

.PABLO NEANDER BORGES TEODORO

**DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE ECONÔMICA DE USINAS DE
ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA GRANDE PRODUTOR
AGROPECUÁRIO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial de avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus Patos de Minas*.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Elise Saraiva

PATOS DE MINAS
2019

PABLO NEANDER BORGES TEODORO

Dimensionamento e análise econômica de usinas de energia fotovoltaica para grande produtor agropecuário

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial de avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações, da Faculdade de Engenharia Elétrica, da Universidade Federal de Uberlândia, *Campus* Patos de Minas.

Orientadora: Prof^a. Dra. Elise Saraiva

PATOS DE MINAS
2019

Banca examinadora:

MEMBRO 1
Dra. Elise Saraiva

MEMBRO 2
Dra. Karine Barbosa Carbonaro

MEMBRO 3
Me. Tiago de Souza Teixeira

Patos de Minas – MG, 4 de julho de 2019

*“Nós estamos diante do precipício da mudança.
O mundo teme a queda inevitável no abismo.
Preste atenção para esse momento... e quando
vier, não hesite em pular. É somente quando você
cai que você aprende se consegue voar.”*

Flemeth – Dragon Age II

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu queria agradecer a Deus, sem ele não teria tido todas as oportunidades na vida para chegar até aqui. Se existem alguém nesse mundo que devo todos os agradecimentos e jamais conseguirei pagar são os meus pais, Eliane Borges Guimarães e Ricardo Neander Teodoro Guimarães, desde quando era bem pequeno me incentivaram e mostraram o quanto é importante os estudos, me deram todo o apoio possível para conseguir estar aqui, cursando uma faculdade federal e jamais vou conseguir com palavras mostrar o amor e gratidão que tenho por ambos. E foi durante este curso que conheci alguém para me incentivar mais ainda, queria muito agradecer a minha namorada, minha amiga, Helen Soares Valença Ferreira, tem sido minha maior parceira nos momentos ruins e nos bons durante essa difícil caminhada que é a faculdade, saiba que te amo muito. Alguém muito especial durante tudo isso também foi minha avó Bernadete, assim com meus pais, sempre me cobrou e ajudou em tudo possível com os estudos, graças a ela consegui fazer um bom curso de inglês, que me ajudará pelo resto da minha vida. Não poderia esquecer dos meus grandes amigos, que estarão guardados para sempre comigo, os que conheci tanto antes como durante a faculdade, Victor, Marcelo, Francielle, Bruno e todos os outros que divide algum momento durante este trajeto. Queria fazer um agradecimento a alguns professores que me mostraram dentro de sala de aula o que quero ser no futuro, especialmente minha orientadora Elise Saraiva, é uma segunda mãe para mim, não só pela orientação do trabalho, mas sim pelo conjunto de tudo, pessoa, professora e amiga, espero um dia ser um professor pelo menos semelhante, também queria falar em especial de dois também, Karine e Pedro, quero um dia ter o carisma e a didática que vocês dois me passaram, muito obrigado.

RESUMO

Considerando o grande gasto energético pelo meio rural como um todo, e com sua obtenção feita através de fontes de combustível fóssil, extremamente poluente, tem se tornado necessário que existam outros meios de obtenção de energia. Este trabalho tem o objetivo de dimensionar um sistema fotovoltaico com o intuito de abastecer uma grande propriedade agropecuária de forma parcial ou completa, além de uma análise econômica comparando o retorno financeiro do mesmo com outros investimentos comuns aos brasileiros. O trabalho é dividido em duas partes, a primeira detalha desde a criação, aos componentes e o atual impacto de sistemas fotovoltaicos de uma forma geral, além do estudo de gasto energético na agricultura. A segunda parte é o dimensionamento em si de quantas placas, quais inversores e outros gastos que serão necessários para o abastecimento das mais diversas situações analisadas. Na sequência é realizada uma análise econômica deste sistema, tendo como foco, o tempo de retorno do investimento e como será seu rendimento total após 10 anos. Foi possível verificar o quão este meio para aplicação financeira é melhor do que os outros utilizados.

Palavras-chave: sistema fotovoltaico, energia limpa, agropecuária, retorno financeiro, comparação de investimentos.

ABSTRACT

Considering the great energy expenditure by the rural environment as a whole, and with its obtaining through sources of fossil fuel, extremely polluting, it has become necessary that there are other means of obtaining energy. This work has the objective of dimensioning a photovoltaic system with the intention of supplying a large agricultural property in a partial or complete way, besides an economic analysis comparing the financial return of the same with other investments common to Brazilians. The work is divided in two parts, the first details from the creation, the components and the current impact of photovoltaic systems in general, besides the study of energy expenditure in agriculture. The second part is the scaling itself of how many plates, which investors and other expenses will be needed to supply the most diverse analyzed situations. Following is an economic analysis of this system, focusing on the time of return of the investment and how will be its total income after 10 years. It was possible to verify how this medium for financial application is better than the others used.

Keywords: photovoltaic system, clean energy, agriculture, financial return, investment comparison.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Célula de Silício Monocristalino.....	19
Figura 02 - Célula de Silício Policristalino.....	19
Figura 03 - Célula de Silício Amorfo.....	20
Figura 04 - Célula Fotovoltaica.....	21
Figura 05 - Influência da incidência na placa.....	23
Figura 06 - Influência da incidência na corrente.....	23
Figura 07 - Vista lateral do pivô.....	26
Figura 08 - Modelo de bomba de água.....	27
Figura 09 - Ordenha mecânica.....	28
Figura 10 - Modelo da fazenda.....	31
Figura 11 - Especificações à 25°C.....	33
Figura 12 - Compensações de Temperatura.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Medidor 01 de Irrigação.....	37
Tabela 02 - Medidor 02 de Irrigação.....	38
Tabela 03 - Medidor de Pecuária.....	38
Tabela 04 - Consumo.....	39
Tabela 05 - EP.....	39
Tabela 06 - EP diária.....	40
Tabela 07 - Potência necessária.....	40
Tabela 08 - Especificações da Placa A.....	41
Tabela 09 - Placas necessárias antes da compensação.....	41
Tabela 10 - Especificações Compensadas.....	42
Tabela 11 - Placas necessárias após a compensação.....	42
Tabela 12 - Intervalo de potência do inversor.....	43
Tabela 13 - Inversor do Medidor 01 de Irrigação com consumo médio mensal.....	43
Tabela 14 - Inversor do Medidor 02 de Irrigação com consumo médio mensal e Medidor 01 de Irrigação com consumo médio mensal acima de 10000 kW.....	44
Tabela 15 - Inversor do Medidor de Pecuária com consumo médio mensal.....	44
Tabela 16 - Inversor do Medidor 02 de Irrigação com consumo médio mensal acima de 10000 kW e Medidor 01 de Irrigação com maior consumo em um mês.....	44
Tabela 17 - Inversor do Medidor 02 de Irrigação com maior consumo em um mês.....	45
Tabela 18 - Inversor do Medidor de Pecuária com maior consumo em um mês.....	45
Tabela 19 - Valor total do projeto.....	46
Tabela 20 - Valor do kWh.....	47
Tabela 21 - Gasto anual com energia.....	47
Tabela 22 - Valor a ser descontado.....	48
Tabela 23 - Tempo de retorno do investimento.....	48
Tabela 24 - Porcentagem relativa ao investimento inicial.....	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Matriz Energética Mundial, no ano de 2016	17
Gráfico 02 - Fontes de Energia na Agricultura, no ano de 2010.....	25
Gráfico 03 - Matriz Energética Brasileira, no ano de 2015.....	39
Gráfico 04 - Preço do kW no Brasil, no ano de 2015.....	30
Gráfico 05 - Retorno financeiro por ano.....	49
Gráfico 06 - Comparação de investimentos.....	50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

kW	Kilowatt
PCH	Pequenas Centrais Hidrelétricas
SI	Silício
GaAs	Arsenieto de Gálio
InP	Fosfato de Índio
μm	Micrometros
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celcius
cv	Cavalos vapor
kPa	Kilo-Pascal
kWh	Kilowatthora
EP	Energia a ser produzida
CD	Custo de Disponibilidade
CT	Consumo Total
HSP	Irradiação Solar Média diária
CC	Corrente contínua
CA	Corrente Alternada
N	Numero de Placas
P_{placa}	Potência da Placa
P	Potência necessária do Sistema
P_{comp}	Potência Compensada
P_{real}	Potência real produzida
Voc	Tensão em circuito aberto
Isc	Corrente de curto circuito
Vip	Máxima tensão de entrada do inversor

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Tema do Projeto	13
1.2 Problematização.....	14
1.3 Hipóteses	14
1.4 Objetivos.....	14
1.4.1 Objetivos Gerais	14
1.4.2 Objetivos Específicos	14
1.6 Justificativas	15
1.7 Considerações Finais	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1 Energia fotovoltaica e sua importância	16
2.2 O Início de tudo	17
2.2.1 Células de Silício Monocristalino	18
2.2.2 Células de Silício Policristalino.....	19
2.2.3 Células de Silício Amorfo	20
2.3 Processo de obtenção de energia	20
2.4 Inversor CC/CA.....	22
2.5 <i>StringBox</i>	22
2.6 Influenciadores de desempenho	22
2.6.1 Irradiação solar	22
2.6.2 Temperatura.....	23
2.7 Conexões dos painéis solares	24
2.8 Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	24
2.9.1 Sistema <i>on-grid</i>	24
2.9.2 Sistema <i>off-grid</i>	24
2.10 Energia na agricultura.....	25
2.11 Pivôs de Irrigação	25
2.12 Bombas de Água.....	27
2.13 Obtenção do Leite.....	27
2.14 Situação Brasileira.....	29
2.15 Considerações Finais	30
3 METODOLOGIA E EQUACIONAMENTO	31
3.1 Dimensões da propriedade.....	31
3.2 Quantidade de Módulos.....	32
3.2.1 Compensação de Temperatura.....	33

3.3 Dimensionamento do Inversor.....	34
3.4 Associação dos módulos.....	34
3.5 Gastos e Custos.....	35
3.6 Retorno do investimento.....	35
3.7 Considerações Finais	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1 Dimensionamento.....	37
4.2 Considerações Finais	46
5 CONCLUSÃO.....	52
6 REFERÊNCIAS	53

1. INTRODUÇÃO

É do conhecimento de todos, que a energia é o que move nosso mundo, em todos os aspectos, e que com recentes projeções a energia necessária para a utilização em um futuro não muito distante, não será o suficiente com os métodos atuais mais utilizados para sua obtenção, ocasionando uma demanda global superior a produção realizada [1].

Algo que impulsiona o gasto energético cada vez maior é a constante necessidade de um aumento do setor agrícola, devido ao crescimento demográfico, ou seja, conforme o crescimento da população se tem a necessidade da produção de alimentos em mesmo ritmo para a sua sustentação. Com isso o gasto energético com a agricultura se vê cada vez mais necessário, no nosso próprio país cerca de 5% de toda a energia produzida e comprada, é utilizada neste setor [2].

Dentro dos meios de obtenção pode se destacar quanto a sua origem duas fontes distintas de geração de energias: A) Fontes renováveis e B) Fontes não renováveis, sendo respectivamente, as menos utilizadas e as mais utilizadas nos dias de hoje, o que é um fato bastante preocupante, uma vez que, as fontes não renováveis no futuro irão se extinguir [3].

Além disto, existe também uma divisão entre energia limpa e energia suja, que seriam, respectivamente, aquelas fontes de energia que não prejudicam diretamente o meio ambiente ou prejudicam o mesmo, e dentro destas limpas é destacável a energia fotovoltaica [4].

Energia fotovoltaica é atualmente a área mais engajada de pesquisa para obtenção de energia limpa e com fonte renovável, devido ao fato de se utilizar de um recurso praticamente inesgotável e com grandes possibilidades de exploração, o sol. Hoje, a projeção feita por pesquisadores do meio é que o uso desta energia vem subindo de forma exponencial e, com o passar dos anos a tendência é que esse uso aumente ainda mais [5].

1.1 Tema do Projeto

O projeto a ser desenvolvido tem como tema o dimensionamento e estudo econômico de uma usina geradora de energia fotovoltaica para um grande produtor agropecuário rural na região de Paracatu, Minas Gerais.

1.2 Problematização

O projeto procura estudar e realizar o dimensionamento de uma usina fotovoltaica para o grande produtor agropecuário rural, considerando todos os gastos energéticos do mesmo, como: pivôs de irrigação, bombas de água, ordenha e qualquer outro tipo de aparelho que consuma energia, com o intuito de tornar todo este gasto proveniente de energia limpa e com futuro retorno financeiro para o produtor.

1.3 Hipóteses

Para a realização do dimensionamento serão consideradas algumas hipóteses acerca da fazenda, como:

- Quantidade mensal de energia gasta;
- Horário que será feita a irrigação;
- Local da propriedade;

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivos Gerais

A pesquisa tem como objetivo realizar todo o dimensionamento de uma usina fotovoltaica para o estudo de viabilidade energética e financeira da mesma, podendo ser empregada em agricultura e pecuária de grande porte.

1.4.2 Objetivos Específicos

Dentro do trabalho foi pesquisado

- Custo de construção

- Ponto ótimo de posicionamento
- Tempo de retorno financeiro
- Quantidade máxima de energia gerada

1.6 Justificativas

Cerca de 5% de todo consumo de energia do país é utilizado na agricultura, sendo obtido normalmente de fontes sujas, o que é extremamente prejudicial ao meio ambiente [1]. Neste sentido, é de grande importância buscar formas mais limpas de se obter a energia para a irrigação e outros processos realizados no setor agrícola.

1.7 Considerações Finais

Portanto, com todo esse consumo energético agrícola, torna-se necessário um estudo aprofundado de um dimensionamento e, de uma análise financeira, de uma usina fotovoltaica.

Com estas propostas, o estudo foi realizado em busca de um dimensionamento real para uma usina de energia fotovoltaica utilizando valores de uma fazenda de grande porte podendo ser implementada se desejado, verificando sua viabilidade financeira.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O sol libera uma quantidade enorme de energia todos os dias, com uma grande quantidade penetrando nossa atmosfera, um recurso que pode ser aproveitado, mas geralmente é desperdiçado seja pelo fator financeiro ou por puro desinteresse de possíveis investidores, no Brasil. Felizmente, com o passar dos anos, os estudos estão cada vez mais aprimorados e surgem novas empresas com propostas de utilização dessa energia através de painéis solares que captam essa luz solar, a chamada energia fotovoltaica [6].

De forma procedural, da obtenção da luz solar até o uso da energia elétrica, se tem um caminho que necessita de explicações e aprofundamento [7].

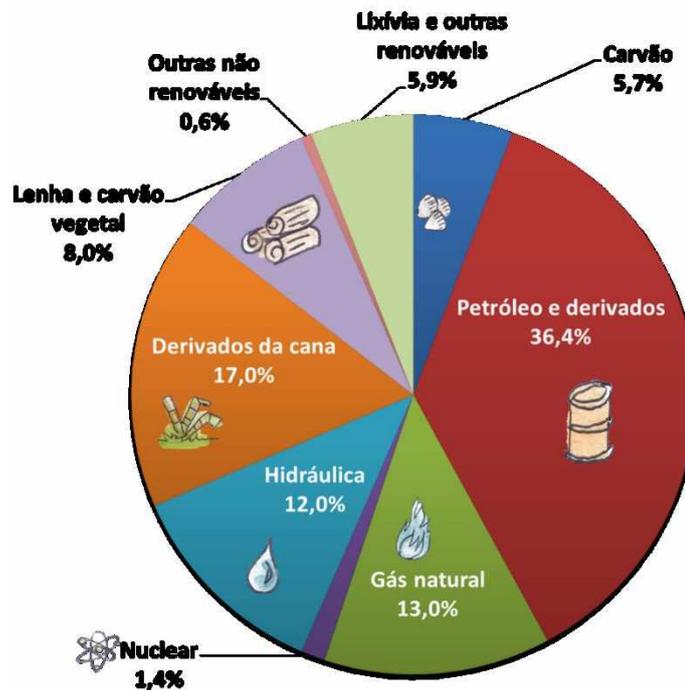
2.1 Energia fotovoltaica e sua importância

Atualmente uma das maiores preocupações da humanidade é com o meio ambiente e com formas de cuidar do mesmo, sem se alterar o vigente estilo de vida e de crescimento tecnológico [8].

E se existe algo que move todo tipo de pesquisa para este meio é a energia, já que necessita-se desta para a utilização de quaisquer tipos de aparelho que são usados para se realizar estudos e projetos, com isto em mente, um ponto de início para se melhorar em relação a poluição do meio ambiente é na própria geração de energia [8].

Ao redor do planeta, vários meios são utilizados para se obter energia, desde energia vinda de queima de combustível como petróleo, com a força de quedas d'água em hidrelétricas ou através de processos atômicos em usinas nucleares. No gráfico 01 é possível verificar como foi a distribuição destas obtenções no mundo no ano de 2016 [9].

Gráfico 01 – Matriz Energética Mundial, no ano de 2016



Fonte : Empresa de Pesquisa Energética

Como é possível verificar pelo gráfico, o uso da energia fotovoltaica não se encontra destacado, pois encontra-se no item “outros”. Portanto, é muito pouco explorada ainda nos dias de hoje mesmo com conhecimento de todos os seus benefícios. Pode-se destacar, dentre eles: abundância, uso em lugares remotos, energia limpa, fonte renovável, manutenção mínima e a vida útil dos meios de obtenção, que são altos se comparados aos demais. E mesmo não sendo ainda muito utilizada, a energia fotovoltaica vem apresentando um crescimento com o passar dos anos [10].

2.2 O Início de tudo

Todo o processo considerado industrial, com a comercialização de células fotovoltaicas, se teve no ano de 1956 juntamente com o crescimento da microeletrônica. As primeiras empresas a observar uma utilidade neste novo meio de obtenção de energia foram as de telecomunicações, que devido ao fato de necessitarem de fontes alternativas para abastecimento de aparelhos em lugares isolados, como satélites no espaço, começaram a

investir recursos em pesquisas voltadas para esta área, com intuito de diminuir os custos de produção e venda das células [7].

Com o passar dos anos as células fotovoltaicas foram abaixando de custo e melhorando sua eficiência, que no início de seu surgimento era de apenas 1%. Nos dias de hoje comercialmente são utilizadas algumas com 17% de eficiência e é possível se alcançar índices de cerca de 30%, mas estes são inviáveis devido a alto custo de produção. [11].

Atualmente, diversos tipos de materiais são utilizados para a construção das células fotovoltaicas, dentre os quais se destacam: Silício (SI), Arsenieto de Gálio (GaAs), Fosfato de Índio (InP) e alguns polímeros orgânicos. Estes materiais são um dos principais fatores que alteram a eficiência das células, enquanto alguns são mais eficientes porém, com preços elevados, outros possuem eficiência menor mas com custos viáveis para a produção em larga escala [16].

Mas não é somente os materiais que definem a eficiência, a forma de fabricação e utilização destes influenciarão fortemente neste fator. Como exemplo, pode ser citado o Silício, sendo o mais utilizado de forma comercial, sendo que existem diversas células com construções variadas para diferentes fins [17].

2.2.1 Células de Silício Monocristalino

Basicamente são as células mais utilizadas e produzidas com intenções comerciais para a conversão direta de energia solar em elétrica, com um processo já bem consolidado e básico. Tendo seu início com a extração do mineral, posteriormente sendo colocado em grandes fornos com a intenção de desoxidar, purificar e solidificar o cristal. Para a utilização deste Silício em células fotovoltaicas é utilizado um processo chamado de Czochralski, onde o material é fundido com uma certa quantidade de dopante, sendo o mais utilizado o Boro, que é um material do tipo P [18].

Quando este material, já tratado, é retirado da fundição ele é cortado em fatias finas de 300 micrometros (μm), sendo retiradas as impurezas e dopado novamente, utilizando-se de difusão. Nesta etapa, as fatias são expostas a vapor de Fósforo com temperatura em torno de 900 °C, com material do tipo N para se obter a junção. Com todo este processo são obtidas células com eficiência de até 15%, e considerando apenas as que utilizam Silício, as

Monocristalinas são as que geralmente possuem melhor eficiência, na figura 01 tem-se um exemplo desta célula [19].

Figura 01 – Célula de Silício Monocristalino

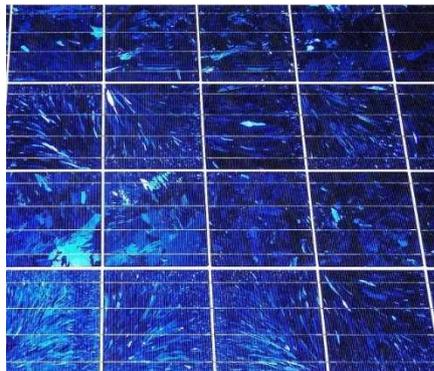


Fonte : Sun7

2.2.2 Células de Silício Policristalino

Se comparadas as células de Silício Monocristalino, as de Policristalino possuem menor eficiência, mas, o processo por ser menos rigoroso se torna mais barato. Uma das poucas diferenças destacáveis, seria que durante a obtenção do material, pode-se conseguir o corte em lingotes no lugar de fatias finas ou depositar um filme num substrato, ambos os processos resultando na sua forma policristalina. Na figura 02 é possível verificar este tipo de célula [20].

Figura 02– Célula de Silício Policristalino

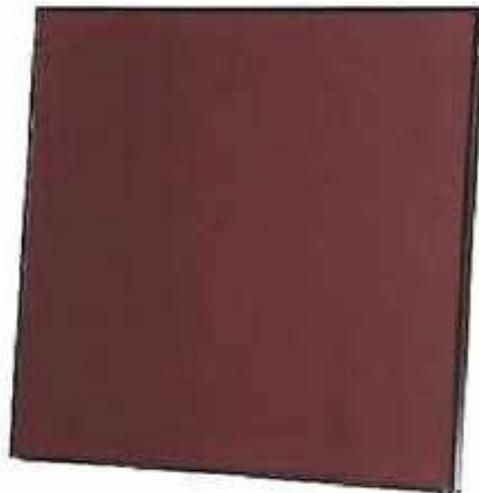


Fonte : Luxnova

2.2.3 Células de Silício Amorfo

As células de Silício Amorfo, mostrada na figura 03, é a que mais se difere das demais, por possuir uma estrutura atômica com alto grau de desordem. Sua utilização vem se tornando cada vez mais forte para sistemas fotovoltaicos de baixo custo, sendo este acompanhado de duas desvantagens, se comparada as outras células: redução da vida útil e menor eficiência. Como o processo é menos rigoroso, mas ainda sendo realizado a deposição de diversos tipos de substratos, as células acabam se degradando de maneira mais rápida e, por serem menos puras tem maiores dificuldades em absorção da luz solar. Como dito anteriormente, alguns fatores fazem seu processo tornar-se de baixo custo, ou seja: o gasto de energia na produção é inferior as outras, fabricação mais barata e possibilidade de serem criadas células com áreas maiores [21].

Figura 03 – Célula de Silício Amorfo



Fonte : PortalSolar

2.3 Processo de obtenção de energia

A obtenção da radiação solar é feita através de placas que são chamadas de módulos fotovoltaicos, estes ficam diretamente em contato com a luz emitida pelo sol e são constituídas geralmente de Silício. Por reações químicas quando são atingidas por fótons geram o fenômeno de transferência de nível, em que se um elétron na banda de valência recebe energia suficiente, ele passa à banda de condução, onde agora no seu lugar surge o que é chamado de lacuna, que

pode ser considerada como uma carga positiva, ou seja, este fóton gera um par elétron-lacuna [12].

Não necessariamente este fenômeno daria origem a corrente elétrica, pois, de forma natural os pares iriam se recombinar, mas, pelo fato da placa passar por um processo de dopagem, do tipo N, é criada uma diferença de potencial entre as bandas das células, como os materiais de quais são feitos os módulos são do tipo P, esta diferença gera um campo elétrico, e com o surgimento deste é que ocorre o fenômeno da corrente elétrica, assim podendo ser utilizada para um uso energético, na figura 04 temos uma célula mais comum utilizada.[12].

Figura 04 – Célula Fotovoltaica



Fonte : PARLEX

Estas células são ligadas entre si com intuito de criar o que é chamado de painel fotovoltaico, são estes portanto, que geram a corrente elétrica. Estas são obtidas em forma de corrente contínua sendo necessário, na maioria dos casos, a conversão desta em alternada visto que, em sua grande maioria, os equipamentos eletrônicos utilizam-se desta forma [12].

Para se transformar em alternada é utilizado outro equipamento chamado de inversor de frequência, estes são basicamente um componente que quando alimentado por alguma corrente é possível gerar tensão e frequência ajustáveis, por isso são utilizados nesses sistemas com o intuito da mudança da forma de corrente [12].

2.4 Inversor CC/CA

O inversor é um estágio de extrema importância no arranjo fotovoltaico, onde todas as placas são conectadas, a sua função principal é de converter a energia produzida pelo painel solar, que é em corrente contínua (CC), para a forma que é mais utilizada em aparelhos que necessitam de eletricidade de modo geral, corrente alternada (CA) [29].

Além da sua função principal, este possui outras duas com relativa relevância, ou seja, medir a energia produzida pelo sistema para se ter um controle de valores, com intuito de verificar se está produzindo a quantidade prevista e, a outra é garantir a segurança do sistema conectado à rede, deixando-o em fase com a mesma para preservar sua integridade [30].

2.5 StringBox

A *StringBox* é basicamente uma proteção para ambos os lados, dependendo de sua instalação, tanto para a parte de CC, se instalado antes do inversor, tanto para a parte de CA, se instalada após o inversor. Ela funciona basicamente como um disjuntor, pois ela abre o circuito quando recebe algum surto de energia, evitando assim um incêndio ou outros tipos de danos a rede elétrica ou ao inversor [34].

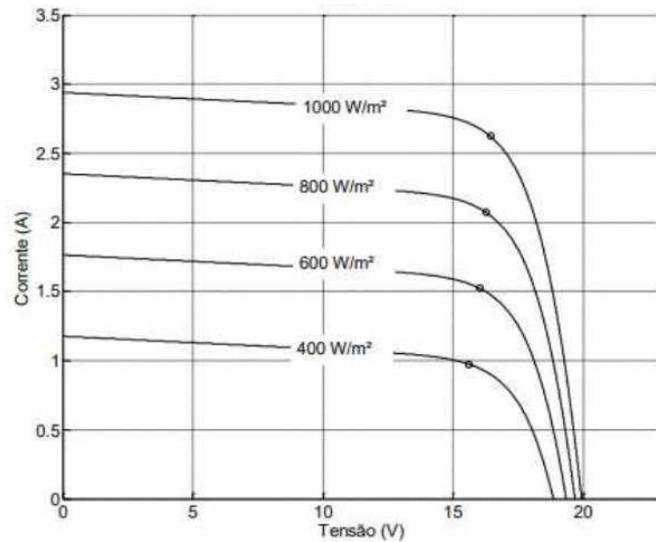
2.6 Influenciadores de desempenho

Existem dois fatores ambientais que influenciam diretamente no rendimento da placa, ou seja, na quantidade final de energia que este sistema irá gerar, são eles a irradiação solar e a temperatura, detalhados nos itens subsequentes [31].

2.6.1 Irradiação solar

A corrente produzida é diretamente proporcional a irradiação solar a qual as placas estão sendo expostas. Mantendo-se os valores de temperatura e tensões fixos, conforme se aumenta esta irradiação, maior será o valor de corrente, conseqüentemente o de potência, conforme ilustrado na figura 05 [31].

Figura 05 – Influência da incidência na placa

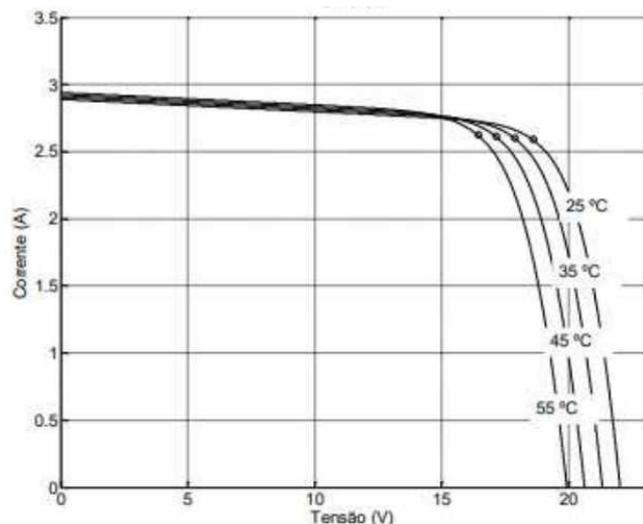


Fonte : CRESESB

2.6.2 Temperatura

Diferente do que se possa imaginar em um primeiro instante, a temperatura não influencia de forma diretamente proporcional a geração de corrente, pois acima de certo valor esta diminui drasticamente a eficiência do sistema, gerando uma queda abrupta. A forma que essa influência ocorre, sob irradiação solar constante, pode ser vista na figura 06, lembrando que os valores de queda por °C a mais, varia de placa para placa [31].

Figura 06 – Influência da temperatura na placa



Fonte : CRESESB

2.7 Conexões dos painéis solares

As placas podem ser ligadas de duas formas, paralelo e/ou série. Quando ligadas em série, ocorre um aumento na tensão, enquanto em paralelo, se tem um aumento de corrente. Este é um dado importante de se analisar, pois o inversor mencionado anteriormente possui um limite dos fatores citados, portanto, sendo necessária uma análise de como ocorrerá a disposição do sistema [32].

2.8 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Existem dois tipos de sistemas fotovoltaicos quando o tema é o armazenamento de energia, são eles *off-grid* e *on-grid* [33].

2.9.1 Sistema *on-grid*

O sistema *on-grid* tem esse nome devido ao fato de estar conectado com a rede elétrica do local, portanto, a energia produzida acaba passando por algumas situações:

- A quantidade produzida ser exatamente o necessário para o consumo,
- A geração não é suficiente para alimentar todos os equipamentos, conseqüentemente o restante necessário vem diretamente da rede,
- A quantidade produzida é maior que o consumido, o restante irá para a empresa responsável pela distribuição de energia elétrica e será considerado como crédito em futuras contas [33].

2.9.2 Sistema *off-grid*

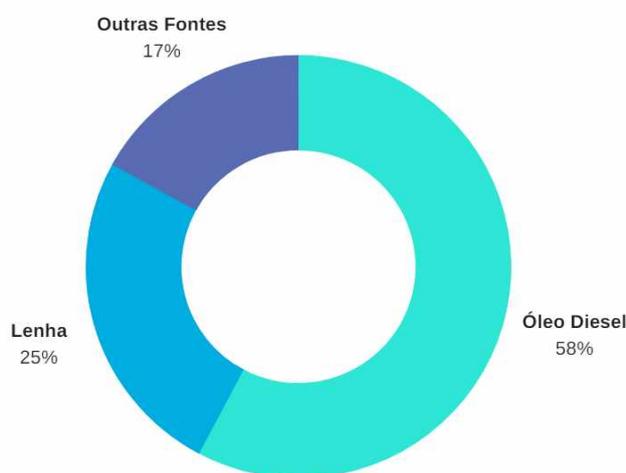
Diferentemente dos sistemas *on-grid*, os *off-grid* não possui conexão com nenhuma rede externa, portanto, para armazenar a energia produzida são utilizados bancos de baterias, com o intuito de manter o que é fornecido pelas placas guardado para uso em horários que o sistema não produza o suficiente ou para usos futuros. O Problema desse método é que essas baterias são extremamente caras o que eleva bastante o custo do projeto [33].

2.10 Energia na agricultura

A agricultura é um dos setores mais importantes para a sobrevivência da espécie humana, devido ao fato de que é dela que se é obtida a maior parte dos alimentos consumidos mundialmente [13].

Um fato é que para esta produção alimentícia é necessário um grande gasto energético, cerca de 5% de todo gasto energético do Brasil, porém toda esta potência elétrica é oriunda de fontes poluentes. No gráfico 02 é possível ver de onde era obtida essa energia no ano de 2010 [13].

Gráfico 02 – Fontes de Energia na Agricultura, no ano de 2010



Fonte : ALBIERO,D.

Como é possível verificar a maior parte desta energia é obtida através de óleo diesel, o que é extremamente preocupante para o meio ambiente visto que, este meio de obtenção é agressivo e nocivo.

2.11 Pivôs de Irrigação

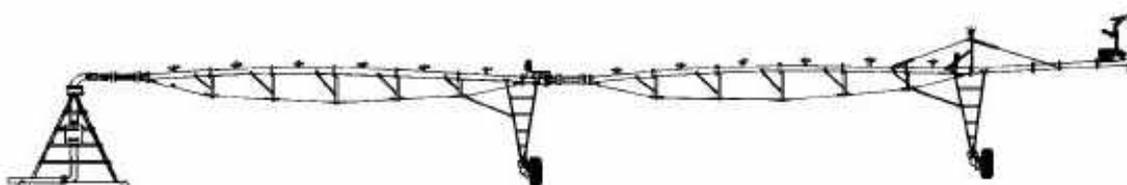
Com o passar do tempo, e com a evolução da agricultura, a irrigação foi um dos fatores que sempre necessitou de aprimoramento. Com o crescimento populacional, se vê a obrigação do aumento na produção alimentícia, e a irrigação sendo uma das partes deste processo, houve a necessidade de passar da forma manual, feita pelos próprios agricultores, para meios mais automatizados, sendo que hoje os grandes produtores utilizam pivôs [14].

O funcionamento passa por uma torre central fixa, que fica localizada centralmente em relação ao local de irrigação, sendo toda a base de sustentação para a estrutura móvel, após esta, existem as torres secundárias que é onde ocorrerá todo o movimento circular do pivô [14].

Este possui um par de rodas na base, que são controladas por um sistema que indica quando e qual velocidade cada torre irá se mover, iniciando pela torre mais afastada do equipamento até a localizada mais próxima da central [14].

Um fato a se observar é que por toda armação destas torres existem canos conectados a aspersores, por onde a água bombeada irá passar e irrigará o plantio. Na figura 07 pode ser observado a estrutura do pivô [14].

Figura 07 – Vista lateral do pivô



Fonte : UFG

Como qualquer outro método, a irrigação por pivô central possui vantagens e desvantagens em relação a outros meios. Pode-se destacar como vantagem, a facilidade de aplicar fertilizantes ou outro produto químico, ao mesmo tempo que a plantação está sendo irrigada [22]. Além do fato de que toda a irrigação é feita de forma praticamente uniforme, além disso, é possível a utilização de sistemas mais robustos de controle onde pode ser programado horários de funcionamento, quantidade de tempo ligado e até acionamento a distância [22].

Mas por outro lado possui algumas limitações, como o fato de não irrigar toda a área de maneira própria, cerca de 20 % pode ficar sem água, e para compensar esta área, pode ser utilizado outras técnicas como a inserção de um canhão na ponta onde este irá alcançar alguns pontos onde o pivô não alcança normalmente [22].

Contudo, o grande problema deste uso é o gasto exacerbado de água, visto que não existe nenhum controle do solo para verificar se já está devidamente úmido, portanto, é deixado irrigando por um certo tempo que julgam que é o adequado [23].

2.12 Bombas de Água

Utilizadas para bombear a água para a irrigação utilizando pivô central, as bombas, vista na figura 08, são as grandes vilãs do gasto energético total, pois para uso de grandes vazões de água a potência destas bombas são extremamente altas. Com valores de potências variando de 4 cavalos (cv) até 250 cv, o que se transformado para kilowatt (KW), gira em torno de 2,9 KW até 183 KW, sendo possível notar que gerarão gastos exorbitantes, uma vez que é um equipamento que ficará ligado por muitas horas durante o dia [23].

Figura 08 – Modelo de bomba de água



Fonte : Mérito Comercial

No processo de irrigação são colocadas próximas a poços ou lagos onde irão bombear através de canos para o pivô toda a água necessária para a irrigação do plantio. Neste sentido é aconselhável ficarem o mais próximo possível da área de irrigação pois, dependendo desta distância, a pressão final nos pivôs pode não ser a necessária para que os aspersores efetuem adequadamente sua função [24].

2.13 Obtenção do Leite

Um outro gasto energético no meio rural está presente na utilização de ordenhas mecânicas, exemplificada na figura 09. Na unidade de ordenha, cada teteira está conectada a um tubo de borracha denominado mangueira curta de leite, enquanto o copo está conectado a mangueira curta de pulsação. Esses tubos curtos estão ligados a tubos de borracha que conectam os copos à base do conjunto, de onde sai a mangueira do leite e duas mangueiras longas de pulsação [26].

Figura 09 – Ordenha mecânica



Fonte : Revista Balde Branco

O copo de teteira pode ser de aço inox ou de plástico. A teteira, que está em seu interior, é feita de uma borracha especial. As mangueiras de leite fazem a sucção e transportam o leite retirado. As outras mangueiras são responsáveis pela pulsação [26].

A unidade utilizada para a medição de pressão de pulsação e de sucção é kilo-Pascal (kPa), e pode ser obtida por medidores de pressão, ou manômetros, de modelos variados. A faixa ideal de pressão de vácuo no interior da teteira, durante a sucção, está entre 40 a 42 kPa negativos [27].

Abaixo de 40 kPa, surgem problemas como: ocorrência de leite residual e deslizamento e queda dos conjuntos de ordenha. Pressões no interior da teteira superiores a 42 kPa causam lesões de tetos e outros dois problemas que dificultam a retirada do leite: estreitamento da comunicação entre a cisterna da glândula e a cisterna do teto (por causa da subida da teteira) e a congestão dos tetos. Abaixo de 37 kPa, a ordenha fica mais demorada e pouco efetiva na retirada do leite [27].

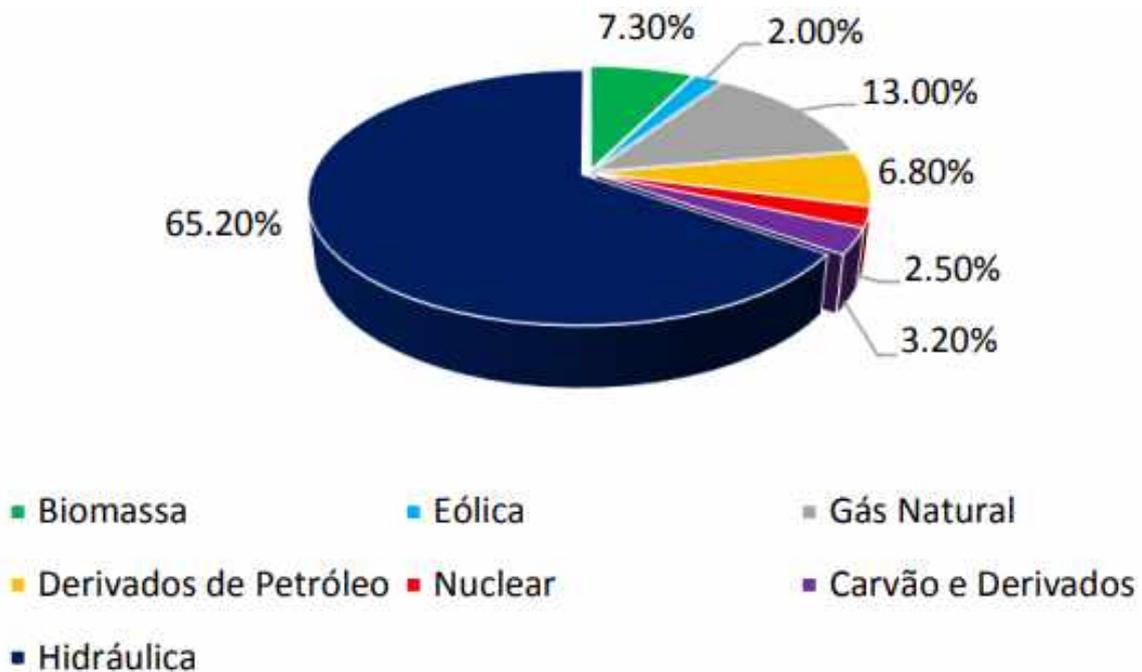
Outro gasto que pode ser considerado parte desta obtenção, é o armazenamento do leite, visto que para venda ou consumo, este leite deve estar bem refrigerado e devidamente alocado em um espaço adequado [27].

2.14 Situação Brasileira

O Brasil possui uma grande variabilidade de fontes de energia renováveis, o que é de grande auxílio na facilitação de se utilizar estes meios para obtenção de eletricidade. Visto que em um país das dimensões do nosso, usufruir apenas de fontes de combustíveis fósseis seria algo extremamente nocivo ao meio ambiente e esgotaria rapidamente as reservas deste gênero, mas, o mais utilizado no nosso país são as pequenas centrais hidrelétricas (PCH) [15].

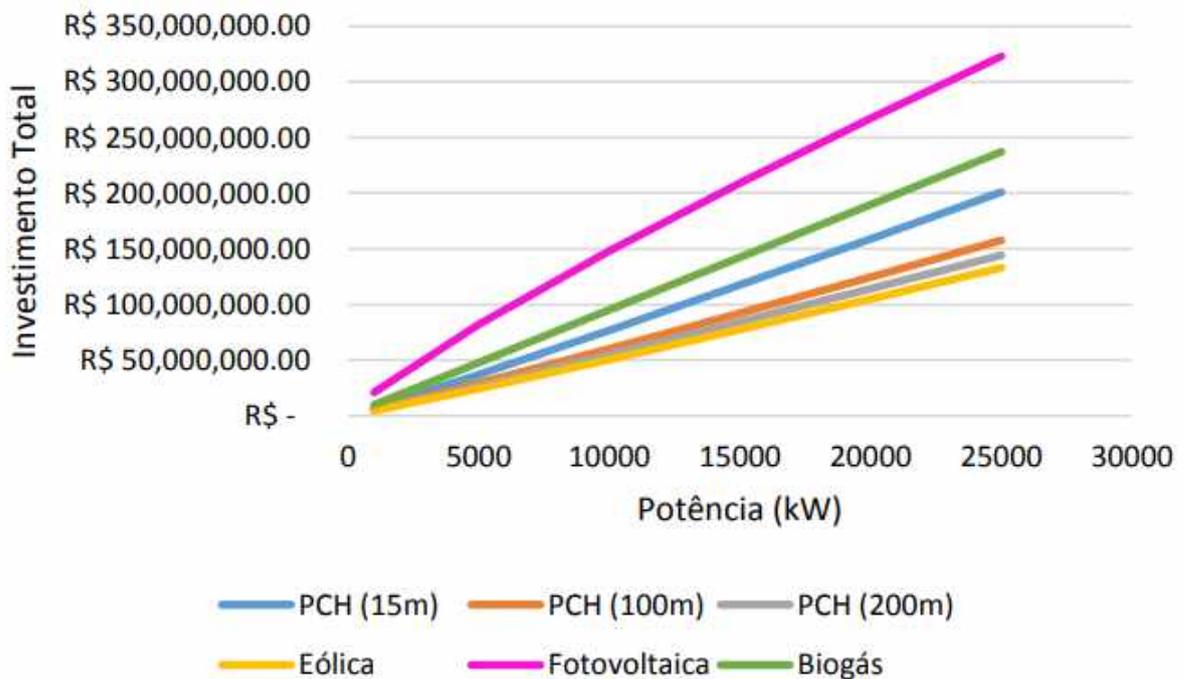
Abaixo segue o gráfico 03 que apresenta como está distribuída a matriz energética no Brasil. O gráfico 04, é mostrado na sequência e trata sobre o custo médio do KW para cada tipo de obtenção energética.

Gráfico 03 – Matriz Energética Brasileira, no ano de 2015



Fonte : Revista Brasileira de Energias Renováveis

Gráfico 04 – Preço do kW no Brasil, no ano de 2015



Fonte : Revista Brasileira de Energias Renováveis

Como é possível observar, por ser mais investida e em maior utilização no país, as PCH são as que possuem um custo de kW bem abaixo, enquanto a energia fotovoltaica ainda é o método mais caro para se utilizar, cerca de três vezes mais quando comparado ao menos custoso [15].

2.15 Considerações Finais

Conforme pode ser verificado, existem diversos gastos energéticos na agropecuária que podem ser convertidos para um meio menos nocivo para a natureza, através da energia fotovoltaica exemplificada, e com a utilização da mesma o seu custo tende a diminuir.

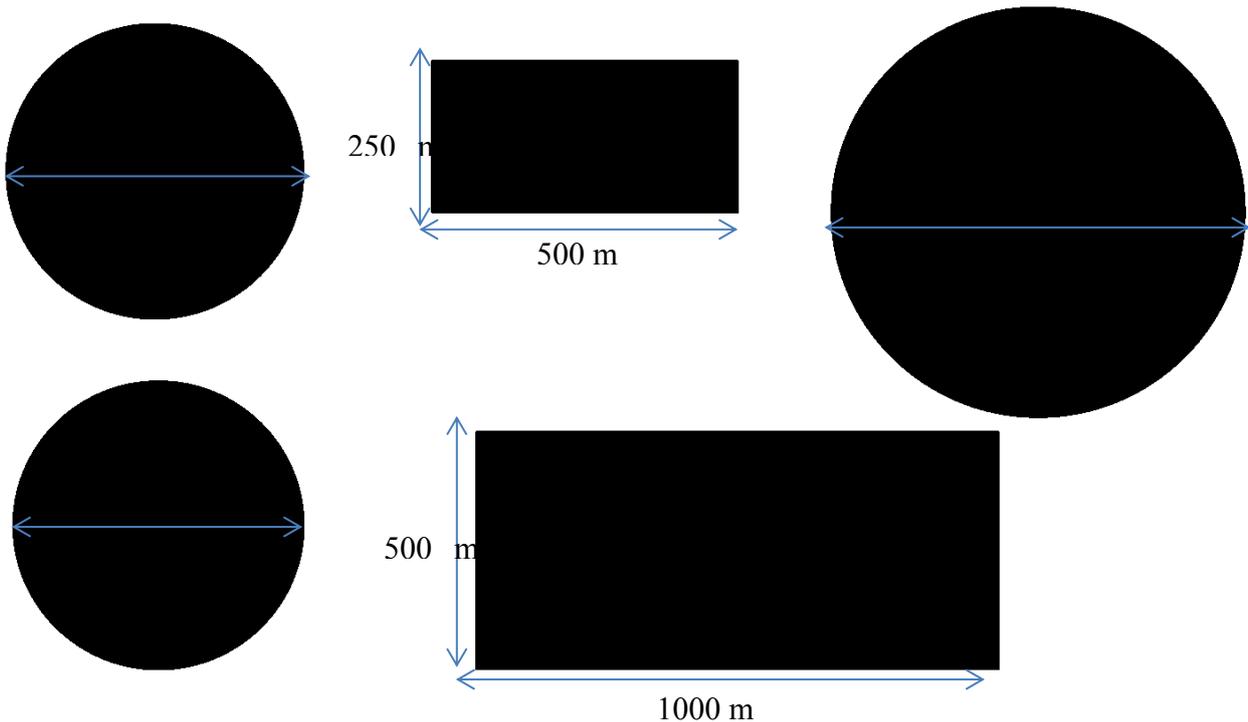
Com todo o embasamento teórico evidenciado até este momento no trabalho, é possível utilizada uma metodologia para um dimensionamento de um sistema fotovoltaico, com todos seus elementos, visto a importância de sua utilização na agropecuária.

3 METODOLOGIA E EQUACIONAMENTO

3.1 Dimensões da propriedade

A fazenda a ser analisada, com algumas modificações para preservar o sigilo do proprietário, se encontra no município de Paracatu-Minas Gerais, e possui dimensões úteis exemplificadas na figura 09:

Figura 10 – Modelo da fazenda



Fonte : O Autor

Onde as áreas A e B são plantações ligadas a um medidor de energia, a E igualmente, mas ligada a outro relógio. No espaço C se encontra o local para retirada de leite e finalmente a área D é uma parte limpa com bom relevo, conseqüentemente, um ótimo ponto de posicionamento para o sistema.

A área total da propriedade é em torno de 4,5 km², e como pode ser visto as áreas acima, se somadas, não possuem esse valor, isso se deve ao fato de que, todos os outros espaços foram desconsiderados visto que, ou são áreas arborizadas ou com relevo que não seria viável alocar o sistema fotovoltaico.

Para o dimensionamento da usina, deve ser realizado todo o cálculo de consumo baseado nos gastos da propriedade, para isso será utilizado valores obtidos da conta de energia do local.

Para todo este dimensionamento serão consideradas três situações de consumo mensal (CM):

- Média considerando todos os meses
- Média desconsiderando os meses abaixo de 10000 kWh (Exceto para pecuária).
- Utilizando apenas o mês com maior gasto
-

3.2 Quantidade de Módulos

Para início dos cálculos, tem-se que descontar do CM o que é chamado de custo de disponibilidade (CD), que é uma taxa fixa cobrada mensalmente pela concessionária de energia, que em Minas Gerais é a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). Esta possui uma tabela de valores que varia de acordo com a quantidade de fases da rede.

A Energia a ser produzida (EP), será o CM a ser analisado menos o CD, resultando na equação (1) [35]:

$$Ep = CM - CD \quad (1)$$

Para efeito de cálculo, é necessário a conversão dessa EP para um valor diário, e para isso será considerado um mês de 30 dias, onde se têm a equação (2) abaixo [35]:

$$Ep_{diária} = \frac{EP}{30} \quad (2)$$

Para finalizar o cálculo de potência necessária do sistema (P), utiliza-se a equação (3) [35], onde HSP é a irradiação solar média diária a qual o sistema é exposto:

$$P = \frac{Ep_{diária}}{HSP} \quad (3)$$

Esta P obtida na equação (3) é um valor que todo o sistema deve atingir para abastecer o consumo, com isso, deve ser feita uma divisão desta P pela potência da placa (P_{placa}) escolhida, para se obter o número de placas (N) necessário, este cálculo é mostrado na equação (4) [35]:

$$N = \frac{P}{P_{placa}} \quad (4)$$

3.2.1 Compensação de Temperatura

Essa P_{placa} que será utilizada não pode ser o valor descrito no produto escolhido, pois como dito anteriormente, ela sofre uma alteração devido a temperatura do local, por isso este dado deve ser compensado de acordo com a tabela de cada fornecedor, nas figuras 10 e 11 é possível observar um exemplo disto.

Figura 11 – Especificações à 25°C

ELECTRICAL DATA STC*				
CS1U	395MS	400MS	405MS	410MS
Nominal Max. Power (Pmax)	395 W	400 W	405 W	410 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	43.9 V	44.1 V	44.3 V	44.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	9.01 A	9.08 A	9.16 A	9.23 A
Open Circuit Voltage (Voc)	53.3 V	53.4 V	53.5 V	53.6 V
Short Circuit Current (Isc)	9.55 A	9.60 A	9.65 A	9.70 A
Module Efficiency	19.16%	19.40%	19.65%	19.89%
Operating Temperature	-40°C – +85°C			
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)			
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 1703) or CLASS C (IEC 61730)			
Max. Series Fuse Rating	20 A			
Application Classification	Class A			
Power Tolerance	0 ~ + 5 W			

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

Fonte : Canadian Solar

Figura 12 – Compensações de Temperatura

TEMPERATURE CHARACTERISTICS	
Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.37 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.29 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42±3 °C

Fonte : Canadian Solar

Algumas das especificações acima são importantes, como a máxima tensão de circuito aberto (V_{oc}) e a máxima corrente de curto circuito (I_{sc}). Além disto, com o exemplo acima, também pode ser visto que, para a potência seria necessário neste caso retirar 0,37% do nominal dito na placa, para cada °C acima de 25°. Para isto, deve-se considerar o valor de temperatura máximo médio do local, para obter a potência compensada (P_{comp}), resultando, portanto, em um cálculo mais exato após a compensação, conforme apresentado na equação (5) [35]:

$$N \approx \frac{P}{P_{comp}} \quad (5)$$

Lembrando que esse número de módulos provavelmente não deve ser inteiro, sendo necessário realizar uma aproximação de valor, sempre para o próximo número inteiro acima.

Após deve ser feito o cálculo da potência real (P_{real}), pela equação (6), produzido pelo sistema, visto que agora se tem um valor inteiro para N , obedecendo a equação descrita a seguir [35]:

$$P_{real} = N \cdot P_{comp} \quad (6)$$

3.3 Dimensionamento do Inversor

Prosseguindo com a escolha do inversor, deve-se seguir a equação (7) para obter a Potência ideal (P_i) do produto [35]:

$$0,9P_{real} < P_i < 1,1P_{real} \quad (7)$$

3.4 Associação dos módulos

Do mesmo modo que todo aparelho que se utiliza de energia elétrica, o inversor possui limite de tensão e corrente, portanto existe um máximo de associações de painéis em série e paralelo que este suporta. Como foi dito anteriormente, associações em série afetam a tensão máxima e, em paralelo a corrente máxima. Para conhecer este limite tem-se que saber a tensão máxima de entrada do inversor (V_{ip}) e a corrente máxima de entrada (I_m).

Além disto, a V_{oc} e a I_{sc} descritas nas especificações do módulo escolhido, também sofrem influência da temperatura. Por isto, semelhante a potência, deve ser feito uma

compensação igual à que foi realizada no item 3.2.1, do capítulo 3. Obtendo assim, a $V_{oc(comp)}$ e a $I_{sc(comp)}$, para ilustrar, observar a figura 11.

Após realizada essa compensação, seguiu-se equações (8) e (9), para obter o máximo de módulos suportados pelo inversor em cada associação [35]:

$$N^{\circ} \text{ em série} = \frac{V_{ip}}{V_{\alpha (amp)}} \quad (8)$$

$$N^{\circ} \text{ em paralelo} = \frac{I_m}{I_{sc(amp)}} \quad (9)$$

Um pequeno adendo é que, a *StringBox* também depende desse valor, mas ela não necessita de nenhum equacionamento, apenas deve ser escolhida uma que suporte a tensão e a corrente de entrada.

3.5 Gastos e Custos

Após o término de todo o dimensionamento dos equipamentos necessários para a viabilidade energética do sistema completo, será realizado o cálculo do custo total do projeto em todas as três situações citadas anteriormente, para isto será somado o gasto de:

- Módulos
- Inversores
- *StringBoxes*
- Cabeamento
- Mão de obra

3.6 Retorno do investimento

Com o total em gastos obtidos, será possível realizar o tempo de retorno de todo o investimento feito neste sistema, considerando o valor gasto no ano a ser analisado. O projeto será realizado para abastecer todo o gasto energético, portanto, a conta de energia será zerada, exceto pelo CD. Com isto pode ser realizado um cálculo de retorno direto em anos com a seguinte equação:

$$\text{Tempo de retorno} = \frac{\text{Valor do projeto}}{\text{Gasto anual com energia elétrica}} \quad (10)$$

3.7 Considerações Finais

É possível verificar que com o uso de diversas equações e considerações feitas, como o dimensionamento do número de módulos, a potência do inversor levando em conta toda a compensação da temperatura, será possível obter um projeto implementável que irá atender toda a demanda energética. Após este levantamento, poderá ser obtido um tempo de retorno para ser analisado a sua viabilidade econômica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dimensionamento

Nas tabelas 01 e 02 se encontram, respectivamente, as informações de gasto energético dos medidores para irrigação 01 e 02, localizados nas áreas B e A, respectivamente e demonstradas anteriormente. Na tabela 03 mostra-se os dados relativos aos da pecuária localizado na área C, tanto para extração do leite como para mantê-lo refrigerado. Todo o levantamento é realizado no período de setembro de 2017 à setembro de 2018, sendo todos os três trifásicos.

Tabela 01 – Medidor 01 de Irrigação

Mês/Ano	Consumo(kWh)
Setembro/2018	10947
Agosto/2018	13448
Julho/2018	12915
Junho/2018	10291
Mai/2018	3649
Abril/2018	0
Março2018	533
Fevereiro/2018	3526
Janeiro/2018	3444
Dezembro/2017	5002
Novembro/2017	17794
Outubro/2017	17097
Setembro/2017	17072

Fonte : O Autor

Tabela 02 - Medidor 02 de Irrigação

Mês/Ano	Consumo(kWh)
Setembro/2018	14063
Agosto/2018	24723
Julho/2018	16318
Junho/2018	18819
Mai/2018	9430
Abril/2018	3157
Março2018	1722
Fevereiro/2018	11685
Janeiro/2018	3895
Dezembro/2017	7872
Novembro/2017	29643
Outubro/2017	30176

Fonte : O Autor

Tabela 03 – Medidor de Pecuária

Mês/Ano	Consumo(kWh)
Setembro/2018	3167
Agosto/2018	3695
Julho/2018	1916
Junho/2018	2681
Mai/2018	2557
Abril/2018	3033
Março2018	3198
Fevereiro/2018	2252
Janeiro/2018	3985
Dezembro/2017	2056
Novembro/2017	3538
Outubro/2017	3638
Setembro/2017	3558

Fonte : O Autor

Na tabela 04 tem-se o gasto total e o médio mensal obtido para cada situação descrita no capítulo 3.1:

Tabela 04 – Consumo

Nome do Medidor	Consumo Total (kWh)	Consumo Médio Mensal (kWh)	Consumo Médio Mensal Acima de 10000 (kWh)	Maior Consumo em um mês (kWh)
Medidor 01 de Irrigação	115718	8902	14223	17794
Medidor 02 de Irrigação	171503	13192	20775	30176
Medidor de Pecuária	39274	3022	-	3985

Fonte : O Autor

Portanto, utilizando-se da equação (1) foram obtidas a EP para cada caso, valores estes encontrados na tabela 05.

Tabela 05 – EP

Nome do Medidor	EP com Consumo Médio Mensal (kWh)	EP com Consumo Médio Mensal Acima de 10000 (kWh)	EP com Maior Consumo em um mês (kWh)
Medidor 01 de Irrigação	8802	14123	17694
Medidor 02 de Irrigação	13092	20675	30076
Medidor de Pecuária	2922	-	3885

Fonte : O Autor

Prosseguindo, existe a necessidade, para efeitos de cálculos, da conversão deste consumo mensal para diário, utilizando da equação (6), resultando nos valores apresentados abaixo na tabela 06, foi considerado um mês com 30 dias.

Tabela 06 – EP diária

Nome do Medidor	EP diária com Consumo Médio Mensal (kWh)	EP diária com Consumo Médio Mensal Acima de 10000 (kWh)	EP diária com Maior Consumo em um mês (kWh)
Medidor 01 de Irrigação	293,4	470,77	589,8
Medidor 02 de Irrigação	436,4	681,17	1002,54
Medidor de Pecuária	97,4	-	129,5

Fonte : O Autor

Utilizando-se da equação (3), considerando um valor de HSP para a região de 5,56 W/m² [28], obtém-se os valores de P necessária para cada caso, verificada na tabela 07:

Tabela 07 – Potência necessária

Nome do Medidor	P com Consumo Médio Mensal (kW)	P com Consumo Médio Mensal Acima de 10000 (kW)	P com Maior Consumo em um mês (kW)
Medidor 01 de Irrigação	52,77	84,68	106,1
Medidor 02 de Irrigação	78,49	122,52	180,32
Medidor de Pecuária	17,52	-	23,3

Fonte : O Autor

Com este valor obtido, realizou-se a estimativa de quantas placas podem ser utilizadas antes de realizar a compensação de temperatura. Para efeito de comparação, foi escolhida uma placa de marca A, que tem consigo um metro de fio para ligar a outro módulo, com as especificações apresentados na tabela 08.

Tabela 08 – Especificações da Placa A

Especificação	Valor
Pmax	390 W
Voc	46.8 V
Isc	10.74 A
Coefficiente de Temperatura (Pmax)	-0,37% / °C
Coefficiente de Temperatura (Voc)	-0,29% / °C
Coefficiente de Temperatura (Isc)	0,05% / °C
Dimensões	2108 X 1048 X 40 mm
Valor + Frete	R\$ 1100,00

Fonte : O Autor

Portanto, ao utilizar a equação (4), tem-se o total de placas necessárias para todos os casos, resultando nos valores apresentados na tabela 09.

Tabela 09 – Placas necessárias antes da compensação

Nome do Medidor	Número de placas com consumo Médio Mensal	Número de placas com consumo Médio Mensal Acima de 10000	Número de placas com maior consumo em um mês
Medidor 01 de Irrigação	136	218	273
Medidor 02 de Irrigação	202	315	463
Medidor de Pecuária	45	-	60

Fonte : O Autor

Para se obter um valor mais real, deve ser realizada a compensação pelo valor médio de temperatura máxima do local, que neste caso é de 29° C [28]. Com isto obtém-se os novos valores práticos da placa, conforme apresentado na tabela 10.

Tabela 10 – Especificações Compensadas

Especificação	Valor Corrigido
Pmax	384,23 W
Voc	46,26 V
Isc	10,96 A

Fonte : O Autor

Agora pode ser obtido um valor mais exato do número de placas para cada situação, utilizando a equação (5), observáveis na tabela 11 a seguir.

Tabela 11 – Placas necessárias após a compensação

Nome do Medidor	Número de placas com consumo Médio Mensal	Número de placas com consumo Médio Mensal Acima de 10000	Número de placas com maior consumo em um mês
Medidor 01 de Irrigação	138	221	277
Medidor 02 de Irrigação	205	319	467
Medidor de Pecuária	46	-	61

Fonte: O Autor

Para verificar se o local escolhido na propriedade é adequado, basta verificar se no caso com a maior quantidade de placas o espaço é suficiente, o módulo possui uma área de 2,21 metros quadrados, e o local possui 500000 metros quadrados, como no pior caso existem 467 placas, elas irão ocupar cerca de 1033 metros quadrados, ficando bem distante do valor máximo suportado.

Dimensionado a quantidade de placas, o próximo equipamento a ser dimensionado será o inversor. Para tal serão necessárias a utilização das equações (6) e (7), com isto obtém-se os valores visto na tabela 12.

Tabela 12 – Intervalo de potência do inversor

Nome do Medidor	Intervalo de potência do inversor com consumo médio mensal (kW)	Intervalo de potência do inversor com consumo médio mensal acima de 10000 (kW)	Intervalo de potência do inversor com maior consumo em um mês (kW)
Medidor 01 de Irrigação	47,227~58,333	76,428~93,412	95,796~117,084
Medidor 02 de Irrigação	70,893~86,647	109,313~134,827	161,5~197,39
Medidor de Pecuária	15,912~19,448	-	21,096~25,784

Fonte: O Autor

Como existem valores diversos, isto resulta na escolha de diferentes modelos e especificações de inversores, utilizando-se das equações (8) e (9), foram escolhidos os seguintes para cada caso, observáveis nas tabelas 13 a 18.

Tabela 13– Inversor do Medidor 01 de Irrigação com consumo médio mensal

Especificações	Valores
Potência nominal	50 KW
Vip	850 V
Im	108 A
Máximo de Módulos em Série	18
Máximo de Módulos em Paralelo	9
Valor + Frete	\$4.042,90

Fonte: O Autor

Tabela 14– Inversor do Medidor 02 de Irrigação com consumo médio mensal e Medidor 01 de Irrigação com consumo médio mensal acima de 10000 kW

Especificações	Valores
Potência nominal	80 KW
Vip	1000 V
Im	144 A
Máximo de Módulos em Série	21
Máximo de Módulos em Paralelo	13
Valor + Frete	£5.269,00

Fonte: O Autor

Tabela 15– Inversor do Medidor de Pecuária com consumo médio mensal

Especificações	Valores
Potência nominal	18 KW
Vip	1000 V
Im	49,5 A
Máximo de Módulos em Série	21
Máximo de Módulos em Paralelo	4
Valor + Frete	R\$ 15.600,00

Fonte: O Autor

Tabela 16– Inversor do Medidor 02 de Irrigação com consumo médio mensal acima de 10000 kW e Medidor 01 de Irrigação com maior consumo em um mês.

Especificações	Valores
Potência nominal	110 KW
Vip	760 V
Im	224 A
Máximo de Módulos em Série	16
Máximo de Módulos em Paralelo	20
Valor + Frete	\$ 21.000,00

Fonte: O Autor

Tabela 17– Inversor do Medidor 02 de Irrigação com maior consumo em um mês.

Especificações	Valores
Potência nominal	165 KW
Vip	780 V
Im	350 A
Máximo de Módulos em Série	16
Máximo de Módulos em Paralelo	31
Valor + Frete	\$ 32.000,00

Fonte: O Autor

Tabela 18– Inversor do Medidor de Pecuária com maior consumo em um mês

Especificações	Valores
Potência nominal	25 KW
Vip	850 V
Im	66,3 A
Máximo de Módulos em Série	18
Máximo de Módulos em Paralelo	6
Valor + Frete	R\$ 19.600,00

Fonte: O Autor

Após o dimensionamento de toda a parte de valor mais substancial do projeto, foi realizada a estimativa do gasto total com o sistema, para isso será incluído valores de cabeamento e mão de obra, que somados são considerados sendo: 35% para projetos abaixo de R\$ 100.000,00, 30 % para sistemas entre R\$ 100.000,00 e R\$ 300.000,00 e 25% quando o total for acima deste valor, e StringBox, quando necessário, baseado no mercado atual do interior de Minas Gerais, para este cálculo foram utilizadas algumas considerações mencionadas abaixo:

- Para produtos importados foi considerado a maior taxa possível no valor de importação que no Brasil é de 60% do valor total do produto e frete.
- Para o Dólar, foi utilizado o valor de conversão do dia 26/05/2019 que é de R\$ 4,03.
- Para a Libra, foi utilizado o valor de conversão do dia 26/05/2019 que é de R\$ 5,03.

Tabela 19– Valor total do projeto

Nome do Medidor	Valor do projeto com consumo médio mensal (R\$)	Valor do projeto com consumo médio mensal acima de 10000 (R\$)	Valor do projeto com maior consumo em um mês (R\$)
Medidor 01 de Irrigação	233.828	374.530	574.740
Medidor 02 de Irrigação	351.643	610.385	902.545
Medidor de Pecuária	90.720	-	118.395

Fonte: O Autor

4.2 Considerações Finais

Para finalizar este capítulo, será feito o cálculo do retorno do investimento utilizando-se da equação (10), deve ser levado em conta algumas situações específicas para a irrigação, pois este tipo de utilização energética possui um enorme desconto quando utilizada em período noturno, 70% para a região onde se encontra a propriedade analisada. Além disso, o próprio kWh neste horário tem um valor menor, além do desconto por ser área rural, portanto, serão analisados casos que podem ser comparados para ter uma conclusão de um retorno viável ou não.

Os casos a serem analisados serão:

- Utilizando uma média do valor pago por kWh considerando o gasto real da propriedade, incluindo todos os descontos e tarifas.
- Utilizando o valor do kWh somente diurno, incluindo o desconto rural e tarifas.
- Utilizando o valor do kWh somente noturno, incluindo todos os descontos e tarifas.

Todos os valores obtidos podem ser observados na tabela 20 abaixo.

Tabela 20– Valor do kWh

Nome do Medidor	Valor real (R\$ / kWh)	Valor apenas noturno (R\$ / kWh)	Valor apenas diurno (R\$ / kWh)
Irrigação	0,3157	0,3092	0,5510
Pecuária	0,5908	-	-

Fonte: O Autor

Com isto, é possível estimar o gasto anual com energia elétrica, observável para cada caso na tabela 21.

Tabela 21– Gasto anual com energia

Nome do Medidor	Gasto estimado com consumo médio mensal (R\$)	Gasto estimado com consumo médio mensal acima de 10000 (R\$)	Gasto estimado com maior consumo em um mês (R\$)
Medidor 01 de Irrigação (Real)	36.532	53.883	67.410
Medidor 02 de Irrigação (Real)	54.144	78.704	114.319
Medidor 01 de Irrigação (Noturno)	35.780	52.773	66.022
Medidor 02 de Irrigação (Noturno)	53.028	77.083	111.965
Medidor 01 de Irrigação (Diurno)	63.760	94.042	117.654
Medidor 02 de Irrigação (Diurno)	94.499	137.364	199.524
Medidor de Pecuária	23203	-	28.252

Fonte: O Autor

Por fim, deve-se atentar ao fato de que a CEMIG cobra aquele custo de disponibilidade, portanto, existe um valor fixo que será cobrado todo mês, assim na tabela 22, é possível conferir o quanto deve ser desconsiderado em cada caso para o cálculo do retorno.

Tabela 22– Valor a ser descontado

Nome do Medidor	Valor a ser descontado (R\$)	Valor a ser descontado apenas noturno (R\$)	Valor a ser descontado apenas diurno (R\$)
Irrigação	378,84	371,04	661,20
Pecuária	708,96	-	-

Fonte: O Autor

Com tudo o que foi realizado até aqui, é possível obter o tempo de retorno em anos para cada caso utilizando da equação (10), este valor encontra-se na tabela 23.

Tabela 23– Tempo de retorno do investimento

Nome do Medidor	Tempo de retorno com consumo médio mensal (Anos)	Tempo de retorno com consumo médio mensal acima de 10000 (Anos)	Tempo de retorno estimado com maior consumo em um mês (Anos)
Medidor 01 de Irrigação (Real)	6,19	7,00	8,57
Medidor 02 de Irrigação (Real)	6,54	7,8	7,92
Medidor 01 de Irrigação (Noturno)	6,60	7,14	8,77
Medidor 02 de Irrigação (Noturno)	6,68	7,96	8,08
Medidor 01 de Irrigação (Diurno)	3,70	4,01	4,91
Medidor 02 de Irrigação (Diurno)	3,75	4,46	4,54
Medidor de Pecuária	4,03	-	4,30

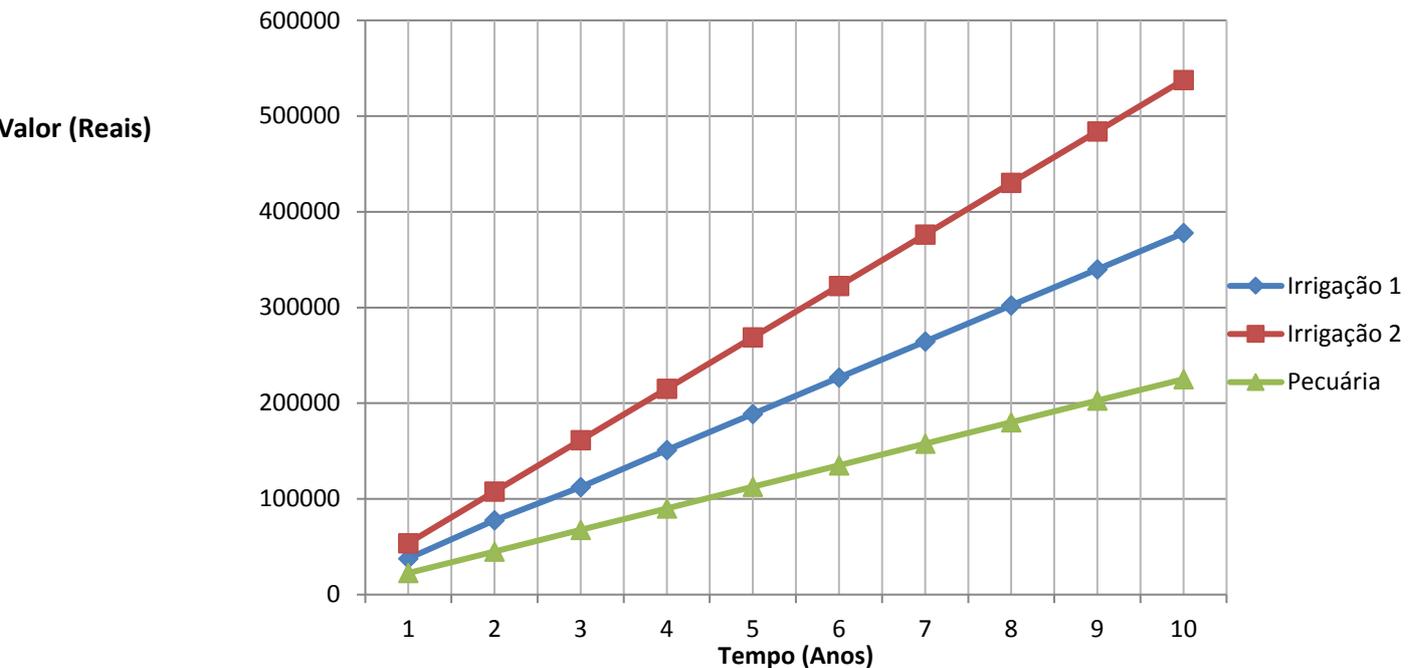
Fonte: O Autor

Observando os valores obtidos, é visto que são viáveis financeiramente, e que se comparados a outros tipos de investimentos, pode ser considerado um excelente meio para obter

um valor substancial após estes anos de retorno, pois quando estes passam, enquanto não é necessário manutenção no sistema, tudo obtido será lucro.

Abaixo, no gráfico 05, encontra-se a relação de retorno financeiro ao longo de 10 anos.

Gráfico 05 – Retorno financeiro por ano



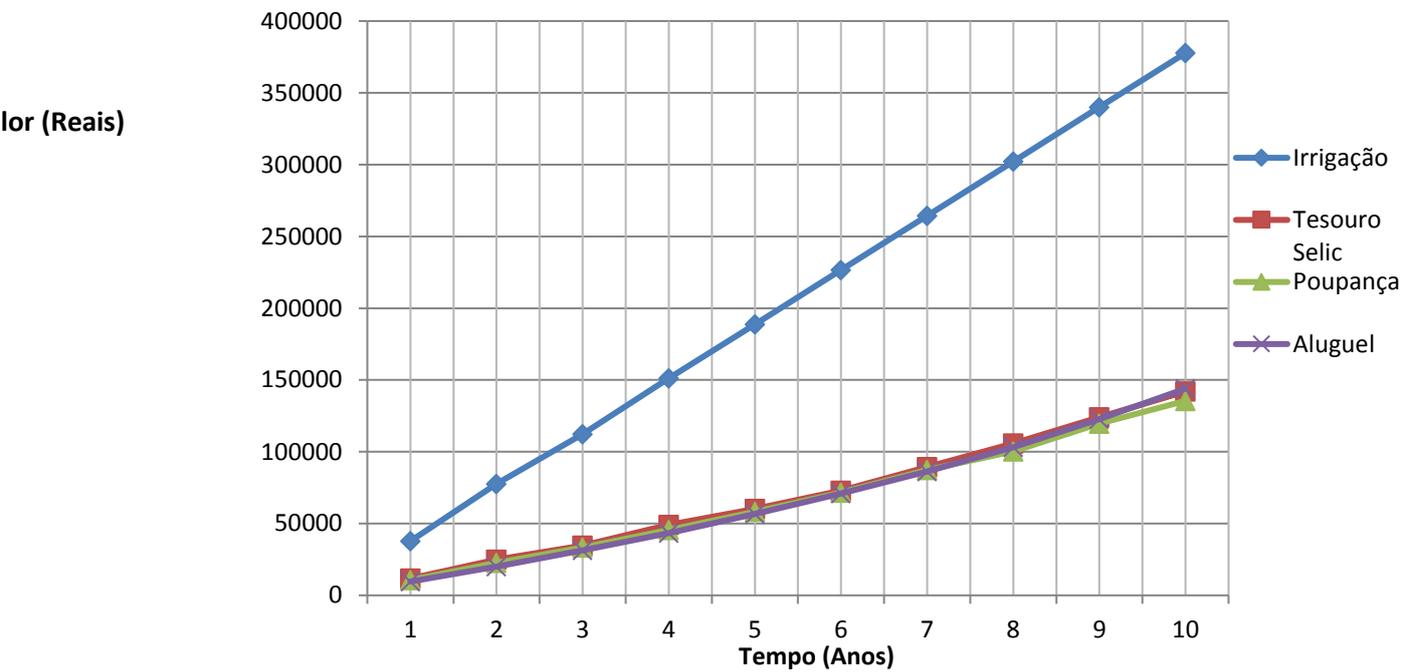
Fonte: O Autor

Basta uma observação rápida no gráfico que fica claro o quanto o investimento é bom e como existe o lucro após o tempo de retorno financeiro.

Prosseguindo, no gráfico 06, é possível verificar a comparação de uma situação do projeto, no custo de R\$233.828, com outros investimentos com mesmo valor inicial, como por exemplo, se aplicado na poupança, tesouro Selic ou investindo na compra de um imóvel.

Utilizando de calculadoras disponíveis que fornecem os cálculos de retorno dos mesmos, e no caso de aluguel, com um valor de R\$840,00 mensais, mais 8,27% de reajuste anual, já descontado o IPTU de acordo com a alíquota da região, ao longo de 10 anos, foram obtidos os resultados observáveis no gráfico 06.

Gráfico 06 – Comparação de investimentos



Fonte: O Autor

Se torna evidente a diferença em retorno financeiro, se for realizada essa comparação com investimentos considerados comuns para os brasileiros, pode ser visto o quão é viável e benéfico a utilização da energia fotovoltaica para abastecer um produtor agropecuário, além da parte ambiental obviamente.

Colocando em porcentagens relativas ao gasto, obtém-se os seguintes valores após 10 anos, observáveis na tabela 24:

Tabela 24– Porcentagem relativa ao investimento inicial

Tipo de investimento	Porcentagem de lucro obtida(%)
Irrigação	161,10
Tesouro Selic	60,73
Poupança	60,52
Aluguel	61,57

Fonte: O Autor

Colocando os valores em porcentagem, fica mais visível ainda a diferença em lucro que se tem ao realizar o investimento na utilização de energia fotovoltaica para a irrigação mesmo com um retorno em anos sendo considerado alto, o que torna o investimento de longo prazo.

5 CONCLUSÃO

Após tudo o que foi discutido durante o projeto, tem-se a clara ideia de como o uso de energia fotovoltaica cada dia mais será uma forma melhor de obtenção energética em diversos ramos, seja pela melhora em módulos e toda a tecnologia da área, como na diminuição de custos conforme os estudos e incentivos de uso de energia limpa acompanham essa evolução, tornando cada vez menor o gasto para a utilização da mesma.

Todo o impacto ambiental já causado pela agricultura teria uma enorme amenização se produtores aderissem a esta forma de energia, pois teria toda a diminuição da queima de combustível fóssil para manter o funcionamento dos métodos de irrigação, principalmente os pivôs, o planeta inteiro agradecerá esta mudança.

Mesmo com os atuais valores um pouco altos para a obtenção de energia pelo método fotovoltaico se comparado a outros, principalmente PCHs, fica claro que em longo prazo todo esse investimento de recurso tem um retorno bastante adequado, e que fica mais agradável de pensar comparando-o com outros do gênero, principalmente para quem apenas deposita suas economias em uma poupança.

Obviamente o investimento não é barato, principalmente quando olha-se para a irrigação, visto que existem diversos incentivos governamentais para o uso da mesma no período noturno, diminuindo bastante o custo do kWh se comparado a utilização no período diurno, mas conforme a utilização da energia fotovoltaica aumente, este custo diminuirá, e talvez receberá incentivos semelhantes

Mas se for observada pelo uso na pecuária, o retorno fica ainda mais viável, apenas cerca de 4 anos para que o gasto tenha significado monetário, após isto tudo que gerará será lucro, além de que o valor de projeto é menos da metade em relação ao sistema necessário para irrigação, portanto é uma opção real para os dias de hoje para quem tem o dinheiro necessário para o investimento e que se preocupe com o bem estar do planeta como um todo.

Como foi considerado apenas um caso específico para uma região, um trabalho mais amplo poderia ser feito para uma análise completa dessa viabilidade econômica em diversas situações e locais do território brasileiro, visto que cada localidade possui suas peculiaridades, seja sobre taxas de irrigação noturna ou tipos de plantios diversos.

6 REFERÊNCIAS

- [1] SALLOWICZ, M. **Demanda por energia no mundo crescerá 35%** . São Paulo – SP, 2014. Disponível em: < <http://economia.estadao.com.br/noticias/geral,demanda-por-energia-no-mundo-crescera-35-diz-estudo,179894e>> Acesso em: 03 de Maio de 2018.
- [2] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço energético nacional 2010**. 2010. Disponível em: < https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2010.pdf> Acesso em: 03 de Maio de 2018.
- [3] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha Energética Brasileira 2016**. 2017. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2017+-+ano+ref.+2016+%28PDF%29/13d8d958-de50-4691-96e3-3ccf53f8e1e4?version=1.0>> Acesso em: 04 de Maio de 2018.
- [4] WILLIAMS, T. J. **Renewable Energy vs Fossil Fuel** . 2015. Disponível em: < <http://smallbusiness.chron.com/managing-communication-business-2829.html>> Acesso em: 05 de Maio de 2018.
- [5] BEETZ, B. **Solar PV 2018: Installs of 111 GW, a polysilicon factory boom and \$0.30/W for modules**. 2017. Disponível em: < <https://www.pv-magazine.com/2017/12/01/solar-pv-2018-installs-of-111-gw-a-polysilicon-factory-boom-and-0-30w-for-modules-2/>> Acesso em: 05 de Maio de 2018.
- [6] JHA, A. **Concentrated solar power could generate 'quarter of world's energy'**. 2009. Disponível em: < <https://www.theguardian.com/environment/2009/may/26/solarpower-renewableenergy>> Acesso em: 05 de Maio de 2018.
- [7] CABRAL, C. V. T; **Energia Fotovoltaica**. Viçosa, 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa.
- [8] INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. **Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia Dentro do Planejamento Integrado de Recursos**. São Paulo, 2012 Universidade de São Paulo.
- [9] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz energética e elétrica**. 2018. Disponível em: < <http://epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>> Acesso em: 07 de Maio de 2019.
- [10] OLIVEIRA, A. **As vantagens da energia solar e sua utilização**. Disponível em: < <https://www.cpt.com.br/cursos-energiaalternativa/artigos/as-vantagens-da-energia-solar-e-sua-utilizacao>> Acesso em: 07 de Maio de 2018.
- [11] SOUZA, A.; ARISTONE, F. **Estudo da Eficiência Energética de Células Fotovoltaicas em Função da Radiação Solar no Centro-Oeste Brasileiro**. Mato Grosso do Sul, 2016 Universidade Federal do Mato Grosso do Sul.

[12] CASTRO, R.M.G. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada**. Lisboa. Portugal, 2002 Universidade Técnica de Lisboa

[13] ALBIERO.D. **Utilização de Energia na Agricultura**. Campinas-SP. 2010 Disponível em:<<http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=23369&secao=Colunas%20e%20Artigos>> Acesso em: 08 de Maio de 2018.

[14] PEREIRA, P.H.C. **Sistema Automatizado de Irrigação por Pivô Central**. Lavras. MG, 2011 Universidade Federal de Lavras.

[15] RANGEL, M. S.; BORGES, P. B.; SANTOS, I. F. S. **Análise comparativa de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil**. Revista Brasileira de Energias Renováveis. Itajubá-MG, v.5, n.3, p.267-277, 2016.

[16] GREEN MA, EMERY K, KING DL, IGARI S. Solar cell efficiency tables (version 15). **Progress in Photovoltaics: Research and Applications** 2000; 8: 187–196.

[17] PORTAL ENERGIA – ENERGIAS RENOVÁVEIS. **Principais tipos de células fotovoltaicas constituintes de painéis solares**. 2017. Disponível em: < <https://www.portal-energia.com/principais-tipos-de-celulas-fotovoltaicas-constituientes-de-paineis-solares/>>.

[18] VALLÊRA, A. M.; BRITO M. C. **Meio século de história fotovoltaica**. Gazeta de física, p. 11-15, 2006.

[19] NASCIMENTO, C. A. DO. **Princípio de funcionamento da célula fotovoltaica**. Lavras, 2004. Monografia (Pós-Graduação *Lato-Sensu* em Fontes alternativas de energia). Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Universidade Federal de Lavras.

[20] PEREIRA, L. M. N. **Produção e caracterização de silício policristalino e sua aplicação a TFTs**. Lisboa, 2008. Tese (Doutorado em Engenharia dos materiais, especialidade microeletrônica e optoeletrônica). Departamento de ciências dos materiais, Universidade Nova de Lisboa.

[21] GOMES, L. I. P. DE. **Células Solares Semi-transparentes de Silício Amorfo Micro/Nanocristalino**. Lisboa, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos materiais). Departamento de ciências dos materiais, Universidade Nova de Lisboa.

[22] PINTO, Jacques M.; SILVA, Cícero L. da; OLIVEIRA, Carlos A. da S.. **Influência de variáveis climáticas e hidráulicas no desempenho da irrigação de um pivô central no oeste baiano**. Eng. Agríc., Jaboticabal , v. 26, n. 1, p. 76-85, Apr. 2006 .

[23] NERYS, J. W. L. et al. **Eficiência Energética em Sistemas de Irrigação do Tipo Pivô Central**. In: SEMINÁRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO SETOR ELÉTRICO, 2., 2011, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: ANEEL, 2011. p. 1-5.

[24] INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA- ENGENHARIA DA IRRIGAÇÃO. **Sistemas e componentes de Irrigação**. 2018. Disponível em < http://www.esalq.usp.br/inctei/arquivos/Componentes_de_sistemas_de_irrigacao.pdf> Acesso em: 07 de Maio de 2018.

[25] ATOMRA-ENERGIA RENOVÁVEL. **Cálculo do dimensionamento-Projeto solar fotovoltaico**. 2014. Disponível em < <http://www.atomra.com.br/dimensionamento-projeto-solar-fotovoltaico/>> Acesso em 08 de maio de 2018.

[26] TEIXEIRA, S. **Sistema de Ordenha mecânica: Como funciona?**. Disponível em < <https://www.cpt.com.br/cursos-bovinos-gadodeleite/artigos/sistema-de-ordenha-mecanica-como-funciona>> Acesso em: 19 de Abril de 2019.

[27] MONTAR UM NEGÓCIO. **Ordenha mecânica: Como funciona? Como Montar?**, 2017. Disponível em < <https://www.montarumnegocio.com/ordenha-mecanica/>> Acesso em 20 de abril de 2019.

[28] CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO. **Potencial Solar – SunData**. Disponível em: <<https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>> Acesso em: 28/04/2019.

[29] CASARO, M. M.; MARTINS, D. D. **Eletronic processing of the photovoltaic solar energy in grid connected systems**. Brasil, 2008, Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

[30] PEREIRA, Osvaldo L. S. ; GONÇALVES, Felipe F. **Dimensionamento de inversores para sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica** . Revista Brasileira de Energia, Tubarão, p. 25-45, 3 jun. 2008.

[31] BRITO, S. S. **Centro de referência para energia solar e eólica**. CRESESB Informe-Rio de Janeiro, v. 12, n. 13, p. 3, 2008

[32] Camargo, L. T. **Projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados a Rede Elétrica**. Londrina, 2017. Universidade Estadual de Londrina

[33] BOSO , A. C.; GABRIEL , C. P.; FILHO, L. R. **Ánalyse de custos dos sistemas fotovoltaicos on-grid e off-grid no Brasil**. ANAP Brasil, Brasil, p. 57-66, 2015.

[34] GUIMARÃES, G. **String Box: O que é e como funciona**. SolarVolt, Brasil,2018.

[35] SILVA, R. G. **Dimensionamento de um sistema fotovoltaico para atender uma demanda de iluminação**. Brasil, 2014. Universidade Estadual de Londrina.