



**UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE**

FACULDADE DE CIÊNCIAS

CENTRO DE PESQUISAS EM ENERGIAS

MESTRADO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

Dissertação de Mestrado

**Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de
produtos e dos efeitos no local de instalação**

Candidato:

Eugénio Gabriel Jambo

Supervisores:

Prof. Doutor Rogério Uthui

Prof. Doutor Sverker Molander

MAPUTO

SETEMBRO DE 2025

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

Eugénio Gabriel Jambo

REPERCUSSÕES AMBIENTAIS DO USO DA ENERGIA SOLAR: ANÁLISE DA CADEIA DE PRODUTOS E DOS EFEITOS NO LOCAL DE INSTALAÇÃO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis.

Supervisor:

Professor Doutor Rogério Uthui

Co – Supervisor:

Professor Doutor Sverker Molander

Autor:

Eugénio Gabriel Jambo

MAPUTO

SETEMBRO DE 2025

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

Declaração de honra

Eu, **Eugénio Gabriel Jambo**, declaro por minha honra que esta dissertação nunca foi apresentada para a obtenção de qualquer grau académico ou num outro âmbito e que ela constitui o resultado de trabalho de campo e pesquisas bibliográficas por mim realizados, estando as fontes utilizadas devidamente apresentadas no texto e na bibliografia. Esta dissertação é apresentada em cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do grau de mestre da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Setembro de 2025

Eugénio Gabriel Jambo

Agradecimentos

Ao meu supervisor Prof. Doutor Rogério Uthui, docente da Universidade Eduardo Mondlane da Faculdade de ciências (FC-UEM) e ao meu co-supervisor Professor Doutor Sverker Molander, docente de *Chalmers University of Technology*, Gotemburgo, Suécia, pela disponibilidade, dedicação e atenção que tiveram comigo durante a realização deste trabalho;

À minha família, em especial à minha mulher Sandra Salvador Mbaeco e ao meu filho Owen Eugénio Jambo, aos meus irmãos Ana Jambo, Ernesto Jambo e Anselmo Jambo e aos meus primos e tios que tanto me deram apoio moral durante a minha formação;

Ao meu amigo de infância e colega de carteira do ensino pré-universitário Desejo João Gerónimo, amigo este que me deu informações sobre o lançamento da primeira edição do curso de Mestrado em Ciências e Tecnologia de Energias Renováveis na Universidade Eduardo Mondlane e que me encorajou a concorrer para este curso, o meu muito obrigado.

Aos funcionários da Electricidade de Moçambique (EDM), do Fundo Nacional de Energias FUNAE, ao Governo do Distrito de Dondo, especialmente ao Sr. Peres Manuel Afonso, Líder do bairro de Macharote, pela ajuda incondicional de alojamento e alimentação em tempos de recolha de dados no campo;

Aos meus colegas de carteira Eng. José Pedro Uanicela e Eng. Octávio José Tereso, e outros que aqui não mencionei, não se sintam esquecidos;

A todos vocês e outros que não mencionei do “fundo do meu coração” vai um “muito obrigado”.

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

Dedicatória

À toda minha família, em especial à minha mulher *Sandra Salvador Mbaeco* e ao meu príncipe *Owen Eugénio Jambo*;

DEDICO!

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

Resumo

Com o aumento das alterações climáticas, a emissão de gases do efeito estufa e os impactos ao meio ambiente, a necessidade de reduzir o uso de combustíveis fósseis tornou-se uma prioridade global. As energias renováveis podem ser uma boa alternativa para a mitigação de impactos ambientais. Especialmente a energia solar que é uma energia contínua e abundante. A energia fotovoltaica provém do efeito do mesmo nome e resulta da transformação da energia solar em energia eléctrica.

A matéria-prima na tecnologia fotovoltaica é o silício de 99,9% de pureza. Para isso, deve-se purificar o silício natural para produzir o *wafer* (bolacha, primeiro produto de silício puro) e seguir os demais processos até se chegar ao módulo fotovoltaico. No entanto, a produção do módulo pode gerar impactos ao meio ambiente. Este trabalho tem por objectivo avaliar os impactos ambientais causados em todo o processo produtivo do módulo fotovoltaico (FV) por meio de uma avaliação do ciclo de vida (ACV) e avaliar os impactos ambientais no local da produção de energia eléctrica por meio de pesquisa por inquérito da comunidade local do projecto (bairro de Macharote, na cidade de Dondo).

A unidade funcional, escolhida para a ACV foi o quilowatt-hora (1 kWh) e toma-se como base o processo de geração de 330 kWh através do efeito FV ou da geração fotovoltaica e da energia hidroeléctrica. Aquela quantidade representa a energia típica necessária para alimentar uma residência de porte médio durante um mês. Para analisar a ACV, foi utilizado o *Software* GaBi e os indicadores analisados foram o consumo de água e energia, o Potencial de Aquecimento Global (PAG), o Potencial de Acidificação (PA), o Potencial de Eutrofização (PE), o Potencial de Toxicidade Humana (PTH) e a Depleção Abiótica Fóssil (DAF). Para analisar os impactos ambientais no local do projecto foram considerados questionários por inquérito referente ao meio físico, biótico e socio-económico.

Os resultados obtidos apontam para a existência de maior contribuição do módulo fotovoltaico em todas as categorias de impacto ambiental analisadas, isso se deve ao facto de além do conjunto de células solares, o módulo também ser constituído por vidro e alumínio que agregam grande contribuição nos impactos ambientais. Em seguida a purificação do silício, a extracção do silício,

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

e a produção do *wafer*. A célula não apresentou nenhuma contribuição relativa devido ao facto de seus percentuais não terem alcançado 1% em todas categorias.

A população de Macharote, especialmente a população economicamente activa dos núcleos urbanos mais próximos, cria uma expectativa quanto à melhoria de vida pela oferta de empregos directos ou indirectos, bem como pelas oportunidades que surgirão quanto à forma de oportunidade de negócios, oportunidade de qualificação profissional, melhoria dos níveis de escolaridade e desenvolvimento económico da cidade de Dondo.

De acordo com a visita efectuada e as entrevistas feitas aos moradores locais do projecto e os estudos preliminares determinaram a inexistência de questões suficientemente significativas para impedirem o prosseguimento da execução do projecto de construção da Central Solar de Dondo.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica, Avaliação de ciclo de vida, Impactos Ambientais.

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

Abstract

With the increase in climate change, the emission of greenhouse gases and the impacts on the environment, the need to reduce the use of fossil fuels has become a global priority. Renewable energies can be a good alternative for mitigating environmental impacts. Especially solar energy which is continuous and abundant energy. Photovoltaic energy comes from the effect of the same name and results from the transformation of solar energy into electrical energy.

The raw material in photovoltaic technology is 99.9% pure silicon. For this, the natural silicon must be purified to produce the wafer (wafer, the first pure silicon product) and follow the other processes until reaching the photovoltaic module. However, the production of the module can generate impacts to the environment. This work aims to evaluate the environmental impacts caused throughout the production process of the photovoltaic module (PV) through a life cycle assessment (LCA) and to evaluate the environmental impacts at the place of production of electricity through research by survey of the project's local community (neighborhood of Macharote, in the city of Dondo).

The functional unit chosen for the LCA was the kilowatt-hour (1 kWh) and is based on the process of generating 330 kWh through the PV effect or photovoltaic generation and hydroelectric energy. That amount represents the typical energy needed to power a medium-sized home for a month. To analyse the LCA, the GaBi Software was used and the analysed indicators were the water and energy consumption, the Global Warming Potential (GWP), the Acidification Potential (PA), the Eutrophication Potential (PE), the Potential of Human Toxicity (PTH) and Fossil Abiotic Depletion (DAF). In order to analyse the environmental impacts on the project site, survey questionnaires regarding the physical, biotic and socio-economic environment were considered.

The obtained results point to the existence of a greater contribution of the photovoltaic module in all categories of environmental impacts analysed, this is due to the fact that in addition to the set of solar cells, the module also consists of glass and aluminium that add a great contribution to the environmental impacts. Then the processes of silicon purification, silicon extraction, and wafer production. The cell did not present any relative contribution due to the fact that its percentages did not reach 1% in all categories.

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

The population of Macharote, especially the economically active population of the nearest urban centres, creates an expectation regarding the improvement of life by offering direct or indirect jobs, as well as the opportunities that will arise in terms of business opportunities, opportunities for professional qualification, improvement of schooling levels and economic development in the city of Dondo.

According to the visit carried out and the interviews carried out with the local residents of the project and the preliminary studies, it was determined that there were no issues significant enough to prevent the continuation of the execution of the construction project of the Solar Power Station in Dondo.

Keywords: Photovoltaic Energy, Life Cycle Assessment, Environmental Impacts.

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

Lista de figuras

Figura 1 – Estrutura e partes do sol.	7
Figura 2 – Espectro Electomagnético	8
Figura 3 – Ranking dos 10 maiores fornecedores de módulos fotovoltaicos	10
Figura 4 – Cadeia de produção do silício cristalino.....	10
Figura 5 – Potencial de Energia Solar no Mundo.	11
Figura 6 – Localização geográfica da Central Solar Fotovoltaica	19
Figura 7 – Localização da AID e AII do Projecto conforme definidas para o meio físico	20
Figura 8 – Localização da AID e AII para o meio biótico.....	21
Figura 9 – Áreas de Influência do Projecto para o meio socio-económico	22
Figura 10 – Célula de Silício Monocristalino e Célula de Silício Policristalino	24
Figura 11 – Célula solar de Filme fino.	25
Figura 12 – Encapsulamento do módulo fotovoltaico.	27
Figura 13 – Diagrama de um sistema fotovoltaico isolado.....	28
Figura 14 – Diagrama de um sistema fotovoltaico ligado à rede de distribuição.....	29
Figura 15 – Diagrama de um sistema fotovoltaico híbrido.....	30
Figura 16 – Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida.	36
Figura 17 – Etapas básicas no processo de ACV.....	37
Figura 18 – Principais maneiras de definir a fronteira de um sistema.....	38
Figura 19 – Fronteira do sistema escolhido e cada processo analisado.....	47
Figura 20 – Divisão Administrativa da cidade de Dondo.....	56

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

Lista de tabelas

Tabela 1 – Dados de inventário para a purificação do silício monocristalino	47
Tabela 2 – Dados do inventário para a produção do <i>wafer</i> monocristalino.....	48
Tabela 3 – Dados do inventário da produção da célula monocristalina	49
Tabela 4 – Dados de inventário da produção do módulo fotovoltaico	52
Tabela 5 – Especificações técnicas do módulo fotovoltaico monocristalino	53
Tabela 6 – Apresentação dos dados do inquérito.....	57
Tabela 7 – Programa de visita à EDM e ao distrito de Dondo, Bairro de Macharote	57
Tabela 8 – Contactos estabelecidos durante a pesquisa.....	58

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

Lista de gráficos

Gráfico 1 – Tendências Globais da capacidade de geração de energia eléctrica fotovoltaica, instalada entre 2010 – 2020	12
Gráfico 2 – Potencial fotovoltaico por classe de radiação global	14
Gráfico 3 – Projectos fotovoltaicos prioritários em Moçambique por província	15
Gráfico 4 – Custo nivelado de energia dos projectos prioritários de PV	16
Gráfico 5 – Avaliação dos Impactos ambientais em categorias	60
Gráfico 6 – Expectativas da população de Macharote com o projecto de construção da Central	63
Gráfico 7 – Impactos causados pela concentração de diversos trabalhadores.....	65
Gráfico 8 – Impactos causados pelo fluxo de maquinaria no local do projecto	68

Lista de abreviaturas e símbolos

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida
AIA – Avaliação de Impactos Ambientais
AID – Área de Influência Directa
AII – Área de Influência Indirecta
DAF – Deplecção Abiótica Fóssil
EDM – Electricidade de Moçambique
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
EVA – Acetato Vinil Etileno
FV – Energia fotovoltaica
FUNAE – Fundo Nacional de Energia
GEE – Gases do Efeito de Estufa
ICV – Inventário de Ciclo de Vida
LCA – Life Cycle Assessment
OPVs – Organic Photovoltaics
PV – Geração Fotovoltaica
PAG – Potencial de Aquecimento Global
PA – Potencial de Acidificação
PDA – Potencial de Deplecção Abiótica
SiGS – Silício Grau Solar
SiGM – Silício Grau Metalúrgico
SiGE – Silício Grau Electrónico
UEM – Universidade Eduardo Mondlane

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

Lista de anexos

Anexo 1 – Cronograma das actividades desenvolvidas.....	83
Anexo 2 – Formulário de inquérito à população abrangida pelo estudo	84
Anexo 3 – Credencial de pesquisa de campo dirigida ao Bairro de Mcharote	91
Anexo 4 – Estrada que dá acesso à área de implantação do projecto	92
Anexo 5 – Algumas paisagens da área do local do projecto.....	93
Anexo 6 – Dimensão, dados eléctricos, curvas I-V e P-V do módulo monocristalino de 600W .	94

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

Índice

Declaração de honra.....	ii
Agradecimentos	iii
Dedicatória.....	iv
Resumo	v
Abstract.....	vii
Lista de figuras.....	ix
Lista de tabelas.....	x
Lista de gráficos.....	xi
Lista de abreviaturas e símbolos	xii
Lista de anexos.....	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Estado da arte	3
1.1.1. Problemática.....	3
1.1.2. Justificativa.....	4
1.2. Objectivos.....	5
1.2.1. Objectivo geral	5
1.2.2. Objectivos específicos	5
1.3. Hipóteses	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Definições preliminares.....	6
2.2. Recurso solar	7
2.3. Energia Fotovoltaica	9
2.3.1. Sobre a energia fotovoltaica	9

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

2.3.2. Potencial de Energia Solar no Mundo	11
2.3.3. Capacidade da energia solar fotovoltaica instalada no mundo	12
2.3.4. Política energética solar no mundo.....	13
2.3.5. Recurso solar em Moçambique.	13
2.3.6. Projectos de energia fotovoltaica em Moçambique.....	15
2.3.7. Centrais Fotovoltaicas de Moçambique em operação	17
2.3.8. Projecto de construção da central fotovoltaica de Dondo	18
2.3.9. Conhecimento moderno sobre os impactos ambientais da energia solar fotovoltaica	23
2.4. Componentes dos sistemas fotovoltaicos	23
2.4.1. Célula solar	23
2.4.2. Painel Solar e suas componentes	26
2.5. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos	27
2.6. Matérias-primas e origens	30
2.7. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	33
2.7.1. Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida	34
2.7.2. Etapas básicas no processo da Avaliação do Ciclo de Vida.....	36
2.7.3. Elementos fundamentais da Avaliação do Ciclo de Vida.....	37
2.7.4. Categorias de impactos ambientais.....	39
2.7.5. Banco de dados para o inventário.....	42
3. METODOLOGIA	44
3.1. Metodologia da avaliação de impactos da cadeia produtiva do módulo fotovoltaico	44
3.1.1. Objectivos e Escopo: Unidade Funcional e Fronteira do Sistema.....	46
3.1.2. Inventário de Ciclo de Vida.....	47
3.1.3. Modelagem no GaBi <i>Software</i>	54
3.2. Metodologia da avaliação de impactos ambientais no local do projecto	55

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

3.2.1. Método de pesquisa por inquérito	55
3.2.2. Processo de selecção da amostra e recolha de dados.....	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1. Avaliação dos impactos ambientais do processo de obtenção do módulo fotovoltaico.....	59
4.2. Estudo de impacto ambiental no local do projecto	62
4.2.1. Fase de implantação da Central Solar.....	64
4.2.2. Transporte de materiais e instalação dos painéis solares.....	65
4.2.3. Complexo Eco-turístico da Central	68
4.3. Impactos sobre os factores ambientais	69
4.3.1. Meio Físico	70
4.3.2. Meio Biótico	71
4.3.3. Meio Socio-económico.....	73
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79

1. INTRODUÇÃO

O aproveitamento da energia gerada pelo sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, foi sempre uma das alternativas mais promissoras para prover a energia necessária ao desenvolvimento humano. Quando se fala em energia, deve-se lembrar de que o sol é responsável pela origem de várias outras formas de energia na terra. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas, em sua maioria, da energia do sol.

É a partir da energia do sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a consequente geração de electricidade nas barragens (hidroelectricidade). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos, que também são fortemente influenciados pela rotação da terra e pela força de Coriolis associada. Assim, também a energia eólica é uma forma indirecta de manifestação da energia solar, já que os ventos se formam a partir da conversão da radiação solar em energia cinética, em função de um balanço diferenciado, nas diferentes latitudes, entre a radiação solar incidente e a radiação terrestre emitida. Os combustíveis fósseis como o petróleo, carvão e gás natural mineral foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que originalmente obtiveram do recurso solar a energia necessária ao seu desenvolvimento. É também através da energia do sol que as plantas, como a cana-de-açúcar, realiza a fotossíntese e se desenvolve para, posteriormente, ser transformada em combustível nas centrais.

Não há dúvidas de que a sociedade moderna necessita de energia para praticamente todas as actividades do desenvolvimento humano. A tendência dessa sociedade é continuar a se expandir e a se desenvolver, tornando-se ainda mais industrializada, tecnológica e globalizada. Igualmente aumenta-se a demanda por energia, em especial a eléctrica.

A mudança do clima já está a afectar todas as regiões do mundo, com a influência humana contribuindo para muitas alterações observadas em eventos extremos. O crescimento de emissões de gases como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e clorofluorcarbonos (CFC), os chamados gases de efeito de estufa (GEE), tem intensificado o fenómeno do efeito de estufa, o que tem resultado no aquecimento global e, por consequência, em mudanças climáticas. Mais ainda, aponta-se o aquecimento global como principal responsável pela intensificação de catástrofes

naturais extremas, como derretimento de calotas polares, furações, secas e cheias, desertificação e aumento do nível do mar (ADRIANA, 2017).

A exploração de fontes de energia fósseis (carvão, petróleo e gás natural), dominantes no sistema energético mundial, é responsável pela expressiva emissão de GEE, e o seu uso indiscriminado tem levantado críticas e preocupação.

Mundialmente, cerca de dois terços das emissões de GEE advêm da produção e uso de energia (FU & YUAN, 2014), o que coloca o sector energético na liderança dos esforços para combater as mudanças climáticas.

O caminho para limitar o aumento da temperatura global passa pela redução das emissões de GEE, e foi recentemente reforçado pelo Acordo de Paris, um documento firmado por diversos países para responder à ameaça das mudanças do clima (MME, 2009). Uma das soluções propostas é a utilização de fontes renováveis de energia. Estas, expandiram-se consideravelmente nas últimas décadas, seja em pesquisas e em investimentos, o que gerou o surgimento de um novo nicho de mercado e novos tipos de indústria assim como na sua implementação.

A utilização de energias renováveis, em particular a energia solar fotovoltaica, proporciona diversos benefícios, tanto do ponto de vista energético como ambiental. A geração de energia solar fotovoltaica é em geral considerada uma fonte limpa. Esta afirmação é adequada quando se considera apenas a etapa de operação das centrais já construídas, dado que não existem emissões de gases poluentes. Entretanto, ao observar o ciclo de vida completo da tecnologia, observa-se que a etapa de produção das células fotovoltaicas envolve o manuseio de diversas substâncias poluidoras (ALSEMA *et al.*, 2018).

A partir do exposto, entende-se que é de extrema importância realizar estudos sobre as repercussões ambientais do uso da energia solar, em particular a energia solar fotovoltaica, que é o objectivo deste trabalho, além de apresentar um panorama crítico sobre este processo de avaliação dos impactos ambientais. Assim, espera-se contribuir com a ampliação de conhecimento sobre essa fonte renovável no país.

1.1. Estado da arte

1.1.1. Problematização

A energia é um dos principais vectores influentes na questão ambiental e está no centro das discussões globais que originam o conceito de desenvolvimento sustentável, cuja implementação tem sido talvez, o maior desafio actual da humanidade (RSC, 2018).

Com a crise do petróleo da década de 1970 e as mudanças climáticas globais, preocupações ambientais fizeram com que as fontes alternativas e mais limpas de produção de energias fossem estendidas. Dentre as várias alternativas, a energia solar é uma das que mais vem apresentando uma atenção significativa para a geração futura.

De acordo com o Atlas das Energias Renováveis de Moçambique (FUNAE, 2017), a energia solar é a fonte renovável mais abundante em Moçambique com a capacidade total de 23 TW. A energia hídrica é a principal fonte renovável mais usada actualmente em Moçambique e apresenta mais projectos prioritários em carteira. Embora a energia hidroeléctrica seja renovável, para a criação de uma barragem para sua produção, há inúmeros impactos ambientais como, por exemplo, o impacto sobre a fauna e flora locais, o aumento do efeito de estufa (emissão de CO₂), a eutrofização da água da represa, entre outros impactos (ADRIANA, 2017), necessitando-se buscar fontes de energia limpa que tenham pouco impacto sobre o meio ambiente. Desta forma, a energia solar é uma fonte potencial a ser utilizada na matriz energética de Moçambique.

BARRETO *et al.*, (2007) descreveu em seu artigo a necessidade urgente de novas tecnologias renováveis, especialmente a tecnologia fotovoltaica, para lidar com os desafios de escassez de energia e problemas ambientais como as mudanças climáticas, o aquecimento global, a poluição do ar, a chuva ácida entre outros. É nesse contexto que surge a necessidade de avaliar quão limpas são essas fontes renováveis, em especial a energia que será abordada neste trabalho, que é a energia solar. Mas para isso é necessário avaliar os impactos que essa energia possa ter perante o meio ambiente.

Assim, as questões que surgem são: Qual é o dano ambiental causado pela energia solar? Quais são as categorias da cadeia de produção da energia solar visto que a natureza apresenta enormes diferenças nas mais diferentes regiões? Quais são os impactos no local de produção dos painéis

solares? Quais são os seus efeitos no local de produção da electricidade? Além destas questões todas, deve-se ter em conta que os impactos são de diferentes fontes e de diferentes graus.

1.1.2. Justificativa

Tendo como base as informações citadas na problematização, surge a necessidade de implementar fontes de energia renováveis que possam complementar a energia eléctrica convencional.

A energia solar fotovoltaica é uma fonte promissora de energia para o país e para o mundo, e por tratar-se de uma alternativa recente em Moçambique, ainda há muito o que se estudar neste campo do conhecimento. Um dos estudos importantes nesta área de conhecimento é o estudo dos impactos ambientais da cadeia de produtos dos módulos fotovoltaicos e os seus efeitos no local de instalação dos painéis solares para a produção da energia eléctrica.

A utilização da energia solar na matriz energética pode ser útil para abastecer residências, estabelecimentos comerciais e industriais. Um método bastante estabelecido na área de pesquisa para avaliar os impactos que um processo produtivo possa ter é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de determinado produto ou processo. A ACV é um método bastante utilizado para quantificar impactos ambientais por ser uma ferramenta consolidada e robusta. Além de avaliar os impactos ambientais, a ACV é importante para o aprimoramento de um processo produtivo, para tomada de decisões, definições de prioridades, entre outros.

Os indicadores obtidos nos resultados gerados pela ACV poderão mensurar os impactos gerados, podendo ser indicadores locais, regionais ou globais. Exemplos de indicadores que podem ser analisados são as emissões de gases de efeito estufa (GEE), toxicidade humana, potencial de acidificação, eutrofização, potencial de depleção da camada de ozónio, entre outros impactos, além da análise de energia e água consumidas em todo o processo produtivo.

Esses indicadores são importantes para uma possível mudança de tecnologia no processo de produção, optimizando o uso de energia, água e matérias-primas. Desta forma, a avaliação do ciclo de vida será uma ferramenta muito importante para estudar a viabilidade ambiental e mensurar os impactos ambientais gerados na produção do módulo fotovoltaico, comparativamente com a energia eléctrica mais utilizada na matriz energética moçambicana.

1.2. Objectivos

1.2.1. Objectivo geral

Este trabalho tem como objectivo geral avaliar as repercussões ambientais da geração de electricidade a partir do módulo fotovoltaico, desde a sua produção até a sua aplicação como fonte de energia eléctrica e analisar a viabilidade de maior inserção da energia fotovoltaica para desenvolvimento sustentável no país.

1.2.2. Objectivos específicos

Constituem objectivos específicos deste trabalho, os seguintes:

- Elaborar o inventário de ciclo de vida de todo o processo produtivo do módulo fotovoltaico desde a extracção do silício até à produção do módulo;
- Identificar os impactos ambientais da cadeia produtiva do painel solar fotovoltaico, desde a extracção da matéria-prima, à produção do insumo e utilização do mesmo;
- Identificar e realizar o levantamento dos potenciais impactos ambientais que ocorrem na implantação e operação da central fotovoltaica de Dondo (província de Sofala, Moçambique);
- Analisar o carácter, a magnitude, a importância, a duração, a condição ou reversibilidade, a ordem, a temporalidade, a escala, a cumulatividade e sinergia das alterações ambientais provocadas pela central fotovoltaica de Dondo nos meios físicos, biótico e socio-económico;

1.3. Hipóteses

Através do cálculo dos impactos ambientais do uso de células fotovoltaicas na produção de energia na central de Dondo, pelo método da ACV, pretende-se testar a hipótese de que os danos ambientais são pequenos e que podem ser desprezíveis quando comparados com as alternativas actuais de suprimento de energia doméstica para a população.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, em primeiro lugar dá-se a definição preliminar de conceitos básicos associados ao tema em estudo, assim como se descreve o funcionamento, a composição e a matéria-prima e origem, bem como as categorias de impactos ambientais dos sistemas fotovoltaico. Descreve-se também o banco de dados para a análise do inventário do ciclo de vida de módulos fotovoltaicos e a respectiva metodologia.

2.1. Definições preliminares

Energia: A palavra energia deriva do grego ἐνέργεια (lê-se energuéia), que significa trabalho e foi utilizada pela primeira vez por Aristóteles. Na concepção moderna, este conceito foi criado associado à termodinâmica nos meados do século XIX e utilizado para descrever uma ampla variedade de fenómenos. A definição usual afirma que “energia é a medida da capacidade de efectuar trabalho”. Entretanto, esta definição não é totalmente correcta e aplica-se apenas a alguns tipos de energia totalmente conversíveis em outras formas. Em 1872, Maxwell propôs uma definição vista como a mais correcta, “energia é aquilo que permite uma mudança na configuração de um sistema, em oposição a uma força que resiste a esta mudança” (VIANA *et al.*, 2012).

Energia solar – é conhecida como energia electromagnética da luz solar, que é produzida através de reacções nucleares exotérmicas que ocorrem no núcleo solar, propaga-se através do espaço interplanetário e incide na superfície da Terra (FERREIRA *et al.*, 2010).

Impacto ambiental – é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, que resulte de qualquer actividade humana e que altere as condições naturais da saúde, segurança e bem-estar da população, das actividades sociais e económicas, da biota, das condições estéticas e sanitárias ambientais e da qualidade dos recursos ambientais, podendo ser positiva ou negativa (PRISCILA, 2019).

Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) – é um conjunto de procedimentos concatenados de maneira lógica, com a finalidade de analisar a viabilidade ambiental de projectos e fundamentar uma decisão, ou seja, um instrumento político de carácter normativo que pretende preservar os recursos, através da criação de medidas de minimização, prevenção e monitorização de impactos. A finalidade da avaliação de impacto ambiental é considerar os impactos ambientais antes de se

tomar qualquer decisão que possa acarretar significativa degradação da qualidade do meio ambiente.

Estudo de Impacto Ambiental (EIA) – é um estudo técnico, realizado por profissionais de diferentes sectores, ele apresenta uma investigação detalhada do cenário sócio- ambiental de uma área e sua região. Este estudo permite a comparação deste diagnóstico com as características de determinado projecto a ser implantado, para que assim, possam ser previstos os possíveis impactos.

2.2. Recurso solar

A principal fonte de energia que o planeta terra possui é o sol. A irradiação solar é uma fonte de energia para todos os seres vivos (fauna e flora). O sol possui áreas principais designadas como núcleo, fotosfera, zona radioactiva, cromósfera, zona convectiva e corona. O núcleo é a região mais densa do sol, onde a temperatura pode chegar até 15 milhões de Kelvin (ADRIANA, 2017).



Figura 1: Estrutura e partes do sol.

(Fonte: ADRIANA, 2017)

A radiação solar consiste na energia solar que é irradiada numa superfície num determinado momento, sendo geralmente expressa em valores horários, surgindo também como radiação diária,

radiação mensal e anual, ou seja, de acordo com o intervalo de tempo que se pretende (ADRIANA, 2017).

A energia solar representa a fonte permanente de energia mais abundante no planeta. A energia solar interceptada pelo planeta anualmente é cerca de cinco mil vezes superior à soma de todas as outras energias (energia nuclear terrestre, geotermal, gravitacional e outras).

Da energia solar extraterrestre, sob a forma de radiação, apenas um terço corresponde ao total da radiação solar terrestre, sendo que dessa porção 70% incide nos oceanos. No entanto, os restantes 30% que incidem em solo terrestre correspondem a uma quantidade significativa de energia equivalendo a, aproximadamente, seis mil vezes o consumo energético total dos Estados Unidos da América (em 2009, por exemplo). (GOSWAMI, 2015).

O sol gera energia sob a forma de radiação, essencialmente radiação electromagnética. Na Figura 2, apresenta-se o espectro electromagnético com os vários tipos de radiação e comprimentos de onda que limitam cada tipo de radiação.

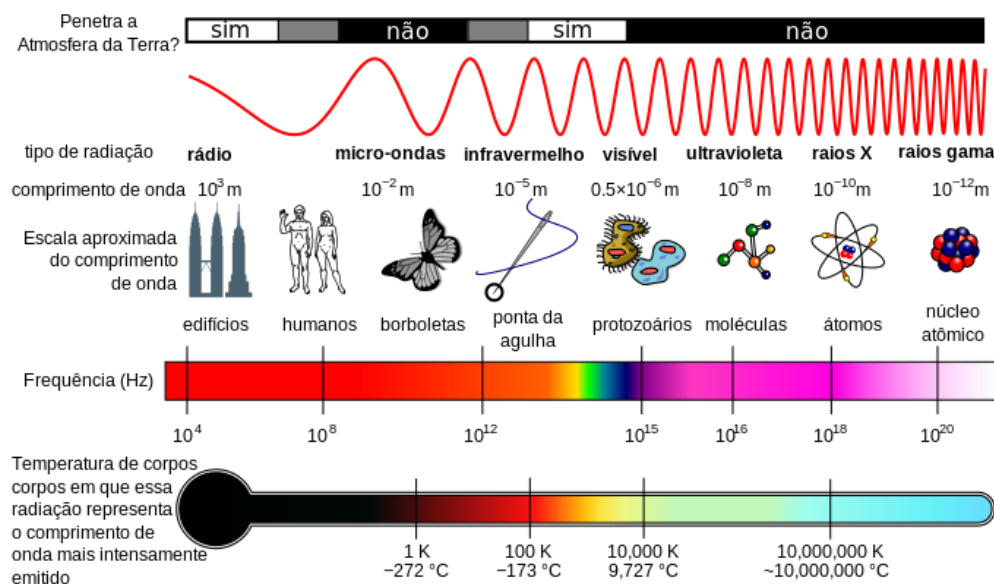


Figura 2: Espectro Electromagnético

(Fonte: GOSWAMI, 2015)

2.3. Energia Fotovoltaica

2.3.1. Sobre a energia fotovoltaica

A energia fotovoltaica provém do efeito do mesmo nome que decorre da excitação dos electrões numa junção PN de um semiconductor, na presença de luz solar. Este efeito é obtido pela conversão directa de energia solar em energia eléctrica. A utilização da energia solar para produção de energia eléctrica, surgiu a pouco mais de 160 anos. Em 1839, *Edmond Becquerel*, um cientista francês, descobriu o efeito fotovoltaico observando suas experiências electrolíticas. Em seus experimentos, ele percebeu que se gerava mais electricidade quando a célula electrolítica era exposta à luz solar, o efeito fotovoltaico (ADRIANA, 20217).

A produção em nível industrial da tecnologia fotovoltaica foi somente iniciada em 1956 com a corrida espacial e mais impulsionada em 1973 com a crise do petróleo. Após isso, houve um rápido desenvolvimento da tecnologia, Em 2015 houve uma produção global de células fotovoltaicas entre 56 GW e 61 GW com aumento em 2016 para 65-76 GW o que mostra o rápido crescimento da produção dos componentes fotovoltaicos. Grande parte dos módulos fotovoltaicos produzidos no mundo provém da China e as grandes empresas na purificação de silício se encontram neste país. (ARANTEGUI & JÄGER-WALDAU, 2017).

Mundialmente, a energia fotovoltaica em 2019, apresentou o maior crescimento de capacidade instalada, cerca de 115 GW com um crescimento de 22,5%. Estes dados constam do relatório internacional *Renewables Global Status Report* de 2020.

A energia fotovoltaica contribui para a mitigação das emissões antropogénicas de gases de efeito de estufa para a atmosfera, mas a sua contribuição ainda não é suficiente para se alcançar as metas propostas no protocolo de Quioto (MASINI & FRANKL, 2002).

A Figura 3 mostra o papel de destaque que a China representa no mercado de tecnologia fotovoltaica. A competitividade das empresas chinesas contribui para a descida do custo dos componentes fotovoltaicos.

Lista dos 10 maiores fabricantes de placas solares no Mundo		
Nº	Fabricante	País de Fundação
1	JinkoSolar	China
2	JA Solar	China
3	Trina Solar	China
4	LONGI Solar	China
5	Canadian Solar	Canadá
6	Hanwha Q – CELLS	Coreia do Sul
7	Risen Energy	China
8	GCL – SI	China
9	Talesun	China
10	First Solar	EUA

Figura 3: Ranking dos 10 maiores fornecedores de módulos fotovoltaicos no mundo (Adaptado de <https://www.ecoaenergias.com.br/wp-content/uploads/2019/10/Lista-de-fabricantes-300x252.png>)

Dentre as várias tecnologias existentes na área de energia solar, os módulos fotovoltaicos se destacam em 80% das vendas realizadas no ramo do silício policristalino, completado com 20% das vendas de silício amorfo. A Figura 4 ilustra a cadeia produtiva do silício cristalino (ADRIANA, 2017).



Figura 4: Cadeia de produção do silício cristalino
(Fonte: ADRIANA, 2017).

2.3.2. Potencial de Energia Solar no Mundo

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre, $5,445 \times 10^{24}$ Joules ou $1,5125 \times 10^{18}$ kWh de energia. Trata-se de um valor considerável comparado, por exemplo, com o total de energia produzida em 1970 por todos os sistemas desenvolvidos pelo homem, que foi igual a 2×10^{20} Joules ou 0,004% da energia recebida do sol. Ao longo do século, uma atenção crescente está sendo dada ao estudo das possibilidades de aproveitamento desta forma de energia. Isto requer um conhecimento detalhado da mesma, de quanta energia está realmente disponível e em que frequência e comprimento de onda (ADRIANA, 2017).

A participação da fonte solar na geração de energia eléctrica mundial, correspondente a 1,83% em 2018, embora ainda tímida, cresce exponencialmente. Com efeito, a capacidade instalada de energia solar no mundo alcançou 487,8 GW no final de 2018, montante 24,3% superior ao verificado no ano precedente e aproximadamente 22 vezes maior do que o observado em 2009. Em média, no decénio 2009-2018, a capacidade instalada de geração de energia eléctrica a partir da fonte solar cresceu 40,8% ao ano no mundo (ADRIANA, 2017).



Figura 5: Potencial de Energia Solar no Mundo

(Fonte: IRENA, 2021).

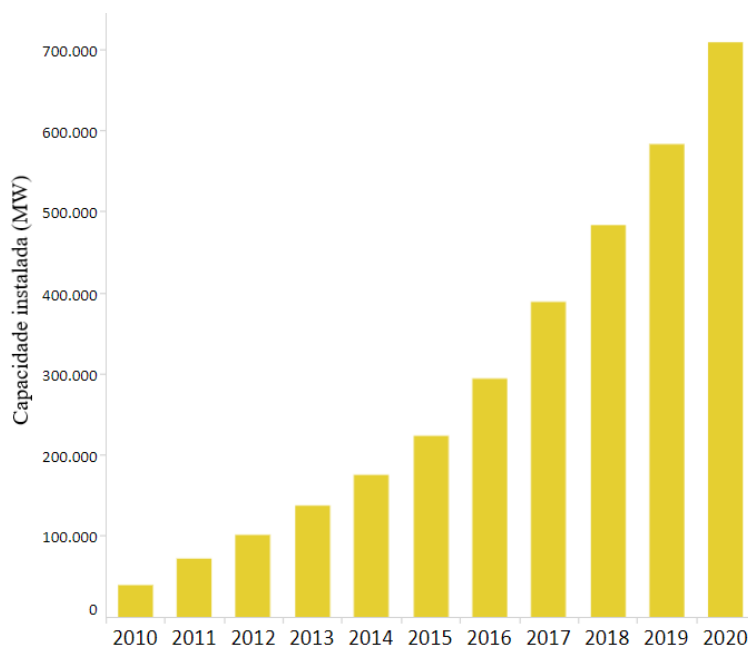
Este cenário de aumento expressivo na expansão da geração solar tende a se manter no mundo nos próximos anos, face ao apelo para a produção de energia a partir de fontes renováveis, às perspectivas de redução do custo de geração e o aumento da eficiência da tecnologia fotovoltaica.

2.3.3. Capacidade da energia solar fotovoltaica instalada no mundo

Segundo o *ranking* elaborado pela Agência Internacional para as Energias Renováveis (IRENA, 2021), a capacidade acumulada de geração de energia eléctrica pela fonte solar fotovoltaica, dos países com maior capacidade instalada acumulada hoje são: China (253,8 GW), EUA (73,8 GW), Japão (68,6 GW) e Alemanha (38,9 GW). Essas quatro nações estiveram na liderança do mercado solar global desde 1990 até hoje.

O gráfico 1 mostra as tendências da capacidade global instalada, de produção de energia solar fotovoltaica instalada entre os anos 2010-2020, em MW.

Gráfico 1: Tendências Globais da capacidade de geração de energia eléctrica fotovoltaica, entre 2010 – 2020, em MW.



(Fonte: IRENA, 2021).

Em países como o Japão, Estados Unidos e diversos países da Europa, sistemas fotovoltaicos interligados à rede eléctrica tornam-se cada vez mais comuns e à medida que sua aplicação é mais disseminada, o custo é menor. A redução de custo é devida “à geração centralizada”. A geração centralizada dos módulos bifaciais está cada vez mais a ganhar atracção, especialmente porque esses equipamentos têm sido isentos de tarifas de importação em muitos países do mundo”, explica a analista da *Wood Mackenzil, Molly Cox*. Ao longo do decénio 2009-2018, assistiu-se a uma paulatina ascensão da participação da China na capacidade instalada de geração fotovoltaica no mundo, alcançando a liderança em 2015. A Alemanha, país líder no início do período, vem perdendo participação relativa ano após ano (ARANTEGUI *et al.*, 2017).

Actualmente mais de 90% dos módulos fotovoltaicos são à base de células de silício, e é esperado que esta tecnologia se mantenha como a principal, durante os próximos anos. Porém, são células de silício monocristalino que são mais eficientes que as de policristalino, todavia, apresentam maiores custos de produção (ARAMIZU, 2010).

A redução efectiva na emissão de gases poluentes e outras acções de cunho ambiental vêm sendo estipuladas por diversos órgãos ao redor do mundo, e a União Europeia (EU), por exemplo, vem publicando documentos relativos a essa redução e ao aumento da participação de energias renováveis (ALSEMA & WILD-SCHOLTEN, 2025).

2.3.4. Política energética solar no mundo

A política energética é uma estratégia em que os governos decidem abordar as questões de desenvolvimento de energia juntamente com o consumo da indústria para sustentar seu crescimento, incluindo a distribuição de energia, produção e consumo. Os atributos dessa política podem incluir legislação, tratados internacionais e incentivos ao investimento. Ela desempenha um papel vital para mitigar os impactos do aquecimento mundial e a crise de disponibilidade, perante a demanda de energia (ALSEMA & PHYLIPSEN, 1995).

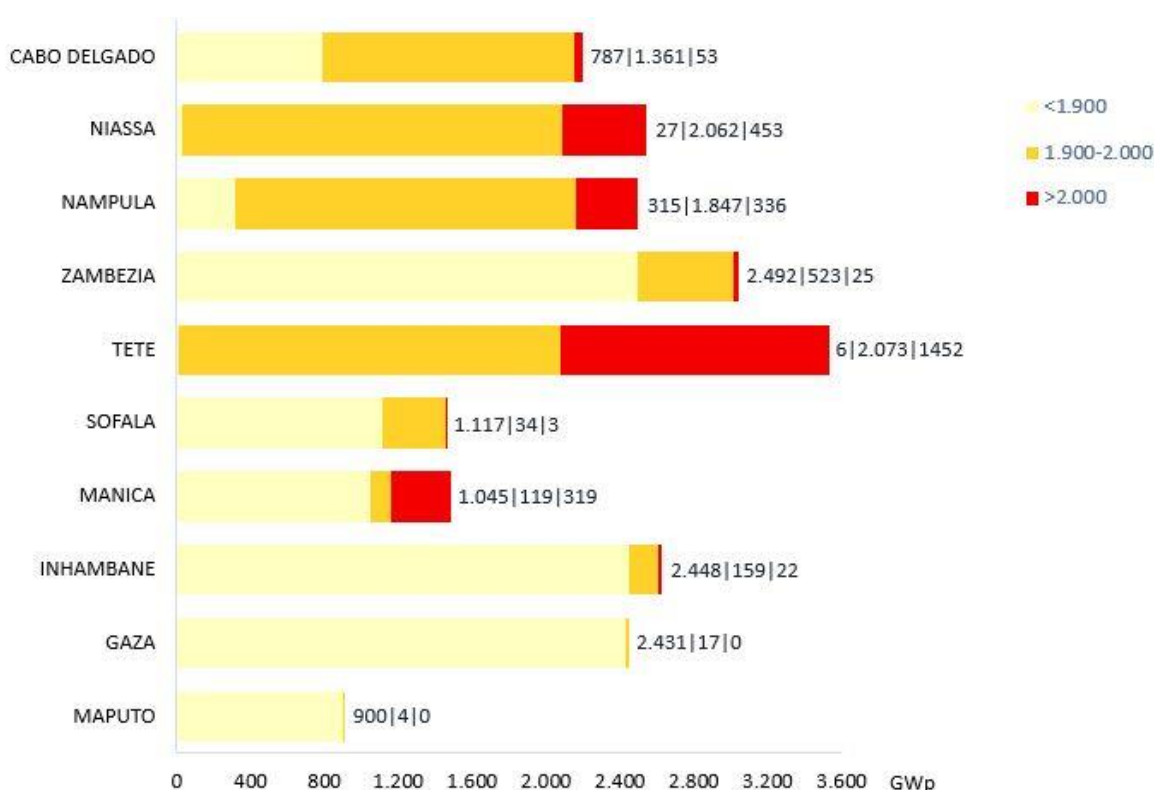
2.3.5. Recurso solar em Moçambique.

A energia solar é o principal recurso renovável de Moçambique. A irradiação global no país varia entre 1.785 e 2.206 kWh/m²/ ano, o que se traduz num potencial estimado em 23.000 GW. Do potencial total de 23.000 GW, apenas cerca de 2,7 GW seriam realisticamente adequados para projectos solares compatíveis com os actuais planos de electrificação e de expansão da rede. No

entanto, o facto de a população rural estar altamente dispersa significa que, em vez de estender a electrificação na rede, os sistemas solares domésticos fora da rede e as mini-redes poderiam ser uma alternativa mais rentável para fornecer acesso à electricidade em comunidades remotas e dispersas.

Este recurso é bastante abundante e consistente em grande parte do país, com as Províncias de Tete, Niassa, Nampula, Cabo Delgado, Zambézia e Sofala a serem as que apresentam maior irradiação (FUNAE, 2017).

Gráfico 2: Potencial fotovoltaico por classe de radiação global em plano horizontal [kWh/m²/ano].



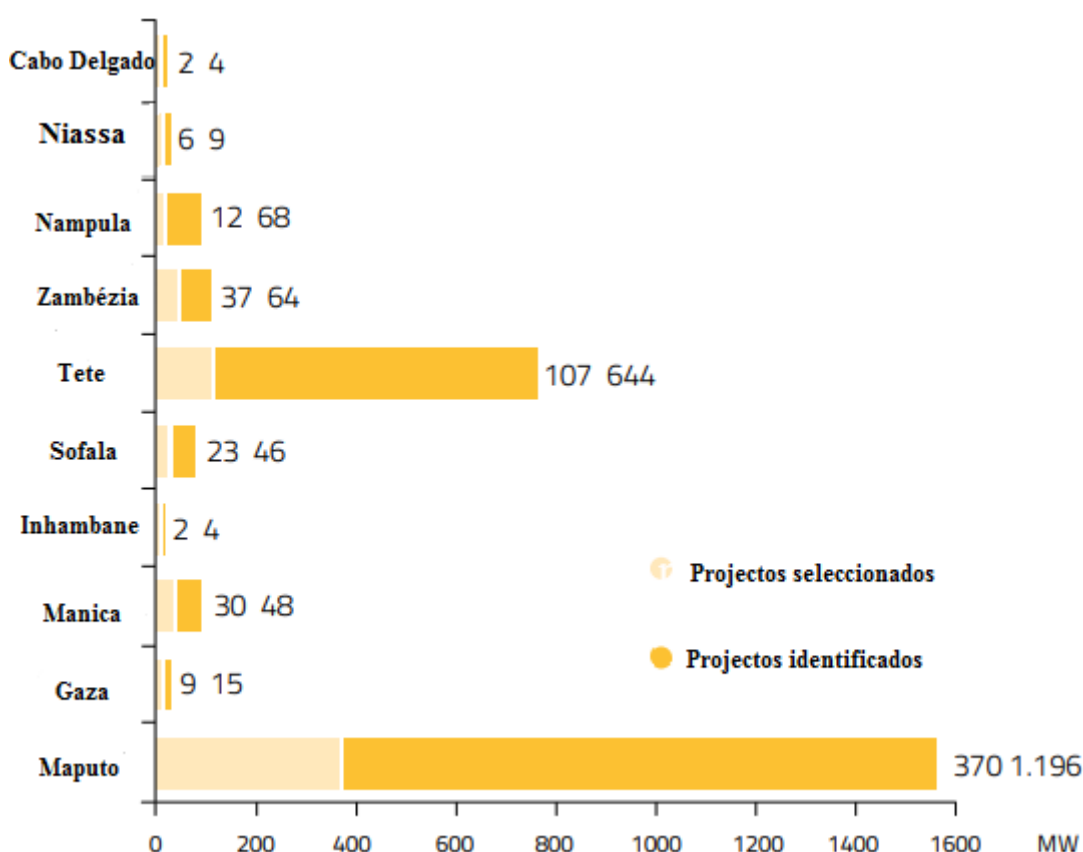
(Fonte: FUNAE, 2017).

Com base nos dados históricos e provenientes de medições da radiação global em plano horizontal recolhidas na campanha de medição, foram calibrados os dados de satélite para todo o território e calculada a radiação global em plano horizontal.

2.3.6. Projectos de energia fotovoltaica em Moçambique

No Atlas foram identificados e estudados 189 locais com possibilidade de implementar projectos solares ligados à rede. Em cada sub-estação de energia existente e com base na respectiva potência de curto-circuito foram seleccionados e identificados 43 projectos prioritários, equivalentes a 599 MW. Estes projectos prioritários estão maioritariamente concentrados nas Províncias de Maputo, Tete, Zambézia e Manica, como se vê nos Gráficos 3 e 4.

Gráficos 3: Projectos fotovoltaicos prioritários em Moçambique por província.

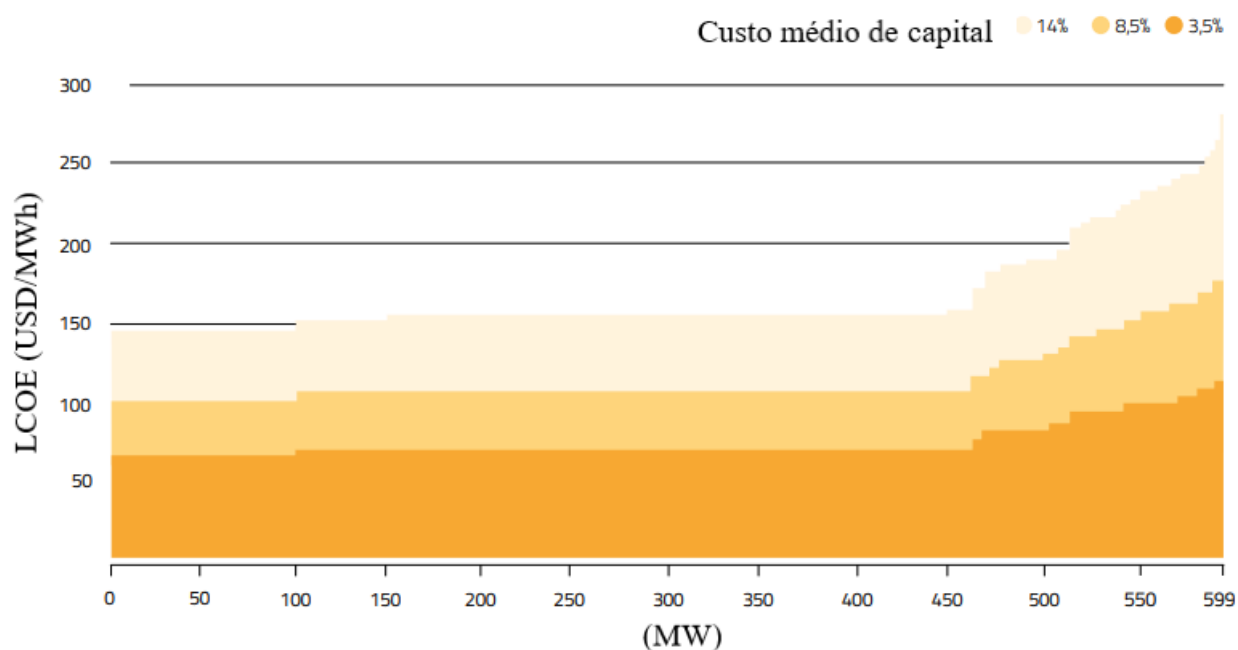


(Fonte: FUNAE, 2017).

A escolha maioritária da Província de Maputo para projectos prioritários, apesar do recurso não ser tão abundante como observado no Gráfico 2, deve-se à proximidade do principal centro de consumo do país (cidade de Maputo e Matola) e aos baixos custos associados à montagem, instalação e ligação à rede (FUNAE, 2017).

No Gráfico 4, é apresentado o custo nivelado de energia dos projectos prioritários fotovoltaicos apresentados no Atlas, excluindo os impostos. De uma forma generalizada, o custo dos projectos solares é muito dependente do custo de financiamento devido ao elevado peso do investimento inicial. Verifica-se que a energia solar fotovoltaica poderia tornar-se mais competitiva se fosse criada uma estratégia de financiamento adequada, beneficiando de condições concessionais ou de crédito à importação de equipamentos (FUNAE, 2017).

Gráfico 4: Custo nivelado de energia dos projectos prioritários de PV.



(Fonte: FUNAE, 2017).

Relativamente à implementação de projectos fora da rede, o Atlas identifica a fonte solar como a terceira fonte de energia menos onerosa para uma situação de soluções 100% renovável, devido aos elevados custos das soluções de armazenamento (baterias). Para a situação de soluções híbridas, a combinação de solar e gasóleo constitui a solução menos onerosa (FUNAE, 2017).

O aproveitamento da energia solar no país surgiu como meio complementar para suprir a procura de energia dos serviços públicos (e.g. escolas, centros de saúde, edifícios do Estado) e da população nas áreas rurais sem acesso à rede eléctrica nacional. A eficiência e eficácia dos sistemas solares, associados à redução dos custos da tecnologia, à rapidez de implementação dos projectos

e à simplicidade de funcionamento dos sistemas, fizeram com que os projectos solares se tornassem na melhor opção de produção descentralizada e electrificação rural (DE CASTRO, 2014).

Estima-se que a actual capacidade instalada de energia solar no país seja de 3.657 kWp (FUNAE, 2013). O mercado fotovoltaico é dominado por intervenções do FUNAE, tendo como principal consumidor a população rural. O facto do consumidor final deste tipo de sistemas (populações em zonas rurais) ter falta de capacidade financeira para suportar os custos de aquisição e manutenção dos sistemas solares faz com que o FUNAE tenda a fornecer os equipamentos a baixo custo, desincentivando o envolvimento do sector privado e colocando em causa a sustentabilidade dos projectos. Mesmo perante este cenário complexo, já existem projectos e iniciativas levadas a cabo pelo sector privado e pelas agências de cooperação internacional de forma bem-sucedida e que são descritos de seguida em função da sua escala (INTELLICA, 2015).

2.3.7. Centrais Fotovoltaicas de Moçambique em operação

Já existe uma instalação fotovoltaica em larga escala em funcionamento, construída pela EDM e por dois Produtores Independentes de Energia noruegueses: *Scatec Solar* e *KLP Norfund Investments*. Está localizada perto de Mocuba, tem uma potência de 40 MW e está em funcionamento desde 2019. A PPI francesa *Neoen* é responsável pela construção de uma segunda central de 41 MW em Metoro, Cabo Delgado. A construção já começou em Outubro de 2020 e está planeada para estar operacional em 2022. Contudo, os conflitos internos na província de Cabo Delgado poderão atrasar o início das operações. Até finais de 2020, os PPIs internacionais planearam a construção de mais doze centrais fotovoltaicas para um futuro próximo, com capacidades instaladas entre 15 e 40 MW. Dessas centrais planeadas, três já passaram por um Acordo de Aquisição de Energia (PPA) aprovado, outras três estão em processo de lançamento de concursos através do Programa de Leilões de Energias Renováveis (PROLER), e as restantes encontram-se em fase de pré-viabilidade (BNDES, 2007).

2.3.8. Projecto de construção da central fotovoltaica de Dondo

Descrição do projecto

A Central Fotovoltaica proposta é uma instalação concebida para transformar energia solar em energia eléctrica com recurso a painéis fotovoltaicos. Essa energia é gerada em corrente contínua que, posteriormente, é transformada em corrente alternada de baixa tensão. A corrente alternada de baixa tensão é elevada a média tensão através de transformadores para posterior ligação à rede pública de energia eléctrica, através de uma linha subterrânea de média tensão de 33 kV. A linha subterrânea transportará a energia gerada até a subestação do Dondo, propriedade da Electricidade de Moçambique, E.P.

Localização do projecto

O projecto será implantado no Bairro Macharote, na cidade de Dondo. O local de implementação do projecto, situado a cerca de 5 km do centro urbano da cidade do Dondo, ocupa uma extensão de cerca de 88 hectares. O mapa da Figura 6 seguinte ilustra a localização do projecto.





Figura 6: Localização geográfica da Central Solar Fotovoltaica de 40 MW proposta.

(Fonte: FUNAE, 2017).

O acesso à cidade de Dondo a partir da cidade da Beira, capital da província de Sofala, é assegurado através da Estrada Nacional N°6 (N6), num trajecto de aproximadamente 33 km e a estrada encontra-se em boas condições de circulação. A partir da capital de Sofala também é possível aceder ao Dondo por linha férrea e, do mesmo modo que a estrada N6 acima referida, a linha férrea prossegue até Machipanda, sendo estas as principais infra-estruturas do designado Corredor de Desenvolvimento da Beira.

Área de influência do projecto

Para o meio físico, a Área de Influência Directa (AID) corresponde à área que poderá ser afectada pelos impactos directos de construção, operação e desactivação da Central Solar Fotovoltaica no meio físico (por exemplo ruído, contaminação dos solos e lençóis freáticos, redução da qualidade do ar devido à emissão de partículas). A Área de Influência Indirecta (AII) corresponde a uma área mais abrangente onde os impactos da construção, operação e desactivação da Central Solar Fotovoltaica no meio físico se farão sentir de forma menos acentuada. A Figura 7 ilustra as AID e AII do Projecto sobre o meio físico.



Figura 7: Localização da AID e AII do projecto conforme definidas para o meio físico.
(Fonte: FUNAE, 2017).

Para o meio biótico, a Área de Influência Directa (AID) equivale à área directamente afectada e é o local em que os impactos gerados afectam directamente o meio biótico, por exemplo, desmatamento para a instalação dos painéis solares e outras estruturas edificadas.

A AII é a região potencialmente sujeita aos impactos indirectos do projecto, ou impactos de segunda ordem, ocasionados pelo efeito cumulativo e sucessivo que as modificações geradas pelas actividades, tanto de construção, como de operação e desativação, provocam no meio. Desta forma, atendendo às características dos *habitats* e às actividades da população, a Área de Influência Indirecta corresponde a uma zona de amortecimento de cerca de 1 km para a ala Nordeste e cerca de 6 km para a ala Sudoeste da área de implementação do projecto, formando uma figura elíptica com a Central Solar não centralizada, como ilustrado na figura abaixo. Deve ser referido que os

limites da AII foram estendidos de forma a abranger o mangal do rio Pungué que poderá ser ocasionalmente afectado pelos impactos indirectos do projecto.

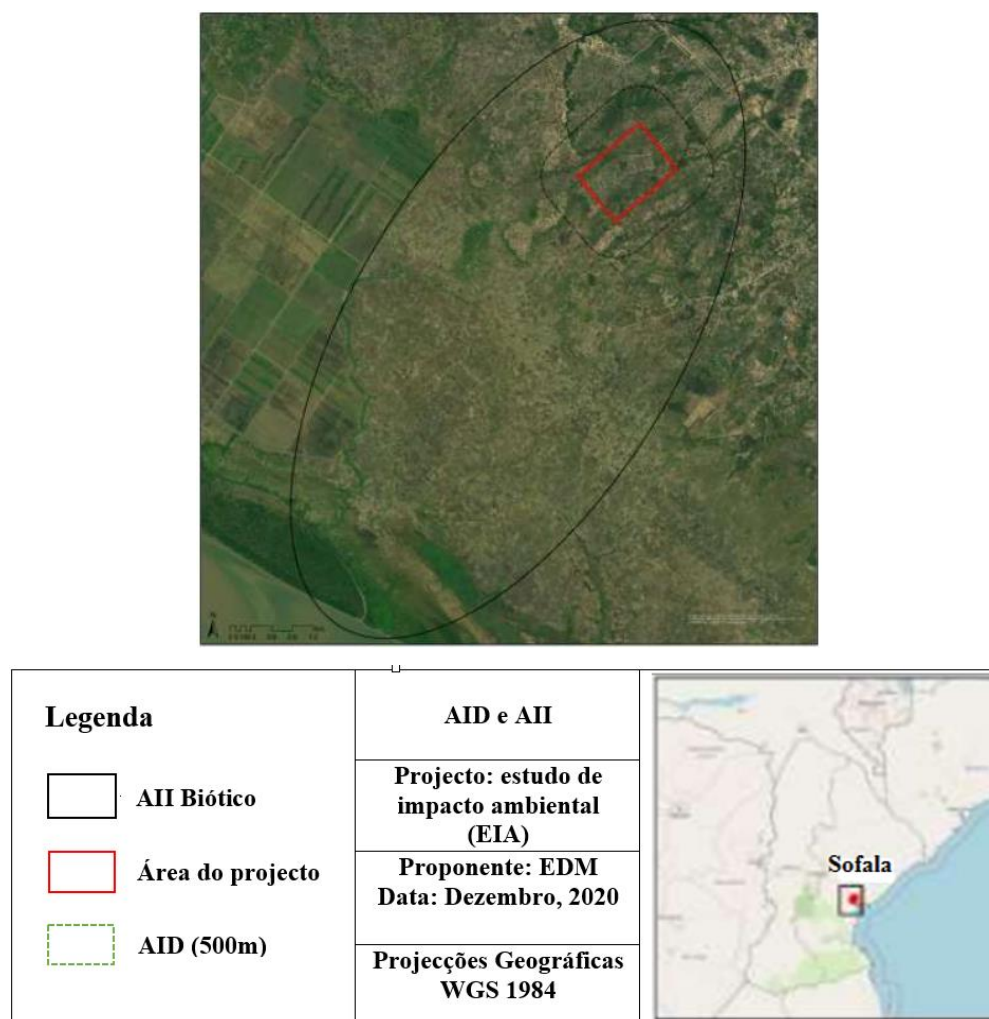


Figura 8: Localização da AID e AII para o meio biótico

(Fonte: FUNAE, 2017).

Para o meio socio-económico AID é a área onde os efeitos da construção, operação e desactivação da Central Solar se farão sentir de forma mais acentuada em termos de impactos na economia local, como por exemplo, através da geração de emprego e de actividades económicas que poderão surgir a montante e a jusante do projecto, assim como dos impactos económicos e sociais nos agregados familiares que usam os recursos existentes dentro da área de implantação do projecto, ou que usam esta área como ponto de passagem para acesso a outras áreas de importância social e económica. Do ponto de vista socio-económico a AID compreende a área de implantação do projecto e a área geográfica e administrativa do Bairro Macharote. A Área de Influência Indirecta (AII) é a área

onde os efeitos da construção, operação e desactivação da Central Solar Fotovoltaica, assim como a capacidade do projecto de limitar ou influenciar as actividades, se farão sentir de forma relativamente menos acentuada. Deste modo, do ponto de vista socio-económico, a AII compreende à cidade de Dondo e o distrito de Dondo, onde se farão sentir sobretudo os efeitos macro-económicos dos benefícios resultantes da produção de energia pela Central Solar Fotovoltaica.

O mapa que se segue mostra a abrangência da AID e da AII do projecto, conforme definidas para a componente socio-económica.

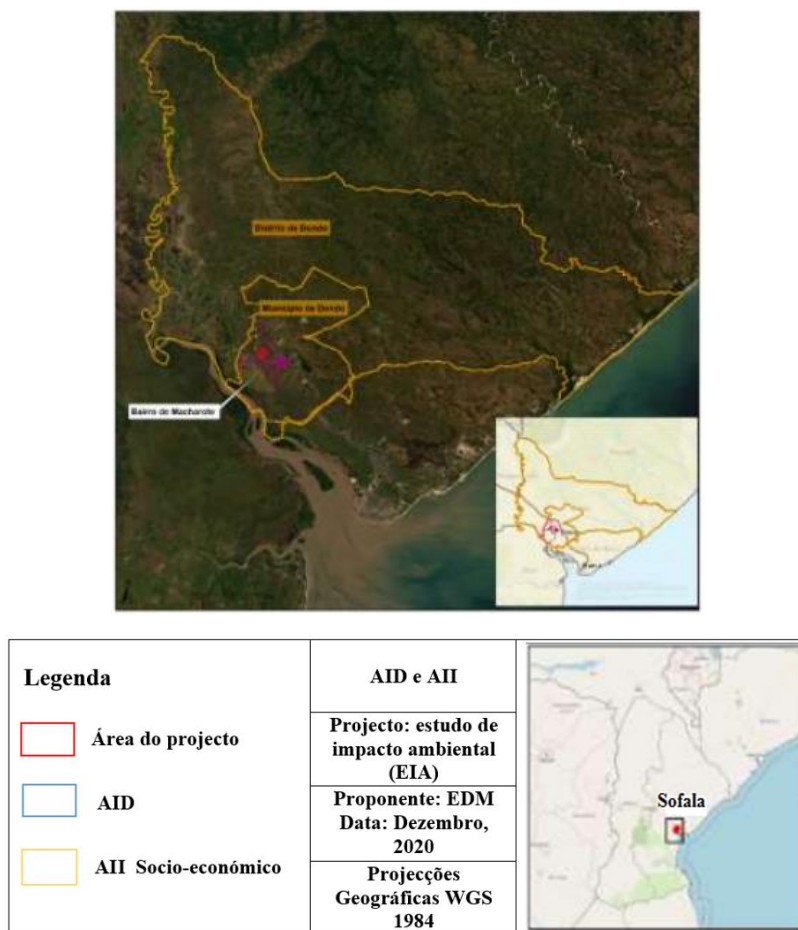


Figura 9: Área de influência do projecto para o meio socio-económico

(Fonte: FUNAE, 2017).

2.3.9. Conhecimento moderno sobre os impactos ambientais da energia solar fotovoltaica

Segundo (ALSEMA, 2005), o silício é a principal substância utilizada na fabricação das células fotovoltaicas e sua utilização pode ser justificada em função de diversos factores como disponibilidade do material, técnica de produção conhecida, eficiência na conversão fotovoltaica, estabilidade do material na célula solar a longo prazo, compatibilidade com a detecção de boa parte do espectro solar e abundância de técnicas, processos e equipamentos advindos da micro-electrónica.

O processo produtivo de componentes à base de silício é complexo, tratando-se de uma cadeia de procedimentos diversos. O silício assume, dentro desta cadeia, diversos graus de pureza, como grau metalúrgico (Si-GM), grau solar (Si-GS) e grau electrónico (Si-GE). O que torna o silício “impuro” é a concentração de impurezas tais como ferro (Fe), alumínio (Al), titânio (Ti), cobre (Cu), manganês (Mn), cromo (Cr), tântalo (Ta), molibdénio (Mo), nióbio (Nb) e outros. A primeira fase de produção se dá com a extracção da sílica, seguida pela metalurgia desta sílica, produzindo o silício grau metalúrgico (Si-GM), de 98% de grau de pureza. A partir dessa etapa, os procedimentos diferem dependendo do tipo de célula (ALSEMA, 2005).

2.4. Componentes dos sistemas fotovoltaicos

2.4.1. Célula solar

Os painéis fotovoltaicos comercializados actualmente podem ser compostos por diferentes tipos de células solares, entretanto, há dois tipos principais que compõem grande percentual do mercado: as células de silício monocristalino e policristalino.

As células feitas a partir de silício monocristalino foram desenvolvidas primeiro, sendo um processo um pouco mais lento se comparado com a produção das policristalinas. Neste processo, que ocorre normalmente pelo método *Czochralski*, são formados lingotes cilíndricos de silício a partir da fusão de cristais altamente puros a mais de 2000°C, onde uma haste é rotacionada lentamente num tanque com este material liquefeito, levando cerca de 48 horas para a produção de cada lingote, que tem suas bordas chanfradas. Após a produção dos lingotes, os mesmos são fatiados em finas camadas de lâminas formando as células. Devido ao formato chanfrado, há um maior desperdício de material, além desta produção ser mais cara devido à necessidade de ultra

purificação do cristal de silício, entretanto, resulta em uma eficiência por volta de 2% mais alta de conversão da luz solar (ROCHA, 2017).

Na produção das células de silício policristalino, as rochas de silício são aquecidas em formas por cerca de 20 horas a 2000°C, e posteriormente resfriadas lentamente durante cerca de três dias. Apesar desta longa duração, é possível formar uma quantidade muito maior destes blocos (que serão os lingotes após o resfriamento) porque esse processo gasta menos energia. Em seguida, o lingote de secção quadrada é cortado em lâminas finas, gerando as células. Apesar da sua eficiência de conversão energética ser ligeiramente inferior às células de silício monocristalino, pesquisas recentes mostram que a relação entre o custo de produção e a eficiência das duas células pode equiparar-se, devido ao desenvolvimento e aprimoramento das tecnologias de produção destas células, que diferem entre si basicamente no processo de purificação do silício e na fundição do mesmo (ROCHA, 2015).

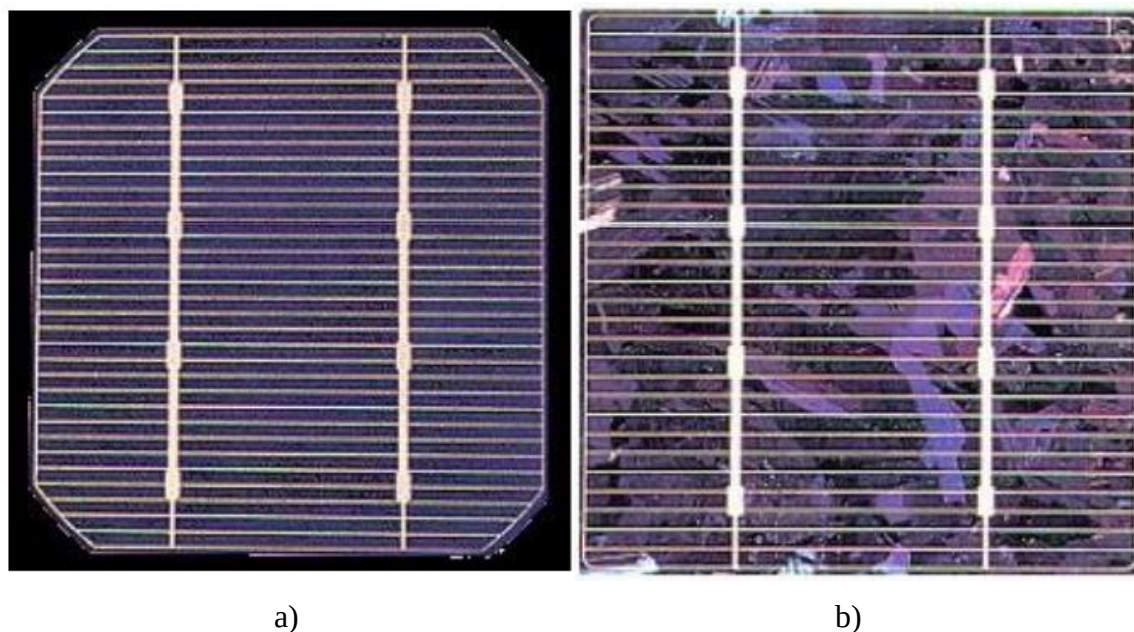


Figura 10: Célula de Silício Monocristalino (a) e Célula de Silício Policristalino (b).

(Fonte: PRISCILA, 2019)

Após o desenvolvimento das células de silício monocristalino e policristalino citadas anteriormente, conhecidas também como células de primeira geração, surgiram as chamadas células de segunda geração, as quais foram desenvolvidas na intenção de reduzir o consumo de silício por produção, devido à sua necessidade de alta purificação envolvendo altos gastos de energia, insumos e tempo. Estas células são denominadas “filme fino”. Dentre as tecnologias

criadas para a produção destes filmes, destacam-se a de Silício Amorfo (a-Si), Disseleneto de Cobre e Índio (CIS), Telureto de Cádmio (CdTe) e Disseleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIGS). O primeiro e mais comum desta geração, a-Si, é capaz de absorver e converter iluminação difusa, sendo muito utilizado na electrónica profissional, aplicado em produtos como calculadoras, relógios, dentre outros, os quais podem funcionar em interiores, sem a necessidade de exposição directa à luz solar. O silício amorfo possui uma eficiência de conversão por volta de 5% a menos que a faixa de eficiência alcançada pelas células de primeira geração, entretanto seu custo de produção é muito mais baixo. Existem registos de que em menos de uma década a partir do surgimento destas células houve uma queda de 80 \$/Wp (dólares por Watt pico) para cerca de 12 \$/Wp. Esta classe de filmes finos possui a vantagem de ser maleáveis e leves, podendo ser construídos com uma gama variável de formas e áreas. As outras formas de filme fino citadas podem apresentar eficiências melhores para o mesmo custo de produção, entretanto estas contam com a desvantagem de utilizarem metais pesados em sua composição (como o Cádmio), e por isso possuem produção limitada (PRISCILA, 2017).

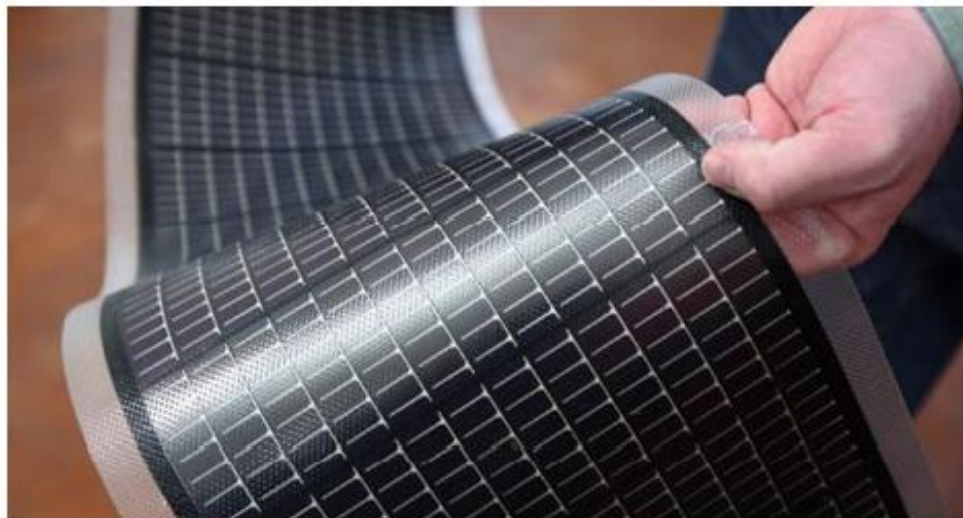


Figura 11: Célula solar de filme fino.

(Fonte: PRISCILA, 2017).

Existe ainda a terceira geração de células solares. Estas podem ser conceituadas como as novas tecnologias desenvolvidas buscando eficiências similares às de primeira geração, com um custo tecnológico de produção equivalente ou inferior quando relacionadas à capacidade de conversão de energia, e que ainda busque a utilização de matérias-primas abundantes no planeta e de baixa toxicidade. Ainda há muito que se descobrir e aprimorar nesta área, e grandes eficiências são

esperadas para estas novas células, entretanto sua produção ainda é considerada inviável para a actual condição de comercialização das células, sendo suas aplicações possíveis apenas em satélites ou com o uso de concentradores solares (PRISCILA, 2017).

Uma tecnologia interessante desta geração são as "*Organic Photovoltaics*" (OPVs), que são feitas utilizando um processo industrial (*roll to roll*) de impressão de células fotovoltaicas orgânicas em substrato leve, flexível e transparente através de máquinas simples e materiais abundantes. Hoje são poucas as empresas que conseguiram levar a produção de células fotovoltaicas OPV, pois, a disponibilidade de informações ainda é muito limitada. Sabe-se que esta é uma tecnologia que usa a electrónica orgânica, um ramo da electrónica que lida com polímeros orgânicos condutores ou pequenas moléculas orgânicas, para absorção de luz e transporte de carga para a produção de electricidade a partir da luz solar (PRISCILA, 2017).

2.4.2. Paine Solar e suas componentes

Devido à exposição ambiental do painel solar, o módulo solar está sujeito a diversos desgastes e deteriorações que reduziriam seu tempo de vida ou torná-lo-iam danificado, não operando nas condições desejadas. Para isto, os módulos são encapsulados numa estrutura mecânica. As células solares estão protegidas com uma camada anterior e posterior de Acetato Vinil Etileno (EVA), um polímero responsável pelo isolamento das células, o qual não deve reflectir a energia solar e possui boa tolerância a temperaturas extremas, humidade e choques mecânicos, protegendo as conexões das células em caso de vibrações ou impactos. Sobre este conjunto, encontra-se uma camada de vidro temperado. Este deve ser resistente a choques mecânicos (como por exemplo impactos de granizo e de diferentes detritos) para maior durabilidade do painel, além de possuir propriedades anti-reflexo para que toda luz solar incidente alcance as células. Na parte inferior está o chamado *backsheet*. Este é um isolante eléctrico que protege a parte posterior do módulo contra a humidade e a entrada de gases. Este material pode ser constituído por vários polímeros ou plásticos. Ao redor de toda essa estrutura, demonstrado pelo primeiro *item* da Figura 10, está o quadro ou armação do módulo, uma estrutura de alumínio que protege e confere rigidez mecânica ao produto final. Por fim, está a caixa de junção, componente responsável por conectar todas as células e liga-las às células do próximo módulo, por isso esta deve ser protegida e resistente às intempéries (CARNEIRO, 2010).

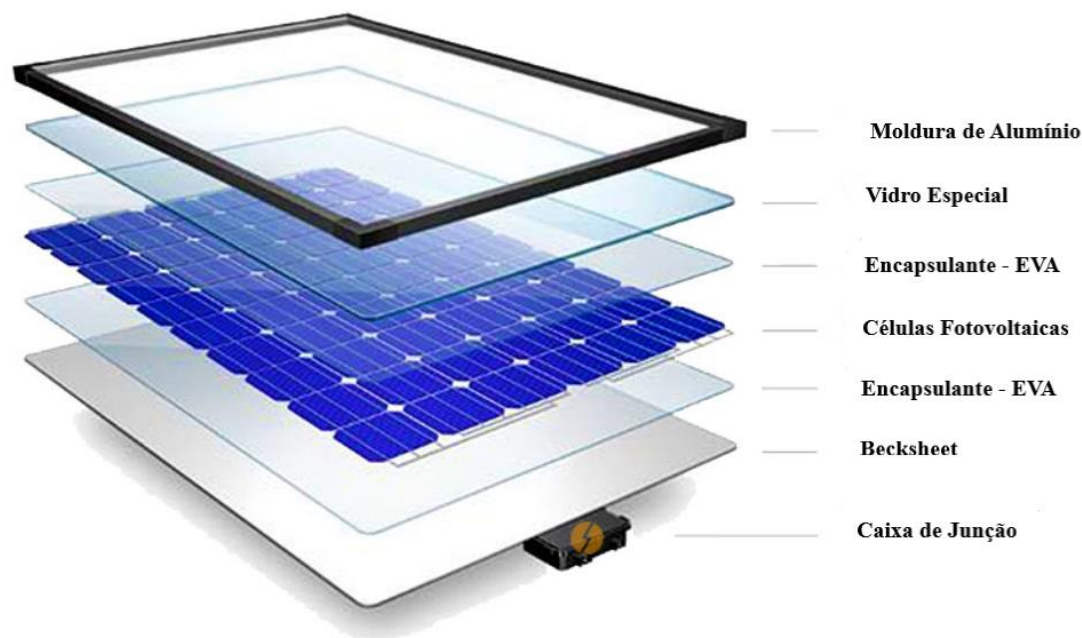


Figura 12: Encapsulamento do módulo fotovoltaico.

(Fonte: *Clean Energy Reviews*, 2018).

2.5. Tipos de Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos se classificam diferentemente, quanto à interligação e quanto à configuração. Quanto à interligação existem dois tipos: isolados e conectados à rede e quanto à configuração, os sistemas fotovoltaicos podem ser puros ou híbridos.

- **Sistema isolado** - é um sistema no qual não há necessidade de uma rede elétrica para transmitir a energia produzida.

A energia que é produzida através dos módulos solares deve ser armazenada em baterias. O sistema isolado é composto por inversor *off grid*, controlador de carga, módulos fotovoltaicos e baterias estacionárias (KABAKIAN *et al.*, 2015).

Os sistemas isolados são utilizados em locais onde não há rede elétrica da concessionária ou que a rede seja de difícil acesso. Esse tipo de tecnologia é bastante utilizado para bombeamento de água, iluminação residencial, postes solares e algumas cargas da residência como televisores, tomadas e lâmpadas (PINHO & GALDINO, 2014).

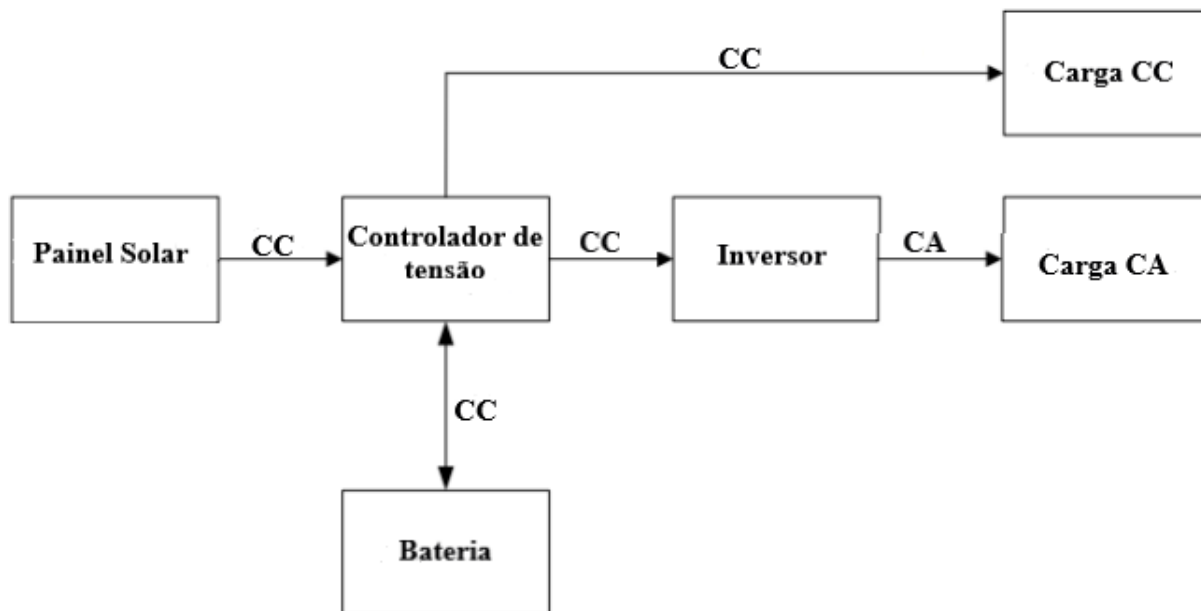


Figura 13: Diagrama de um sistema fotovoltaico isolado

(Fonte: ARAMIZU, 2010)

- **Sistemas conectados à rede** - são sistemas nos quais a interligação é conectada à rede eléctrica da concessionária.

Os sistemas conectados à rede também são conhecidos por sistemas *on grid* ou *grid tie*, estes possuem como componentes básicos o módulo fotovoltaico e o inversor *on grid*. Os sistemas conectados à rede são ligados junto ao quadro da concessionária. Esse sistema tem o propósito de redução de custos, pois, como o sistema está conectado à rede eléctrica, no momento em que a rede da concessionária cair, esse sistema também desligará. Este tipo de acontecimento é conhecido como "anti-ilhamento", essa é uma tecnologia registada no inversor, quando a rede cai, o inversor pára de funcionar por questões de segurança (PINHO & GALDINO, 2014). É um método de segurança, pois caso algum técnico vá realizar a manutenção na rede eléctrica e houver energia do sistema fotovoltaico sendo enviada para a concessionária, o mesmo levará um choque eléctrico podendo representar um risco de morte. O sistema conectado à rede por demandar basicamente dois produtos principais é bastante utilizado no mercado e mais barato que o sistema isolado. Uma vantagem do sistema *on grid* é que o projecto pode ser realizado para atender todo o consumo de uma conta simples de energia, e o proprietário somente pagará a tarifa básica de energia (CEB, 2014).

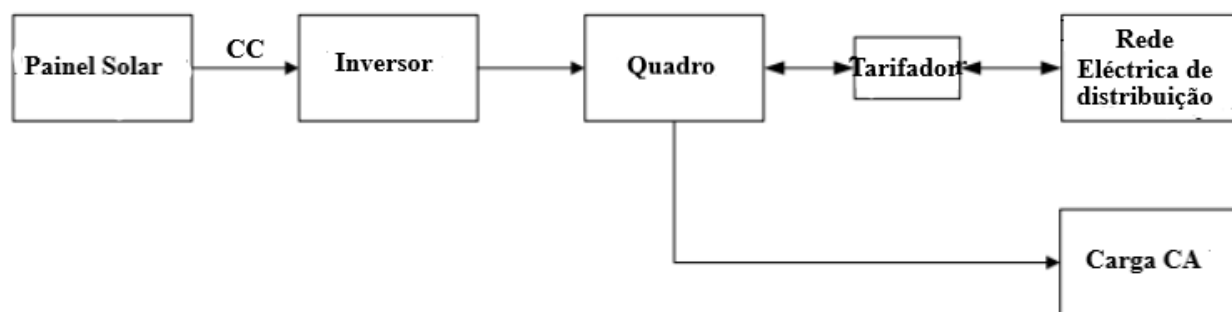


Figura 14: Diagrama de um sistema fotovoltaico ligado à rede de distribuição.

(Fonte: ARAMIZU, 2010).

Quanto à configuração, os sistemas fotovoltaicos podem ser:

- **Sistemas puros** - são sistemas que utilizam o gerador fotovoltaico (módulo fotovoltaico) como único elemento de geração de energia, isto é, os sistemas puros usam somente como fonte geradora os módulos fotovoltaicos, podendo estar ou não conectados à rede eléctrica. (ADRIANA, 2017);
- **Sistemas híbridos** - Associação do gerador fotovoltaico com outros tipos de fontes de energia que geram energia eléctrica (ADRIANA, 2017).

Os sistemas híbridos são interligados aos sistemas fotovoltaicos como por exemplo geradores a diesel, *nobreaks* e outras fontes de energia. Esse tipo de associação pode ser utilizada como estratégia para que o sistema não dependa da rede eléctrica da concessionária, caso não transmita energia para o local de geração.

Percebeu-se que o sistema isolado possui diversos tipos de aplicações, dentre as que mais se destacam são o bombeamento de água, as telecomunicações e a iluminação. Nos sistemas conectados à rede eléctrica tem-se por destaques a geração de energia residencial, industrial e comercial.

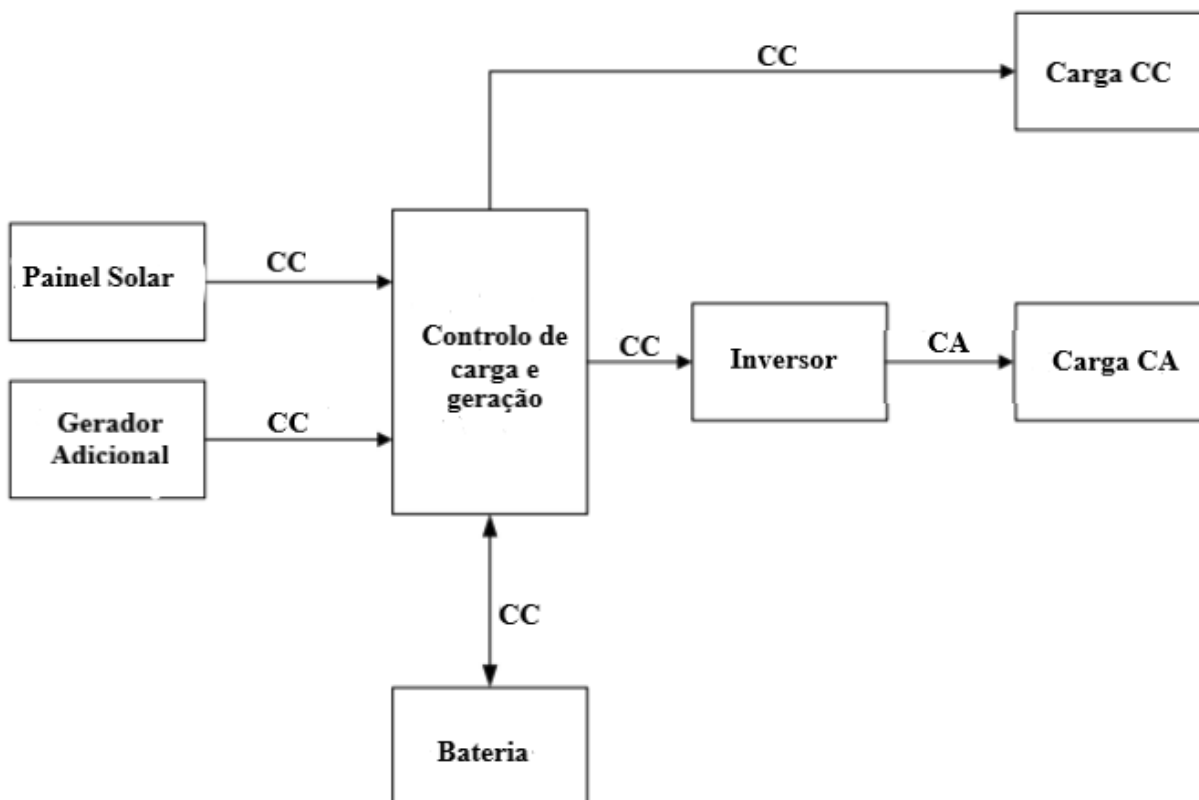


Figura 15: Diagrama de um sistema fotovoltaico híbrido
(Fonte: ARAMIZU, 2010).

2.6. Matérias-primas e origens

Através de uma revisão de literatura acerca dos produtos fotovoltaicos desenvolvidos actualmente, constatou-se que há uma vasta gama de opções que podem ser utilizadas para a construção e produção de painéis fotovoltaicos, de acordo com diversos factores como país de produção, visão da empresa e seu processo produtivo, disposição de recursos financeiros, incentivos financeiros e fiscais, entre outros. Sendo assim, serão tratados aqui somente as principais matérias-primas citadas em outros trabalhos e fontes consultadas para os painéis fotovoltaicos exclusivamente de silício monocristalino e policristalino, porque possuem o maior percentual de representatividade do mercado, e de seus complementos para o funcionamento ligado à rede pública de energia.

O componente mais utilizado na produção da célula solar é o Silício, um elemento químico de símbolo “Si” e na natureza está disponível a partir das rochas de quartzo. O silício teve início do seu desenvolvimento tecnológico com o crescimento da indústria electrónica. Com a evolução dos componentes electrónicos, a tecnologia para a extracção e purificação do silício se desenvolveu

simultaneamente, pois era a matéria básica para produtos como *chips*, transístores e circuitos integrados (ADRIANA, 2017).

À temperatura ambiente o silício apresenta-se no estado sólido, sendo o segundo elemento mais abundante da face da terra (estima-se que represente quase 30% de seu peso). Este elemento é encontrado na argila, feldspato, granito, quartzo e areia, normalmente na forma de dióxido de silício (SiO_2), o qual é conhecido como sílica, e na forma de silicatos (silício, oxigénio e metais). Sua importância comercial é de grande valor, pois ele está presente como principal constituinte de diversos produtos, como vidro, cimento, cerâmica, e alguns semicondutores e silicones (RSC, 2014).

A célula fotovoltaica é um dispositivo semicondutor que é usado para converter a luz solar em electricidade de corrente contínua. Para a utilização do silício no sistema fotovoltaico, é necessário que este elemento atinja um grau altíssimo de pureza, para alcançar uma qualidade de purificação conhecido como Silício Grau Solar (SiGS) com 99,99% de pureza, necessário para condução de energia eléctrica (ADRIANA, 2017).

Para a produção de 1 m² de painel fotovoltaico, é necessário 3,886 kg de sílica. Devido à sua abrangência, o silício mostra-se uma matéria-prima atraente para a construção de painéis solares do ponto de vista ambiental, por não comprometer as reservas naturais deste elemento com sua exploração, entretanto, desde a forma que este se apresenta em sua extracção, até à composição química final de sua utilização nas células solares, há um grande e custoso beneficiamento que necessita ser realizado (MME, 2009).

Para o módulo fotovoltaico, há uma estrutura de encapsulamento que é feita ao redor das células arrançadas. Esta estrutura conta com materiais de alumínio, cobre, vidro, papelão, plástico e silicone.

O alumínio é o terceiro elemento mais encontrado na crosta terrestre e o elemento metálico de maior abundância. Possui propriedades que permitem que ele seja utilizado extensivamente para ligas metálicas, laminados e estruturados, como leveza, alta condutividade, resistência a corrosão e baixo ponto de fusão. Também é utilizado em larga escala no tratamento de água e no mercado aeronáutico, alimentar, farmacêutico e metalúrgico. Sua exploração se dá basicamente pela mineração de bauxite, um mineral com grandes reservas no planeta. O principal produtor mundial do alumínio primário (um produto obtido do beneficiamento de bauxite) é a China. Também está

presente em grande proporção no painel fotovoltaico, sendo que para 1m² de painel, utiliza-se 2,63 kg de alumínio (BNDES, 2010).

Após o alumínio, o metal não-ferroso mais utilizado é o cobre (Cu), que possui propriedades similares e tem seu uso principalmente na indústria de cabos e fios eléctricos. Para o mesmo painel fotovoltaico é utilizado 0,12 kg de cobre directamente, sem considerar as fiações para a instalação do sistema. As reservas mundiais de cobre são estimadas em 607 milhões de toneladas, sendo que o Chile representa o país com a maior reserva, cerca de 27% do total mundial (PRISCILA, 2017). O material que fica directamente exposto ao ambiente do painel fotovoltaico é o vidro, que pode ser definido como um produto amorfo da fusão e solidificação de alguns componentes inorgânicos, podendo citar como mais comum a sílica, barrilha, calcário e alumina. O vidro, ao contrário dos sólidos, não possui uma estrutura cristalina, por isso, pode ser considerado mais semelhante aos líquidos (BNDES, 2007).

Tanto as camadas anterior e posterior às células, quanto o *backsheet* do painel, são constituídos por polímeros (plásticos, EVA, entre outros). Este produto, principal resultado do sector petroquímico, tem ampla aplicação em diversos fins. Quase 2 kg da massa total de 1 m² de painel fotovoltaico são representados pelos polímeros (PRISCILA, 2017).

Outros materiais utilizados na produção de todos os componentes necessários na indústria de painéis fotovoltaicos são: cal, coque, carvão, grafite, madeira, água, cerâmica, aço, óleo lubrificante, lã de vidro, latão, pasta de metalização e papel, e além destes, inúmeros compostos químicos como acetona (C₃H₆O), acetato de vinil (C₄H₆O₂), ácido acético (CH₃COOH), ácido clorídrico (HCl), ácido fosfórico (H₃PO₄), ácido nítrico (HNO₃), aglutinante acrílico (C₃H₄O₂), alquibenzeno sulfonato (C₁₆H₂₆SO₃), amoníaco (NH₃), argónio (Ar), cloreto de cálcio (CaCl₂), cloreto de fosforilo (POCl₃), dióxido de titânio (TiO₂), éter monometílico de propileno glicol (C₅H₁₂O₂), fluoreto de hidrogénio (HF), hidrogénio (H), hidróxido de sódio (NaOH), oxigénio (O), polietileno (C₂H₄), poliestireno (C₈H₈), trietileno glicol (C₆H₁₄O₄), isopropanol (C₃H₈O), nitrogénio (N), solvente orgânico, silicato de sódio (Na₂SiO₃), tetrafluoroetileno (C₂F₄), tereftalato de polietileno (C₁₀H₈O₄)_n, metanol (CH₃OH), níquel (Ni), polivinilcloreto (C₂H₃Cl), e zinco (Zn) (PRISCILA, 2017).

2.7. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Os estudos sobre ACV iniciaram durante a primeira crise do petróleo em meados da década de 60. A partir desse período o mundo despertou para a necessidade de se utilizar melhor e mais sustentavelmente os recursos naturais. Iniciaram-se então estudos para avaliar os processos produtivos com o intuito de otimizar o consumo energético. Estes estudos ficaram conhecidos como *Resource Environmental Profile Analysis* (REPA – Análise do Perfil Ambiental dos Recursos) (ADRIANA, 2017).

O ciclo de vida se refere a todas as etapas de produção e uso do produto dentro de uma cadeia produtiva, relativas à extracção das matérias-primas, passando pela produção, distribuição até o consumo e disposição final, contemplando também a reciclagem e reuso quando for o caso. Desta forma a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (em inglês *Life Cycle Assessment-LCA*) é uma técnica desenvolvida que analisa possíveis impactos ambientais causados por um produto ao longo da sua vida útil, ou seja, envolve a quantidade de material e energia demandada pelo produto e a emissão de poluentes e resíduos durante os estágios de uso. A abordagem sistémica da ACV é conhecida como do “berço ao túmulo”, na qual são levantados os dados em todas as fases do ciclo de vida do produto (BARRETO *et al.*, 2013).

Muito se fala sobre mudanças climáticas e emissões de CO₂, porém, esses não são os únicos tipos de impactos ambientais possíveis no processo produtivo. A produção de qualquer produto pode atingir o meio ambiente de diferentes formas. Neste sentido, os fluxos de matéria e energia envolvidos no ciclo de vida de um produto são medidos e relacionados a diversas categorias de impactos ambientais (MASINI, 2002).

No fim é possível compreender quais danos ou benefícios da fabricação e uso de um produto específico (MASINI, 2017).

Esta ferramenta permite analisar os potenciais impactos ambientais utilizando indicadores. A caracterização dos indicadores utilizados é muito extensa, dependendo da técnica que é utilizada, do âmbito e dos objectivos que se pretendem alcançar. A ACV tem a vantagem de poder ser facilmente alterada quando são encontrados novos dados científicos ou as tecnologias do estudo em causa são melhoradas (BARRETO, 2013).

Após a análise da ACV de um produto ou insumo, essa análise pode servir para identificar pontos ao longo da sua aquisição, produção, utilização ou descarte que possam estar a gerar problemas ambientais e assim poder corrigi-los ou mitigá-los. Também pode ser usada para tomada de decisões relacionadas com mudança do plano estratégico ou definições de prioridades. Uma área crescente em que a ACV vem se desenvolvendo é a área de *marketing*. Muitas empresas usam esse recurso para diminuir impactos ambientais causados na produção de determinado produto e fazer com que a empresa se torne sustentável ou que possa possuir um Selo Verde, do qual seu produto se torna diferenciado do mercado (ADRIANA, 2017).

2.7.1. Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida

A ACV é estruturada em quatro fases, sendo elas: definição de objectivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impactos e interpretação de resultados.

1. Definição de objectivo e escopo

Nesta etapa, são determinadas as fronteiras temporais e geográficas do estudo, o público-alvo para o qual se deseja divulgar os resultados, a aplicação pretendida pelo estudo e suas razões, além de expressar definidamente as categorias de impacto que devem ser consideradas, assim como seus cortes e critérios de qualidade (ou seja, o nível de precisão e consistência dos dados).

Nesta fase também é importante que se esclareçam as dimensões da ACV, como as fases em que este estudo irá iniciar e onde ele deve ser finalizado, também os seus subsistemas que devem ou não ser incluídos nesta fase, como processos paralelos ou que actuam juntamente com os processos principais do sistema, e também a profundidade deste estudo, ou seja, o nível de dados e detalhes a serem colectados no mesmo (PAUTASSO, 2008).

2. Análise de inventário

Neste momento, são colectados dados quantitativos e qualitativos que representam os fluxos de massa e energia que entram e saem das diversas etapas do ciclo de vida do produto, respeitando as fronteiras já estabelecidas. Esta etapa pode ser modificada de acordo com o desenvolvimento do estudo, pois pode ocorrer a identificação de novos limites ou requisitos para os dados que ocasionarão mudanças nos procedimentos de colectas e cálculos.

Os dados podem ser colectados de diversas maneiras, respeitando as possibilidades de cada estudo e situação. A colecta pode ser feita através de questionários enviados a empresas e indústrias envolvidas, ou através de dados obtidos em estudos confiáveis previamente realizados, ou ainda,

pela obtenção de informações através de *software's* que disponibilizam quantidades de entradas e saídas de determinados processos, entre outras maneiras. Para o cálculo desses dados, é necessário adequar as informações ao sistema delimitado para o estudo em questão já definido na etapa anterior da ACV (PRISCILA, 2019)

3. Avaliação de impactos

Aqui, os resultados da fase do inventário são trabalhados em conjunto para que se obtenha um valor comum em unidade de todo impacto ambiental causado pela actividade em questão. A norma aponta para o facto de não existir uma metodologia geral para associar vários dados num mesmo impacto, por isso é necessário a máxima transparência dos dados, evitando suposições particulares que equivoquem o resultado do estudo, porém, ainda assim, este resultado pode ser flexível de acordo com o objectivo e o escopo determinados.

4. Interpretação de resultados

A última etapa da ACV consiste numa análise crítica sobre os resultados obtidos no inventário e na avaliação de impactos de acordo com as questões significativas definidas no objectivo e escopo do estudo, observando a integridade e sensibilidade dos resultados, fornecendo ao público-alvo, para o qual é destinado o estudo, recomendações e conclusões para orientá-lo em tomadas de decisão. Esta etapa compreende três passos: a identificação das questões ambientais que foram mais significativas neste estudo de impactos baseado nos resultados encontrados; a análise da confiabilidade e sensibilidade das informações; e o fechamento referente aos impactos mais significativos (PRISCILA, 2019).

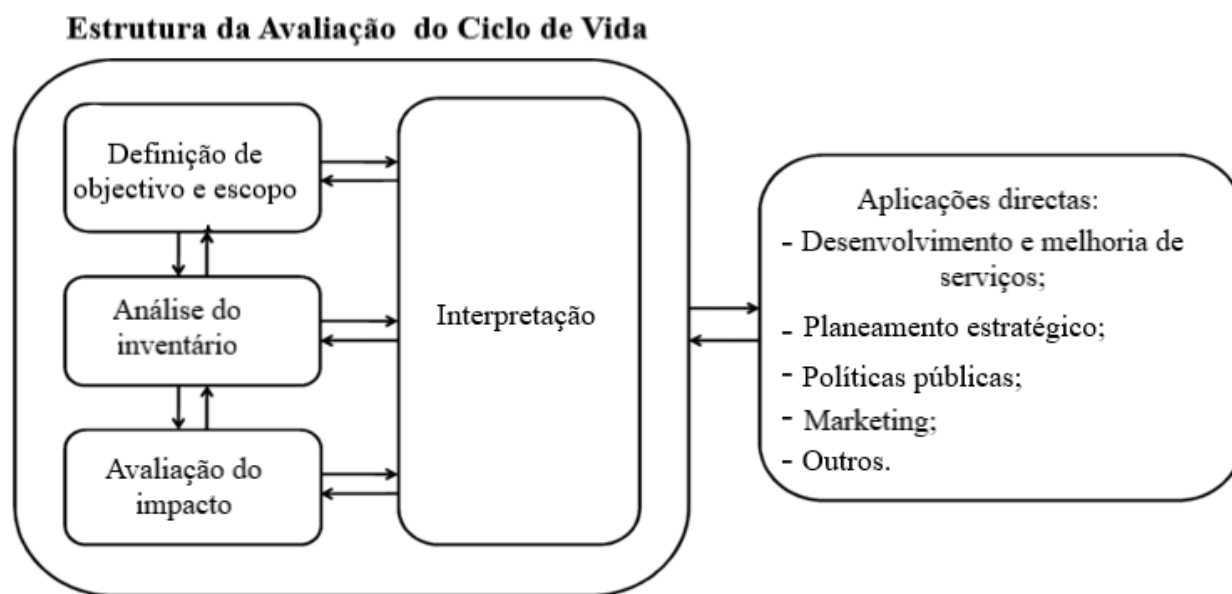


Figura 16: Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida

(Fonte: MME, 2009).

A ACV irá avaliar as entradas e saídas e os potenciais impactos ambientais gerados pelo sistema de produto. Há uma avaliação do impacto ambiental e uma interpretação dos dados para a tomada de decisão. Há também uma análise de inventário do ciclo de vida, nele há uma avaliação dos dados quantitativos de entradas e saídas de um determinado sistema ao longo do seu ciclo de vida. O termo “saída” pode ser uma quantidade de material ou de energia que deixou a unidade do processo. E por fim, o sistema de produto são o conjunto de entradas e saídas que tanto podem ser um material ou uma energia (VIANA, 2012).

2.7.2. Etapas básicas no processo da Avaliação do Ciclo de Vida

Para se iniciar uma ACV é preciso primeiro construir um fluxograma do processo, onde se especifica todos os fluxos de material e energia que entram e saem do sistema (MASINI, 2002).

A Figura 17 ilustra as etapas básicas de uma ACV em geral. O fluxograma representado na Figura 17 ilustra os processos de entrada e saída do sistema (ADRIANA, 2017).

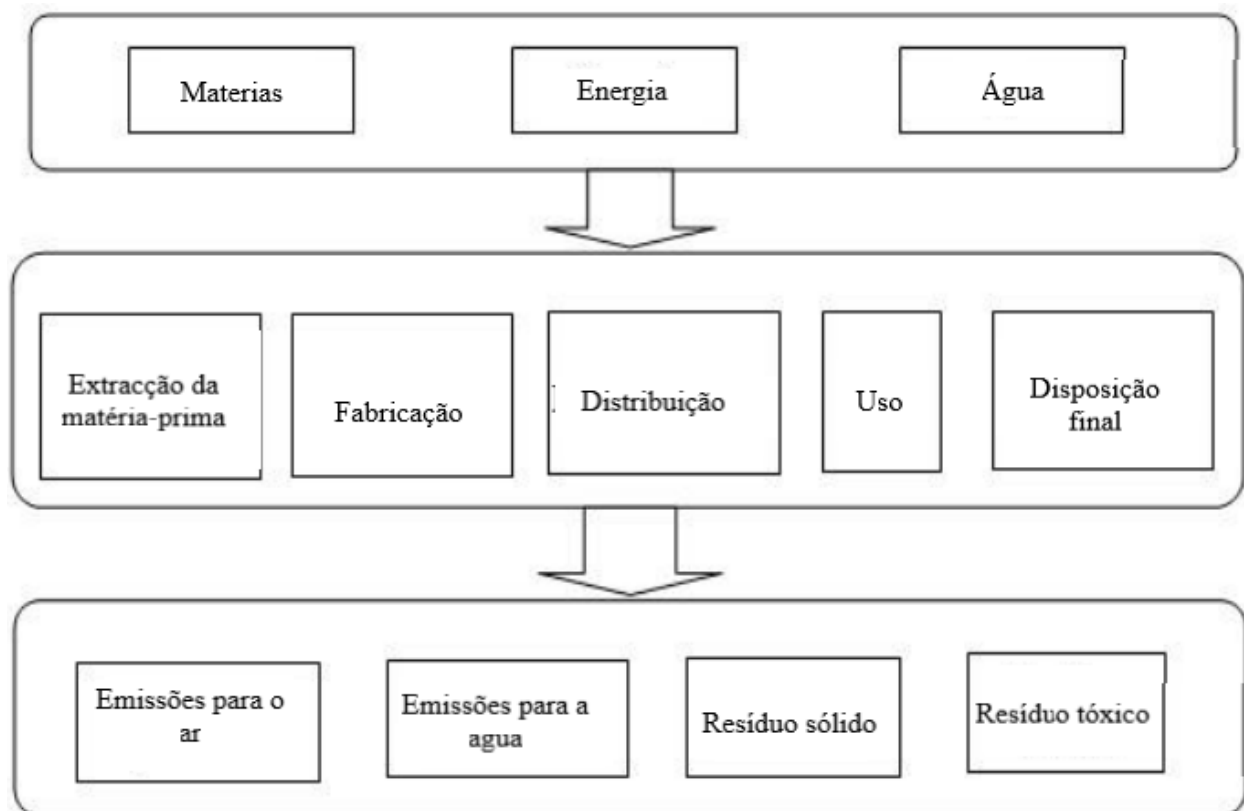


Figura 17: Etapas básicas no processo de ACV

(Fonte: ADRIANA, 2017).

Analisando a Figura 17 observa-se que as entradas do processo são relacionadas com as matérias, energia e água. Durante os processos eles iniciam na extracção da matéria-prima e podem ir até à disposição final do produto. E possuem saídas, onde podem ser emissões para o ar ou para a água, resíduos sólidos ou tóxicos.

2.7.3. Elementos fundamentais da Avaliação do Ciclo de Vida

1. Unidade Funcional

A Avaliação do Ciclo de Vida precisa ter como base uma unidade funcional para o estudo. Durante a definição do escopo é necessário definir quais as funções que estão sendo avaliadas no estudo. Assim, a unidade funcional tem por objectivo quantificar o desempenho do produto com uma função associada a ele. Essa unidade funcional será uma referência durante todo o inventário, as entradas e saídas serão associadas a essa base funcional (ADRIANA, 2017).

2. Fronteira da Avaliação do Ciclo de Vida

A fronteira do sistema define os limites de estudo, quando começa a análise da ACV até qual ponto ela será analisada. Toda análise possui limitações, dessa forma as fronteiras definem as limitações do estudo. O levantamento inicial da fronteira é definido no início da fase da definição do objectivo e escopo, mas ao ser feito o levantamento do inventário é que se define o final da fronteira, pois somente com todo o levantamento feito, é que se pode saber quais as fronteiras que poderão ser analisadas, sendo que se alguma parte do processo não for levantada, a mesma deve estar clara no estudo. O uso arbitrário das fronteiras do sistema, sem uma análise prévia, poderá introduzir erros significativos nas análises dos resultados da ACV. Assim, a análise de um inventário é de extrema importância para que a ACV gere resultados concisos (CARNEIRO, 2010).

Segundo (GABI, 2017) as quatro principais maneiras de definir a fronteira do sistema encontram-se ilustradas na Figura 17.

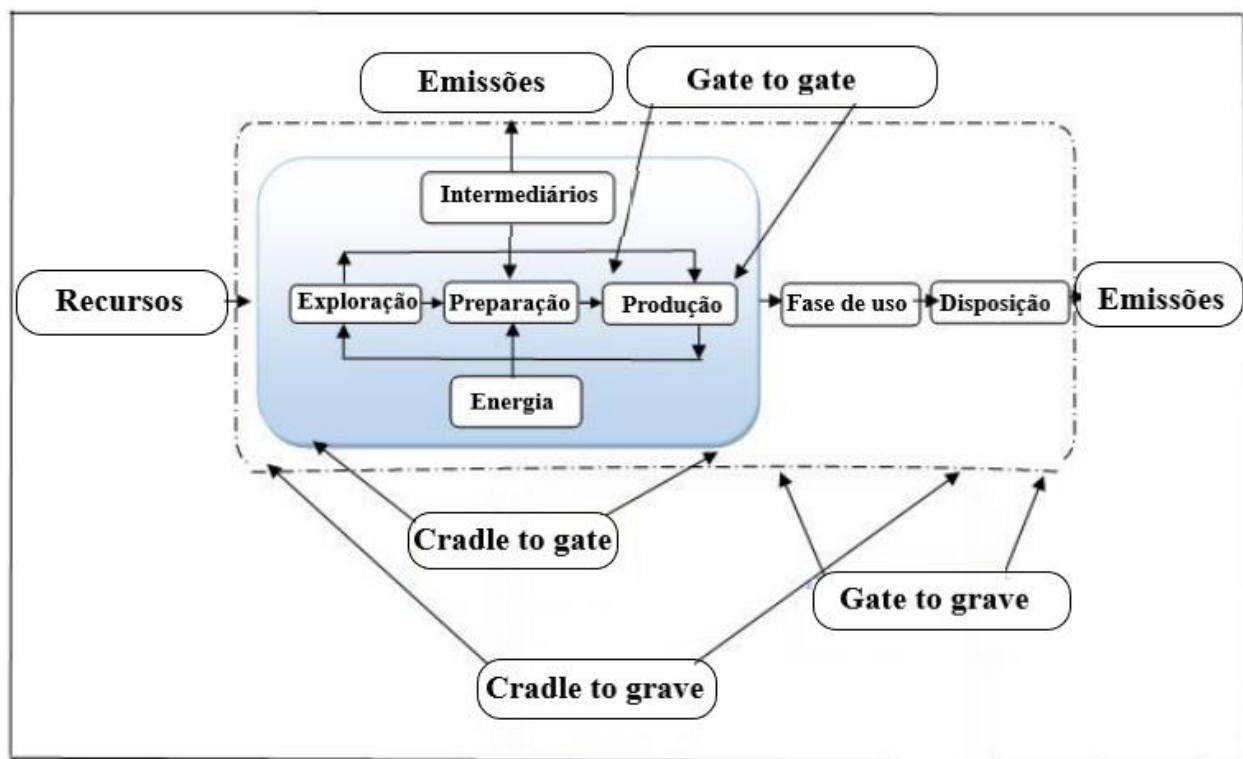


Figura 18: Principais maneiras de definir a fronteira de um sistema, adaptado do
(Fonte: Software GABI, 2017).

- ***Cradle to gate*** - este tipo de fronteira analisa desde o “berço” do sistema, por exemplo, o início da extracção até o produto no portão da fábrica.
- ***Cradle to grave*** - é um tipo de fronteira que inicia com a extracção da matéria-prima, o termo *cradle to grave* passa pela fase da produção, transporte, fase de uso do produto até finalizar na disposição final do produto ou a sua reciclagem.
- ***Gate to gate*** - este tipo de fronteira ocorre quando se tem a intenção de avaliar as fases de produção que ocorrem dentro do portão da fábrica. Este tipo de avaliação pode ser usado por exemplo, para analisar um único processo inserido na fase produtiva de um determinado produto.
- ***Gate to grave*** - o termo do “portão ao túmulo” é usado para avaliar o produto que sai da sua produção e é utilizado até sua fase final. Este tipo de avaliação é mais utilizado para determinar impactos ambientais na fase de vida útil do produto.

2.7.4. Categorias de impactos ambientais

A ACV pode ser interpretada a partir das categorias de impactos que são analisadas. Neste trabalho, foram estudadas sete categorias de impacto que foram utilizadas para servir de base aos resultados encontrados. Abaixo, serão apresentadas as categorias de impactos ambientais da ACV na energia fotovoltaica, suas definições e suas respectivas unidades utilizadas:

Água

Estudos de ACV relatam a quantidade total de água usada pelo sistema de produção a partir da fronteira *cradle to grave* (“do berço até o túmulo”). A água pode ser abordada em ACV tendo como características as principais vias de impacto. Tais estudos definem os fluxos que requerem quantificação no Inventário de Ciclo de Vida (ICV) e a partir desses estudos realizados, foram verificados que são usadas duas terminologias para o uso de água doce, que são conceitos de entrada e saída do sistema de produção. Estes conceitos são apresentados abaixo (ADRIANA, 2017):

Entrada de água - a água ocorre na forma de “água verde” (que é armazenada como composto do solo e disponível para evaporação através das lavouras e vegetação terrestre) e “água azul” (armazenada na superfície ou águas subterrâneas);

Saída de água - a saída da água tem como definição o retorno para a natureza. No entanto essa água pode ser reutilizada, como por exemplo, ela pode ser evaporada e retornar para a base original

onde pode ser usada para outros fins após a saída do sistema. A saída da água também pode ser evaporada e dissipada para o meio ambiente após ser usada (PINHO & GALDINO, 2014).

Também são definidos os tipos de impactos associados à água doce. Que são eles:

Impactos de água doce (*Freshwater Ecosystem Impact -FEI*) – são indicadores relativos ao actual uso da água doce para a disposição dos recursos da água doce;

Esgotamento de água doce (*Freshwater Depletion-FD*) – diz respeito aos parâmetros necessários para a avaliação comumente utilizada dos potenciais esgotamentos abióticos (FERREIRA, 2010).

Energia

O indicador utilizado para medir o consumo de energia é o *net calorific value* dado em kWh. Ele compara a quantidade de energia disponibilizada com a quantidade de energia consumida naquele sistema. Estudos de balanço energético consideram tanto a energia directa quanto a energia indirecta consumida no processo. Essa energia abrange todas as etapas de produção desde a extracção até à disposição dos resíduos. A utilização da energia é um aspecto local ou regional, ou seja, de acordo com o local do processo de produção do produto, a fonte de energia irá variar com a que é utilizada na localidade (CEB, 2014).

Aquecimento Global

O aquecimento global está relacionado com actividades humanas que aumentam a concentração, na atmosfera, dos gases de efeito de estufa (GEE) como o dióxido de carbono (CO₂) devido à queima de combustíveis fósseis. Também estão presentes nos GEE o metano que provém da decomposição anaeróbica de matéria orgânica e o óxido nitroso relacionado com os fertilizantes nitrogenados e a indústria química. A alta concentração desses gases produz um aquecimento gradual da superfície da Terra mudando a dinâmica dos oceanos e da atmosfera. Para quantificar o Potencial de Aquecimento Global (PAG) é necessário saber previamente os GEE que foram emitidos. O gás de referência do PAG é o CO₂, desta forma, o PAG é expresso em quilogramas equivalentes de dióxido de carbono (RODRIGUES, 2013).

Potencial de Acidificação

A acidificação é uma reacção de alguns componentes químicos que reagem com o hidrogénio contido na humidade do ar. Estes componentes químicos são emitidos por sistemas humanos que são formados por dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogénio (NO_x) e amoníaco NH₃. A acidificação nos ambientes pode ser causada pela emissão de diversos componentes, gerando

impactos no solo, nas águas subterrâneas e superficiais, nos organismos, nos ecossistemas e em edifícios (através dos danos em seus materiais). O resultado da acidificação já vem sendo sentida nos oceanos nas últimas décadas, decorrente das actividades industriais, provocando redução na biodiversidade marinha, prejudicando o seu desenvolvimento. Nos solos, a acidificação pode tornar o ambiente menos propenso à fertilidade agrícola prejudicando o desenvolvimento de actividades vitais das raízes. Quando elementos acidificantes ficam disponíveis no solo, estes podem ser carregados para as águas subterrâneas prejudicando toda a cadeia que se segue dependente do curso destas águas. Assim, um potencial alto de acidificação pode contribuir com a chuva ácida e danos ao meio ambiente. O Potencial de Acidificação (PA) é dado em quilogramas de dióxido de enxofre equivalente. A unidade deste indicador é dada em kg de SO₂ equiv (PRISCILA, 2019).

Potencial de eutrofização

A eutrofização está relacionada com a deterioração da qualidade da água. Pode haver um enriquecimento de nutrientes na água ocasionando o crescimento de algas. Assim, a eutrofização é o enriquecimento de um ecossistema com nutrientes químicos como azoto, fósforo ou ambos. A eutrofização também está ligada à falta de oxigénio e desenvolvimento de algas no solo ou ambientes aquáticos devido à alta concentração de nutrientes. Sua unidade é dada em Kg Fosfato Equiv (ROCHA, 2015).

Potencial de toxicidade Humana

A toxicidade humana pode ser ocasionada por actividades antrópicas que emitem substâncias químicas com difícil quebra molecular e podem atingir o ser humano através do meio ambiente em escala local ou regional e a categoria de impacto da toxicidade humana cobre os impactos sobre a saúde humana (área de protecção), ocasionados por substâncias tóxicas presentes no meio ambiente (ADRIANA, 2019).

O Potencial de Toxicidade Humana serve para mensurar o potencial dano de uma unidade de produto químico lançado no meio ambiente. Compostos principalmente como arsénio, dicromato de sódio e fluoreto de hidrogénio, são causados, principalmente pela produção de electricidade a partir de fontes fósseis. Estes são produtos químicos potencialmente perigosos para os seres humanos por inalação, ingestão e até mesmo contacto físico. Este impacto afecta os seres humanos em todas as escalas: local, regional e global. Esta categoria de impacto é mensurada em 1,4 – Diclorobenzene equivalente. Seu indicador é dado em kg DCB - Equiv.

Potencial de Depleção Abiótica

Este indicador de impacto mostra o consumo de recursos naturais abióticos. Neste caso, ele está relacionado com a extracção de minerais e combustíveis fósseis que ocorre devido às entradas no sistema. Os recursos abióticos são considerados recursos naturais incluindo recursos energéticos como minério de ferro, óleo bruto e energia eólica que são considerados sistemas não vivos. O Potencial de Depleção Abiótica (PDA) é uma das categorias de impactos mais discutidas e existem vários tipos de métodos para caracterizar as contribuições referentes a esta categoria. Um exemplo pode ser a Depleção Abiótica Fóssil (DAF) que analisa principalmente análises que incluem a extracção do produto como no caso desse estudo. A DAF é dada em kg Sb-Equiv. (PRISCILA, 2019).

2.7.5. Banco de dados para o inventário

Para realizar o inventário da ACV é necessário colectar diversas informações sobre todos os processos que envolvem o ciclo de vida de determinado produto ou serviço. Para auxiliar nesta colecta, existem bases de dados que já estão cadastrados em diversas bibliotecas virtuais com valores locais, regionais e globais de entradas e saídas de produtos, energia, recursos, entre outros. Cada base de dados está inserida num ou mais *software's* de ACV e deve possuir a capacidade de ser editada e também de facilitar a análise de impactos causados por cada um dos dados inseridos em seus processos (PRISCILA, 2019).

Existem inúmeras bases de dados disponíveis para acesso, dentre elas é possível citar: *Australian LCI Data Project*, *BUWAL 250*, *Canadian Raw Materials Database*, *Dutch Input Output*, *Ecoinvent*, *EDIP*, *Franklin US LCI*, *GaBi*, *German Network on LCI Data*, *IVAM LCA Data*, *Japan National LCA Project*, *LCA Food*, *SPINE@CPM* e *US LCI Database Project* (ALSEMA, 2011). Alguns dos *software's* existentes para avaliação do impacto de ciclo de vida estão listados abaixo e são brevemente comentados segundo (CAMPOLINA, 2015):

O Ecoinvent - é um *software* que conta com uma ampla biblioteca de inventários de ciclo de vida para inúmeros produtos, desenvolvido em 2003 pelo Instituto Federal Suíço para Pesquisa e Testes de Materiais, com o objectivo de fornecer informações sólidas e seguras a nível global. Hoje, já na sua terceira versão, conta com mais de 10.000 inventários os quais detalham todas as informações disponíveis sobre entradas e saídas de materiais, substâncias e energia de diversos processos. O

Ecoinvent disponibiliza seu acesso *online* numa plataforma onde o usuário pode buscar o processo de interesse nos campos de pesquisa e analisar diversos processos fornecidos (ANEEL, 2018);

O software GaBi 4 - foi criado na Alemanha pelo PE *Europe GmbH* e é outro *software* indicado para diversas áreas, possuindo na sua biblioteca os inventários mundiais *Gabi* e *Ecoinvent* e também amplamente utilizado por suportar manuseios de grande quantidade de informações como balanço de massa e energia de produtos de entrada e saída;

BEES (*Building for Environmental and Economic Sustainability*) - é um *software* de origem dos Estados Unidos, desenvolvido pelo “*National Institute for Standards and Technology-NIST*”, sendo aconselhado para ACVs do ramo da construção civil, o qual avalia desempenhos económicos e ambientais de 65 diferentes produtos;

O ECO-it - foi desenvolvido na Holanda, criado pela *Pré Consultants*. Ele contém dados ambientais para diversos materiais: metais, plásticos, papeis e vidros, além de possuir informações acerca da produção destes, actividades de transporte, energia e tratamento dos mesmos;

O SimaPRO 7 - também foi desenvolvido pela *Pré Consultants* da Holanda e conta com uma grande gama de métodos de avaliação de impactos e de base de dados, não sendo recomendado para apenas uma área do conhecimento, mas sim para todos os produtos e serviços em geral devido à sua grande biblioteca e à sua capacidade de relacionar diversos processos complexos com entradas e saídas variadas. É o *software* mais utilizado para estudos de ACV.

O KCL-ECO 4.0 - é um programa finlandês criado pelo KCL que conta com diversos recursos gráficos facilitando a compreensão e também métodos para alocações;

REGIS - criado na Suíça pelo *Sinum* é um *software* que auxilia na melhoria dos desempenhos ambientais por produtos prestados em indústrias de acordo com a norma de gestão ambiental ISO14031;

SPOLD Data Exchange - foi desenvolvido pela “*Society for Promotion of Life Cycle Assessment*” na Dinamarca e é aconselhado quando necessita-se criar, editar, importar e exportar dados no formato *SPOLD’99*, que é um formato de dados electrónicos para troca de dados de ICV.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os aspectos relativos às etapas de execução da pesquisa. Esta pesquisa é definida como de pensamento reflexivo (ARANTEGUI & JAGER-WALDAU, 2017). Deve-se inicialmente definir um referencial conceitual sobre energia, energias renováveis, energia solar fotovoltaica, impactos ambientais, ciclo de vida de um módulo fotovoltaico e muitas outras definições pertinentes e primordiais para o desenrolar deste trabalho e analisar a literatura sobre o assunto.

Actualmente na literatura existem diferentes metodologias de estudo de impactos ambientais que auxiliam os profissionais da área na identificação dos impactos e suas causas. Não existe nenhum método que se aplique a todos os casos, pois cada projecto e ambiente possuem suas particularidades, sendo necessário a adaptação ou fusão entre duas ou mais metodologias. A escolha da metodologia aplicada caso a caso dependerá de vários factores, tais como: a disponibilidade de dados, os requisitos legais dos termos de referência, os recursos técnicos e financeiros, o tempo e características dos projectos (PAUTASSO, 2008).

Neste trabalho serão aplicadas duas metodologias de pesquisa: Método de Avaliação do Ciclo de Vida, para avaliar os impactos ambientais da cadeia produtiva do painel solar e a metodologia de pesquisa por inquérito para a identificação e avaliação dos impactos ambientais no local do projecto da construção da Central Solar Fotovoltaica de Dondo-Sofala.

3.1. Metodologia da avaliação de impactos da cadeia produtiva do módulo fotovoltaico

Após o conhecimento teórico sobre a tecnologia fotovoltaica e sua cadeia de produção, foi necessário definir um indicador de desempenho ambiental para avaliar as questões da consequência de toda cadeia de produção dos painéis fotovoltaicos. Para este caso, um dos métodos optado como o mais adequado foi a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), e aí novamente foram reunidas bibliografias e normas importantes para a aplicação deste método.

A ACV possui inúmeras vantagens na identificação de impactos através da avaliação dos estágios de ciclo de vida de um produto, além de possuir diversas aplicações teóricas e práticas. Entre suas vantagens, é possível destacar a identificação de impactos em mais de uma área específica, a comparação entre dois ou mais produtos ou processos, o balanço definido de entradas e saídas de um sistema de produção, identifica os processos que causam maior descarga ambiental num ciclo

de geração de um produto, além de avaliar as consequências de alguma actividade sobre a saúde humana e do ambiente em níveis locais até globais (ADRIANO, 2015).

Neste trabalho, a ACV será essencial para avaliar os impactos ambientais que são causados no processo produtivo do módulo fotovoltaico, uma vez que será analisada desde a extracção do silício até a produção do módulo e a fase de uso.

A metodologia descrita a seguir delinea todas as fases realizadas para a avaliação do sistema de produção do módulo fotovoltaico. O *software* que será utilizado na modelagem é o *Thinkstep GaBi* versão *Education 2016* (<http://www.gabi-software.com/brazil/index/>). Os dados quantitativos que serão usados em toda a metodologia são baseados em dados primários obtidos pela empresa fabricante dos painéis fotovoltaicos e secundários que serão obtidos no artigo *Environmental Life Cycle Inventory Of Crystalline Silicon Photovoltaic Module Production* (ADRIANA, 2017). Estes dados mesmo com o passar dos anos ainda são actuais pois a forma do processo produtivo continua similar, o que pode variar é o tipo de processo utilizado na purificação do silício e as fontes de energia usadas nos processos produtivos.

A colecta de dados inclui todos os processos de entrada e saída do sistema que são obtidos a partir da base de dados primários e secundários. Os principais dados a utilizar são classificados como (GaBi, 2017), nomeadamente:

- Insumos de energia;
- Entrada de matérias-primas (silício);
- Entradas auxiliares (energia, água);
- Outras entradas físicas;
- Produtos;
- Co-produtos;
- Resíduos;
- Emissões para ar, água e solo;
- Outros aspectos ambientais.

As etapas do processo são divididas em extracção do silício, purificação do silício monocristalino, produção do *wafer* multicristalino, produção da célula de silício e produção do módulo fotovoltaico. O objectivo e escopo do sistema é a avaliação do ciclo de vida da produção do módulo.

3.1.1. Objectivos e Escopo: Unidade Funcional e Fronteira do Sistema

O objectivo desta avaliação é considerar uma situação que englobe todas as actividades impactantes do meio ambiente durante a cadeia produtiva do painel fotovoltaico desde a extracção da matéria-prima até a produção do produto de interesse final (painel solar).

Para isso será considerado o processo de extracção do silício, o seu beneficiamento produzindo o silício metalúrgico, passando por uma purificação a fim de atingir o silício de grau solar (matéria prima das bolachas de silício policristalino) e uma segunda purificação para atingir o silício mais puro (matéria prima das bolachas de silício monocristalino), seguindo para a produção das *wafers* de silício, que por sua vez irão produzir a célula solar, em seguida produzindo o painel fotovoltaico, de potência de 600 Wp e eficiência de 21.2 %.

Até este momento, será considerado que o local de produção do painel foi na China, actual líder da tecnologia fotovoltaica mundial. Este painel será transportado para Moçambique através de um navio de grande porte para navegações, que chegará ao porto da Beira, Sofala-Moçambique e irá ser transportado por um camião até a cidade de Dondo, Sofala-Moçambique.

A unidade funcional, escolhida da fase de objectivo e escopo da dissertação foi o *quillowatt-hora* (kWh). É importante ressaltar que ao final da avaliação de todo o processo produtivo, quantificada a energia gerada em função da quantidade de módulos fotovoltaicos instalados, será possível fazer comparação com a energia gerada pela fonte hidroeléctrica. Assim, será realizada uma comparação da geração de energia solar necessária para alimentar uma casa de porte médio do povoado da cidade de Dondo, que servirá de base para a tomada de decisão sobre a sua viabilidade económica e ambiental.

Para referir-se a uma situação usual, será tratado o gasto energético mensal de uma residência familiar média, de 330.0 kWh através da energia solar e da energia hidroeléctrica necessária para alimentar a mesma residência. De sublinhar que este consumo equivale à uma casa que possua um quarto com uma televisão, um computador e uma lâmpada fluorescente; uma cozinha com uma geladeira, fogão eléctrico, espremedor, batedeira, liquidificador e uma lâmpada fluorescente; e com uma casa de banho que contenha um chuveiro, lâmpada fluorescente e um secador (VIANA, 2017). A fronteira do sistema foi definida como *cradle to grave* de acordo com a definição mostrada na Figura 18, pois a avaliação inicia-se na extracção do silício e finaliza-se na fase de utilização do módulo fotovoltaico com a geração de electricidade.

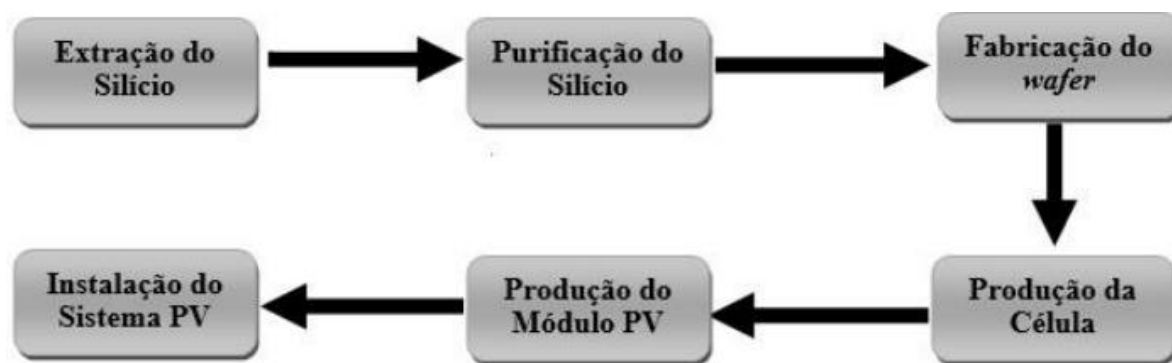


Figura 19: Fronteira do sistema escolhido e cada processo analisado
(Fonte: ADRIANA, 2017).

Neste trabalho não foi abordado o descarte e/ou reciclagem, embora possa conter maiores prejuízos ambientais, entretanto trata-se de um conceito ainda muito recente devido ao tempo de vida que costumam durar os painéis (em sua grande maioria 30 anos de vida útil), e por tratar-se de uma tecnologia recente e ainda não totalmente explorada, é necessário que se ampliem os estudos e manobras para reduzir os impactos do descarte indevido destes componentes. Por outro lado, tratando-se de um cenário nacional, uma vez que os países que possuem maior quantidade de pesquisas acerca desta tecnologia já estão mais estruturados quanto aos processos de reciclagem e reaproveitamento de materiais em relação ao Moçambique (PAUTASSO, 2016).

3.1.2. Inventário de Ciclo de Vida

Primeiramente, a Tabela 1 apresenta os dados do inventário para a purificação do silício.

Tabela 1: Dados de inventário para a purificação do silício monocristalino.

PRODUTOS	UNIDADE	QUANTIDADE	PAÍS	REFERÊNCIA
ENTRADAS				
Silício grau metalúrgico	Kg	1.3	Global (GLO)	ts
Produtos químicos inorgânicos (NaOH, HCl, H ₂)	Kg	2.00	Global (GLO)	ts
Calor de gás natural	MJ	185	Europa (RER)	ts
Electricidade, de ciclo combinado, com gás	KWh	45	China (CN)	ts

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

Electricidade, matriz energética Chinesa	KWh	65	China (CN)	ts
SAIDAS				
Silício monocristalino, processo Siemens	Kg	1.00	Global (GLO)	ts

(Fonte: ADRIANA, 2017).

O próximo processo de produção depois de purificação do silício monocristalino é a fabricação do *wafer* multicristalino. Os componentes utilizados estão descritos na Tabela 2 que se segue.

Tabela 2: Dados do inventário para a produção do *wafer* multicristalino.

PRODUTOS	UNIDADE	QUANTIDADE	PAÍS	REFERÊNCIA
ENTRADAS				
Cadinho de quartzo (todo consumido)	Kg	$3,9 \times 10^{-1}$	Alemanha (DE)	ts
Vidro	Kg	1×10^{-1}	Suíça (CH)	ts
Cabo de aço	Kg	1,49	Alemanha (DE)	ts
Carboneto de silício (SIC)	Kg	2,61	Global (GLO)	ts
Nitrogénio (N ₂)	Kg	$5,33 \times 10^{-2}$	Global (GLO)	ts
Argónio (Ar)	Kg	$3,04 \times 10^{-1}$	Global (GLO)	ts
Hélio (He)	Kg	$1,36 \times 10^{-4}$	Global (GLO)	ts
Polietileno glicol (PEG)	Kg	2,63	Global (GLO)	ts
Éter monometílico de di-propileno glicol (DPM)	Kg	$3,03 \times 10^{-1}$	Global (GLO)	ts
Adesivo	Kg	$2,00 \times 10^{-3}$	Global (GLO)	ts
Hidróxido de sódio, 50% em H ₂ O	Kg	$1,49 \times 10^{-2}$	Europa (RER)	ts

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

Ácido clorídrico, 30% em H ₂ O	Kg	$2,72 \times 10^{-3}$	Europa (RER)	ts
Ácido acético 98% em H ₂ O	Kg	$3,00 \times 10^{-2}$	Europa (RER)	ts
Água da torneira (para lavagem)	Kg	$6,41 \times 10^{-3}$	Europa (RER)	ts
Água desionizada (para lavagem)	Kg	64,9	Europa (RER)	ts
Electricidade, media tensão	KWh	30	China (CN)	ts
Gás natural	MJ	39,6	China (CN)	ts
SAIDAS				
Multi-Si-wafer	m ²	1	China (CN)	ts
Desperdício de silício (não reciclado)	Kg	0,3	Suíça (CH)	ts
Corte de resíduos (Si + borra)	Kg	6,2	Alemanha (DE)	ts

(Fonte: ALSEMA, & WILD-SCHOLTEN, 2005).

Após a produção do *wafer* multicristalino, a célula cristalina é obtida a partir do *wafer*. Como informado anteriormente, a célula mono ou policristalina é obtida através de barras cilíndricas (*wafer*) representadas na Figura 19. O inventário da produção da célula cristalina é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3: Dados do inventário da produção da célula monocristalino.

PRODUTOS	UNIDADE	QUANTIDADE	PAÍS	REFERÊNCIA
ENTRADAS				
Água, refrigeração	m ³	$1,56 \times 10^{-2}$	Global (GLO)	ts
Multi/mono-Si-wafer (156 m ²)	ρ	1,06	China (CN)	ts
Pasta de fósforo	Kg	$2,27 \times 10^{-5}$	Global (GLO)	ts

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

Poliestireno expansível	Kg	$6,36 \times 10^{-6}$	Global (GLO)	ts
Nitrogénio (N ₂)	Kg	$2,89 \times 10^{-2}$	Global (GLO)	ts
Oxigénio (O ₂)	Kg	$1,59 \times 10^{-3}$	Global (GLO)	ts
Argónio (Ar)	Kg	$4,01 \times 10^{-4}$	Global (GLO)	ts
Amónia (NH ₃)	Kg	$1,05 \times 10^{-4}$	Global (GLO)	ts
Silano (SiH ₄)	Kg	$1,89 \times 10^{-5}$	Global (GLO)	ts
Hidróxido de sódio, 50% em H ₂ O (NaOH)	Kg	$2,45 \times 10^{-3}$	Europa (RER)	ts
Ácido acético, 98% em H ₂ O (CH ₃ COOH)	Kg	$4,42 \times 10^{-5}$	Europa (RER)	ts
Ácido de hidrogénio, 30% em H ₂ O (HCl)	Kg	$7,12 \times 10^{-4}$	Europa (RER)	ts
Fluoreto de hidrogénio (HF) 100%	Kg	$5,89 \times 10^{-4}$	Global (GLO)	ts
Ácido nítrico, 50% em H ₂ O (HNO ₃)	Kg	$4,17 \times 10^{-4}$	Europa (RER)	ts
POCl ₃ , Cloreto de fosforila	Kg	$3,39 \times 10^{-6}$	Europa (RER)	ts
Ácido fosfórico industrial, 85% em H ₂ O (H ₂ PO ₄)	Kg	$1,19 \times 10^{-4}$	Europa (RER)	ts
Silicato de sódio	Kg	$1,17 \times 10^{-3}$	Global (GLO)	ts
Cloreto de cálcio (CaCl ₂)	Kg	$3,37 \times 10^{-4}$	Europa (RER)	ts
Isopropanol	Kg	$1,23 \times 10^{-3}$	Global (GLO)	ts
Etanol	Kg	$9,98 \times 10^{-6}$	Global (GLO)	ts
Solventes orgânicos, não especificados	Kg	$2,24 \times 10^{-5}$	Global (GLO)	ts

Repercussões ambientais do uso da energia solar: análise da cadeia de produtos e dos efeitos no local de instalação

Água deionizada	Kg	2,15	Global (GLO)	ts
Electricidade, média tensão	KWh	$5,9 \times 10^{-1}$	China (CN)	ts
Gás natural	MJ	$7,42 \times 10^{-2}$	China (CN)	ts
Óleo combustível	Litro	$5,06 \times 10^{-4}$	Suíça (CH)	ts
SAIDAS				
Multi-Si cell (156 m ²)	ρ	1	China (CN)	u-so
Alumínio	Kg	$1,21 \times 10^{-5}$	Global (GLO)	ts
Cloreto de hidrogénio	Kg	$4,16 \times 10^{-6}$	Global (GLO)	ts
Chumbo	Kg	$1,21 \times 10^{-5}$	Global (GLO)	ts
Partículas, não especificadas (para o ar)	Kg	$4,16 \times 10^{-5}$	Global (GLO)	ts
Dióxido de silício	Kg	$1,13 \times 10^{-6}$	Global (GLO)	ts
Prata	Kg	$1,21 \times 10^{-5}$	Global (GLO)	ts
Hidróxido de sódio	Kg	$7,56 \times 10^{-7}$	Global (GLO)	ts
Lata	Kg	$1,21 \times 10^{-5}$	Global (GLO)	ts
Compostos orgânicos voláteis (VOC)	Kg	$3,02 \times 10^{-3}$	Global (GLO)	ts
Resíduos de células fotovoltaicas	Kg	$4,31 \times 10^{-3}$	Alemanha (DE)	ts
Multi-Si cell, para reciclagem	ρ	$1,76 \times 10^{-2}$	Europa (RER)	ts
Solução neutra de limpeza	m ³	$7,31 \times 10^{-1}$	Global (GLO)	ts

(Fonte: ALSEMA, & WILD-SCHOLTEN, 2005).

Após a fabricação de células solares segue-se para o último processo para obter o produto final (fabricação do módulo solar fotovoltaico).

Tabela 4: Dados de inventário da produção do módulo fotovoltaico.

PRODUTOS	UNIDADE	QUANTIDADE	PAÍS	REFERÊNCIA
ENTRADAS				
Células solares	Pc	73,4	Global (GLO)	ts
Perfil de alumínio	Kg	3,8	Global (GLO)	ts
Polifenilenoxídico	Kg	0,2	Global (GLO)	ts
Folha de vidro, ferro baixo, temperado	Kg	11,4	Global (GLO)	ts
Cobre	Kg	0,14	Global (GLO)	ts
Lata	Kg	$7,00 \times 10^{-3}$	Global (GLO)	ts
Chumbo	Kg	$4,00 \times 10^{-3}$	Global (GLO)	ts
Níquel	Kg	$2,00 \times 10^{-3}$	Global (GLO)	ts
Fluxo de solda	Kg	0,01	Global (GLO)	ts
Metanol	Kg	0,016	Global (GLO)	ts
Silicone	Kg	$2,90 \times 10^{-3}$	Europa (RER)	ts
Silicone kit	Kg	0,15	Global (GLO)	ts
Caixa de embalagem (papelão)	Kg	1,37	Global (GLO)	ts
Água da torneira	Kg	27	Global (GLO)	ts
Electricidade, média tensão	KWh	8,33	China	ts

			(CN)	
SAIDAS				
Módulo-Si	Pc	1	China (CN)	u-so
Resíduos de células solares	Kg	0,015	Alemanha (DE)	ts
Vidro solar, baixo teor de ferro, reciclagem	Kg	0,11	Europa (RER)	ts

(Fonte: ALSEMA & WILD-SCHOLTEN, 2005).

Além dos dados quantitativos de inventário do módulo fotovoltaico, também são bastante importantes, as especificações técnicas do módulo. Tais especificações são descritas na Tabela 5. A Tabela 5 será bastante importante para dimensionar a energia produzida a partir do módulo fotovoltaico, pois ela apresenta a eficiência do módulo, o número de células que a compõe e a potência.

Tabela 5: Especificações técnicas do módulo fotovoltaico monocristalino.

COMPONENTES	DIMENSÃO
Número de células (largura)	6.0
Número de células (comprimento)	20.0
Tamanho da célula (altura)	0.21 m
Eficiência do módulo	21.2 %
Comprimento do módulo (sem estrutura / com estrutura)	2.172 m
Largura do módulo (sem estrutura - com estrutura)	1.264 - 1.303 m
Área do módulo (sem estrutura - com estrutura)	2.83 m ²
Número de células	120.0
Potência do módulo	600 Wp

(Fonte: TRINA SOLAR, 2020).

A célula fotovoltaica possui maior eficiência quando comparada com o módulo fotovoltaico, devido às perdas de energia quando são acopladas as 120 células que formam o módulo. É com a potência do módulo e mais alguns dados que são mostrados abaixo, que é possível identificar quantos kWh que a energia fotovoltaica pode gerar.

Os dados necessários para o dimensionamento de kWh gerados a partir do sistema fotovoltaico são:

- Irradiação solar do local de instalação do sistema fotovoltaico;
- Consumo mensal de kWh/mês do estabelecimento;
- Percentual de conversão de energia;
- Potência do módulo fotovoltaico;
- Área necessária para a instalação;
- Quantidade de módulos;
- Capacidade do sistema em kWp.

A partir das informações citadas acima, é possível dimensionar a capacidade do sistema dado em kWp, esta unidade significa quanto de energia (kW) pode ser gerada em sua máxima capacidade de geração de electricidade, que acontece quando o módulo recebe a maior quantidade de irradiação solar (1000 W/m^2) ao longo do dia.

3.1.3. Modelagem no GaBi Software

A modelagem em Gabi envolveu a implementação dos dados de inventário, obedecendo os seguintes passos:

- Activar a base de dados Gabi;
- Criar um plano nomeado como ACV módulo fotovoltaico;
- Criar os processos a partir dos dados quantitativos;
- Adicionar as entradas e saídas de cada processo;
- Criar fluxos quando necessário;
- Criar objectos quando necessário;
- Definir os fluxos que são elementares no processo;
- Verificar o balanço de massa;
- Adicionar os processos ao plano dos fluxos elementares;
- Agregar os processos;
- Analisar os cenários no explorador de parâmetros Gabi;
- Gerar os resultados;
- Analisar os resultados.

3.2. Metodologia da avaliação de impactos ambientais no local do projecto

3.2.1. Método de pesquisa por inquérito

O inquérito constitui uma técnica de colecta de dados caracterizada por uma série ordenada de perguntas a serem respondidas por escrito sem necessariamente a presença do inquiridor. Esta se apresenta sob forma de questionário.

O questionário é a técnica de investigação composta por um número mais ou menos elevado de questões apresentadas por escrito às pessoas tendo por objectivo o conhecimento de opiniões, crenças, sentimentos ou situações vivenciadas.

A técnica do questionário apresenta as seguintes vantagens:

- Permite recolher muita informação em pouco tempo;
- Garante o anonimato das respostas;
- Permite que as pessoas o respondam no momento em que estiverem disponíveis;
- Implica menores gastos monetários ou de tempo com as pessoas envolvidas no processo.

Para a execução da acção em Dondo, foram inquiridos alguns moradores da comunidade local do projecto e alguns moradores que se encontram ao redor do projecto, considerando-se que na área a ser directamente afectada pelo projecto há população residente, assim como em torno da região do projecto. Foi utilizado um inquérito misto (com perguntas abertas e fechadas) para a recolha de dados de 100 membros da sociedade civil, dentre os quais camponeses, agentes formais e informais, funcionários públicos e privados, entre outros.

O projecto da construção da Central Solar de Dondo será implementado no bairro de Macharote. O bairro de Macharote está subdividido em 7 unidades, nomeadamente: Unidade A, Unidade A1, Unidade B, Unidade B1, Unidade B2, Unidade C e Unidade D (área de inserção do projecto). Foram seleccionados 100 moradores de acordo com a divisão administrativa do bairro de Macharote, assim sendo, foram inquiridos 10 moradores de cada unidade administrativa, excepto a Unidade D (área de inserção do projecto) onde foram seleccionados 40 moradores.

A divisão das unidades comunais apresentada na Figura 20 abaixo, refere-se somente ao bairro Macharote, área na qual está inserida a implantação do projecto. Importa referir que dentro da Unidade D (área de inserção do projecto) se localiza o povoado de Ntchenga, o povoado mais próximo da área do projecto.

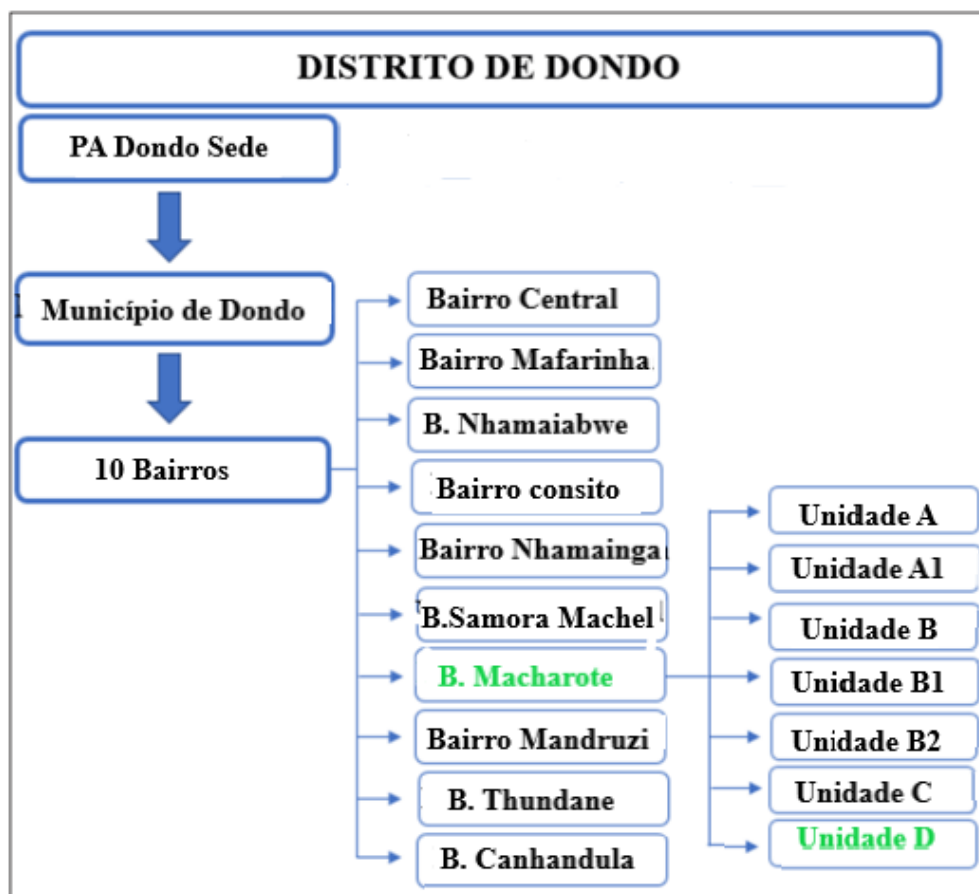


Figura 20: Divisão Administrativa da cidade de Dondo.

3.2.2. Processo de selecção da amostra e recolha de dados

A selecção da amostra baseou-se em métodos de amostragens não aleatórias, estes métodos são de carácter pragmático ou intuitivo e são largamente utilizados, pois possibilitam um estudo mais rápido e com menores custos. Um claro inconveniente destes métodos é o facto de que a inclusão de um elemento da população na amostra é determinada por um critério subjectivo, normalmente uma opinião pessoal, um outro inconveniente é que existem elementos da população que não têm possibilidade de ser escolhidos.

Nesse contexto, a técnica de selecção de amostra escolhida é a técnica de amostra intencional, que é uma técnica composta por elementos da população seleccionados intencionalmente pelo investigador, porque este considera que esses elementos possuem características típicas ou representativas da população.

O processo de recolha de dados baseou-se no uso de inquérito, mas também em técnicas não-documentais que se basearam no seguinte:

- Observação qualitativa;
- Mapeamento geo-referenciado;
- Registo fotográfico;
- Entrevistas semi-estruturadas individuais;
- Entrevista ao nível de povoação; e,
- Discussão em grupos focais.

Tabela 6: Apresentação dos dados do inquérito.

Idade (anos)	Género		Total	Total (%)
18 à 25	Masculino	24	29	29%
	Feminino	5		
26 à 30	Masculino	8	22	22%
	Feminino	14		
31 à 35	Masculino	10	16	16%
	Feminino	11		
36 à 40	Masculino	9	18	18%
	Feminino	9		
Mais de 40	Masculino	9	15	15%
	Feminino	6		
Total dos entrevistados			100	100%

(Fonte: Autor)

Tabela 7 - Programa de visita à EDM e ao distrito de Dondo, Bairro de Macharote.

Actividades	Intervenientes	Datas	Observações
Apresentação do plano de visita na Electricidade de Moçambique (EDM).	Eng. Leopordo Khadyhale. Coordenador de programa de energias renováveis em Moçambique.	08 de Junho de 2022	Fez apresentação do plano de visita de estudo, com objectivo de obter dados do Painel Solar Fotovoltaico do projecto de construção da central Solar de Dondo.

Visita à EDM para efeito de entrevista e levantamento de dados inerentes à pesquisa do Painel Solar.	Eng. Leopordo Khadyhale. Coordenador de programa de energias renováveis em Moçambique.	09 de Junho de 2022	Foi possível entrevistar o Eng. Leopordo Khadyhale, com objectivo de obter dados do painel solar da futura Central Solar de Dondo.
Apresentação do plano de visita de campo no Bairro de Macharote.	Sr. Peres Manuel Afonso, líder do Bairro de Macharote	22 de Agosto de 2022	Fez apresentação do plano de visita para as comunidades de Macharote, onde explicou-se os objectivos do estudo e abordou-se as datas para visita.
Visita ao Bairro de Macharote para efeito de entrevista e levantamento de dados inerentes para pesquisa.	Cem (100) Pessoas, residentes das unidades Unidade A, Unidade A1, Unidade B, Unidade B1, Unidade B2, Unidade C e Unidade D.	23 à 27 de Agosto de 2022	Foi possível entrevistar moradores, com objectivo de colher opinião sobre os potenciais impactos ambientais da futura Central Solar de Dondo.

(Fonte: Autor)

Tabela 8 - Contactos estabelecidos durante a pesquisa.

Nome	Contactos	Local de trabalho
Leopordo Khadyhale.	823912841	Departamento de programa de energias renováveis em Moçambique.
Peres Manuel Afonso	87371721	Líder do Bairro de Macharote

(Fonte: Autor)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a modelagem dos dados do inventário no *GaBi Software*, os resultados foram tratados e organizados neste *item* para apresentar de uma forma geral as análises das categorias de impacto. Toda a análise foi realizada em torno da unidade funcional em kWh para alimentar uma residência com um consumo médio de 330 KWh/mês de energia eléctrica. A fronteira adoptada do sistema foi o *cradle to grave* que se inicia com a extracção do silício até a fase de uso do módulo fotovoltaico.

4.1. Avaliação dos impactos ambientais do processo de obtenção do módulo fotovoltaico

De acordo com os dados obtidos na EDM, os módulos fotovoltaicos que serão usados na futura central fotovoltaica de Dondo são da China. Assim, todo o processo produtivo do módulo fotovoltaico também será realizado na China.

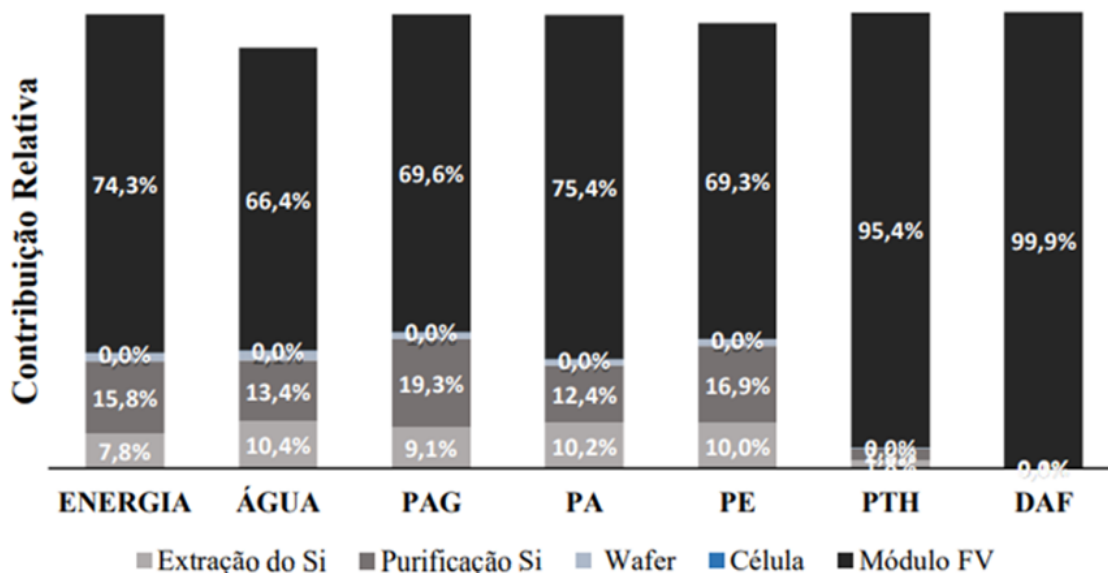
Durante a fabricação dos módulos fotovoltaicos haverá transportes internos do silício purificado para a fábrica de produção do *wafer* e deslocamento do módulo FV até ao porto de cargas na China (como por exemplo o porto Xangai). Depois o módulo FV será transportado de navio até ao porto da Beira e em seguida para o seu destino final, que é a cidade de Dondo, concretamente no Bairro de Macharote, para ser instalado e aplicado.

Em todo processo, foram analisados sete (7) categorias de impactos ambientais escolhidos, baseados na literatura que aborda ACV de sistemas de energia (ALSEMA,2011). Essas categorias de impacto fazem parte do método de avaliação:

- Consumo de Energia (kWh);
- Consumo de Água (kg);
- Potencial de Aquecimento Global;
- Potencial de Acidificação (PA);
- Potencial de Eutrofização (PE);
- Potencial de Toxicidade Humana (PTH);
- Depleção Abiótica Fóssil (DAF).

O Gráfico 5 representa a contribuição relativa (em %) referente às categorias de impacto ambiental analisadas a partir dos processos que foram analisados desde a extracção do silício até à produção do módulo.

Gráfico 5 – Avaliação dos Impactos ambientais em categorias.



Legenda: Energia (Energia), Consumo de água (água), Potencial de Aquecimento Global (PAG), Potencial de Acidificação (PA), Potencial de Eutrofização (PE), Potencial de Toxicidade Humana (PTH) e Depleção Abiótica Fóssil (DAF), respectivamente.

(Fonte: Autor)

A partir do Gráfico 5 observa-se uma grande contribuição da produção do módulo nas categorias de impacto ambiental. Em seguida a purificação do silício, a extração do silício, e a produção do *wafer*. A célula não apresentou nenhuma contribuição relativa devido ao facto de seus percentuais não terem alcançado 1% em todas categorias.

O módulo fotovoltaico foi o principal contribuinte de impactos em todos os indicadores de análise. Isso se deve ao facto de além do conjunto de células solares, o módulo também ser constituído por vidro e alumínio que agregam grande contribuição nos impactos ambientais. E a partir dos dados obtidos no *GaBi Software*, os mesmos apresentaram grande contribuição na produção do módulo fotovoltaico. (ALSEMA & PHYLIPSEN,1995) também mostraram no seu livro que os principais contribuintes em emissões gasosas na produção do módulo fotovoltaico são o vidro e o alumínio. A purificação do silício foi o segundo processo que mais contribuiu para os impactos avaliados. Este resultado resultou da contribuição da matriz energética da China sendo que o carvão tem uma grande utilização na sua composição (PAUTASSO, 2008). Desta forma, por utilizar-se de uma

fonte não renovável para gerar energia, o processo de purificação do silício apresentou valores expressivos na análise das categorias de impacto.

As componentes que em conjunto formam o módulo fotovoltaico agregam os impactos para a produção da célula, levando também em consideração o vidro e o alumínio. A emissão do PAG pelo módulo fotovoltaico foi de 69,6%. Fazendo uma comparação com o estudo de (PRISCILA, 2019), foi mostrado que 89% das emissões por kg de CO₂ Equiv são referentes à fabricação do módulo fotovoltaico. Desta forma, os resultados deste trabalho apresentaram percentuais de PAG menores que os dados observados por (PRISCILA, 2019).

A purificação do silício vem em seguida com a segunda maior representatividade na geração de impactos ambientais a partir dos indicadores analisados. Sua maior contribuição foi no indicador de Potencial de Aquecimento Global com 19,3%. Pode-se concluir que a produção completa do módulo FV na China consome mais energia eléctrica do que se a produção do módulo FV fosse finalizada em Moçambique, pois a matriz energética utilizada da China possui grande contribuição de carvão mineral que produz muitos gases de efeito de estufa ao ser processado. (ANEEL, 2017). Para o potencial de acidificação (PA), apresentou uma contribuição maior com 75,4% no módulo. A acidificação é bastante importante para analisar a quantidade de SO₂ presente no composto e, de novo, para um *mix* energético com uma componente principal de carvão mineral, a emissão de SO₂ e outros poluentes ácidos (NO_x e NH₃) é muito maior (RODRIGUES, 2013).

O Potencial de Eutrofização (PE) também teve sua maior contribuição no módulo FV com 69,3% de contribuição relativa. O estudo do ALSEMA (2005) mostrou que módulo FV representa 85% de contribuição no potencial de eutrofização. A eutrofização aumenta a produção de algas que por sua vez dificultam a vida dos seres vivos aquáticos como o peixe, mariscos, entre outros, pois concorre no consumo do oxigénio diluído na água e inibe a penetração de raios solares (BARRETO *et al.*, 2013).

Também foi quantificado o Potencial de Toxicidade Humana (PTH), tendo o módulo FV o maior potencial de TH. O módulo FV contribui com 95,4%. E a purificação do silício contribuiu somente com 2,6%. A última categoria de impacto analisada foi a Deplecção Abiótica Fóssil (DAF), tendo registado uma contribuição relativa no módulo FV para essa categoria de impacto com um valor de 99,9%. Esta categoria também é muito importante analisar porque a ACV engloba a extracção do silício.

O Gráfico 5 apresentou de uma forma geral contribuição relativa de cada processo de acordo com os indicadores analisados.

4.2. Estudo de impacto ambiental no local do projecto

O estudo ambiental caracterizou a área de influência directa, assim como a área de influência indirecta, de forma a definir parâmetros para o controlo e mitigação dos impactos ambientais com a implantação da Central Solar.

Durante a execução do estudo de impactos ambientais, foram feitas entrevistas junto aos moradores das comunidades da área de influência directa, considerando-se que na área a ser directamente afectada pelo projecto não há população residente. No decorrer destas entrevistas, os moradores tomaram conhecimento sobre o projecto de instalação da central naquela região. A partir de então a população local, especialmente a população economicamente activa dos núcleos urbanos mais próximos, criou uma expectativa quanto à melhoria de vida pela oferta de empregos directos ou indirectos, bem como pelas oportunidades que surgirão quanto à forma de oportunidade de negócios e desenvolvimento económico da cidade. Outra expectativa favorável que a população criou com a construção da central, é a oportunidade de qualificação profissional, melhoria dos níveis de escolaridade e fixação da população jovem na própria região, sem necessidade de deslocamento para a capital ou para outras cidades nacionais à procura de empregos.

Com a construção da Central Solar, o nível de escolaridade da população da cidade de Dondo será elevado, uma vez que serão implementadas políticas de valorização profissional e programas de capacitação profissional, ressaltando-se ainda que a população em geral poderá ser contemplada com políticas sociais a serem implementadas pelo projecto, no âmbito da sua responsabilidade social.

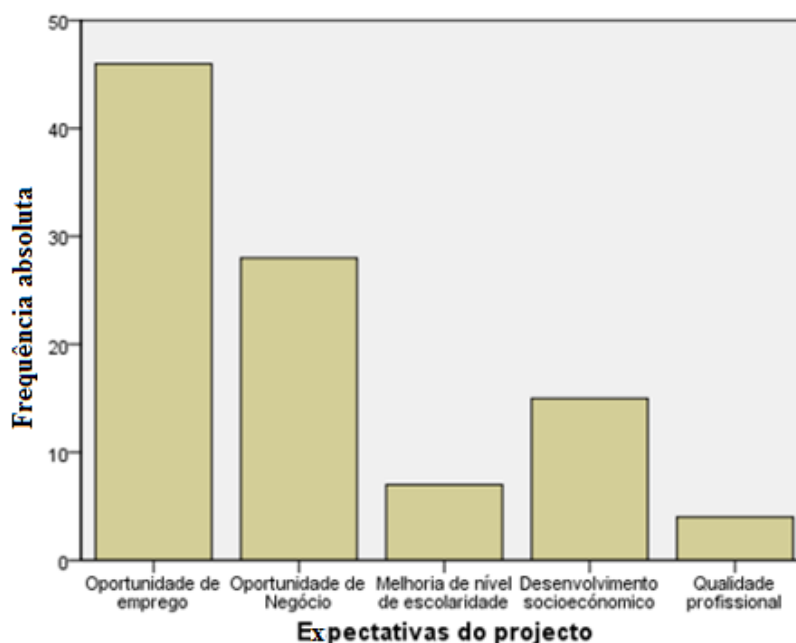
A oferta de oportunidade de empregos permanentes irá provocar incremento no comércio, o qual tende a melhorar em qualidade e diversidade para atender as demandas da população que passará a ter maior poder de compra. Com a oferta de empregos directos e indirectos, espera-se uma melhoria significativa nos índices económicos e sociais da população da cidade, destacando-se a melhoria na qualidade de vida, favorecida pela estabilidade profissional, o que pode levar o empregado a planejar seus compromissos para médio e longo prazo. Além do crescimento do

comércio, a contratação de pessoas resultará em maior arrecadação de taxas, encargos e impostos, o que favorecerá o poder público.

A instalação da Central Solar proporcionará o crescimento da economia informal na sua área de influência, através da venda de produtos e serviços para os trabalhadores empregados, desta forma ter-se-á um incremento de oportunidades de ocupação e renda para a população da área de influência indirecta.

Para a instalação dos painéis serão adquiridos materiais, sub-alugados equipamentos e mobilizados veículos para a área, bem como serão requisitados trabalhadores e consumidos produtos diversos, de forma que a acção resultará em maior circulação de moeda no mercado da área de influência, gerando desenvolvimento económico da região. As transacções comerciais, bem como os numerários pagos, reflectir-se-ão num crescimento do comércio e consequentemente numa maior arrecadação tributária.

Gráfico 6 – Expectativas da população de Macharote com o projecto de construção da Central Solar de Dondo.



(Fonte: Autor)

A partir do gráfico 6, observa-se em primeiro lugar que maior parte da população local têm expectativa de oportunidades de emprego, em segundo lugar com expectativa de oportunidade de

emprego, em terceiro lugar com expectativa de desenvolvimento socio-económico, em quarto lugar com expectativa de melhoria de nível de escolaridade e em quinto lugar e último com expectativa de qualidade profissional.

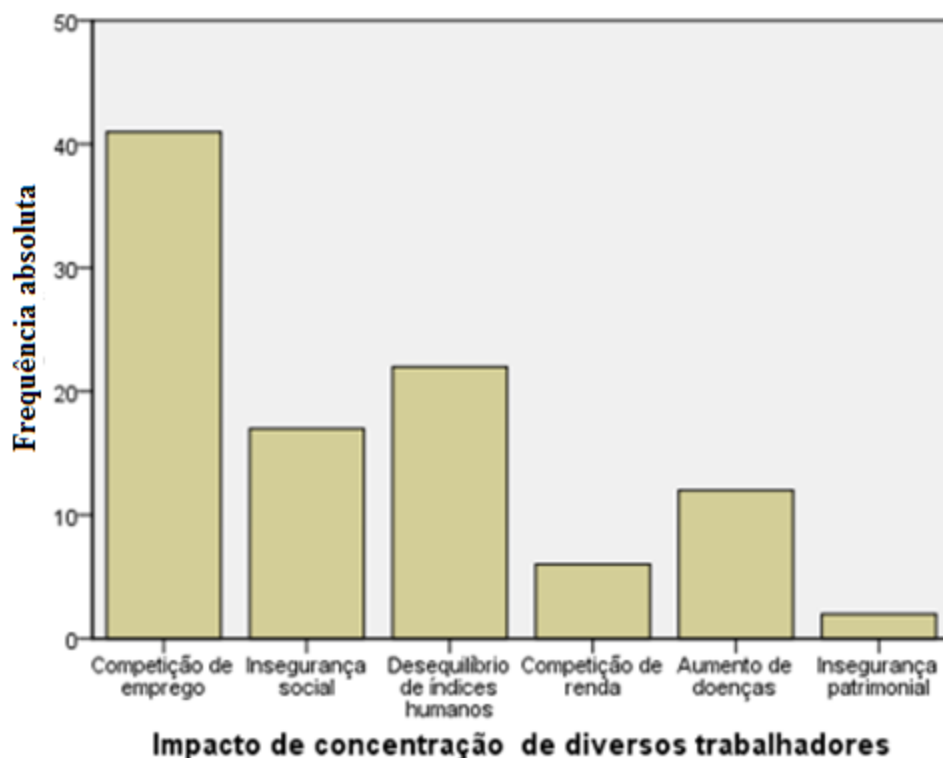
4.2.1. Fase de implantação da Central Solar

A contratação de pessoas para a construção da Central Solar resultará em mobilização de trabalhadores de diversas categorias. O aporte de trabalhadores, tanto da cidade de Dondo como de outras cidades, e até da capital provincial de Sofala, Beira, resultará em alterações temporárias no perfil da população da localidade. Muito embora seja uma situação temporária, haverá um desequilíbrio nos índices humanos, ressaltando-se que a população masculina, que é a maior força de trabalho da construção civil, será superior à feminina.

A concentração de um número significativo de trabalhadores no local do projecto ao longo do período de implantação da Central Solar poderá deixar a população local apreensiva quanto às questões de segurança pessoal e patrimonial, posto que actualmente a maior parte da população da cidade de Dondo e do bairro de Macharote considera que a região é tranquila e o povo é ordeiro, podendo estes valores serem alterados durante a permanência dos trabalhadores envolvidos com o projecto. Ressalta-se, contudo, que diante da chegada de trabalhadores de outras localidades, ou mesmo da concentração de trabalhadores na área, a população poderá ficar insegura, quanto à competição por oportunidades de emprego e renda, prognosticando-se tensão emocional. Mesmo assim, espera-se a mobilização da comunidade da cidade de Dondo para o processo de selecção, quando deverão ser oferecidas oportunidades de empregos directos, ocupação e renda.

A contratação de pessoal mesmo que temporária, resultará em pagamento de numerários, o que aumentará o poder aquisitivo das pessoas envolvidas, resultando em melhoria das condições económicas e sociais dos empregados e dos seus familiares. Por sua vez o aumento do poder de compra irá gerar dinamismo no mercado local, posto que haverá maior circulação de moeda. Como efeito multiplicador, espera-se o crescimento do comércio e o aumento de arrecadação tributária. Tudo isso reflecte-se positivamente nos parâmetros económicos e sociais das áreas de influência do projecto.

Gráfico 7 – Impactos causados pela concentração de diversos trabalhadores no local de construção da Central Solar de Dondo.



(Fonte: Autor)

A partir do gráfico 7, observa-se em primeiro lugar que com a concentração de diversos trabalhadores provenientes de diversos locais gera maior competição de emprego, em segundo lugar observa-se o desenvolvimento de índices humanos, em terceiro lugar observa-se a insegurança social, em quarto lugar observa-se o aumento de doenças, em quinto lugar observa-se a competição de renda e em sexto lugar e último observa-se a insegurança patrimonial.

4.2.2. Transporte de materiais e instalação dos painéis solares

Durante a fase do transporte dos equipamentos e dos materiais e produtos para as obras, ocorrerá o lançamento de gases e a emissão de ruídos nas estradas de acesso à área do projecto, sendo mais significativo nas rodovias de pouco tráfego ou na travessia de locais habitados, causando incómodos à população destas áreas em decorrência da alteração da sonoridade ambiental.

Durante esta acção é previsível o lançamento de poeiras nas estradas não pavimentadas de acesso, o que poderá comprometer a qualidade do ar, bem como causar incómodos à população. Este efeito é previsível na estrada de acesso directo a área.

Nesta fase da implantação iniciam-se as acções que causarão alteração da paisagem, emissão de ruídos e lançamento de gases e poeiras que são impactos cumulativos e sinérgicos e desencadearão outros impactos como o desconforto ambiental, o afugentamento da fauna bravia. No local das obras haverá produção de lixo, o que concorrerá para o aumento da produção de resíduos sólidos na área, gerando adversidades, tanto a nível da área de influência directa como indirecta, uma vez que haverá o descarte dos materiais gerados na obra.

A geração de resíduos sólidos e efluentes domésticos criam condições favoráveis para atrair uma fauna sinantrópica, a qual poderá ser veiculadora de doenças. A produção de resíduos sólidos orgânicos, inclusive restos de alimentos produzidos pelos operários, poderá causar impactos sobre a fauna silvestre, pois animais poderão eventualmente ingerir alguns produtos, intoleráveis, causando intoxicação ou morte. Para a gestão de resíduos sólidos serão requisitados serviços, o que resultará em crescimento dos sectores terciário e público da cidade de Dondo.

Riscos de acidentes de percursos envolvendo veículos e pessoas são potenciais, principalmente na travessia de pequenas comunidades onde os moradores não têm costume de conviver com o trânsito de máquinas e veículos e onde não há sinalização de advertência. Certamente que nestas comunidades mais tranquilas, ocorrerá um aumento no fluxo de veículos, o que gerará incómodos à população residente.

A acção resultará em geração de emprego e/ou renda para uma categoria específica de trabalhadores envolvidos com o transporte de equipamentos e materiais de construção. Ressalta-se ainda que o comércio mais próximo poderá se beneficiar, com a venda de mercadorias diversas e serviços como restaurantes, bares, oficinas, prevendo-se uma maior demanda no transcorrer da acção para atendimento aos profissionais envolvidos com o transporte, o que se reflectirá numa maior circulação de moeda no mercado em torno da área, o que consequentemente gera maior arrecadação tributária para a cidade de Dondo.

A instalação de painéis solares resultará em alteração dos aspectos paisagísticos da área, gerando impactos visuais e que no local de trabalho, pela própria evolução da obra, ocorrerá uma instabilidade ambiental devido ao constante manejo de estruturas, materiais e equipamentos. Na área de influência directa, serão instalados equipamentos provisórios de água, esgoto, energia e

comunicações, os quais ficarão expostos, por se tratar de estruturas temporárias, o que poderá intensificar os impactos sobre a paisagem.

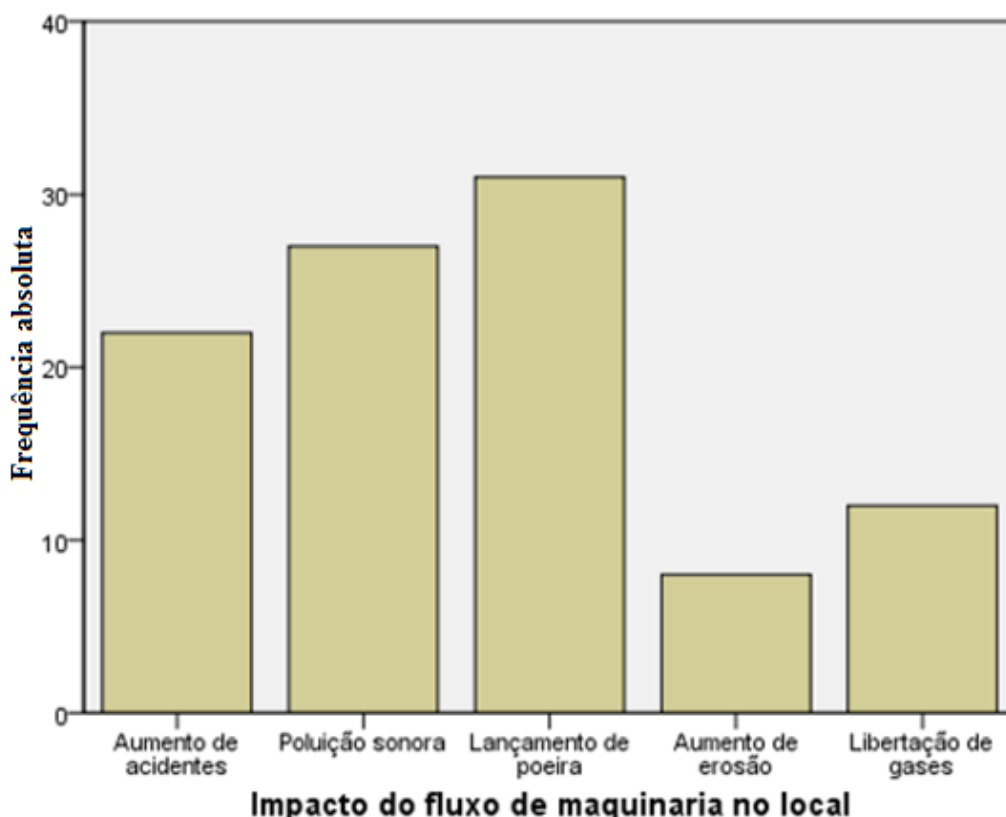
Para instalação dos painéis, far-se-á necessária a remoção da cobertura vegetal, o que resultará em prejuízo para as comunidades vegetais e faunísticas, uma vez que haverá eliminação de *habitats* e o afugentamento de animais, os quais serão também afugentados pela movimentação de pessoas e equipamentos no local.

A retirada da vegetação mesmo que de forma localizada resultará em alteração na dinâmica ambiental, pois se considera que a superfície ficará exposta à actuação dos ventos, o que poderá provocar acirramento dos processos erosivos, e consequentemente, migração de areias no sentido da direcção dos ventos dominantes, cujos efeitos podem ultrapassar as fronteiras da área do projecto.

A supressão vegetal e os impactos decorrentes desta (destruição de *habitats*, afugentamento da fauna, perda de biodiversidade) são considerados cumulativos e sinérgicos com outras acções da própria implantação da Central e também com o desmatamento necessário para a implantação de outros empreendimentos na região. Tais impactos são possíveis de produzir efeitos negativos, de carácter permanente, que atuam de forma directa, ocorrendo em curto prazo, de forma irreversível, com abrangência local que, embora sejam de baixa magnitude, são significativos.

A instalação de painéis solares pressupõe, além da adequação da superfície do terreno, instalações diversas que actuam sobre o terreno promovendo movimentação de terra, o que certamente põe em risco eventuais vestígios arqueológicos ainda não manifestados. A sua acção se faz através da alteração na distribuição espacial (vertical e horizontal) de vestígios arqueológicos eventualmente presentes. Tais impactos são possíveis de produzir efeitos negativos, de carácter permanente, que actuam de forma directa, ocorrendo em curto prazo, de forma irreversível, com abrangência local que, embora sejam de baixa magnitude, são significativos.

Gráfico 8 – Impactos causados pelo fluxo de maquinaria no local do projecto.



(Fonte: Autor)

A partir do gráfico 8, observa-se em primeiro lugar que o fluxo de maquinaria no local do projecto lidera com o lançamento de poeira, em segundo lugar lidera com a poluição sonora, em terceiro lidera com o aumento de acidentes, em quarto com a libertação de gases e em último lugar com o aumento de erosão.

4.2.3. Complexo Eco-turístico da Central

A construção da Central poderá modificar os costumes das comunidades mais próximas, pois com o seu funcionamento espera-se uma alteração no perfil da população em termos sócio-culturais e económicos, pois os diversos equipamentos serão ocupados com pessoas vindas de diversas localidades, inclusive de outras nacionalidades, formando uma população com poder aquisitivo muito superior ao da população local, e consequentemente, os valores e costumes são outros. A

população da região que possa a vir se envolver com o empreendimento, com emprego directo ou prestação de alguns serviços pode absorver alguns costumes de outras culturas.

Relativamente aos impactos sobre a prostituição, deve-se ressaltar que não é interesse do projecto fomentar o desenvolvimento da prostituição em qualquer de suas formas. Entretanto, o surgimento de um contingente de trabalhadores assalariados na fase de construção do projecto, com rendimentos relativamente elevados quando comparados à média local poderão conduzir a um aumento da prostituição e, conseqüentemente na disseminação de ITSs e HIV/SIDA, devido ao um incremento de contactos sexuais com parceiras/os heterossexuais e trabalhadoras do sexo.

Nesse contexto, há prognóstico de crescimento da prostituição por influência do projecto, quer seja na sua área directa ou indirecta, ressaltando-se, que é objectivo do empreendimento criar mecanismos como valorização da força de trabalho jovem da cidade de Dondo através de capacitação profissional, promoção de programas de sensibilização e conscientização da população para o desenvolvimento do turismo sustentável e promoção de campanhas de combate à prostituição, os quais deverão inibir o desenvolvimento da actividade de prostituição e/ou turismo sexual na cidade de Dondo.

De todas formas serão geradas oportunidade de ocupação e renda nestas localidades, como também é previsível que o turismo no local seja impulsionado com o surgimento de novos equipamentos de hospedagem e lazer. Tudo isso gera circulação de dinheiro, e conseqüentemente, arrecadação de impostos.

A Central Solar de Dondo poderá contribuir positivamente na realização de visitas programadas de estudos científicos e de contemplação tecnológica, representando assim um lugar de interesse turístico importante para a sociedade moçambicana.

4.3. Impactos sobre os factores ambientais

Os impactos ambientais analisados sobre a óptica de cada factor ambiental considerado no diagnóstico ambiental serão feitos de forma descritiva.

4.3.1. Meio Físico

Clima

Durante a fase de instalação dos painéis solares far-se-á necessária a limpeza do terreno, com remoção da cobertura vegetal, em grande parte do terreno, o que mesmo sendo executada de forma gradual e planeada resultará em alteração do micro-clima, sendo as respostas mais evidentes e imediatas, o aumento de sensação térmica e diminuição de evapotranspiração, o que causa desconforto ambiental.

Durante a fase de implantação ocorrerá a alteração da qualidade do ar em decorrência do lançamento de poeiras e gases devido ao manuseio de materiais e utilização de equipamentos pesados.

A sonoridade local será afectada pela emissão de ruídos decorrente do uso de equipamentos e veículos que circularão na área do projecto durante as obras.

Geologia, Geomorfologia e Geotécnica

A área de influência directa do projecto é constituída de diferentes litologias do domínio sedimentar, onde são identificados sedimentos areno-argilosos, os quais predominam em termos de afloramento.

Quanto às características geotécnicas, as alterações são mais significativas, uma vez que algumas intervenções durante a fase de implantação resultarão em alterações das camadas mais superficiais do terreno devido à introdução de materiais de composição e granulometria diferentes, ressaltando-se ainda que os processos de compactação e pavimentação resultam em alteração nas capacidades de absorção do solo e nos índices de permeabilidade do terreno.

As superfícies areno-argilosas apresentam boas características geotécnicas, o que facilita a instalação das obras da infra-estrutura. Estas são muito susceptíveis à erosão pela baixa agregação de partículas, no entanto, apresentam boa escavabilidade. As superfícies com textura mais finas como os sedimentos areno-argilosos podem sofrer processos erosivos mais intensos devido à movimentação de equipamentos e veículos, sendo que estas além de apresentarem boa escavabilidade apresentam boa capacidade de suporte de carga.

Durante a implantação, nas áreas afectadas pela limpeza do terreno, a superfície ficará exposta temporariamente aos agentes erosivos. Assim, durante o período chuvoso, os processos activos serão mais intensos pela acção das águas pluviais, actuando no carreamento de materiais terrosos para as áreas topograficamente mais baixas, enquanto no período seco, os processos são dominados pelos ventos, actuando na migração de sedimentos, no sentido da sua direcção.

Os serviços de terraplenagem e sistematização do terreno resultarão em alterações irreversíveis na morfologia original do terreno, uma vez que serão manejados sedimentos para adequação da superfície à construção dos diversos equipamentos de infra-estrutura. A acção resultará directamente em alterações morfológicas e geotécnicas da área de intervenção, uma vez que serão manejados materiais, através de cortes e aterros, para adequação do terreno à construção, ressaltando-se que os impactos serão mais significativos nos sectores onde o relevo se mostra suave ondulado, sendo o citado componente ambiental será mais afectado. A construção das vias de acesso e circulação interna e, sobretudo, a etapa de terraplenagem e de drenagem, de construção das obras civis auxiliares e de edificações das fundações e bases causarão impactos, sobre a morfologia do terreno.

4.3.2. Meio Biótico

Flora

O meio biótico na área de implantação da central será afectado directamente pela acção de limpeza do terreno, que desencadeará outros impactos. De um modo geral, a acção resultará em significativo prejuízo à cobertura vegetal, pela perda do potencial florístico, destacando-se que juntamente com a vegetação será removido todo um banco genético.

Os processos naturais de evolução do ecossistema serão alterados, uma vez que a acção desencadeará alterações em série, destacando-se além das mudanças bióticas, desestabilização na geodinâmica, o que por sua vez interfere na morfogénese local.

A retirada da vegetação resultará em alteração da paisagem da área de influência directa. Durante a acção a paisagem se mostrará degradada, entretanto, posteriormente a paisagem poderá ser contemplada com projectos de arborização.

Fauna

A mobilização de máquinas e equipamentos na área durante a implantação das infra-estruturas da central levará ao afugentamento temporário da fauna, pela emissão de ruídos, impacto este sinérgico ao gerar riscos de atropelamentos de animais silvestres nas principais vias de acesso a área. A acção de limpeza do terreno implicará no afugentamento da fauna em função de várias acções da actividade. Primeiramente em função do trânsito de veículos na área que emitirão ruídos e por fim pela supressão da vegetação que levará a perda de *habitats*.

Nas acções de limpeza do terreno, também consideradas como sinérgicas, *habitats* específicos como os da entomofauna serão destruídos, assim como répteis, ninhos e tocas poderão ser afectados.

Na área de construção da central é previsível uma intensa movimentação de trabalhadores, equipamentos e maquinaria pesados, reflectindo-se em modificação do ambiente local e afugentamento da fauna.

Os principais impactos prognosticados sobre a fauna (afugentamento, aumento dos riscos de atropelamentos, riscos de acidentes com a avifauna) serão cumulativos e sinérgicos entre as obras de infra-estrutura que demandarão uma supressão da vegetação na área do projecto.

Ecossistemas Aquáticos

A fauna aquática do Rio Bhuto e Rio Sambauangue que constituem linhas de drenagem para o rio Pungué poderá ser afectada caso sejam depositados e/ou descartados erroneamente materiais em torno da área do projecto, tanto na fase de implantação, quanto de operação da central.

Estes poderão ser carregados pelas chuvas e pelo vento para o rio contribuindo para o seu assoreamento e para o aumento na turbidez da água que interferirá na penetração de luz e na realização de fotossíntese no referido corpo hídrico, prejudicando assim a produção primária e consequentemente atingindo de forma indirecta a fauna local.

O risco de contaminação dos recursos hídricos na fase de operação poderá resultar em alteração na evolução dos ecossistemas aquáticos; porém a caracterização dos efeitos gerados sobre os parâmetros citados só poderá ser definida mediante acompanhamento ambiental.

4.3.3. Meio Socio-económico

Na área de implantação da Central Solar não existe população residente, nem edificações, somente machambas da população local para a produção agrícola.

Durante o período de implantação da central observa-se que na Área de Influência Directa haverá um fluxo de trabalhadores, como também um acréscimo de pessoas à procura de trabalho nas localidades mais próximas, pois a obra demandará um grande contingente de mão-de-obra.

Na identificação dos possíveis impactos socio-económico gerados pela implantação do empreendimento destaca-se os seguintes aspectos: dinâmica populacional, infra-estrutura social e infra-estrutura física.

A aquisição de serviços ou geração de empregos durante as fases do projecto trará um efeito de aumento da renda para a população, melhoria das condições de vida da população, crescimento do comércio e aumento da arrecadação tributária para a cidade de Dondo.

As alterações da paisagem, perda de cobertura vegetal, riscos de acidentes operacionais somam-se gerando impactos negativos sobre o sistema ambiental antrópico. As obras criarão oportunidades de empregos directos para um contingente significativo de trabalhadores.

O incremento da oferta de empregos directos e as actividades inerentes às obras, tais como compra de materiais, transporte de pessoas e matérias-primas, por sua vez, geram efeitos sobre outras actividades, entre elas, a prestação de serviço, prevendo-se também o aumento na oferta de empregos indirectos.

Por meio do pagamento de salários aos trabalhadores, do recolhimento de impostos, da aquisição de bens e serviços de fornecedores locais, a qual deverá ser priorizada pelo empreendedor, haverá aumento do capital circulante, o que atingirá positivamente a economia da cidade de Dondo.

Durante a fase de operação a população será flutuante. O empreendimento terá carácter de turismo e desta forma, seus frequentadores dificilmente irão usufruir dos serviços de saúde, educação e transportes públicos. Por outro lado, durante o funcionamento do empreendimento aportarão ao local, pessoas de várias partes do mundo, sendo importante para o crescimento do turismo local e desenvolvimento da economia da região, entretanto, a constante passagem de pessoas de outras

regiões do país e estrangeiras deixará a área ou mesmo a região mais exposta à transmissão de doenças, principalmente as virais como a COVID-19, podendo sobrecarregar o sistema público de saúde.

A contratação de mão-de-obra local diminuirá a migração de pessoas para a região (através de oportunidades de empregos directos e indirectos) e por consequência, minimizará a pressão sobre os serviços de saúde pública, educação e moradia na cidade de Dondo.

O tráfego diário na rodovia que dá acesso ao local do projecto será modificado, pois na fase de implantação da central haverá um aumento de veículos de médio e grande porte em direcção à área do projecto, levando os instrumentos e materiais necessários à sua implantação, destacando-se que não haverá a construção de acesso particular até o local do empreendimento.

O aumento do volume de tráfego, sobretudo por equipamentos pesados, poderá levar à degradação das vias, sobretudo na época chuvosa. O aumento do volume de tráfego e a possível degradação das rodovias poderão acarretar, por sua vez, o aumento dos acidentes de trânsito.

Os riscos de acidentes de percurso envolvendo veículos e pessoas são potenciais, principalmente na travessia de pequenas comunidades onde os moradores não têm costume de conviver com o trânsito de máquinas e veículos e onde não há sinalização de advertência. Certamente que nestas comunidades mais tranquilas, ocorrerá um aumento no fluxo de veículos, o que gerará incómodos à população residente.

A população residente na área de influência directa poderá sofrer incómodos também devido à geração de ruídos e lançamento de poeiras decorrentes do trânsito de veículos pesados e equipamentos.

A população de trabalhadores que aportará à área poderá ser veiculadora de doenças para a região. O nível de saúde da população da área de influência directa poderá sofrer adversidades em decorrência da convivência directa da população de trabalhadores.

O acondicionamento e a destinação não adequada dos resíduos sólidos poderão acarretar odores, contaminação do solo e dos recursos hídricos causando a proliferação de vectores e a ocorrência de doenças e/ou incómodos a população residente próxima do projecto.

Com os empregos gerados e consequentemente o aumento da renda familiar, a qualidade de vida de muitas pessoas poderá vir a ter uma melhora significativa.

As características da população serão modificadas em virtude do aporte de mão-de-obra para a região e das migrações inter-classes sociais como reflexos da nova distribuição de renda.

O fluxo de pessoas no local do projecto trará mudanças em relação aos costumes e tradições locais considerando-se a pressão social decorrente da chegada de pessoas “estranhas”, tais como ansiedades em relação aos aspectos de segurança e saúde.

Durante o funcionamento da central os efeitos negativos a serem gerados correspondem principalmente à alteração no perfil da população, maior produção de efluentes domésticos, maior produção de resíduos sólidos e a poluição sonora. No entanto estes impactos podem ser atenuados por medidas de controlo e monitoramento destas adversidades.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho tratou de avaliar a geração de electricidade a partir da tecnologia fotovoltaica e analisar os impactos relacionados à sua produção. Esta produção foi analisada desde a extracção do silício até a produção e fase de uso do módulo fotovoltaico (FV) (Local de produção da energia solar). Foi realizada uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para analisar os impactos que são ocasionados ao longo do processo produtivo do módulo fotovoltaico e fazer uma comparação com a energia utilizada na matriz Moçambicana.

Para realizar esta análise foi considerado que a produção do módulo FV é realizada na China. Esta modelagem foi necessária devido ao facto de em Moçambique ainda não haver fábricas de purificação do silício até ao grau solar.

Avaliou-se comparativamente os impactos gerados de acordo com as sete (7) categorias de impacto analisadas e percebe-se a ACV do módulo fotovoltaico em todas as categorias de impacto analisadas.

Percebe-se que a matriz energética Moçambicana é mais limpa que a chinesa, onde grande parte de fonte energética provém do carvão.

A partir dos processos que foram realizados para se produzir o módulo FV, verificou-se que o processo de produção do módulo FV foi o que mais contribuiu nas categorias de impacto. Dentro do processo de produção do módulo FV, o alumínio e o vidro foram os compostos que mais tiveram representatividade da emissão dos impactos. Em seguida o processo de purificação do silício também obteve resultados significativos nas categorias de impacto. A extracção do silício e o uso do *mix* de energia chinesa foram os compostos que mais contribuíram no processo de purificação do silício.

A produção do *wafer* e da célula fotovoltaica não apresentaram valores significativos nas categorias de impacto.

Os indicadores de energia e água obtiveram maior consumo na extracção, purificação do silício e na produção do módulo, onde os principais compostos de consumo foram o silício, o alumínio e o vidro.

O alumínio e o vidro foram os compostos que mais contribuíram na acidificação no processo produtivo do módulo fotovoltaico. Desta forma, um potencial significativo de acidificação pode contribuir para a geração de chuva ácida e com danos ao meio ambiente.

Para o Potencial de Eutrofização pode contribuir na proliferação de algas e pode causar danos à saúde. O Potencial de Toxicidade Humana apresentou valores representativos na produção do módulo fotovoltaico. Seu índice alto foi referente à grande contribuição do alumínio nesta categoria de impacto. Por fim, o Potencial de Depleção Abiótica (PDA) mostrou valores muito baixos excepto no módulo fotovoltaico. Foi verificado que essa categoria de impacto obteve maior representatividade no módulo FV com o cobre como maior contribuinte. O vidro também apresentou uma contribuição expressiva no PDA.

De uma forma geral, os componentes que mais contribuíram para os impactos ambientais foram o alumínio, o vidro, silício e o *mix* de energia chinesa. Como o alumínio e o vidro estão mais presentes no módulo FV, o mesmo processo foi o que mais apresentou impacto em toda a linha produtiva.

Entretanto, a maior contribuição no total dos impactos gerados nessa cadeia de produção do módulo fotovoltaico realizada na China resulta o facto de matriz energética da China ser muito dependente do carvão, o que faz com que a produção dos painéis tenha valores altos de emissões de poluentes.

Quanto aos impactos ambientais no local da produção da corrente eléctrica, o projecto tem potencial para resultar em impactos no ambiente físico, biótico e socio-económico.

De acordo com a observação directa no local do projecto, constatou-se que os impactos potenciais no ambiente físico, tais como o aumento da emissão de poeiras e de poluentes, ruído, tráfego, erosão, compactação do solo, poluição do solo, escoamento superficial, são mais susceptíveis de ocorrer com uma maior intensidade durante a fase de construção, mas podem também ocorrer nas fases de operação e desactivação, pois, trata-se de um local em que a terra é areno-argilosa.

Olhando na perspectiva do ambiente biótico, e sendo que no local do projecto e na sua envolvente não ocorrem *habitats* ou ecossistemas de particular relevância, os impactos em áreas alagáveis resultantes de eventuais aterros e da remoção de vegetação para o estabelecimento das estruturas do projecto é o impacto de maior relevância identificado neste estudo de impactos ambientais. O nível de interferência das actividades do projecto na integridade ecológica das áreas alagáveis existentes irá depender de factores tais como a localização das infra-estruturas (configuração do projecto), tráfego de maquinaria e equipamento, assim como de práticas de gestão de resíduos e de águas residuais.

Quanto à remoção de vegetação (principalmente machambas de subsistência e mata arbustiva), é importante garantir que todos os trabalhadores e pessoal de apoio tenham pré-formação de acções de consciencialização ambiental, com o foco na necessidade de minimização dos impactos do projecto nos *habitats* naturais, com ênfase no mangal da AII, assim como na fauna e flora associadas.

De acordo com os dados colhidos no local, não existem habitações no local do projecto, sendo o local usado predominantemente para a prática de agricultura de subsistência. Numa perspectiva socio-económica, a deslocação económica e a consequente necessidade de compensação e restauração dos modos de vida dos agregados familiares que usam a área da Central Solar Fotovoltaica para a sua sobrevivência (ou seja, a compensação pelo uso da terra agrícola, incluindo culturas, árvores de fruto e pequenas estruturas usadas como “abrigos de machamba” durante o cultivo) será o impacto mais significativo do projecto. Não será necessária a deslocação física de casas ou qualquer processo de reassentamento relacionado.

De acordo com a visita efectuada e as entrevistas feitas aos moradores locais do projecto e os estudos preliminares determinaram a inexistência de questões suficientemente significativas para impedirem o prosseguimento da execução do projecto de construção da Central Solar de Dondo. Entretanto, no caso de se prosseguir com o projecto da construção da central, será necessário desenvolver e implementar um plano de compensação e um plano de restauração dos meios de subsistência, com as compensações a serem acordadas e pagas antes do início das actividades de construção, para garantir o cumprimento da legislação Moçambicana aplicável e os Padrões de desempenho da Internacional *Finance Corporation* (IFC) e do Banco Mundial.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

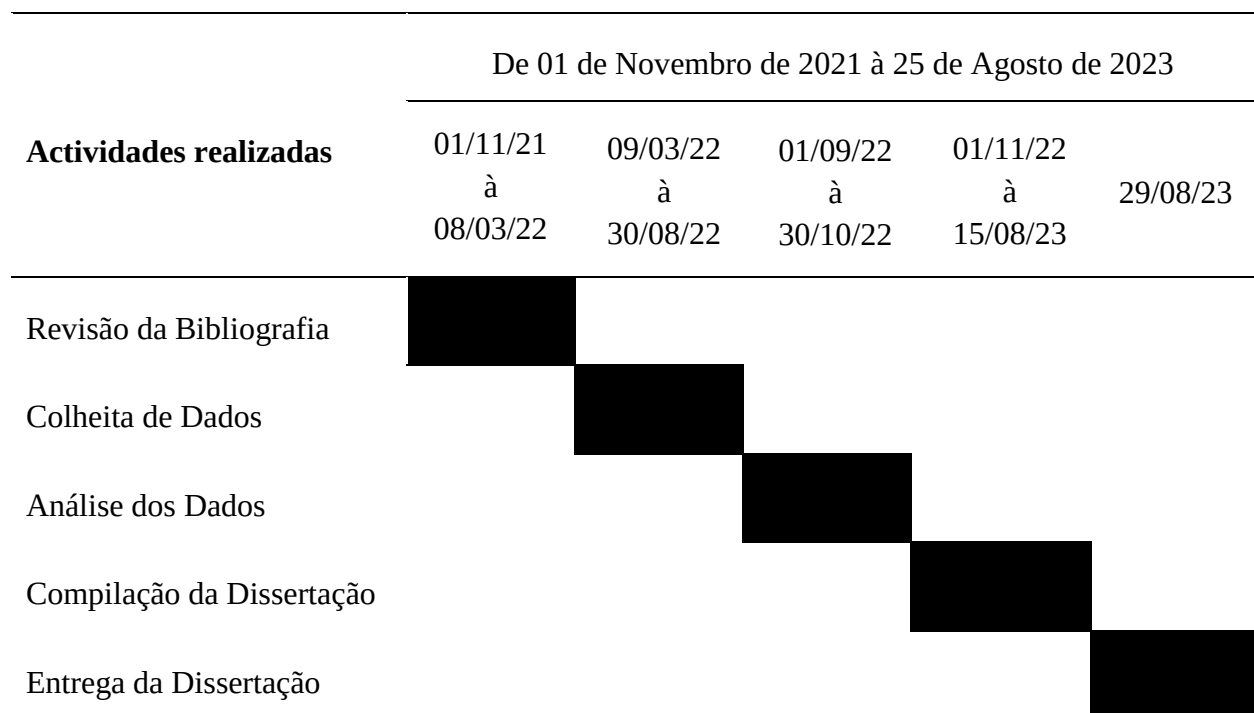
1. ALSEMA, E. *Environmental impacts of crystalline silicon photovoltaic module production*. Research Gate, 11. 2005.
2. ALSEMA, E., & PHYLIPSEN, G. J. *Environmental life-cycle assessment of multicrystalline silicon solar cell modules*. Agency for Energy and the Environment, NOVEM, 67. 1995.
3. ALSEMA E., & WILD-SCHOLTEN, M. D. *Environmental life cycle inventory of crystalline silicon photovoltaic module production*. Boston. Nov 2005.
4. ANEEL. *Energia Solar*. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-energia_solar (3).pdf. 13 de outubro de 2017.
5. ALSEMA, et. al. *Methodology Guidelines on Life Cycle Assessment of Photovoltaic Electricity*. ResearchGate, 21. 2011.
6. ALSEMA, E., & PHYLIPSEN, G. J. *Environmental life-cycle assessment of multicrystalline silicon solar cell modules*. Agency for Energy and the Environment, NOVEM, 67. 1995.
7. ARANTEGUI, R. L., & JÄGER-WALDAU, A. *Photovoltaics and wind status in the European Union after the Paris Agreement*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 12. 18 Jun 2017.
8. ARAMIZU, J. Modelagem. *Análise De Desempenho De Um Sistema Fotovoltaico Em Operação Isolada E Em Paralelo Com Uma Rede De Distribuição De Energia Elétrica*. USP – Escola de Engenharia de São Carlos. 2010.
9. ADRIANA, OLIVEIRA DE SOUZA. *Avaliação de impactos ambientais do módulo fotovoltaico: produção e uso como fonte de energia elétrica Brasília*. Brasília, 2017.
10. BARRETO, et al.. *Eutrofização Em Rios Brasileiros*. Itapetinga, BA, Brasil. 01 Jul 2013.
11. BNDES. *Considerações Sobre A Indústria Do Vidro No Brasil*. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 26, p. 101-138, set. 2007.
12. BNDES. *A indústria do alumínio: Estrutura E Tendências*. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. BNDES Setorial 33, p. 43-88. 2010.

13. CARNEIRO, J. *Módulos Fotovoltaicos: Características E Associações*, Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Universidade do Minho, 2010.
14. CEB. NTD 6.09 *Requisitos Para A Conexão De Acessantes Ao Sistema De Distribuição Ceb D- Conexão Em Baixa E Média Tensão*. Brasília: Ceb Distribuição. 2014.
15. DE CASTRO, J.F.M. *Subsector Analysis – Solar Business In Mozambique*. 2014
16. FERREIRA, Reinaldo L., MINEIRO, Érico F. e VEIGA, Ricardo T. (2010) *Energias alternativas e a adopção da inovação pelo consumidor*, *Espaço Energia*, nº 12, Brasil.
17. FU, Y., LIU, X., & YUAN, Z. *Life-cycle assessment of multi-crystalline photovoltaic (PV) systems in China*. *Journal of Cleaner Production*, 11. 2014.
18. FUNAE. *Atlas das Energias renováveis de Moçambique: Recursos e Projectos Para Produção de Electricidade*. Maputo, 2017.
19. GABI. *LCA and introduction to Gabi*. Fonte: Thinkstep Gabi. Disponível em: http://www.gabisoftware.com/fileadmin/GaBi_Manual/GaBi_Paperclip_tutorial_Part.pdf. 15 Maio 2017.
20. GABI. *Paper Clip Tutorial Part 1*. Disponível em: http://www.gabisoftware.com/fileadmin/GaBi_Manual/GaBi_Paperclip_tutorial_Part1.pdf. Acesso: 10 mar 2017.
21. GOSWAMI, D. Y. *Principles Of Solar Engineering*. Boca Raton: Taylor & Francis Group. 2015.
22. INTELLICA. *Estratégia para o envolvimento do sector privado na electrificação rural e acesso à energia renovável em Moçambique*. 2015.
23. IRENA. *International Renewable Energy Agency*. 2021.
24. KABAKIAN, V., MCMANUS, M. C., & HARAJLI, H. *Attributional life cycle assessment of mounted 1.8 kWp monocrystalline photovoltaic system with batteries and comparison with fossil energy production system*. *Applied Energy*, 10. 2015.
25. MME – Ministério de Minas e Energia, Secretaria De Geologia, *Mineração E Transformação Mineral-Sgm, A Mineração Brasileira. Produto 27 – Quartzo; Relatório Técnico 37-Perfil Do Quartzo*. Emílio Lobato. *Projecto Estal - Projecto De Assistência Técnica Ao Setor De Energia*. Agosto 2009.
26. MASINI, A., FRANKL, P. *Forecasting the diffusion of photovoltaic systems in southern Europe: A learning curve approach*. *Technological Forecasting & Social Change*. 2002.

27. PINHO, J. T., & GALDINO, M. A. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos CEPEL-CRESESB*. Rio de Janeiro. Mar 2014.
28. PAUTASSO D. E KERR L. *A Segurança Energética da China e as Reações dos EUA*. Revista CONTEXTO INTERNACIONAL. Vol. 30. 2008, p.37. Rio de Janeiro. 2008.
29. PRISCILA, CARVALHO PUPIN. *Avaliação dos impactos ambientais da produção de painéis fotovoltaicos através de análise de ciclo de vida*. Itajubá, 2019.
30. RSC - Royal Society of Chemistry, *Chemical Elements*, 2014. Disponível em www.rsc.org/www.chemicalelements.com/www.chemistryexplained.com/biomania.com, Acesso em Set 2018.
31. ROCHA, P. *Principais Tipos de Células Fotovoltaicas*. Engenharia de Petróleo - UFRJ Luxnova – Energia Solar. Rio de Janeiro, 2017.
32. ROCHA, A. M., *Tecnologias de Geração de Energia Solar*, Relatório de Estágio no âmbito do Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente pela Faculdade de Economia do Porto, 2015.
33. RODRIGUES, T. O. *Avaliação Dos Impactos Ambientais Da Produção De Bioóleo A Partir De Serragem No Estado Do Pará*. Brasília. Jun 2013.
34. VIANA, A. N. C. et al. *Energia: Conceitos e fundamentos*. In: *Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações*. 1. ed. [s.l.] PEE-ANEEL, 2012. p. 13–28.

ANEXOS:

Anexo 1: Cronograma das actividades desenvolvidas



Anexo 2: Formulário de inquérito à população abrangida pelo estudo

INQUÉRITO DIRIGIDO À CIDADE DE DONDO, BAIRRO DE MACHAROTE

INQUÉRITO POR QUESTIONÁRIO

ESTUDO DE CASO- “Estudo de impactos ambientais da futura Central Fotovoltaica de Dondo”

Este inquérito tem como objectivo, recolher informação para a realização de um trabalho de Mestrado, no domínio das ciências ambientais referentes ao estudo de impactos ambientais, a efectuar na Universidade Eduardo Mondlane. A população "alvo" deste inquérito por questionário são os munícipes do distrito de Dondo, concretamente no bairro de Macharote que se encontram na área de influência directa ou indirecta do projecto de construção da Central Fotovoltaica de Dondo. As questões estão directamente relacionadas com os potenciais impactos ambientais do empreendimento em causa. Os dados fornecidos são absolutamente confidenciais e anónimos e serão exclusivamente utilizados para fins de investigação científica. Peço-lhe, assim, que seja o mais rigoroso possível no seu preenchimento.

Agradece-se, desde já, o seu contributo!

Marca com X onde tenha um quadradinho e preencha as linhas em branco consoante a questão apresentada.

Nome completo: _____

PERFIL DO INQUERIDO

1. Qual é a sua idade?

18 à 25 anos ☐	26 à 30 anos ☐	31 à 35 anos ☐	36 à 40 anos ☐	Mais de 40 anos ☐
---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	---------------------------------------	--

2. Sexo?

a) Masculino ☐ b) Feminino ☐

3. Qual é o seu nível de escolaridade?

a) Não frequentou nenhum ensino ☐	b) Ensino Primário I-Ciclo (1ª à 5ª) ☐
c) Ensino Primário II-Ciclo (6ª à 7ª) ☐	d) Ensino Secundário I-Ciclo (8ª à 10ª) ☐
e) Ensino Secundário II-Ciclo (11ª à 12ª) ☐	f) Ensino Superior ☐

4. Há quanto tempo vive no Macharote?

a) Menos de 5 anos ☐ b) 5 à 10 anos ☐ c) Mais de 10 anos ☐

5. O que tem feito para ganhar a vida/Profissão?

- a) Agricultura ☐
b) Produção de lenha e carvão ☐
c) Comércio informal (venda de diversos produtos) ☐
d) Funcionário público (trabalha para o Estado) ☐
e) Outras ☐ Indique _____

ESTUDO DO MEIO FÍSICO

1. Tiveste informação do projecto da construção da central solar aqui em Macharote?

a) Sim ☐ b) Não ☐

2. As famílias que estão no local do projecto tiveram a indicação do reassentamento?

a) Sim ☐ b) Não ☐ c) Não sabe ☐

3. As famílias que estão no local do projecto terão direito a indemnização?

a) Sim ☐ b) Não ☐ c) Não sabe ☐

4. O que você espera do projecto para a comunidade de Macharote?

a) Oportunidade pelo emprego ☐	b) Oportunidades de negócios ☐
c) Melhoria do nível de escolaridade ☐	d) Desenvolvimento socio-económico ☐

e) Qualidade profissional ☐	f) Outro ☐ _____
--	---

5. O que pode ser causado pela concentração de diversos trabalhadores provenientes de diverso locais?

a) Competição de emprego ☐	b) Insegurança social ☐
c) Desequilíbrio de índices humanos ☐	d) Competição de renda ☐
e) Aumento de doenças ☐	f) Insegurança patrimonial ☐

6. Quais são os problemas ou desconfortos para a comunidade que poderão ser causados pelo fluxo de maquinarias e veículos do projecto?

a) Nenhum problema ☐	b) Aumento de acidentes ☐
c) Poluição sonora (barrulho) ☐	d) Lançamento de poeira ☐
e) Aumento de erosão ☐	f) Libertação de gases ☐

7. Quais são as actividades mais desenvolvidas no local do projecto?

a) Agricultura ☐	b) Queima de carvão ☐
c) Extracção de pedra ☐	d) Corte de madeira ☐
e) Extracção de areia ☐	f) Colecta de mel ☐
g) Caça de animais ☐	h) Nenhuma ☐

8. Existem alguns rios por perto que podem ser afectados pelas obras de construção?

a) Sim ☐, Quais?

b) Não ☐

9. Existem alguns lugares públicos que estão próximo do local do projecto?

a) Igrejas ☐	b) Escolas ☐
c) Hospitais ☐	d) Mercados ☐
e) Padarias ☐	f) Moageiros ☐

10. A (s) estrada (s) que permite (m) chegar ao local do projecto estão pavimentadas?

a) Sim ☐

b) Não ☐

11. Existe um aterro sanitário (lixreira) para gerir os resíduos perigosos aqui no bairro?

a) Sim ☐

b) Não ☐

12. Qual são os principais tipos de cultivo mais predominante no local do projecto?

a) Arroz ☐	b) Milho ☐
c) Feijão ☐	d) Batata-doce ☐
e) Mandioca ☐	f) Outros ☐

ESTUDO DO MEIO BIÓTICO

1. Quais são os animais mais produzidos no bairro de Macharote?

a) Bovinos ☐	b) Cabritos ☐
c) Suínos ☐	d) Ovinos ☐
e) Coelhos ☐	f) Patos ☐
g) Aves domésticas ☐	j) Outros _____ ☐

2. Quais são as hortaliças que cultivam no local do projecto?

a) Nenhuma ☐	b) Cenoura ☐
c) Cebola ☐	d) Tomate ☐

e) Repolho ☐	f) Couve ☐
g) Alho ☐	h) Outras _____ ☐

3. Quais são as árvores de fruta que podemos encontrar no local do projecto?

a) Mangueiras ☐	b) Tangerineiras ☐
c) Laranjeiras ☐	d) Limoeiros ☐
e) Abacateira ☐	f) Goiabeiras ☐

4. Existe alguma espécie de árvores de construção e produção da madeira no local?

a) Sim ☐, Quais?

b) Não ☐

5. Existem algumas plantas medicinais no local do projecto?

a) Sim ☐, Quais?

b) Não ☐

6. Existe uma espécie de aves no local do projecto?

a) Sim ☐, Quais?

b) Não ☐

7. Existe alguma espécie de animais selvagens no local do projecto?

a) Sim ☐, Quais?

b) Não ☐

ESTUDO DO MEIO SOCIO-ECONÓMICO

1. Existem vias de acesso (estrada / caminho) que travessam o local do projecto?

a) Sim ☐

b) Não ☐

2. Qual é a principal doença que pode ser causa pela concentração de várias pessoas aqui em Macharote?

a) HIV / SIDA ☐	b) CORONA VIRUS ☐
c) Malária ☐	d) Outras _____ ☐

3. Como consegues adquirir água que você consome na sua casa?

a) FIPAG ☐	b) Bombas Manuais ☐
c) Poços ☐	d) Rios ☐

4. Qual é o sistema de iluminação que você usa na sua casa?

a) Energia eléctrica ☐	b) Painéis Solares ☐
c) Lanternas a pilha ☐	d) Velas ☐
e) Candeeiro ☐	f) Lenha ☐
g) Celulares ☐	h) Outro _____ ☐

5. Qual é o recurso que você usa para cozer os alimentos?

a) Gás de cozinha ☐	b) Carvão ☐
--	------------------------------------

c) Lenha ☐	d) Outro _____ ☐
-----------------------------------	---

6. Qual é o meio de comunicação que você usa na sua casa?

a) Televisão (TV) ☐	b) Radio ☐
c) Telefone ☐	d) Outro _____ ☐

7. Tens acesso a redes de telefonia móvel aqui Macharote?

a) Sim ☐ b) Não ☐

8. Qual é o tipo de material de construção da casa que você tem?

a) De blocos de cimento ☐	b) De tijolos ☐
c) De estacas ou caniços ☐	d) Outro _____ ☐

9. Qual é tipo de cobertura da sua casa?

a) De chapas de zinco ou roselite ☐	b) De capim ☐
--	--------------------------------------

10. Qual é a finalidade da produção agrícola aqui em Macharote?

a) Só para comércio ☐	b) Só para consumo ☐	c) Consumo e venda ☐
--	---	---

11. Qual é a finalidade da criação dos animais domésticos comestíveis aqui em Macharote?

a) Só para comércio ☐	b) Só para consumo ☐	c) Consumo e venda ☐
--	---	---

Muito Obrigado Pela Colaboração!

Elaborado Por: Eugénio Gabriel Jambo.

Anexo 3: Credencial de pesquisa de campo dirigida ao Bairro de Mcharote



Faculdade de Ciências

Ao

Município de Dondo- Bairro de Macharote

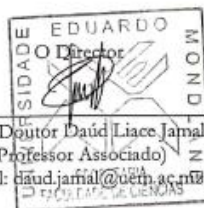
Província de Sofala

CREDENCIAL

No âmbito da pesquisa de campo inserida no trabalho final do Curso de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Energias Renováveis, intitulado: **Repercussões Ambientais da Energia Solar Fotovoltaica, Cadeia de Produto e Efeitos no Local**, credencia-se o estudante **Eugénio Gabriel Jambo**, para junto ao Bairro de Macharote, efectuar entrevistas à população moradora a fim obter a opinião local acerca dos possíveis Impactos Ambientais da futura Central Fotovoltaica.

Antecipadamente agradecemos o vosso apoio e colaboração.

Cordiais Saudações.



Prof. Doutor Dávid Liace Jamal
(Professor Associado)
e-mail: daud.jamal@uem.ac.mz

Maputo, 26 de Julho de 2022

Av. Julius Nyerere, nº 3453, Campus Principal, C. Postal 257, Tel.: (+258) 21 493377, Fax.: (+258) 21 493377,
Maputo – Moçambique

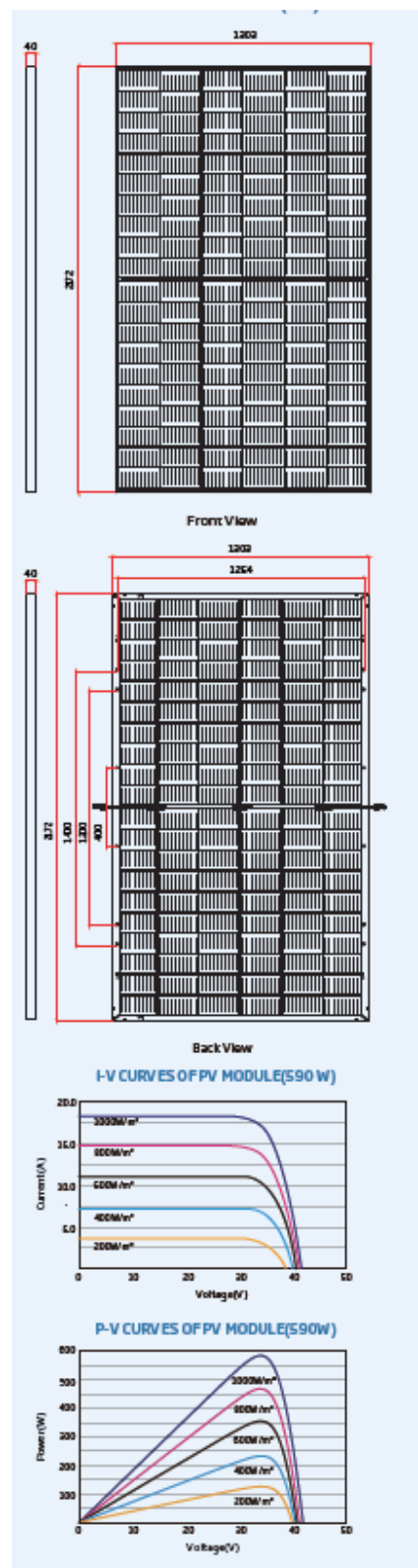
Anexo 4: Estrada que dá acesso à área de implantação do projecto.



Anexo 5: Algumas paisagens da área do local do projecto



Anexo 6: Dimensão, dados eléctricos, curvas I-V e P-V do módulo monocristalino de 600W



ELECTRICAL DATA (STC)

Peak Power Watts-P _{max} (Wp)*	580	585	590	595	600
Power Tolerance-P _{max} (W)	0 ~ +5				
Maximum Power Voltage-V _{MPP} (V)	33.8	34.0	34.2	34.4	34.6
Maximum Power Current-I _{MPP} (A)	17.16	17.21	17.25	17.30	17.34
Open Circuit Voltage-V _{oc} (V)	40.9	41.1	41.3	41.5	41.7
Short Circuit Current-I _{sc} (A)	18.21	18.26	18.31	18.36	18.42
Module Efficiency η (%)	20.5	20.7	20.8	21.0	21.2

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AML5.
*Measuring tolerance: ±3%.

Electrical characteristics with different power bin (reference to 10% Irradiance ratio)

Total Equivalent power-P _{max} (Wp)	621	626	631	637	642
Maximum Power Voltage-V _{MPP} (V)	33.8	34.0	34.2	34.4	34.6
Maximum Power Current-I _{MPP} (A)	18.36	18.41	18.46	18.51	18.55
Open Circuit Voltage-V _{oc} (V)	40.9	41.1	41.3	41.5	41.7
Short Circuit Current-I _{sc} (A)	19.48	19.54	19.59	19.65	19.71
Irradiance ratio (rear/front)	10%				

Power Bifaciality: 70±5%.

ELECTRICAL DATA (NOCT)

Maximum Power-P _{max} (Wp)	439	443	447	451	454
Maximum Power Voltage-V _{MPP} (V)	31.5	31.7	31.9	32.0	32.2
Maximum Power Current-I _{MPP} (A)	13.99	13.97	14.01	14.06	14.10
Open Circuit Voltage-V _{oc} (V)	38.5	38.7	38.9	39.1	39.3
Short Circuit Current-I _{sc} (A)	14.68	14.72	14.76	14.80	14.84

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20 °C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

Solar Cells	Monocrystalline
No. of cells	120 cells
Module Dimensions	2172×1303×40 mm (85.51×51.30×1.57 Inches)
Weight	35.3 kg (77.8 lb)
Front Glass	2.0 mm (0.08 Inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	POE/EVA
Back Glass	2.0 mm (0.08 Inches), Heat Strengthened Glass (White Grid Glass)
Frame	40mm(1.57 Inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 68 rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm² (0.006 Inches²), Portrait: 280/280 mm(11.02/11.02 Inches) Landscape: 2050/2050 mm(80.71/80.71 Inches)
Connector	MC4EVO2/ TS4*

*Please refer to regional datasheet for specified connector.

TEMPERATURE RATINGS

NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P _{max}	-0.34%/°C
Temperature Coefficient of V _{oc}	-0.25%/°C
Temperature Coefficient of I _{sc}	0.04%/°C

(Do not connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

WARRANTY

12 year Product Workmanship Warranty
30 year Power Warranty
2% first year degradation
0.45% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

MAXIMUM RATINGS

Operational Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
Max Series Fuse Rating	35A

PACKAGING CONFIGURATION

Modules per 40' container: 448 pieces
