

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROJETO DE GRADUAÇÃO**

MAYARA CAFFEU CAMILO

**ANÁLISE ECONÔMICA DO USO DE PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS PARA ALIMENTAR UM SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO DIRECIONADA AO CAFÉ CONILON**

**VITÓRIA – ES
DEZEMBRO/2018**

MAYARA CAFFEU CAMILO

**ANÁLISE ECONÔMICA DO USO DE PAINÉIS
FOTOVOLTAICOS PARA ALIMENTAR UM SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO DIRECIONADA AO CAFÉ CONILON**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação da aluna **Mayara Caffeu Camilo**, apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheira Eletricista.

Orientador:
Prof. Dr. Walbermark Marques dos Santos

VITÓRIA – ES
DEZEMBRO/2018

Dedicado à Deus e à minha criança interior.

RESUMO

Atualmente a cultura do Café Conilon se apresenta como responsável pela renda de cerca de 80% das famílias do estado do Espírito Santo. Dada a importância de tal atividade, a busca por medidas que envolvam melhorias e redução dos custos no processo de produção é cada vez mais recorrente. Uma das apostas de redução dos custos é a que se refere a conta de energia. Nesse contexto, a utilização dos incentivos fiscais do governo de redução da tarifa de energia cobrada para propriedades em zonas rurais que exercem a irrigação na agricultura, tem sido uma alternativa para se reduzir o gasto em kWh. Paralelo a isso, tendo em vista o potencial solarimétrico do estado do Espírito Santo e os incentivos fiscais de instalação de sistema solar fotovoltaico ligado à rede em propriedades rurais, tem-se o estudo da possibilidade de adotar tal sistema para também cooperar na redução do consumo daqueles sistemas de irrigação. Porém, este trabalho apresenta um caso de não viabilidade que alerta ao consumidor rural que é preciso ter cautela antes de investir, pois nem todo o projeto será viável. Para tanto, foi considerado um sistema de irrigação para o Café Conilon no Sítio Paraíso localizado na cidade de Jaguaré-ES baseado em pesquisas com engenheiros da área. A partir disso, levantou-se a carga instalada do local e dimensionou-se a quantidade de painéis fotovoltaicos e inversores que possibilitassem a produção de energia requisitada. Com isso, estimou-se o custo da implantação do projeto fotovoltaico em R\$ 26.780,00 e um gasto evitado de R\$ 1.671,45 por ano. Analisando-se tal investimento por meio do VPL, onde a taxa de desconto era igual a taxa SELIC no mês de dezembro de 2018, o investimento inicial igual ao custo com o sistema fotovoltaico, as entradas por ano iguais ao gasto anual evitado e o tempo de vida útil do projeto de 30 anos com uma troca do inversor no 15º ano, resultou-se em um VPL negativo, ou seja, o projeto não é viável. Mesmo reduzindo os custos do investimento inicial em 25%, onde o VPL se torna positivo, o *payback* descontado ainda se apresentou muito elevado e perto do fim da vida útil do sistema. Portanto, entendeu-se que para esse cenário não é viável o uso de painéis fotovoltaicos ligados à rede, tendo em vista a grande redução das tarifas de energia para a irrigação da propriedade rural em questão.

Palavras-chave: Análise de Investimento; Tarifas rurais; Irrigação; Sistema Solar Fotovoltaico ligado à rede; Café Conilon; Jaguaré-ES.

ABSTRACT

The Conilon Coffee (*Coffea canephora*) cultivation is responsible for the income of about 80% of the families of the state of Espírito Santo / Brazil. Given the importance of such activity, the research for methods involving improvements and cost reduction in the production process is increasingly recurrent. One of the cost reduction possibilities refers to the energy bill. In such context, there's a governmental tax incentive used for reducing the energy tariff in rural properties that apply irrigation methods for agriculture, which accounts for an alternative to reduce the kWh cost. Alongside, considering the solarimetric potential of the Espírito Santo state and existing fiscal incentives for the installation of photovoltaic solar systems connected to the power grid in rural properties, there's a possibility of adopting such system to improve even further the power consumption of those irrigation systems. Notwithstanding, this work presents a case of non-viability that warns the rural consumer that caution must be exercised before investing, since not all projects are viable. For this work, an irrigation system was considered for the Conilon Coffee at the Paraíso Site, located in the city of Jaguaré / ES, based on interviews with local engineers. At that site, the installed load was estimated and the number of photovoltaic panels and inverters were dimensioned for enabling the generation of the requested energy. As a result, the cost of implementing the photovoltaic project was estimated to be BRL 26,780.00 and the annual expense reduction was estimated to be BRL 1,671.45. Analyzing the investment using NPV, where the discount rate was equal to the Brazil's SELIC rate in the December of 2018, the initial investment equals to the cost of the Photovoltaic system, the annual input equals the annual expense reduction, and the project's lifetime of 30 years with one inverter exchange in the 15th year, resulted in a negative NPV, which implies that the project is not viable. Even reducing the initial investment costs by 25%, getting a positive NPV, still the discounted Payback was very high and closely reaching the end of the system's lifetime. Therefore, for the studied scenario it is not economically viable to use photovoltaic panels connected to the power grid, mostly because of the large reduction in energy tariffs already given as governmental incentive to properties that apply irrigation methods.

Keywords: Investment Analysis; Rural tariffs; Irrigation; Photovoltaic Solar System connected to the power grid; Conilon Coffee; Jaguaré / ES.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Configuração do <i>off-grid</i> (isolado) versus o <i>on-grid</i> (conectado à rede)	15
Figura 2 - Curvas de (I x V) e (P x V) de uma célula fotovoltaica nas condições padrão de teste.....	17
Figura 3 - Curva I x V da célula fotovoltaica variando com a irradiância (W/m^2) e mantendo a temperatura da célula de 25°C.	17
Figura 4 - Curva I x V da célula fotovoltaica variando a temperatura de célula e mantendo a irradiação em 1000W/m^2	18
Figura 5 - Ilustração do conceito de fluxo de caixa líquido incremental	19
Figura 6 - Localização no mapa do Sítio Paraíso	22
Figura 7 – Área total do Sítio Paraíso (amarelo) e área do cultivo de Café Conilon (vermelho)	23
Figura 8 - Zonas naturais da cidade de Jaguaré-ES.....	24
Figura 9 - Características das zonas naturais no município de Jaguaré-ES.....	25
Gráfico 1 - Série histórica de temperatura mensal na EM de Sooretama/ES	27
Gráfico 2 - Série histórica de precipitação mensal na EM de Sooretama/ES.....	27
Figura 10 - Estações meteorológicas e zonas naturais do ES.....	26
Figura 11 – Área disponível para construção do reservatório (35 m x 6 m).....	32
Figura 12 - Fator de correção de temperatura do PV	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Quantidade de água (L/planta/dia) adotado no projeto	29
Tabela 2 - Manejo de água adotado por período	31
Tabela 3 - Dados de entrada do dimensionamento da motobomba 1	32
Tabela 4 - Dados de entrada do dimensionamento da motobomba 2	33
Tabela 5 – Dados referentes a motobomba 1 e 2 adotadas nesse trabalho	34
Tabela 6 - Levantamento do consumo diário e mensal do Sítio.....	35
Tabela 7 - Irradiação solar diária média na EM de Sooretama – ES (kWh/m ² /dia).....	36
Tabela 8 - P _{max} , V _{co} e I _{sc} corrigidos para os valores extremos de temperatura do Sítio Paraíso	37
Tabela 9 - Cálculo do número de painéis fotovoltaicos	38
Tabela 10 - Dados para o cálculo do FDI.....	39
Tabela 11 - Quantidade máxima e mínima de painéis ligados em série.....	40
Tabela 12 - Valores do cálculo do número de painéis em paralelo	40
Tabela 13 - Cálculo das tarifas empregadas no Sítio Paraíso.....	41
Tabela 14 - Levantamento do gasto energético sem considerar o uso dos PVs	42
Tabela 15 - Cálculo da energia injetada na rede.....	43
Tabela 16 - Cálculo do faturamento do Sítio com a instalação dos painéis e o gasto evitado	43
Tabela 17 - Estimativa de custo com a implantação dos PVs	44
Tabela 18 - Cálculo do VPL e <i>Payback</i> Descontado.....	45

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO.....	7
1.1. Introdução	7
1.2. Objetivos	8
1.2.1. Objetivo Geral	8
1.2.2. Objetivos Específicos.....	8
1.3. Estrutura do Trabalho.....	8
2. EMBASAMENTO TEÓRICO.....	10
2.1. Classificação das unidades consumidoras.....	10
2.2. Estrutura tarifária	10
2.3. Tarifas rurais	11
2.4. Sistema Solar fotovoltaico	13
2.4.1. Fatores elétricos dos módulos fotovoltaicos	16
2.4.2. Influência da irradiação e temperatura no funcionamento dos módulos fotovoltaicos.....	17
2.5. Conceitos Básicos para Análise Financeira	18
2.6. Métodos Quantitativos de Análise de Investimento.....	19
2.6.1. Valor Presente Líquido (VLP)	19
2.6.2. Taxa de Retorno de Investimento (TIR)	20
2.6.3. Payback	20
2.6.4. Viabilidade econômica de um projeto.....	21
3. O SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	22
3.1. Composição geral de um sistema de irrigação	22
3.2. Localização	22
3.3. Considerações do projeto	23
3.4. Estudo dos indicadores de manejo de água.....	23
3.4.1. Aspectos climáticos.....	24
3.4.2. Características da cultura	28
3.5. Estratégias de irrigação adotadas no trabalho	29
3.5.1. Dimensionamento do reservatório	31
3.6. Escolha da motobomba 1	32
3.7. Escolha da motobomba 2	33
4. LEVANTAMENTO DO PERFIL DE CONSUMO MENSAL (KWH).....	34
5. SISTEMA FOTOVOLTAICO LIGADO À REDE	36

5.1. Escolha dos painéis fotovoltaicos	36
5.2. Escolha do inversor	38
5.2.1. Número máximo de painéis em série	39
5.2.2. Quantidade de painéis ligados em paralelo	40
6. ANÁLISE FINANCEIRA	41
6.1. Estimativa do gasto mensal do Sítio Paraíso.....	41
6.2. Estimativa do gasto mensal e anual para a mínima produção de energia do sistema fotovoltaico.....	42
6.3. Custo da implantação do Sistema Fotovoltaico no Sítio Paraíso	43
6.4. Análise do investimento através do VPL, <i>Payback</i> e TIR.....	44
6.5. Comentário finais.....	46
7. COMENTÁRIO FINAIS E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	47
REFERÊNCIAS	48

1. APRESENTAÇÃO

1.1. Introdução

O Café Conilon é a cultura que mais se destaca no meio agrícola do estado do Espírito Santo. Sua produção tem alcançado marcas tão expressivas em termo de produtividade e retorno financeiro, que foram capazes de elevar o estado ao patamar de referência brasileira e mundial no desenvolvimento da cafeicultura de Café Conilon. Atualmente, o Estado é responsável por entre 75% e 78% da produção nacional, 20% da produção no mundo e se destaca como a principal fonte de renda em 80% das propriedades rurais localizadas em terras quentes (INCAPER, 2018).

Os municípios que são considerados os maiores produtores de Café Conilon no Estado são: Jaguaré, Vila Valério, Nova Venécia, Sooretama, Linhares, Rio bananal, São Mateus, Pinheiros, Governador Lindenberg, Boa Esperança, Vila Pavão, São Gabriel da Palha, Colatina e Marilândia (INCAPER, 2018).

O fato de ser uma bebida tão popular aliado à sua importância econômica, tem feito do cultivo do Café Conilon uma área de intensa pesquisa. Os temas, nesse caso, vão desde a sua produção até os seus efeitos sobre a saúde humana (PARTELLI, 2016, p. 30).

Na região nordeste do Espírito Santo, os estudos estão voltados principalmente ao manejo de água. Nesse sentido, analisa-se desde a saída da água da fonte hídrica até a sua chegada na planta, de forma a proporcionar um uso racional do recurso natural e garantir a qualidade do grão. Dentro de toda essa dinâmica da água, uma atividade ganha destaque: a irrigação.

Analisando-se a atividade da irrigação, notou-se a busca por técnicas mais eficientes tanto no sentido de evitar o desperdício de água, elevar a qualidade do produto e reduzir os custos com energia elétrica. No campo da redução dos custos com energia elétrica, tem-se apostado em sistemas fotovoltaicos, uma vez que o Estado possui um nível de radiação com pouco nível de variação e tais índices são atrativos. Além disso, alguns bancos, como por exemplo o Banco do Brasil, têm apresentado linhas de crédito com juros baixos para o financiamento de projetos de energia solar fotovoltaica no campo (BLUESOL, 2018).

Nesse sentido, a um primeiro momento aparenta-se vantajoso investir na implantação de energia solar fotovoltaica no campo. Porém este estudo visa indicar que é preciso um pouco de cautela antes de sair investindo, já que cada local onde se pretende instalar os painéis possui as suas particularidades e possibilidades de tornar o investimento não atrativo.

Com isso, neste trabalho foi avaliado a inviabilidade de se utilizar os painéis fotovoltaicos para alimentar um sistema de irrigação para o cultivo do Café Conilon em um Sítio localizado na cidade de Jaguaré-ES.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é verificar a inviabilidade econômica através dos VLP, TIR e do *Payback* de se investir em um sistema fotovoltaico ligado à rede para alimentar um sistema de irrigação de uma cultura de Café Conilon de um Sítio localizado no município de Jaguaré-ES.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Colocar em discussão os incentivos fiscais de redução de tarifa de energia para propriedades rurais com atividades voltadas a irrigação;
- Agregar nos estudos que visam implantar sistemas fotovoltaicos ligado à rede nos sistemas de irrigação para a cultura do Café Conilon da cidade de Jaguaré-ES.

1.3. Estrutura do Trabalho

Este trabalho foi estrutura em 7 Capítulos, sendo a Apresentação do Tema o primeiro deles. No Capítulo 2 será apresentado alguns pontos que serviram de base para o desenvolvimento desse trabalho.

No Capítulo 3 é apresentado o caminho que foi percorrido para se chegar a um possível sistema de irrigação para a cultura e o local de estudo.

No Capítulo 4 é apresentado o levantamento de cargas feito a partir do sistema de irrigação descrito no capítulo anterior.

No Capítulo 5 é apresentado como foi feito o cálculo que determinou a quantidade dos painéis fotovoltaicos e do inversor a serem utilizados como parte do sistema fotovoltaico ligado à rede para o sistema de irrigação mencionado no capítulo 3.

No Capítulo 6 é apresentada a análise financeira do investimento do custo da implantação e aquisição do sistema solar fotovoltaico ligado à rede para alimentar o sistema de irrigação em questão.

No Capítulo 7 são apresentados os comentários finais a respeito da análise assim como a apresentação de trabalhos futuros.

Por fim, apresenta-se as referências utilizadas nesse trabalho.

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1. Classificação das unidades consumidoras

As unidades consumidoras (UCs) são classificadas em dois grandes grupos. O Grupo A, no qual a tensão de fornecimento é maior que 2300V, e o Grupo B, no qual a tensão de fornecimento é menor que 2300V (PROCEL, 2011, p. 10).

Ainda na classificação dos grupos, tem-se as subdivisões de acordo com as características de consumo.

O Grupo B é subdividido em subgrupos. Sendo eles:

- Subgrupo B1 – residencial e residencial baixa renda;
- Subgrupo B2 – rural e cooperativa de eletrificação rural;
- Subgrupo B3 – demais classes;
- Subgrupo B4 – iluminação pública.

Já o Grupo A é subdividido em:

- Subgrupo A1 para o nível de tensão de 230 kV ou mais;
- Subgrupo A2 para o nível de tensão de 88 a 138 kV;
- Subgrupo A3 para o nível de tensão de 69 kV;
- Subgrupo A3a para o nível de tensão de 30 a 44 kV; Subgrupo A4 para o nível de tensão de 2,3 a 25 kV;
- Subgrupo AS para sistema subterrâneo.

Maiores informações a respeito da classificação das unidades consumidoras encontram-se na Resolução Normativa Nº 414, de 9 de Setembro de 2010 da ANEEL (2010, p. 5).

2.2. Estrutura tarifária

A estrutura tarifária corresponde a um conjunto de tarifas aplicadas no faturamento do mercado de distribuição de energia. Nesse cenário, para cada perfil de unidade consumidora há um conjunto de tarifas aplicáveis (PROCEL, 2011, p. 11).

Desde 1º de Setembro de 2012 as tarifas são compostas por duas parcelas. Uma referente ao consumo (TE – Tarifa de Energia) e outra referente ao o que se paga para que a

energia chegue até a unidade consumidora (TUSD – Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição).

Além disso, as tarifas são organizadas em 5 grupos distintos, conhecidos também por modalidades tarifárias (ANEEL, 2016). A seguir a descrição das 5 modalidades tarifárias:

- Azul: é aplicada às unidades consumidoras do grupo A. Possui tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com o posto tarifário;
- Verde: é aplicada às unidades consumidoras do grupo A. Possui tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com o posto tarifário. Já em relação a demanda de potência, possui uma única tarifa.
- Convencional Binômia: é aplicada às unidades consumidoras do grupo A. Tem por característica tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independente das horas de utilização do dia. Porém esta modalidade está para ser extinta.
- Convencional Monômia: é aplicada às unidades consumidoras do grupo B. Tem como característica tarifas de consumo de energia elétrica que independem das horas de utilização do dia;
- Branca: é aplicada às unidades consumidoras do grupo B, com exceção do subgrupo B4 e as subclasses Baixa Renda do subgrupo B1. Tem como característica tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização do dia.

2.3. Tarifas rurais

Segundo a Resolução Normativa nº414, de Setembro de 2010 na Seção VI da ANEEL (2010, p. 44-47), existem benefícios tarifários de redução de tarifa aplicável as unidades consumidoras classificadas como rurais. Tais percentuais de redução de tarifa são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Percentagem de desconto nas tarifas aplicáveis para as unidades consumidoras classificadas como rurais

Grupo, subclasse	TUSD R\$/kW	TUSD R\$/MWh	TE R\$/MWh	Tarifa para aplicação da redução
A, todas as subclasse	10%	10%	10%	tarifas das modalidades tarifárias azul e verde
B, subclasse Serviço Público de Irrigação	---	40%	40%	B1 subclasse residencial
B, demais subclasse	---	30%	30%	B1 subclasse residencial

Fonte: (ANEEL, 2010, p. 45).

Ainda na Resolução Normativa nº414, no Art. 53L (2010, p. 45), tem-se que as unidades consumidoras da classe rural também tem direito a uma outra redução na tarifa destinado às atividades de irrigação e agricultura desenvolvidas em um período contínuo de 8h30m.

Esse benefício, popularmente conhecido como “tarifa verde”, apresenta descontos variando com o Grupo e a localização da unidade consumidora. Sendo assim, para as UCs do Nordeste e demais municípios da Superintendência do Nordeste (SUDENE), tem-se o Quadro 2 de desconto.

Quadro 2 - Porcentagem de desconto para determinar a "tarifa verde" das UCs da região Nordeste e as pertencentes a SUDENE

Grupo	TUSD R\$/kW	TUSD R\$/MWh	TE R\$/MWh	Tarifa para aplicação da redução
A	0%	90%	90%	tarifas das modalidades tarifárias azul e verde
B	---	73%	73%	B1 (após aplicação do benefício da classe rural)

Fonte: (ANEEL, 2010, p. 45)

Para as regiões Norte, Centro-Oeste e demais municípios do estado de Minas Gerais, tem-se o Quadro 3.

Quadro 3 - Porcentagem de desconto para determinar a "tarifa verde" das UCs da região Norte, Centro-Oeste e demais municípios de Minas Gerais

Grupo	TUSD R\$/kW	TUSD R\$/MWh	TE R\$/MWh	Tarifa para aplicação da redução
A	0%	80%	80%	tarifas das modalidades tarifárias azul e verde
B	---	67%	67%	B1 (após aplicação do benefício da classe rural)

Fonte: (ANEEL, 2010, p. 46)

Demais regiões, seguem o Quadro 4.

Quadro 4 - Porcentagem de desconto para determinar a "tarifa verde" das UCs da demais regiões.

Grupo	TUSD R\$/kW	TUSD R\$/MWh	TE R\$/MWh	Tarifa para aplicação da redução
A	0%	70%	70%	tarifas das modalidades tarifárias azul e verde
B	---	60%	60%	B1 (após aplicação do benefício da classe rural)

Fonte: (ANEEL, 2010, p. 46)

2.4. Sistema Solar fotovoltaico

O sistema solar fotovoltaico, também conhecido como sistema fotovoltaico, é caracterizado por fazer a conversão direta da energia solar em eletricidade. Isso ocorre devido ao efeito fotovoltaico que é o processo físico no qual uma célula fotovoltaica converte luz em eletricidade quando esta é exposta à luz. Deste modo, a célula fotovoltaica, um dos componentes dos painéis fotovoltaicos, se apresenta como a protagonista desse sistema (BRASIL, 2018).

Os componentes de um sistema solar fotovoltaico são: painéis fotovoltaicos (PVs), inversores solares, controladores de carga e baterias.

Os módulos fotovoltaicos são as fontes geradoras de energia elétrica, uma vez que os mesmos são formados, de maneira geral, por células fotovoltaicas. Tais módulos podem ser combinados entre si tanto em série quanto em paralelo, formando assim um painel fotovoltaico. No dia-a-dia é comum não ter essa distinção de módulo e painel, mas é válido lembrar que há uma sutil diferença. Os fatores elétricos assim como a análise da influência da

temperatura e da irradiação na curva $I \times V$ das células fotovoltaicas e consequentemente dos painéis fotovoltaicos são ilustradas nos itens 2.4.1 e 2.4.2, respectivamente.

O inversor é o tem a função de converter a tensão gerada pelos painéis fotovoltaicos (Corrente Contínua – CC), em Corrente Alternada (CA) e fazer a sincronização com a rede, isto se o sistema for conectado à rede.

Os controladores de carga ou carregadores ficam entre os PVs e as baterias com o intuito de controlar a carga destas, já que a produção de energia varia de acordo com a luz solar incidente. Desta forma, evita-se problemas de sobrecargas ou descargas excessivas, e se otimiza e prolonga a vida útil da bateria. As baterias armazenam a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos que não está sendo usada pela carga naquele instante.

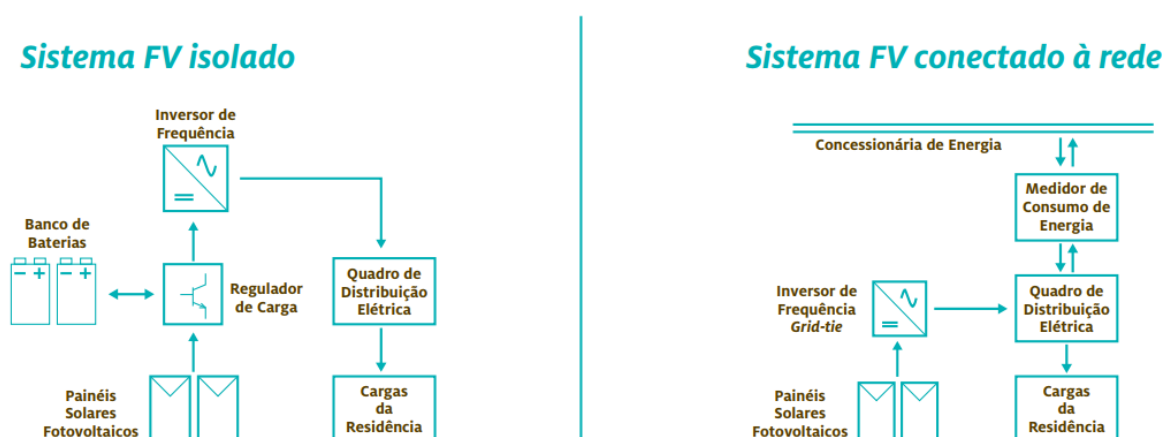
Um sistema fotovoltaico pode ou não compor todos os componentes, vai depender do tipo de configuração adotado: isolado da rede ou conectado à rede.

Na primeira configuração o sistema é denominado como sistema isolado ou autônomos (*off-grid*), e normalmente é utilizado em regiões onde não se dispõe de energia elétrica. A energia produzida pelos painéis geralmente é armazenada em baterias ou consumida por equipamentos específicos, como por exemplo, pequenas bombas de irrigação.

Já na segunda configuração o sistema recebe o nome de sistema *on-grid* ou *grid-tie*. A energia produzida nesse caso é injetada diretamente na rede, não necessitando assim de baterias para armazenamento. Em comparação com o sistema *off-grid*, este tipo de conexão é mais eficiente por se utilizar toda a energia produzida seja através do consumo ou de créditos não precisando assim considerar a descarga da bateria, e possui um custo menor, uma vez que dispensa os gastos com controladores de carga e baterias (EQUIPE ECYCLE, 2018).

Vale ressaltar que no caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede, há ainda uma classificação por parte da ANEEL de acordo com a potência instalada. Ele se enquadra na classe de microgeração distribuída quando a potência instalada for menor ou igual a 75 kW, ou na classe minigeração distribuída quando a potência instalada for superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW (ANEEL, 2015, p. 1).

Os componentes assim como o esquema de ligação das duas configurações dos sistemas fotovoltaicos são apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Configuração do *off-grid* (isolado) versus o *on-grid* (conectado à rede)

Fonte: (ASPE, 2013, p. 36)

No Quadro 5 apresentam-se as principais vantagens e desvantagens a respeito dos sistemas *on-grid* e *off-grid* baseando-se na Resolução Normativa N° 687 (2015, p. 3-5).

Quadro 5 - Comparação entre as vantagens e desvantagens dos sistemas *on-grid* e *off-grid*.

Sistema	Vantagens	Desvantagens
<i>Off-Grid</i>	Pode ser utilizado em regiões remotas, por ser independente da rede de distribuição de energia	Necessita da utilização de baterias e controladores de carga
	Possui sistema de armazenamento de energia	Custo mais elevado
	Não há necessidade de pagar conta de luz	Menos eficiente
<i>On-Grid</i>	Dispensa a utilização de baterias e controladores de carga	Necessita de acesso à rede de distribuição
	A energia produzida que não for consumida é convertida em créditos com data de validade de 60 meses.	Não possui sistema de armazenamento
	Os créditos podem ser utilizados em outras unidades consumidoras do mesmo proprietário e que esteja na mesma área de concessão.	
	Mais eficiente	Necessidade de pagar a conta de luz quando o consumo for maior que o produzido e não houverem créditos disponíveis

Fonte: Adaptado de (EQUIPE ECYCLE, 2018) e Resolução Normativa N° 687 (2015, p. 3-5).

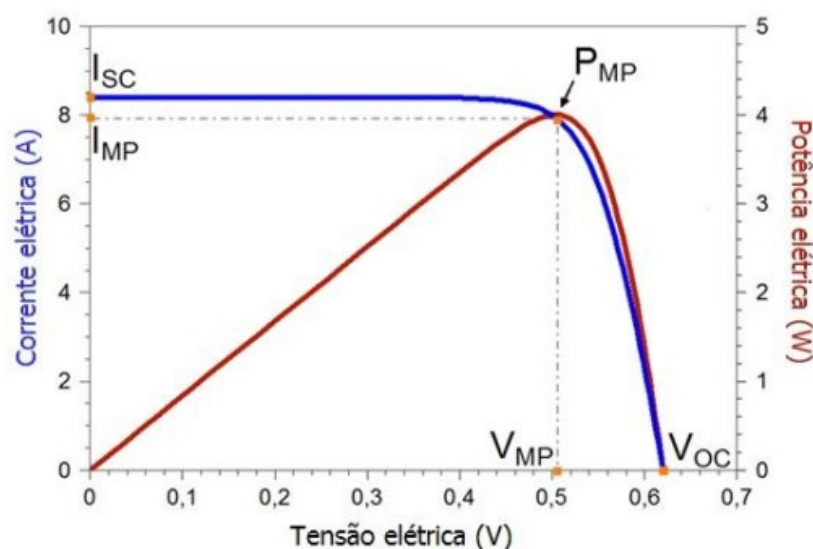
Maiores informações a respeito das microgerações e minigerações distribuídas ligadas à rede encontram-se na Resolução Normativa N° 687, de 24 de Novembro de 2015 da ANEEL disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>>. Acesso em: Novembro de 2018. E quanto ao sistema solar fotovoltaico, tem-se o Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos de Pinho e Galdino, 2014.

2.4.1. Fatores elétricos dos módulos fotovoltaicos

Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 118), um módulo fotovoltaico é caracterizado por sua potência elétrica de pico (W_p). Este valor é determinado nas condições padrão de ensaio (STC, do inglês *Standard Test Conditions*), ou seja, com a temperatura de célula de 25°C e com a irradiância de 1.000 W/m² sob distribuição espectral AM 1,5. Analisando-se a curva IxV dos módulos nas condições padrão foram determinados alguns parâmetros elétricos que são descritos a seguir:

- Tensão de circuito aberto (V_{oc}): corresponde a máxima tensão que um dispositivo pode entregar nas condições padrão quando a circulação de corrente é nula.
- Corrente de curto-circuito (I_{sc}): corresponde a máxima corrente que um dispositivo pode entregar nas condições padrão quando a tensão é nula.
- Potência máxima (P_{max}): corresponde ao valor máximo de potência que um dispositivo pode entregar nas condições padrão.
- Tensão de potência máxima (V_{mp}): corresponde a tensão em que ocorre o P_{max} .
- Corrente de potência máxima (I_{mp}): corresponde a corrente em que ocorre o P_{max} .

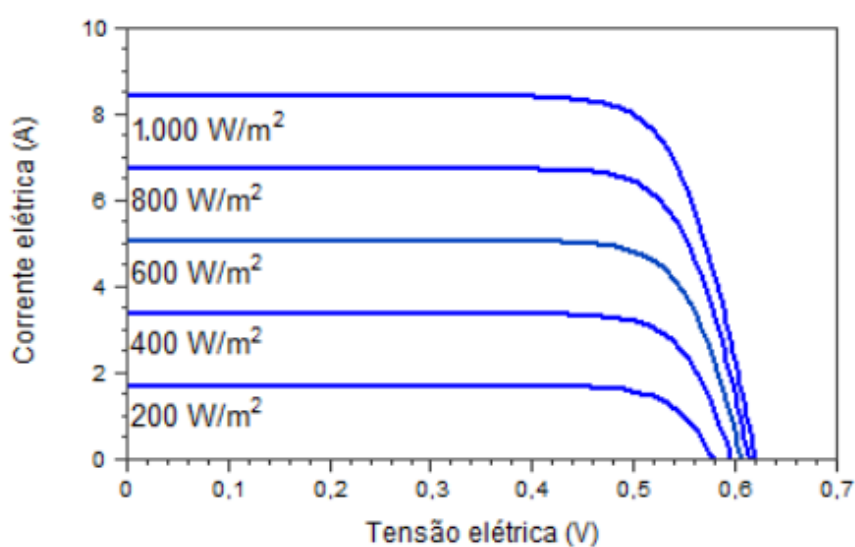
Na Figura 2 apresenta-se a curva características de corrente versus tensão (I x V) e a de potência versus tensão (P x V) das células fotovoltaicas e os seus fatores elétricos anteriormente descritos.

Figura 2 - Curvas de ($I \times V$) e ($P \times V$) de uma célula fotovoltaica nas condições padrão de teste

Fonte: (PINHO e GALDINO, 2014)

2.4.2. Influência da irradiação e temperatura no funcionamento dos módulos fotovoltaicos

A influência da irradiância e da temperatura sob a potência gerada pelo módulo fotovoltaico é exibida na Figura 3 e na Figura 4. A Figura 3 apresenta a curva $I \times V$ quando se altera os índices de irradiância e se mantém a temperatura de célula de 25°C.

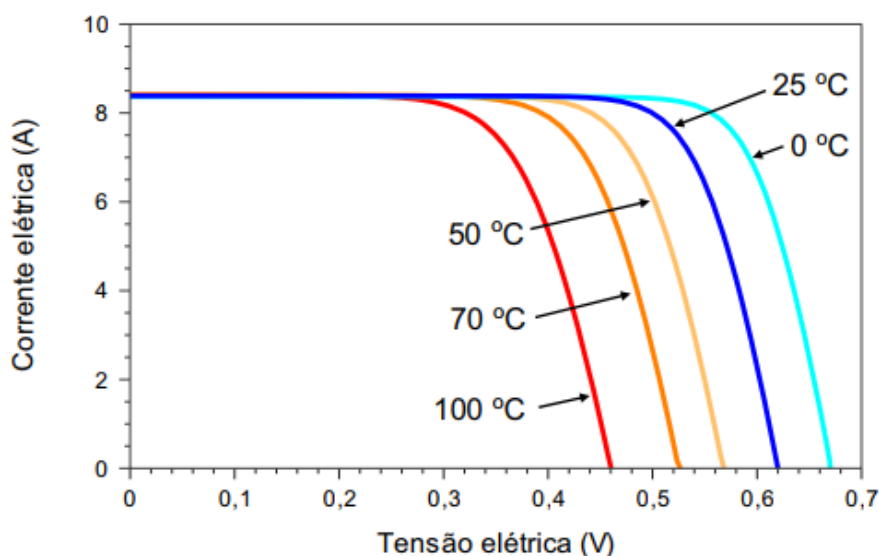
Figura 3 - Curva $I \times V$ da célula fotovoltaica variando com a irradiância (W/m^2) e mantendo a temperatura da célula de 25°C.

Fonte: (PINHO e GALDINO, 2014, p. 126)

Note que a irradiação (W/m^2) e a corrente de curto-circuito são diretamente proporcionais, ou seja, quanto menor a irradiação, menor é o valor de I_{sc} . Além disso, a tensão de circuito aberto sofre alterações praticamente desprezíveis.

A Figura 4, a seguir apresenta o comportamento da curva $I \times V$ com a variação da temperatura e considerando-se a irradiação igual a 1000 W/m^2 .

Figura 4 - Curva $I \times V$ da célula fotovoltaica variando a temperatura de célula e mantendo a irradiação em 1000 W/m^2



Fonte: (PINHO e GALDINO, 2014, p. 127)

Nota-se, portanto, que a tensão de circuito aberto é inversamente proporcional a temperatura da célula e que a corrente praticamente não se altera.

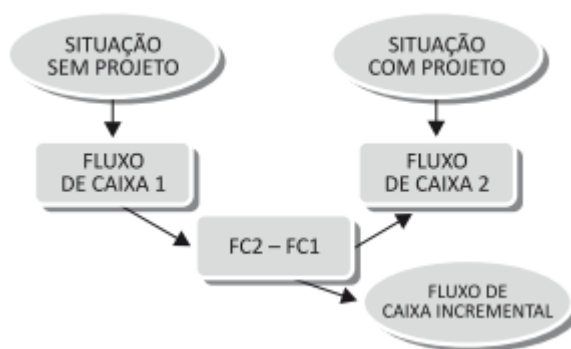
2.5. Conceitos Básicos para Análise Financeira

A seguir serão apresentados alguns conceitos que servirão de base para o entendimento dos parâmetros de análise de viabilidade financeira. Segundo Puccini (2011, p. 13-18), tem-se:

- Valor Futuro (VF): é o valor de uma operação financeira em qualquer data no intervalo entre a data inicial e a data final da operação;
- Valor Presente (VP): é o valor de uma operação financeira na data presente;
- Capital (C): é o valor inicial de uma operação financeira. O mesmo é expresso em unidades monetárias;
- Montante (M): é a soma do capital mais os juros acumulados na operação;

- Fluxo de caixa: representação gráfica das transições financeiras (entradas e saídas) ocorridas em um intervalo de tempo;
- Taxa de juros: é o custo de cada unidade de capital (C) por unidade de tempo.
- Fluxo de caixa líquido incremental: diferença entre o fluxo de caixa para o caso sem projeto e o com projeto. O projeto nesse caso é um conjunto de atividade com datas de início e fim, pensadas para atingir determinada meta. A Figura 5 ilustra o conceito do fluxo de caixa líquido incremental;
- Taxa mínima de atratividade (TMA): corresponde a taxa de retorno mínimo aceitável nas decisões de investimento. Cada organização possui a sua TMA, mas em geral utiliza-se a taxa básica de juros da economia, a SELIC.

Figura 5 - Ilustração do conceito de fluxo de caixa líquido incremental



Fonte: (PUCCINI, 2011, p. 164)

2.6. Métodos Quantitativos de Análise de Investimento

A análise da viabilidade econômica de um investimento é feita levando-se em conta alguns indicadores econômicos. Os indicadores econômicos mais comuns são: VPL, TIR e *Payback*.

2.6.1. Valor Presente Líquido (VLP)

O VPL, também conhecido como Valor Presente Líquido, é uma métrica que tem como objetivo trazer para o presente todos os fluxos de caixa de um projeto de investimento, somando-o ao montante inicial. Tal ideia está baseada no princípio de que o dinheiro a ser recebido no futuro não vale o mesmo que o de hoje, ou seja, está submetido a uma taxa de desconto. Comumente, utilizam-se nos projetos o valor da TMA como a taxa de desconto (LUNELLI, 2018).

Considerando-se uma única saída inicial de caixa, tem-se a seguinte Equação (2-1) para o cálculo do VPL:

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^N \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (2-1)$$

Onde,

VPL é o Valor Presente Líquido do empreendimento em R\$;

I_0 é o investimento inicial para implementar o projeto em R\$;

FC_t é o Fluxo de Caixa Líquido resultante do ano t ;

N é o tempo de vida útil do projeto;

i é a taxa de desconto do investimento usada para avaliar o fluxo de caixa.

Um investimento é considerado atrativo quanto o VPL é positivo, em outras palavras, significa que o valor investido no projeto é pagável durante a vida útil do mesmo.

2.6.2. Taxa de Retorno de Investimento (TIR)

A Taxa de Retorno de Investimento (TIR) é a taxa de desconto na qual o VPL é nulo.

Esse valor é comparado a TMA de forma que um investimento, considerando-o de forma isolada, é visto como atraente quando a TIR for maior que a TMA (PUCCINI, 2011, p. 169). Para análises da viabilidade de dois projetos excludentes com investimentos diferentes, por exemplo, o valor do TIR pode levar a falsas conclusões, sendo preciso para isso fazer algumas ponderações.

2.6.3. Payback

O *Payback* corresponde ao tempo de retorno do investimento de um projeto, ou seja, o momento em que ele começa a dar lucro.

Há dois tipos de *Payback*: o simples e o descontado. O primeiro não considera o valor do dinheiro ao longo da vida útil do projeto, enquanto o segundo considera.

Nas análises financeiras, apesar do *Payback* simples apresentar uma boa estimativa do tempo de retorno do projeto, opta-se pelo *Payback* mais conservador, ou seja, o *Payback* descontado.

2.6.4. Viabilidade econômica de um projeto

De maneira geral, tem-se que um projeto é economicamente viável quando o retorno que pode se obter com o projeto implantado for maior que o custo inicial do projeto.

Analisando-se por meio do VPL e do TIR um projeto isoladamente e com uma entrada de investimento, tem-se que o mesmo é viável quando o $VPL > 0$ e o $TIR > TMA$.

Para demais casos, uma opção de literatura é a intitulada Matemática Financeira e Análises de Investimentos de Ernesto Coutinho Puccini, 2011.

3. O SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

3.1. Composição geral de um sistema de irrigação

Um projeto de irrigação é composto basicamente por motobombas, transformadores, sistema de controle da(s) bomba(s), tubulação em geral, filtros e reservatório de água. Com o objetivo de simplificar a curva de consumo do projeto foi descartado o uso de transformadores e de qualquer automatização do sistema de irrigação. Deste modo, pode-se considerar que o consumo do sistema de irrigação fica por conta somente da(s) motobomba(s).

3.2. Localização

O local tomado como estudo denomina-se como Sítio Paraíso e está localizado no interior do município de Jaguaré-ES na comunidade Córrego das Abóboras, conforme Figura 6.

Figura 6 - Localização no mapa do Sítio Paraíso



Fonte: Adaptado de Google Maps (MAPS, 2018).

Ao todo o Sítio Paraíso compreende uma área de 30.000 m² e trata-se de um local destinado ao cultivo de Café Conilon, área de lazer e algumas árvores frutíferas.

A área delimitada em amarelo na Figura 7 corresponde a toda a propriedade e a em vermelho delimita o espaço para o cultivo de Café Conilon e que será alvo desse trabalho.

As métricas consideradas nos cálculos do projeto de irrigação são: 35 m de largura e 600 m de comprimento. Portanto, trata-se de uma área de 21.000 m² ou ainda 2,1 ha.

Figura 7 – Área total do Sítio Paraíso (amarelo) e área do cultivo de Café Conilon (vermelho)



Fonte: Adaptado de (EARTH, 2018).

3.3. Considerações do projeto

O cenário para a qual foi projetado as motobombas possui as seguintes características:

- Localização: Sítio Paraíso, interior da cidade de Jaguaré- ES;
- Área destinada ao plantio: 2,1ha, dividido em 2 setores iguais de produção.
- Tipo de cultura: Café Conilon;
- Tipo de irrigação: Gotejamento.
- Tensão de alimentação da rede: 127/254 V.
- Concessionária de distribuição de energia: EDP Espírito Santo.

3.4. Estudo dos indicadores de manejo de água

Para determinar a quantidade de água a ser utilizada em um sistema de irrigação tem-se três indicadores disponíveis que podem ser agrupados em três grupos (MAROUELLI, 2011, p. 8). São eles:

- Indicadores de manejo com base na planta;
- Indicadores de manejo com base no solo;
- Indicadores de manejo com base na atmosfera (evapotranspiração).

Na prática é comum utilizar mais de um indicador (MAROUELLI, 2011, p. 8). Nesse trabalho, atentou-se aos três indicadores, mas em particular os provenientes da atmosfera, pois eram os que se apresentavam de maneira mais acessível.

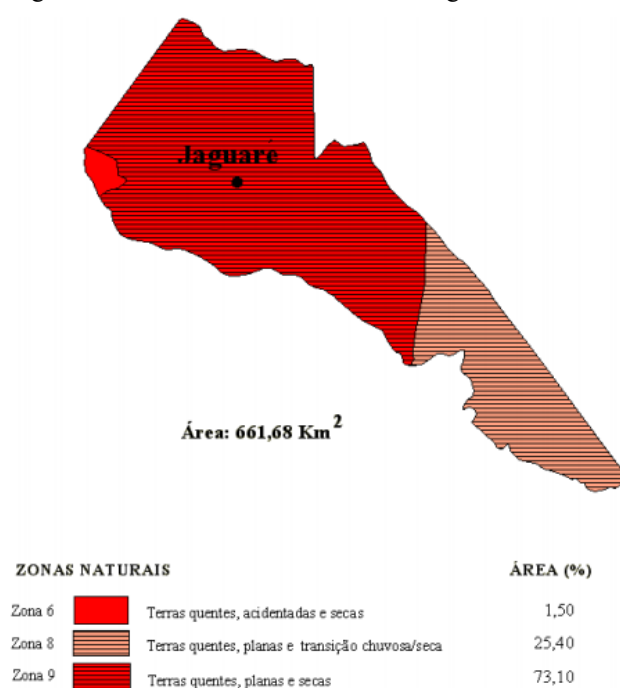
3.4.1. Aspectos climáticos

As zonas naturais compreendem um tipo de classificação na qual agrupa as áreas que apresentam características comuns a respeito dos recursos naturais locais. De acordo com Lagesa (2017, p. 31), o município de Jaguaré apresenta três zonas naturais.

Comparando-se a

Figura 8, que apresenta as zonas naturais de Jaguaré, com a Figura 6, nota-se que o Sítio Paraíso está localizado na zona natural 9.




Figura 8 - Zonas naturais da cidade de Jaguaré-ES



Fonte: (UFES, LAGESA, 2017, p. 31)

A Figura 9 apresenta as características quanto a temperatura, relevo e água de todas as zonas de Jaguaré-ES. Nota-se que a zona 9, que é o objeto de estudo em questão, trata-se de uma região plana, com variações na temperatura na faixa de 11,8°C até 34°C e só apresenta os meses de Novembro e Dezembro como chuvosos, os demais são basicamente secos.

Figura 9 - Características das zonas naturais no município de Jaguaré-ES

ZONAS	Temperatura		Relevo	Água													
	média mín. mês mais frio (°C)	média máx. mês mais quente (°C)	Declividade	Nº meses secos ²	Meses secos, chuvosos/secos e secos ³												
					J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Zona 6: Terras Quentes, Acidentadas e Secas 	11,8 - 18,0	30,7 - 34,0	> 8%	6	P	P	P	P	P	P	P	S	S	P	U	U	
Zona 8: Terras Quentes, Planas e Transição Chuvosa/Seca 	11,8 - 18,0	30,7 - 34,0	< 8%	5	P	P	P	P	P	P	P	S	P	U	U	U	
Zona 9: Terras Quentes, Planas e Secas 	11,8 - 18,0	30,7 - 34,0	< 8%	6	P	P	P	P	P	P	P	S	S	P	U	U	

² Cada 2 meses parcialmente secos são contados como um mês seco.

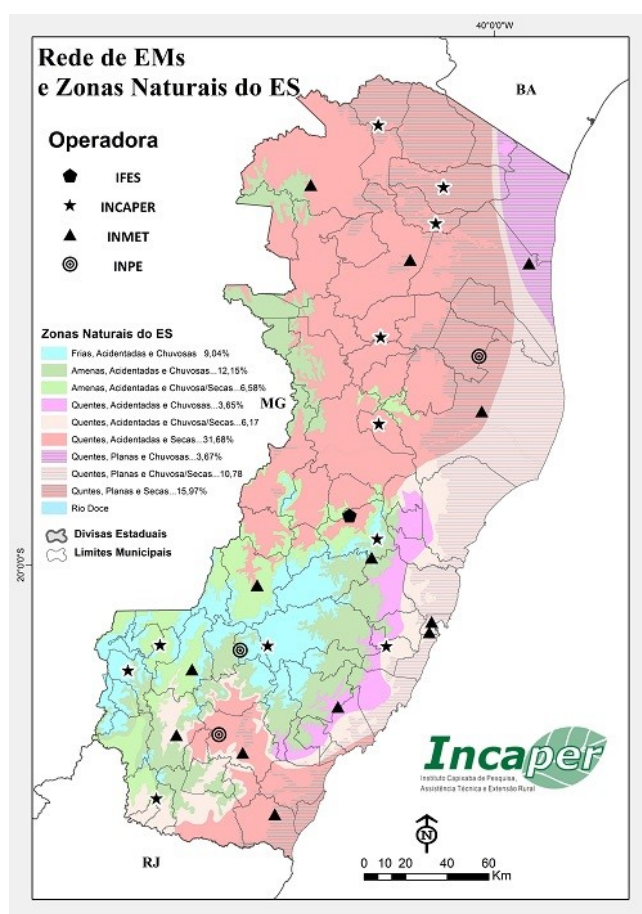
³ U – chuvoso; S – seco; P – parcialmente seco.

Fonte: (UFES, LAGESA, 2017, p. 31)

As informações da Figura 9 fornecem uma ideia de como é o clima quanto a temperatura e períodos com chuva, porém ainda não descrevem com mais detalhes como tais valores se comportam ao longo do ano. Deste modo, escolheu-se avaliar o comportamento da temperatura e índice pluviométrico da estação meteorológica mais próxima do Sítio.

A Figura 10 apresenta o mapeamento das estações meteorológicas e as zonas naturais do estado do Espírito Santo.

Figura 10 - Estações meteorológicas e zonas naturais do ES

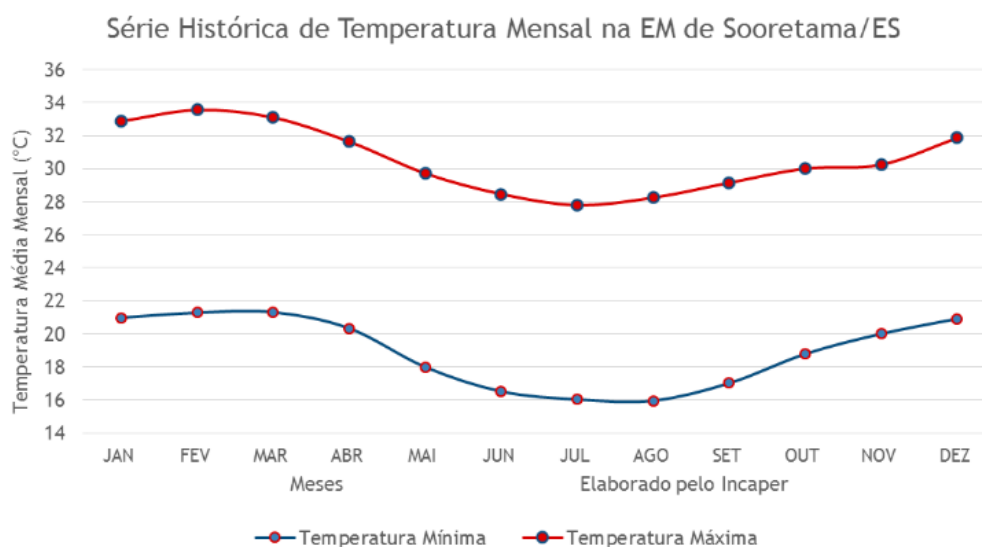


Fonte: (INCAPER, 2018)

Ao observar a Figura 10 tem-se a estação meteorológica mais próxima do Sítio é a de Sooretama. Além da proximidade vale ressaltar como um ponto positivo para a análise o fato de tal estação pertencer a mesma zona natural que o Sítio Paraíso.

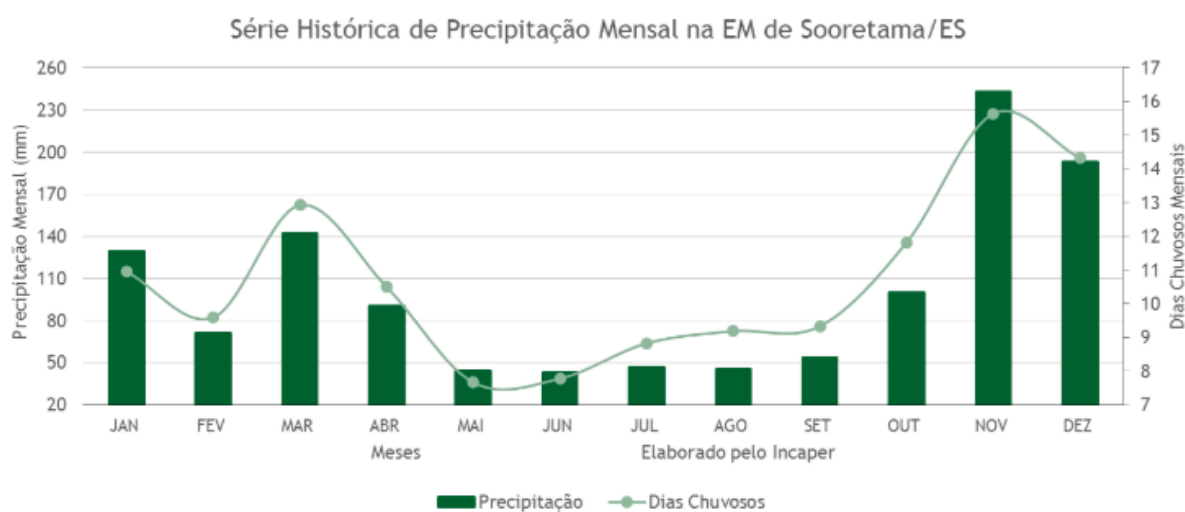
Segundo o INCAPER (2018), os dados médios de temperatura e precipitação mensal da série histórica da estação meteorológica de Sooretama durante o período de 1986 a 2013 são representadas respectivamente pelo Gráfico 1 e Gráfico 2.

Gráfico 1 - Série histórica de temperatura mensal na EM de Sooretama/ES



Fonte: (INCAPER, 2018)

Gráfico 2 - Série histórica de precipitação mensal na EM de Sooretama/ES



Fonte: (INCAPER, 2018)

Pelo Gráfico 1, nota-se que as curvas de temperatura máxima e mínima se comportam de forma semelhante, onde os seus maiores valores se apresentam nos três primeiros meses do ano e nos três últimos. Os casos extremos registrados foram de uma temperatura mínima de 16°C e uma temperatura máxima de 35°C.

E no Gráfico 2, tem-se que os meses mais chuvosos são os de novembro, dezembro, janeiro e março. Os demais possuem índices pluviométricos menos que a metade dos já citados. A maior precipitação média foi próxima a 250 mm e teve 16 dias chuvosos, já o caso mais crítico foi de pouco menos que 50 mm e 7 dias chuvosos.

3.4.2. Características da cultura

O Café Conilon é uma cultura típica de regiões quentes. De maneira geral tem-se que a faixa de temperatura que permite a planta um bom desenvolvimento é a de 22°C a 27,5°C e uma pluviosidade de aproximadamente 1.200 mm (PARTELLI, 2016, p. 41).

Em um primeiro momento, ter o cultivo do Café Conilon no Sítio parece não ser vantajoso, já que a região não tem a melhor faixa de temperatura e índice pluviométrico requerido, mas com o avanço das pesquisas na área tem surgido plantas geneticamente modificadas que tem se adaptado bem ao clima da região e apresentado bons resultados (PARTELLI, 2016, p. 148). Não obstante o município está entre os maiores produtores de Café Conilon do estado (ABIC, 2018).

É sabido que ao longo da vida útil do café e de acordo com a fase fenológica que se encontra, as necessidades hídricas variam. Nesse trabalho será considerado um café com mais de um ano e em produção. Com isso, tem-se que a cultura recebe maiores volumes de água nos períodos de novembro a fevereiro (7L/planta/dia a 10L/planta/dia) e durante o restante dos meses a quantidade de água chega a diminuir pela metade, devido principalmente a diminuição da evapotranspiração (informação verbal)¹.

Além disso, vale ressaltar que a necessidade hídrica da planta varia ao longo do dia, ou seja, há toda uma dinâmica de quando e o quanto se deve irrigar. Durante as primeiras horas do dia, no intervalo de 6h até por volta de 12h, a planta tem a necessidade de realizar a fotossíntese e para tal atividade há a necessidade de água (informação verbal)².

Outro ponto a se observar é quanto evapotranspiração. A medida que a temperatura aumenta, tal parâmetro também aumenta. Isso é facilmente entendido primeiro porque a planta respira e perde água ao fazer isso e segundo porque o solo perde água por evaporação. Portanto, é necessário manter sempre o equilíbrio tanto nutritivo quanto térmico.

Depois das 10h e se estendendo até por volta das 15h a planta perde muita água por evapotranspiração. Portanto, recomenda-se irrigar a partir das 14h-15h em quantidades que ajudem a dar o equilíbrio térmico a planta e assim garantir a sua vida. Pode-se optar tanto por

¹ Informação fornecida por engenheiros agrícolas e técnicos agrícolas que atuam no mercado da cidade de Jaguaré-ES, em Setembro de 2018.

² Entrevista com o Engenheiro Agrônomo Adolfo Moura, em Julho de 2018.

fazer essa irrigação ao final da tarde ou a noite. O importante é não deixar de fazer tal ação (informação verbal)³.

De maneira geral, a planta se alimenta na parte da manhã e se refresca pela parte da tarde e/ou a noite.

3.5. Estratégias de irrigação adotadas no trabalho

Tendo em vista os indicadores apresentados anteriormente, montou-se a Tabela 1 de forma a apresentar a dinâmica adotada em relação à quantidade diária de água por planta.

Tabela 1 - Quantidade de água (L/planta/dia) adotado no projeto

Mês	Quantidade de água (L/planta/dia)
Jan	8
Fev	8
Mar	8
Abr	5
Mai	5
Jun	5
Jul	5
Ago	5
Set	5
Out	7
Nov	8
Dez	8

Fonte: Próprio autor.

Para a escolha das motobombas foi considerado o pior caso, ou seja, a maior quantidade de água a ser utilizada por dia, pois uma vez está contemplada, as demais estão seguras.

Analisando-se a Tabela 1, tem-se que a maior quantidade de água exigida por cada planta é de 8L/dia e tal realidade se repete por 5 meses ao longo do ano. A quantidade de água dos demais meses se apresentam menores, porém não tão distantes do valor máximo, o que descarta a possibilidade de um superdimensionamento.

Observando-se mais profundamente a área do Sítio, notou-se que a distância a ser percorrida da água da represa até a outra extremidade do terreno é significativa e enfrenta um

³ Entrevista com o Engenheiro Agrônomo Adolfo Moura, em Julho de 2018.

desnível de cerca de 60 m. Com isso, a instalação apresentará problemas de pressão nos gotejadores e teria uma motobomba com potência elevada (informação verbal)⁴.

Desta forma, uma possível saída para contornar os problemas de pressão e que vem sendo adotada ultimamente nas lavouras de Café é utilizar-se de reservatório de água no meio das lavouras (informação verbal)⁵. A ideia nesse caso é contar com uma motobomba para levar a água até esse reservatório e uma outra motobomba para distribuir essa água para a plantação. Com isso, ganha-se também em eficiência pelo fato de se utilizar motobombas de potência menores, trabalhar os períodos de irrigação de forma a aproveitar melhor as tarifas rurais e explorar melhor o uso de painéis fotovoltaicos.

Portanto, esse projeto contará com um reservatório de água, uma motobomba para levar a água até esse reservatório e uma outra motobomba para retirar a água do reservatório e conduzi-la aos pés de Café. O dimensionamento dos mesmos é apresentado a partir do item 3.5.1.

Sendo assim optou-se por definir os horários da irrigação de forma a ter uma melhor clareza do consumo em kWh por dia. A definição ficou da seguinte forma:

- Período A: compreende o intervalo de 6h a 10h.
- Período B: compreende o intervalo de 14h a 18h
- Período C: compreende o intervalo de 21:30h a 1:30h.

No período A será utilizado cerca de 60% da água por dia, ou seja, 5L. O restante será completado no período B. Já o período C corresponde ao tempo de enchimento do reservatório. No dimensionamento do reservatório será explicado o porquê de tal escolha.

Como mencionado no item 3.3, a área destinada ao plantio foi dividida em dois setores iguais. Isso quer dizer, que a irrigação acontecerá alternando-se tais setores dentro do período determinado. Tomando-se a distância de 3 m entre as fileiras e de 1 m entre os pés de café (FOLEGATTI e FERNANDES, 2013, p. 44), tem-se que ao todo 3500 pés de café para cada setor.

Com isso, foi possível destrinchar a demanda de água ao longo do dia. Tal conclusão é apresentada na Tabela 2.

⁴ Entrevista com o Engenheiro Agrônomo Adolfo Moura, em Julho de 2018.

⁵ Entrevista com o Engenheiro Agrônomo Adolfo Moura, em Julho de 2018.

Tabela 2 - Manejo de água adotado por período

Setor	Período	Quantidade de água (m ³)	Tempo (h)	Vazão (m ³ /h)
1	A	17,5	2	8,75
2	A	17,5	2	8,75
1	B	10,5	2	5,25
2	B	10,5	2	5,25
Reservatório	C	56	4	14

Fonte: Produção do próprio autor.

3.5.1. Dimensionamento do reservatório

Através dos estudos a respeito da tarifa rural, a redução de 73% no valor da tarifa quando se consome nos horários de 21:30h e 6h mostrou-se uma saída para se reduzir os custos da fatura de energia (ANEEL, 2010, p. 46). De acordo com os estudos apresentados referente a cultura, irrigar somente a noite estava fora de questão (Item 3.4.2). Portanto, no mínimo poderia cerca de 30% dela ocorrer a noite. Porém, optou-se por alocá-la no período da tarde, em um horário próximo ao fechamento do comércio local, e deixar para encher o reservatório a noite na faixa de horário correspondente ao desconto de 73%. Com isso, não seria necessário se preocupar com o fluxo de água entrando e saindo do reservatório.

Outro fator que contribuiu para essa decisão foi o fato do maior consumo de potência ser por parte da motobomba responsável por mandar a água para o reservatório, como será apresentado na seção subsequente.

Deste modo, o reservatório no mínimo deveria ser capaz de fornecer uma quantidade de água suficiente para um dia de irrigação. Nesse sentido, o mesmo foi dimensionado para um volume de 56 m³, acrescido de uma lâmina de água de 30 cm de altura de folga requerido pela motobomba (THEBE, 2018). Os valores de evaporação e índices pluviométricos para essa situação são pequenos e assim não foram levados em conta nos cálculos.

Considerando-se somente o volume útil, ou seja, os 56 m³, a opção escolhida para construir o reservatório foi de 2 m de profundidade, 7 m de comprimento e 4 m de largura.

Portanto, tem-se que a altura do reservatório será de 0,3 m + 2 m + 0,30 m (sobra), totalizando uma altura de 2,6 m.

O local disponível para a implantação do reservatório está sinalizado na Figura 11. Apesar de não estar no meio, a área desse ponto até o final do local de cultivo é basicamente plana, o que possibilita resoluções mais simples quanto a contorna o problema de pressões nos gotejadores.

Figura 11 – Área disponível para construção do reservatório (35 m x 6 m)



Fonte: Adaptado de Google Earth (EARTH, 2018).

3.6. Escolha da motobomba 1

A bomba principal é a responsável por levar a água da fonte até a água do reservatório. Para a escolha da mesma não foi considerado as perdas por evaporação e utilizou-se de um *software* da Thebe denominado como SSB Thebe – V1.8 (THEBE, 2016).

Os valores de entrada no *software* são: altura manométrica, vazão, peso específico do líquido, viscosidade. A Tabela 3 apresenta os valores utilizados para tal dimensionamento (informação verbal)⁶.

Tabela 3 - Dados de entrada do dimensionamento da motobomba 1

Descrição	Valor	Unidade
Altura Manométrica	65	m.c.a
Vazão	14	m ³ /h
Viscosidade	1	cST
Peso específico do líquido	1	kg/dm ³

Fonte: Produção do próprio autor.

Portanto, a motobomba com o melhor rendimento e com menor potência consumida no eixo é a do modelo PX 15-3 de 7,5 cv monofásica ip55.

⁶ A informação quanto a altura manométrica foi concedida através do Engenheiro Benjamin Tulio Z. Margotto em uma proposta de projeto de irrigação para o Sítio Paraíso, feita em Julho de 2018.

3.7. Escolha da motobomba 2

Essa bomba tem como função levar a água do reservatório para as plantas.

Para esse cálculo foram desconsideradas as perdas por evaporação e utilizou-se de um *software* da Thebe denominado como SSB Thebe – V1.8 (THEBE, 2016).

A Tabela 4 apresenta os valores utilizados para tal dimensionamento (informação verbal)⁷.

Tabela 4 - Dados de entrada do dimensionamento da motobomba 2

Descrição	Valor	Unidade
Altura Manométrica	23	m.c.a
Vazão	8,75	m ³ /h
Viscosidade	1	cST
Peso específico do líquido	1	kg/dm ³

Fonte: Produção do próprio autor.

Note, que optou-se por dimensionar a bomba considerando-se o caso extremo, ou seja, para o período A que demanda maior quantidade de água em comparação ao período B, conforme apresentado na Tabela 2.

Portanto, a motobomba com o melhor rendimento e com menor potência consumida no eixo é a do modelo TH 25/150 de 2,0 cv monofásica ip55.

⁷ A informação quanto a altura manométrica foi concedida através do Engenheiro Benjamin Tulio Z. Margotto em uma proposta de projeto de irrigação para o Sítio Paraíso, feita em Julho de 2018.

4. LEVANTAMENTO DO PERFIL DE CONSUMO MENSAL (KWH)

Além de indicar a potência nominal da bomba mais adequada, o *software* utilizado também apresentou a potência consumida no eixo (Pot_{mec}). Nesse sentido, para saber o consumo de tal motobomba primeiro converteu-se tal variável em potência elétrica através da Equação (4-1) e depois multiplicou o valor obtido pelo tempo de utilização por dia.

$$Pot_{ele} = \frac{736 \cdot Pot_{mec}}{\eta_{motor}} \quad (4-1)$$

Onde

Pot_{ele} é a potência elétrica do motor (kW)

Pot_{mec} é a potência mecânica do motor (cv)

η_{motor} é o rendimento do motor da motobomba projetada

Os valores do rendimento dos motores de 2,0 cv e de 7,5 cv foram baseados no catálogo da WEG considerando-se os modelos monofásicos, de 2 pólos e ip55 (WEG, 2002).

A Tabela 5 apresenta tais características até então citadas nesse item.

Tabela 5 – Dados referentes a motobomba 1 e 2 adotadas nesse trabalho

Motobomba	Sector / Período	Rendimento do motor	Potência nominal (cv)	Potência consumida no eixo (cv)	Potência elétrica (kW)	Consumo (kWh/dia)
1	C	93%	7,5	5,6 ¹	4,43	17,73
2	1 / A	82%	2,0	1,5 ²	1,35	2,69
2	2 / A	82%	2,0	1,5 ²	1,35	2,69
2	1 / B	79%	2,0	1,25 ³	1,16	2,33
2	2 / B	79%	2,0	1,25 ³	1,16	2,33

Fonte: Produção do próprio autor.

^{1, 2 e 3} Dados do simulador da Thebe (THEBE, 2016).

Segundo o Gráfico 1, o menor valor registrado de chuvas foi de 7 dias e no total o valor é relativamente baixo comparado as necessidades hídricas do Café Conilon. Com isso, optou-se por considerar nos cálculos de consumo que o local vai ser irrigado todos os dias.

A Tabela 6 traz os resultados referentes ao consumo mensal (kWh) do Sítio Paraíso. A quesito de cálculo, considerou-se que cada mês tem 30 dias.

Tabela 6 - Levantamento do consumo diário e mensal do Sítio

Período	Consumo diário (kWh)	Consumo mensal (kWh)
A	5,38	161,40
B	4,66	139,80
C	17,73	531,90
A + B	10,04	301,20
A + B + C	27,77	833,10

Fonte: Próprio autor.

5. SISTEMA FOTOVOLTAICO LIGADO À REDE

5.1. Escolha dos painéis fotovoltaicos

O local destinado a implantação dos painéis solares compreende a o mesmo local ao qual foi estipulado para o reservatório, conforme Figura 11.

Em um primeiro momento fez-se um estudo solarimétrico da área afim de se avaliar a irradiação solar diária média. Para isso, utilizou-se do programa SunData do CRESESB, tomando como referência a estação meteorológica de Sooretama-ES. Tais dados são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Irradiação solar diária média na EM de Sooretama – ES (kWh/m²/dia)

Inclinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
0° N	6,10	6,15	5,23	4,46	3,86	3,53	3,62	4,24	4,78	4,95	4,92	5,86
19° N	5,56	5,87	5,32	4,89	4,53	4,29	4,32	4,78	5,00	4,83	4,58	5,29

Fonte: SunData (CRESESB, 2018).

O fato de o painel estar voltado para o norte geográfico com um ângulo de inclinação igual ao da latitude local, possibilita que o mesmo receba a maior irradiância. Nesse caso, tal ângulo é 19°. Portanto escolheu-se trabalhar com os painéis inclinados 19° ao norte e para um cálculo conservador vai ser considerado o menor valor de irradiação solar diária registrada, ou seja, 4,29 kWh /m²/dia.

O painel fotovoltaico escolhido é o Canadian 275Wp cujo modelo é CS6K – 275P. Trata-se de um painel de alta eficiência, com tolerância de potência menor que 5% e de custo razoável para o mercado (CANADIANSOLAR, 2017, p. 1).

Para se calcular a energia produzida (E_p) por cada painel mediante a irradiação adotada a Equação (5-1).

$$E_p = IR \cdot A \cdot \eta_{pv} \quad (5-1)$$

Onde,

E_p é a energia produzida pelos painéis fotovoltaicos (kWh/dia)

IR é a irradiação média do plano inclinado na região da instalação (kWh/m²/dia)

A é a área do painel fotovoltaico (m²);

η_{pv} é o rendimento do painel fotovoltaico considerado.

A variação da temperatura interfere no rendimento do painel. Portanto, foi preciso calcular o novo valor do rendimento para a mínima e a máxima temperatura registrada no local. O rendimento pode ser definido pela Equação (5-2).

$$\eta_{pv} = \frac{Pot_p}{A \cdot 10\%} \quad (5-2)$$

Onde,

η_{pv} é o rendimento do painel fotovoltaicos (%);

Pot_p é a potência de pico do painel fotovoltaico (W);

A é a área de um modelo fotovoltaico (m²).

Nesse trabalho será considerado que o sistema fotovoltaico está operando com o rastreamento de ponto de máxima potência (MPPT). Assim, o menor rendimento ocorrerá quando houver a menor potência produzida, ou seja, o menor valor de P_{max} .

Para o painel em questão, os fatores de correção de temperatura são apresentados na Figura 12 e a Tabela 8 com os valores de P_{max} , V_{oc} e I_{sc} corrigidos para os dois extremos são apresentados a seguir.

Figura 12 - Fator de correção de temperatura do PV

CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

Especificações	Dados
Coeficiente de temperatura (Pmax)	-0.41 % / °C
Coeficiente de temperatura (Voc)	-0.31 % / °C
Coeficiente de temperatura (Isc)	0.053 % / °C

Fonte: (CANADIANSOLAR, 2017, p. 1).

Tabela 8 - Pmax, Vco e Isc corrigidos para os valores extremos de temperatura do Sítio Paraíso

Variável	Valor nominal	Unidade	Coef. De temperatura (%/°C)	Tref (°C)	Tstc (°C)	Fator de correção	Valor corrigido
Pmax	275	W	-0,41	16	25	3,69%	285,15
Vco	38	V	-0,31	16	25	2,79%	39,06
Isc	9,45	V	0,053	16	25	-0,48%	9,40
Pmax	275	W	-0,41	35	25	-4,10%	263,73
Vco	38	V	-0,31	35	25	-3,10%	36,82
Isc	9,45	V	0,053	35	25	0,53%	9,50

Fonte: Próprio autor.

Portanto, de acordo com o conceito apresentado no item 2.4.2, o menor valor de P_{\max} ocorre na temperatura máxima e seu valor é igual a 263,73 W.

De acordo com o catálogo do painel da CanadianSolar (2017, p. 2), a área do módulo é 1,6368 m². Com isso, pela Equação (5-2), o menor rendimento do PV é 16,11% e consequentemente pela Equação (5-1) tem-se que a menor energia produzida por um painel fotovoltaico é igual a 1,13 kWh/dia.

Para determinar a quantidade de painéis a serem utilizados, basta dividir a potência que se pretende suprir pelo valor de E_p mínimo já calculado.

Neste trabalho, o sistema fotovoltaico será ligado à rede e a potência a ser compensada é a referente a consumida nos períodos A e B, uma vez que no C a tarifa sofre uma redução de 73% que não torna atrativo o investimento em PVs nesse caso. Com isso, na Tabela 9 apresenta-se o seguinte cenário em relação a quantidade de painéis.

Tabela 9 - Cálculo do número de painéis fotovoltaicos

Descrição		Valor	Unidade
Consumo por dia	C	10,04	kWh/dia
Energia produzida por painel	E_p	1,13	kWh/dia
Núm. de painéis	N_p	8,9	und
Núm. de painéis ajustado	N_p	9	und

Fonte: Próprio autor.

Portanto, a quantidade painéis da CanadianSolar de 275W_p para gerar uma quantidade de energia suficiente para suprir a demanda dos horários correspondentes aos períodos A e B é de 9 unidades.

5.2. Escolha do inversor

A metodologia de dimensionamento do inversor baseou-se na sugerida pelo Pinho e Galdino (2014, p. 331). A estratégia adotada, portanto, baseia-se em determinar a quantidade mínima e máxima de PVs em série e em paralelo que podem ser conectados ao inversor escolhido.

O inversor *on-grid* escolhido é o da ABB de 3 kW, cujo modelo é UNO-3.0-TL.OUTS (ABB, 2017, p. 2). Tal escolha baseou-se no princípio de que segundo os fabricantes o fator de dimensionamento dos inversores (FDI), definido pela Equação (5-3), deve possuir o seu valor entre 0,75 e 1,20.

$$FDI = \frac{P_{nca}}{P_{ppv}} \quad (5-3)$$

Onde,

FDI é o Fator de Dimensionamento do Inversor

P_{nca} é a Potência nominal de saída

P_{ppv} é a Potência de pico do conjunto dos painéis fotovoltaicos

Com isso, ao se aplicar a Equação aos dados de potência da Tabela 10, obteve-se um FDI de 1,21 que está bem próxima da faixa apresentada. Portanto, é válido prosseguir com o dimensionamento dos arranjos a serem ligados a cada inversor.

Tabela 10 - Dados para o cálculo do FDI

Descrição	Valor	Unidade
P_{nca}	2475,00	Wp/dia
P_{ppv}	3000,00 ¹	W/dia
FDI	1,21	-

Fonte: Produção do próprio autor.

¹ – (ABB, 2017, p. 2)

5.2.1. Número máximo de painéis em série

Para se determinar a quantidade mínima e máxima de painéis conectados em série considerando que os mesmos operem com MPPT utilizou-se da Equação (5-4).

$$\frac{V_{MPPT,min}}{V_{mp,Tmax}} < N_{MS} < \frac{V_{MPPT,max}}{V_{mp,Tmin}} \quad (5-4)$$

Onde,

N_{MS} é o número de módulo em série conectados ao inversor;

$V_{MPPTmin}$ é a mínima tensão CC de operação do MPPT do inversor;

$V_{MPPTmax}$ é a máxima tensão CC de operação do MPPT do inversor;

$V_{mp,Tmax}$ é a tensão do PV no ponto de máxima potência operando em temperatura ambiente máxima;

$V_{mp,Tmin}$ é a tensão do PV no ponto de máxima potência operando em temperatura ambiente mínima;

Os dados quanto aos inversores foram retirados do Catálogo do mesmo. Já os que dizem respeito ao PV, foram obtidos dividindo-se o valor de $P_{\text{máx}}$ corrigido de acordo com a temperatura, pela corrente I_{sc} . Aplicando-se esses valores a Equação (5-4), construiu-se a Tabela 11.

Tabela 11 - Quantidade máxima e mínima de painéis ligados em série

Descrição	Valor	Valor Arredondado
V_{mpptmin}	200	-
V_{mpptmax}	500	-
$V_{\text{mp,Tmin}}$	32,11	-
$V_{\text{mp,Tmax}}$	29,70	-
$N_{\text{MS max}}$	15,57	15
$N_{\text{MS min}}$	6,73	7

Fonte: Produção do próprio autor.

5.2.2. Quantidade de painéis ligados em paralelo

Para calcular o número máximo de módulos conectadas em paralelo, utilizou-se a Equação (5-5).

$$N_{MP} = \frac{I_{iMAX}}{I_{sc}} \quad (5-5)$$

Onde,

N_{MP} é o número de módulos conectados em paralelo;

I_{iMAX} é a corrente máxima CC admitida na entrada do inversor;

I_{sc} é a corrente de curto-circuito do PV.

Consultando o catálogo do inversor e do painel, e aplicando os valores correspondentes na Equação (5-5), construiu-se a Tabela 12.

Tabela 12 - Valores do cálculo do número de painéis em paralelo

Descrição	Valor calculado	Valor Arredondado
I_{imax}	16,00	-
I_{sc}	9,45	-
N_{mp}	1,69	1

Fonte: Próprio autor.

Com isso, nessa situação não é possível fazer a ligação dos módulos em paralelo.

Portanto, o projeto consiste em 9 painéis fotovoltaicos ligados em série a 1 inversor.

6. ANÁLISE FINANCEIRA

Mediante o dimensionamento dos painéis e inversor do projeto fotovoltaico, fez-se uma estimativa do custo da implantação do sistema fotovoltaico. Além disso calculou-se o gasto evitado com o uso dos painéis considerando-se que os mesmos estão operando no menor ponto de potência máxima, ou seja, no ponto de menor energia produzida nesse projeto.

O objetivo nesse caso foi avaliar por meio do VPL se esse investimento se apresenta vantajoso ou não. Em outras palavras foi aferir se o investimento se paga e gera algum lucro. Uma vez o VPL positivo, analisou-se o TIR e *Payback* da aplicação.

6.1. Estimativa do gasto mensal do Sítio Paraíso

A instalação do Sítio Paraíso se enquadra no subgrupo B2 e adota a tarifa convencional (informação verbal)⁸. Segundo a Resolução Normativa Nº 414 de Setembro de 2010, as unidades consumidoras classificadas como rural tem direito ao benefício tarifário de redução da tarifa aplicável. Consultando o Quadro 1 do item 2.3, tem-se que para a instalação em questão, a redução permitida é de 30% tanto na tarifa TUSD quanto na TE, tendo como tarifa base a adotada para o subgrupo B1 subclasse residencial.

Além disso, será adotado a “tarifa verde”. Desta forma, no período de 21:30h até as 06h do dia seguinte haverá mais uma redução no valor da tarifa. Como Jaguaré-ES pertence a região SUDENE, consultando o Quadro 2 presente no item 2.3, tem que a redução adequada é a de 73%.

Tomando-se como base a valores de tarifas adotadas pela EDP Espírito Santo para as instalações do grupo B1 (2018, p. 1), calculou-se os valores das tarifas a serem empregadas no Sítio Paraíso, conforme a Tabela 13.

Tabela 13 - Cálculo das tarifas empregadas no Sítio Paraíso

Tarifas	% do Desconto	Valor da tarifa
Subgrupo B1	-	0,56228 ¹
Subgrupo B2- Rural/convencional	30%	0,39360
Subgrupo B2 – Rural/Tarifa Verde	73%	0,10627

Fonte: Produção do próprio autor

⁸ Informação cedida pelo titular da instalação do Sítio.

¹ - (EDP ESPÍRITO SANTO, 2018)

Com isso, determinou-se a expectativa dos gastos energéticos em reais do Sítio Paraíso sem o uso dos painéis, conforme a Tabela 14. Vale ressaltar que se considerou meses de 30 dias, uma taxa de impostos de 20% (média das últimas faturas do local) e a isenção da contribuição de iluminação pública resguarda pela lei municipal (JAGUARÉ-ES, 2008). Não foi incluído nessa análise a cobrança pelas bandeiras tarifárias. Porém, tendo em vistas outras análises tarifárias realizadas, o montante correspondente as bandeiras não afetariam de maneira significativa no resultado da análise.

Tabela 14 - Levantamento do gasto energético sem considerar o uso dos PVs

Período	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Tarifa (R\$/Kwh)	Gasto mensal (R\$)	Gasto anual (R\$)
A	5,38	161,40	0,3936 ¹	63,53	762,32
B	4,66	139,80	0,3936 ²	55,03	660,30
C	17,73	531,90	0,1063 ³	56,53	678,30
Base de Cálculo	-	-	-	175,08	-
Impostos	-	-	20%	35,02	420,19
Total	27,77	833,10	-	175,08	2.100,93

Fonte: Produção do próprio autor.

^{1, 2 e 3} - (EDP ESPÍRITO SANTO, 2018)

Portanto, por mês estimasse um gasto de 175,08 reais e expandindo tal pensamento para um ano, tem-se um gasto de 2.100,93 reais.

6.2. Estimativa do gasto mensal e anual para a mínima produção de energia do sistema fotovoltaico

De acordo com a Tabela 8, o valor mínimo de P_{\max} é igual a 263,73 W. Como o projeto consiste em 9 painéis, tem-se que no mínimo a potência de entrada do inversor será 2,373 kW. Tal valor corresponde a cerca de 75% da potência máxima permitida na entrada do inversor.

Nesse sentido, analisando-se a curva de eficiência do inversor para 75% de potência na entrada, estima-se uma eficiência de 96,7% dadas as condições de temperatura igual a 35°C (ABB, 2017, p. 4). Portanto, a quantidade mínima de kWh que será injetada de fato na rede equivale a cerca de 96,7% da energia mínima produzida pelos PVs, ou seja, a 9,83kWh/dia, conforme a Tabela 15.

Tabela 15 - Cálculo da energia injetada na rede

Descrição	
Energia produzida mínima (kWh/dia)	10,17
Eficiência do Inversor	96,70%
Energia produzida líquida (kWh/dia)	9,83

Desta forma, calculou-se a conta mensal do Sítio para essas condições e os apresentam na Tabela 16.

Tabela 16 - Cálculo do faturamento do Sítio com a instalação dos painéis e o gasto evitado

Período	Consumo Diário (kWh)	Consumo Mensal (kWh)	Tarifa (R\$/Kwh)	Gasto mensal (R\$)	Gasto anual (R\$)
A	5,38	161,40	0,3936	63,53	762,32
B	4,66	139,80	0,3936	55,03	660,30
C	17,73	531,90	0,1063	56,53	678,30
Desconto Geral da produção dos PVs	9,83	294,90	0,3936	116,07	1.392,87
Base de cálculo				59,00	-
Impostos			20%	11,80	141,61
Total faturado	-	-	-	70,81	849,67
Gasto evitado	-	-	-	104,27	1.671,45

Fonte: Próprio autor.

Note que para calcular a quantidade em reais que a produção dos painéis impactaria na fatura de energia do mês, considerou-se a tarifa utilizada nos períodos A e B, uma vez que a produção de energia por parte dos PVs acontece praticamente a luz do dia. Além disso, o valor produzido correspondeu a 97,91% da energia consumida na tarifa convencional, não sobrando nada para ser utilizada da tarifa verde.

6.3. Custo da implantação do Sistema Fotovoltaico no Sítio Paraíso

Além dos painéis e inversores, um projeto fotovoltaico também envolve custos com cabos, estruturas de sustentação, disjuntores, conexões, projeto elétrico, despesas com licenciamento, aquisição de terreno, mão de obra e manutenção. Segundo Pinho e Galdino (2014, p. 474), esses custos equivalem ao mesmo que é gasto com a aquisição dos PVs e dos inversores. Baseando-se nisso e na tomando como base os valores de painéis e inversores do

site Minha Casa Solar, estimou-se o custo da implantação do sistema fotovoltaico projetado para o Sítio, conforme a Tabela 17.

Vale ressaltar que apesar de não se ter o custo com a aquisição do terreno, optou-se por manter o valor dos componentes, uma vez que o fato da área não ser utilizada para o cultivo, faz com que ela tenha um custo para a implantação dos módulos.

Tabela 17 - Estimativa de custo com a implantação dos PVs

Descrição	Quantidade	Valor (R\$/und)	Valor total (R\$)
PV	9	599,00	5.391,00
Inversor	1	4999,00	4.999,00
Demais componentes	-	-	10.390,00
Total do investimento	-	-	20.780,00

Fonte: Produção do próprio autor

Portanto, estima-se um gasto de 20.780,00 reais com o projeto fotovoltaico em um todo.

6.4. Análise do investimento através do VPL, Payback e TIR

Para o cálculo do VLP, adotou-se como taxa de desconto a Taxa Selic de 6,5% a.a. cotada no mês de Dezembro de 2018 (CARTEIRARICA, 2018). Além disso, apesar dos incentivos bancários que disponibilizam o financiamento de projetos de energia solar fotovoltaica a juros baixos, optou-se por analisar o investimento sendo feito em parcela única.

O tempo de vida útil dos painéis variam de 25 a 30 anos, já os inversores de 10 a 15 anos (SOLARVOLT, 2018). Sabendo disso, neste trabalho considerou-se o tempo máximo de vida tanto para os PVs quanto para o inversor e se desconsiderou as perdas em eficiência ocorridas no final da vida útil dos mesmos.

Com isso, em uma escala de 30 anos, as saídas do projeto ocorrem nos anos zero e décimo quinto, correspondendo ao investimento inicial do projeto e a troca do inversor, respectivamente. Por outro lado, as entradas ao longo de todo esse período correspondem ao quanto é economizado na fatura de energia com o uso do sistema solar projetado.

A Tabela 18 a seguir, apresenta os dados e o cálculo do VPL. Note que a coluna denominada “Valor Presente” traz para o ano zero, todos os fluxos de caixa acumulados. Já a coluna denominada como “Saldo” vai calculando o quanto do investimento ainda precisa ser pago (se o valor for negativo), ou o quanto de lucro que foi gerado (se o valor for positivo).

Seguindo essa lógica, tem-se que o saldo correspondente ao ano 30, é o valor do VPL de toda a operação.

Tabela 18 - Cálculo do VPL e *Payback* Descontado

Ano	Entrada	Saída	Fluxo de Caixa Acumulado	Valor Presente	Saldo
0	-	20.780,00	-20.780,00	- 20.780,00	- 20.780,00
1	1.671,45	-	1.671,45	1569,44	- 19.210,56
2	1.671,45	-	1.671,45	1473,65	- 17.736,91
3	1.671,45	-	1.671,45	1383,71	- 16.353,21
4	1.671,45	-	1.671,45	1299,26	- 15.053,95
5	1.671,45	-	1.671,45	1219,96	- 13.833,99
6	1.671,45	-	1.671,45	1145,50	- 12.688,49
7	1.671,45	-	1.671,45	1075,59	- 11.612,90
8	1.671,45	-	1.671,45	1009,94	- 10.602,96
9	1.671,45	-	1.671,45	948,30	- 9.654,65
10	1.671,45	-	1.671,45	890,42	- 8.764,23
11	1.671,45	-	1.671,45	836,08	- 7.928,15
12	1.671,45	-	1.671,45	785,05	- 7.143,10
13	1.671,45	-	1.671,45	737,14	- 6.405,96
14	1.671,45	-	1.671,45	692,15	- 5.713,81
15	1.671,45	4.999,00	-3.327,55	-1293,84	- 7.007,65
16	1.671,45	-	1.671,45	610,24	- 6.397,41
17	1.671,45	-	1.671,45	572,99	- 5.824,42
18	1.671,45	-	1.671,45	538,02	- 5.286,40
19	1.671,45	-	1.671,45	505,19	- 4.781,21
20	1.671,45	-	1.671,45	474,35	- 4.306,86
21	1.671,45	-	1.671,45	445,40	- 3.861,46
22	1.671,45	-	1.671,45	418,22	- 3.443,24
23	1.671,45	-	1.671,45	392,69	- 3.050,55
24	1.671,45	-	1.671,45	368,73	- 2.681,82
25	1.671,45	-	1.671,45	346,22	- 2.335,60
26	1.671,45	-	1.671,45	325,09	- 2.010,51
27	1.671,45	-	1.671,45	305,25	- 1.705,26
28	1.671,45	-	1.671,45	286,62	- 1.418,65
29	1.671,45	-	1.671,45	269,13	- 1.149,52
30	1.671,45	-	1.671,45	252,70	- 896,82

Fonte: Próprio autor

Portanto, o VPL calculado para esse investimento é de -896,82 reais, o que resulta em um investimento inviável, ou ainda, ser mais vantajoso aplicar o dinheiro no Tesouro Selic ou qualquer outro investimento que tenha uma rentabilidade maior que o mesmo.

6.5. Comentário finais

De maneira geral, há mais variáveis que afetam nos cálculos de viabilidade de um investimento, como por exemplo, as variações das tarifas de energia ocorridas anualmente, as variações de custo de aquisição dos equipamentos e uma possível mudança no perfil de consumo da instalação ao longo dos 30 anos. Porém, apesar de não se considerar tais mudanças, o estudo ainda é válido e capaz de indicar alguns comportamentos do investimento de energia solar fotovoltaica para a propriedade rural em questão.

Com o intuito de averiguar o comportamento do VLP, simulou-se uma queda de 50% nos custo indicados pelo nome “demais componentes” na Tabela 17, de forma que o projeto passasse a custar 15.585,00 reais, verificou-se que o VPL se apresentou positivo, proporcionado um retorno de 4.492,20 ao final de 30 anos, $TIR < TMA$ e um *Payback* descontado de 18 anos.

Deste modo, concluiu-se que ainda é inviável a implantação de um sistema fotovoltaico para alimentar um sistema de irrigação de Café Conilon no Sítio Paraíso tendo em vista que o tempo de retorno do investimento é bem elevado quando não alcançado durante a vida útil do sistema FV.

Os fatores que contribuíram para a não implantação do mesmo na propriedade em questão são os custos da implantação do sistema solar fotovoltaico, isenção da tarifa de iluminação pública e principalmente a redução de 30% na tarifa no horário convencional e a de 73% para os horários de 21h30min a 6h00 do dia seguinte.

7. COMENTÁRIO FINAIS E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

O estudo apontado por esse projeto cria um perfil de investimento quanto à implantação de painéis fotovoltaicos ligados à rede para alimentar o sistema de irrigação da cultura de Café Conilon. Tal perfil, pode ser melhorado com a adoção de um estudo mais aprofundado a respeito da necessidade hídrica da planta somado à implantação de um sistema de irrigação automatizado que no fim resultaria em um consumo em kWh menor que o apurado.

Além disso, há a possibilidade de se analisar com maior veemência os equipamentos que envolvem um sistema solar fotovoltaico e encontrar os melhores na relação custo/benefício.

Dentro desse contexto sugerem-se como trabalhos futuros:

- Aplicação desse estudo em outra região do estado ou para outra cultura;
- Utilização de ferramentas de otimização para esse estudo.

REFERÊNCIAS

ABB. **ABB String Inverters- UNO 2.0/3.0/3.6/4.2-TL-OUTD 2 to 4.2 kW**, 2017.

Disponível em:

<https://library.e.abb.com/public/74f64b12e9d74d8682d242a95cf3f73e/UNO-2.0-3.0-3.6-4.2_BCD.00613_EN_RevH.pdf>. Acesso em: 1 Dezembro 2018.

ABIC. **Cresce Exportação de Café Conilon no ES**, 02 Dezembro 2018. Disponível em:

<<http://abic.com.br/cresce-exportacao-de-cafe-conilon-no-es/>>. Acesso em: 03 de dezembro de 2018.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 414, DE 9 DE SETEMBRO DE 2010**, p. 1-149, 2010.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015**, p. 1-25, 2015.

ANEEL. **Modalidades tarifárias**, 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/alta-tensao/-/asset_publisher/zNaRBjCLDgbE/content/modalidade/654800>. Acesso em: 06 Dezembro 2018.

ASPE. **Energia Solar no Espírito Santo - Tecnologias, Aplicações e Oportunidades / Agência de Serviços Públicos de Energia do Estado do Espírito Santo**. Vitória, p. 1-120. 2013.

BLUESOL. **Cresce o Uso da Energia Solar Fotovoltaica Rural no Brasil e Economia Para Brasileiros no Campo**, 2018. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/energia-solar-fotovoltaica-rural/>>. Acesso em: 17 Dezembro 2018.

BRASIL, S. **Energia Fotovoltáica - Conceitos**, 2018. Disponível em:

<<http://www.solarbrasil.com.br/blog-da-energia-solar/77-energia-solar-fotovoltaica-conceitos>>. Acesso em: Dezembro de 2018.

CANADIANSOLAR. **Catálogo Módulo Fotovoltaico NHS Solar Canadian**, 2017.

Disponível em: <<http://www.nhssolar.com.br/wp-content/uploads/2017/08/Catalogo-Modulo-Fotovoltaico-NHS-Solar-Canadian.pdf>>. Acesso em: 30 de Novembro de 2018.

CARTEIRARICA. **Taxa Selic Hoje. Guia Completo com tabela mensal dos juros**, 2018. Disponível em: <<https://carteirarica.com.br/taxa-selic/>>. Acesso em: 05 de Dezembro de 2018.

CRESESB. **SunData - Cresesb**, 2018. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php#data>>. Acesso em: 05 de Novembro de 2018.

EARTH, G. **Localização do Google Earth do Sítio Paraíso**, 2018. Disponível em: <<https://earth.google.com/web/@-18.97520501,-40.06232916,54.40979215a,217.60187177d,35y,35.87171819h,0t,0r>>. Acesso em: 18 de Setembro de 2018.

EDP ESPÍRITO SANTO. **Tabela de tarifas - BT**, 2018. Disponível em: <http://www.edp.com.br/CentralDocumentos/tabela_de_tarifas_bt_mt_precos_abertos_07082018.pdf>. Acesso em: 3 Dezembro 2018.

EQUIPE ECYCLE. Ecycle. **Tipos de sistemas fotovoltaicos: on-grid e off-grid**, 2018. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/component/content/article/69-energia/3483-sistema-fotovoltaico-painel-solar-estrutura-suporte-inversor-controlador-carga-cabos-baterias-captacao-armazenamento-kit-geracao-energia-eletrica-eletricidade-vantagens-desvantagens-fonte>>. Acesso em: Dezembro 2018.

FOLEGATTI, M. V.; FERNANDES, A. L. T. Irrigação do cafeeiro: quando, quanto e por que se deve utilizar? **Visão Agrícola**, p. 43-46, Jan - Jun 2013.

INCAPER. Programa de assistência técnica e extensão rural proater 2011-2013. **Planejamento e programação de ações 2011**, 2011. 9.

INCAPER. **Gráficos da Série Histórica - Sooretama/ES**, 2018. Disponível em: <<https://meteorologia.incaper.es.gov.br/graficos-da-serie-historica-sooretama>>. Acesso em: 11 de Setembro de 2018.

INCAPER. **Estações meteorológicas do ES**, 2018. Disponível em: <<https://meteorologia.incaper.es.gov.br/estacoes-meteorologicas>>. Acesso em: 20 de Setembro de 2018.

- INCAPER. **Cafeicultura - Café Conilon**, 2018. Disponível em:
<<https://incaper.es.gov.br/cafeicultura-conilon>>. Acesso em: 11 Novembro 2018.
- JAGUARÉ-ES. Lei Nº 744/2008. **Art. 231 - Isenção do pagamento da COSIP**, 2008.
Disponível em:
<<http://legislacaocompilada.com.br/jaguare/Arquivo/Documents/legislacao/html/L6802006.html>>. Acesso em: 3 Dezembro 2018.
- LUNELLI, R. L. Portal de contabilidade. **Análise de investimentos**, 2018. Disponível em:
<<http://www.portaldecontabilidade.com.br/tematicas/analiseinvestimentos.htm>>. Acesso em: Dezembro 2018.
- MAPS, G. **Localização de Jaguaré-ES**, 2018. Disponível em:
<<https://www.google.com.br/maps/place/Jaguar%C3%A9+-+ES,+29950-000/@-18.9973993,-40.1160052,10z/data=!4m5!3m4!1s0xb5fddaf857ad4b:0x78e3e3e943948213!8m2!3d-18.8851034!4d-40.1043057>>. Acesso em: Novembro 2018.
- MAROUELLI, W. A. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. In: MAROUELLI, W. A. **Manejo de água da irrigação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 8.
- MESQUITA, R. **Saia do lugar**. Disponível em: <<http://saiadolugar.com.br/payback/>>. Acesso em: 05 Dezembro 2018.
- PARTELLI, F. L. **Café conilon: o clima e o manejo da planta**. Alegre: CAUFES, 2016.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL - DTE - CRESESB. Rio de Janeiro, p. 116-127. 2014.
- PROCEL. **Manual de Tarificação da Energia Elétrica**, p. 7-16, 2011.
- PROCEL. **Manual de Tarificação de Energia Elétrica**. [S.l.], p. 7-16. 2011.
- PUCCINI, E. C. **Matemática financeira e análise de investimentos**. [S.l.]: [s.n.], 2011.
- SOLARVOLT. Solarvolt. **Kit de energia solar: Qual a vida útil dos equipamentos?**, 2018.
Disponível em: <<https://solarvoltenergia.com.br/blog/kit-de-energia-solar-vida-util/>>. Acesso em: 4 Dezembro 2018.

THEBE. SSB Thebe - V1.8. **Thebe Bombas Hidráulicas**, 2016. Disponível em: <http://www.thebe.com.br/Sistemas/Cron_Web/central_downloads.php>. Acesso em: 1 Novembro 2018.

THEBE. Thebe Bombas Hidráulicas. **Catálogo de produtos 2018A 60Hz**, 2018. Disponível em: <http://www.thebe.com.br/Sistemas/Cron_Web/central_downloads.php>. Acesso em: 30 de Outubro de 2018.

UFES, LAGESA. **Elaboração dos planos de saneamento básico e gestão integrada de resíduos sólidos: Diagnóstico técnico participativo**. Jaguaré-ES. 2017.

WEG. Manual técnico de motores. **Motores elétricos de corrente alternada**, Setembro 2002.