



EMELITO ORLANDO CHANGADEIA

**VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS
FOTOVOLTAICO *OFF-GRID* E
HÍDRICO PARA ELETRIFICAÇÃO DA ZONA RURAL DE
MATICA EM MOCAMBIQUE**

**LAVRAS-MG
2023**

EMELITO ORLANDO CHANGADEIA

**VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICO *OFF-GRID* E
HÍDRICO PARA ELETRIFICAÇÃO DA ZONA RURAL DE MATICA EM
MOCAMBIQUE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em
Física, área de concentração em Física.

Prof. Dr. Joaquim Paulo da Silva
Orientador

Profa. Dra. Ana Carolina Cortez Lemos
Coorientadora

**LAVRAS-MG
2023**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Changadeia, Emelito Orlando.

Viabilidade econômica dos sistemas fotovoltaico *off-grid* e
hídrico para eletrificação da zona rural de Matica em Mocambique /
Emelito Orlando Changadeia. - 2023.

88 p. : il.

Orientador(a): Joaquim Paulo da Silva.

Coorientador(a): Ana Carolina Cortez.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Defesa de Dissertação. 2. Dissertação que conta com
orientação. 3. Publicacao da Dissertação. I. da Silva, Joaquim
Paulo. II. Cortez, Ana Carolina. III. Título.

EMELITO ORLANDO CHANGADEIA

**VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICO *OFF-GRID* E
HÍDRICO PARA ELETRIFICAÇÃO DA ZONA RURAL DE MATICA EM
MOCAMBIQUE**

**ECONOMIC VIABILITY OF OFF-GRID PHOTOVOLTAIC AND WATER
SYSTEMS FOR ELECTRIFICATION OF THE RURAL AREA OF MATICA IN
MOZAMBIQUE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras,
como parte das exigências do curso de Pós-Graduação em
Física, área de concentração em Física para obtenção do
título de Mestre.

APROVADA em 20 de Março de 2023.

Profa. Dra. Ana Carolina Cortez Lemos	UFLA
Prof. Dr. Joaquim Paulo da Silva	UFLA
Prof. Dr. Sergio Martins De Souza	UFLA
Prof. Dr. Flávio Augusto De Melo Marques	UFLA
Profa. Dra. Silvia Costa Ferreira	UFLA
Prof. Dr. Kelvi Wilson E. Miranda	UFC

Prof. Dr. Joaquim Paulo da Silva
Orientador

**LAVRAS-MG
2023**

À minha mãe Fátima Alone, pela oração diária que tem feito por mim!
Aos meus irmãos, esposa e filhos pelo carinho e por me ensinar a amar ao próximo.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradecer em primeiro lugar a Deus, pela proteção durante esta longa caminhada, pela saúde e o espírito de perseverança ao enfrentar todos obstáculos para o alcance de mais uma etapa importante da minha vida.

Agradecer aos meus familiares, especialmente meus pais, Orlando Changadeia e Fátima Alone, que incansavelmente apoiaram-me tanto moralmente como psicologicamente durante a minha caminhada estudantil.

Ao meu orientador Prof. Doutor Joaquim Paulo da Silva e à Coorientadora Dr^a. Ana Carolina Cortez Lemos pelas orientações, sugestões, crítica e acompanhamento durante o desenvolvimento desta pesquisa, assim como o curso em si, por que não foi fácil fazer o mestrado na modalidade virtual.

Agradecer também aos meus colegas do Curso, pela partilha de conhecimentos das disciplinas oferecidas pelo programa de Pós-Graduação em Física, pela UFLA, especialmente Gilberto Armando, Gelito Arigola, João Coimbra, Lucas, Isabely e outros.

Aos meus docentes da UFLA, em especial do Programa de Pós-Graduação em Física que contribuíram bastante na minha formação, só para citar: Prof. Doutor Rodrigo Bufalo, Prof. Doutor Onofre e todos outros.

Agradeço ao Departamento de Física (DFI), Laboratório de Energias Renováveis e Materiais Avançados (LABERMA/PNIPE/MCTI), FAPEMIG, CNPq e à FINEP.

À UFLA, por proporcionar a realização desse sonho.

RESUMO

A disponibilidade energética em zonas rurais de Moçambique continua sendo um dos grandes desafios para o governo, a população e pesquisadores. Vários motivos são considerados como evidência para que não haja energia elétrica nessas zonas, um deles é a viabilidade econômica (custo *versus* benefício) dos projetos de eletrificação rural (baixa renda, espalhamento geográfico da comunidade). Em contrapartida, a disponibilidade energética em comunidade rural, possibilita a inserção de diversos serviços para a população local, diversificando essencialmente as atividades de fonte de renda, contribuindo significativamente na melhoria das suas vidas. O presente projeto analisou a viabilidade de eletrificar a localidade de *Matica* em *Sussundenga*, através de sistema fotovoltaico *off-grid*, comparativamente à expansão da Rede Elétrica Nacional (REN), da fonte da hídrica, com a finalidade de tornar a localidade de um potencial energético. Os resultados obtidos, mostram a viabilidade do sistema fotovoltaico *off-grid* em que, com a radiação solar local que varia de 4,64kWh/m² a 6,112kWh/m², e investimento inicial de \$615.570 é possível ter retorno do capital em aproximadamente 5 anos no total de 20 anos de vida útil, beneficiando aproximadamente 1250 famílias, 1 centro de saúde, 2 escolas e 1 edifício que funciona como posto administrativo.

Palavras-chave: Sistema *off-grid*. Expansão da REN. Desenvolvimento Rural. Moçambique.

ABSTRACT

Energy availability in rural areas of Mozambique remains one of the major challenges for the government, the population and researchers. Several reasons are considered as evidence for the lack of electricity in these areas, one of them is the economic feasibility (cost *versus* benefit) of rural electrification projects (low income, geographical spread of the community). On the other hand, energy availability in a rural community, allows the insertion of many services for the local population, essentially diversifying the activities of source of income, contributing significantly to the improvement of their lives. In this present project analyzed the feasibility of electrifying the locality of *Matica* in *Sussundenga*, through an off-grid photovoltaic system, compared to the expansion of the National Electricity Grid (NEG), from the hydro source, in order to make the locality an energetic potential. The results obtained show the viability of the off-grid photovoltaic system in which, with local solar radiation ranging from 4.64kWh/m² to 6.112kWh/m², and an initial investment of \$615,570, it is possible to have a return on capital in approximately 5 years in a total of 20 years of useful life, benefiting approximately 1250 families, 1 health center, 2 schools and 1 building that works as an administrative post.

Keywords: Off-grid system. NEG expansion. Rural Development. Mozambique.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização de Manica no mapa de Moçambique.	20
Figura 2 - Localização de Matica no mapa de Moçambique.	21
Figura 2 - Irradiação solar de Moçambique em kWh/m ² /dia.	27
Figura 3 - Irradiação solar média diária anual para cidade de Chimoio (Manca).	28
Figura 4 - Estimativa da geração mensal para cidade de Chimoio.	28
Figura 5 - Recursos renováveis na África Subsariana.	30
Figura 6 - Irradiação solar na África Subsariana.	31
Figura 7 - Variação da declinação solar ao longo do ano.	32
Figura 8 - Representação do Zênite Solar e Altitude Solar – modificado.	33
Figura 9 - Divisão da radiação solar.	34
Figura 10 - Definição de δ_s , δ_s e L no local de interesse (P).	36
Figura 11 - Geração de energia em um painel solar.	37
Figura 12 - Canadian Solar Inc feito de Silício Monocristalino.	38
Figura 13 - Poste de Transformação.	43
Figura 14 - Condutor.	44
Figura 15 - Infraestruturas de Matica.	48
Figura 16 - Índice Solarimétrico de Matica.	68
Figura 17 - Simulação de sistema fotovoltaico residencial com potência de 14kWp.	69
Figura 18 - Especificações dos módulos solares simulado pelo <i>software</i> Solarius FV.	70
Figura 19 - Queda de potência FV pelo tempo de vida útil.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Potência Média necessária para instalações em localidades com mais de 1000 famílias.	52
Tabela 2 - Material necessário para eletrificação de Matica.	58
Tabela 3 - Orçamento da Tecnologia.	59
Tabela 4 - Especificações Técnicas do módulo FV, indicadas pelo fabricante.	61
Tabela 5 - Variação da voltagem no descarregamento da bateria de Chumbo.	63
Tabela 6 - Orçamento do material para sistema fotovoltaico.	72
Tabela 7 - Estimativa da receita (fluxo de caixa) do sistema em 20 anos (Continua).	77

LISTA DE GRÁFICOS

Grafico 1 - Benefícios líquidos cumulativos desde o ano 2000 a 2020.	25
Gráfico 2- Procura de eletricidade na África subsaariana.	26
Gráfico 3 - Retorno do Investimento.	81

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	Problematização.....	19
1.1.1	Problema de Pesquisa	19
1.2	Delimitação da Pesquisa	19
1.3	Objetivos da Pesquisa	22
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1	Referência Teórica.....	23
2.2	Caracterização energética em Moçambique.....	28
2.3	O Potencial Fotovoltaico na Africa Subsariana.....	29
2.4	Recurso solar	31
2.4.1	Geometria da Terra e do Sol.....	31
2.5	Componentes da Radiação	34
2.5.1	Horas e Ângulos Solares	35
2.6	Componentes do sistema fotovoltaico	36
2.6.1	Painéis fotovoltaicos	37
2.6.2	Inversor	39
2.6.3	Inversor para Sistemas Ligados à Rede	39
2.6.4	Inversor para sistemas desligados da rede	40
2.6.5	Baterias.....	40
2.6.6	Regulador de Carga	41
2.7	Rede de distribuição de baixa tensão	42
2.7.1	Rede de distribuição aérea/subterrânea.....	42
2.7.2	Poste de Transformação (PT).....	43
2.7.3	Postes de Suporte.....	43
2.8	Cabos Condutores isolados	44
3	DEMANDA ENERGÉTICA DE MATICA	42
3.1	Pré-diagnóstico	47
3.2	Diagnóstico Energético	51
4	METODOLOGIA DO TRABALHO	53
4.1	Metodologia.....	53
4.2	Dimensionamento Matemático.....	54
4.2.1	Degradação do sistema FV	54
4.3	Variáveis Quantitativas de análise do Investimento.....	55
4.3.1	Valor Presente Líquido (VP).....	50
4.3.2	Valor Presente Líquido Acumulado (VPL).....	55
4.3.3	Taxa interna de retorno (TIR).....	55
4.3.4	Tempo de Retorno (TR).....	57
5	ANÁLISE E DISCUSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA.....	58
5.1	Dimencionamento Matemático para a Extensão da REN.....	58
5.1.1	Material necessário para extensão da REN.....	58
5.2	Dimensionamento Matemático para Sistema Fotovoltaico.....	59
5.3	Banco de Baterias	62
5.3.1	Controladores de carga.....	64
5.3.2	Inversores CC – CA.....	64
5.3.3	Sistema de chaveamento	66
5.4	Uso do software Solarius-FV como auxílio do dimensionamento	66
5.4.1	Material necessário para o sistema FV	71
5.5	Avaliação dos aspetos financeiros	72
5.5.1	Degradação do sistema FV.....	73

5.5.2 Grupo de Consumo	74
5.5.3 Custo de Manutenção.....	75
5.5.4 Taxa de juros do financiamento.....	75
5.5.5 Fluxo de caixa (<i>Cash-flow</i>)	76
5.6 Variáveis Quantitativas de análise do Investimento	78
5.6.1 Valor Presente (VP).....	78
5.6.2 Valor Presente Líquido Acumulado (VPL).....	78
5.6.3 Taxa Interna de Retorno (TIR).....	79
5.6.4 Tempo de Retorno (TR).....	79
6 ENQUADRAMENTO REGULATÓRIO DO PROJETO.....	81
6.1 Regulamento dos sistemas FV em Moçambique.....	82
6.2 Parceria público-privado em Moçambique	82
6.3 Parceria Publico-Privado no setor energético em Moçambique.....	83
6.4 Formalização da Gestão e Sustentabilidade do Projeto	85
6.4.1 Equipe de Gestão do Projeto	85
6.4.2 Sustentabilidade do Projeto	86
7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	86
7.1 CONCLUSÃO.....	87
7.2 Recomendações	89

1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica é consumida nas sociedades atuais para o desenvolvimento social, econômico, bem-estar e qualidade de vida (ALMEIDA *et al.*, 2013). A eletricidade satisfaz as necessidades básicas do ser humano, trazendo mais conforto para a comunidade (MOÇAMBIQUE, 2011). Além disso, a energia é uma das principais preocupações em todo o mundo, devido ao rápido esgotamento de combustíveis fósseis, em decorrência do crescimento demográfico e, conseqüentemente, do maior uso deste recurso, gerando graves alterações climáticas (LOYD, 2017).

De acordo com os objetivos de desenvolvimento sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU), deve-se “assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e o preço acessível à energia, para todos” (PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD, 2015, p. 16). Entretanto, o acesso à energia é um dos desafios centrais para o desenvolvimento socioeconômico da África e em particular Moçambique (AVILA *et al.*, 2017; DEICHMANN *et al.*, 2011). Em contrapartida, diversos estudos como citado na Nota Técnica 4 (NT04) da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), a energia proveniente do Sol é uma forma de energia renovável e praticamente inesgotável, que pode ser aproveitada para suprir as necessidades da sociedade (VIANA, 2010).

Da energia emitida pelo sol, aproximadamente metade (cerca de 885 milhões de TWh/ano) atinge a superfície terrestre, uma ordem de 8.500 vezes maior que o consumo final total da energia mundial, segundo a “*International Energy Agency*” (IEA, 2011). Esses valores conferem à fonte solar, considerando seus múltiplos usos, o maior potencial técnico de aproveitamento frente a outras fontes renováveis, de acordo com (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2011). A irradiação global em Moçambique varia entre 1.785 e 2.206 kWh/m² por ano, o que se traduz num potencial estimado em 23.000 GW, recursos energéticos que o país precisa para suprir, em médio prazo, as necessidades energéticas do continente, levando em conta os fatores como o crescimento econômico e demográfico (ALER, 2014 citado por SEBASTIÃO, 2016).

A diversificação na matriz energética de um país ajuda a superar as limitações das outras formas de energia. Por exemplo, a energia solar fotovoltaica *off-grid* pode ser uma solução para as zonas onde a população se encontra distante de uma central hídrica, em que, sob o ponto de vista econômico, torna-se menos viável transportar da central hídrica até ao consumidor final.

Em Moçambique, o Fundo de Energia (FUNAE) foi criado para atender à população isolada, fora da rede elétrica nacional (hídrica) e de baixa renda – eletrificação rural. No que tange ao seu plano de execução das atividades, o FUNAE utiliza maioritariamente a energia solar. Porém, tendo em vista a realidade moçambicana em que muitas províncias são atravessadas por grandes rios, o FUNAE aproveita este recurso na geração de eletricidade em algumas zonas onde é sustentável (MOZAMBIQUE ELECTRICITY - EDM, 2018).

1.1 Problematização

Pela localização geográfica de Matica em termos de Altitude de 407 metros, e das condições geológicas de Moçambique no geral, dispõe de uma vasta gama de recursos energéticos renováveis e não renováveis, que preveem condições favoráveis para satisfazer as necessidades energéticas locais e regionais. Apesar disso, o país se encontra na chamada situação de pobreza energética, segundo Matos (2017), “refere a dificuldade no acesso a uma diversidade de serviços energéticos por parte de um indivíduo ou agregado familiar”, onde mais de dois terços da população moçambicana não têm acesso à energia da Rede Elétrica Nacional (REN) (EDM, 2018), continuando dependentes da biomassa (lenha e carvão), predominantemente, em zonas rurais, em razão de sua acessibilidade em comparação a outras fontes de energia.

1.1.1 Problema de Pesquisa

A eletricidade potencializa a geração de postos de trabalho através da instalação de empresas, dinamiza a economia através do surgimento do comércio e indústrias nestas zonas. Além disso, o governo passa a ter mais uma fonte de receita fiscal para os cofres públicos, através da cobrança de impostos. Dessa forma, o presente estudo pretende avaliar até que ponto o sistema solar fotovoltaico *off-grid* se torna viável em relação à energia da REN (hídrica) para eletrificação de uma zona rural.

1.2 Delimitação da Pesquisa

Matica é a localidade do distrito de Sussundenga entre latitude 19°41'3'' Sul e longitude 33°29'53'' Leste, localizada na zona sul da província de Manica e norte da sede do distrito de Sussundenga, a 25 km da mesma, como demonstrado na figura 1. Esta localidade

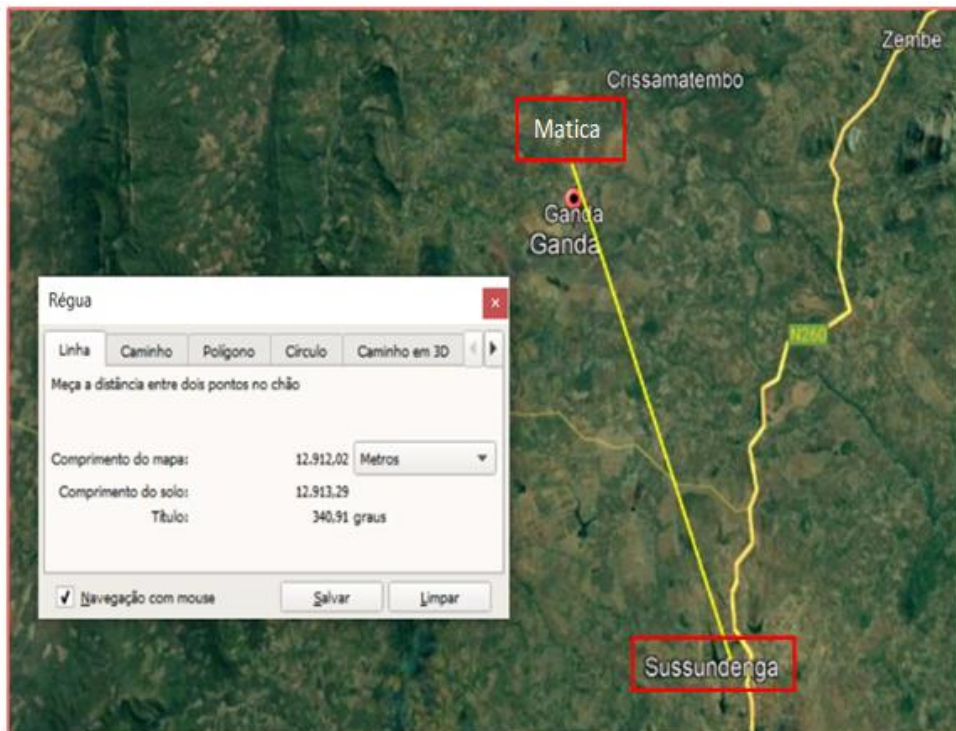
possui uma densidade populacional de 980 famílias, correspondente a 4900 pessoas aproximadamente, todas sem acesso à energia elétrica (NATIONAL INSTITUTE OF STATISTICS - INE, 2019).

Figura 1 - Localização de Manica no mapa de Moçambique.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 2 - Localização de Matica no mapa de Moçambique.



Fonte: Do autor (2022).

Na sede da localidade de Matica, com área de aproximadamente de 8km² funcionam o edifício da administração local, o posto de saúde, duas escolas primárias e várias casas dos funcionários públicos. Vale salientar que os edifícios existentes beneficiavam-se de energia solar fotovoltaica instalada pelo FUNAE (INE, 2019). Entretanto, com o tempo, esses sistemas ficaram não operacionais por falta de manutenção.

Por ter limítrofes favoráveis a pastorícias, a comunidade local aposta na criação de gado bovino, caprino e suíno para corte (venda e consumo da própria comunidade) além do uso dos animais nas lavouras nas machambas. Em Matica, o nível de escolaridade que varia de elementar, vivendo através da agricultura de subsistência (cultivo de milho, amendoim, tomate e batata), até médio escolar vivendo do comércio de produtos da fábrica, úteis para a comunidade local no mercado. A agricultura mecanizada local pertence a uma empresa de produção de Macadamia que, após sua colheita, exporta para África do Sul, onde é processada.

A empresa responsável pelo processamento da Macadamia, referido no parágrafo anterior, segundo informação coletada no local, prevê a instalação de uma central de processamento da macadamia na localidade de matica nos próximos anos, caso a negociação entre a empresa e o governo moçambicano obtenha resultados positivos sobre a eletrificação de Matica.

Saliento que o técnico responsável pela empresa, quando questionado durante o levantamento dos dados no campo, lamentou bastante a morosidade do governo em dar resposta sobre a eletrificação local. Dessa forma, por falta de energia, a empresa recorre a fontes alternativas, usando deste modo, as bombas que funcionam a diesel para captação da água até ao seu armazenamento em tanques e, através da gravidade, rega a machamba em cultivo cerca de 2.000km².

1.3 Objetivos da Pesquisa

➤ Objetivo geral

Analisar a viabilidade técnica, econômica e social da eletrificação rural através do sistema fotovoltaico e híbrido da REN em Moçambique, África.

➤ Objetivos específicos

- a) Descrever a demanda energética atual e futura (projeção para dois anos) da localidade rural de Matica.
- b) Estimar o custo para a eletrificação da zona rural de Matica, através do sistema fotovoltaico *Off-grid* e o sistema híbrido da rede elétrica nacional (REN).
- c) Avaliar a viabilidade econômica das duas tecnologias energéticas para beneficiar a zona rural de Matica.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como suporte da pesquisa, são apresentadas informações (extraídas da literatura científica para fundamentação da pesquisa, tais como dissertações, teses e artigos publicados) relacionadas à eletrificação rural em Moçambique, funcionamento do *SOFTWARE* Solarius-FV e descrever como os artigos e o *SOFTWARE* contribuíram para o sucesso da presente pesquisa.

2.1 Referência Teórica

Sebastião (2016) em seu artigo intitulado, “O modelo da eletrificação de Moçambique: a importância para o desenvolvimento” traz como objetivo principal analisar a viabilidade da implementação das energias novas e renováveis nas zonas rurais, fundamentalmente no aspeto económico, social e ambientalmente.

Até 2016, ano em que foi publicado o artigo, mais de 70% da população estava sem energia elétrica, justificando-se pela incapacidade do governo moçambicano em expandir os serviços elétricos em zonas isoladas e distantes, considerando deste modo, bastante oneroso e sem perspectivas de retorno do investimento (NATIONAL ENERGY FUND OF MOZAMBIQUE - FUNAE, 2011 citado por SEBASTIAO, 2016). Hipoteticamente um pensar que se alastra até os tempos atuais na realidade moçambicana, porque a maioria das zonas isoladas encontra-se sem serviços elétricos.

Nas áreas rurais, a combinação da baixa densidade populacional e a pobreza severa e persistente, são fatores importantes na análise para qualquer investimento pretendido, embora se reconheça a importância da eletricidade na transformação social e económica das comunidades das zonas rurais, tornando viável a eletrificação dessas zonas em Moçambique (MULDER; TEMBE, 2008).

Vários autores argumentam as dificuldades generalizadas dos serviços energéticos nas comunidades Africanas, simplesmente pelo fato das condições financeiras (pobreza) das comunidades residentes, como muito financiadores ou investidores apontam no estudo da viabilidade dos seus projetos energéticos. Mas, os autores defendem que não seria a pobreza como indicador da inviabilidade, e sim uma atividade a se desenvolver para elevar o nível de vida dessas comunidades, onde uma delas é a oferta de serviços energéticos a preços acessíveis e uma energia ambientalmente sustentável, com a certeza de que as condições de vida dos mais pobres nas zonas rurais podem melhorar (SEBASTIAO, 2016).

Segundo Tembe e Mulder (2008) as vantagens de eletrificação do distrito de Ribaué na Província de Nampula, foi possível ter retorno de investimento de mais de US\$4 milhões, contornando deste modo a barreira mais vulgar de investimento vs. benefício em eletrificar uma zona rural, a qual refere que os custos de investimento são altos comparativamente a demanda da comunidade e da pobreza da mesma.

A combinação de baixa densidade populacional e pobreza severa e persistente nas comunidades rurais, afeta o tempo de retorno dos investimentos, mas, não chega a coloca-los em risco. Como a maioria dos investidores e financiadores analisam mais riscos do que possibilidades de retorno, a eletrificação rural é, geralmente, considerada um investimento deficitário e, portanto, deixada pelo governo e pela comunidade doadora (ajuda externa). Essa prática pressupõe que nos países em desenvolvimento:

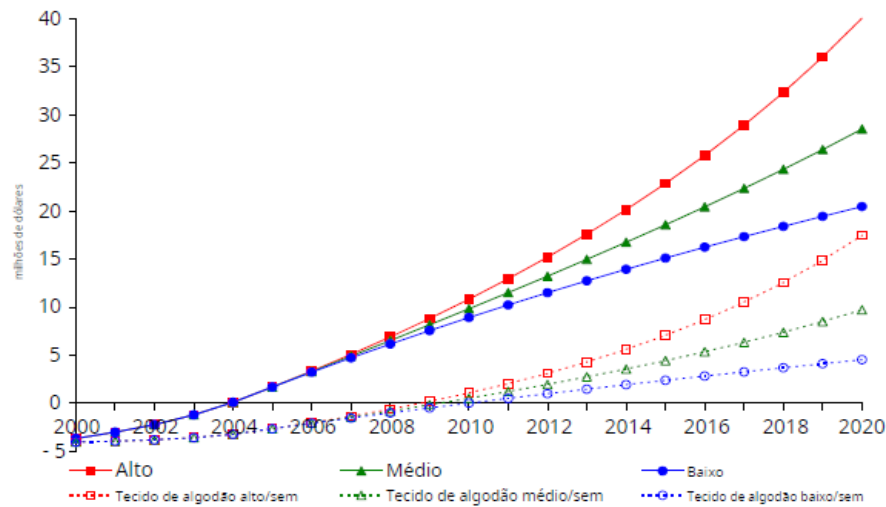
- (i) a eletrificação rural de fato não é um investimento comercialmente viável; e,
- (ii) o governo e os doadores não são capazes de levar eletricidade efetivamente a pessoas pobres em áreas remotas.

Análise de custo-benefício de um projeto típico de eletrificação rural em Moçambique, avaliando o impacto da eletricidade nas famílias, educação, agronegócios, comércio e setor público, mostra que a eletrificação rural pode ser comercialmente viável e pode levar à transformação estrutural em áreas rurais em um curto período de tempo. No distrito de Ribáuè, segundo o autor, a agricultura é a principal atividade econômica e envolve quase todos os agregados familiares, a maior parte do comércio no distrito baseia-se na comercialização de excedentes agrícolas, enquanto a capital distrital serve como principal mercado de bens de consumo (TEMBE; MULDER, 2008).

Do projeto de eletrificação, na região de Ribaué, foi possível promover o desenvolvimento socioeconômico geral da região, com expectativas de que poderia impulsionar à indústria local, o comércio, a criação de emprego e melhorar a vida dos residentes locais, proporcionando-lhes acesso à (melhoradas) educação e instalações de saúde, contribuindo assim para a redução da pobreza, em linha com a atual estratégia de redução da pobreza para Moçambique.

Da análise feita, os custos envolvidos na eletrificação do distrito foram de investimento inicial e de manutenção anual, deste valor, a entidade responsável (EDM) recuperou o investimento em 4 anos, isto é, do ano 2000 até 2004. De 2005 em diante, já estava a somar lucros. Com a garantia inicial das obras de 20 anos, a EDM somou lucros durante 15 anos, como demonstrado no Gráfico 1 (TEMBE; MULDER, 2008).

Grafico 1 - Benefícios líquidos cumulativos desde o ano 2000 a 2020.



Fonte: Tembe e Mulder (2008).

O custo-benefício destaca a existência de oportunidades promissoras para programas de eletrificação rural. Eles são, por definição, comercialmente viáveis, porque podem levar a uma transformação estrutural nas áreas rurais em um curto período de tempo. Alargar o ritmo da eletrificação rural, no entanto, requer, em geral, melhores arranjos institucionais do que os existentes atualmente nos países em desenvolvimento como Moçambique, como demonstrado no retorno através do gráfico 1, através de multiplicação de projetos no mesmo local.

Nkiruka Avila *et al.* (2017), que descrevem os desafios energéticos na África subsariana onde, no relatório de 2017, cerca de 600 milhões de indivíduos viviam sem acesso a serviços energéticos, num total de mais de 950 milhões de indivíduos que vivem em África. Os autores observaram que poucos tinham acesso à energia elétrica ligada à rede (*On-grid*), com índice médio de 20% em muitos países, não satisfazem as necessidades energéticas diárias que a comunidade espera.

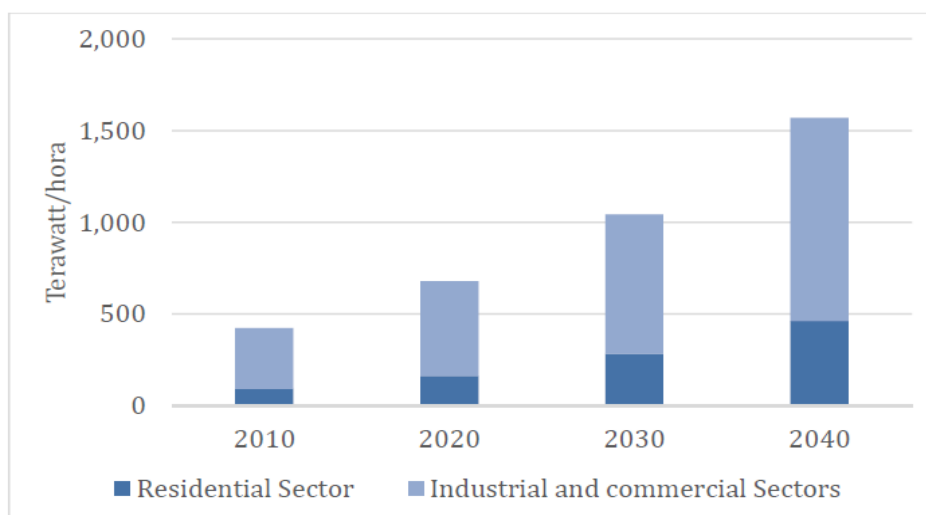
O baixo nível de acesso à energia elétrica na África subsariana é um problema que exige desafio de alto nível, especificamente caracterizado em dois tipos nomeadamente a existência de incompatibilidade entre a oferta e a procura nas regiões ligadas à rede e uma falta de acesso nas regiões fora da rede, onde a incompatibilidade refere-se que o acesso à energia deve ser medido com base na usabilidade, confiabilidade e acessibilidade, definidos a partir da perspectiva do consumidor, isto é, o comum dos países terem altos índices de ligação à rede, aliados a uma baixa qualidade do fornecimento de eletricidade.

A África subsariana, segundo Avila *at al.* (2017, p. 23), é uma região que tem recursos solares e eólicos abundantes, os recursos de alta qualidade estão distribuídos geograficamente de forma desigual, o que leva a interessar um estudo aprofundado de cada região a explorar

um dado recurso energético baseado em uma determinada tecnologia. Tal fato culminou com a exploração de recursos solares em termos da irradiação, nível de ventilação, empoeiramento e outros elementos que tornam importantes analisar na implantação de um sistema solar fotovoltaico em uma dada região.

A comunidade da África subsariana apresenta um crescente nível de procura por serviços energéticos, originada pela lenta disponibilidade ou acesso. A Agência Internacional de Energia (AIE) prevê a subida da procura de eletricidade na África a um ritmo que poderá atingir 1570 TWh em 2040, incluindo as estimativas de potência cativa, onde o relatório da McKinsey sobre o sector de energia na África subsariana previu uma procura de eletricidade de 423 TWh em 2010 e projetou um índice de crescimento anual de cerca de 4% até 2040 como demonstrado no Gráfico 2, onde Moçambique, como um país em via de desenvolvimento, não escapa da estatística (AVILA *et al.*, 2015).

Gráfico 2- Procura de eletricidade na África subsaariana.



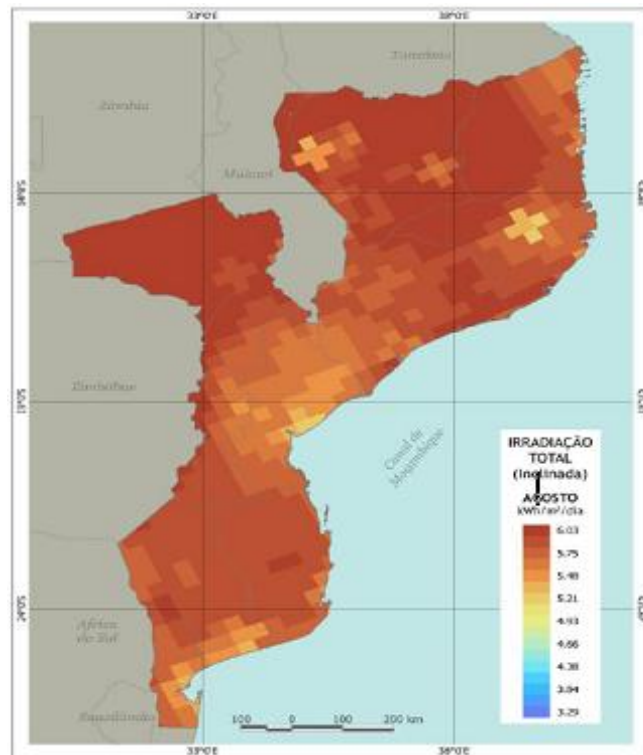
Fonte: Avila *et al.* (2017).

Do Gráfico 2, é imaginável que para os próximos anos haverá aumento de setores comerciais e industriais que necessitam de energia elétrica para o seu funcionamento. O aumento da procura no sector residencial que, muitas vezes o setor tem usado mais energia ou atinge o pico no período da noite, um dado muito importante, a saber, pelo responsável de quem quer instalar a tecnologia energética em dado local.

A proposta desta pesquisa visa o uso de energia solar fotovoltaico, como forma de superar a dificuldade acima mencionada, prevê fazer mais análise e investimento no banco de baterias que, tem como principal função armazenar energia solar durante os picos de produção de energia à tarde e descarregá-la à noite, durante as horas do pico da procura.

Smith (2014) descreve que, para além de outros recursos energéticos renováveis do potencial solar fotovoltaico médio que Moçambique dispõe na figura 2, o qual se situa em torno de $5,8\text{kWh/m}^2/\text{dia}$, o que segundo este autor é um grande potencial para geração de energia solar fotovoltaico como demonstrado no mapa de Moçambique abaixo (SMITH, 2014).

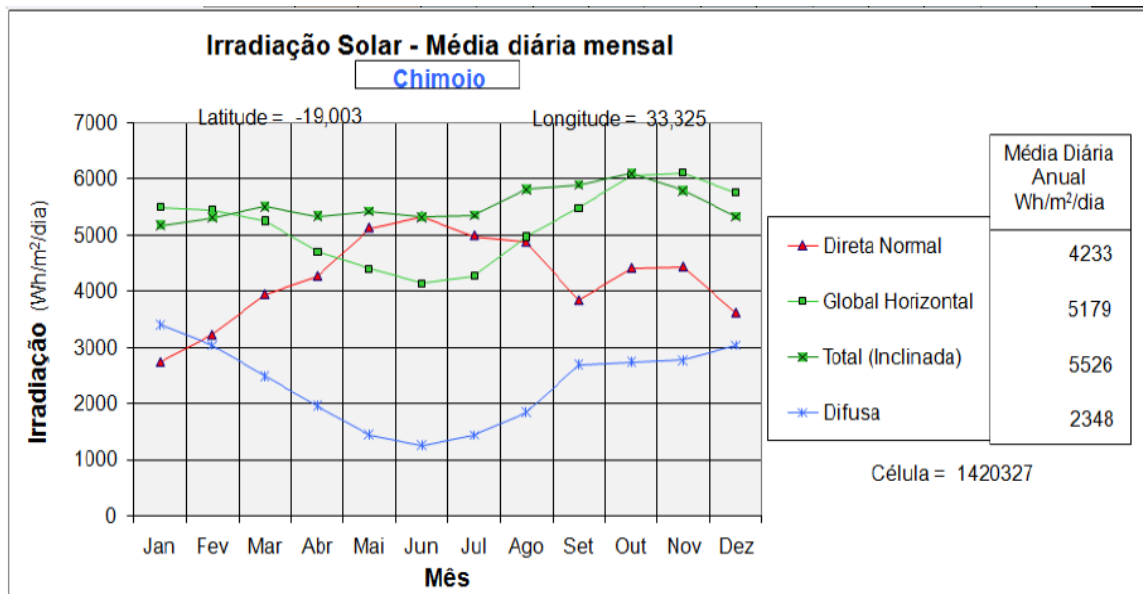
Figura 3 - Irradiação solar de Moçambique em $\text{kWh/m}^2/\text{dia}$.



Fonte: Smith (2014).

Da extrema importância que a irradiação de Moçambique e de Chimoio em particular tem na consolidação do presente projeto, o autor fez busca da informação partilhada por Smith (2014), onde no seu artigo, elaborou o Gráfico dos dados de irradiação solar diários de cada capital provincial ($\text{kWh/m}^2/\text{dia}$), como o local de interesse para o presente projeto é Chimoio (Manica), o autor levou os dados da cidade em destaque.

Figura 4 - Irradiação solar média diária anual para cidade de Chimoio (Manca).



Fonte: Smith (2014).

Com base nos dados da irradiação solar, Smith (2014) estimou a geração mensal possível, tendo como taxa de desempenho fixo de 75%, como demonstrado na Tabela 4.

Figura 5 - Estimativa da geração mensal para cidade de Chimoio.

Geração mensal estimada para taxa de desempenho de 75% (kWh/kWp)												kWh/kWp
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Annual
120,13	111,53	128,06	119,95	125,99	119,68	124,39	135,20	132,50	141,78	130,25	123,71	1513,17

Fonte: Smith (2014).

Os dados apresentados pelo Smith (2014) são referentes à cidade de Chimoio e da mesma província onde se localiza Matica, em que propõe a implantação do sistema fotovoltaico do presente projeto de mestrado.

2.2 Caracterização energética em Moçambique

Os recursos energéticos predominantes em Moçambique têm a capacidade de satisfazer na totalidade as necessidades da sua procura nas regiões rurais, assim como urbanos. A matriz energética moçambicana é composta por energia hídrica, gás natural, carvão, biomassa, solar e eólica (TEMBE; MULDER, 2008).

O país é predominado pelo potencial hidroelétrico. Sendo que, 2000 MW desse potencial são provenientes da hidroelétrica de Cahora Bassa, onde cerca de 250 MW é responsável pelo abastecimento de Moçambique, 1100 MW da África do Sul, 400 MW de Zimbabwe e, sendo o restante para abastecimento de Malawi. Outras centrais hidroelétricas nomeadamente: Corumana, Chicamba, Mavuzi, Cuamba e Lichinga, apresentam capacidade de produção menor que 190 MW (EDM, 2018).

A energia solar torna-se eficiente por estar associada à rápida implementação em seus projetos e por ser, simples no funcionamento dos sistemas, tornando os projetos solares a melhor alternativa de produção descentralizada de energia e de eletrificação rural.

A irradiação global em Moçambique varia entre 1.785 e 2.206 kWh/m² por ano, o que se traduz em um potencial estimado em 23.000 GW. Pela abundância, torna-se o principal recurso renovável e estável em grande parte do País (ALER, 2017 citado por SEBASTIÃO, 2016). Estima-se que a atual capacidade instalada de energia solar no país seja de 2.5 GW, dos quais 599 kW com capacidade de ligação à rede (NATIONAL ENERGY FUND OF MOZAMBIQUE - FUNAE; MOZAMBIQUE ELECTRICITY - EDM, 2019). Motivo mais que suficiente, promover o aproveitamento do potencial perdido, converter em energia para a comunidade necessitada.

Dos dados solarimétricos da localidade de Matica em Sussundenga, obtidos através do SOFTWARE Solarius FV, a irradiação solar anual da localidade é de 2039,156kWh/m², tendo em consideração vários fatores que contribuem a redução da radiação solar incidente, tais como, nível de sombreamento, variação do clima, nível de empoeiramento, e outros.

2.3 O Potencial Fotovoltaico na Africa Subsariana

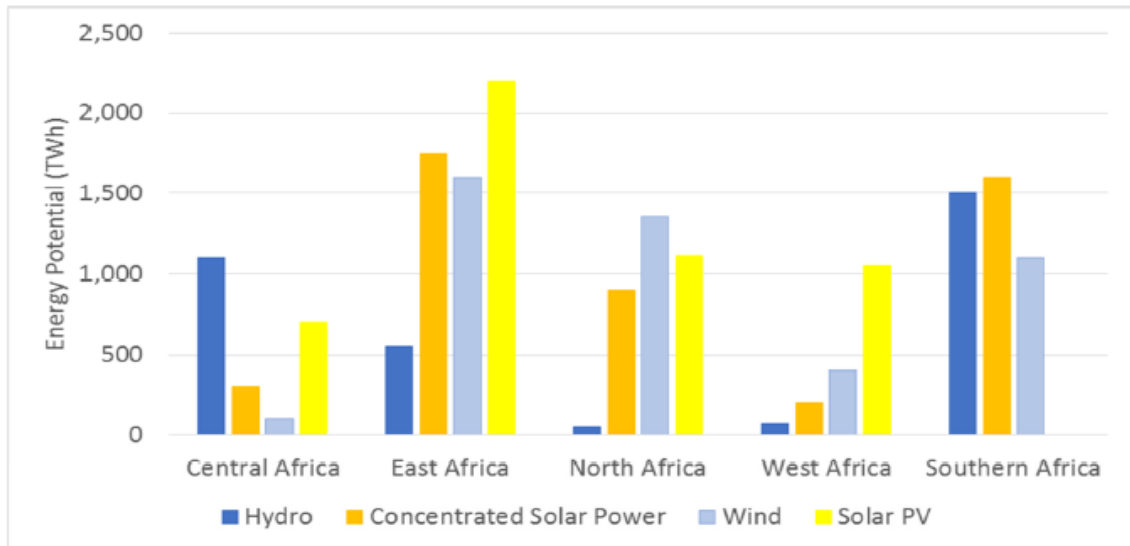
Da análise bibliográfica, várias constatações foram feitas no que tange ao potencial fotovoltaico de Moçambique e da África Subsariana onde,

África tem um potencial excepcional de recursos solares, eólicos, geotérmicos e de biomassa, tanto em uma base por capita como em termos de diversidade de recursos. Assim sendo, o continente deveria ser capaz de alcançar elevados níveis de serviços energéticos, com emissões de carbono muito baixas (AVILA *et al.*, 2017, p. 11).

O autor obteve dados relativos aos recursos renováveis para cada região da África subsariana, mostrando graficamente os quantitativos para cada tipo de recurso na sua respectiva região. Sendo Moçambique situada no Sudeste da África e faz limite com o oceano

Índico e neste, muitos rios que nascem nos países vizinhos desagüam e a disponibilidade de radiação solar faz com que se tornasse um país rico em energias renováveis, tais como eólica, hídrica e solar, como demonstrados na figura 5.

Figura 6 - Recursos renováveis na África Subariana.

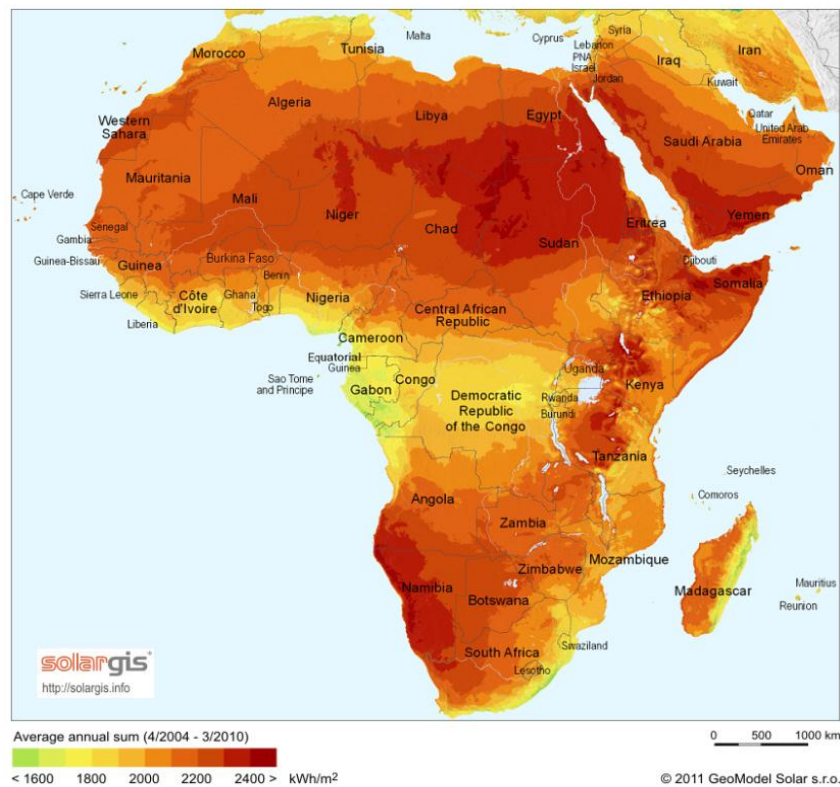


Fonte: Avila *et al.* (2017).

Estima-se que só o potencial técnico em energia solar fotovoltaico está na ordem de 650 TWh por ano, e os países costeiros caso de Moçambique) tem alto potencial eólico com cerca de 109 GW e, como o distrito de Sussundenga, na localidade de Matica, são locais deslocados da zona costeira, pode, de certa forma, não ter o potencial viável para a instalação das duas tecnologias, levando em consideração o fator custo benefício (AVILA *et al.*, 2017).

Da mesma fonte foi possível obter dados relativos à irradiação solar na África subsariana, onde com o mapa ilustrado, Moçambique está acima de 2000kW/m^2 como ilustrado no mapa da África Austral da figura 6.

Figura 7 - Irradiação solar na África Subsariana.



Fonte: Avila (2017).

2.4 Recurso solar

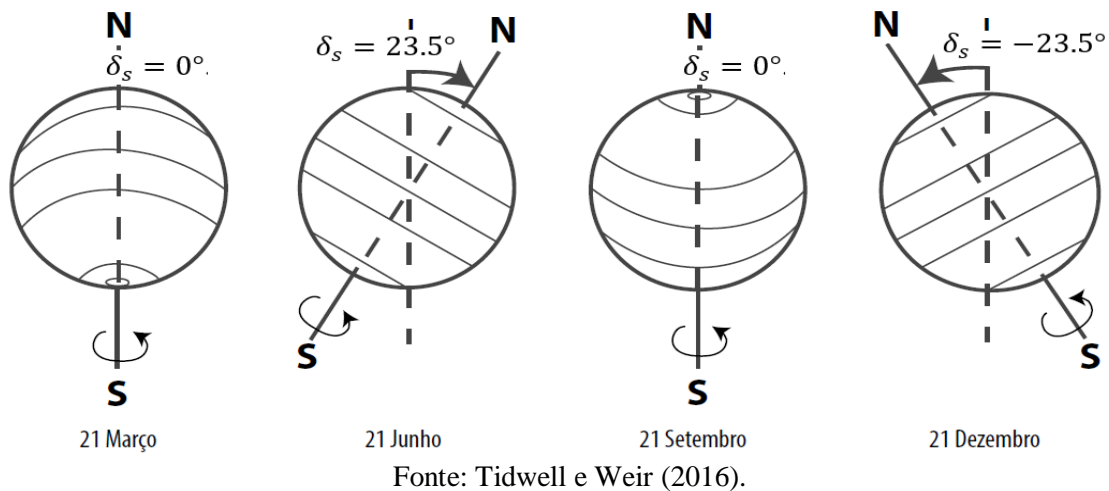
A energia solar representa a fonte permanente de energia mais abundante no planeta disponibilizada e que pode gerar em torno de cinco mil vezes a soma de todas as outras energias (energia nuclear terrestre, geotérmica, gravitacional, etc.). Entretanto, apenas 47% da radiação solar incidem na porção terrestre, sendo que a restante (53,0%) é perdida através da absorção e reflexão pela atmosfera e nuvens. No entanto, da radiação incidente no solo terrestre, correspondem a uma quantidade de energia significativa, sendo de aproximadamente seis mil vezes o consumo energético total dos Estados Unidos da América, em 2009 (GOSWAMI, 2015).

2.4.1 Geometria da Terra e do Sol

A quantidade de radiação solar incidente na superfície da terra varia ao longo do ano, uma vez que, a distância entre a terra e o sol altera, à medida que o planeta orbita a estrela, sendo essa distância média entre o sol e a terra cerca de $1.496 \text{ m} \times 10^{11} \text{ m}$.

Dada esta variabilidade, para se calcular corretamente a radiação solar incidente em qualquer superfície, torna-se necessário definir a localização exata do sol, relativamente a essa mesma superfície. Assim, pode-se definir, primeiramente, a declinação solar, δ_s . Esta representa o ângulo entre o sol e a terra (através dos seus centros) e o plano do equador. A declinação varia entre -23.45° e $+23.45^\circ$ (nos solstícios de inverno e verão, respetivamente), sendo o valor de 23.45° correspondente à inclinação da terra em relação a um eixo vertical, associado à sua rotação diária. Para, além disso, nos equinócios de Primavera e de Outono (21 de março e 21 de outubro, respetivamente), considera-se que $\delta_s=0^\circ$ (GOSWAMI, 2015).

Figura 8 - Variação da declinação solar ao longo do ano.



A declinação demonstrada na figura 7 corresponde, assim, ao valor associado à latitude a qual a radiação solar incide diretamente, segundo um eixo vertical, ao meio dia solar para um determinado dia (TIDWELL; WEIR, 2016):

$$s_s^\circ = 23,45^\circ \text{ Sen} \left[\frac{360 \cdot (284 + n)}{365} \right] \quad (5)$$

Onde, n corresponde ao dia do ano, começando em $n = 1$ (1 de Janeiro) e acabando em 365.

De forma a determinar a radiação e produção de energia associada a instalações solares em dada localização, é necessário determinar a posição exata do sol em relação a esse local. É, então, conveniente assumir que a Terra se encontra fixa, o sol a descrever o movimento aparente num sistema de coordenadas terrestres e com a sua origem no local de interesse (GOSWAMI, 2015).

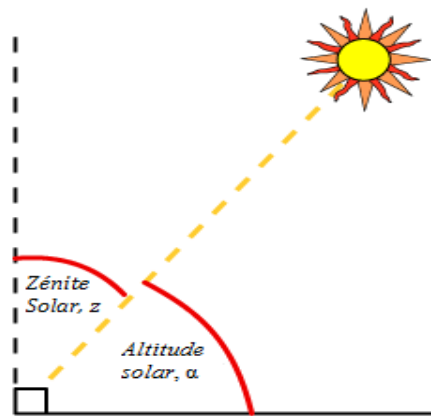
A posição aparente do sol pode ser descrita por dois ângulos: a altitude solar e o azimute solar. A altitude solar, α , é o ângulo entre uma linha colinear com os raios solares e o plano horizontal. O azimute solar, as , é o ângulo entre a direção Sul e a projeção da linha Sol – Terra sobre a horizontal. Por convenção, o ângulo azimute assume valores negativos a leste da direção Sul e valores positivos a oeste, ou seja: $as=0$, em Sul que varia entre os valores -90° e $+90^\circ$ entre leste e oeste, respetivamente (GOSWAMI, 2015).

O ângulo zênite solar, z mostrado na figura 8 é o ângulo formado entre o plano vertical e linha do sol e pode ser calculado de acordo com a equação (2.2):

$$z (\text{°}) = 90^\circ - \alpha$$

(6)

Figura 9 - Representação do Zênite Solar e Altitude Solar – modificado.



Fonte: Goswami (2015).

Os ângulos de altura solar a e de azimute solar podem ser expressos em função dos ângulos fundamentais (GOSWAMI, 2015).

- ✓ Ângulo horário solar, h_s , o ângulo horário de 15° corresponde a uma hora, demorando 24 horas para completar a volta completa de 360° . Para a hora que o Sol está mais alto (meio dia solar) o ângulo solar é nulo, para a manhã é negativo e, para a tarde é positivo.

$$h_s (\text{°}) = (15^\circ/\text{h}) \times (\text{tempo, em horas, desde o meio dia solar}) \quad (7)$$

Onde, h_s é o ângulo solar em graus.

- ✓ Latitude, L , ou seja, o ângulo entre a linha do centro da terra até ao local e o plano equatorial. Esta depende da localização no planeta, considerando-se positiva no hemisfério norte e negativa no hemisfério sul.

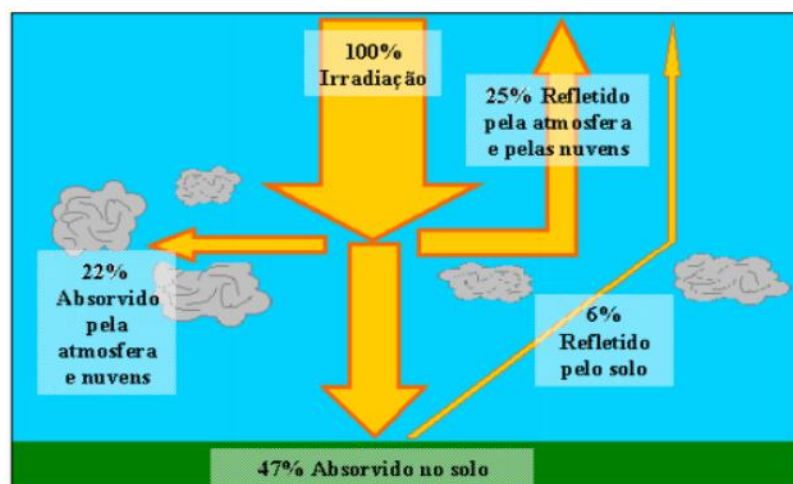
- ✓ Declinação solar, δ_s , já referida anteriormente e que depende do dia do ano.

2.5 Componentes da Radiação

A radiação solar quando incidente em qualquer recetor, ela pode ser dividida em três principais componentes, como demonstrados na figura 9 (PEREIRA; OLIVEIRA, 2011).

- ✓ **Radiação Direta:** representa todos os raios solares que são recebidos pelo recetor em linha reta com sol, ou seja, a que incide diretamente na superfície.
- ✓ **Radiação Difusa:** luz solar recebida de forma indireta, ou seja, que é proveniente da difração nas nuvens, nevoeiro, poeiras suspensas na atmosfera, assim como de outros obstáculos atmosféricos.
- ✓ **Radiação Refletida no Albedo:** refere-se à radiação que é refletida a partir da reflexão da radiação incidente em nuvens e na superfície terrestre. O termo albedo traduz-se como a razão entre a radiação refletida e a incidente.

Figura 10 - Divisão da radiação solar.



Fonte: Lacerda (2014).

Para além das componentes anteriormente referidas, pode ainda definir-se a radiação de duas formas:

- ✓ Radiação Total, referente às porções incidentes em qualquer superfície em estudo, ou seja, a soma entre as radiações direta e difusa.

- ✓ Radiação Global, que abrange a radiação total (direta + difusa) e a refletida no albedo.

2.5.1 Horas e Ângulos Solares

De forma a calcular os ângulos solares, é necessário determinar a Hora Solar Local (HSL), que difere da *Local Standard Time* (LST) (TIDWELL; WEIR, 2016). Assim, é necessário estabelecer uma relação entre a HSL e LST. No entanto, devemos considerar que a velocidade de rotação da Terra em torno do Sol não é constante, uma vez que, a órbita não é circular, tendo assim que introduzir uma correção antes de calcular a relação entre os ângulos solares - *ET* (*equation of time*) – que pode ser expressida em função de cada dia, n , da seguinte forma (“*Solar Time,*” *FV Education*):

$$ET \text{ (minutos)} = 9,87 \sin(2B) - 7,53 \cos(B) - 1,5 \sin(B) \quad (8)$$

$$B^\circ = \frac{360(n - 81)}{364} \quad (9)$$

Feita a correção, estabelece-se a relação anteriormente referida de acordo com a equação (9).

$$HSL = LST + ET + (l_{st} - l_{local}) \times 4 \text{ minutos/grau} \quad (10)$$

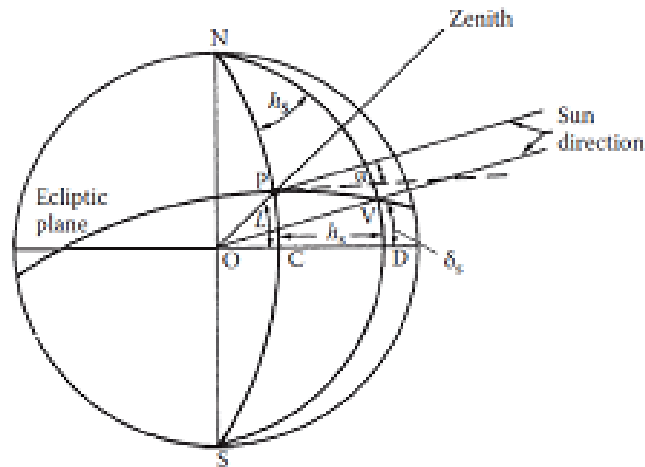
Em que: l_{st} é a hora no meridiano em causa e l_{local} representa a longitude.

Recorrendo a razões trigonométricas e considerando que L é a latitude do local, é possível calcular a altitude solar (α) e o azimute solar (a_s) para esse mesmo ponto, (GOSWAMI, 2015) a partir das equações (2.7) e (2.8), respetivamente.

$$\sin \alpha = \sin L \sin \delta_s + \cos L \cos \delta_s \quad (11)$$

$$\text{Sen}(a_s) = \frac{\text{Cos}(\delta_s) \text{Sen}(h_s)}{\text{Cos}(a)} \quad (12)$$

Figura 11 - Definição de δ_s , δ_s e L no local de interesse (P).



Fonte: Goswami (2015).

Ao meio dia solar $\delta_s=0$, pelo que $\alpha=90-|L-\delta_s|$ e $as=0$. Para um dado dia do ano e um dado local, podem-se calcular as horas (solares) e os correspondentes ângulos horários solares, do nascer do sol, δ_{sr} , e do pôr do sol, δ_{ss} . Para tal, basta assumir $\alpha = 0$ na equação (12), resultando:

$$\delta_{ss}, \delta_{sr} = \pm \cos^{-1}[-\tan L \tan \delta_s] \quad (13)$$

Das características mencionadas acima, para o presente trabalho são calculadas ou analisadas automaticamente pelo software a solarius FV, através do sistema ArqGis, mostra a posição ideal a colocar os painéis solares, a declinação, incluindo os ângulos solares do local a instalar os painéis solares.

2.6 Componentes do sistema fotovoltaico

O sistema fotovoltaico é conhecido como processo de conversão de energia solar em energia elétrica (efeito fotovoltaico), através do aparecimento da diferença de potencial nos extremos de um material semicondutor, geralmente material de silício, produzido através da absorção da luz solar. Os sistemas fotovoltaicos são classificados em três tipos nomeadamente: *off-grid*, híbrido e *on-grid* (LACERDA, 2014).

O sistema *off-grid*, também conhecido por sistema isolado, é um sistema que, com base nos vários fatores que afetam a sustentabilidade, por exemplo o transporte da energia da rede nacional até o local que se pretende instalar a corrente elétrica, opta-se por instalar um conjunto de painéis solares, que alimentam também um conjunto de cargas sem a presença da rede elétrica nacional (LACERDA, 2014).

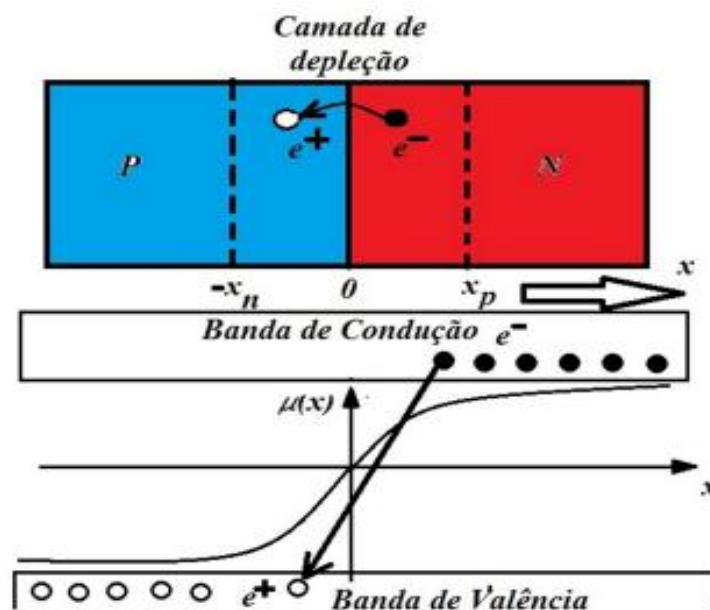
Este tipo de sistema que o presente projeto propõe e sua implementação na localidade de Matica, composto por vários componentes FV, o material envolvido na composição de um sistema fotovoltaico para a eletrificação. É importante saber os componentes do sistema FV e a função de cada um, para correto dimensionamento do sistema todo.

2.6.1 Painéis fotovoltaicos

É do conhecimento geral que a energia fotovoltaica é gerada quando a luz do sol incide sobre as células fotovoltaicas, geralmente feitas de material semicondutor, criando uma diferença de potencial (ddp), gerando assim uma corrente elétrica contínua (DC), cuja potência é medida em Watts, mas, por ser uma potência variável com o tempo, muitos autores ou fabricantes dos painéis solares, escrevem a potência máxima, conhecida como potência pico.

As células solares são constituídas por materiais chamados semicondutores, que têm elétrons ligados de forma fraca ocupando a faixa energética chamada banda de valência (*valence band*). No caso de ser exercida, sob um elétron de valência, uma energia superior a certo limite, energia de *band gap*, as ligações são quebradas e, o elétron encontra-se livre para se deslocar até uma nova camada de energia chamada camada de condução (*conduction band*), onde se torna possível a condução da eletricidade através do material. Assim, os elétrons livres na banda de condução são separados da banda de valência pelo intervalo de banda (medidos em unidades de elétron de volts V, ou eV), como demonstrado na figura 11 (LIMA *et al.*, 2020).

Figura 12 - Geração de energia em um painel solar.



Fonte: Lima *et al.* (2020).

Essa energia necessária para a libertação do elétron pode ser fornecida por fótons que, são partículas de luz. Assim, de forma geral, quando as células solares se encontram expostas à luz solar, os fótons atingem os elétrons da banda de valência, quebrando as suas ligações e encaminhando-os para a camada de condução. Nesta camada, um contato seletivo, que faz a coleta dos elétrons, encaminha-os para um circuito externo (LIMA *et al.*, 2020).

Os elétrons perdem a sua energia ao executarem o trabalho num motor elétrico que, depois pode ser utilizado para bombear água, alimentar uma lâmpada ou máquina de costura, entre outras atividades. Em seguida, os elétrons são restaurados para a célula solar através do *loop* de retorno do circuito, feito através de um segundo contato seletivo, que os encaminha de volta à banda de valência com a mesma energia com que haviam iniciado o seu caminho. Este movimento de elétrons no circuito externo e nos contatos é chamado de corrente elétrica (LUQUE; HEGEDUS, 2003).

O potencial no qual os elétrons são entregues ao circuito externo é superior a energia necessária para a sua excitação (ou seja, maior que a energia da *band gap*). Assim, por exemplo, em um material com uma *band gap* de 1eV, se os elétrons forem excitados por um fóton de 2 ou 3 eV terá um potencial ligeiramente superior a 1 eV (ou seja, o elétron é entregue com uma energia de 1eV). A potência elétrica produzida é o produto da corrente pela tensão, ou seja, a potência diz respeito ao número de elétrons livres multiplicados pelo seu potencial (LUQUE; HEGEDUS, 2003).

Para aplicações práticas, um painel/módulo fotovoltaico contém um número de células fotovoltaicas ligadas e encapsuladas, sendo o produto final vendido ao consumidor. Uma vez que o painel solar é uma fonte de tensão polarizada e os aparelhos eletrônicos funcionam com corrente alternada (AC), é necessária a introdução de um inversor para esta conversão (LUQUE; HEGEDUS, 2003).

Figura 13 - Canadian Solar Inc feito de Silício Monocristalino.



Fonte: Do autor através do *Software* (2021).

A figura 12 demonstra a marca sugerida pelo softwer, especificamente para a localidade de Matica, levando em consideração todos os fatores climáticos da localidade. Da informação dada pelo softwer, dito necessário 400 módulos fotovoltaicos, com potência de 500wp cada. De lembrar que este sistema tem como objetivo final obter uma potência instalada de 2000kWp e, possivelmente, produzirá energia de 40.000kWh/dia, considerando o tempo de funcionamento de 20h por dia.

2.6.2 Inversor

Os inversores são dispositivos utilizados para fazer a ligação entre o gerador fotovoltaico (conjunto de módulos fotovoltaicos) e a carga AC dos equipamentos ou a rede. Têm o objetivo de converter o sinal elétrico DC proveniente do gerador fotovoltaico num sinal AC, sendo que, numa fase posterior, ajusta o sinal para a frequência e nível de tensão da rede na qual está ligado (LACERDA, 2014).

Estes equipamentos podem ser utilizados para vários tipos de configurações:

- ✓ sistemas ligados à rede;
- ✓ sistemas desligados da rede com baterias recarregáveis;
- ✓ sistemas de bombeamento com baterias de armazenamento.

Para a localidade de Matica, através do *software* foi possível estimar o número de 40 inversores de marca ABB Italy S.p.A, 1454kVA, que serão ligados dos bancos das baterias.

2.6.3 Inversor para Sistemas Ligados à Rede

O planejamento de um sistema FV ligado à rede começa com a escolha de um inversor adequado. É este primeiro passo para determinação da tensão a ser considerada no lado DC, e o gerador fotovoltaico pode ser depois configurado de acordo com características de *input* do inversor. A sua principal tarefa é converter a corrente DC gerada pelos módulos fotovoltaicos, em um sinal de 50 ou 60 Hz em AC, de acordo com as especificações da rede. Contrariamente a outros tipos de inversores estes devem conseguir responder tanto às características da rede elétrica como às do gerador de energia solar. Dado que toda a corrente proveniente dos módulos circula no inversor, as suas propriedades afetam o comportamento e resultados operacionais do sistema fotovoltaico (LUQUE; HEGEDUS, 2003).

Para além da eficiência da conversão de corrente, o inversor deverá ter componentes integrados que controlem o modo de operação diário: este deverá assegurar que a operação inicia (durante a manhã), assim que a energia solar é suficiente para que as células solares entrem em funcionamento. Ao longo do dia, o seu funcionamento ótimo varia com as flutuações de energia solar e a temperatura dos módulos. Os inversores inteligentes deverão, assim, incluir componentes eletrônicos de controle que regulem continuamente o equipamento para funcionar no seu ponto mais favorável – *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Para, além disso, deverão estar incluídos equipamentos de segurança no inversor que automaticamente desliguem o sistema em casos de irregularidades na rede ou no gerador solar (LUQUE; HEGEDUS, 2003).

2.6.4 Inversor para sistemas desligados da rede

Estes inversores devem ser capazes de alimentar um elevado número de equipamentos elétricos, mantendo sua eficiência em torno de 90%. A qualidade do inversor autônomo depende de um conjunto de características, como por exemplo, (LUQUE; HEGEDUS, 2003):

- ✓ proteção contra sobreintensidades;
- ✓ baixa flutuação da tensão e frequência de saída;
- ✓ alta eficiência;
- ✓ baixo consumo em *stand-by* com autodeteção da presença de uma carga;
- ✓ capacidade de suportar curto-circuitos;
- ✓ elevada tolerância a correntes de arranque.

2.6.5 Baterias

Para sistemas FV desligados da rede, os sistemas de armazenamento de energia tornam-se importantes para compensar os períodos sem radiação solar suficiente (por exemplo, durante a noite ou em dias nublados). Neste contexto, recorre-se, normalmente, a baterias de ácido de chumbo. Existem também baterias de níquel – cádmio, hidrato metálico e de íões de lítio (LACERDA, 2014).

Para caracterizar uma bateria são necessários alguns fatores, dentre eles, tensão, densidade e energia específica, rendimento energético, capacidade (quantidade máxima de

energia elétrica que a bateria pode fornecer durante o seu processo de descarga e até a descarga estar completa), autodescarga (percentagem de descarga da bateria, mesmo quando não é utilizada), ciclos de vida (número de vezes que a bateria pode carregar/descarregar durante a sua vida útil) e profundidade de descarga (LACERDA, 2014).

Com base no *software* utilizado para dimensionar o sistema fotovoltaico de Matica, foi possível constatar que o tipo de bateria que o *software* recomenda é de lítio. Baseando-se na revisão de literatura, constatou-se que este tipo de bateria permite ter uma descarga completa da sua potência, ou seja, 100%, tornando-a deste modo mais viável no sistema fotovoltaico em relação a outras como a AGM ou gel não permitem cargas superiores a 80/90%, logo não se descarregam totalmente.

Essa característica faz com que o processo de carregamento seja mais rápido que no outro tipo de bateria. Ademais, permite vários processos de descarregamento (até 6000 ciclos a 90%). Outra vantagem das baterias de lítio é o seu sistema de gestão interno e serviço ininterrupto, ou seja, há uma fonte de alimentação autônoma que entra em ativação caso haja falência da fonte de alimentação principal. Este é tipo de bateria que o presente projeto propõe sua utilização em que, com base no *software*, o sistema deve ter no mínimo 608 baterias ligadas em serie (LIMA *et al.*, 2020).

2.6.6 Regulador de Carga

O regulador de carga funciona como elo entre os módulos fotovoltaicos, o banco de baterias e a carga de consumo. Este controla o armazenamento de energia das baterias, evitando a sua sobrecarga e descarga, através da análise da tensão. As suas características principais para bom funcionamento são (LUQUE; HEGEDUS, 2003):

- ✓ apresentar um baixo consumo interno;
- ✓ elevada eficiência é recomendável (96% a 98%);
- ✓ cortar a ligação entre as baterias e o consumo em caso de uma descarga profunda;
- ✓ carregamento deverá ser feito a altas tensões, etc.

2.7 Rede de distribuição de baixa tensão

A rede de distribuição de energia elétrica em baixa tensão ou simplesmente rede de distribuição pode ser definida como sendo a instalação elétrica destinada à transmissão de energia a partir de um posto de transformação ou de uma cerca central geradora, constituída por canalizações principais e ramais (REGULAMENTO DE SEGURANÇA DE INSTALAÇÕES DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA - RSIUEE, 1990).

Os componentes da rede de distribuição elétrica devem ter boa qualidade e segurança. Os sistemas de distribuição são caracterizados segundo RSIUEE (1990) pelo espectro construtivo, configuração na área, tensão nominal, número de condutores, fase e neutro e pela frequência nominal, redes de linhas aéreas e em redes de cabos ou de linhas subterrâneas. Nestas redes existem diversos tipos de configuração na área, tais como a distribuição radial, a distribuição em anel e a distribuição em malhas. A rede de distribuição compreende: o sistema a média tensão da estação de transformação que engloba as barras de distribuição e os respectivos aparelhos de comando, proteção e controle; as linhas à média tensão (aéreas e em cabos); as cabines de transformação média/baixa tensão, com os transformadores e aparelhos de comando e proteção e, as linhas de baixa tensão que podem ser aéreas e em cabos subterrâneos (UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP, 2018).

Com base na revisão de literatura, sugere-se o uso da rede de distribuição aérea, por ser fácil na manutenção e implementação, tornando deste modo o sistema pouco mais econômico comparativamente a outros tipos de rede de distribuição elétrica. Foi com base nestas vantagens que, para a eletrificação de Matica, o presente projeto sugere a linha de transmissão aérea.

2.7.1 Rede de distribuição aérea/subterrânea

Segundo o Rsiue (1990) chamam-se linhas aéreas, todo o conjunto de condutores de uma linha de distribuição suspensos em poste ou torres através de isoladores, com altura apropriada. Já as redes subterrâneas melhoram a estética, são mais seguras e, ao longo do tempo, mais econômicas para determinadas situações de distribuição em regiões com alta densidade populacional. A rede de distribuição é composta pelos seguintes elementos: Posto de Transformação (PT).

2.7.2 Poste de Transformação (PT)

Nos postos de transformação, tipicamente, chegam as linhas em média tensão (MT) que constituem a rede de distribuição, sendo a distribuição final (que alimenta diretamente o consumidor) em Baixa Tensão (BT). Em um Poste de Transformação (PT) encontram-se os transformadores que fazem a redução de MT para BT, bem como a aparelhagem de proteção, de seccionamento e medida. Desta forma, o princípio de funcionamento de um PT tem por base o primário do transformador que é alimentado pelo cabo trifásico em MT, e, por sua vez, pelo secundário sai um cabo com três fases e o neutro em BT, o qual se destina a alimentar os vários lotes incluídos existentes (Figura 13) RSIUEE, 1990.

Figura 14 - Poste de Transformação.



Fonte: Do autor (2022).

2.7.3 Postes de Suporte

Os PTs têm como principal função servir de apoio às linhas aéreas, permitindo assim que as distâncias mínimas entre estas e o que as rodeia sejam respeitadas, como por exemplo, ao solo, árvores, edifícios, etc. O comprimento dos postos deve obedecer aos seguintes critérios (UNESP, 2018):

- ✓ 9 metros: para rede de baixa tensão sem previsão de ampliação de rede de média tensão;

- ✓ 11 metros: para qualquer tipo de média tensão e qualquer tipo de rede de baixa tensão; instalação de equipamentos;
- ✓ 2 metros: postos maiores serão considerados especiais (travessias, circuitos, múltiplos MT).

2.8 Cabos Condutores isolados

Os cabos condutores isolados são elementos ativos das linhas de distribuição de baixa tensão, pois é por eles que se realiza todo o processo de distribuição de energia elétrica (UNESP, 2018). A qualidade dos condutores depende não só do bom desempenho elétrico da linha como também os custos da sua implementação e exploração. A Figura 14 ilustra um condutor.

Figura 15 - Condutor.



Fonte: Lacerda (2014).

➤ Ramais aéreos

Os ramais aéreos têm origem nas redes de BT aéreas, apoiadas em postes ou pistoletes, ou ainda em redes pousadas nas fachadas dos edifícios.

Os ramais de chegada aéreos, são estabelecidos com cabo XS de 10mm², monofásico ou trifásico de acordo com o tipo de instalação a alimentar e, para correntes até o limite de 3x60A. Os cabos XS são presos nas paredes com recurso de abraçadeiras serrilhadas de *nylon* e bases plásticas, fixas com pernas de aço. As abraçadeiras serrilhadas e bases devem ser de cor preta e resistente aos raios UV (UNESP, 2018).

Nos troços tensos, utilizam-se os acessórios normalizados para as redes de troçada (pinças de amarração e suspensão, berços de guiamento e olhais retorcidos). Se os acessórios utilizados forem plásticos, deverão dispor de elevada resistência aos raios UV e, quando metálicos, deverão ser resistentes à corrosão. Nas entradas dos cabos dos ramais, nas paredes

dos edifícios, devem-se instalar “cachimbos” de alumínio para impedir a entrada de água (UNESP, 2018).

➤ **Ligação à rede BT**

Nas ligações dos cabos XS as redes de cobre deverão utilizar “ligadores de garra” de seção adequada aos cabos a serem ligados.

Nas ligações às redes de troca com cabo de alumínio, devem-se utilizar ligadores de aperto independente, com perfuração do isolamento da rede principal, e aperto de condutor secundário sem isolamento (CPB/CT). Nas redes de distribuição, os vãos não devem, em regra, exceder os seguintes valores:

- ✓ dentro de povoações ou aglomerados populacionais em zonas com consumidores não dispersos: 50 m;
- ✓ fora de povoações ou aglomerados populacionais 80m.

Em casos devidamente justificados, podem-se adaptar valores superiores aos fixados no número anterior, desde que se utilizem condutores isolados em feixe ou cabos autossuportados ou suspensos de fiadores com resistência mecânica adequada. Na fixação dos vãos, deve-se ter também atenção às condições locais com facilidade de ligação de instalações de utilização e de iluminação pública (UNESP, 2018).

➤ **Iluminação pública (IP)**

Considera-se uma instalação elétrica de iluminação pública a que se destinar a iluminação das vias públicas terrestres que fazem parte da Rede Regional e Rede Municipal. As instalações elétricas destinadas à iluminação de arruamentos, jardins públicos ou outros espaços públicos de circulação de pessoas são enquadráveis no conceito de IP (UNESP, 2018).

➤ **Redes aéreas**

As redes aéreas IP serão estabelecidas em apoios de betão, pistoletes ou nas fachadas dos edifícios. Os cabos a utilizar serão do tipo LXS de 16mm^2 , quando se tratar de rede exclusiva de IP ou o próprio cabo de troçada que constitui a rede de BT, equipe para o efeito com 1 ou 2 condutores de 16mm^2 (UNESP, 2018).

➤ **Especificações Técnicas dos Equipamentos**

Disjuntor

- ✓ Disponível na corrente nominal de 400 A.

Barramentos

- ✓ Relógio para comando de iluminação pública.
- ✓ Contator para comando de iluminação pública.
- ✓ Contador de energia total e um contador de energia de iluminação pública.
- ✓ Transformador de intensidade 250/5.

Quadro Geral de Baixa Tensão

O quadro geral de baixa tensão será constituído por uma caixa metálica com apoio vertical no solo, duas portas, com tratamento anticorrosivo e antinflagrante com dimensões aproximadas a $100 \times 800 \times 250$ (mm), contendo ainda os seguintes componentes:

- ✓ disjuntor tetra polar de 400 A;
- ✓ fusíveis de alto poder de corte APC de 63 A para proteção das saídas;
- ✓ correntes máximas de interrupção (Icu-Ics) de 55kA ou 66kA em 50V CA, conforme ABNT NBR IEC 60947-2.

3 DEMANDA ENERGÉTICA DE MATICA

Houve necessidade de descrever as reais motivações que levaram a materialização da pesquisa. Assim, caracteriza a necessidade energética local e a quantidade dos beneficiários do projeto.

3.1 Pré-diagnóstico

A localidade de Matica é habitada por população que vive basicamente da agricultura, pastorícia, comércio e trabalhos na Fazenda de Macadamia, como fonte principal da renda. A localidade é habitada por alguns funcionários públicos (professores, técnicos e enfermeiros do posto médico). As casas construídas são do tipo alvenaria e, aproximadamente, 10% de pau a pique e 90% alvenaria feitas de blocos de areia (argila), posteriormente, queimados para evitar a filtração de água das chuvas, como demonstrado na figura 15.

Figura 16 - Infraestruturas de Matica.



Fontes: Do autor (2022).

As casas de alvenaria possuem janelas de dimensão mínima equivalente a 0,7 m x 0,8 m, um componente-chave para promover iluminação natural aos espaços internos e fechados, como quartos, salas, cozinhas etc., contribuindo, significativamente, na otimização energética em edifícios, a fim de promover um tempo curto com a lâmpada ligada. Em contrapartida, nas casas feitas de pau a pique, feitas pelos donos, geralmente sem formação em construção civil, acabam tendo tempo de vida útil de aproximadamente 15 anos, as quais não possuem janelas para criar boa visibilidade no interior, obrigando desta forma a manter a lâmpada ligada, mesmo durante o dia.

Certas famílias contam com sistema solar fotovoltaico básico¹, continuando as casas durante a noite, dependentes maioritariamente das lanternas a pilha,lareiras, velas e lamparinas a petróleo, elevando a taxa de acesso à energia para iluminação em cerca de 41% da população moçambicana (INE, 2019).

O acesso à informação constitui-se em uma das condições para o desenvolvimento socioeconômico, redução da pobreza e bem-estar humano, o que está inserido nos objetivos de Desenvolvimento Sustentável (SALITE; COTTON; KIRSHNER, 2020). No entanto, a comunidade de Matica não tem acesso à televisão, apenas rádios, que funcionam à base de pilhas não recarregáveis e celulares, são as fontes principais de acesso à informação. As comunicações e acesso à *internet* ocorrem através de telefones celulares que são carregados por pequenos painéis solares caseiros, situados em algumas edificações (casas). Além disso, não existe nenhuma tecnologia para conservação de alimentos perecíveis como carne, comida e outros produtos, recorrendo deste modo, a secagem da carne através do sol ou do sal iodado.

O acesso à água potável é quase inexistente, a população recorre à água dos poços caseiros com água temporária, isto é, nos tempos de verão muitos poços ficam sem água para o consumo. Todas as faltas sentidas na localidade de Matica são por falta de energia elétrica, deixando centenas de pessoas na condição de pobreza.

Segundo Salite (2020, p. 02), em Moçambique a eletricidade é fornecida pela Concessionaria Nacional de Fornecimento de Energia Elétrica (ELETRICIDADE DE MOÇAMBIQUE E. P - EDM), uma empresa pública fundada em 1977, responsável pela geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica, tem um mandato social para expandir o acesso à eletricidade para os consumidores em regiões urbanas e rurais.

Dos desafios enfrentados pela empresa em cobrir a demanda, criou-se o Fundo Nacional de Energia (FUNAE) em 1997, pelo decreto nº 24/97 de 22 de julho, para atender à

¹ Sistema solar caseiro que geralmente é constituída, no mínimo, por um painel solar, uma bateria e um microinversor.

população isolada, fora da rede elétrica nacional (hídrica) e de baixa renda – eletrificação rural. No que tange ao seu plano de execução das atividades, o FUNAE utiliza maioritariamente a energia solar (MOÇAMBIQUE, 2019). Foi no âmbito da execução das suas tarefas em que o FUNAE implementou, na escola situada na sede de Matica, um sistema solar fotovoltaico que, devido à falta de manutenção, não funciona há anos. Este sistema beneficiava a secretaria, o gabinete do diretor e o setor pedagógico da escola, alimentando o funcionamento de três computadores, impressora e televisor na secretaria. A escola primária de Matica, localizada na sede, possui 10 salas de aulas, divididas em 2 blocos, acolhendo cerca de 650 alunos de 4^a a 7^a classe e 1 bloco administrativo. Com a eletrificação seria possível à ampliação do funcionamento da escola, adicionando aulas noturnas, melhorando a comunicação, o conhecimento adquirido pelo acesso à internet e, desenvolvendo cada vez mais a comunidade local.

Outra constatação observada é que centro de saúde local não possui energia elétrica, fato que motivou o autor a questionar durante a visita à localidade de Matica sobre a forma de conservação dos medicamentos e, o diretor do centro explicou que ocorrem através dos cacifos² colocados em espaços ventilados e, os medicamentos que necessitam de muitos cuidados na sua conservação, encontram-se no hospital rural de Sussundenga. Quando existem pacientes com patologia que requerem estes tipos de medicamento, optam por transferi-lo para o hospital rural.

Segundo o chefe da localidade, o sistema fotovoltaico melhorado³, instalado em 2011, no edifício da localidade pela FUNAE começou a apresentar avarias nos condutores, devido aos danos causados por pragas e insetos. O sistema funcionou aproximadamente por 4 anos, após uma manutenção local ficou novamente inoperante desde 2016. Após um ano de inatividade do sistema, as baterias ficaram afetadas em termos da capacidade de conservação da carga, o que comprometeu todo sistema. Até o presente momento (2022), os técnicos do FUNAE não compareceram ao local.

² Armários feitos com madeira e com vidros transparentes na frente.

³ Que foi instalado com base em conhecimento científico e pelos técnicos da área.

3.2 Diagnóstico Energético

De acordo com dados do Instituto Nacional de Estatística (INE) e das informações coletadas pelo chefe da localidade, cerca de 980 famílias vivem na comunidade de Matica, com previsões futuras de crescimento nos próximos 2 anos, para 1.250 famílias (INE, 2019).

Dessa forma, a necessidade energética para a localidade também inclui o uso de eletrobombas para a captação de água subterrânea, energia elétrica para o tratamento da água das cisternas ao redor da sede da localidade.

De igual modo aos serviços de saúde, espera-se a colocação de pelo menos um sistema de refrigeração, como forma de garantir a conservação condigna dos fármacos que o hospital possui. Este sistema, segundo Gasparin *et al.* (2020, p. 12), abarca “os edifícios como centro de saúde ou residências de dimensões pequenas, equipamentos de refrigeração de pequeno porte como ar condicionado, seria suficiente para manter o conforto térmico para os produtos farmacêuticos”.

A iluminação pública nas vias é outra necessidade energética para a localidade de *Matica*, sendo necessária a colocação de lâmpadas sobre os postes edificadas nas vias de maior circulação das pessoas. Da análise feita sobre a otimização energética na iluminação pública das vias, é imprescindível a instalação de lâmpadas LED (*Light Emitter Diode*) com o poder econômico mais alto, comparado às lâmpadas incandescente que habitualmente e predominantemente são usadas pela concessionária da EDM (AVILA *et al.*, 2017).

É possível estimar a potência e energia produzida no sistema fotovoltaico, através do critério que a empresa Moçambicana, Eletricidade De Moçambique (EDM) utiliza, onde divide a rede de distribuição em escalas de potência para instalação em uma residência ou empresas onde a classificação para as famílias é de escala 1 (de 1,1 kW – 3,3 kW) e, para as empresas ou instituições públicas de escala 2 (de 6,6 – 13,2 kW) (EDM, 2018).

Em análise dos equipamentos elétricos que cada casa ou instituição necessita, calculou-se com auxílio da potência máxima, um valor de aproximadamente 3,3 kW para as famílias e 13,2 kW para as instituições com equipamentos de grande potência. Assim, a estimativa da potência máxima a ser instalada na localidade pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1 - Potência Média necessária para instalações em localidades com mais de 1000 famílias.

<i>Quant.</i>	<i>Designação</i>	<i>Potencia Média (kWp)</i>	
		Unitária	Total
<i>1250</i>	Famílias	1,1	1.375
<i>2</i>	Escolas	3,3	6,6
<i>1</i>	Hospital	13,2	13,2
<i>1</i>	Edifício da localidade	13,2	13,2
<i>3</i>	Furos de água	3,3	9,9
<i>2</i>	Ar Condicionado	13,2	26,4
<i>500</i>	Outros Eletrodomésticos	1,1	550
<i>Total</i>			≈2.000 kWp

Fonte: Do autor (2022).

A Tabela 1 representa a potência estimada, prevendo produzir, em média, cerca de 18.000 kWh/dia, considerando 9h, o tempo médio de utilização de eletrodomésticos. Energia suficiente para responder à procura na localidade de Matica.

Desta feita, atendendo e considerando que existem erros sistemáticos nos cálculos, se fez o arredondamento da potência por excesso passando a considerar 2 MWp para o dimensionamento.

4 METODOLOGIA DO TRABALHO

No presente capítulo o autor classificou a pesquisa feita quanto à natureza, aos objetivos e procedimentos técnicos que nortearam o seu desenvolvimento.

4.1 Metodologia

A presente pesquisa é classificada metodologicamente sendo uma aplicada quanto à natureza, visando gerar conhecimento sobre um dado feito vivido e aplicar na prática como forma de solucionar um problema específico. Da mesma senda, a presente pesquisa é classificada sob o ponto de vista dos procedimentos técnicos, sendo uma pesquisa bibliográfica e estudo de caso, pois consistiu em buscar informação já conhecidas em artigos científicos publicados e aprofundar o conhecimento detalhando a solução proposta para o local em estudo (MENEZES 2001).

Foram coletadas informações relativas à composição e especificação do material necessário para a montagem de um sistema fotovoltaico, com objetivo de eletrificar a localidade rural de Matica. Ainda na pesquisa bibliográfica, fez-se análise dos artigos publicados, referente aos equipamentos⁴ para eletrificação da zona isolada de Matica, a partir da rede REN, através de sua extensão desde Sussundenga até a vila.

Um estudo dimensional levando em conta as atividades locais, tais como: quantificar a população residente, determinar a demanda local em kWh e fazer projeções futuras (2 anos) para o desenvolvimento da localidade de Matica, visando eletrificar o local. A partir destes dados foi determinada a potência máxima a ser instalada, quer seja da REN ou fotovoltaico.

Também foram avaliadas as especificações técnicas para o sistema fotovoltaico, as quais se destacam: a quantidade de energia que deverá ser produzida pelo sistema FV por dia, de forma a atender ao consumo do efetivo; potência pico a ser instalada segundo as características geográficas do local e dimensionamento energético do banco de baterias tendo em conta a variedade de tipos de baterias existentes no mercado comercial.

Para maior consistência dos dados no sistema fotovoltaico, o autor usou duas técnicas nomeadamente, cálculo matemático e uso do *software* Solarius FV, onde descreveu detalhadamente o que foi realizado em cada técnica, para que na análise dos resultados, discutir a igualdade ou a diferença obtida em cada metodologia e avaliar a viabilidade do projeto.

⁴ Postes, cabos eléctricos, posto de transformação (PT), vidros isolantes, e outros.

4.2 Dimensionamento Matemático

Uma forma usada no dimensionamento do presente projeto consiste no uso de ferramentas matemáticas conhecidas vulgarmente (somatório, VPL, TIR, etc) para organizar, descrever (apresentação), analisar e interpretar dados experimentais (FERRARRI, 2021)). Desta forma, quantificou-se todo equipamento necessário para materialização do projeto, como se descreve nos resultados.

4.2.1 Degradação do sistema FV

De forma superficial parece menos importante considerar o fator degradação dosequipamentos constituintes de um sistema FV, partindo dos painéis fotovoltaicos receptores da irradiação até obtenção do produto final (Energia elétrica alternada). Entretanto, com base em algumas literaturas que descrevem o fator, torna-se importante considerar no presente projeto visto que, a soma das perdas elétricas originadas por degradação é significativa em dado intervalo de tempo, afetando consideravelmente a produção de energia elétrica pelo sistema FV.

Apesar da maioria dos estudos terem sido realizados para módulos de c-Si, Jordan *et al.* (2016 citados por FERRARRI, 2021) avaliaram 455 taxas de degradações para módulos que utilizam tecnologia de filmes finos e encontraram uma média de degradação de 1,15% aa e mediana de 1,38% aa, sendo a sua degradação bem acima quando comparada aos módulos de silício cristalino. Analisando apenas dados de alta qualidade para módulos de silício (x-Si) em sistemas FV, eles encontraram uma mediana de taxa de degradação de 0,64% aa e média de 0,81% aa para sistemas com módulos de silício (x-Si). Já para os módulos isolados de silício cristalino foi encontrada uma mediana de taxa de degradação de 0,40% aa e média de 0,51% aa (JORDAN *et al.*, 2016).

4.3 Variáveis Quantitativas de análise do Investimento

Como forma de determinar o retorno do investimento feito fez-se simulação do fluxo de caixa demonstrando como seria a entrada e a saída de valores da empresa gestora da infraestrutura. Com base no fluxo de caixa, calcular as outras variáveis quantitativas que de certa forma servem de indicadores da viabilidade do projeto nomeadamente os valores presentes líquidos (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e outras variáveis. As variáveis em destaque, de certa forma, são determinadas através do excel ou mesmo através das fórmulas matemáticas.

4.3.1 Valor Presente Líquido (VP)

São designados VPs, os valores obtidos pela diferença entre a receita bruta coletada e as despesas feitas pelos valores da receita bruta, considerando a taxa de desconto do financiador. Assim:

$$VP_n = \sum_{i=1}^n \frac{FC_n}{(1 + TMA)^n} \quad (16)$$

Onde, n é a número de período que se determina o valor presente;

FC é o fluxo de caixa e;

TMA é a Taxa Mínima de Atratividade.

4.3.2 Valor Presente Líquido Acumulado (VPL)

A soma dos VP de todo o tempo previsto para o funcionamento do projeto é designada ao Valor Presente Acumulado (VPA) que, segundo Para Helfert (1997, p. 195), a avaliação por este método

...pondera as compensações do fluxo de caixa entre dispêndios para investimentos, benefícios futuros e valores finais em termos de valor presente equivalente, e permite ao analista determinar se o saldo líquido desses valores é favorável ou desfavorável, ou seja, determinar a natureza da operação econômica envolvida.

O VPL é determinado através da seguinte fórmula:

$$VPL = -FC_o + \frac{FC_1}{(1 + TMA)^1} + \frac{FC_2}{(1 + TMA)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1 + TMA)^n} \quad (17)$$

Desta forma, a tomada de decisão por meio do VPL tem as seguintes regras (Strachoski, 2011):

- a) $VPL > 0$ – o projeto deve ser aceito.
- b) $VPL = 0$ – o projeto é indiferente.
- c) $VPL < 0$ – o projeto não deve ser aceito.

4.3.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

É conhecido por vários analistas econômicos como um método que avalia a rentabilidade de um projeto de investimento. Motta e Calôba (2002 citados por STRACHOSKI 2011, p. 37) exemplificam que “dada uma alternativa de investimento, se a taxa de retorno, calculada, for maior que a taxa mínima de atratividade do mercado, a alternativa merece consideração”. Caso contrário, a alternativa será rejeitada.

De igual modo, a TIR pode ser determinada pela seguinte fórmula matemática de $VPL = 0$ ou conhecendo o valor futuro, determinar a valor de (i) na fórmula seguinte:

$$i = \sqrt[n]{\frac{F}{P}} - 1 \quad (20)$$

Onde, i é taxa de juros, correspondente a TIR que se pretende determinar;

F é o valor futuro no final de um dado período após o investimento;

P é o valor investido no presente;

n é o período aplicado aos juros.

Ou:

$$0 = -FC_0 + \frac{FC_1}{(1 + TMA)^1} + \frac{FC_2}{(1 + TMA)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1 + TMA)^n}$$

Com $TMA = TIR$ temos:

$$0 = -FC_0 + \frac{FC_1}{(1+TIR)^1} + \frac{FC_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TIR)^n} \quad (21)$$

4.3.4 Tempo de Retorno (TR)

O TR também chamado *payback* na língua inglesa, mostra o tempo em que o capital investido será recuperado ou evidencia tempo de viabilidade mínima do projeto. Para Kassai *et al.* (2000 citados por STRACHOSKI, 2011, p. 38),

o *payback* é o período de recuperação de um investimento e consiste na identificação do prazo em que o montante do dispêndio da capital efetuado seja recuperado por meio dos fluxos líquidos de caixa gerados pelo investimento. É o período em que os valores dos investimentos (fluxos negativos) se anulam com os respectivos valores de caixa (fluxo positivo).

5 ANÁLISE E DISCUSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA

Da metodologia adotada, os dados coletados foram analisados e discutidos partindo do material necessário para a materialização das duas tecnologias de eletrificação da zona rural em estudo onde, através das ferramentas matemáticas e uso do softwer Solarius –FV, estimatimou – se o respectivo orçamento. Esta atividade visa verificar qual das tecnologias é mais dispendiosa que outra, para posteriormente servir de uma componente na tomada de decisão.

5.1 Dimencionamento Matemático para a Extensão da REN

5.1.1 Material necessário para extensão da REN

A Tabela 2 representa a listagem do material necessário para eletrificação da zona rural de Matica através da extensão da rede elétrica nacional da sede do distrito até a localidade de Matica a 25 km e, a Tabela 3, exhibe um orçamento com os valores reais de venda dos materiais elétricos.

Tabela 2 - Material necessário para eletrificação de Matica.

Item	DESIGNAÇÃO	REFERENCIA	UN	QT
1	Arame de espia	LVV- 4x70mm ²	M	50.000
2	Postes de madeira	1x9 m	Un	250
3	Ligadores	PC3	Un	4.000
4	Pinça de amarração	PS 4x70/95	Un	1.000
5	Pinça de suspensão	PS 4x70/95	Un	500
7	União de cravação	95mm ²	Un	400
8	União pré-isolada	95mm ²	Un	400
9	Terminal bimetálico	70mm ²	Un	400
10	Furador	Metal	Un	20
11	Arame	Arame de fixação	m	500

Fonte: Do autor (2022).

Tabela 3 - Orçamento da Tecnologia.

Item	DESIGNAÇÃO	REFERENCIA	UN	QT	PREÇO (US\$)	
					Unit	Total
1	Arame de espia	Aço	M	50.00 0	2,3	115.000,00
2	Postes de madeira	1x9 m	Un	250	77	19.250,00
3	Ligadores Eletricos	PC3	Un	2000	1,0	2.000,00
4	Pinça de amarração	PS 4x70/95	Un	1000	3,9	39.000,00
5	Pinça de suspensão	PS 4x70/95	Un	1000	1,6	1.600,00
7	União de cravação	95mm ²	Un	500	3,5	1.550,00
8	União pré-isolada	95mm ²	Un	500	3,5	1.250,00
9	Terminal bimetálico	185mm ²	Un	500	1,0	4.064,00
10	Furador	Metal	Un	250	2,5	625,00
11	Posto de Transformação (PT)		22k V4	5	70.087 ,5	350.437,50
12	Material não elegível			20% do Subtotal		157.051,80
Subtotal Do Projeto						785.259,00
TOTAL DO PROJETO						740.310,80

Fonte: Do autor (2022).

Partindo do orçamento feito para eletrificação da zona rural de *Matica* através da Rede Elétrica Nacional, foi possível apurar um valor capaz de cobrir as necessidades elétricas locais anteriormente definidas.

Após o dimensionamento do material necessário chegou-se ao investimento de **US\$ 740.310,80**. Este valor resulta da estimativa orçamental para eletrificar a localidade através da rede elétrica. Tendo em conta que a localidade dista 25 km da vila sede, em cada 100m requer 1 poste, o que correspondente a 10 postes em cada quilometro. Dividido por 10 o valor obtido antes do transformador geral da sede, obtem-se **US\$ 38.987,38** que é o valor investido por cada quilômetro.

5.2 Dimensionamento Matemático para Sistema Fotovoltaico

Como forma de dimensionar um sistema solar fotovoltaico é necessário saber quanto é necessário em termos energéticos para cada residência. Desta forma, com base em alguns artigos lidos é relevante saber o consumo médio em cada residência no dimensionamento de um sistema Fotovoltaico (FV). Segundo Moura *et al.* (2019), “as consumidoras em baixa tensão, não são eficientes em fazer o levantamento da potência instalada para se definir a

carga instalada para o dimensionamento do sistema FV, mas sim por meio da fatura de energia, a qual traz o histórico de consumo dos últimos 12 meses (em kWh).” Assim, para a presente pesquisa, o levantamento estatístico deu-se pelas seguintes fases:

- 1°. Estimar o consumo médio mensal para consumidores familiares, através de um levantamento de dados em 5 famílias, cujas médias foram de 150 kWh durante o mês.
- 2°. Calcular a potência necessária com base nos dados solarimétricos de irradiação solar da localidade de Matica, demonstrada na figura 1, foi possível obter a irradiação solar mínima para calcular a potência máxima, e a irradiação solar máxima para determinar a potência mínima. Como forma de prever as possíveis reduções de eficiência do sistema solar FV, torna-se necessário relevar ou dimensionar o sistema FV através da potência máxima, isto é, o dado da irradiação solar mínima obtido no mês de junho, correspondente a $4,645\text{kWh/m}^2$ (*Software solarius FV*) então, a Hora Sol Pleno, equações 1 e 2 (MIRANDA; GUEDES, 2019):

$$HSP_{min} = \frac{I_{inc}}{1\text{kWh/m}^2} \quad (1)$$

Potências máximas e mínimas, equação 2:

$$P_{FV(max)} = \frac{C_{med}}{TD * HSP * 30 \text{ dias}} \quad (2)$$

Onde, I_{inc} é irradiação solar local em kWh/m^2 ;

P_{FV} é a potência fotovoltaica por residência em kW;

C_{med} é o consumo médio mensal para cada residência.

Deve-se lembrar de que a potência a considerar será a máxima e é para cada residência. Como tem-se: $P_{FV(max)} = 1250 * 1,3\text{kW} = 1625\text{kWp}$ é a potência máxima para atender às residências e, como há previsão de fontes de água, beneficiar a fazenda local de Macadamia, escolas, hospitais, posto administrativo, sendo locais com mais uso de energia elétrica, usou-se a potência estimada de 3,3 kWp cada local. Com base nesta necessidade energética, aproxima – se a potência máxima a instalar de 2 MWp, a mesma que será usada para calcular o número de painéis solares necessários para o sistema.

5.2.1 Painéis solares fotovoltaicos

O principal componente de um sistema solar fotovoltaico é o painel solar fotovoltaico, composto por diversas células fotovoltaicas, responsáveis pela conversão da radiação solar em energia elétrica. Segundo Miranda e Guedes (2019, p. 16), “os módulos fotovoltaicos considerados para utilização no sistema fotovoltaico deverão ser de silício cristalino (c-Si), de 72 células, com moldura em alumínio e dimensões de 992 mm de largura e 2000 mm de comprimento”. Também células de silício cristalino podem ser Monocristalino, como demonstrado na Figura 4, ou Policristalino. Para as que utilizam silício Monocristalino, o cristal cresce a partir de um banho de silício fundido de alta pureza, 99,9999%, também conhecido como silício seis nozes, ou silício de grau solar (PINHO; GALDINO, 2014 citado por RODRIGUES; FERREIRA, 2020). Enquanto as células de silício Policristalino são mais baratas por apresentarem um processo de preparação de célula menos rigoroso (JUCÁ; CARVALHO, 2013).

Das observações feitas pelo autor do presente trabalho, um painel solar comercial com as referências acima mencionadas, foi possível coletar dados que o fabricante do mesmo colocou na placa solar como mostra a Tabela 2 e, aconselha que ao serem conectados para responder à procura, os módulos deverão ser de mesma marca e modelo.

Tabela 4 - Especificações Técnicas do módulo FV, indicadas pelo fabricante.

Parâmetros	Valor
Máxima Potência (Pm)	500Wp
Tolerância	0/5W
Tensão de Máxima Potência (Vm):	45,6V
Corrente de Máxima Potência (Im):	12,64 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc):	46V
Corrente de Curto-Circuito (Isc):	12,24 A

Fonte: Rodrigues e Ferreira (2020).

Com base na potência máxima necessária para a localidade de Matica da Tabela 1 (2 MWp), dividido pela potência de cada módulo solar (500 W), obteve o total de 4000 módulos solares, a serem ligadas de forma que uma série de 100 módulos forme um gerador que em algumas literaturas chama de *String*, compondo 40 *Strings* no projeto de Matica. Assim, a quantidade de módulos conectados em série (*String*), determinará a tensão de operação do

sistema CC, e a corrente do gerador solar é definida pela conexão em paralelo de painéis individuais ou de *Strings*, conjunto de módulos conectados em série (RUTHER, 2004).

Das dimensões acima mencionados de um painel solar recomendado por Miranda (2019), cujas dimensões são de 0,992m de largura e 2m de comprimento, ter-se-á área de 1,984m² de cada painel solar e, 12210 m² área total ocupada pelos painéis solares. E com a radiação média mensal obtida pela internet através do *software* Solarius FV para a localidade de *Matica*, teve-se a máxima de 6,142kWh/m² em março e mínima de 4,645 kWh/m² no mês de junho como demonstrado na figura abaixo. Com base nestes dados, calculou-se a energia máxima e mínima esperada pelo sistema.

Segundo Nascimento (2017 citado por FERRARRI, 2021 p. 8) é possível estimar a energia média mensal produzida por um módulo fotovoltaico a partir dos parâmetros de área e eficiência do módulo escolhido, e a média mensal anual das horas de sol pleno (HSP), conforme descrito na equação (3 ou 4):

$$E = I * A * \eta * 30 \quad (3)$$

Onde, I é irradiação solar em kWh/m²

A é a área total em m²

ou

$$E_{CA} = P_{FV(max)} * \frac{HT}{G} * TD * TS \quad (4)$$

Onde, E_{CA} é a energia gerada durante o tempo pelo qual se estimou a potência (hora, dia ou mês); HT é a irradiação média local em kWh/m²; G representa a irradiância que determina a potência nominal dos módulos em condições padrão de teste, normalmente 1000 W/m²; TD é a taxa de desempenho, que varia de 0,6 até 1 e TS é um fator que representa as perdas por sombreamento, sendo zero (0) quando o SFVCR não recebe luz, e igual a um (1) quando não houver sombra incidente sobre o sistema.

5.3 Banco de Baterias

Para Sistemas Fotovoltaicos (FV) desligados da rede, os sistemas de armazenamento de energia tornam-se importantes para compensar os períodos sem radiação solar suficiente (durante a noite ou em dias nublados). Neste contexto, recorre-se normalmente a baterias de ácido de chumbo. Assim como, baterias de níquel – cádmio, hidrato metálico e de íões de lítio (LACERDA, 2014).

Para caracterizar uma bateria que responde às necessidades do proprietário, é necessário levar em consideração alguns fatores (como ilustrado na Tabela 5) dentre eles, tensão, densidade e energia específica, rendimento energético, capacidade (quantidade máxima de energia elétrica que a bateria pode fornecer durante o seu processo de descarga e até a descarga estar completa), autodescarga (percentagem de descarga da bateria mesmo quando não é utilizada), ciclos de vida (número de vezes que a bateria pode carregar/descarregar durante a sua vida útil) e, profundidade de descarga.

Tabela 5 - Variação da voltagem no descarregamento da bateria de Chumbo.

Estado de Carga	Bateria de 12 Voltas	Voltagem por células	Referência
100	12,70	2,12	Modo Ativo de Operação
90	12,50	2,08	
80	12,42	2,07	
70	12,32	2,05	
60	12,20	2,03	
50	12,06	2,01	
40	11,90	1,98	Operação Fraca
30	11,75	1,96	
20	11,58	1,93	
10	11,31	1,89	Inatividade
0	10,5	1,75	

Fonte: Ferrarri, 2021.

As baterias ácidas são constituídas por células, cada célula tem aproximadamente uma tensão de 2 V (uma bateria de 12 V é constituída por 6 células individuais). Mais rigorosamente, quando a célula está completamente carregada, a sua tensão é aproximadamente 2,12 V e quando está totalmente descarregada a tensão é de, aproximadamente, 1,8 V. Portanto, uma bateria de 12 V vai ter uma tensão, aproximadamente, de 12,7 V quando totalmente carregada e uma tensão de 10,8 V quando descarregada, o que dá uma variação total de tensão de 1,9 V (CRISTINA, 2020).

Do presente projeto, prevê-se a colocação de banco de baterias para cada *String* solar, cuja junção forma o banco total do sistema FV proposto, como forma de melhorar o controle de problema que acontecer com o sistema, melhorando significativamente a sua manutenção.

Como forma de quantificar a composição do banco das baterias, baseou-se na potência necessitada pelos clientes, isto é, dos 2000 kW. Considerando que o sistema consegue superar a necessidade energética dos clientes durante o dia, o banco de baterias poderá funcionar durante a noite (por volta de 12 h) ou durante o dia nublado que, aproximadamente, pode ser considerado 12 h de utilização. Com base nesta lógica técnica, o dimensionamento será com

base nos fatores de descarregamento das baterias (que muita vezes tem sido regime de C20 ou simplesmente 20%) e considerar que os consumidores precisarão de 50% da energia normal consumida, isto é, 1000kW de potência. Assim, as baterias a usar serão de 12V e 245 e, calculando a potência ter-se-á:

$$P = U.I.30\%$$

$$P = 12.245.30\% = 882W$$

Tendo em conta a potencia total necessária de 2MWp tem-se:

$$N_{baterias} = \frac{P_{Total}}{P_{bateria}} = \frac{2000000W}{882W} \approx 2268Baterias$$

5.3.1 Controladores de carga

Segundo Smith (2014), “controlador de carga é um aparelho eletrônico destinado a controlar e monitorar a carga e/ou descarga do banco de baterias”. Desta forma, será colocado um controlador de carga para cada *String* solar, o que quer dizer que serão 40 controladores de carga a serem colocados no sistema FV proposto.

5.3.2 Inversores CC – CA

Estudos indicam que as taxas de desempenho do Sistema FV variam entre 60% a 90%, sendo influenciado diretamente pelo aumento da eficiência dos inversores que, atualmente, tem alcançado eficiências em torno de 99%. Um sistema fotovoltaico é avaliado como de boa qualidade, se a TD estiver acima de 80% (PINHO; GOLDINO, 2014).

Os inversores propostos no presente para o projeto de sistema fotovoltaico deverão ser do tipo *multistring inverter*, sem transformador (TL) e com seguidores de Ponto de PotênciaMáxima (SPPM). Com base na forma de ligação dos módulos FV (40 *Strings*), serão ligados inversores com capacidade de suportar no mínimo 50kWp, admitindo-se uma sobrecarga máxima CC de até 20%. Desta forma, precisará de 40 inversores como forma de responder ao sistema FV projetado para Matica.

Após autorização do ministério de energia para a implantação do sistema, será feita a vedação do local com arame tubarão e uma estrutural a betão onde ficarão os inversores, como forma de garantir a segurança do local contra malfeitores, assim como outras pessoas não autorizadas, garantindo a ventilação natural do local.

Deverão ser utilizados inversores, de mesma marca e mesmo modelo, com as seguintes características mínimas:

- ✓ potência de saída: na faixa de 250 - 300 kw;
- ✓ tipo trifásico, sem transformador;
- ✓ frequência nominal: 60 hz;
- ✓ temperatura máxima de trabalho: $\geq +60$ °c;
- ✓ tensão de saída nominal compatível com a tensão da rede elétrica local ou obrigatório uso de transformador isolador;
- ✓ eficiência europeia: $> 97,0$ %;
- ✓ distorção harmônica total (thd): ≤ 3 %;
- ✓ proteção contra inversão de polaridade na entrada cc;
- ✓ proteção contra surtos de tensão na entrada cc;
- ✓ circuitos seguidores do ponto de potência máxima (mppt): ≥ 2 ;
- ✓ proteção contra curtos-circuitos na saída ca;
- ✓ monitoramento de falhas de conexão à terra;
- ✓ monitoramento de fusíveis internos, quando houver proteção por fusíveis;
- ✓ monitoramento das grandezas cc e ca e da rede ca;
- ✓ os inversores devem possuir garantia do fabricante de no mínimo cinco anos para substituição em caso de defeitos. O fabricante deve possuir representante comercial em Moçambique e que importa o material da Índia ou Brasil.

5.3.3 Sistema de chaveamento

Como todo sistema elétrico deve existir um ponto do circuito onde ocorre a interrupção para que haja manutenção, ou como forma de não alastrar possível incêndio no sistema FV. Desta forma, serão colocados disjuntores singulares para além do quadro geral do sistema FV.

5.4 Uso do software Solarius-FV como auxílio do dimensionamento

Solarius FV é um *software* confiável e inovador para fazer projetos técnicos e simulação econômica de sistemas fotovoltaicos para qualquer tipo e lugar em que se deseja implantar. Este *software* se baseia nas inclinações de plano, de acordo com dados solarimétricos de cada região. Utilizando um sistema ArcGis para adquirir os dados locais, ele permite:

- ✓ realizar e projetar sistemas em edifícios novos ou existentes, bem como sistemas para parques solares;
- ✓ escolher qualquer localidade (Geo – Localização com dados climáticos de referência);
- ✓ considerar qualquer fator de contexto externo como obstáculos próximos e distantes que podem impactar negativamente no sistema a ser implantado;
- ✓ inserir qualquer tipo de módulo e inversor, já que estes dispositivos possuem milhares de modelos;
- ✓ gerar uma modelagem 3D através dos projetos DXF/DWG ou IFC BIM.

O *software* dimensiona todos os equipamentos necessários para a montagem de um sistema fotovoltaico, sendo necessária inclusão das coordenadas geográficas do local a ser implantado o sistema. A partir destas, o *Software* faculta as informações relativas à irradiação média mensal do local em kWh/m² para cada mês. Com os dados mensais coletados pode-se avançar para o desenho da usina onde é definida a possível inclinação em relação à superfície da terra em três dimensões. Em seguida, é possível definir outros critérios do projeto: potência máxima ou especificada, energia máxima ou especificada e, tipos de módulos (amorfo, monocristalinos ou policristalinos).

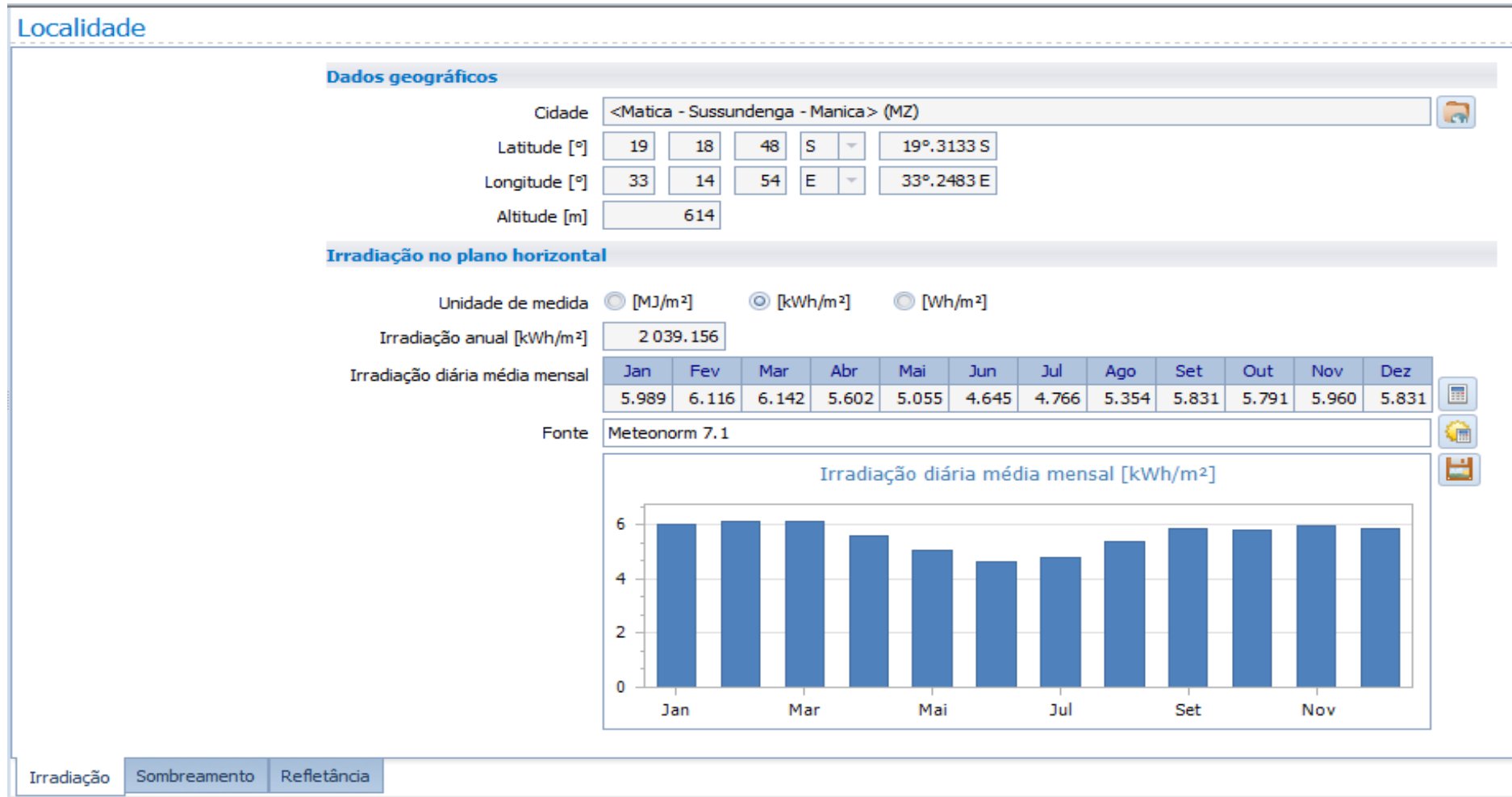
Após a estimativa da potência média necessária para a localidade, o autor pautou pelo dimensionamento do sistema solar fotovoltaico, calculando o número de painéis solares necessários, inversores, baterias, controladores de carga, disjuntores e outros elementos

necessários. Por existir elementos intrínsecos que afectam o funcionamento do sistema solar fotovoltaico, quer de uma forma negativa ou positiva, o autor do presente trabalho usou o *software* Solarius FV, capaz de mostrar os tais elementos e que levam em observância as condições climáticas, ângulo solar, sombreamento e outras condições do local em estudo que podem condicionar positivamente ou negativamente ao sistema proposto.

O *software* necessita de coordenadas geográficas do local que se deseja implementar o sistema FV e, através do sistema ArqGis incorporado no *software* extrai as condições climáticas do local. Desta forma, o autor da presente pesquisa obteve os dados da localidade de Matica, dados que inclui a irradiação média mensal do local em kWh/m² para cada mês como demonstrado na figura 6 abaixo. Com os dados mensais coletados, avançou-se para o desenho da usina onde, com o auxílio do *Software*, foi definida a possível inclinação em relação à superfície da terra em três dimensões. Em seguida, foi possível definir outros critérios do projeto (potência especificada).

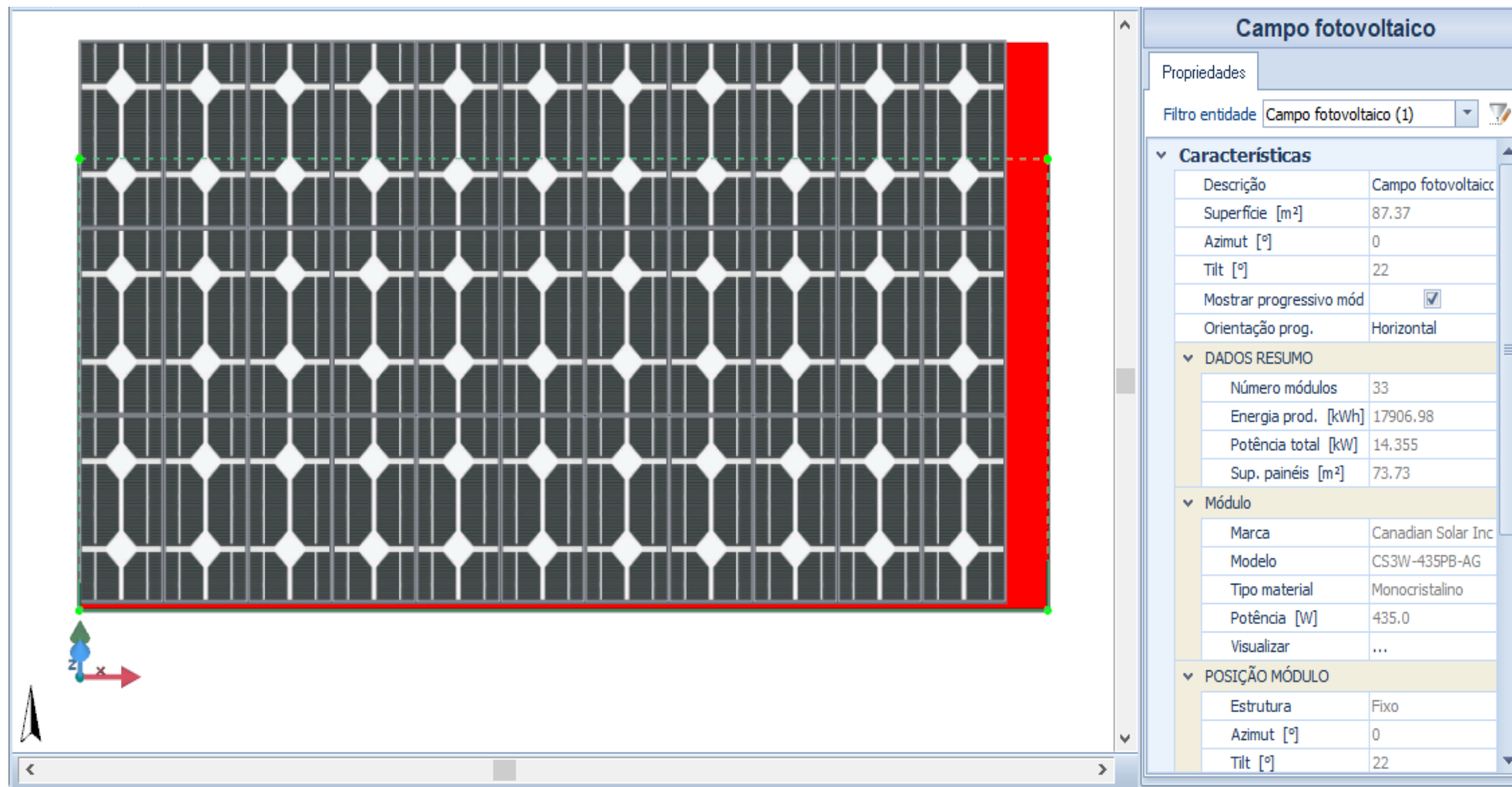
Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico para localidade de Matica, foi utilizada como base a potência máxima (potência necessária e calculada) e que com este dado inserido, o *software* obtém outros componentes necessários no sistema, como indicado nas figuras 16, 17 e 18.

Figura 17 - Índice Solarimétrico de Matica.



Fonte: Do Autor (2021).

Figura 18 - Simulação de sistema fotovoltaico residencial com potência de 14kWp.



Fonte: Do autor (2022).



Figura 19 - Especificações dos módulos solares simulado pelo *software* Solarius FV.

Módulo

Módulo

ATENÇÃO!!!
Os dados técnicos dos MÓDULOS do Arquivo Programa, embora redigidos com o maior cuidado possível, podem ter diferenças em relação com o que está disponível hoje no mercado após das freqüentes atualizações de produto por parte dos respectivos fabricantes. Portanto, é conveniente que o técnico antes do uso verifique a exatidão e a atualidade dos mesmos.

Dados gerais

Código	M.5303		Tipo material	Silício monocristalino	<input type="checkbox"/> Obsoleto
Marca	Canadian Solar Inc.		Série	BiHiKu CS3W-415-435PB-AG	
Modelo	CS3W-435PB-AG				
Preço [\$]	0.00				
			Nação produtor	Canada	
			Anos de garantia	12	

Características elétricas em condições STC				Características mecânicas			
Potência de pico [W]	435.0	Eficiência [%]	19.47	Comprimento [mm]	2 132	Espessura [mm]	30
Im [A]	10.85	Vm [V]	40.10	Largura [mm]	1 048	Peso [kg]	28.20
Isc [A]	11.35	Voc [V]	48.60	Superfície [m ²]	2.234	Número células	144

Outras características elétricas				Notas	
Coef. Voc [%/°C]	-0.2900	NOCT [°C]	41±3	Notas	
Coef. Isc [%/°C]	0.050	Vmax [V]	1 500.00		

Fonte: Do autor (2022).

Da projeção feita pelo *Software*, foi possível estimar a energia que o sistema será capaz de produzir, a superfície a ser ocupada, o ângulo de inclinação dos módulos solares, etc.

Após obtenção dos dados, e com o auxílio do *SOFTWARE* Solarius-FV, fez-se o dimensionamento dos equipamentos do sistema fotovoltaico, como os painéis solares necessários, o banco de baterias, tipos de inversores, controladores de carga e, as respectivas quantidades, com a finalidade de apurar o custo total do investimento inicial e a durabilidade do sistema.

Em seguida, foi realizado um levantamento técnico da extensão da REN da vila sede do distrito de Sussundenga até a localidade de Matica, especificamente tipos de cabos elétricos próprios para a rede; custo total desde o transporte até a fixação dos postes da rede elétrica (aquisição, transporte e fixação), custo de instalação da subestação, com capacidade de atender à demanda.

A partir do dimensionamento do sistema fotovoltaico, assim como da extensão da REN, realizou-se uma comparação em termos da viabilidade financeira e eficácia das duas tecnologias para futuras instalações, através da técnica de cálculo de retorno, considerando a taxa de desconto e de inflação atual, possível fluxo da caixa, valores presentes e, através desses valores, calcular a taxa interna de retorno (TIR), taxa de lucratividade (TL) e o tempo de retorno que é a componente-chave para avaliar a viabilidade do investimento.

5.4.1 Material necessário para o sistema FV

Conhecida a potência máxima necessária para atender à localidade, pautemos agora pelo dimensionamento do sistema fotovoltaico em termos do material necessário. Através do *software* Solarius FV, os componentes necessários são descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Orçamento do material para sistema fotovoltaico.

ORD.	DESIGNAÇÃO	REFERÊNCIA	QUANT.	PREÇO (US\$)	
				Unitário	Total
01	Painéis Solares	Canadian Solar de silício Monocristalino, 500w,	4000	324	380.376,00
02	Inversores	ABB Italy S.p.A.	40	7.812,50	62.500,00
03	Controladores de carga (MPPT)	ABB Italy S.p.A.	40	781,25	6.250,00
04	Baterias	Chumbo – Acido de 24V	1134	468,75	2.850,00
05	Cabos de corrente	Alumínio	2000m	10,2	20.312,50
06	Mão-de-obra para sazonais		40	312,5	12.500,00
07	Ferros de aço		500	18,75	9.375,00
08	Cantoneiras		1500	12,50	18.750,00
09	Material Não Elegível (Extra)		20% do Subtotal		
Subtotal De Investimento					512.975,00
TOTAL DE INVESTIMENTO					615.570,00

Fonte: Do autor (2022).

A partir da Tabela 5, é possível observar uma necessidade de investimento de aproximadamente US\$ 615.570,00 (dólares).

5.5 Avaliação dos aspetos financeiros

Obtido o custo médio para implantação do sistema fotovoltaico e para expansão da rede elétrica nacional da sede do distrito até a localidade de Matica, torna-se necessário estimar a viabilidade financeira através dos cálculos da contabilidade e estatístico. De salientar que, pelo fato do sistema FV apresentar menor custo do investimento e que de certa forma constitui vantagem de ser viável, foi feita avaliação financeira.

Segundo Rodrigues e Ferreira (2020, p. 29), a avaliação financeira de um projeto começa com o diagnóstico energético e as reais motivações que impulsionou para a materialização do projeto, estimando os benefícios que o mesmo trará com base no orçamento estimativo feito. Desta forma, para no presente projeto, o diagnóstico energético para fins de estudo financeiro está demonstrado na Tabela 1, de igual modo faz-se o estudo de viabilidade financeira das receitas prováveis tendo em foco o tempo de vida útil do sistema proposto, por meio da Tabela 7.

Dos cálculos feitos sobre os fatores que influenciam negativamente na produção de energia elétrica pelo sistema previsto, concluiu-se que não poderá afetar negativamente ao

ponto de que a comunidade prevista por se beneficiar pelo sistema ficasse sem acesso à energia elétrica. Um dos fatores levados em consideração foi da degradação dos próprios painéis solares ao longo do tempo.

5.5.1 Degradação do sistema FV

Para o presente projeto foi considerada a taxa de degradação dos módulos de Silício Monocristalino como vinha sendo proposto no orçamento, e foi considerada a média correspondente a 0,51% aa, uma percentagem que afeta na redução da potência total do sistema proposto e que pesou na análise do fluxo de caixa feita na Tabela 8.

$$\begin{array}{l}
 P_t = P_i - P_i * t * 0,51\% \text{ aa} \\
 P_1 = 2.000\text{kWp} - 2000\text{kWp} * 1 * 0,51\% \text{ aa} \\
 P_1 = 2.000\text{kWp} - 10.2\text{kWp} = 1.989,8\text{kWp}
 \end{array}
 \left|
 \begin{array}{l}
 P_{20} = 2.000\text{kWp} - 2.000\text{kWp} * 20 * 0,51\% \text{ aa} \\
 P_{20} = 2.000\text{kWp} - 204\text{kWp} \\
 P_{20} = 1.796,0\text{kWp}
 \end{array}
 \right.
 \quad (14)$$

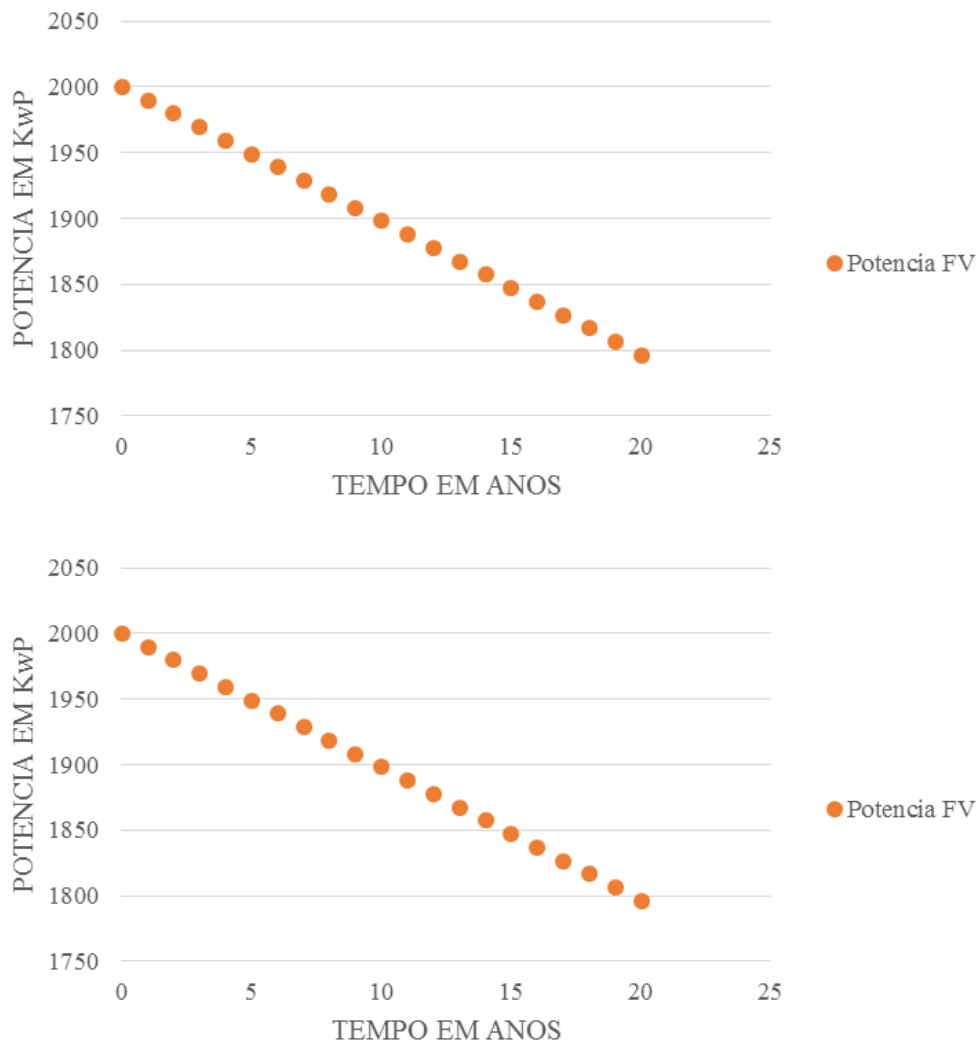
Onde, t é o tempo em anos onde a potência é afetada negativamente em 0,51% ;

P_1 é a potência no final do 1º ano do funcionamento do sistema;

P_{20} é a potência no final do 20º ano de funcionamento do sistema.

Desta forma, calculando a queda de potência para cada ano que vai passar, obteve-se a figura 19.

Figura 20 - Queda de potência FV pelo tempo de vida útil.



Fonte: Do autor (2022).

5.5.2 Grupo de Consumo

Por questões de variação de potência a instalar em uma residência familiar e em indústria de grande consumo de energia elétrica, houve necessidade de classificar grupos de consumo sendo, familiar com a potência média de 1,1kW e as indústrias com 3,3 kW (EDM, 2018), como foi demonstrado na Tabela 7. Para as projeções de ligação aos consumidores, acredita-se não ser possível no primeiro ano beneficiar 1250 famílias por vários motivos, entre os quais se destacam as dificuldades econômicas de cada família, abrangência de postes de distribuição de energia elétrica assim como a projeção feita da população.

5.5.3 Custo de Manutenção

Durante a operacionalização de um projeto constituído por equipamentos, é sempre necessário fazer a manutenção constante e periódica deles. Para o presente projeto, os valores considerados de manutenção, correspondentes a 25% sobre as receitas coletadas em cada ano, incluem as despesas de funcionários (salários), limpeza dos equipamentos, reposição de danos ligeiros e formação dos técnicos.

5.5.4 Taxa de juros do financiamento

Torna-se importante explicitar as informações que foram levadas em consideração, para que fosse possível fazer a análise financeira do projeto. Vale lembrar que a materialização do projeto só é possível através dos fundos financiados pelos parceiros de Moçambique, sendo necessário devolver o valor acrescentado com um juro.

Desta forma, o valor acrescentado denominado juro, onde segundo Quintella (2019, p. 23), “o juro é o preço pago pela utilização temporária do capital alheio, ou seja, é o aluguel pago pela obtenção de um dinheiro emprestado” em que, com base nas condições gerais dos financiadores dos projetos em Moçambique, os juros simples aplicados ao valor financiado são do mínimo e máximo 15% e 20% respectivamente, designadas por Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Considerando juros simples do orçamento do presente projeto, o que segundo Quintella (2019), “somente o capital inicial, também conhecido como principal P, rende juros” e calculando o valor futuro pela equação abaixo:

$$M = P + J \quad (15)$$

Onde, M é o valor futuro

P é o valor investido ou solicitado

J é o juro cobrado

Assim, o valor necessário para a materialização do presente projeto (US\$ 615.570,00), aplicando uma taxa de juros de 20% ter-se-á: $M = 615.570,0 + 0,2 * 615.570,0 =$ US\$ 738.684,0.

Importa salientar que o valor a devolver ao financiador será em prestações, para não sobrecarregar a empresa com as despesas, adota-se como melhor ter o número das prestações

equivalente a vinte (20) anos, o tempo de vida do sistema proposto, correspondente a 20 prestações (n), assim o valor pago por cada ano ou cada prestação pode ser obtido do seguinte cálculo:

$$J = P \cdot n \cdot i$$

Onde, i é a taxa de juro anual porque, as prestações serão anuais, obtido pela divisão da taxa geral e o número de prestações ($i = 0,2/20 = 0,01$);

Assim, o juro anual ($n=1$) para o presente projeto será:

$J_1 = 615.570,0 \cdot 1 \cdot 0,01 = \text{US\$ } 6.155,7$ assim em diante, até no vigésimo ano que os equipamentos se tornarão obsoletos e o capital (US\$ 615.570,0) será ao critério do operador, o critério de pagamento.

5.5.5 Fluxo de caixa (*Cash-flow*)

Um projeto pode ser analisado sob diversas óticas. Pode-se considerar o projeto sob o ponto de vista do agente empreendedor da sociedade em que ele estará funcionando e interagindo, sob o ponto de vista do agente financiador, sob o ponto de vista da nação, sob os pontos de vista individuais etc. Normalmente, se distinguem duas óticas de análise: a social e a privada (NEVES, 1982 citado por QUINTELLA, 2019, p. 43).

Para o presente projeto será considerado sob a ótica social, tendo os benefícios e custos gerados pelo projeto para a sociedade como um todo. Nesse caso, os preços dos fatores de produção são avaliados em função do nível econômico na região de Matica e não priorizar como fonte de riqueza para o gestor do projeto onde este é um privado que garante o bom funcionamento da infraestrutura para melhor servir a população que necessita dos recursos ofertados.

Segundo Quintella (2019, p. 47),

a expressão Fluxo de Caixa é utilizada, indistintamente, para indicar as entradas e saídas de recursos de caixa de um projeto, ou mesmo de uma empresa, tanto ao curto prazo como nas projeções de longo prazo, nas quais são reproduzidos em cada período de tempo os investimentos, as receitas, os custos, os lucros e recursos gerados.

Para o presente projeto foi feita a projeção do fluxo da caixa um pouco mais além da definição acima, isto é, considerar apenas os valores que sobram após as despesas de natureza constantes na empresa e, também manter constante a inflação que de certa forma influencia no fluxo de caixa da empresa.

Os pontos mencionados no paragrafo anterior, foram sintetizados na Tabela 7, como forma de projetar as receitas do investimento.

Tabela 7 - Estimativa da receita (fluxo de caixa) do sistema em 20 anos (Continua).

Investimento (\$)						615570			
Período (Ano)	Grupo de Consumo	Quantidade	KWh/Mês	Custo do KWh (\$)	Receita Mensal (UDS)	Receita Anual Bruto	Custo Manutenção Anual	Juros de Financiamento	Fluxo de Caixa (UDS)
1	Familiar	800	150	0.12	14400	181.200	45.300	6.155,7	129.744,3
	Ser./Ind.	7	500	0.2	700				
	SubTotal				15100				
2	Familiar	1000	150	0.12	18000	226.800	56.700	6.155,7	163.944,3
	Ser./Ind.	9	500	0.2	900				
	SubTotal				18900				
3	Familiar	1100	150	0.12	19800	252.000	63.000	6.155,7	182.844,3
	Ser./Ind.	12	500	0.2	1200				
	SubTotal				21000				
4	Familiar	1200	150	0.12	21600	277200	69.300	6.155,7	201.744,3
	Ser./Ind.	15	500	0.2	1500				
	SubTotal				23100				
5	Familiar	1250	150	0.12	22500	288.000	72.000	6.155,7	209.844,3
	Ser./Ind.	15	500	0.2	1500				
	SubTotal				24000				
6	Familiar	1250	150	0.12	22500	288.000	72.000	6.155,7	209.844,3
	Ser./Ind.	15	500	0.2	1500				
	SubTotal				24000				
7	Familiar	1250	150	0.12	22500	288.000	72.000	6.155,7	209.844,3
	Ser./Ind.	15	500	0.2	1500				
	SubTotal				24000				
8	Familiar	1250	150	0.12	22500	288.000	72.000	6.155,7	209.844,3
	Ser./Ind.	15	500	0.2	1500				
	SubTotal				24000				
9	Familiar	1250	150	0.12	22500	288.000	72.000	6.155,7	209.844,3
	Ser./Ind.	15	500	0.2	1500				
	SubTotal				24000				
10	Familiar	1250	150	0.12	22500	288.000	72.000	6.155,7	209.844,3
	Ser./Ind.	15	500	0.2	1500				
	SubTotal				24000				
Total 1					222100	2665200	666300	61557	1937343

Fonte: Do autor (2022).

5.6 Variáveis Quantitativas de análise do Investimento

Após análise do fluxo de caixa demonstrada na Tabela 7, calculou-se os valores presentes e acumulados dos valores presentes com as seguintes fórmulas:

5.6.1 Valor Presente (VP)

Com base na fórmula, determinou-se o VP, os valores obtidos pela diferença entre a receita bruta coletada e as despesas feitas pelos valores da receita bruta, considerando o juro cobrado pelo financiador, inflação, degradação dos equipamentos e outros factores. Assim:

$$VP_n = \sum_{i=1}^n \frac{FC_n}{(1 + TMA)^n}$$

Considerando os valores do fluxo de caixa presentes na Tabela 7 e a Taxa Mínima de Atratividade de 20%, teremos:

$$VP_n = \sum_{i=1}^{20} \frac{FC_{20}}{(1 + 0,2)^{20}} = \text{US\$ } 1.186.741,72$$

5.6.2 Valor Presente Líquido Acumulado (VPL)

O VPL é determinado através da seguinte fórmula:

$$VPL = -FC_0 + \frac{FC_1}{(1+TMA)^1} + \frac{FC_2}{(1+TMA)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1+TMA)^n}$$

$$VPL = \sum_{i=1}^{20} \frac{FC_{20}}{(1 + 0,2)^{20}} - FC_0 = \text{US\$ } 1.186.741,72 - \text{US\$ } 615570 =$$

$$VPL = \text{US\$ } 571.171,72$$

Desta forma, a tomada de decisão por meio do VPL é satisfeita pelo fato de que o resultado obtido foi maior que zero, como regra dita neste critério (STRACHOSKI, 2011):

5.6.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR pode ser determinada de duas formas diferentes, mas tendo o valor esperado conhecido por valor futuro pela Tabela 7, determinou-se o valor da TIR pela seguinte fórmula:

$$F = P * (1 + i)^n \Leftrightarrow$$

$$i = \sqrt[n]{\frac{F}{P}} - 1 = \sqrt[20]{\frac{1.186.741,72}{571171,72}} - 1 = 33,72\%$$

5.6.4 Tempo de Retorno (TR)

O TR também chamado *payback* na língua inglesa, mostra o tempo em que o capital investido será recuperado ou ele evidencia tempo de viabilidade mínima do projeto. Para Kassai *et al.* (2000 citado por STRACHOSKI, 2011, p. 38),

o *payback* é o período de recuperação de um investimento e consiste na identificação do prazo em que o montante do dispêndio da capital efetuado seja recuperado por meio dos fluxos líquidos de caixa gerados pelo investimento. É o período em que os valores dos investimentos (fluxos negativos) se anulam com os respectivos valores de caixa (fluxo positivo).

Como demonstrado na Tabela 8, os valores negativos terminaram no quinto ano, o sexto ano será apenas 1 ou 2 meses a pagar. Desta forma, aplicando a fórmula abaixo, ter-se-á o tempo de retorno do investimento (*PayBack*) correspondente a 6 anos, tendo acumulado um valor de US\$ **3.420.216** também chamado do valor futuro como lucro bruto da empresa, taxa de operatividade de 1,93% e taxa interna de retorno de 37,2% que demonstra grande confiabilidade no projeto em curso, como demonstrado na Tabela abaixo.

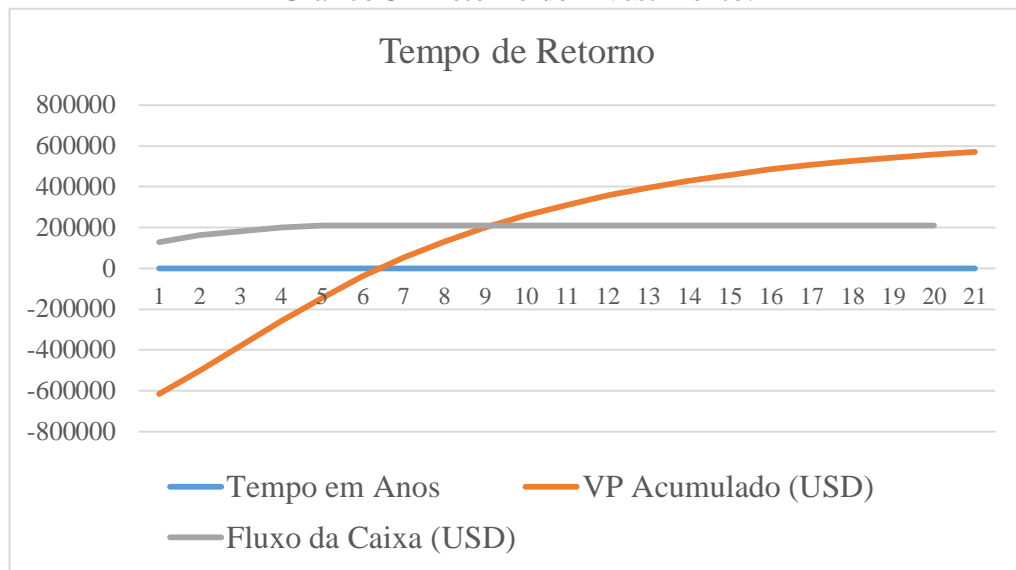
Tabela 8 - Cálculo do tempo de retorno do investimento (continua).

Investimento (US\$)		615570	
Taxa de Desconto		15%	
Período (Ano)	Fluxo da Caixa (US\$)	VP (US\$)	VP Acumulado (US\$)
0	-615.570	-615.570	-615.570
1	129.744,3	112.821,13	-502.748,87
2	163.944,3	123.965,44	-378.783,43
3	182.844,3	120.223,09	-258.560,33
4	201.744,3	115.347,95	-143.212,37
5	209.844,3	104.329,70	-38.882,67
6	209.844,3	90.721,482	51.838,81
7	209.844,3	78.888,25	130.727,06
8	209.844,3	68.598,474	199.325,53
9	209.844,3	59.650,85	258.976,38
10	209.844,3	51.870,30	310.846,68
11	209.844,3	45.104,61	355.951,29
12	209.844,3	39.221,40	395.172,69
13	209.844,3	34.105,57	429.278,26
14	209.844,3	29.657,01	458.935,27
15	209.844,3	25.788,71	484.723,98
16	209.844,3	22.424,96	507.148,94
17	209.844,3	19.499,97	526.648,91
18	209.844,3	16.956,49	543.605,40
19	209.844,3	14.744,78	558.350,18
20	209.844,3	12.821,55	571.171,72

Soma de VPs (Ano 1 a 20) (US\$)	1.186.741,72
VPL do Projecto (US\$)	571.171,72
Taxa Interna de Retorno (TIR)	37,2%
Taxa de Lucratividade	1,93
Tempo de Retorno (Anos)	5,4

Fonte: Do autor (2022).

Gráfico 3 - Retorno do Investimento.



Do Gráfico, é notável que a partir do sexto ano é o tempo onde começa a se somar os lucros do projeto, após o retorno do capital investido.

6 ENQUADRAMENTO REGULATÓRIO DO PROJETO

Após a obtenção dos resultados, uma vez que se trata de um projeto que pretende ser implementado em Moçambique, houve necessidade de descrever o seu enquadramento no plano do governo de Moçambique. Tendo em conta que a iniciativa é privada, como forma de viabilizar é criar uma parceria com o mesmo governo com a finalidade de promover o desenvolvimento do país. Desta forma, se descreve esta possibilidade, através dos decretos existentes.

6.1 Regulamento dos sistemas FV em Moçambique

Segundo Moçambique (2019, p. 2)

o Governo de Moçambique, consciente das circunstâncias que o país atravessa no setor energético, pretende implementar, dentro dos próximos 8 anos, o acesso à eletrificação universal que constitui o objetivo 7 dos 17 objetivos da Agenda 2030 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), da qual Moçambique é signatário.

Para a concretização desta atividade, o governo elaborou um regulamento que conecta o setor privado e público na edificação de infraestruturas que beneficiam os moçambicanos.

6.2 Parceria público-privado em Moçambique

Parceria Público-Privado (PPP) como uma cooperação entre atores públicos e privados com um caráter durável no qual os atores desenvolvem produtos e/ou serviços mútuos e em que os riscos, custos e benefícios são divididos segundo Gonçalves (2020, p. 18), em que “o privado inicia com fundos primários ou secundários, construindo a infraestrutura totalmente privada e que, posteriormente, faz um contrato com o governo, como forma de garantir que o governo não preocupasse em mobilizar fundos para implementação de projeto similar no mesmo local.”

Pode ocorrer parceria público-privado onde, das infraestruturas do governo, uma empresa privada é contratada para gestão das mesmas, dividindo seus lucros no final de cada exercício econômico, uma modalidade que Cabral e Lazzarini (2008 citado por GONÇALVES, 2020, p. 22) argumentaram que “as PPPs podem se constituir em mecanismos de transferência parcial de direitos residuais de controle sobre os ativos, garantindo dentro do mesmo arranjo a legitimidade do setor público com a flexibilidade e os incentivos do setor privado.”

Os projetos de infraestruturas para PPPs compreendem diversos tipos de investimentos fixos, e que são caracterizados pelo tempo na construção e operação, bem como pela indivisibilidade, intensidade de capital e um processo de avaliação complexo (GRIMSEY; LEWIS, 2002 citado por GONÇALVES, 2020). Este tipo de infraestrutura geralmente requer um alto investimento inicial, só é financeiramente viável a longo prazo e que a política dos bancos em Moçambique não permite financiar projetos para depois ficar acima de 6 meses sem pagar as prestações mensais, aspecto pelo qual afastar o setor privado desse tipo de investimentos tendo como foco fundos obtidos através de bancos nacionais. Mas, para um privado com fundos próprios, são bem-vindos a investirem em qualquer setor que julgarem viável.

Dos projetos privados julga-se ter capacidade de investir, são fundamentadas pela Lei n.º 15/2011 de 10 de agosto de 2011 onde, na sua alínea b do artigo 2 fundamenta que o estado regulador (Governo Moçambicano), deixa de exercer diretamente uma série de atividades até então por ele monopolizadas. Em um sentido amplo, isso compreende a quebra de monopólios, a desregulação, a concessão e permissão de serviços públicos e a terciarização. Com isso, a iniciativa privada passa a exercer uma série de atividades até então monopolizadas pelo Estado, como serviços públicos de energia elétrica, telecomunicações, portos, rodovias e outros. Por um lado, o Estado abstém-se de exercer essas atividades que o particular tem condições de prestar, por outro, assume o papel de coordenar, fiscalizar e fomentar a iniciativa privada, especialmente quando isso for de interesse público (GONÇALVES, 2020).

6.3 Parceria Publico-Privado no setor energético em Moçambique

Das problemáticas verificadas em 2013, no setor de energia em Moçambique, onde o país registou mais casos graves de distúrbios no fornecimento de corrente elétrica, totalizando 13 situações (NHAMIRE; MOSCA, 2014). Isto pode resultar, por um lado, na degradação da infraestrutura de transporte e distribuição de energia que, em grande parte, foi herdada do período colonial e não tem beneficiado de manutenção. Por outro lado, a EDM, empresa com mandato para a produção e distribuição de energia elétrica em todo território nacional, e prestadora de serviço de muito baixa qualidade, não tem competitividade comercial, os custos de produção estão acima das receitas e sobrevive de subsídios do Governo, sofre influências políticas excessivas na sua gestão e tem pautado pela falta de transparência nos seus negócios.

O governo Moçambicano (Ministério de Energia e o Ministério de Economia e Finanças) solicitou, dentro do seu plano de atividade, um financiamento junto do Banco

Mundial para acelerar a eletrificação das zonas sem acesso à energia elétrica. Desta feita, o governo traça Estratégia Nacional de Eletrificação (ENE) na qual apoia a expansão do acesso de energia às áreas periurbanas e rurais, aproveitando e ampliando a rede elétrica nacional existente. Nos locais onde, a curto e médio prazo, não se afigura provável a expansão da rede nacional de energia. Serão implantadas as Minirredes com geração de fotovoltaica (MOÇAMBIQUE, 2019, p. 33), uma atividade direcionada ao FUNAE e organizações privadas que poder-se-á ter parceria público privado, através de um contrato de gestão ou mesmo implementação dos sistemas.

Neste contexto, o MIREME, a EDM e o FUNAE pretendem garantir o financiamento para o Projeto de Energia para Todos (ProEnergia), em inglês denominado *Mozambique Energy for All Project* (ProEnergia) através da IDA (*International Development Association*). Este projeto pretende intensificar o acesso à eletricidade tanto para famílias, quanto para as empresas com duração inicial de 4 anos, tendo iniciado as suas atividades em 2019 (MOÇAMBIQUE, 2019).

Da mesma forma, o governo Moçambicano junto ao MIREME, abre espaço para acomodar o setor privado através da componente 2 “Eletrificação através de Minirredes fotovoltaicas e sistemas solares domésticos (SSD)”, orçada em US\$ 13 Milhões, será implementada pelo FUNAE através de parcerias público-privada (PPP) com base em contratos de venda de energia a EDM, em áreas onde a ligação de rede nacional não é viável a curto e médio prazo. Os SSD apoiarão a expansão do mercado de energia fora da rede nacional, com foco em províncias selecionadas na região Norte, onde a incidência de pobreza é alta. O Financiamento Baseado em Resultados (FBR) apoiará principalmente os SSD devidamente certificados pelo seu nível de qualidade e potencialmente outras tecnologias energéticas, tais como bombas de água solar para a agricultura, onde (MOÇAMBIQUE, 2019, p. 23):

as Mini – Redes terão uma central fotovoltaica, donde partirá uma rede de distribuição de energia de média tensão para no mínimo 150 consumidores com uma procura de 250 ao 500 kVA. A instalação da central de maior capacidade (500 kVA) irá requerer cerca de 1 ha de terra. Da central fotovoltaica, uma linha de média tensão transportará a energia para a rede de distribuição de baixa tensão.

De certa forma a estratégia adotada pelo MIREME abre espaço para o presente projeto para a sua implementação na localidade de Matica, através de fundos existentes. Por um lado se constitui prioridade para o governo Moçambicano a eletrificação da localidade em causa, mas também pode-se procurar um financiamento externo para viabilizar o projeto através da parceria público-privado.

6.4 Formalização da Gestão e Sustentabilidade do Projeto

6.4.1 Equipe de Gestão do Projeto

Para garantir a durabilidade e o bom funcionamento de uma infraestrutura de investimento, torna-se importante o envolvimento de equipe qualificada que, por um lado constitui uma das ações na gestão energética e, por outro lado, executa as atividades com zelo e dedicação. Segundo Rodrigues e Ferreira (2020, p. 25), o “Sistema de Gestão Energética (SGE), garante a continuidade dos resultados das ações implementadas, inserindo os projetos em uma ampla e organizada iniciativa municipal, com a proposta de diminuir de forma significativa e contínua os consumos e custos, além de estimular comportamentos e ações conscientes”. Desta forma, a equipe de gestão do sistema fotovoltaico de Matica garantirá a não vandalização dos equipamentos que compõe o sistema fotovoltaico.

Para a implementação de SGE deve ser criado um comitê permanente de variada responsabilidade dos envolvidos, formados por profissionais de diversas secretarias, com o objetivo de desenvolver e organizar as iniciativas, mensurar e garantir os resultados de redução. O que leva o autor do presente projeto formar equipe e capacitá-la, isto é, admitir para seu quadro do pessoal, jovens com nível de escolaridade aceitável, de modo a prestar serviços de manutenção do sistema. De salientar que para a equipe referida deve se levar em consideração o envolvimento comunitário, visto que, esta particularidade constitui uma das obrigações de um projeto de investimento e com finalidade do benefício da população local (RODRIGUES; FERREIRA, 2020).

Em paralelo à equipe anterior referida, far-se-á uma palestra e conseqüentemente as entidades beneficiadas pelo sistema FV serão responsabilizadas, para evitar cenários de vandalização, referidos anteriormente, e que também pautem pela manutenção em pequenas avarias que poderá haver.

De igual modo o autor busca os argumentos que ditam ser indispensáveis à existência de uma equipe capaz de fazer a fiscalização das atividades, e também contada no quadro dos funcionários, através de um vínculo formal, de acordo com a legislação do país onde o projeto pretende ser executado. Desta forma, a equipe para execução do presente projeto na prática é necessário 1 Engenheiro elétrico que monitorará as ligações necessárias, 1 Engenheiro civil que operará na edificação da estrutura e 1 Técnico de segurança no trabalho (MIRANDA; GUEDES, 2019).

6.4.2 Sustentabilidade do Projeto

Diz-se sustentabilidade de um projeto quando há retorno do investimento, assim como reaplicar a estratégia em outros locais de interesse, algo fundamental a pensar para o presente projeto específico que pode também ser replicado para outras tipologias e secretarias, com as devidas modificações. Torna-se recomendável uma rotina de treinamentos para a manutenção e possível ampliação das melhorias implementadas por todo o município. Neste contexto, para o presente projeto previsto para *Matica* como projeto piloto, é com base na sustentabilidade do mesmo que se garante a projeção para outros locais com a mesma necessidade energética (RODRIGUES; FERREIRA, 2020)

Como forma de garantir a sustentabilidade do projeto piloto, o autor fez uma avaliação financeira do projeto, analisando o tempo de retorno, fluxo de caixa, valores futuros, etc., constante no capítulo a seguir.

7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Por último são apresentadas conclusões da viabilidade de uma tecnologia comparativamente a outra, detalhando as limitações de forma clara e minuciosa, tendo o foco nos dados coletados na localidade de Matica e as necessidades energéticas da população residente.

7.1 Conclusão

Os orçamentos obtidos para as duas tecnologias (Sistema Fotovoltaico com US\$ 615.570,00 e a extensão da REN US\$ 942.310,80), dá vantagem ao sistema fotovoltaico com uma diferença na ordem de US\$326740 para instalação na localidade de Matica, no distrito de Sussundenga. A viabilidade sob o ponto de vista custo *versus* benefício para o sistema fotovoltaico pode ser analisada pelo poder de compra da comunidade da localidade de Matica, baseada nas atividades por elas praticadas como fonte de renda e os serviços poderão existir após a eletrificação local.

A situação socioeconômica da localidade de Matica é semelhante ao distrito de Ribaué quando foi eletrificado pela primeira vez. A caracterização do distrito Ribaué feita por Tembe (2008), o qual afirma ter coberto o investimento através da principal atividade praticada pelos residentes do distrito. Além disso, o custo-benefício de um investimento para eletrificação rural cria oportunidades no desenvolvimento local gerando maiores oportunidades de emprego e transformação estrutural nas áreas, em um curto espaço de tempo.

A localidade de Matica possui a agricultura com foco na produção de Macadâmia que posteriormente é exportada para a vizinha África do Sul, para fins de processamento. Com a eletrificação local será possível regar as plantas e permitir a implantação de uma sede da empresa, com foco no processamento, o que também trará maior retorno à comunidade. Eletrificar a sede da localidade ajudará no desenvolvimento, atraindo mais projetos e garantindo a expansão da rede de distribuição da água potável e outros serviços.

Do ponto de vista financeiro, analisando a recuperação do investimento, levou-se em conta o número de beneficiários e a energia necessária para responder à demanda, tendo em consideração a tarifa da concessionária de energia em Moçambique (EDM) que, por sua vez encontra-se subdividida em categorias, como demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9 - Categoria Social, Doméstica, Agrícola e Geral (BT).

PREÇO DE VENDA POR CATEGORIA TARIFÁRIA					
CONSUMO REGISTRADO (KWH)	Tarifa Social (Mt/kWh)	Tarifa Doméstica (Mt/kWh)	Tarifa Agrícola (Mt/kWh)	Tarifa Geral (Mt/kWh)	TARIFA FIXA (MT)
DE 0 A 125	0,97				
DE 0 A 300		6,00	3,69	9,32	233,37
DE 301 A 500		8,49	5,26	13,31	233,37
SUPERIOR A 500		8,91	5,75	14,56	233,37
PRÉ – PAGAMENTO	0,97	7,64	5,11	13,34	

Fonte: EDM (2022).

O retorno do investimento foi calculado considerando 5 indústrias moagueiras, 1 hospital, 2 escolas (sendo uma com curso noturno), 3 furos de água, 1 sede da localidade, 2 fazendas de Macadâmia, outros edifícios com eletrodomésticos de maior potência (superior a 1000w) e, 1250 famílias.

Dos resultados obtidos com a presente pesquisa, conclui-se a viabilidade de eletrificar a zona rural de Matica através de sistema solar fotovoltaico (minirrede) capaz de melhorar a vida das populações locais tendo acesso à água potável do subsolo e purificada através de equipamentos próprios, acesso à informação através da televisão, rádio, celular e outros.

De igual modo, com a disponibilidade energética local, espera-se o melhoramento do atendimento em hospital local onde, atualmente, os pacientes que sofrem de mordedura de cão, cobra ou mesmo qualquer animal feroz, o seu tratamento em situação grave tem sido levado ao hospital da sede onde há conservação do "VAT, Oxitocina, BCG, PCV e outros" como medicamento usado no seu tratamento, assim como estancar a hemorragia e outros fins.

No que diz respeito à sociedade em geral, com a existência de energia elétrica na localidade, espera-se ter também iluminação pública que, de certa forma irá minimizar os trabalhos dos malfeitores da zona, circulação de animal feroz como mencionado acima. É do interesse do governo beneficiar 980 famílias que residem na localidade, mas por vários motivos, esta fase não é concretizada. De certa forma, pode ser mesmo a falta de preocupação do governo local em procurar financiamento para eletrificação da localidade, por achar inviável, mas, com a presente pesquisa desperta atenção neles em trazer solução de uma indagação que tinham há anos.

Conclui-se também que são mais de 650 alunos da Escola Primária do 1º e 2º graus de Matica, passarão a ter acesso à energia elétrica, o que pode implicar a frequência de curso noturno na mesma escola. Pode não ser do ensino primário do 1º grau, mas há possibilidade de obter algumas turmas da 6ª e 7ª classes a frequentar o curso noturno.

De uma forma geral, a eletrificação da zona rural de Matica, traz grande benefício à população local assim como o governo, devido ao intercambio de negócio realizado com a comunidade local e as receitas que a mesma poderá pagar na execução das suas atividades de negócio.

7.2 Recomendações

Constituem próximas etapas do projeto: a inserção de uma alternativa opcional que responde às limitações do sistema FV, isto é, durante a noite ou dias nublados e possíveis falhas do sistema, a segunda alternativa poderá atender às necessidades energéticas do centro de saúde, a escola local que poderá ter curso noturno e outros locais pertinentes a iluminação em interrupção. Uma hipótese a ser analisada é a instalação de geradores a diesel que, na ordem de \$10.000, pode-se adquirir um gerador com capacidade de 10 kVA, para atender a uma instituição pública local. Durante a execução das atividades, poder-se-á avaliar quais e quantas instituições que realmente precisam de geradores desta capacidade.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. M. S. Eletrificação rural e energia de fontes renováveis. Seminário estudantil de produção acadêmica. **Revistas da UNIFACS**, Salvador, 2013.
- ÁVILA, N. *et al.* Produção de energia para um desenvolvimento sustentável e equitativo. *In: _____*. **O desafio energético na África subsariana: guia para defensores e decisores políticos**. Berkeley, CA: OXFAM, 2017. p. 16-84.
- DEICHMANN, U. *et al.* The economics of renewable energy expansion in rural Sub-Saharan Africa. **Energy Policy**, Guildford, v. 39, n. 1, p. 215–227, 2011.
- FERRARI, N. C. **Análise do desempenho e degradação ao longo do tempo de usinas fotovoltaicas localizadas no Peru**. 2021. 25 f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia de Energia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.
- GASPARIN, F. P. *et al.* **Eficiência energética e energia solar fotovoltaica em prédios públicos: guia prático para a preparação de investimentos urbanos**. São Paulo: MME, 2020.
- GONÇALVES, O. J. **A regulação pública das parcerias pública Privado em Moçambique**. Disponível em: https://www.concorrencia.pt/sites/default/files/documentos/outros/CR48_OctavioGoncalves_v2.pdf. Acesso em: 22 maio 2020.
- GOSWAMI, D. Y. **Principles of solar engineering**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2015.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation**. Cambridge: Cambridge University, 2011.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Solar energy perspective. Organization for Economic Cooperation & Development**. Paris, 2011.
- JORDAN, D. *et al.* Compendium of photovoltaic degradation rates. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, Chichester, v. 24, p. 978–989, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/pip.2744>. Acesso em: 12 jun. 2022.
- JUCÁ, S.C. S.; CARVALHO, P. C. M. **Métodos de dimensionamento de sistema fotovoltaicos: aplicações em dessalinização**. Duque de Caxias: Monique Dias Rangel Dutra, 2013. 84 p.
- LACERDA, K. D. R. **Parâmetros que influenciam na geração de energia solar fotovoltaica**. 2014. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.
- LOYD, P. J. The role of energy in development. **Journal of Energy in Southern Africa**, Cape Town, v. 28, n. 1, p. 54-62, 2017.
- LIMA, A. A. Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, 2020.

LUQUE, A.; HEGEDUS, S. **Photovoltaic science handbook of photovoltaic science**. 2nd. Hoboken: Wiley & Sons, 2003.

MATOS, D. C. **Pobreza energética na União Europeia: do conceito à realidade**. 2017. 44 p. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade do Porto, Porto, 2017.

MENEZES, E. M. **Metodologias da pesquisa e elaboração de dissertação**, 3. ed. Florianópolis: UFSC, 2001.

MIRANDA, U.; GUEDES, W. **Projeto básico para iluminação de uma planta de geração solar fotovoltaica predio CPMR – CCS-2/UFRJ**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2019.

MOÇAMBIQUE. Ministério dos Recursos Minerais e Energia (MIREME). **Estratégia de desenvolvimento de energias novas e renováveis para o período 2011-2025**. Maputo, 2011.

MOÇAMBIQUE. Ministério dos Recursos Minerais e Energia (MIREME). **Projeto de energia para todos (ProEnergia)**. Quadro de Políticas de Gestão Ambiental e Social (QPGAS). Maputo, 2019.

MOURA, T. P. **Geração de energia fotovoltaica: análise comparativa entre redeção no Brasil e maputo em Moçambique**. 2019. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2019a/eng/geracao.pdf>. Acesso em: 21 set. 2022.

MOZAMBIQUE ELECTRICITY (EDM). **Integrated Master Plan Mozambique power system development**. Maputo, 2018.

MULDER, P.; TEMBE, J. **Eletrificação Rural em Moçambique valera a pena o investimento?** Maputo: IESE, 2007.

NATIONAL ENERGY FUND OF MOZAMBIQUE (FUNAE); MOZAMBIQUE ELECTRICITY (EDM). **Projecto Energia para Todos (ProEnergia), Quadro da Política de Reassentamento**. Maputo, 2019.

NATIONAL INSTITUTE OF STATISTICS (INE). **Resultados definitivos do IV Censo do Recenseamento Geral da População e Habitação**. Maputo, 2019.

NHAMIRE, B.; MOSCA, J. **Eletricidade de Moçambique: mau serviço, não transparente e Politizada**. Maputo: Centro de Integridade Pública (CIP), 2014.

PEREIRA, F.; OLIVEIRA, M. **Curso técnico instalador de energia solar fotovoltaica**. Porto: Edições Publindustria, 2011.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Esta é uma tradução não oficial da seção "Sustainable Development Goals and targets" do documento "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development"**. 2015. Disponível em: https://www.estrategiaods.org.br/wp-content/uploads/2015/09/ODS_oficial.pdf. Acesso em: 23 fev. 2022.

QUINTELLA, M. **Análise de Projetos de Investimentos**. Rio de Janeiro: FGV, 2019.

RODRIGUES, J. V. J. B.; FERREIRA, M. M.M. **Estudo preliminar de viabilidade econômica de geração de energia solar fotovoltaica conectada à rede em uma fábrica de montagem de motores**. 2020. 88 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: Labsolar, 2004. 114 p.

RSIUEE, Decreto-Lei no 740/74, de 26 de Dezembro, 1990

SALITE, D.; COTTON, M. D.; KIRSHNER, J. D. **Acesso a eletricidade e sustentabilidade social em Moçambique**. Oxford: Oxford Policy Management, 2020.

SEBASTIÃO, A. P. O Modelo da eletrificação de Moçambique: a importância para o desenvolvimento. **Revista Internacional de Gestão e Comunicação**, Lisboa, n. 8, 2016.

STRACHOSKI, P. **Análise de viabilidade econômica de um projeto de investimento em uma indústria de artefatos de cimentos**. 2011. 56 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Contábeis) - Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, 2011.

TEMBE, J. MULDER, P. Eletrificação rural em um mundo imperfeito: um estudo de caso de Moçambique. **Energy Policy**, Guildford, v. 36, p. 1-9, 2008.

TIDWELL, J. W.; WEIR, A. D. **"Renewable Energy Resources"**. 2nd ed. Abingdon: Taylor & Francis Group, 2006.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP). **Sistemas de distribuição: aspectos gerais de sistema de distribuição**. São Paulo, 2018. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/apostila_sdee_01. Acesso em: 21 mar. 2022.

VIANA, T. S. **Avaliação da irradiação solar direta e do potencial da geração solar fotovoltaica com sistemas com concentração no Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.