa muitos danos ao meio ambiente, seja pela construção de novas hidrelétricas, ou extração de petróleo e carvão para termelétricas. No mundo inteiro fala-se muito sobre eficiência energética, fontes renováveis, preservação do meio ambiente, mas poucas coisas são feitas para que isso verdadeiramente aconteça.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, através do “Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2017” o consumo de energia elétrica no setor de iluminação pública equivale a 3,3% de toda energia consumida no Brasil, ou seja, 15.035 GWh por ano. O Brasil possui hoje aproximadamente 20 milhões de pontos de iluminação pública. A maioria destes pontos ainda utilizam lâmpadas com vapor de sódio, e uma pequena parte lâmpada com vapor de mercúrio, e apenas 5% utilizam lâmpadas de LED. Através dessa problemática vem a proposta desse trabalho, utilizar energias renováveis em iluminação pública, através de um gerador híbrido, que são sistemas que utilizam mais de uma fonte de energia, podendo uma suprir a falta de

outra quando esta não estiver gerando, que no presente trabalho será através de energia solar por placas fotovoltaicas e energia eólica, causando uma melhor eficiência energética.

### **1.1 Objeto de estudo**

A matriz energética brasileira atualmente conta com sua predominância em fontes renováveis, a energia hidráulica continua sendo a mais importante na matriz elétrica, correspondendo a 68,1% da geração total em 2016, seguido da energia através das termelétricas.

A necessidade por desenvolvimento e aperfeiçoamento das fontes renováveis está associada a redução do impacto ambiental, e a exaustão das fontes não renováveis, de onde é retirada grande parte da energia usada no mundo, podendo ser escassa. Por essa razão vemos diversos estudos sobre fontes renováveis, e até mesmo programas de incentivo do governo. As energias renováveis representam grandes benefícios para a natureza, porém com alto custo, mas seu impacto ambiental pode ser bem menor se comparada com fontes não renováveis, podendo reduzir também as emissões de CO<sub>2</sub>, e gases de efeito estufa.

Hoje no Brasil de acordo com a EPE (Empresa de Pesquisa Energética) cerca de 3,3% de toda energia consumida anualmente, ou seja 15.035 GWh é destinada a iluminação pública, diante disso seria viável a implantação de um sistema híbrido para gerar energia para seu consumo próprio?

### **1.2 Hipóteses**

O gerador híbrido vem sendo muito utilizado para conciliar duas ou mais fontes para a geração de energia elétrica, aproveitando assim o máximo energeticamente. Neste trabalho o gerador irá produzir energia através das placas fotovoltaicas, captando a incidência solar, conjunto com um aerogerador, captando a incidência dos ventos. As duas fontes energéticas trabalharão em paralelo, podendo gerar simultaneamente.

De acordo com o Convênio ICMS 16/2015, autoriza os governos estaduais a isentarem o ICMS sobre a energia elétrica produzida de fontes renováveis em

residências, comércios, indústrias, edifícios públicos e zona rural, por meio da micro e mini geração distribuída solar fotovoltaica, o que geraria mais viabilidade ao sistema híbrido. Esta medida incentiva a população e empresas a investirem mais em energias renováveis, com geração de energia limpa, reduzindo gastos com energia elétrica sem causar emissões de gases de efeito estufa.

O Ministério de Minas e Energia (MME), criou em dezembro de 2015 o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica (ProGD), para ampliar e aprofundar as ações de estímulo à geração de energia pelos próprios consumidores, com base nas fontes renováveis de energia (em especial a solar fotovoltaica). O Programa pode movimentar pouco mais de R\$ 100 bilhões em investimentos, até 2030. A geração distribuída traz benefícios para o consumidor e para o setor elétrico: está no centro de consumo, o que reduz a necessidade de estrutura de transmissão elétrica e evita perdas. Até 2030, 2,7 milhões de unidades consumidoras poderão ter energia gerada por elas mesmas, entre residência, comércios, indústrias e no setor agrícola, o que pode resultar em 23.500 MW (48 TWh produzidos) de energia limpa e renovável, o equivalente à metade da geração da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Com isso, o Brasil pode evitar que sejam emitidos 29 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> na atmosfera.

Diante de diversos estudos já feitos analisando energia eólica e energia solar através de placas fotovoltaicas, percebe-se que são energias rentáveis, limpas, renováveis e de certa forma abundante. Neste sentido o sistema híbrido fotovoltaico eólico que envolve as duas energias para sua geração tende a ser viável para a iluminação pública.

### **1.3 Objetivos**

O presente trabalho tem por objetivo geral realizar um estudo de viabilidade da implantação do sistema híbrido fotovoltaico eólico aplicado a iluminação pública no loteamento Silva Araújo, em Caratinga MG.

Através do objetivo geral, considera-se os seguintes objetivos específicos para se chegar a uma possível conclusão: realizar os levantamentos das incidências solar e eólica do local, para o cálculo da geração de energia elétrica pelo sistema híbrido; realizar o levantamento do consumo e gastos de energia elétrica na iluminação pública através das lâmpadas de vapor de sódio e luminárias de led; e avaliar a viabilidade



técnica, financeira e econômica do sistema, através do seu funcionamento, da sua geração de energia, do seu orçamento e retorno financeiro.

#### **1.4 Justificativa**

Em meio ao cenário mundial sendo palco de diversos danos ambientais, a exploração de recursos energéticos limitados, especialistas vem defendendo o uso de energias renováveis para a diminuição dos impactos ao meio ambiente, reduzindo gases de efeito estufa e aquecimento global, e o aproveitamento de fontes de energias que não se esgotem. Para isso um dos meios seria a substituição de uma das principais fontes energéticas do mundo, o petróleo, combustível fóssil não renovável, para energias renováveis, como a energia solar e eólica, que ao longo dos anos está em constante crescimento.

Em 2015 o Brasil passou por uma crise hídrica, com um longo tempo de estiagem, que afetou não somente o setor de geração de energia elétrica, mas também o bolso dos brasileiros. Por ser um país cujo a maior parte da matriz energética provém das hidrelétricas, devido à falta de chuvas, fez se necessário o uso de mais usinas termelétricas, que por sua vez tem um custo maior para geração de energia elétrica. Devido ao alto valor da conta de luz, crescem também a inflação, e torna produtos mais caros para o consumidor final.

A busca por recursos renováveis faz-se tão importante que o governo brasileiro criou o PROINFA, Programa de Incentivo às Fontes Alternativas, que tem o objetivo de aumentar a participação das fontes renováveis, tais como pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas, e usinas termelétricas a biomassa, para a produção de energia elétrica. O intuito do governo é proporcionar a diversidade das fontes da Matriz Energética Brasileira, através de fontes renováveis, a fim de criar uma maior segurança no abastecimento de energia elétrica, e também valorizar as características de geração em cada região.

O futuro da geração de energia elétrica são as energias renováveis, com uma melhor eficiência, e menor danos ao meio ambiente, essa fonte energética está em franca expansão, não só no Brasil, mas também no mundo. Com isso podendo aplicar o uso dessas fontes a iluminação pública, a fim de reduzir gastos para o consumidor final, ter uma geração mais eficiente, e um menor dano ao meio ambiente.

Portanto vemos a importância desse trabalho e sua relevância, ao abordar energias renováveis, que está sendo a melhor forma de gerar energia elétrica de forma sustentável, a fim de conscientizar e incentivar o conhecimento e o uso dessa tecnologia para a sociedade, e o aperfeiçoamento do profissional da área. E se comprovada a sua viabilidade levar o governo, indústrias, comércios e pessoas a investir em sistemas híbridos.

## 2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será abordado uma breve descrição sobre o embasamento deste trabalho, correlacionando as energias eólicas e fotovoltaicas, levando em consideração a iluminação pública no Brasil convencional e através de geradores híbridos.

### 2.1 História da Iluminação pública

A iluminação vem sendo uma questão para humanidade desde os primórdios, pois antes as práticas do dia-a-dia só poderiam ser feitas enquanto o sol iluminava o ambiente, determinando assim a noite para o descanso e o dia para as atividades. Mas com o passar dos tempos, as novas invenções associadas à iluminação, o início da iluminação pública, houve a descaracterização desta relação, mudando assim os hábitos das pessoas. As tarefas então que só poderiam ser realizadas de dia, passaram a ser realizadas em qualquer horário, sendo um avanço para a humanidade. (ROSITO, 2009)

A iluminação pública é fundamental para a vida moderna, sendo uma peça importante para o combate ao crime e para o desenvolvimento das cidades. A sua origem se dá desde a utilização de energia natural e artificial. O desenvolvimento do cérebro está relacionado as funções da visão, tendo a iluminação como peça chave para esse desenvolvimento. Nos povos antigos, já haviam indícios de uso da iluminação artificial por meio da utilização de óleo. Séculos mais tarde, o óleo de baleia passou a ser empregado em diversos países. A Iluminação pública tem como provável origem na Inglaterra em 1415, quando comerciantes cobraram alguma providência para a diminuição de crimes. Então as lâmpadas a gás passaram a ser utilizadas em larga escala durante o século XIX e início do século XX, sendo então substituídas pelas lâmpadas elétricas. (ROSITO, 2009)

Inicialmente, a IP era realizada através de lampiões a combustível, utilizando óleo vegetal, mineral ou animal, e depois o querosene e o gás. Mas foi em 1882 em Nova York, que o dínamo começou a ser usado em escala comercial, pela *Edson Electric Light Company*, esse mecanismo possibilitou que a IP deixasse de ser feita com lampiões e chegasse na modernidade da eletricidade. (MARTINS, 2011)

As lâmpadas elétricas foram inicialmente as chamadas lâmpadas a arco voltaico, cujos estudos de desenvolvimento iniciaram-se por volta de 1800. Em 1879, foi inventada a lâmpada com filamento incandescente, por Thomas Edison. Esta lâmpada viria a se tornar a lâmpada com grande praticidade que a fez perdurar como única tecnologia elétrica que viria a ser utilizada por aproximadamente 56 anos (1879 a 1935). (CODI, 1988).

A IP desempenha um papel de muita importância na sociedade, no desenvolvimento, na segurança e na valorização das cidades. A iluminação pública tem a função de não apenas fornecer claridade em locais públicos, mas também promover a segurança, a estética dos lugares e conjunto a isso é necessário haver um serviço de qualidade, eficaz, e equipamentos que proporcionem uma melhor eficiência. (ROSITO, 2009)

As novas tecnologias mais eficientes e a modernização dos parques de iluminação pública, trazem consigo uma evolução na qualidade do serviço de iluminação e ganhos diretos com a redução no consumo de energia elétrica. (ROSITO, 2009)

### 2.1.1 Iluminação Pública no Brasil

No Brasil o início da iluminação pública nos remete ao século XVIII, quando foram instaladas cerca de 100 luminárias a óleo de azeite, na cidade do Rio de Janeiro, em 1794. (ROSITO, 2009)

Em 1879 Dom Pedro II concede a Thomas Edison o privilégio de introduzir no Brasil os aparelhos e processos de sua invenção ligada a IP. Em 1887 foi inaugurada uma usina térmica em Porto Alegre da Companhia Fiat Lux, dando início a iluminação pública elétrica no país, com mais de 100 lâmpadas instaladas. No início do século XX, intensifica-se a evolução da geração de energia no Brasil, contribuindo para a evolução da IP. Cidades como o Rio de Janeiro apresentavam uma evolução de dez mil pontos por década na primeira metade do século XX. Em 1960 quando se inicia o uso de lâmpadas de descarga esse número se intensifica ainda mais. (ROSITO, 2009)

Mais tarde percebendo que o campo se abria para a energia elétrica, uma empresa Canadense se instala no Brasil. Com isso a empresa começa a investir em IP no país. (MARTINS, 2011)

A empresa Light chega ao Rio de Janeiro quando as ruas ainda eram iluminadas por lâmpadas a gás, com isso decidem começar obras de geração de energia. Com isso a Rio Light dá início a construção da Usina de Fontes em Piraí. Com o avanço da energia elétrica e das tecnologias a IP dá um salto em seu desenvolvimento no Brasil. (MARTINS, 2011)

### 2.1.2 Iluminação Pública em Caratinga / MG

Em Caratinga - MG, por meio da lei nº 3667/2017 que institui o Código Tributário do Município de Caratinga, no capítulo I Da Contribuição para o Custeio do Serviço de Iluminação Pública (COSIP), diz que a COSIP tem como fato gerador a prestação pelo município do serviço de iluminação pública de praças, avenidas, ruas e demais logradouros públicos. A COSIP é cobrada mensalmente na fatura de consumo de energia elétrica, cobrada pela CEMIG, de cada unidade imobiliária distinta. Este custo é necessário para custeio de serviços de IP, incluindo instalação, consumo de energia, manutenção, melhoramento, operação, fiscalização, e demais atividades ligadas a IP. São isentos pagamentos da COSIP os contribuintes possuidores de unidades consumidoras residências, cujo consumo de energia elétrica mensal não ultrapasse a 60 kWh. (CAMARA MUNICIPAL DE CARATINGA, 2017)

A figura 1 demonstra as taxas da COSIP em Caratinga.

**Figura 1 - Taxa da COSIP**

TABELA ANEXA XIII	
CONTRIBUIÇÃO PARA CUSTEIO DE SERVIÇO DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA – COSIP	
CONSUMO (KW)	PERCENTUAL(%)
ATÉ 30 kW	ISENTO
DE 31 A 60 KW	ISENTO
DE 61 A 100 KW	3.00
DE 101 A 200 KW	6.00
DE 201 A 300	10.00

**Fonte:** CAMARA MUNICIPAL DE CARATINGA, 2017

De acordo com o Sistema de Informações Contábeis e Fiscais do Setor Público Brasileiro SICONFI, através do Balanço Anual de 2016 de Caratinga, foram gastos no setor de Contribuição de Iluminação Pública cerca de R\$ 5.241.801,39.

## **2.2 Energia Solar Fotovoltaica**

O sol é responsável por praticamente todas as fontes de energia na terra, para que haja vida na terra o sol se faz necessário, ou seja, em análise, todas as fontes de energia da terra são derivadas do sol. Dessa forma o sol, também, é responsável pelos ciclos das águas, pois a partir dele se inicia a evaporação e depois a precipitação e conseqüentemente os rios, o represamento da água (e geração de energia). O sol, ainda, é responsável pelo aquecimento do ar que induz a circulação atmosférica, causando os ventos (e a geração eólica). A energia solar, também, é responsável pelos integrantes do reino vegetal, pois a existência da energia solar permitiu que as plantas realizassem a fotossíntese e a transpiração. Com o acúmulo dos restos das plantas e dos animais surgiram algumas fontes de energia, como: petróleo, carvão vegetal e gás natural. (CRESESB, 2006)

Em 1839 Becquerel descobriu o efeito fotovoltaico no selênio. A eficiência da conversão das novas células fotovoltaicas de silício foram desenvolvidas em 1958, em 11 % porém seu custo foi bem alto (\$1000/W). Com isso a primeira aplicação de células fotovoltaicas foi no espaço, onde o custo não seria problema e não haveria nenhuma outra fonte de energia no momento. Em 1960 foram descobertas através de pesquisas outros materiais para utilização em células fotovoltaicas, como o arseneto de gálio (GaAs). (KALOGIROU,2016)

Em 1953 Calvin Fuller elaborou um processo de difusão para injetar impurezas em cristais de silício de modo a controlar as suas propriedades elétricas (“dopagem”). Ele então construiu uma barra de silício com uma baixa concentração de gálio para que o mesmo se tornasse condutor, sendo conhecido como silício “tipo p” (por conter cargas móveis positivas). Enquanto isso, Gerald Pearson, mergulhou essa barra dopada em banho quente de lítio, criando na superfície da barra uma zona que continha elétrons livres em excesso, este lítio foi chamado de “tipo n” (por conter carga negativa). A junção entre as regiões do silício “tipo n” que fica em contato com o silício “tipo p” denomina-se “junção p-n”, esta região contém um campo elétrico constante. Ao analisar os aspectos elétricos Person observou que em contato com a luz, era

produzida uma corrente elétrica dando à invenção da primeira célula de silício da história. Quando Person comparou com a célula de selênio (eficiência máxima menor que 1%), observou eficiência próxima de 4% tornando-a mais vantajosa. (SILVA & SILVA, 2013)

A célula fotovoltaica é definida como um conversor fotovoltaico, desenvolvido especificadamente para transformar a energia proveniente da luz em energia elétrica. Os módulos fotovoltaicos atualmente são fabricados geralmente com células de silício cristalino, monocristalino e policristalino. Na maioria dos casos os módulos são compostos por várias células associadas em série e distribuídas uniformemente ao longo do módulo. Esses módulos fotovoltaicos são construídos com a finalidade de gerar correntes contínuas (CC) em baixa tensão, na medida em que as células são expostas a luminosidade. A capacidade de produção de cada módulo está diretamente relacionada com a condição climática do ambiente onde está o módulo (GUIMARÃES, 2012).

Nos pontos positivos a energia FV se destaca por ser proveniente de uma fonte inesgotável, por isso se tem uma confiabilidade nesse sistema, e sendo bastante utilizado em lugares hostis. Não necessita de grande manutenção, e possui longa durabilidade. Não causa danos ao meio ambiente, e está sendo considerada como uma das fontes futuras para a geração de energia elétrica. (CÂMARA, 2011).

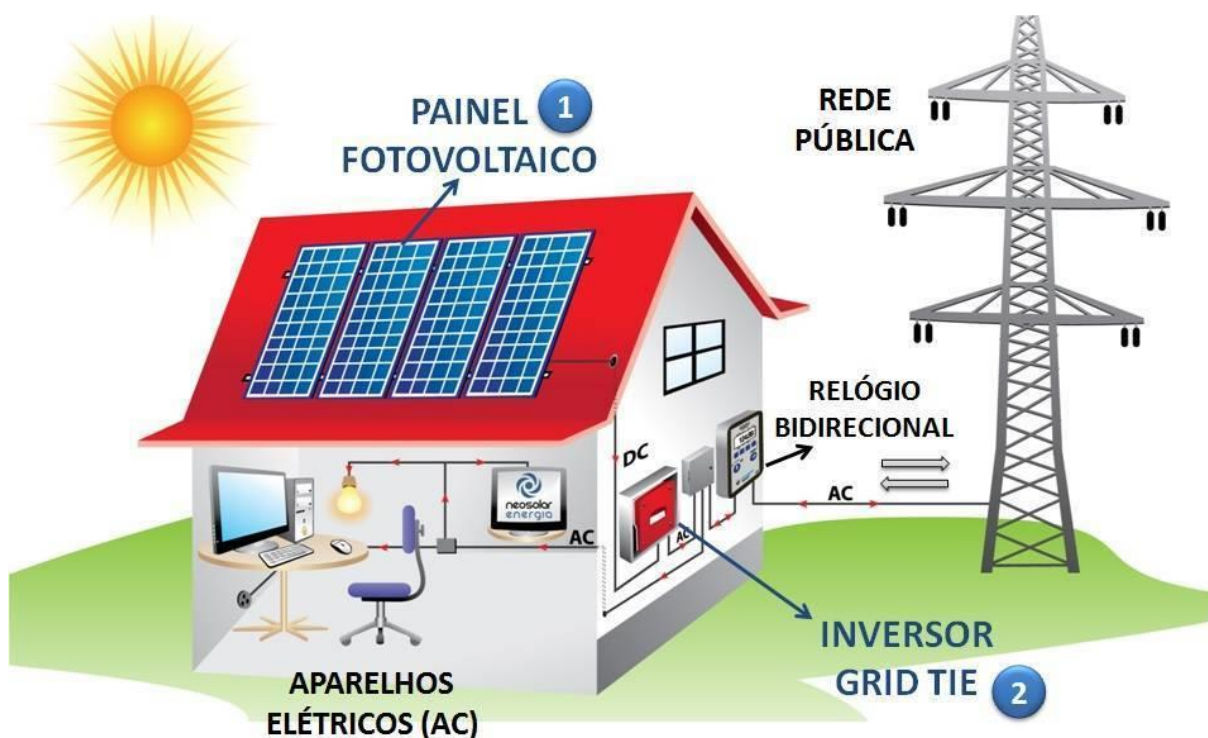
Nos pontos negativos está relacionado aos fatores climáticos, que causa o efeito de que em certas regiões não seja viável o uso dessa energia. O acúmulo de nuvens pode dificultar a geração. Os equipamentos que compõe a energia FV ainda requer um elevado custo de investimento. (CÂMARA, 2011).

Existem duas configurações básicas de sistemas fotovoltaicos, sistemas isolados (*off-grid*) e sistemas conectados à rede elétrica (*on-grid*). Os sistemas fotovoltaicos isolados normalmente são utilizados para atendimento em locais remotos, onde não há acesso à rede elétrica convencional ou em aplicações especiais, como satélites ou sistemas de alimentação para equipamentos isolados, como radares de trânsito, telefones em rodovias, entre outros. Nestes casos emprega-se o uso de um banco de baterias, responsável pelo armazenamento de energia para utilização em períodos sem irradiação solar. Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCR), por outro lado, são ligados à rede de distribuição de energia. Nestes casos, a energia gerada pode ser injetada na rede, e ela, pode ser vista como o elemento armazenador, uma vez que a energia gerada é colocada em paralelo com

a energia da rede. Este sistema apresenta algumas vantagens importantes: produtividade elevada (toda a energia gerada pelos módulos é utilizada) e não há a necessidade de um banco de baterias (que geralmente apresentam baixa vida útil dentre os elementos de um sistema fotovoltaico, e um alto custo). Além disso, é baixa a probabilidade de um sistema fotovoltaico conectado à rede causar o fenômeno denominado ilhamento. (CÂMARA, 2011).

Na figura 2 pode-se visualizar os elementos que envolvem a instalação de painéis fotovoltaicos interligados à rede. Observa-se os módulos onde ocorre a transformação de radiação solar em energia elétrica, o inversor, a rede elétrica de distribuição, os medidores de energia e outros equipamentos de uso final de energia elétrica. (CÂMARA, 2011)

**Figura 2 - Sistema fotovoltaico conectado à rede**



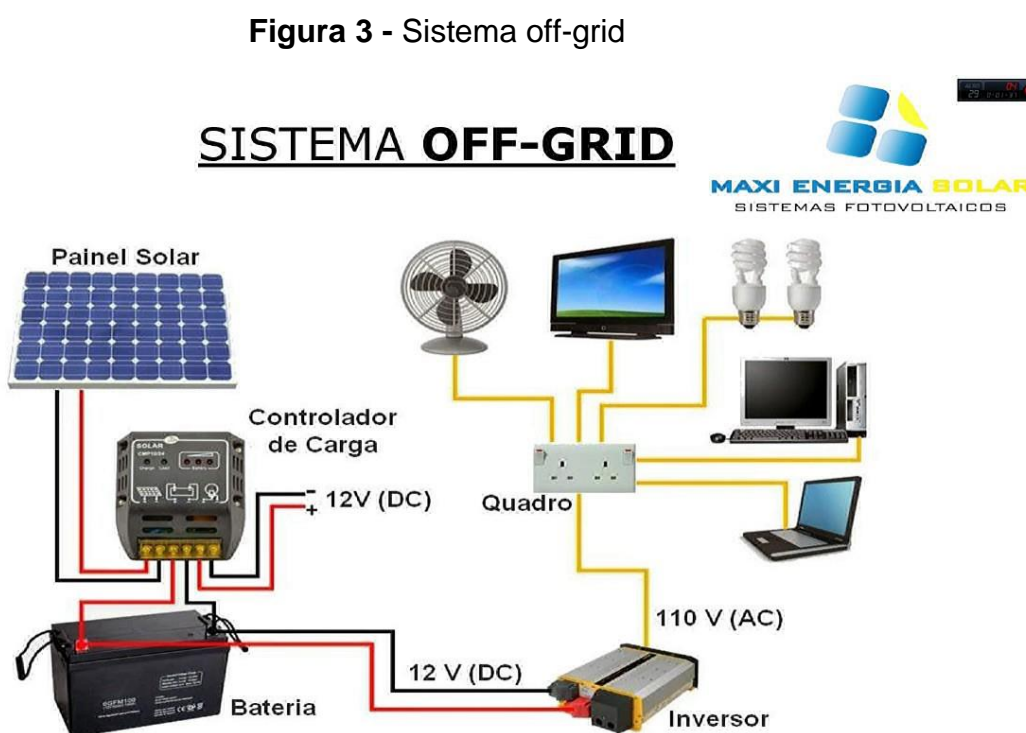
Fonte: NEOSOLAR, 2013

Os sistemas fotovoltaicos isolados (*off-grid*) têm necessidade de armazenar parte da energia elétrica que foi gerada e não consumida no mesmo instante, com o objetivo de utilizar essa reserva em momentos em que a irradiação solar esteja baixa, como em dias nublados ou chuvosos, e durante a noite. Para isso, são utilizados bancos de baterias e equipamentos de controle de carga/descarga. Para evitar que



falte energia, os bancos de baterias devem ser superdimensionados, tendo em vista que nos períodos críticos, onde ocorre baixa incidência solar, também pode haver alto consumo de energia. Esse tipo de instalação tende a desperdiçar uma quantidade maior de energia na forma de calor (perdas de carga e descarga das baterias), principalmente nos períodos de verão, em que a geração pode superar o consumo. (ABINEE, 2012).

Observa-se o esquema do sistema off-grid na figura 3:



Fonte: MAXI ENERGIA, 2016

### 2.2.1 Equação para cálculo de geração de energia da placa fotovoltaica

Para o cálculo de geração de energia elétrica através das placas fotovoltaicas uma das maneiras de se fazer é através da equação a seguir. (KALOGIROU,2016)

$$P_{fv} = \frac{E}{T_d \cdot HSP_{ma}} \quad (2.1)$$

Onde:

$P_{fv}$  – Potência de pico do painel fotovoltaico (Wp);

$E$  – Consumo/geração diário médio (Wh/dia);

$Td$  – Taxa de desempenho (adimensional);

$HSP_{ma}$  – Média diária anual das HSP incidente no painel fotovoltaico (h).

Ao longo de anos de estudos foram analisadas as taxas de desempenho do sistema fotovoltaico, com isso para sistemas onde as placas estejam em locais bem ventilados e não sombreados, é usada uma TD entre 70 e 80% sobre as condições de radiação solar no Brasil. (KALOGIROU,2016)

As horas de sol pleno (HSP), é estipulada no intervalo de tempo, em horas, em que ao longo do dia se concentra uma radiância solar constante de 1000 wh/m<sup>2</sup>. (KALOGIROU,2016)

### 2.3 Energia Eólica

A energia eólica é a energia obtida pelo movimento do ar (vento), trata-se de uma fonte de energia limpa, renovável e disponível em todos os lugares. A força dos ventos como fonte de trabalho vem desde muito tempo, o primeiro registro histórico da utilização da energia eólica para bombeamento de água e moagem de grãos através de cata-ventos é proveniente da Pérsia, por volta de 200 A.C. Mesmo com a baixa eficiência devido às suas características, os cata-ventos primitivos apresentavam vantagens importantes para o desenvolvimento das necessidades básicas, que antes era necessária a força braçal do homem ou animal. (DUTRA,2008)

O sistema de adaptação dos cata-ventos para geração de energia elétrica teve início no final do século XIX. Em 1888, Charles F. Brush, ergueu o primeiro cata-vento destinado a geração de energia elétrica em Cleveland, Ohio, nos Estados Unidos. Tratava-se de um cata-vento que gerava 12 kW em CC, para carregamento de baterias que forneciam energia para 350 lâmpadas incandescentes. (DUTRA,2008)

Nos EUA, quando a energia elétrica já era fortemente provida por combustíveis fósseis, acontece a crise do petróleo em 1973, o que leva o governo do país a apoiar a pesquisa e o desenvolvimento da energia eólica. Após algum tempo de

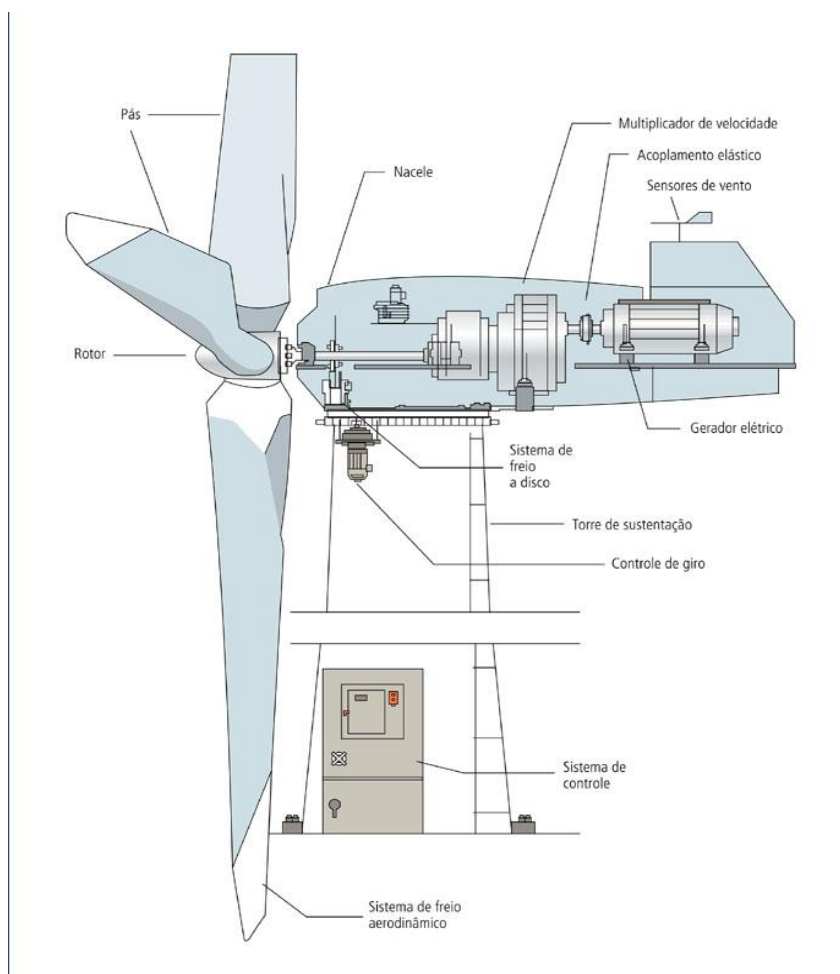
aperfeiçoamento das tecnologias, o período entre 1981 e 1990, observa-se um salto de instalações nos EUA, totalizando aproximadamente 1,8 GW, graças ao incentivo do governo. (TOLMASQUIN, 2016)

No Brasil, o primeiro aerogerador foi instalado em 1992, no arquipélago de Fernando de Noronha, em Pernambuco. Hoje o país é o oitavo do mundo em produção de energia eólica. Em 2017 o Brasil adicionou 52,57 Gw de potência eólica à produção mundial, de acordo com a Associação Brasileira de Energia Eólica (Abeeolica). (NASCIMENTO, 2018)

No início da utilização da energia eólica, surgiram turbinas de vários tipos, com eixo horizontal, eixo vertical, com uma pá, com duas ou três pás, gerador de indução, gerador síncrono, entre outros. Com o passar dos tempos o projeto manteve em turbinas com as seguintes características: eixo de rotação horizontal, três pás, alinhamento ativo, gerador de indução e estrutura não flexível. (ANEEL, 2003)

A figura 4 mostra o desenho esquemático de uma turbina eólica.

**Figura 4 - Desenho esquemático turbina eólica**



Fonte: ANEEL, 2003

O aerogerador, ou turbina eólica funciona a partir da energia cinética dos ventos, as pás que o compõem são movidas pela força do vento, fazendo com que o eixo do gerador gire, ou seja transformando a energia cinética dos ventos em energia mecânica. Esta é convertida em energia elétrica através do gerador que é ligado ao eixo do rotor, onde estão as pás. (DUTRA,2008)

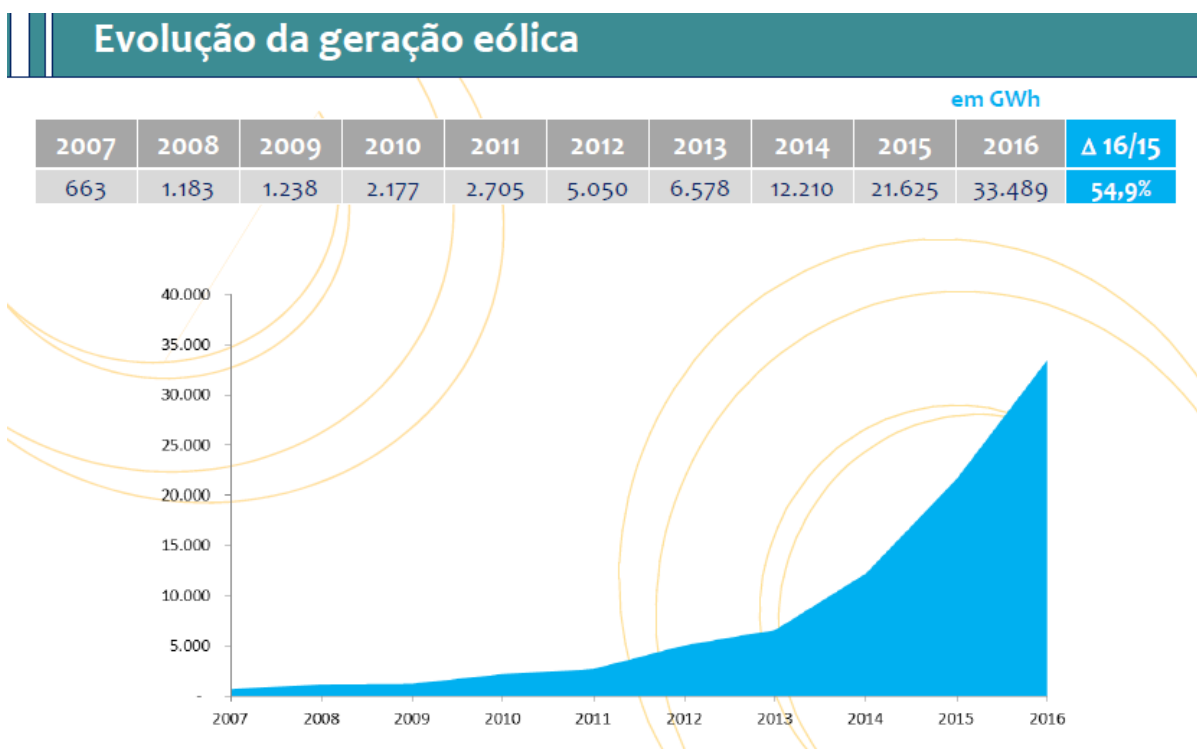
A transformação da energia dos ventos em energia elétrica ocorre através da utilização de equipamentos eletromecânicos cujo seu componente principal é o aerogerador. Este equipamento é basicamente composto por uma torre de sustentação, um gerador elétrico e um conjunto de pás que são responsáveis pela captação do vento e acionamento do gerador elétrico. Além desses equipamentos principais há uma série de outros componentes elétricos e mecânicos que compõem o conjunto, mas esta composição é variável dependendo do tipo de aerogerador utilizado. (DUTRA,2008)

O sistema eólico é constituído de vários componentes, dentre os principais podemos citar os seguintes:

- a) Vento: disponibilidade energética do local destinado a instalação do sistema eólico;
  - b) Rotor: responsável por transformar a energia cinética dos ventos em energia mecânica de rotação;
  - c) Transmissão e caixa multiplicadora: responsável por transferir a energia mecânica entregue pelo eixo do rotor até a carga;
  - d) Gerador elétrico: responsável pela conversão da energia mecânica em energia elétrica;
  - e) Mecanismo de controle: responsável pela orientação do rotor, controle de velocidade, controle de carga, etc;
  - f) Torre: responsável por sustentar e posicionar o rotor na altura adequada.
- (RODRIGUES,2011)

A figura 5 a seguir mostra o crescimento da energia eólica no Brasil:

**Figura 5 - Evolução da geração eólica no Brasil**



Fonte: MME, 2017

## 2.4 Sistemas Híbridos

O sistema híbrido é aquele que utiliza mais de uma fonte de energia, de forma otimizada e eficiente, e com custos mínimos. Muito utilizado em áreas mais remotas, a fim de gerar energia ininterruptamente, dada a possibilidade de uma fonte suprir a falta da outra, com isso esse sistema tende a ser viável onde a geração de energia elétrica é mais escassa. Esses sistemas estão sendo muito utilizados por causa da eficiência em integrar sistemas novos ou já utilizados, e conhecidos eficientemente. A complementação é um dos principais pontos a ser favorável a este sistema, um exemplo é o sistema eólico-fotovoltaico, nos dias em que o céu estiver nublado e a obtenção de energia através das placas for menor, o aerogerador continua produzindo e podendo suprir e descartando a parada total do sistema de geração. Neste sistema as fontes geradoras são ligadas em paralelo, e são controladas por um controlador de carga. (PINHO, 2008)

Os geradores híbridos são compostos geralmente por:

- a) Módulos fotovoltaicos, aerogeradores, turbinas hidráulicas – tecnologias de conversão de fontes renováveis;

- b) Grupos geradores a diesel, a gasolina ou a gás – tecnologia de conversão de fontes não renováveis;
- c) Baterias (formando um banco de baterias) – subsistema de armazenamento de energia elétrica;
- d) Inversores de tensão, retificadores e controladores de carga – equipamentos do sistema de condicionamento de potência.

Esses equipamentos são conectados através de cabeamento adequado ao dispositivo híbrido. (PINHO, 2008)

O sistema híbrido teve seu início na década de 1970, nos EUA, quando a crise do petróleo que aconteceu em 1973 estava em alta, a fim de criar uma fonte de energia que suprisse a falta de combustíveis fósseis e fosse eficiente. Mediante a isso foi muito utilizado em países de terceiro mundo, com a finalidade de fornecer eletricidade para comunidades isoladas, para pequenos sistemas de bombeamento e dessalinização da água, refrigeração entre outras aplicações. (PINHO, 2008)

Esses sistemas tiveram papel importante na construção e evolução de inúmeros sistemas ao redor do mundo, cuja finalidade era a redução do combustível fóssil e dos seus custos operacionais. A partir da década de 1990, a inserção desse sistema passou também a ter como motivação a questão ambiental. (PINHO, 2008)

No Brasil o primeiro sistema híbrido foi instalado em 1986, em Fernando de Noronha, estado de Pernambuco. O sistema funcionava utilizando as fontes eólico-diesel com uma potência eólica de 75 kW e diesel-elétrica de 50 kW. (LEONI; CARVALHO, 2017)

Dentre os mais diversos tipos de sistemas híbridos, os que mais se destacam são:

- a) Sistema eólico-diesel;
- b) Sistema fotovoltaico-diesel;
- c) Sistema fotovoltaico-eólico-diesel;
- d) Sistema fotovoltaico-eólico.

Sistema eólico-diesel é aquele que gera energia elétrica a partir da energia eólica e do diesel, operando de maneira combinada. Tal sistema é constituído de um aerogerador associado a um subsistema de geração diesel-elétrica. Um sistema de controle gerencia o uso dos subsistemas de geração e o suprimento de cargas. As unidades geradoras a diesel podem atuar como componentes principais, quando então o subsistema de geração eólica é usado para economizar combustível, ou

podem atuar como unidades de geração de reserva (backup), para garantir o funcionamento do sistema híbrido durante possíveis períodos de indisponibilidade da fonte eólica. (PINHO, 2008)

O sistema fotovoltaico-diesel é combinado o recurso da intensidade da luminosidade do sol com a diesel-elétrica, para geração de energia. Devido ao alto preço das placas fotovoltaicas esse sistema costuma ser menos utilizado, no entanto com a diminuição do custo desses equipamentos e o avanço da tecnologia ele vem sendo empregado em diversos lugares. (PINHO, 2008)

O sistema fotovoltaico-eólico-diesel opera de maneira similar aos anteriores, porem com a vantagem de incorporar duas fontes renováveis, que atuam permitindo o menor consumo de óleo diesel, com isso reduzindo custos, aumentando a confiabilidade do sistema e diminuindo a emissão de gases poluentes a atmosfera. (PINHO, 2008)

Sistema fotovoltaico-eólico é baseado nos aproveitamentos solar fotovoltaico e eólico. A combinação dessas fontes procura explorar satisfatoriamente a complementariedade entre ambas no tempo. Uma vantagem desse sistema é não empregar combustível fóssil para a geração de energia elétrica. (PINHO, 2008)

#### 2.4.1 Poste híbrido fotovoltaico eólico aplicado a iluminação pública

O poste híbrido funciona a partir da conversão da energia fotovoltaica e eólica em energia elétrica, podendo ser utilizado sem se conectar à rede pública, armazenando energia através de sua bateria. Fabricado com uma moderna tecnologia, aliada a robustez e design moderno. Durante o dia as placas fotovoltaicas e o aerogerador podem carregar a bateria, ou fornecer energia à rede, á noite o aerogerador continua funcionando, juntamente com a bateria se necessário. Podendo permanecer funcionando sem o uso da rede elétrica, através da bateria por até 3 dias sem geração. O poste híbrido é composto do painel solar, aerogerador, bateria, poste (estrutura), controlador, lâmpada de LED. (ELETROVENTO, 2018)

Possui um sistema autônomo de fácil montagem, e sem necessidade de cabos. Livre dos custos de energia elétrica e de baixa manutenção, tem um ganho em longo prazo.

Abaixo pode ser visto as especificações técnicas do poste híbrido:

- a) Módulo fotovoltaico: 100 w
- b) Eficiência: 15,2%
- c) Bateria: 1 bateria estacionaria de 220 Ah
- d) Luminária: Composta por LEDs de alta eficiência, potência de 32 w, com vida útil de até 50.000 horas.
- e) Controlador de carga: híbrido
- f) Poste: metálico de 10 metros

As principais vantagens do poste híbrido são descritas abaixo:

- a) Economia de energia elétrica, e redução de emissões de gases: consumir energia zero convencional, liberar CO2 e poluição zero para o meio ambiente;
- b) Energia limpa;
- c) Funcionamento estável: podendo funcionar independente da rede elétrica;
- d) Grande adaptabilidade: podendo gerar em todas as estações do ano por atuar com duas fontes renováveis de energia;
- e) Vida útil longa: mais de 15 anos.

A figura 6 mostra o poste híbrido fotovoltaico eólico.

**Figura 6 - Poste híbrido fotovoltaico eólico**



**Fonte:** Eletrovento, 2018



O esquema de ligação do sistema híbrido eólico fotovoltaico pode ser visto na figura 7. (PINHO, 2008)

**Figura 7 - Esquema de ligação sistema híbrido**



**Fonte:** JNGE POWER, 2018

Observa-se através do esquema acima a geração de energia elétrica a partir da placa fotovoltaica e do aerogerador, sendo conectado no controlador de carga híbrido, que por sua vez alimenta a bateria, e para a utilização em aparelhos domésticos foi feita a utilização do inversor, para converter a corrente contínua produzida pelas fontes renováveis para corrente alternada, que alimenta esses aparelhos. (PINHO, 2008)

### **3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA**

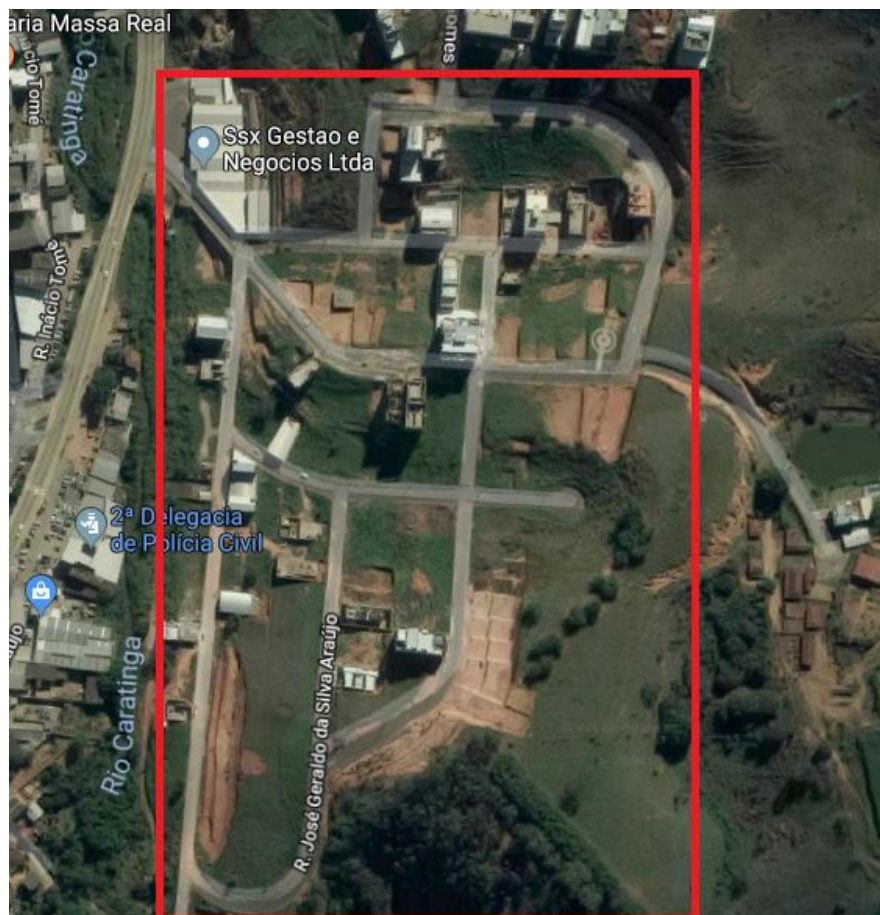
Neste capítulo será apresentado a coleta de dados e o estudo de viabilidade que norteiam este trabalho.

#### **3.1 Escolha do local**

Para a realização deste estudo primeiro foi feita a escolha do local, foi escolhido em Caratinga – MG, o Loteamento Silvio Araújo. Um loteamento construído recentemente, localizado atrás da Delegacia de Polícia Civil. A escolha deste local não foi uma escolha aleatória, e sim foram observados fatores que poderiam aumentar a viabilidade do estudo. Tais como, desde o nascer do sol até o seu poente, a incidência solar permanece no bairro. Foi observado também uma maior incidência dos ventos, devido ser um bairro que está com uma altitude maior que a região central da cidade.

A análise dos potenciais eólico e solar são feitos através de coordenadas geográficas, por se tratar de um estudo feito no bairro, foi estipulado a rua Sylvio da Silva Araújo como referência para tais coordenadas, que são elas: latitude -19,795819 sul, e longitude -42, 137095.

Através do Google Maps, na figura 8 a seguir pode-se observar a localização do loteamento em relação a cidade.

**Figura 8 - Loteamento Silva Araújo**

Fonte: Google Maps, 2018

Na figura 9 pode ser visto uma foto do local.

**Figura 9 - Foto loteamento Silva Araújo**

Fonte: Acervo do Autor, 2018

### 3.2 Levantamento de dados da iluminação pública do local

Para o início do estudo, foi preciso verificar, as ruas do bairro, a quantidade de postes em cada rua, a potência das lâmpadas e o tipo de lâmpada. Com a ajuda do Google Maps foi visto que somente algumas ruas possuíam nome, por se tratar de um bairro mais novo. O que foi um problema, já que para a verificação dos dados de IP na empreiteira, precisaria dos nomes das ruas. Com isso foi averiguado junto à Rede Une, empresa que é responsável pelo loteamento que, através da planta baixa o loteamento tem 8 (oito) ruas, sendo elas, rua Norma Cimini Batista, rua Sebastião Carmo Ribeiro, rua Sylvio da Silva Araújo, rua Dr. José Lucca Cimini, rua Marcelo Moreira Rezende Araújo, rua Mariane Silva Araújo, rua José Geraldo Silva Araújo e rua Dr. Fernandes Silva Araújo.

A realização do levantamento dos dados da iluminação pública foi feita junto a Empreender, empresa de distribuição de energia elétrica, que presta serviço para a Cemig. Junto à empresa foi observado através do software Gemini Condiz, que é o Sistema de Controle de Distribuição, que o loteamento possui 59 (cinquenta e nove) postes de iluminação, com lâmpadas de vapor de sódio tubular, sendo 49 (quarenta e nove) com a potência da lâmpada de 100 watts, e 10 (dez) com a potência de 150 watts. Constatou então que o bairro consome com iluminação pública uma potência total de 6,4 kWh. O que pode ser observado através da tabela 1.

**Tabela 1 - Dados iluminação pública**

Rua	Quantidade de postes (UN)	Tipo da lâmpada	Potência unit. lâmpada (W)	Potência total (W)
A	7	V.S	100	700
B	8	V.S	100	800
C	9	V.S	150	1350
C*	1	V.S	100	100
D	7	V.S	100	700
E	1	V.S	150	150
F	6	V.S	100	600
G	8	V.S	100	800
H	12	V.S	100	1200
<b>TOTAL</b>	<b>59</b>	<b>***</b>	<b>***</b>	<b>6.400</b>

Fonte: Acervo do Autor, 2018

Legenda:

Rua A: Rua Norma Cimini Batista

Rua B: Rua Sebastião Carmo Ribeiro

Rua C: Rua Sylvio da Silva Araújo

Rua D: Rua Dr. José Lucca Cimini

Rua E: Rua Marcelo Moreira Rezende Araújo

Rua F: Rua Mariane Silva Araújo

Rua G: Rua José Geraldo Silva Araújo

Rua H: Dr. Fernandes Silva Araújo

V.S: Vapor de sódio

Estipulando que a iluminação pública funcione 12 horas por dia, de 18 às 06 horas da manhã, o consumo das lâmpadas no mês (levando em consideração trinta dias) tem uma potência de 2.304 kWh, como pode ser visto na tabela 2.

**Tabela 2** - Consumo das lâmpadas

Consumo das lâmpadas por hora (kWh)	Consumo total das lâmpadas por dia (kWh)	Consumo total das lâmpadas por mês (kWh)
6,4	76,8	2.304

Fonte: Acervo do Autor, 2018

### 3.3 Potencial solar do local

De acordo com o SunData, um programa online destinado ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em todo território brasileiro, disponibilizado pela CRESESB (Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sergio de S. Brito), foi analisado o potencial solar médio em Caratinga.

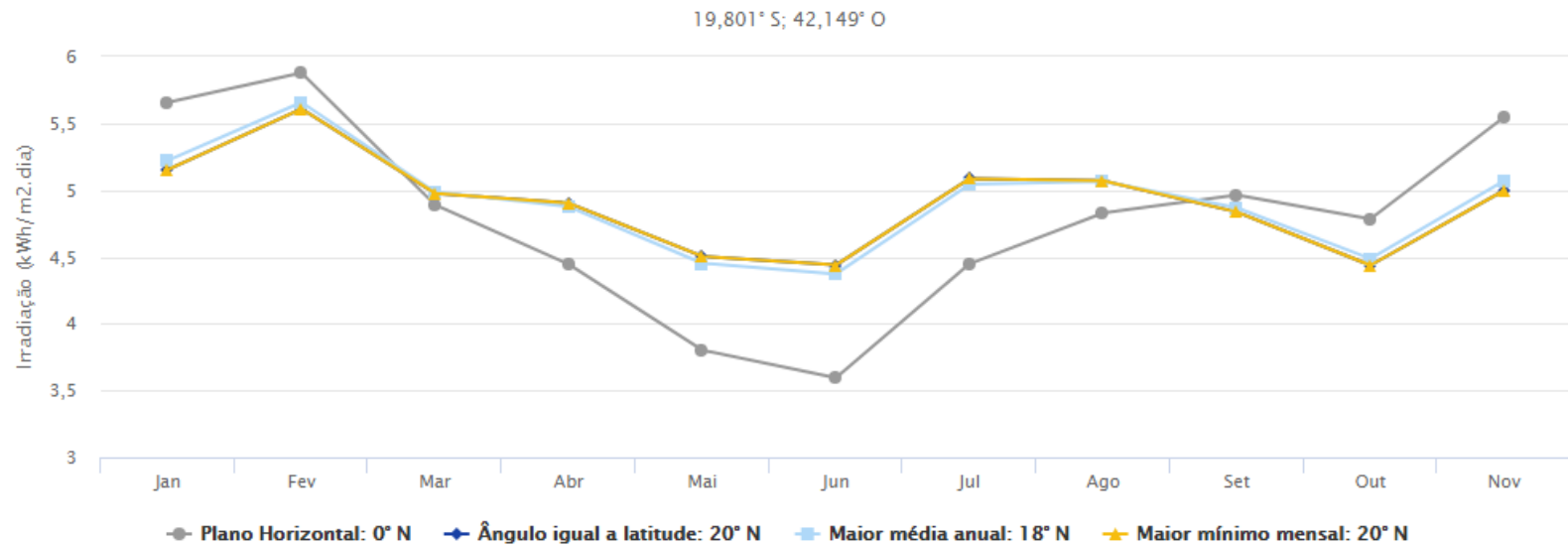
A potência solar é calculada a partir das coordenadas da cidade, levando em consideração a inclinação das placas em 0° (zero) graus ao norte, e no plano horizontal. Esta média anual corresponde à 4,72 kWh/ m<sup>2</sup> dia, o que pode ser observado na figura 10 a seguir.

**Figura 10 - Potencial solar em Caratinga**

**Estação:** Caratinga  
**Município:** Caratinga , MG - BRASIL  
**Latitude:** 19,801° S  
**Longitude:** 42,149° O  
**Distância do ponto de ref. ( 19,795819° S; 42,137095° O ):** 1,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m <sup>2</sup> .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Plano Horizontal	0° N	5,66	5,88	4,89	4,45	3,80	3,59	3,75	4,45	4,83	4,96	4,78	5,55	4,72	2,28
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	20° N	5,15	5,61	4,98	4,90	4,50	4,44	4,55	5,09	5,07	4,84	4,44	5,00	4,88	1,17
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	18° N	5,22	5,66	4,99	4,88	4,45	4,37	4,49	5,04	5,07	4,87	4,49	5,07	4,88	1,28
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	20° N	5,15	5,61	4,98	4,90	4,50	4,44	4,55	5,09	5,07	4,84	4,44	5,00	4,88	1,17

**Irradiação Solar no Plano Inclinado -Caratinga-Caratinga, MG-BRASIL**



Fonte: CRESESB, 2018

Pode-se observar que os meses com melhor média de radiação solar diária são os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, com a máxima entre eles de 5,88 kWh/ m<sup>2</sup> dia.

### **3.4 Potencial eólico do local**

Utilizando também um programa online da CRESESB, que busca dados do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, para análise dos ventos em determinada região, feito através das coordenadas geográficas, observamos a média anual dos ventos de 6,15 m/s, a uma altura de 50 metros, o que pode ser visto na figura 11 a seguir.

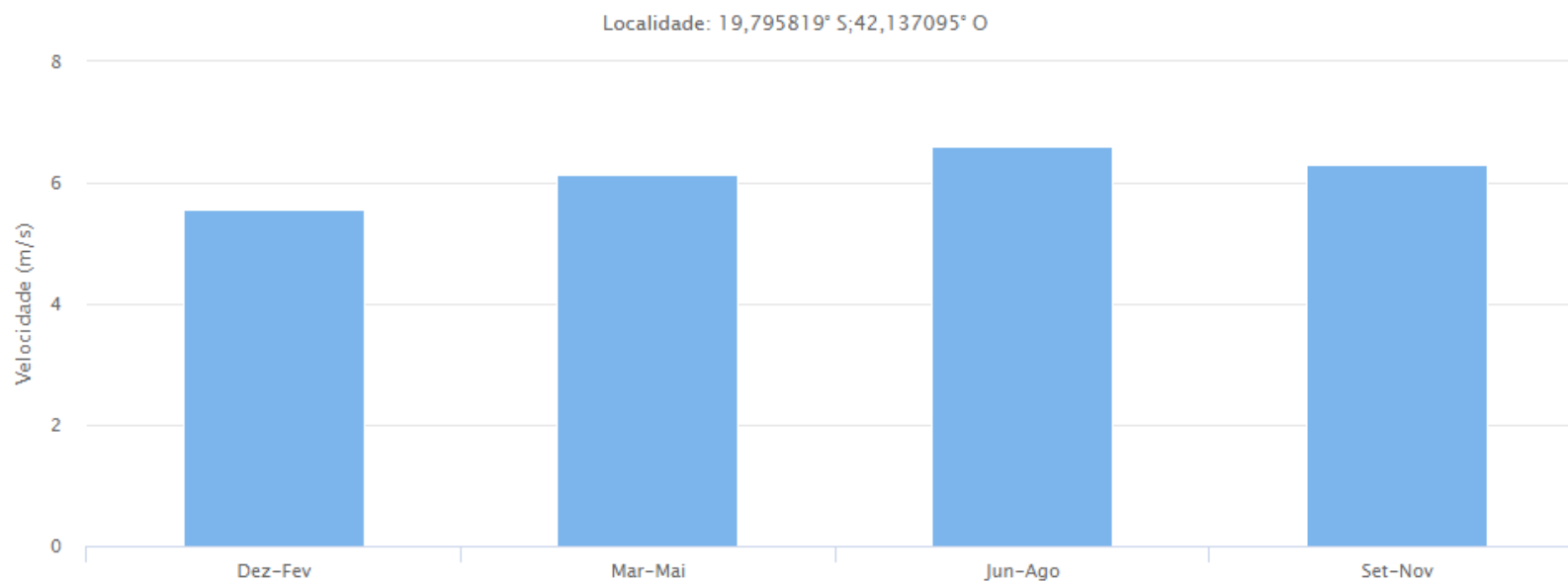
**Figura 11 - Potencial eólico em Caratinga**

**Dados de Vento**

Latitude: 19,795819° S  
Longitude: 42,137095° O

Atlas do Potencial Eólico Brasileiro		Dados de vento a 50 m de Altura				
Grandeza	Unidade	Dez-Fev	Mar-Mai	Jun-Ago	Set-Nov	Anual
velocidade média do vento	m/s	5,55	6,15	6,59	6,3	6,15
fator c		6,25	6,94	7,43	7,11	6,94
fator k		2,51	2,15	2,52	2,4	2,37
densidade de potência	W/m2	165	254	275	249	236

**Velocidade Média Sazonal de Vento a 50 m de Altura [m/s]**



Fonte: CRESESB, 20



Observa-se que o período com a máxima média velocidade dos ventos é entre os meses de junho a agosto, com 6,59 m/s.

### 3.5 Poste com geração híbrida fotovoltaica eólica

Para a realização deste estudo foi escolhido um produto conhecido no mercado como poste híbrido. O poste possui uma luminária composta por leds, com uma potência de 32 watts. Vale ressaltar que na escolha da luminária foi observado o fluxo luminoso das lâmpadas, o qual equipara com as lâmpadas de vapor de sódio. A tabela 3 demonstra as especificações da luminária.

**Tabela 3 - Especificações luminária**

<b>Potência da lâmpada</b>	32w
<b>Tensão de entrada</b>	127/220V
<b>Fluxo luminoso LED</b>	> 100 LM
<b>Fluxo luminoso total</b>	3200 LM (T 25°)
<b>Fluxo luminoso de saída da lâmpada</b>	2880 LM
<b>Eficiência da lâmpada</b>	> 0,90
<b>Vida útil</b>	> 50.000 h
<b>Índice de coloração</b>	Ra > 75%

Fonte: Acervo do autor, 2018

Estipulando que a iluminação pública funcione 12 horas por dia, de 18 às 06 horas da manhã, o consumo da luminária no mês (levando em consideração trinta dias) terá uma potência de 11,52 kWh, como pode ser visto na tabela 4.

**Tabela 4 - Consumo da luminária**

Consumo da luminária por hora (kWh)	Consumo da luminária por dia (kWh)	Consumo da luminária por mês (kWh)
0,032	0,384	11,52

Fonte: Acervo do autor, 2018

Substituindo as 59 lâmpadas de vapor de sódio do loteamento pelas luminárias de led, tem-se um consumo de acordo com a tabela 5.

**Tabela 5 - Consumo total das luminárias**

Consumo de 1 luminária por mês (kWh)	Consumo de 59 luminárias por mês (kWh)
11,52	679,68

**Fonte:** Acervo do autor, 2018

### 3.5.1 Aerogerador do poste híbrido

O poste híbrido possui um aerogerador de potência nominal de 400 watts, *Air Breeze*, a figura 12 mostra o equipamento escolhido.

**Figura 12 - Aerogerador *Air Breeze***



**Fonte:** Eletrovento, 2018

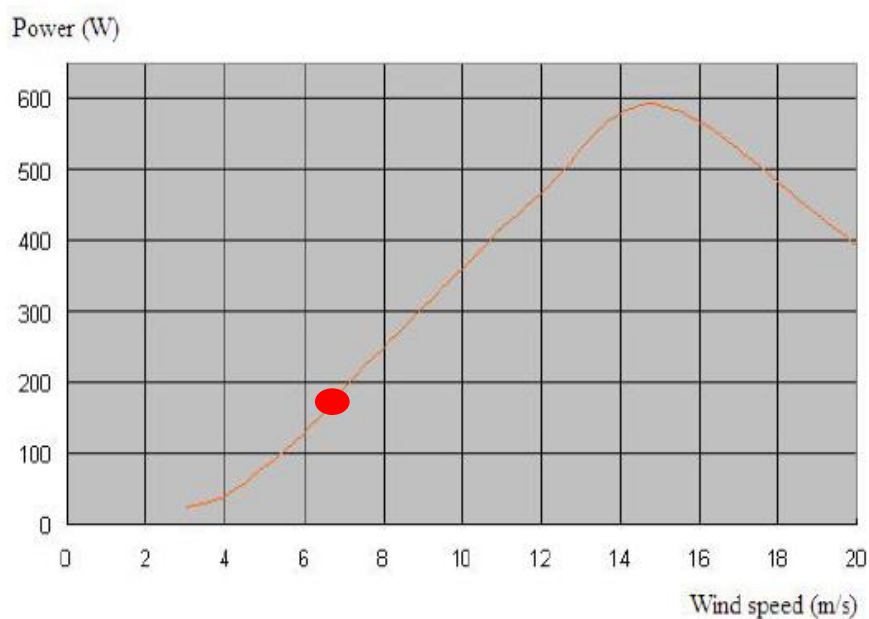
Suas especificações estão na tabela 6 a seguir.

**Tabela 6 - Especificações aerogerador**

Potência Nominal (W)	400
Potência máxima de saída (W)	600
Tensão Banco de Baterias (Vdc)	12 ou 24
Velocidade de corte de vento (m/s)	2,5
Velocidade de trabalho do vento (m/s)	3 – 25
Eficiência do gerador	>0,8
Relação de utilização de energia eólica (Cp)	0,4
Tipo de gerador	Alternador de ímã permanente
Peso do gerador (kg)	5,5
Material da pá/ Quantidade	GRP/3
Diâmetro das pás (M)	Φ1.25
Controle de velocidade máxima	Freio eletromagnético
Método de desligamento	Manual e automático

**Fonte:** Acervo do autor, 2018

A partir da curva de potência de saída do aerogerador, através da velocidade dos ventos do local que é de 6,15 m/s, pode-se estipular a sua geração de energia elétrica. Como mostra a figura 13.

**Figura 13 - Curva de potência de saída do aerogerador**

**Fonte:** ELETROVENTO, 2018

Observa-se que através do ponto vermelho que foi marcado no gráfico, o aerogerador geraria aproximadamente 150 watts.

Nota-se na tabela 7 a potência de saída do aerogerador por mês.

**Tabela 7** - Potência de saída do aerogerador por mês

<b>Velocidade do vento (m/s)</b>	<b>Potência de saída (Kwh/mês)</b>
3	21
4	36
6	86
8	180
10	252
12	345
14	417
16	396
18	345
20	280

**Fonte:** ELETROVENTO, 2018

### 3.5.2 Placa fotovoltaica do poste híbrido

A placa fotovoltaica escolhida é uma placa Komaes solar – KM (M) 100, monocristalina, e tem uma potência de 100 watts, com uma eficiência de 15,2%. A figura 14 mostra a placa utilizada no sistema.

**Figura 14** - Placa fotovoltaica



**Fonte:** ELETROVENTO, 2018

As especificações da placa fotovoltaica podem ser vistas na tabela 8.

**Tabela 8 - Especificações placa fotovoltaica**

<b>Painel fotovoltaico</b>	Monocristalino
<b>Potência Nominal (W)</b>	100
<b>Eficiência (%)</b>	15,2
<b>Vida útil</b>	25 anos
<b>Peso (kg)</b>	5,9
<b>Dimensões (cm)</b>	105x54
<b>Tensão em curto circuito (Voc) (V)</b>	22,76
<b>Tensão em potência máxima (Vmp) (V)</b>	18,97
<b>Corrente de curto circuito (Isc) (A)</b>	5,69
<b>Corrente nominal (Imp) (A)</b>	5,28

Fonte: Acervo do autor, 2018

### 3.5.3 Controlador de carga híbrido

O controlador de carga do sistema híbrido tem a função de controlar e monitorar a tensão de entrada na bateria, evitando sobrecargas ou descargas excessivas, além disso traz segurança e confiabilidade para o sistema. O controlador escolhido foi da marca JNGE modelo JW-MPPT1240, como mostra a figura 15.

**Figura 15 - Controlador de carga híbrido**



Fonte: JNGE POWER, 2018

Vale ressaltar que este controlador híbrido se trata de um controlador muito robusto e sofisticado, feito com material que dissipa o calor. Através de seu visor pode ser observado a tensão e a corrente do sistema, a potência gerada pela fonte eólica e solar, a temperatura, e quando a carga está sendo alimentada pelas fontes ou pelas baterias, fazendo assim todo o controle necessário para manter o correto funcionamento de todo o sistema.

As especificações do controlador estão na tabela 9.

**Tabela 9 - Especificações controlador de carga**

<b>Modelo</b>	JW-MPPT1240	
<b>Tensão nominal</b>	12/24 V	
<b>Turbina Eólica</b>	400W	
<b>Energia solar</b>	200W	
<b>Carregamento</b>	Corrente	50A
	Proteção	14,4 V $\pm$ 1%
	Carga flutuante	13,8 V $\pm$ 1%
	Até carregar	13,2V $\pm$ 1%
	Compensação de temperatura	-24mV / °C
<b>Mais de descarga</b>	Desligue (DC)	10,8 V $\pm$ 1%
	Retomar (DC)	12,3 V $\pm$ 1%
<b>Sobretensão</b>	Desligue (DC)	16V $\pm$ 1%
	Retomar (DC)	15V $\pm$ 1%
<b>Corrente sem carga</b>	$\leq$ 0.1A	
<b>Queda de tensão (DC)</b>	$\leq$ 0.5 v	
<b>Modo de controle</b>	Função de carga do ventilador MPPT, função de desinstalação PWM, limitação de sobrecorrente PWM	
<b>Aumentar a carga</b>	Circuito de passo flexível independente (opcional)	
<b>Exibição</b>	LCD	
<b>Parâmetros</b>	Tensão, corrente de carga, bateria volumétrica	
<b>Tipo de proteção</b>	Proteção de iluminação, células solares, proteção anti-carga, proteção de circuito aberto de bateria, proteção de inversão de bateria, sobre velocidade e proteção de freio automática de sobretensão suave, proteção de sobrecarga.	
<b>Caminho de emanção de calor</b>	Radiador	
<b>Temperatura de trabalho</b>	-25 °C ~ + 55 °C	
<b>Peso</b>	Peso Líquido: 2.20KG	
	Peso Bruto: 2.6KGS	
<b>Tamanho (L * W * H)</b>	16.2 x 14 x 6.4 (cm)	

Fonte: JNGE POWER, 2018

Como pode ser observado o controlador atende os requisitos de potência da placa fotovoltaica, e do aerogerador, suportando uma potência de até 200w e 400w respectivamente. Trabalhando com uma tensão da bateria de 12 volts.

#### 3.5.4 Bateria estacionária

A bateria escolhida foi uma bateria de modelo estacionária, visto que são baterias que tem uma duração maior, são feitas com materiais nobres, a fim de terem uma melhor eficiência. Tais baterias são projetadas para ciclos de descargas profundos, e já são muito utilizadas em sistemas eólicos e fotovoltaicos. Para o sistema híbrido foi escolhido uma bateria estacionária de 12 volts Heliar Freedom DF4001 (240 Ah / 220 Ah), como mostra a figura 16.

**Figura 16 - Bateria estacionária**



Fonte: NEO SOLAR, 2018

A figura 17 a seguir mostra as principais especificações da bateria.

**Figura 17 - Especificações bateria estacionária**

Principais Características Elétricas										
MODELOS		DF300	DF500	DF700	DF1000	DF1500	DF2000	DF2500	DF3000	DF4001
Capacidade a 25 °C (Ah)	10 h	24	30	41	54	76	94	130	156	200
	20 h	26	36	45	60	80	105	150	170	220
	100 h	30	40	50	70	93	115	165	185	240
Dimensões (mm)	Comprimento	175	175	210	244	330	330	511	511	525
	Largura	175	175	175	175	172	172	213	213	275
	Altura	175	175	175	175	240	240	230	230	250
Peso (kg)		8,8	9,7	12,5	14,7	23,9	27,1	44,6	48,3	60,3
Torque	Mínimo	9 N.m	9 N.m	9 N.m	9 N.m	13,6 N.m	13,6 N.m	9 N.m	9 N.m	9 N.m
	Máximo	11 N.m	11 N.m	11 N.m	11 N.m	20,3 N.m	20,3 N.m	11 N.m	11 N.m	11 N.m
Tensão de Flutuação						de 13,2 a 13,8 V a 25 °C				
Tensão de carga / equalização						de 14,4 a 15,5 V a 25 °C				
Compensação de Temperatura						para cada 1°C acima de 25 °C, subtrair 0,033 V para cada 1°C abaixo de 25 °C, adicionar 0,033 V				

Fonte: NEO SOLAR, 2018

Vale ressaltar que de acordo com o consumo da IP no mês, a quantidade de horas que a bateria iria ser utilizada, e com a capacidade da bateria em Ah, foi calculado quantas baterias seriam necessárias para suprir o sistema. Chegando ao resultado de 18 baterias para as lâmpadas de vapor de sódio, e 6 baterias para as luminárias de led. Que foram as utilizadas no sistema, como pode ser visto no desenvolver do estudo.

### 3.5.5 Inversor

O inversor selecionado precisa ser compatível com sistemas híbridos. Para suprir a potência instalada das lâmpadas de vapor de sódio ou led é necessário um inversor com uma potência maior que 320 w. O escolhido foi um inversor JNGE Power híbrido DC/AC pico 600w, como mostra a figura 18.

**Figura 18 - Inversor híbrido**



Fonte: JNGE POWER, 2018



Suas especificações podem ser vistas na tabela 10.

**Tabela 10** - Especificações inversor

<b>Tensão de entrada</b>	12/24 V
<b>Tensão de saída</b>	127/220 V
<b>Potência</b>	300 W
<b>Potência de pico</b>	600 W
<b>Eficiência</b>	94%

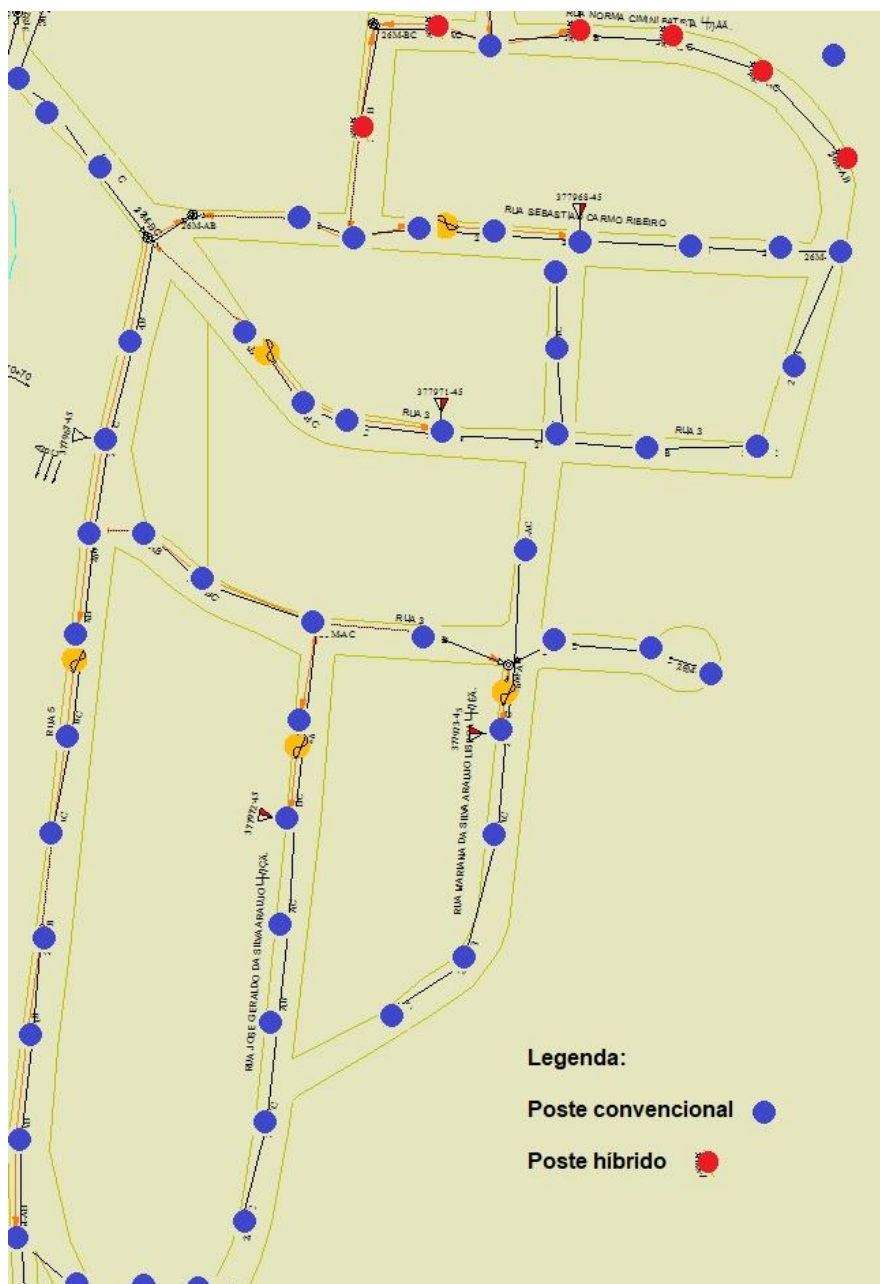
Fonte: Acervo do autor, 2018

### 3.5.6 Cabeamento do sistema híbrido

Para o sistema de IP ser alimentado através dos postes híbridos foi escolhido um sistema independente da rede convencional usada pela concessionária. Com a ajuda do Google Maps, foi observado que o loteamento tem uma extensão de aproximadamente 2.200 metros. A partir das potências das lâmpadas, 6.400 watts vapor de sódio e 1.888 watts led, e a tensão de 127 volts da rede, conforme as normas foi escolhido o Cabo flexível 4mm Ampere do Brasil, rolo com 100 metros. Com isso seriam necessários 4.400 metros de cabo.

Para a disposição dos 6 postes híbridos que irão gerar energia para as luminárias de led, foi escolhido a rua Norma Cimini Batista para a instalação dos mesmos, uma vez que esta é a rua com maior elevação no loteamento, o que seria de maior ganho para o sistema de geração. O que pôde ser verificado através do luxímetro, um sensor que mede a intensidade da luz no ambiente, e verificou-se uma maior intensidade em relação as outras ruas. E também foi utilizado um anemômetro, um sensor que mede a velocidade dos ventos, que constatou uma maior incidência eólica neste local. A figura 19 demonstra o layout da disposição dos postes no loteamento.

**Figura 19 - Disposição dos postes no loteamento**



Fonte: Acervo do autor, 2018

### 3.6 Geração de energia elétrica através do sistema híbrido

De acordo com a curva de saída de potência do aerogerador exibida no tópico 3.5.1, e o potencial eólico médio do local que é de 6,15 m/s, temos então uma geração de energia elétrica de aproximadamente 150 watts.

Observa-se então através da tabela 11 a geração de energia elétrica média do aerogerador.

**Tabela 11** - Geração de energia elétrica do aerogerador

Geração do aerogerador por hora (kWh)	Geração do aerogerador por dia (kWh)	Geração do aerogerador por mês (kWh)
0,15	3,6	108

Fonte: Acervo do autor, 2018

O cálculo da energia produzida pela placa fotovoltaica no dia é dado pela equação (3.1).

$$P_{fv} = \frac{E}{T_d \cdot HSP_{ma}}$$

$$100 = \frac{E}{4,72} \quad (3.1)$$

$$E = 354 \text{ wh/dia}$$

Ou seja, a placa fotovoltaica irá gerar 354 wh por dia. Estabelecendo uma média de 30 dias por mês temos então uma geração mensal de 10,62 kWh, como mostra a equação (3.2).

$$E = 354 * 30$$

$$E = 10,62 \text{ kWh} \quad (3.2)$$

Levando em consideração a geração de energia elétrica do sistema híbrido, através da placa fotovoltaica e do aerogerador, temos uma geração média no mês para cada poste de 118,62 kWh, como mostra a tabela 12.

**Tabela 12** - Geração de energia elétrica do sistema híbrido

Geração do aerogerador por mês (kWh)	Geração da placa fotovoltaica por mês (kWh)	Geração do sistema híbrido (kWh)
108	10,62	118,62

Fonte: Acervo do autor, 2018

### 3.7 Estudo de viabilidade

Conforme apresentado nos tópicos anteriores o consumo de energia elétrica da IP do loteamento, o consumo das luminárias de led do poste híbrido, e a geração

de energia elétrica através do mesmo, pode-se então fazer uma comparação entre consumo e geração para saber de fato a utilidade e viabilidade do sistema na região.

### 3.7.1 Poste híbrido na iluminação pública convencional

Segundo o tópico 3.2 através da iluminação pública convencional do loteamento, as 59 lâmpadas de vapor de sódio, tem um consumo mensal de energia elétrica de 2.304 kWh. Através dos dados de potência eólica e solar do local temos uma geração de energia elétrica mensal do sistema híbrido de 118,62 kWh. Com isso pode-se constatar através da equação (3.3) que seriam necessários 20 postes para suprir o consumo de energia elétrica através da IP.

$$Qp = \frac{Pc}{Pg}$$

$$Qp = \frac{2304kwh}{118,62kwh} \quad (3.3)$$

$$Qp = 19,42$$

$$Qp = 20 \text{ postes}$$

Onde:

$Qp$  - Quantidade de postes (un);

$Pc$  - Potência consumida (kWh);

$Pg$  - Potência gerada (kWh).

### 3.7.2 Poste híbrido na iluminação pública com luminárias de Led

De acordo com o tópico 3.5 o consumo das 59 luminárias de led, são de 679,68 kWh no mês. Levando em consideração a geração de energia elétrica do poste híbrido, através da equação (3.4) seriam necessários 6 postes para suprir o consumo de energia elétrica da IP com luminárias de led.

$$Qp = \frac{Pc}{Pg}$$

$$Qp = \frac{679,68kWh}{118,62kWh} \quad (3.4)$$

$$Qp = 5,72$$

$$Qp = 6 \text{ postes}$$

### 3.7.3 Custo dos equipamentos

O custo dos equipamentos utilizados no projeto pode ser visto na tabela a seguir.

**Tabela 13 - Custo dos equipamentos**

<b>Equipamentos</b>	<b>Valor</b>
Aerogerador Air Breeze 400w	R\$ 2.500,00
Placa fotovoltaica Komaes solar – KM (M) 100w, monocristalina	R\$ 344,90
Controlador híbrido JNGE JW-MPPT1240	R\$ 252,54
Bateria Estacionária Heliar Freedom DF4001 (240/220 ah)	R\$ 1.399,00
Inversor JNGE Power híbrido DC/AC pico 600w	R\$ 276,00
<b>VALOR TOTAL</b>	<b>R\$ 4.772,44</b>

Fonte: Acervo do autor, 2018





Como o sistema irá utilizar um cabeamento independente da rede, que terá uma extensão de 4.400 metros devido a ser dois cabo, fase e neutro, e a extensão do loteamento ser de 2.200 metros, o custo dos cabos é de R\$4.356,00, sendo seu o rolo de 100 metros no valor de R\$99,00.

Levando em consideração somente os equipamentos utilizados pelo poste híbrido, o custo total seria de R\$ 4.772,44.

### 3.7.4 Custo da Iluminação Pública e viabilidade econômica

Para o cálculo de custo da iluminação pública foi levado em consideração a tabela de tarifas da CEMIG, como mostra a figura 20.

**Figura 20 - Tarifa IP CEMIG**

<b>B4 - ILUMINAÇÃO PÚBLICA</b>	 Consumo R\$/kWh	 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 1 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 2 Consumo R\$/kWh
Iluminação Pública - B4a - Rede de Distribuição	0,32277	0,33277	0,35277	0,37277

Fonte: CEMIG, 2018

### 3.7.4.1 IP lâmpadas de vapor de sódio

Segundo os dados do tópico 3.2, o consumo do loteamento para lâmpadas de vapor de sódio seria de 2.304 kWh no mês, levando em consideração a tarifa de iluminação pública de bandeira verde que é de 0,32277 R\$/kWh, tem-se então o custo de acordo com a tabela 14.

**Tabela 14 - Custo IP lâmpadas vapor de sódio**

Consumo lâmpadas vapor de sódio (kWh)	Tarifa IP CEMIG (Bandeira verde) (R\$/kWh)	Custo IP (R\$) (mês)	Custo IP (R\$) (ano)
2.304	0,32277	743,66	8.923,92

Fonte: Acervo do autor, 2018

Observando o item 3.7.1 seriam necessários no mínimo 20 postes híbridos para gerar o suficiente para suprir o consumo do loteamento para as lâmpadas de vapor de sódio, sabe-se que o custo dos equipamentos é de R\$ 4.772,44. Então o custo total para os 20 postes seria de R\$ 95.448,80, mais o custo dos cabos que é de R\$ 4.356,00, tem-se o custo total como mostra a tabela 15.

**Tabela 15 - Custo equipamentos para 20 postes híbridos**

Custo equipamentos poste híbrido (R\$) (1 poste)	Custo equipamentos poste híbrido (R\$) (20 postes)	Custo cabeamento (R\$) (4.400m)	Custo total dos equipamentos e cabeamento (R\$)
4.772,44	95.448,80	4.356,00	99.804,80

Fonte: Acervo do autor, 2018

Na equação (3.5) pode-se observar a viabilidade econômica do sistema através do *payback* simples.

$$Pb = \frac{\textit{investimento}}{\textit{economia anual}}$$

$$Pb = \frac{99.804,80}{8.923,92} \quad (3.5)$$

$$Pb = 11,18 \textit{ anos}$$

Ou seja, seriam necessários 11,18 anos para que através da economia com a geração de energia elétrica, o investimento com o sistema híbrido fosse pago.

#### 3.7.4.2 IP luminárias de led

Para o cálculo de consumo da IP do loteamento através das luminárias de led, de acordo com o tópico 3.5, tem-se um consumo de 679,68 kWh no mês, levando em consideração a tarifa de iluminação pública de bandeira verde que é de 0,32277 R\$/kWh, tem-se então o custo de acordo com a tabela 16.

**Tabela 16 - Custo IP luminária de led**

Consumo luminárias de led (KWh)	Tarifa IP CEMIG (Bandeira verde) (R\$/kWh)	Custo IP (R\$) (mês)	Custo IP (R\$) (ano)
679,68	0,32277	219,38	2.632,56

**Fonte:** Acervo do autor, 2018

Pode-se observar que apenas substituindo as lâmpadas de vapor de sódio por led, teria uma economia na IP de R\$ 6.291,36 no ano, como mostra a tabela 17.

**Tabela 17 - Economia IP substituindo as lâmpadas por led**

Custo IP lâmpadas vapor de sódio (R\$/ano)	Custo IP luminárias de led (R\$/ano)	Economia (R\$/ano)
8.923,92	2.632,56	6.291,36

**Fonte:** Acervo do autor, 2018

De acordo com o item 3.7.2, seriam necessários 6 postes híbridos para suprir o consumo de energia elétrica para as luminárias de led. Com isso o custo total dos 6

postes seria de R\$ 28.634,64. A luminária de led utilizada foi a Luminária Pública Micro LED 32w Externa Para Poste - Branco Frio, no valor unitário de R\$ 189,00. Para a substituição das 59 lâmpadas de vapor de sódio pelas luminárias de led, seria gasto um investimento de R\$ 11.151,00. Mais o custo do cabeamento que é de R\$ 4.356,00, tem-se um valor total de todo o sistema de R\$ 44.141,64, como mostra a tabela 18.

**Tabela 18** - Custo equipamento para 6 postes híbridos

Custo equipamentos poste híbrido (R\$) (1 poste)	Custo equipamentos poste híbrido (R\$) (6 postes)	Custo das 59 luminárias de led (R\$)	Custo do cabeamento (4.400m)	Custo total dos equipamentos e das luminárias de led (R\$)
4.772,44	28.634,64	11.151,00	4.356,00	44.141,64

Fonte: Acervo do autor, 2018

Pode-se observar então na equação (3.6) a viabilidade financeira através do payback simples.

$$Pb = \frac{\textit{investimento}}{\textit{economia anual}}$$

$$Pb = \frac{44.141,64}{6.291,36} \quad (3.6)$$

$$Pb = 7,01 \textit{ anos}$$

Percebe-se então que seriam necessários 7,01 anos para que através da economia com a geração de energia elétrica, o investimento do sistema híbrido fosse pago.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo será descrito os resultados obtidos através do estudo de viabilidade, ao qual foi analisado o consumo da IP através das lâmpadas de vapor de sódio e luminárias de led, a geração de energia elétrica através do sistema híbrido, o custo dos equipamentos para o poste híbrido, e o seu retorno financeiro.

Com o estudo de viabilidade proposto neste trabalho pode-se observar como funciona um sistema híbrido, trabalhando duas fontes de energia em paralelo, aproveitando simultaneamente os recursos solares e eólicos, ou seja, esse sistema é capaz de minimizar o problema da intermitência destes recursos naturais.

Ao ser analisado o aerogerador utilizado neste trabalho, de acordo com a incidência eólica do local, percebe-se que o mesmo não trabalharia com sua potência nominal máxima, mas foi observado o seu custo benefício, sendo o escolhido com um custo menor.

A placa fotovoltaica utilizada de 100 watts monocristalina foi observada também a sua eficiência e o seu tamanho, uma vez que esta não poderia ser muito grande e/ou pesada, devido estar localizada no topo do poste.

Pôde ser observado que apenas pela substituição das lâmpadas de vapor de sódio do loteamento para as luminárias de led, teria uma economia de consumo de energia elétrica de 1.624,32 kWh, ou R\$ 524,28 por mês.

De acordo com os potenciais, solar e eólico embasados pela CRESESB, através do aerogerador e da placa fotovoltaica tem-se uma geração de energia elétrica de 118,62 kWh médio para cada poste híbrido.

Nota-se que o loteamento possui 59 postes para a IP, mas para gerar energia para alimentar as luminárias de led precisariam apenas de 6 postes com o sistema híbrido. Com isso foi observado então para a instalação do sistema os postes na rua Norma Cimini Batista, por ser a rua mais elevada, e então receber a radiação solar e a incidência dos ventos maiores.

Vale salientar que ao fazer o payback simples não foi levado em consideração a manutenção do equipamento, a mão de obra para instalação, ou até mesmo o retorno das lâmpadas de vapor de sódio que poderão ser utilizadas em algum outro local, quando for feita a substituição pelas luminárias de led, e sim os equipamentos utilizados pelo poste híbrido, e o seu cabeamento individual, a fim de gerar energia apenas para consumo próprio da IP do loteamento.

## 5 CONCLUSÃO

Percebeu-se através do embasamento teórico que os sistemas híbridos vêm sendo muito utilizados no Brasil e no mundo desde a década de 1970, atualmente, observa-se um elevado crescimento a partir de fontes renováveis.

O futuro da matriz elétrica brasileira são as energias renováveis e os sistemas híbridos, que vêm ganhando aplicabilidade com o passar dos anos, demonstrando sua eficiência ao integrar duas ou mais fontes de energia.

O ser humano ainda não desenvolveu uma forma de armazenar sol e/ou vento, com isso seria útil a utilização desse sistema, armazenando a energia gerada pelo aerogerador e pela placa fotovoltaica em bancos de baterias, como foi apresentado.

Sabe-se que através da EPE, que no ano de 2016 o Brasil consumiu cerca de 15.035 GWh com iluminação pública, ao ser aplicado o sistema híbrido na IP tem-se sua própria geração de energia elétrica, não sendo necessário energia da concessionária, diminuindo então a demanda da matriz elétrica, e sendo à prova de apagões ou manobras de seccionamento de energia pela concessionária.

Sabe-se que ainda é um sistema de altos custos, mas haja visto que a tendência, como vem ocorrendo, é a viabilidade econômica do mesmo, devido a incentivos e programas do governo e por ser o vindouro da geração de energia elétrica, por ser um recurso renovável.

Pôde ser observado que a escolha do local não foi aleatória, e sim analisada antes mesmo do começo do estudo. O local escolhido apresenta uma radiação solar desde o nascer até o pôr do sol, ao qual aumentaria a eficiência das placas fotovoltaicas. E por ser um local mais elevado do centro da cidade este seria mais vantajoso para a geração do aerogerador.

Nota-se que a incidência dos ventos e a radiação solar no local foram embasadas pela CRESESB, e que é esta ferramenta que muitos profissionais utilizam como base para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos e eólicos.

Ao fazer o levantamento de potência consumida pelo loteamento através das lâmpadas de vapor de sódio, e através de estudos, foi constatado que já seria viável a substituição das lâmpadas por luminárias de led.

Observa-se ainda que através da implantação do sistema híbrido com luminárias de led, até o pagamento do investimento este estaria gerando uma redução de custo com IP, e que após 7 anos este seria pago. Percebe-se também a redução

do consumo de energia elétrica. Com isso após o pagamento do investimento através da economia com a IP, não seria mais necessário este gasto, sendo necessário apenas a manutenção do sistema que é considerada baixa.

Com isso a viabilidade do sistema se dá devido a diversidade da matriz elétrica brasileira, a geração de sua própria energia, para consumo da iluminação pública, a economia e preocupação com o meio ambiente, devido ser luminárias de led, e por ser um sistema por fontes renováveis, que trabalham em conjunto, a fim de uma eficiência energética melhor.

Vale ressaltar como trabalhos futuros realizar o estudo de viabilidade com o sistema híbrido *on grid*, conectado à rede elétrica, com medidor bidirecional, o que seria mais útil em um condomínio fechado, para enfatizar a geração de energia elétrica e o consumo da iluminação pública, para fazer uma comparação mais precisa.

## REFERÊNCIAS

ABINEE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. *Proposta para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira*. Disponível em: <[http://www.cogen.com.br/Solar/Biblioteca\\_Virtual/Proposta\\_fotovoltaic\\_empresas\\_v10.pdf](http://www.cogen.com.br/Solar/Biblioteca_Virtual/Proposta_fotovoltaic_empresas_v10.pdf)>. Acesso em dezembro de 2013.

A GERADORA. *A crise hídrica afeta o setor de energia*. Disponível em: <<https://www.ageradora.com.br/crise-hidrica-afeta-o-setor-de-energia/>>. Acesso em: 07 abril 2018.

BARROSO, Luiz Augusto; OLIVEIRA, Ricardo Gorini de (Org.). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017: Ano base 2016*. Rio de Janeiro: Grupojam Mídia Integrada Eireli - Me, 2017. 230 p. EPE - Empresa de Pesquisa Energética.

CÂMARA, Carlos Fernando. *Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica*. Lavras – MG. 2011. Disponível em: <<http://www.solenerg.com.br/files/monografia-Carlos-Fernando-Camara.pdf>>. Acesso em janeiro de 2014.

CAMARA MUNICIPAL DE CARATINGA. *Lei n° 3667/2017*. 2017. Disponível em: <[http://www.cmcaratinga.mg.gov.br/mostra\\_leis\\_lista.php?cd=003667](http://www.cmcaratinga.mg.gov.br/mostra_leis_lista.php?cd=003667)>. Acesso em: 18 maio 2018.

CODI, 1988 – *Substituição de Lâmpadas Incandescentes no Sistema de Iluminação Pública* – Relatório SCPE.33.01 de 13/10/1988. Comitê de Distribuição (CODI), Abradee, Rio de Janeiro, 51p.

CONFAZ – CONSELHO NACIONAL DE POLÍTICA FAZENDARIA. *CONVÊNIO ICMS 16, DE 22 DE ABRIL DE 2015*. 2015. Disponível em: <[https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016\\_15](https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/CV016_15)>. Acesso em: 26 maio 2018.

CEMIG. *VALORES DE TARIFA E SERVIÇOS*. 2018. 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: 25 out. 2018.

CRESESB. *Energia Solar Princípios e Aplicações*. CRESEB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, 2006. Disponível em:

<[http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial\\_solar.htm](http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_solar.htm)>. Acesso em: 8 Outubro 2011.

CRESESB. *Potencial solar em Caratinga: Centro de referência para energia solar e eólica*. 2018. Disponível em: <[http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade\\_11664](http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade_11664)>. Acesso em: 25 out. 2018.

CRESESB. *Potencial eólico em Caratinga: Centro de referência para energia solar e eólica*. 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 25 out. 2018.

ELETROVENTO. *Poste Híbrido: Energia Alternativa*. 2018. Disponível em: <<http://www.eletrovento.com.br/produto/poste-hibrido/23/>>. Acesso em: 01 maio 2018.

DUTRA, Ricardo Marques. *Energia Eólica: Princípios e Tecnologias*. Brasília: Cepel Grupo Eletrobrás, 2008. 51 p. Equipe CEPEL / CRESESB. Disponível em: <<https://www.portal-energia.com/downloads/energia-eolica-principios-tecnologias.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2018.

GIL, A. C. *Método e técnicas de pesquisa social*. 6ª. ed. São Paulo: Atlas S.A, 2008.

GOOGLE MAPS. *Loteamento Silva Araújo*. 2018. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-19.7968208,-42.1365724,328m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 23 out. 2018.

GUIMARÃES, R. ; GONÇALVES, R. SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS CONECTADOS À REDE: *Análise do panorama mundial e brasileiro*. (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) Curitiba, 2012.

JNGE POWER. *Controlador híbrido*. 2018. Disponível em: <[http://www.hfjnge.com/off-grid-mppt-wind-solar-hybrid-charge-controller-with-booster-function\\_p33.html#parentHorizontalTab021](http://www.hfjnge.com/off-grid-mppt-wind-solar-hybrid-charge-controller-with-booster-function_p33.html#parentHorizontalTab021)>. Acesso em: 25 out. 2018.

KALOGIROU, Soteris A. *Engenharia de Energia Solar : Processos e sistemas*. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 864 p.

LEONI, Pedro; CARVALHO, Carlos. *O setor elétrico: Projeto híbrido eólico-solar*. 2017. Disponível em: <<https://www.osetoelettrico.com.br/projeto-hibrido-eolico-solar/>>. Acesso em: 29 maio 2018.

LUMIÉRE ELETRIC: *Instalações e materiais elétricos*. São Paulo: Lumiere, 10 fev. 2018. Mensal. Edição 238.

MARTINS, Juliana. *O papel social da luz urbana*. 2011. Disponível em: <<https://www.osetoelettrico.com.br/o-papel-social-da-luz-urbana/>>. Acesso em: 19 maio 2018.

MME. João Antônio Moreira Patusco. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético / (Org.). *Resenha Energética Brasileira: Exercício de 2016*. Brasília: MME, 2017. 30 p. Ministério de Minas e Energia.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. *Proinfra*. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/web/guest/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/proinfra>>. Acesso em 14 abril 2018.

MME – Ministério de Minas e Energia. *Balanço Energético Nacional 2017, Relatório Síntese, ano base 2016*. Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2017.

NASCIMENTO, Luciano. *Brasil é o oitavo país do mundo em produção de energia eólica*. 2018. Elaborado por EBC Empresa Brasil de Comunicação. Disponível em: <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2018-02/brasil-e-o-oitavo-pais-do-mundo-em-producao-de-energia-eolica>>. Acesso em: 01 maio 2018.

NEO SOLAR. *SISTEMAS DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA E SEUS COMPONENTES*. 2018. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>>. Acesso em: 18 maio 2018.

NEOSOLAR. *Bateria estacionaria freedom df4001 240ah 220ah*. Disponível em: <<https://www.neosolar.com.br/loja/bateria-estacionaria-freedom-df4001-240ah-220ah.html>>. Acesso em: 25 out. 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CARATINGA. *Relatório de Contas públicas: Balanço anual*. 2016. Disponível em: <[http://www.caratinga.mg.gov.br/abrir\\_arquivo.aspx/Prestacao\\_Contas\\_Ano\\_Anterior\\_226\\_Ano\\_2016?cdLocal=6&arquivo={D5E6C231-CD53-EBE1-C0AA-D6E01CAC4CDA}.pdf](http://www.caratinga.mg.gov.br/abrir_arquivo.aspx/Prestacao_Contas_Ano_Anterior_226_Ano_2016?cdLocal=6&arquivo={D5E6C231-CD53-EBE1-C0AA-D6E01CAC4CDA}.pdf)>. Acesso em: 30 maio 2018.

RODRIGUES, Paulo Roberto. *Energias renováveis: Energia Eólica*. Santa Catarina: Livro Digital, 2011. 53 p. Consórcio de Universidades Europeias e Latino-Americanas em Energias Renováveis – JELARE.

ROSITO, O setor elétrico, DESENVOLVIMENTO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA NO BRASIL, 2009.

PINHO, João Tavares. *Sistemas Híbridos: Soluções Energéticas para a Amazônia*. Brasília, 2008. 396 p. MME - Ministério de Minas e Energia.

SINIMBU, Fabíola. *Energias renováveis: Para onde caminha a geração de energia do Brasil*. 2017. Disponível em: <<http://www.ebc.com.br/especiais/energias-renovaveis>>. Acesso em: 07 abr. 2018.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno; GUERREIRO, Amilcar. *Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2015-2024)*. Rio de Janeiro: EPE, 2015. 78 p.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. *Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica / Mauricio Tiomno Tolmasquim (coord.)*. – EPE Empresa de Pesquisa Energética: Rio de Janeiro, 2016