

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
CURSO ESPECIALIZAÇÃO EM ENERGIA RENOVÁVEIS**

**DANILLO GALVÃO ROSA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA  
A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS EM UMA PROPRIEDADE  
RURAL EM SÃO MIGUEL DO ARAGUAIA**

**MONOGRAFIA**

**CURITIBA  
2017**

**DANILLO GALVÃO ROSA**

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA  
A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS EM UMA PROPRIEDADE  
RURAL EM SÃO MIGUEL DO ARAGUAIA**

Monografia de Especialização apresentada ao Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis.

Orientador: Prof. Me. José da Silva Maia

**CURITIBA**

**2017**

## TERMO DE APROVAÇÃO

DANILLO GALVÃO ROSA

# ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS EM UMA PROPRIEDADE RURAL EM SÃO MIGUEL DO ARAGUAIA

Esta Monografia de Especialização foi apresentada no dia 14 de agosto de 2017, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Energia Renováveis – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior

Coordenador de Curso de Especialização em Energias Renováveis

---

Prof. Romildo Alves dos Prazeres

Chefe do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica

### BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Me. José da Silva Maia  
Orientador - UTFPR

---

Prof. Dr. Jair Urbanetz Junior  
UTFPR

---

Prof. Dr. Jorge Assade Leludak  
UTFPR

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso
---

Dedico esse trabalho à minha família,  
em especial a minha mãe Edith Maria Galvão Rosa  
e minha irmã, Sinara Galvão Rosa.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me deu graças de diversas formas para a finalização desta monografia e do curso de Especialização em Energias Renováveis. Sem a Sua Graça e suas Misericórdias jamais teria sido possível.

Gostaria de agradecer, também, a três pessoas que foram mais que especiais para mim: Eula Silva Magalhães Queiroz, Quéren Hapuque Magalhães Queiróz e Fernando Queiroz. Sem a ajuda e o incentivo deles, eu não teria conseguido chegar ao final.

Por fim, agradeço ao meu orientador, José da Silva Maia, minha família e amigos que contribuíram de alguma forma para a finalização deste trabalho.

## RESUMO

ROSA, Galvão Danillo. **Viabilidade Técnica para Geração de Energia a Partir de Fontes Renováveis Em Uma Propriedade Rural em São Miguel do Araguaia.** 2017. 50 pg. Monografia de Especialização em Energias Renováveis – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

Esta pesquisa de abordagem conceitual e prática desenvolve um estudo sobre a viabilidade técnica para a geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, isto é, recursos naturais encontrados na região de São Miguel do Araguaia, estado de Goiás. O estudo é baseado em três fontes: solar, eólica e biomassa. A pesquisa também aborda os sistemas elétrico brasileiro e goiano, matriz elétrica brasileira, tarifa de energia da companhia local, além da perspectiva de desenvolvimento do sistema elétrico de potência do estado de Goiás com a nova companhia de distribuição. O estudo é complementado com a justificativa das fontes que, de acordo com os dados encontrados, possuem pouca ou nenhuma viabilidade para implantação de uma usina na região. Para a fonte que apresentou um melhor potencial, foi realizada um cálculo de estimativa de geração de energia e dimensionado uma micro usina para atender uma propriedade rural localizada próxima a cidade.

**Palavras-chave:** Viabilidade Técnica. Energias Renováveis. São Miguel do Araguaia. Goiás.

## ABSTRACT

ROSA, Galvão Danillo. **Technical Viability Study for Generation of Energy from Renewable Sources in a Rural Property in São Miguel do Araguaia**. 2017. 50 pg. Renewable Energy Degree Specialization – Federal Technological University of Parana. Curitiba, 2017.

This research of conceptual and practical approach develops a study about the technical viability for the generation of electrical energy from renewable sources, i.e., natural resources found in the region of São Miguel do Araguaia, state of Goiás. The study is based on three sources: solar, wind and biomass. The research also discusses the Brazilian and Goiano electric power systems, the Brazilian electricity matrix, the energy tariff of the electric utility, as well as, the development perspective of the power system of the State of Goiás with the new electric utility. The study is complemented with the reasons why some of the sources do not have enough electrical potential to justify an implantation of a power plant. On the other hand, for the source that had a better capacity to generate electrical energy, comparing to the others studied, it was run an estimate calculation of the power generation and a micro power plant was sized to a rural property located near the city.

**Keywords:** Technical Viability. Renewable Energy. São Miguel do Araguaia.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Matriz Energética Brasileira .....	21
Figura 2 - Sistema de Transmissão.....	23
Figura 3 - Distribuição Espacial das Subestações de Energia em Goiás.....	25
Figura 4 - Potencial Eólico Brasileiro.....	29
Figura 5 - Potencial Eólico - Centro Oeste Brasileiro .....	31
Figura 6 - Radiação Solar Global no Plano Inclinado Médio Anual .....	35
Figura 7 - Esquema de Ligação dos Módulos, String Box e Inversores .....	43
Figura 8 - Estimativa de Produção de Energia Mensal e Custo Evitado .....	44
Figura 9 - Estimativa de Retorno Financeiro .....	46



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicador de Desempenho Global de Continuidade .....	26
Tabela 2 - Ranking Nacional de Tarifas Residenciais (Grupo B1) .....	27
Tabela 3 - Estimativa para um Animal Bovino em Confinamento.....	33
Tabela 4 - Irradiação Solar no Plano Inclinado dos Módulos Fotovoltaicos .....	37
Tabela 5 - Velocidade Média Sazonal de Ventos.....	39

## LISTA DE SIGLAS

BEN	Balanço Energético Nacional
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
DGC	Desempenho Global de Continuidade
DPS	Dispositivo de Proteção Contra Surtos
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção Por Unidade Consumidora
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
ICMS	Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
MME	Ministério de Minas e Energia
NBR	Norma Técnica Brasileira
NTC	Norma Técnica CELG
ONS	Operador Nacional do Sistema
PNE	Plano Nacional de Energia
PR	<i>Performance Ratio</i>
SECIMA	Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos

## LISTA DE ACRÔNIMOS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CELG	Companhia Energética de Goiás
CEMAR	Companhia Energética do Maranhão
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	TEMA.....	15
1.2	PROBLEMAS E PREMISSAS .....	16
1.3	OBJETIVOS .....	17
1.3.1	Objetivo geral .....	17
1.3.2	Objetivos específicos.....	17
1.4	JUSTIFICATIVAS .....	18
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	18
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>20</b>
2.1	MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E SETOR ELÉTRICO GOIANO .....	20
2.1.1	Setor elétrico brasileiro .....	20
2.1.2	Setor elétrico goiano.....	22
2.1.3	Setor elétrico do noroeste goiano.....	24
2.1.4	Geração de energia próximo da carga .....	27
2.2	ENERGIA EÓLICA.....	28
2.2.1	Informações relevantes para uma estimativa de cálculo .....	30
2.3	ENERGIA DE BIOMASSA .....	31
2.3.1	Informações relevantes para uma estimativa de cálculo .....	33
2.4	ENERGIA SOLAR.....	34
2.4.1	Informações relevantes para uma estimativa de cálculo .....	35
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS .....</b>	<b>38</b>
3.1	TOMADA DE DECISÃO SOBRE A USINA DE MELHOR DESEMPENHO ...	38
3.1.1	Refutação da fonte eólica .....	39
3.1.2	Refutação da fonte biomassa .....	40
3.1.3	Valorização da fonte solar .....	40
3.2	ESPECIFICAÇÃO DA USINA SOLAR.....	41
3.3	CÁLCULO DE ESTIMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA DA USINA SOLAR ...	44
3.5	PAYBACK DO SISTEMA FOTOVOLTAICO .....	45
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>47</b>

**REFERÊNCIAS.....48**

## 1 INTRODUÇÃO

A manutenção e ampliação do progresso nos diversos níveis da sociedade estão ligadas ao crescente consumo de energia. Esse crescimento requer cada vez mais das usinas geradoras e tem impulsionado a expansão do sistema elétrico até os seus destinos finais, usando diferentes tecnologias para tal fim.

A geração de energia elétrica tem trazido grande discussão principalmente quanto à natureza da fonte primária. A matriz energética de um país é, logicamente, escolhida pelo benefício relacionado ao seu custo de produção, qualidade de energia entregue e adequação ambiental (BEN, 2016).

Segundo Silva (1985, p. 4), os bruscos aumentos do preço do petróleo, associados à reflexão sobre a natureza limitada das suas reservas economicamente exploráveis, levaram a generalidade dos países a optar por uma diversificação das fontes primárias para geração de energia elétrica.

O Brasil detém 15% das reservas mundiais de água doce disponível só utilizando um quarto de seu potencial. Por dispor da maior bacia hidrográfica do mundo, é natural e compreensível que o Brasil tenha feito historicamente sua opção por esta matriz energética. (ANEEL, 2003 apud CAMARGO, p. 1)

Porém, o Brasil não deve se centrar apenas em recursos hídricos para geração de energia elétrica, pois para obtenção da mesma é necessário que se tenha água em seus reservatórios, e mesmo sendo tão ricos nesse quesito, têm-se também épocas de secas. Além disso, não há mais aproveitamento de rios próximos aos grandes centros consumidores do país. Por isso, grandes usinas hidrelétricas como a de Belo Monte estão sendo construídas a milhares de quilômetros de grandes centros consumidores do país (BRASIL, 2016).

Atualmente no Brasil e no mundo fala-se muito sobre sustentabilidade. Buscam-se construções sustentáveis, produtos industrializados sustentáveis e, com a produção de energia não poderia ser diferente. Ao invés de usar-se fontes poluidoras ou que causem grandes impactos ambientais, tem-se buscado fontes de geração confiável e que cause um menor distúrbio ambiental como um todo.

O governo do estado de Goiás através da Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos – SECIMA, lançou um programa chamado: Goiás Solar. Tal programa, consiste em promover o crescimento da geração de energia distribuída, principalmente a energia solar, por meio de financiamentos subsidiados, redução da carga tributária, além de simplificar o processo de liberação de licenças ambientais (SECIMA, 2017).

(O governo do estado) Propõe capilarizar o Programa Goiás Solar, para todas as regiões do estado, fomentando o uso de energia solar fotovoltaica em áreas urbanas e rurais, aumentando a participação da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica do Estado, trazendo maior segurança energética e diversificação no atendimento à população e empresas da região, bem como contribuindo para melhorar a qualidade de vida dos cidadãos (SECIMA, 2017).

## 1.1 TEMA

Este trabalho visa a identificação das oportunidades de geração de energia elétrica a partir de fontes alternativas e renováveis.

### 1.1.1 Delimitação do tema

O estudo de viabilidade de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis compreende-se por estimar como se comportaria a produção de energia usando métodos não convencionais como usina hidrelétrica ou poluidores, tais como termelétrica a carvão e diesel. Busca-se aproveitar melhor os recursos naturais de uma região, no tocante a geração de energia elétrica, trazendo retorno ao investidor além de colaborar com a sustentabilidade do meio ambiente evitando o consumo de combustíveis degradantes.

Por isso, este trabalho visa a elaboração de um estudo de fundamentação teórica para perceber a melhor fonte de geração de energia elétrica para a região

noroeste de Goiás, especificamente a cidade de São Miguel do Araguaia, a partir de fontes que ofereçam um bom desempenho.

As fontes a serem estudadas serão: eólica, biomassa e solar fotovoltaica. Para as fontes de baixo desempenho serão apenas justificados os motivos limitantes que levam ao descarte; para a fonte de melhor desempenho, propõe-se especificar um conjunto gerador que atenda a uma determinada exigência, especificando os componentes do conjunto, como por exemplo: módulos de conversão de energia, inversores de frequência e o dimensionamento dos condutores elétricos.

As estimativas serão aplicadas numa certa propriedade rural, respeitando a demanda e o consumo desta. O estudo, também, contemplará a sazonalidade das fontes renováveis, pois como é de conhecimento, os raios solares sofrem variação de intensidade conforme os movimentos do planeta terra e a biomassa é produzida, apenas, em épocas em que o gado está preso em confinamento.

Por fim, será calculado uma estimativa do *payback* do empreendimento, isto é, o tempo de retorno do investimento na construção dessa usina, considerando o preço pago atualmente pela energia.

## 1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Por intermédio de consultas a dados disponíveis pela a Agencia Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, percebe-se que não há micro ou mini usina elétrica no noroeste goiano, confirmando que não existe aproveitamento dos recursos naturais para geração de energia por partes dos produtores rurais em escala comercial.

Empresários do agronegócio acumulam prejuízo com as quedas constantes e a má qualidade da energia elétrica fornecida pela companhia local. Em reportagens de jornais local relatam que a falta de energia chega até 10 dias (G1, 2015).

Com respeito a opção de geração escolhida para o estudo algumas questões surgem, tais como: existe matéria prima disponível para a geração de energia a partir da biomassa? As condições climáticas são favoráveis para a uma usina fotovoltaica? Existe viabilidade para geração de energia eólica?



Para responder a estas questões será efetuada consulta as series históricas de medições de sol e vento da localidade, além de pesquisas bibliográficas disponíveis em livros e artigos.

Por ser uma região de baixa visibilidade no país, os dados históricos e as referências bibliográficas poderão ser de difícil acesso ou, talvez nem existir. Porém, ao final, o estudo colaborará para melhorar o conhecimento do potencial energético da região noroeste goiana, tendo em vista o *payback* do investimento e os benefícios do empreendimento no local de estudo.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo geral

Estudar o desempenho de geração de energia elétrica, a partir de fontes alternativas e renováveis em uma propriedade rural na cidade de São Miguel do Araguaia, verificando a possibilidade de conversão de energia pelos recursos naturais: solar, eólica e biomassa. Ao final, especificar uma micro usina que corresponda a fonte de melhor desempenho para a região.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Obter informações bibliográficas de fundamentação teórica para as fontes eólica, biomassa e solar;
- Justificar a fonte que apresente a melhor viabilidade para a região;
- Desenvolver um estudo de caso utilizando essa fonte que mostrou-se ter melhor viabilidade para implantação de uma central geradora no local escolhido;
- Estimar o desempenho de geração de energia elétrica de uma usina que faça uso da fonte escolhida;
- Especificar os componentes para a implantação da usina;

- Realizar o *payback* do investimento.

#### 1.4 JUSTIFICATIVAS

O Brasil e o mundo vêm sofrendo com intensas mudanças climáticas, ocasionando dificuldades com a geração de energia. Em 2001, houve uma grande ameaça de interrupção no fornecimento de energia elétrica, o que obrigou a população a mudar seus hábitos de consumo de energia. Já no ano de 2014, novamente com dificuldade na geração de energia e por erros governamentais, a população brasileira teve de diminuir drasticamente o consumo de energia, além de pagar por esta um preço mais caro (PINTO, 2017).

Pode-se definir recursos naturais como sendo elementos da natureza que são transformados em bens para atender as necessidades de uma população. Sabe-se bem que o Brasil possui inúmeros recursos naturais em todas as suas regiões. Tão logo, é sabido que, qualquer país em desenvolvimento necessita de energia elétrica para suprir sua demanda e o Brasil não fica fora desse cenário.

É indesejado nos dias atuais que se faça uso de combustíveis fósseis na geração de energia elétrica enquanto se tem em abundâncias recursos naturais como o sol e o vento. Portanto, este estudo, tenta mostrar o quão benéfico é para o meio ambiente o uso de seus recursos praticamente inesgotáveis na geração de energia. Obviamente, qualquer investimento deve ter algum retorno. Por isso, vale lembrar das vantagens que se tem na geração de energia próximo ao consumo, pois diminui-se grandemente as perdas na transmissão de energia além de economizar, também, em infraestrutura na construção de linhas de transmissão para longas distâncias (ANEEL, 2016).

#### 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente, será feita uma busca bibliográfica para o levantamento de parâmetros que serão realmente relevantes no tipo de planejamento abordado neste

trabalho. Também, buscará panoramas diferentes para que o estudo de geração de energia a partir de fontes renováveis tenha a maior aplicabilidade.

Com posse dessas informações, será feita uma estimativa de geração de energia das tecnologias que possam vir a ser aplicáveis na região para verificar-se e, confirmar, qual é a melhor opção para implantar na região.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho foi estruturado em capítulos, tais como: o primeiro capítulo traz a introdução do trabalho, problemas e premissas que o envolve, além dos objetivos gerais e específicos deste estudo. Por fim, justifica-se o tema e os procedimentos metodológicos.

O segundo capítulo mostra um pouco do contexto atual do setor elétrico do Brasil e do estado de Goiás, além de trazer as fundamentações teóricas. Neste caso, todo o conteúdo analisado para a formulação do trabalho.

Já no terceiro capítulo, descreverá sobre a tecnologia no Brasil e uma possível implantação de uma usina na região.

Por fim, no quarto capítulo, apresentará a conclusão e as considerações finais deste estudo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será abordado como é composta a matriz energética brasileira, isto é, qual é a participação de cada fonte na geração de energia. Descreverá, as perspectivas futuras para o setor energético nacional e, ainda, abordará a situação do setor elétrico goiano, especificamente na região noroeste do estado de Goiás. Além disso, o estudo também abordará os benefícios para o setor elétrico regional no quesito de investimento em geração de energia próximo a carga.

Ao final, será levantado um estudo do potencial das três fontes propostas, além de descrever sobre critérios relevantes para uma estimativa de geração de energia no local escolhido.

### 2.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA E SETOR ELÉTRICO GOIANO

#### 2.1.1 Setor elétrico brasileiro

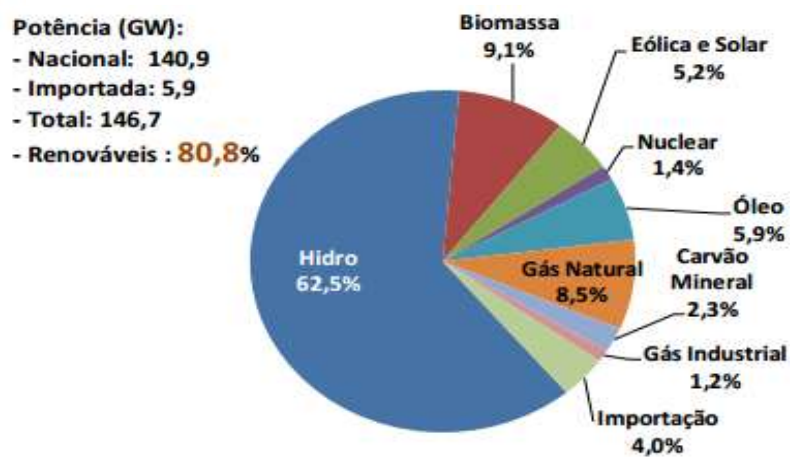
Nos últimos anos, o setor elétrico tem experimentado um grande processo de reestruturação, evoluindo para estruturas mais competitivas e complexas. Deste modo, a energia elétrica tornou-se um produto livremente comercializado em leilões desenvolvidos para o setor.

Aproximadamente 62,5% da energia elétrica gerada no Brasil vem de usinas hidrelétricas. Isso se deve à grande riqueza hidrográfica que abrange todo o território brasileiro. Todavia, sempre se faz necessária uma complementação na geração, principalmente para aproveitar a diversidade de recursos naturais que o país oferece, além de aumentar a confiabilidade do sistema elétrico de potência (LALA, 2002).

Segundo o MME (2016) e ONS (2014), o sistema de geração de energia elétrica brasileiro consiste em um sistema hidrotérmico de grande porte, com predominância de geração hidráulica.

A Figura 1 ilustra a matriz energética brasileira com a porcentagem de participação cada uma das fontes que a compõe. Vale lembrar que esses dados são consolidados do ano de 2015 e, todos os anos, o Ministério de Minas e Energia juntamente com as empresas que integram o setor fazem um novo levantamento. Como já era de se esperar, a maior parte da geração de energia vem de fontes renováveis como a hidráulica, eólica, biomassa e solar. Porém, o gráfico também mostra uma produção significativa de energia a partir de fontes altamente poluentes e a importação de outra parte.

**Figura 1 - Matriz Energética Brasileira**



FONTES: ANEEL (2016).

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE), através das publicações dos balanços energéticos nacional, vem mostrando ano após ano que a geração de energia com base em fonte renovável vem ganhando espaço cada vez maior na matriz energética.

O Balanço Energético Nacional (BEN, 2016), confirma que apesar das condições hidrológicas desfavoráveis que causaram uma redução na geração das usinas hidrelétricas, houve um acréscimo de quase 1% da participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira. Isso se deve pela queda na geração térmica com base de derivados de petróleo e o aumento na geração a base de biomassa e eólica.

Segundo o Plano Nacional de Energia 2030 (PEN, 2007), a tendência do setor energético é de haver um acréscimo ainda maior na geração de energia a partir de fontes renováveis. O documento prevê a diversificação das fontes geradoras, aproveitando as características de cada região do país.

O documento mostra, também, que o percentual de hidroenergia na matriz elétrica brasileira tem a tendência de cair dos atuais 62% para aproximadamente 59%. Mesmo assim, estima-se que as fontes renováveis de geração de energia representarão em 2030, 85% da matriz energética nacional (EPE, 2008).

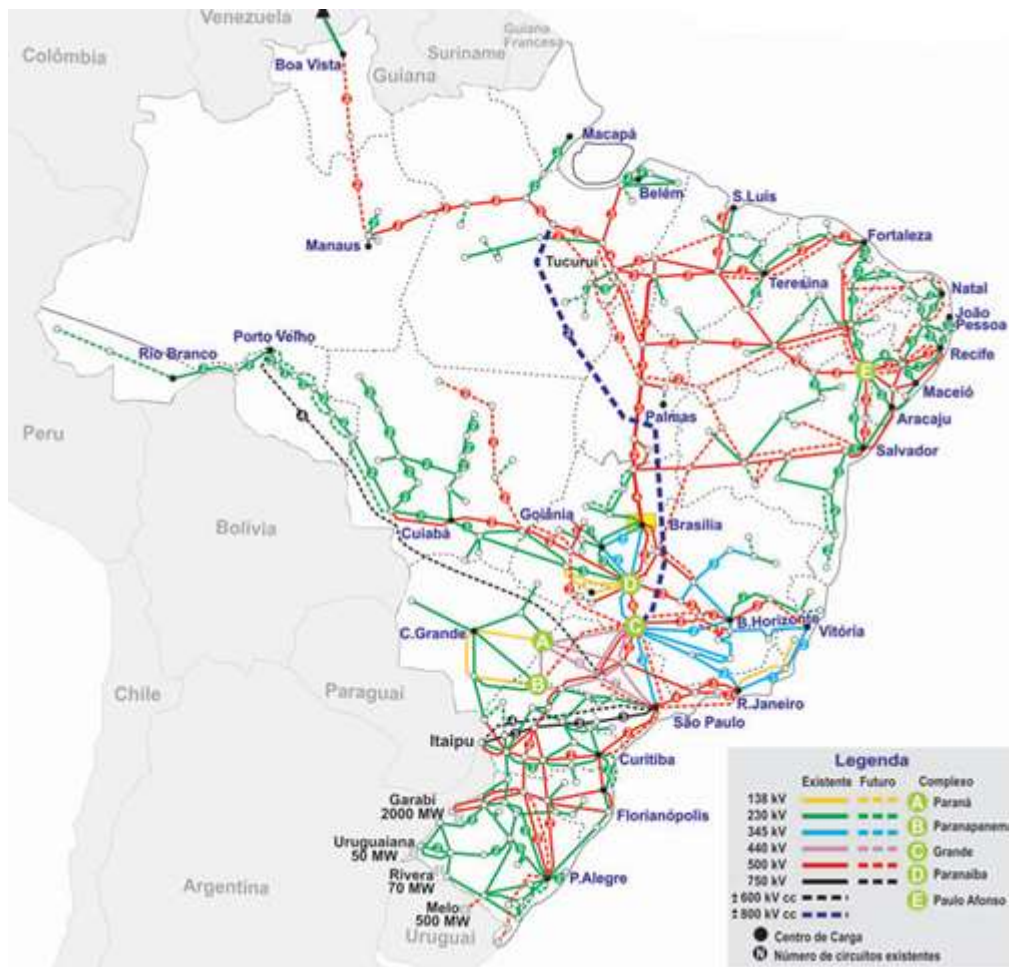
### 2.1.2 Setor elétrico goiano

Como reflexo do setor elétrico brasileiro, o setor goiano é de grande porte composto por diversas usinas geradoras de diferentes fontes e linhas de transmissão de diferentes níveis de tensão. Segundo a plataforma de informação sobre empreendimentos de geração da ANEEL (SIGEL, 2016), existem em Goiás mais de 80 empreendimentos de geração de energia. A geração de energia elétrica por matriz hidráulica em Goiás representa 7,12% do total da capacidade instalada no Brasil (BIG, 2017).

O Estado de Goiás possui 27 empreendimentos do setor energético em operação, gerando 8,03 milhões de kW de potência. São 6 usinas hidrelétricas, 10 termelétricas, 4 PCHs (Pequena Central Hidrelétrica) e 5 CGHs (Central Geradora Hidrelétrica). Está prevista para os próximos anos adição de 1,4 milhão de kW na capacidade de geração do Estado, proveniente dos 8 empreendimentos atualmente em construção e mais 21 com sua Outorga assinada. (IMB, 2004)

Localizado na zona central do Brasil, o estado goiano serve de caminho para diversas linhas de transmissão que cortam o país. A Figura 2 mostra o esquema das linhas de transmissão nacional existente e planejadas.

**Figura 2 - Sistema de Transmissão**



FONTE: ONS (2015).

### 2.1.2.1 Dificuldade do setor elétrico goiano e solução à vista

Todos os anos, a Agência Nacional de Energia Elétrica divulga o *ranking* da qualidade das distribuidoras de energia no país. Ano a após ano, a principal distribuidora de energia elétrica do estado de Goiás, Companhia Energética de Goiás - CELG, figura nas últimas posições como a pior companhia brasileira. Por exemplo, em 2015 o *ranking* traz a CELG na posição 32 entre 32 distribuidoras. A classificação é elaborada com base no desempenho de alguns indicadores, como DGC (Desempenho Global de Continuidade), DEC (Duração Equivalente de Interrupção por

Unidade Consumidora) e o FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) (*Ranking* 2016 - ANEEL, 2016).

O reflexo de quase sempre figurar nas posições inferiores do *ranking* de distribuidoras do país fica óbvio na insatisfação e nos prejuízos aos clientes. Com o elevado índice de quedas de energia e a demora o reestabelecimento da mesma, prejuízos se acumulam. Faltam investimentos em todas as regiões de atuação da companhia. Nas zonas rurais o fornecimento é ainda pior. Em reportagens de emissoras locais foi detectado que a demora no reestabelecimento da energia elétrica chega a 10 dias (G1, 2015), ocasionando a perda dos produtos congelados além de queima dos equipamentos elétrico causado por curto-circuito na rede de distribuição.

No entanto, com a venda da Companhia Energética de Goiás para a Enel Brasil S.A. e o anúncios dos investimentos desta no estado, surgem expectativas de melhoras no fornecimento de energia. Segundo a Enel, entre outras obras, serão construídas novas subestações e quilômetros de redes de média e alta tensão (GOIÁS AGORA, 2017).

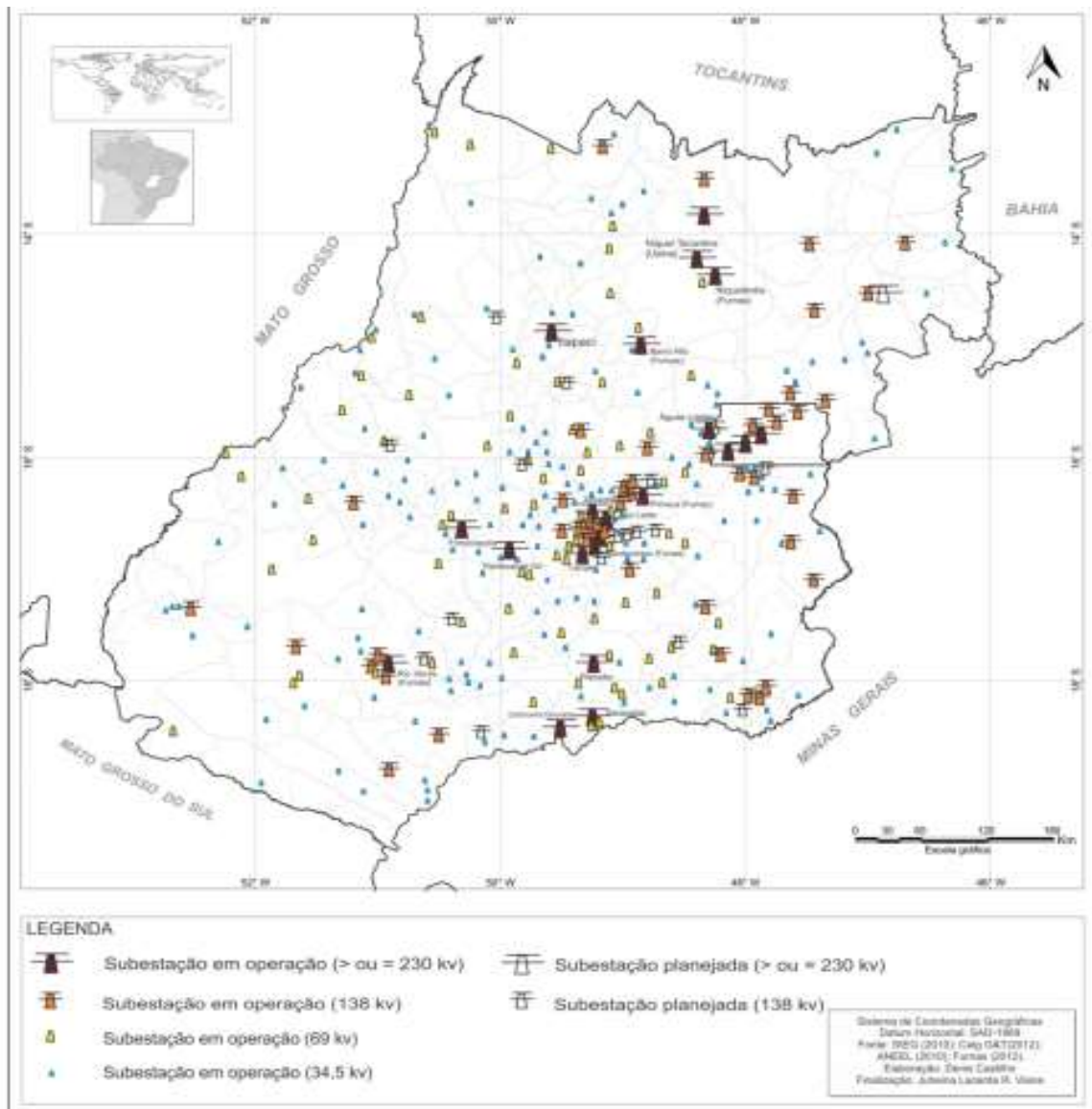
### 2.1.3 Setor elétrico do noroeste goiano

O noroeste goiano é formado por 23 pequenos municípios, sendo o mais populoso deles a cidade de São Miguel do Araguaia com a população estimada em 2016 de 22.706 habitantes (IBGE, 2016). As dificuldades enfrentadas pelo setor elétrico na região não são diferentes das enfrentadas no estado inteiro. Os apagões são constantes e os investimentos baixíssimos.

Por intermédio de um mapa elétrico do estado de Goiás, constata-se que a região noroeste de Goiás não é contemplada com nenhuma usina geradora de energia elétrica e as linhas de transmissão que atendem a localidade são de até 69 kV. A Figura 3 mostra as subestações instaladas no estado até o ano de 2010.



**Figura 3 - Distribuição Espacial das Subestações de Energia em Goiás**



**FONTE: Castilhos (2013).**

### 2.1.3.1 Custo da energia em Goiás

Os consumidores de energia elétrica do grupo “B” no Brasil pagam um valor correspondente a quantidade consumida em um determinado período de tempo, geralmente este intervalo é de 30 dias. No preço da energia elétrica paga pelos

consumidores brasileiros estão englobados diferentes valores, desde custos operacionais a encargos e impostos.

A composição das tarifas, conforme metodologia desenvolvida pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL é resultado de processo não trivial, envolvendo complexas simulações do carregamento das linhas de transmissão e distribuição, da composição dos contratos de compra de energia, do impacto da flutuação das cotações do dólar norte-americano em função da energia gerada por Itaipu e, finalmente, pelas revisões tarifárias periódicas das concessionárias de distribuição de energia elétrica envolvendo a construção de uma empresa de referência definida pelo regulador, com a função de ser um “concorrente virtual”, e também uma complexa definição do custo médio ponderado de capital que remunera os investimentos realizados na prestação dos serviços (CARÇÃO, 2011).

Segundo a ANEEL, uma das composições do reajuste tarifário anual é o investimento que a companhia de distribuição faz na sua própria rede. Ao comparar-se os *rankings* de continuidade de serviço e de tarifa das distribuidoras de energia do Brasil, percebe-se que a tarifa da CELG é onerosa pelo serviço que vem prestando. Isso pode ser confirmado observando-se a Tabela 1, a qual mostra o *ranking* de continuidade do serviço. A lista envolve distribuidoras que tem mais de 400.000 clientes.

**Tabela 1: Indicador de Desempenho Global de Continuidade**

<b>Posição no Ranking</b>	<b>DGC</b>	<b>Sigla</b>	<b>Região</b>
1º	0,64	CEMAR	NE
2º	0,65	COELCE	NE
3º	0,7	EPB	NE
:			
32º	1,72	CELG-D	CO

**FONTE:** *Ranking 2016 - ANEEL, 2016.*

**Observação:** Quantidade de Unidades Consumidoras maior que 400.000.

Observando a Tabela 2, e fazendo a diferença entre a tarifa da CEMAR e da CELG, constata-se que o valor é de apenas R\$ 0,076. Diferença irrisória quando se percebe que a energia elétrica é um bem essencial à sociedade, tendo em vista sua importância em todas as áreas de um país em desenvolvimento como o Brasil.

**Tabela 2: Ranking Nacional de Tarifas Residenciais (Grupo B1)**

<b>Tarifa kWh (*)</b>	<b>Distribuidora</b>	<b>UF</b>	<b>Data Vigência</b>
R\$ 0,496	CEMAR	MA	01/04/2017
R\$ 0,475	COELCE	CE	22/04/2017
R\$ 0,435	EPB	PB	01/04/2017
R\$ 0,420	CELG-D	GO	01/04/2017

**FONTE: Ranking das Tarifas, 2017 – ANEEL.**

**(\*) Estes valores não contemplam tributos e outros elementos que fazem parte da fatura de energia elétrica, tais como ICMS e taxa de iluminação pública.**

#### 2.1.4 Geração de energia próximo da carga

Cada vez mais os grandes empreendimentos de geração de energia como as usinas hidroelétricas vem ficando longe das cargas ou centros de consumo. Isto se deve pelo fato que os melhores aproveitamentos hidrológicos já foram usados, restando, apenas, alguns distantes. Um exemplo disto é a Usina de Belo Monte que está sendo construída no estado do Pará e terá sua linha de transmissão, para escoamento da energia gerada, com a extensão aproximada de 2087 km (BRASIL, 2016).

Além de caras, linhas de transmissão de longas distancias são trabalhosas de construir, exigindo diversas licenças ambientais e tendo sua mão de obra bem especializada. Ademais, quanto maior é a linha de transmissão maiores são as perdas de energia e queda de tensão.

Em consultas feitas aos dados disponíveis da ANEEL, percebe-se que não há micro ou mini usinas de geração distribuídas na região de São Miguel do Araguaia. Com o advento da geração de energia próximo a carga, normalmente com o uso de

geradores a partir de fontes renováveis, surge uma solução para as dificuldades enfrentadas como no exemplo da Usinas de Belo Monte. De um modo geral, a presença de geradores próximos às cargas pode-se proporcionar diversos benefícios para o sistema elétrico regional, entre eles destaca-se: a postergação de investimentos em expansão nos sistemas de distribuição e transmissão; baixo impacto ambiental e melhora do nível de tensão da rede no período de carga pesada. Além da diversificação da matriz energética.

Os benefícios oferecidos pela geração distribuída colaborarão com os investimentos que a nova companhia de distribuição do estado, ENEL S.A., pretende fazer. Melhorando o fornecimento de energia para os produtores rurais de São Miguel do Araguaia evitando que estes fiquem o menor tempo possível sem energia.

Uma outra informação relevante no tocante a geração distribuída é descrita pela Resolução Normativa 687 (REN, 2015) da ANEEL, na qual limita a potência do sistema de geração a potência disponibilizada para a unidade consumidora do grupo B ou a demanda contratada de consumidores do grupo A.

## 2.2 ENERGIA EÓLICA

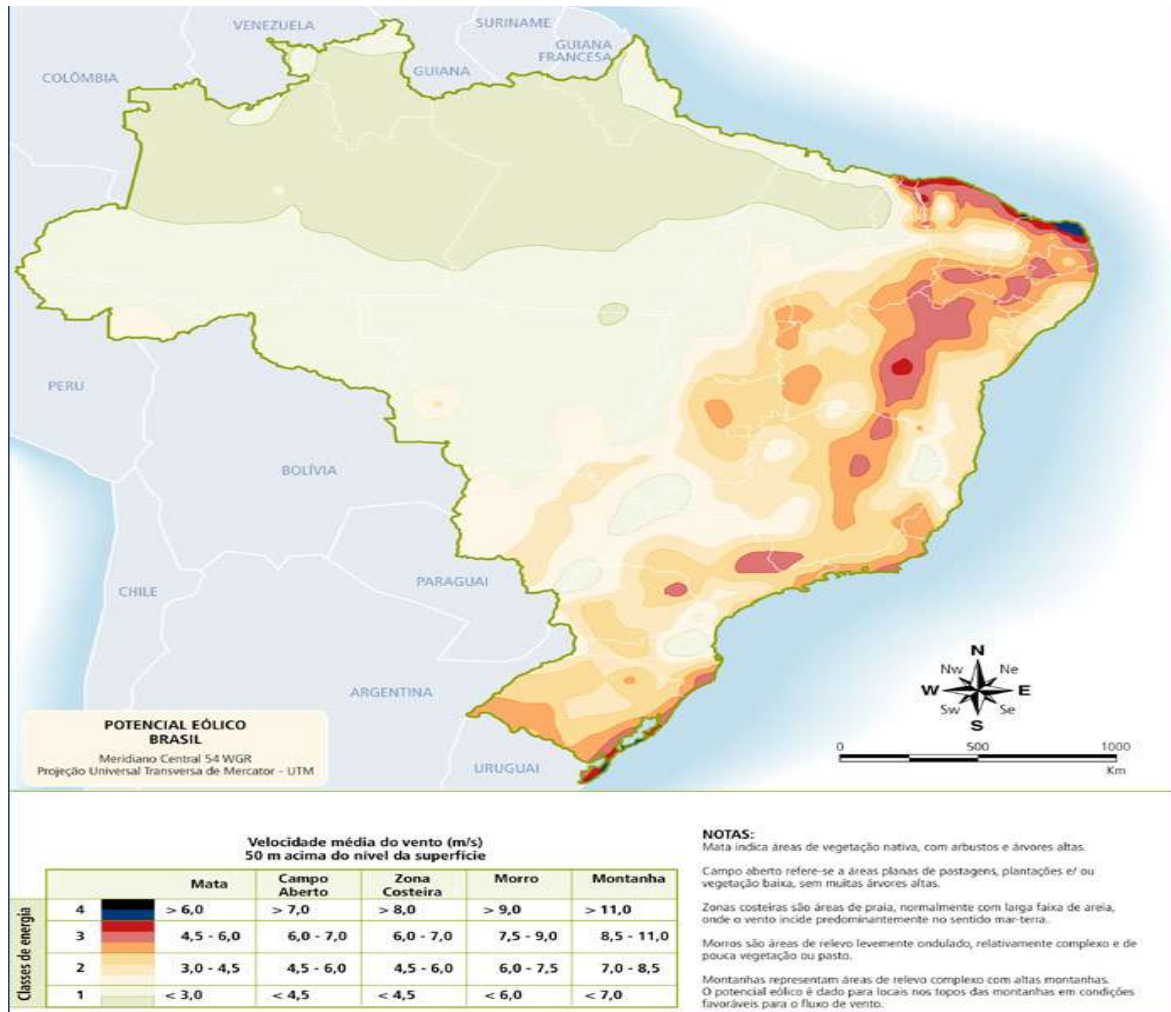
Os investimentos em usinas eólicas no Brasil não param de aumentar, grandes grupos vêm investindo fortemente nesse tipo de empreendimento. Como resultado, dados de 2014 mostram que o Brasil está na lista dos maiores produtores de energia eólica no mundo. Somente três países apontam à frente do Brasil nesse tipo de produção de energia, que são: Alemanha, Estados Unidos da América e China (BRASIL, 2016).

No Brasil, as melhores condições para a produção de energia a partir dos ventos são encontradas na costa leste do país, precisamente no Rio Grande do Norte e Ceará. Contudo, existem ainda, vários outros empreendimentos desse tipo espalhados pelo Brasil, como por exemplo no estado do Rio Grande Sul, onde pode-se encontrar centenas de parques eólicos (ANEEL, 2016).

A ANEEL, em 2012, regulamentou a chamada “Geração Distribuída” no Brasil, aquela em que os consumidores podem gerar sua própria energia através de diferentes fontes. Por isso, se algum consumidor de energia verificar que sua região

tenha viabilidade para a geração de energia eólica, este poderá instalar um aerogerador em sua residência ou empresa. Como mostra a Figura 4, várias regiões do país são propícias à geração de energia eólica.

**Figura 4 - Potencial Eólico Brasileiro**



**FONTE:** Energia Eólica, 2003.

### 2.2.1 Informações relevantes para uma estimativa de cálculo

A utilização de energia eólica em propriedades rurais mundo a fora vem se desenvolvendo rapidamente com o advento de novas tecnológicas para aerogeradores. Em 1992 um estudo desenvolvido por Mishara e Sharma (SILVA *et al*, 2003), já apresentava os benefícios do aproveitamento dos recursos naturais na geração de energia.

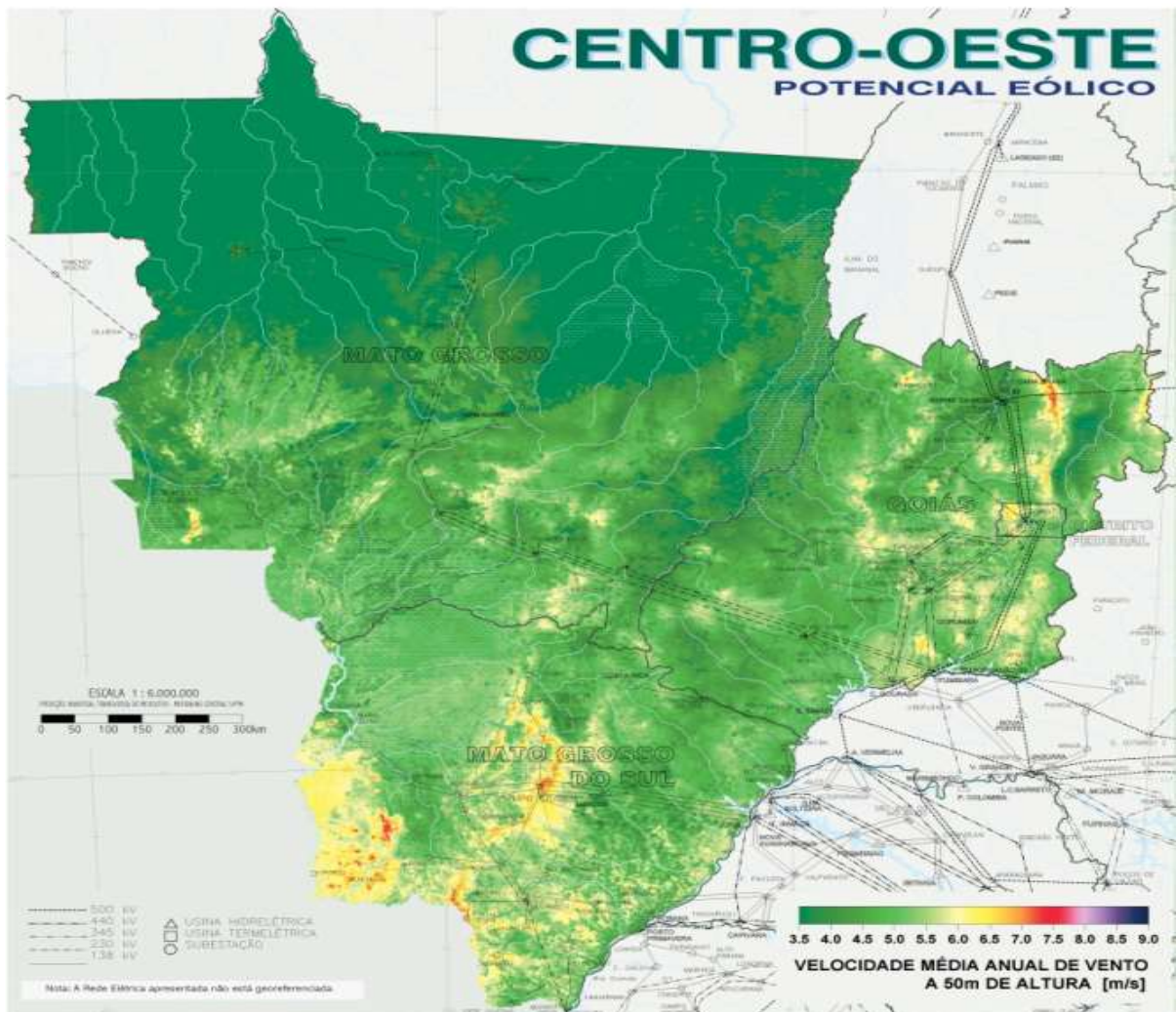
A energia eólica pode ser aproveitada em bombas d'água para irrigação e outros propósitos. Assim, enorme quantidade de energia consumida para bombeamento d'água pode ser poupada pela introdução de bombas de cata-vento. E concluíram no trabalho que o bombeamento d'água usando a velocidade de bombear do cata-vento é muito econômica (SILVA *et al*, 2003).

Mesmo para pequenos aerogeradores para sistemas de geração de energia isolado da rede elétrica, como por exemplo, sistema de bombeamento de água, a máquina de geração necessita que o vento imprima uma velocidade mínima estipulada pelo fabricante para a inicialização do seu funcionamento. O estado de Goiás não oferece as melhores condições para a geração de energia elétrica a partir dos ventos. Dados disponibilizados pela ANEEL confirmam que não há registro de gerador eólico no estado.

Segundo estudos feitos pela CRESESB na região centro-oeste, mostram que todos os estados que compõe a região são desfavoráveis para geração de energia eólica quando comparados a estados da região nordeste do Brasil que são grandes produtores de energia a partir dos ventos.

A Figura 5 ilustra a média da velocidade dos ventos a 50 metros de altura, confirmando que toda a região é desprivilegiada neste quesito, com o potencial eólico estimado de 5,4 TWh/ano. Esse é o menor potencial dentre todas as regiões do país (CRESESP, 2001).

**Figura 5 - Potencial Eólico - Centro Oeste Brasileiro**



**FONTE: CRESESB (2001).**

### 2.3 ENERGIA DE BIOMASSA

A biomassa é uma das maiores fontes de energia disponíveis em áreas agroindustriais. A decomposição biológica dos dejetos animais, que produz dentre outros gases o metano, vem sendo usado na produção de biogás e adubo em várias partes do país.

O confinamento de animais para engorda trouxe uma solução plausível para evitar o emagrecimento de animais, sobretudo em épocas de seca. Todavia, esse



sistema também tem causado problemas para os proprietários, pois a dificuldade na limpeza dos resíduos produzidos nos empreendimentos cresce com o aumento da concentração dos animais confinados. Os problemas relacionados com os dejetos são principalmente ambientais, já que o seu descarte em rios, lagos ou no meio ambiente provoca a liberação de gases do efeito estufa para a atmosfera (TESTON, 2010)

No Brasil, a produção de energia a partir da biomassa vem se difundindo rapidamente, não só com a utilização de dejetos animais, mas, também, com outros elementos orgânicos como o bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, carvão vegetal dentre outros. O aproveitamento do biogás produzido tem se mostrado uma grande alternativa na mitigação dessas matérias-primas, além de agregar valor aos resíduos gerados (KUNZ, OLIVEIRA, 2006).

A utilização de material orgânico produzido pelos confinamentos é viável tanto para pequenos e grandes empreendimentos, pois existem diferentes tipos de biodigestores. O biodigestor é um reservatório onde é colocado o material orgânico para a fermentação e produção do biogás (TESTON, 2010).

Basicamente, existem dois tipos de biodigestor: produção continuada e descontínua. O de produção continuada, como o nome sugere, produz biogás por um longo período ininterrupto para a limpeza. Já o biodigestor descontínuo, deve ter o seu reservatório totalmente abastecido com a matéria orgânica e fechado por um período de 90 dias. Após isso, é aberto, limpado e novamente recarregado (TESTON, 2010)

Apesar de existirem inúmeros confinamentos bovinos na região de São Miguel do Araguaia, disponibilizando a matéria prima para a produção do biogás, não há usina movida a biomassa para o aproveitamento do elemento orgânico. Salienta-se que o gás produzido pode ser usado em diferentes atividades, tais como geradores de energia elétrica e fogões de cozinha.

Destaca-se alguns pontos nas vantagens da utilização do biogás:

- Menor emissão de poluentes, se comparado à queima de combustíveis fósseis, podendo contribuir para a diminuição do efeito estufa e do aquecimento global;
- Construção rápida, quando comparado com usinas hidroelétricas e termelétricas movidas a combustíveis fósseis;
- Geração de energia próxima aos centros de carga, o que pode reduzir a necessidade de construção de linhas de transmissão;



- A geração de energia elétrica proveniente de biomassa é mais barata do que a energia gerada em termelétricas movidas a combustíveis fósseis;
- A cogeração de energia a partir de biomassa complementa a geração de energia das hidroelétricas.

### 2.3.1 Informações relevantes para uma estimativa de cálculo

A produção do biogás se dá pela decomposição biológica de matéria orgânica na ausência de oxigênio. Por isso, para a produção em larga escala desse produto, é necessário que se tenha disponível um grande volume de matéria orgânica.

Reportagem de mídia especializada mostra que existem centenas de confinamentos bovinos na região noroeste de Goiás, sendo ao menos cinco destes concentrados em torno de São Miguel do Araguaia (CANAL RURAL, 2013). Além disso, descobriu-se que os dejetos produzidos nos confinamentos não são aproveitados, sendo descartados em pasto aberto, rios ou doados como adubos.

Para a produção de biogás e consecutivamente a produção de energia elétrica, deve-se ter em mente uma quantidade estimada que o dejetos animal é capaz de produzir. A Tabela 3 apresenta a produção média de biogás que os dejetos de um animal bovino de 500 kg são capazes de produzir. Também é mostrado o equivalente de energia elétrica produzida (kWh/dia) (PEREIRA *et al*, 2015).

**Tabela 3: Estimativa para um Animal Bovino em Confinamento**

	Dejeto (kg/dia)	Biogás (m <sup>3</sup> /dia)	Energia (kWh/dia)
Bovino em Confinamento (500 kg)	12,5	0,5	8,333

**FONTE: Pereira *et al*, 2015.**

## 2.4 ENERGIA SOLAR

Existem hoje no Brasil diferentes fabricantes de módulos fotovoltaicos e inversores de frequência. O inversor é um equipamento de altíssima tecnologia embarcada, sendo usado para transformar a corrente contínua produzida pelos módulos fotovoltaico em corrente alternada para ser injetada à rede elétrica. Já o módulo fotovoltaico é o elemento responsável por captar e converter a luz do sol em energia elétrica.

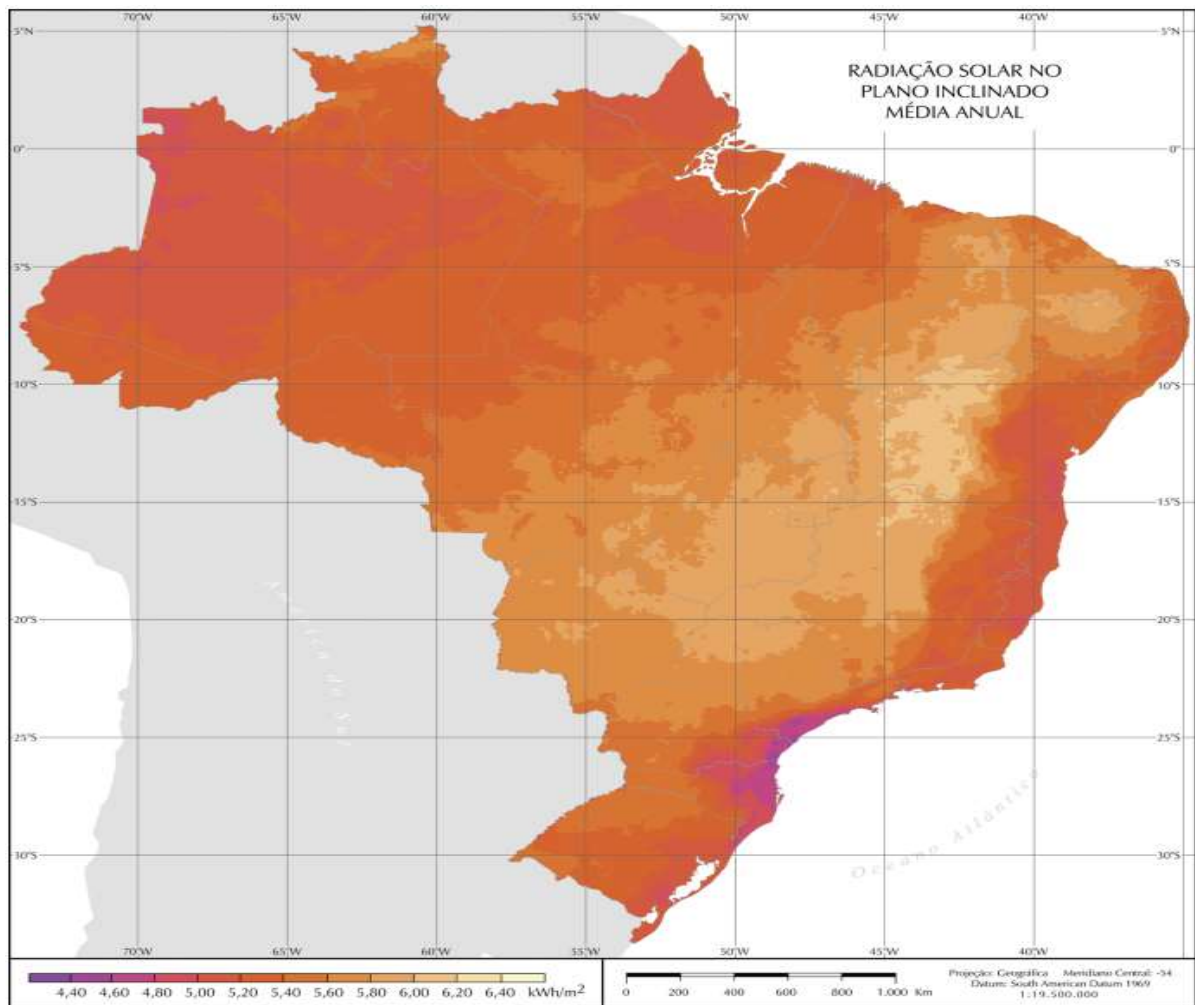
Com o intuito de demonstrar o potencial das aplicações econômicas da energia solar em território nacional, a primeira edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2006), traz uma série de estudos feitos em todo o país, confirmando o que já era de se esperar: o Brasil tem um grande potencial energético através radiação solar. Vale lembrar que em meados de julho de 2017 foi lançado a segunda edição do Atlas Brasileiro de Energia Solar, contendo novos dados além da revisão das informações publicadas anteriormente (PEREIRA *et al.* 2017).

De acordo com o Pereira *et al.* (2006), a localidade de maior valor de irradiação solar média anual ocorre na região nordeste do país, no estado da Bahia na divisa com o estado do Piauí. Por outro lado, a menor irradiação acontece no sul do Brasil, no litoral norte de Santa Catarina.

Segundo Tiepolo (2015), o estado do Paraná possui o potencial de geração de energia fotovoltaica superior a muito países europeus, como por exemplo: 58,75% superior ao potencial da Alemanha, 1,97% superior ao da Itália e 31,28% superior ao da Espanha.

O ótimo potencial energético goiano, como já era de se esperar, é confirmado pelo Atlas Solar Brasileiro 2006. Outra constatação desse potencial foi feita por Tiepolo (2015), em que através de estudos aprofundados, constatou-se que os estados de Goiás, Distrito Federal e Piauí tem a maior média anual de irradiação solar do país.

A Figura 6 expõe a radiação solar no plano inclinado média anual. A inclinação se refere a latitude da localidade com orientação azimutal para o Norte verdadeiro.

**Figura 6 - Radiação Solar Global no Plano Inclinado Médio Anual**

**FONTE: Pereira et al. (2006).**

#### 2.4.1 Informações relevantes para uma estimativa de cálculo

Para o melhor cálculo de estimativa de desempenho de uma usina fotovoltaica alguns dados devem estar bem claros como, por exemplo, a escolha da tecnologia dos módulos fotovoltaicos, além da quantidade de energia que se pretende produzir. Ademais, os dados de irradiação solar da localidade e a taxa de desempenho do conjunto devem ser, também, determinados.

Portanto, as especificações para uma usina fotovoltaica, são:

- O sistema a ser dimensionado deverá privilegiar a máxima geração de energia da localidade escolhida;
- Tecnologia dos módulos fotovoltaicos;
- Consumo mensal;
- Máxima queda de tensão nos condutores: 4%. Tanto lado CC do inversor quanto do lado CA;
- Taxa de desempenho (PR): 80%

Para o sistema de geração privilegiar a máxima geração de energia, os módulos solares deverão ser direcionados para o norte verdadeiro, inclinado de acordo com a latitude da localidade. Já a taxa de desempenho ou em inglês *performance ratio (PR)*, é o rendimento típico para esses tipos de sistemas.

De acordo com Urbanetz (2016), a seção dos condutores elétricos é calculada pela Equação 1.

$$S_{co} = \frac{2.L.P.0,0178}{V^2.\Delta V} \quad (1)$$

Em que:

$S_{cond}$ : área de seção transversal do condutor em milímetros quadrados;

L: comprimento do condutor em metros;

P: potência total do sistema fotovoltaico em Watt;

V: tensão de operação em CC ou CA em volt;

$\Delta V$ : queda de tensão admissível em %.

Com base na localidade desejada, deve-se verificar os dados de irradiação solar incidente no plano inclinado dos módulos. Consultando-se os dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA *et al.*, 2006), juntamente com suas ferramentas de apoio, é possível obter tal informação.

A Tabela 4 indica os valores típicos de irradiação solar diária (kWh/m<sup>2</sup>.dia) em cada mês no ponto cujo as coordenadas são: Latitude -12,83, Longitude -50,36. Este ponto é o mais próximo do local desejado para a instalação dos módulos fotovoltaicos.

**Tabela 4: Irradiação Solar no Plano Inclinado dos Módulos Fotovoltaicos**

H <sub>TOT</sub> (kWh/m <sup>2</sup> .dia)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
	5,27	5,75	5,76	5,88	5,75	5,30	5,31	5,99	6,55	6,21	5,81	5,31	5,71

**FONTE: Pereira et al., 2006.**

Após a coleta dos valores mensal de irradiação incidente no plano dos módulos, deve-se calcular a energia gerada pelo sistema fotovoltaico. Segundo Urbanetz (2016), a energia é calculada pela Equação 2:

$$E = \frac{P_{pv}.H_{tot}.PR}{G} \quad (2)$$

Em que:

P<sub>pv</sub>: potência instalada do sistema fotovoltaico;

E: energia mensal gerada;

G: irradiância na condição STC (1000 W/m<sup>2</sup>);

H<sub>tot</sub>: irradiação mensal (kWh/m<sup>2</sup>);

PR: *performance ratio* do sistema fotovoltaico.

### 3 PROCEDIMENTOS

Os resultados encontrados foram baseados em diferentes fatores que comprovam que o gerador solar é o melhor investimento para esse tipo de atividade na cidade de São Miguel do Araguaia. Alguns destaques, são: recursos naturais com grandes disponibilidades, no caso o sol; baixa manutenção e fácil instalação. Por isso, neste capítulo, foi justificado as causas das refutações das fontes eólica e biomassa. Similarmente, foi explicado a valorização da fonte solar e, ao final do estudo, foi apresentado uma estimativa de cálculo do *payback* do investimento e o custo evitado na conta de energia do empreendedor.

#### 3.1 TOMADA DE DECISÃO SOBRE A USINA DE MELHOR DESEMPENHO

Tendo em vista as características técnicas operacionais dos três empreendimentos de geração de energia elétrica, optou-se pelo cálculo de estimativa de geração de energia apenas da usina solar fotovoltaica. Características como a de recursos naturais com grande disponibilidade, facilidade da captação, rápida instalação e baixa manutenção foram primordiais pela escolha.

Uma usina movida a biomassa poderia ser eficiente na região, em fazendas que fazem uso de confinamento para engorda de gado. No entanto, as características construtivas desse tipo de confinamento usado pelos pecuaristas, não contribuem para o recolhimento da biomassa produzida, ou seja, o esterco do gado.

No caso da energia eólica, os ventos na região não são favoráveis para a geração, tornando esse tipo de gerador pouco atrativo. Mesmo para pequeno aerogeradores para sistemas isolados que não se conectam à rede elétrica convencional, estudos mostraram não ser vantajoso já que a maior parte do ano os ventos existentes na região não imprimem uma velocidade mínima nas pás dos aerogerador para que seja iniciado a geração de energia.

### 3.1.1 Refutação da fonte eólica

Para uma estimativa de cálculo de geração de energia eólica na região de São Miguel do Araguaia, pesquisou-se nos dados históricos as velocidades dos ventos. De acordo com as estimativas do CRESESP, a velocidade média anual do vento é de 4,94 m/s. A Tabela 4 mostra a estimativa de velocidade média sazonal do vento a 50 metros de altura em São Miguel do Araguaia.

**Tabela 5: Velocidade Média Sazonal de Ventos**

Velocidade média do vento (m/s)	Dez-Fev	Mar-Mai	Jun-Ago	Set-Nov	Anual
	3,61	4,31	6,79	5,03	<b>4,94</b>

**FONTE: CRESESB (2001).**

Alguns dos menores aerogeradores atualmente como, por exemplo, o modelo SW-5K da marca Senwei cuja a potência é de 5 kW com torre de 10 metros de altura, necessitam de uma velocidade média anual de vento 5 m/s para desenvolver uma geração significativa. Além disso, este aparelho tem a geração iniciada quando o vento atinge suas pás com velocidade mínima de 2,5 m/s.

De acordo com Alé (2011), qualquer fluido em movimento tem a velocidade aumentada na medida em que este se afasta das superfícies que o delimitam. Portanto, as velocidades dos ventos a 10 metros de altura são menores do que as velocidades apresentadas na tabela anterior (50 metros de altura).

Como foi constatado que a velocidade média anual dos ventos são muito baixas, a viabilidade de instalação de um aerogerador na região de São Miguel do Araguaia, até mesmo para a geração distribuída, é baixa.

### 3.1.2 Refutação da fonte biomassa

Apesar de existir matéria prima em quantidade considerável para a geração de energia a partir da biomassa em São Miguel do Araguaia como o esterco de gado, as características construtivas dos confinamentos implantados na região não favorecem a coleta da matéria. Como o gado é criado em pasto de chão batido em grandes lotes, há grande dificuldade no recolhimento diário dos dejetos dos animais.

Em consultas realizadas em dados de geração de energia disponibilizados pela ANEEL, revelam que não há usina movida a biomassa na região estudada. Destacando, assim, a pouca vocação ou desconhecimento da tecnologia dos empreendedores para o aproveitamento da biomassa.

### 3.1.3. Valorização da fonte solar

Todas as fontes citadas na revisão literária confirmam o quanto beneficiado o Brasil é no quesito radiação solar. O estado de Goiás, por sua vez, tem uma das maiores médias de irradiação solar por metro quadrado do país, facilitando ainda mais o aproveitamento da energia dos raios solares.

Em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica editou a resolução normativa 482 obrigando as companhias de distribuição a aceitarem geradores de energia movidos a fontes renováveis para compensação de energia. A energia solar fotovoltaica foi a que mais cresceu, devido a sua facilidade e praticidade da instalação.

Nesse estudo, o cálculo de estimativa de geração de energia foi baseado em dados de uma propriedade rural. As contribuições do sistema fotovoltaico nesta propriedade foram vantajosas pois, além de diminuir a conta a ser paga para a concessionária, os módulos fotovoltaicos poderão, após um estudo técnico sobre o peso exercido nas estruturas do telhado, ser instalados no teto de um galpão, ocupando um espaço até então vago na propriedade. Uma outra característica do sistema de geração se dá pelo fato dele estar conectado à rede elétrica da companhia, não necessitando de banco de baterias. Assim, contribui-se ainda mais para a



sustentabilidade do meio ambiente, uma vez que baterias são equipamentos altamente poluentes.

### 3.2 ESPECIFICAÇÃO DA USINA SOLAR

Para conectar um micro ou minigerador ao sistema elétrico da CELG S.A. e participar da chamada compensação de energia, antes de mais nada, deve-se ter em mente os requisitos necessários que estão descritos na norma da companhia: NTC 71.

Segundo a Resolução Normativa 687 (REN, 2015), a potência instalada do micro ou minigerador distribuída fica limitado à potência disponibilizada para a unidade consumidora. Para unidades consumidoras do grupo A, a potência limitada do gerador é igual a potência contratada, expressa em quilowatts (kW); já para consumidores do grupo B, a potência limitante é o resultado da multiplicação entre a capacidade nominal de condução de corrente elétrica do dispositivo de proteção geral da unidade e a tensão nominal, observando o fator específico referente ao número de fases, impressa em quilovolt-ampère (kVA).

Pôde-se verificar localmente que a unidade consumidora do estudo está enquadrada no grupo tipo “B”, cuja a potência instalada disponibilizada para a unidade é de 75 kVA. Neste caso, a potência máxima do sistema de geração de energia fotovoltaica deve ser de 75 kW.

Para o cálculo de estimativa de geração de energia elétrica, o cenário verificado foi com as condições máximas de aproveitamento. Portanto: a potência máxima do gerador a ser instalado de 75 kW, nas condições de irradiação mostrada no tópico 2.4.1 (Tabela 4) deste trabalho.

Também, fez-se uma busca pelos equipamentos que compõe o sistema fotovoltaico e detectou-se que a tecnologia de módulos fotovoltaico que tem o melhor custo/benefício no mercado brasileiro atual é a de policristalino. Isso se deve pela sua vasta disponibilidade, além do bom rendimento.

De posse das informações técnicas fornecidas pela companhia local e do cenário definido, parte-se para a cálculo de geração estimado. Usando a Equação, tem-se:

$$E = 75.5,71.0,8/1 = 342,6 \text{ kWh/mês} \quad (3)$$

Com a definição da potência do gerador e a tecnologia dos módulos a serem usados, passa-se para a etapa de definição da quantidade de inversores e módulos fotovoltaico. No caso dos módulos, foi escolhido 240 de 310 Wp, modelo CS6X-310P, da fabricante Canadian.

Para os inversores, escolheu-se 3 aparelhos de 25 kW cada um. cujo modelo é o ECO 25.0-3-S trifásico 0,38/0,22 kV, da fabricante Fronius.

O local de instalação dos módulos fotovoltaico é definido levando em conta duas hipóteses: a primeira é instalação no teto de um galpão existente na propriedade, que se dispõe de uma área total de 16.414 m<sup>2</sup>, sendo a área necessária para módulos de 460,5 m<sup>2</sup>, apenas 2,8% da área disponível. Após um estudo sobre o peso que módulos e as estruturas metálicas exercerão no telhado, poder-se-á escolher esse local para instalação. A segunda hipótese será um terrado ao lado deste galpão. Esta hipótese é indesejada porque além de ocupar um espaço utilizado para estacionamento, será necessário licença ambiental.

No caso dos inversores, estes serão instalados próximo ao quadro de distribuição de circuitos. Um local seco e arejado de fácil acesso para vistorias e manutenções.

Por fim, foi aplicado a Equação 1 para dimensionar os fios do sistema, tanto do lado em corrente contínua (CC) bem como do lado em corrente alternada (CA). O resultado, foi:

- Lado CC, considerando 20 metros de cabo, a potência de 25 kW (por inversor) e tensão de barramento CC de 900 Vcc (soma das tensões dos módulos em série):

$$S_{cond} = (2.20.25000.0,0178)/((900)^2.0,04) = 0,5 \text{ mm}^2 \quad (4)$$

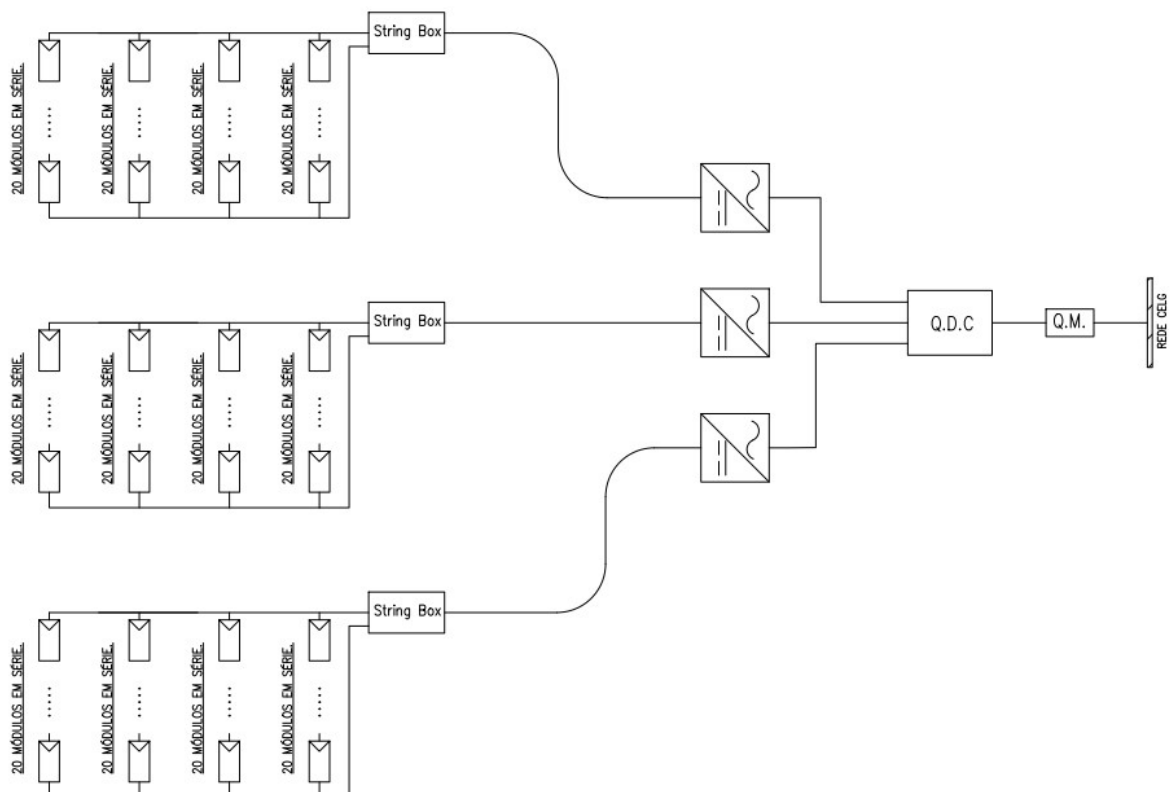
- Já para o trecho em CA, considerando 10 metros de fio, potência de 25 kW (por inversor), tensão do barramento de 380 V (tensão entre fases), tem-se:

$$S_{cond} = (2 \cdot 10 \cdot 25000 \cdot 0,0178) / ((380)^2 \cdot 0,04) = 1,5 \text{ mm}^2 \quad (5)$$

Para o atendimento da NBR 5410 (2004) que exige, no mínimo, seção transversal de 2,5 mm<sup>2</sup> para circuitos de força, foi escolhido fios dessa “bitola” para a ligação em ambos os lados do inversor.

Os módulos foram divididos igualmente para os 3 inversores: 80 módulos/inversor. Cada inversor tem quatro *strings* de 20 módulos. Entre os módulos fotovoltaicos e o inversor existirá uma caixa de equipamentos chamada *string box*. Tal caixa é composta por disjuntores de corrente alternada e contínua, além de fusíveis e DPS para proteção dos equipamentos.

**Figura 7 - Esquema de Ligação dos Módulos, *String Box* e Inversores**



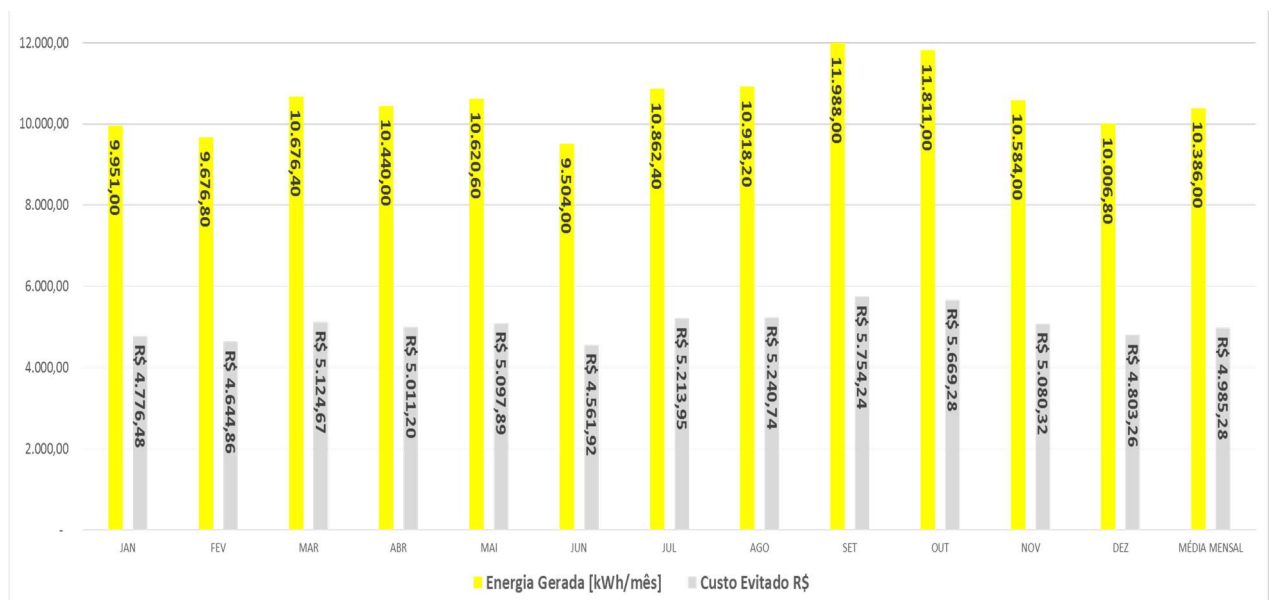
**FONTE: O autor (2017).**

### 3.3 CÁLCULO DE ESTIMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA DA USINA SOLAR

De posse de todos os dados relevantes do sistema de geração, foi calculado a estimativa de produção de energia para um ano típico na região.

A Figura 8 mostra a produção de energia estimada para a localidade escolhida.

**Figura 8 - Estimativa de Produção de Energia Mensal e Custo Evitado**



**FONTE: O autor (2017).**

Nota-se que a geração de energia varia conforme o mês. Isso acontece porque a quantidade total de radiação solar recebida depende da duração dos dias e, também, da altura do Sol. As maiores medias de irradiação solar na região acontecem na primavera.

Os resultados da geração de energia fotovoltaica são ainda mais surpreendentes quando comparados com os resultados de outros lugares do mundo, como os países da União Europeia. Pereira *et al.* (2006) afirma que os valores de irradiação solar global incidente em qualquer região do território brasileiro são

superiores aos da maioria dos países europeus, nos quais projetos de aproveitamento de recursos solares foram impulsionados com fortes incentivos governamentais.

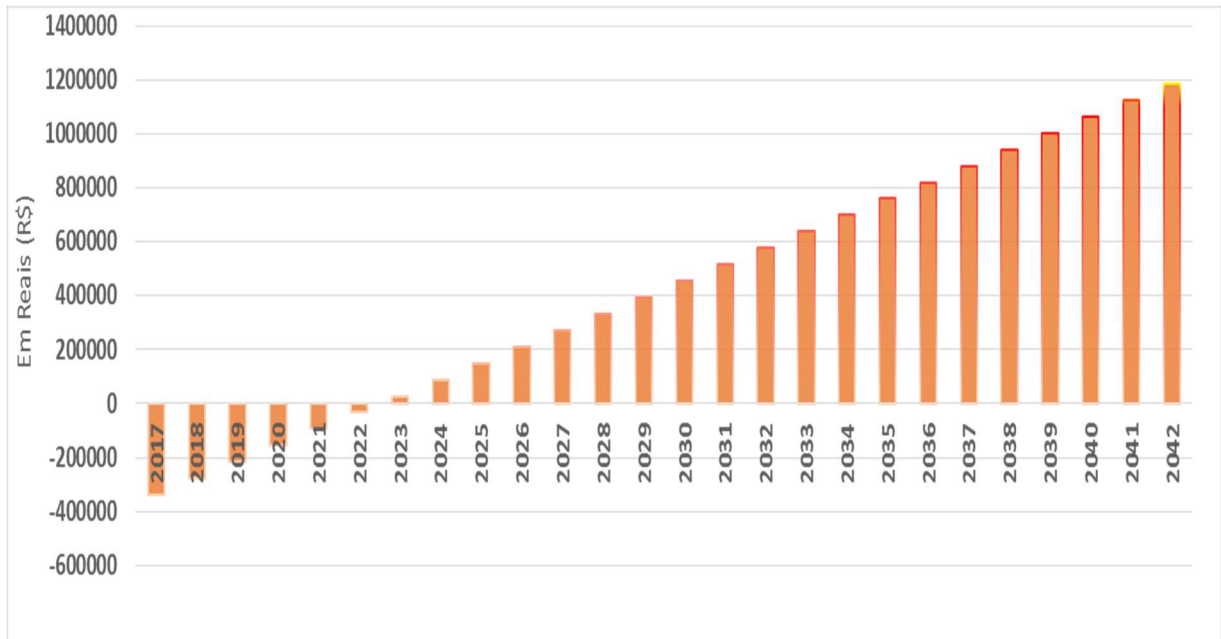
### 3.5 PAYBACK DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Considerou-se, também, uma estimativa do tempo de retorno do investimento, chamado de *payback*. O preço de todos os equipamentos do sistema de geração e a instalação deste gira em torno de R\$ 370.286,26. Já o custo evitado com a energia gerada pelo sistema fotovoltaico será o mesmo preço da energia fornecida pela concessionária, já que a usina solar gerará energia na modalidade de compensação de energia e não na venda efetiva de energia. Portanto, o preço praticado atualmente pelo kWh é de R\$ 0,48.

Na estimativa de retorno não foi considerado nenhum índice inflacionário nem aumentos no preço do consumo de energia. Por fim, também não foi considerado o aumento na tarifa de energia elétrica proveniente de bandeiras tarifárias. Os indicadores anteriormente citados não foram considerados pelo fato deles não influenciarem no tempo máximo de retorno pois, ao considerar-se os seus efeitos, o tempo mínimo do *payback* diminuirá.

Foi considerado um tempo de vida útil do sistema fotovoltaico de 25 anos. Este tempo é estimado pelo fabricante dos módulos solares, principal componente da usina solar. A Figura 9 mostra um gráfico do tempo de retorno do investimento aplicado.

**Figura 9 - Estimativa de Retorno Financeiro**



**FONTE: O autor (2017).**

Como mostrado na Figura 9, com a instalação de micro usina solar além de pagar o próprio investimento, ainda terá um custo evitado na conta de energia que, nesse caso, em 25 anos em mais de R\$ 1.000.000,00.

Existe a possibilidade da revitalização do sistema, como por exemplo a troca de algum equipamento da micro usina. Todavia, a chance de alguma manutenção não programada ter um impactar significativo no ganho final do sistema fotovoltaico em 25 anos de funcionamento é muito pequena.

## 4 CONCLUSÃO

A geração de energia a partir de fontes renováveis tem ganhado força ano após ano. Nas sociedades modernas é inimaginável viver sem os recursos provenientes da energia elétrica e por isso tenta-se obtê-la de modo a agredir cada vez menos o meio ambiente.

Neste estudo, buscou-se mostrar que a geração de energia a partir de fontes renováveis já é uma grande realidade do Brasil e o quão rico o país é em recursos naturais para obtenção da mesma. Mesmo em regiões pouco desenvolvidas e distantes dos grandes centros urbanos, há a possibilidade para a implantação de usinas elétricas movidas a recursos naturais disponível nestes lugares.

O lugar escolhido para o estudo foi a região de São Miguel do Araguaia, interior de Goiás, visto que essa região é rica em recursos naturais pouco aproveitados no quesito geração de energia, procurou-se mostrar o quanto benéfico é para o desenvolvimento da região no aproveitamento desses recursos. Confirmando que há vantagem tanto para o investidor quanto para o meio ambiente que é preservado.

Foram considerados três fontes para o estudo: solar, eólica e biomassa. O recurso solar mostrou-se satisfatório e totalmente viável a implantação de uma micro usina fotovoltaica na região. Já os estudos sobre a fonte eólica confirmaram as suspeitas de pouca viabilidade, visto que a região não é privilegiada por bons ventos. E por fim, estudou-se também a possibilidade de implantação de uma usina movida a biomassa, utilizando a matéria prima produzida pelos confinamentos existentes em fazendas da região. Atualmente, a implantação de uma usina movida a biomassa mostrou-se com baixa viabilidade pelo fato do esterco animal ser de difícil coleta dificultando, assim, o aproveitamento do material.

Portanto, o estudo em questão testifica qual é o melhor recurso natural, dentre os três citados, a ser utilizado na região de São Miguel do Araguaia para geração de energia elétrica.

Para trabalhos futuros fica como sugestão o estudo de geração de energia por sistemas híbridos, ou seja, produção de energia por duas ou mais fontes.

## REFERÊNCIAS

ABNT - **Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 5410** - Instalações elétricas de baixa tensão - Março 2005.

ALÉ, Jorge Antônio. **Apostila de Mecânica dos Fluidos – Curso Básico**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, 2011.

ANEEL, **Energia Eólica – Potencial Eólico Brasileiro**. 2016. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia\\_eolica/6\\_3.htm](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_eolica/6_3.htm)>. Acesso em: 19 de Agosto de 2017.

ANEEL. **Ranking de Continuidade do Serviço 2016**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/ranking-2016>>. Acesso em 10 de Abril de 2017.

ANEEL. **Ranking Nacional de Tarifas Residências (Grupo B1)**. 2017. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>>. Acesso em 22 de Junho de 2017.

ANEEL. **Caderno Temáticos ANEEL Micro e Minigeração Distribuída Sistema de Compensação de Energia Elétrica 2º 2016**. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em 14 de Fevereiro de 2017.

BEN. **Balanco Energético Nacional 2016**. Disponível em [https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2016\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2016_Web.pdf)>. Acesso em 8 de Abril de 2017.

BRASIL. **Linha de Ultratensão de Belo Monte Começa a ser Construída, 2016**. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/06/linha-de-ultratensao-de-belo-monte-comeca-a-ser-construida>>. Acesso 17 de Abril de 2017.

BIG, **Banco de Informações de Geração, 2017**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/ResumoEstadual.asp>>. Acesso em 5 de Maio de 2017.

CAMARGO, Arilde Sutil G. de; AGUDELO, Líbia Patrícia Peralta; CASAGRANDE JR., Eloy Fassi. **Indicadores de sustentabilidade para geração de energia elétrica**. Paraná. Disponível em: <[http://observatorioambiental.iff.edu.br/publicacoes/publicacoes-cientificas/indicadores\\_de\\_sustentabilidade.pdf](http://observatorioambiental.iff.edu.br/publicacoes/publicacoes-cientificas/indicadores_de_sustentabilidade.pdf)>. Acesso em: 1 Março. 2017.



CANAL RURAL. **Vamos visitar os confinamento de Goiás?**. 2013. Disponível em: < <http://blogs.canalrural.com.br/leiloblog/2013/09/02/vamos-visitar-os-confinamento-de-goias/>>. Acesso em 28 de Junho de 2017.

CARÇÃO, João Francisco de Castro. **Tarifas de Energia Elétrica no Brasil**. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção de Título de Mestre em Engenharia, São Paulo 2011. Disponível em <[www.teses.usp.br/teses/disponiveis/.../Dissertacao\\_Joao\\_Francisco\\_de\\_C\\_Carcao.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/.../Dissertacao_Joao_Francisco_de_C_Carcao.pdf)>. Acesso em 15 de Abril de 2017.

CASTILHO, Denis. **As redes de energia elétrica em Goiás e os padrões espaciais de produção, transmissão e distribuição**. II Simpósio Internacional Eletrificação e Modernização Social, 2013, São Paulo – SP. Disponível em: <<http://www.ub.edu/geocrit/II Simp-Eletr-SaoPaulo/DenisCastilho.pdf>>. Acesso em 14 de Abril de 2017.

CRESESB. **Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio Brito**, 2001. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/>>. Acesso em 24 de Abril de 2017.

EMBRAPA, **Sistemas de Produção**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/ferorganica.htm>>. Acesso em 29 de Abril de 2017.

ENERGIA EÓLICA. **Potencial Eólico Brasileiro**. 2003. Disponível em: < [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia\\_eolica/6\\_3.htm](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/energia_eolica/6_3.htm)>. Acesso em 15 de Junho de 2017.

EPE. **Plano Nacional de Energia 2030**. 2008. Disponível em < [http://www.epe.gov.br/PNE/20080512\\_2.pdf](http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_2.pdf) >. Acesso em 10 de Abril de 2017.

GI GOIÁS. **Produtor rural fica 10 dias sem energia e tem de jogar leite fora; vídeo**. 2015. Disponível em: <<http://g1.globo.com/goias/noticia/2015/12/produtor-rural-fica-10-dias-sem-energia-e-tem-de-jogar-leite-fora-video.html>>. Acesso em Maio de 2017.

GOIÁS AGORA. **Sistema Elétrico De Goiás será Ampliado**. 2017. Disponível em <http://www.goiasagora.go.gov.br/sistema-eletrico-de-goias-sera-ampliado-com-a-construcao-de-seis-novas-subestacoes/>. Acesso em 11 de Abril de 2017.

IBGE. **Cidades**. 2016. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=522020&search=goias|sao-miguel-do-araguaia|infograficos:-informacoes-completas>>. Acesso em 10 de Abril de 2017.

IMB, **Goiás em Dados.** 2004. Disponível em: <<http://www.imb.go.gov.br/pub/GoDados/2004/dados/07-power.htm>>. Acesso em 23 de Maio de 2017.

KUNZ, Airton; OLIVEIRA, Paulo Armado V. de. **Aproveitamento de Dejetos de Animais para Geração de Biogás.** 2006. Disponível em: <[www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/.../1/Paginasdepolagr0320064p.2835.pdf](http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/.../1/Paginasdepolagr0320064p.2835.pdf)>. Acesso em 16 de Abril de 2017.

LALA, José Antônio Oscullo. **Um modelo de pré-despacho com gerenciamento de congestionamento no sistema de transmissão.** Campinas: Brasil, 2002. Disponível em: <<http://web.eng.puc.cl/~power/paperspdf/oscullo.pdf>> Acesso em: 5 de jan. 2017.

MME. **Matriz de energia elétrica.** 2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/resenha-energetica-brasileira-2016>>. Acesso em 3 de Abril. 2017

ONS. **O que é o SIN - Sistema Interligado Nacional.** Disponível em <[http://www.ons.org.br/conheca\\_sistema/o\\_que\\_e\\_sin.aspx](http://www.ons.org.br/conheca_sistema/o_que_e_sin.aspx)>. Acesso 5 de Abril de 2017.

PEREIRA, Murilo Sagrillo; GODOY, Tais Pentiado; GODOY, Leoni Pentiado; BUENO, Wagner Pietrobelli; WEGNER, Roger da Silva. **CÁLCULO DO POTENCIAL ENERGÉTICO COM DEJETOS DE BÓVINOS E SUÍNOS DO DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA DA UFSM.** XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2015, Fortaleza – Ceará. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_WIC\\_214\\_268\\_26668.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_WIC_214_268_26668.pdf)>. Acesso em 14 de Agosto de 2017.

PINTO, Tales dos Santos. **O apagão energético de 2001.** Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/historiab/apagao.htm>>. Acesso em 4 de abril de 2017

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Ferrnando Ramos; ABREU, Samuel Luna; RUTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** INPE, São José dos Campos, São Paulo, 1º Edição, 2006.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Ferrnando Ramos; GONÇALVES, André Rodrigues; COSTA, Rodrigo Santos; LIMA, Francisco J. Lopes; RUTHER, Ricardo; ABREU, Samuel Luna; TIEPOLO, Gerson Máximo; PEREIRA, Sílvia Vitorino; SOUZA, Jefferson Gonçalves **Atlas Brasileiro de Energia Solar.** INPE, São José dos Campos, São Paulo, 2º Edição, 2017.

REN, **Resolução Normativa 687.** 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em 15 de Junho de 2017.

SECIMA, **Programa Goiás Solar, 2017.** Disponível em: <<http://www.secima.go.gov.br/post/ver/219145/programa-goias-solar>>. Acesso em 1 de Maio de 2017.

SILVA, José Luís Pinto Pereira da. **Pré-despacho otimizado em sistemas produtores hidrotérmicos com elevada componente hídrica**. Porto: Portugal, 1985. Disponível em: <<http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/11786>>. Acesso em: 22 dez. 2016.

SILVA, C. D.; SERAPHIM, O. J.; TEIXEIRA, N. M. **Potencial eólico para bombeamento de água na fazenda lageado**. Botucatu, São Paulo – 2003. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200032&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200032&script=sci_arttext)>. Acesso em 15 de Setembro de 2017.

SIGEL. **Mapa Empreendimentos de Geração de Energia**. 2016. Disponível em: <[https://sigel.aneel.gov.br/arcgis/rest/services/PORTAL/Mapa\\_Empreendimentos\\_Gera%C3%A7%C3%A3o/MapServer](https://sigel.aneel.gov.br/arcgis/rest/services/PORTAL/Mapa_Empreendimentos_Gera%C3%A7%C3%A3o/MapServer)>. Acesso em 15 de Agosto de 2017.

TESTON, Daniela Cristiane. **A Produção de Energia a Partir de Esterco Bovino como Solução Ambiental para Impactos Gerados por Sistemas Intensivos de Produção Animal**. Monografia para conclusão de Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios do Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo – 2010. Disponível em: <[www.iee.usp.br/sites/default/files/Daniela%20Cristiane%20Teston\\_0.pdf](http://www.iee.usp.br/sites/default/files/Daniela%20Cristiane%20Teston_0.pdf)>. Acesso em 27 de Abril de 2017.

TIEPOLO, G. M.; CANGIOLIERI JUNIOR, O.; URBANETZ JR, J. **Comparação do Potencial Fotovoltaico do estado do Paraná com Alemanha, Espanha e Itália - Valores Revisados e Atualizados**. Revista SODEBRAS, v. 10, p. 127-130, 2015.

URBANETZ JUNIOR, Jair. **Apostila de Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos do curso de Especialização em Energias Renováveis**. UTFPR, 2016.