



REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE

RELATÓRIO DA AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES TECNOLÓGICAS

GERAÇÃO DE ELECTRICIDADE E DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Junho, 2017



***AVALIAÇÃO DAS NECESSIDADES TECNOLÓGICAS DE MITIGAÇÃO
DOS GASES DE EFEITO DE ESTUFA NOS SECTORES DE GERAÇÃO
DE ELECTRICIDADE E DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS EM MOÇAMBIQUE***

Esta publicação é resultado do Projecto de Avaliação das Necessidades Tecnológicas, financiado pelo Global Environment Facility (GEF) e implementado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP) e a parceria UNEP DTU (UDP) em colaboração com o Regional Centre Energy Research Centre, da Universidade da Cidade do Cabo. Os pontos de vista expressos nesta publicação são da responsabilidade dos autores e não reflectem necessariamente os da parceria UNEP DTU, nem da UNEP. Lamentamos pelos prováveis erros e omissões eventualmente cometidos nest relatório, sem intenção. Esta publicação pode ser reproduzida na íntegra ou parcialmente ou de qualquer sem nenhuma autorização especial da entidade que detém os direitos autorais outra forma para propósitos educacionais ou services não-lucrativos, desde que a fonte seja devidamente referida. Não se poderá usar esta publicação para fins de revenda ou qualquer outro interesse commercial sem que tal tenha sido precedido de uma autorização formal e escrita da parceria UNEP DTU.

Disclaimer

This publication is an output of the Technology Needs Assessment project, funded by the Global Environment Facility (GEF) and implemented by the United Nations Environment Programme (UNEP) and the UNEP DTU Partnership (UDP) in collaboration with the Energy Research Centre, University of Cape Town. The views expressed in this publication are those of the authors and do not necessarily reflect the views of UDP, UNEP or the Energy Research Centre, University of Cape Town. We regret any errors or omissions that may have been unwittingly made. This publication may be reproduced in whole or in part and in any form for educational or non-profit services without special permission from the copyright holder, provided acknowledgement of the source is made. No use of this publication may be made for resale or any other commercial purpose whatsoever without prior permission in writing from the UNEP DTU Partnership.

Índice de Conteúdos

Índice de Conteúdos	3
Índice de Figuras e Tabelas	4
Lista de Acrónimos, Símbolos e Abreviaturas	5
Sumário Executivo	8
Capítulo 1. INTRODUÇÃO	9
1.1. Projecto de Avaliação das Necessidades Tecnológicas	9
1.2. Selecção dos Sectores	9
1.2.1. Perspectiva Sectorial, Mudanças Climáticas Projectadas, Emissões Actuais de Gases de Efeito de Estufa e as Tendências Sectoriais.....	10
1.2.2. Processo de Selecção dos Sectores e Seus Resultados.....	12
Capítulo 2. ARRANJO INSTITUCIONAL E ENVOLVIMENTO DAS PARTES INTERESSADAS	13
2.1. Equipa Nacional de Avaliação das Necessidades Tecnológicas.....	13
2.2. Processo de Envolvimento das Partes Interessadas seguido na Avaliação das Necessidades Tecnológicas: Avaliação Geral	16
Capítulo 3. PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS: Sector de Geração de Electricidade	17
3.1. Contexto Nacional do Sector de Geração de Electricidade	17
3.2. Emissões de Gases de Efeito de Estufa das Tecnologias em Uso no País para a Geração de Electricidade	19
3.3. Políticas Nacionais sobre Mitigação das Mudanças Climáticas e Prioridades de Desenvolvimento	21
3.3. Contexto de Decisão	24
3.5. Perspectivas de Potencial das Tecnologias de Mitigação, Potencial de Mitigação e Outros Benefícios.....	24
3.6. Critérios e Processo de Priorização de Tecnologias	25
3.7. Resultados da Priorização de Tecnologias	28
Capítulo 4. PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO SECTOR DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS.....	32
4.1. Contexto Nacional do Sector de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos.....	32
4.2. Emissões de Gases de Efeito de Estufa das Tecnologias em Uso no País para a Gestão de Resíduos Sólidos e Efluentes Urbanos	37
4.3. Contexto de Decisão	39
4.4. Perspectivas dos Potenciais das Tecnologias de Mitigação, Potencial de Mitigação e Outros Benefícios	39
4.5. Critérios e Processo de Priorização de Tecnologias	39
4.6. Resultados da Priorização de Tecnologias	41
Capítulo 5. SUMÁRIO E CONCLUSÕES.....	43
Capítulo 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas	47
A.1. Introdução	47
A.2. Características Específicas das Tecnologias.....	48
A.3. Critérios e Chave para a Sua Avaliação	71
A.4. Benefícios Sócio-económicos e Ambientais e Desenvolvimento Sustentável	72
Annex II: Lista dos Representantes das Partes Interessadas e Respective Contactos	74

Lista de Figuras

Figura 1. Emissões Nacionais Anuais de Gases de Efeito de Estufa no período 1995-2004	10
Figura 2. Composição qualitativa dos gases de efeito directo de estufa no período de 1995-2004[SCN, 2011].....	11
Figura 3. Contribuição media anual dos Subsectores de Energia (1995-2004) [SCN, 2011]	20
Figura 4. Plano de Desenvolvimento e Diversificação da Matriz de Energia Eléctrica Nacional (Fonte: Direcção Nacional de Energia, MIREME).....	22
Figura 5. Projectos de Geração de Electricidade em Moçambique (Fonte: EDM).....	23
Figura 6. Escalonamento das Tecnologias de Geração de Electricidade na Perspectiva de Mitigação das Mudanças Climáticas.....	29
Figura 7. Lixo não classificado espalhado à volta do.....	32
Figura 8. Catadores de Lixo em plena actividade em uma das lixeiras de Moçambique.....	33
Figura 9. Catador de Lixo com o produto do seu trabalho.....	33
Figura 10. Resultado da MCDA sobre Tecnologias de Gestão de RSU na perspectiva de mitigação das Mudanças Climáticas.....	42

Lista de Tabelas Principais

Tabela 1. Emissões médias anuais de Gases de Efeito Directo de Estufa (em CO _{2eq}) [SCN, 2011].....	10
Tabela 2. Emissões Globais de Gases de Efeito de Estufa (directos e indirectos)[SCN, 2011]	12
Tabela 3. Resumo das Emissões subsectoriais do Sector de Energia no período 1995-2004(SCN, 2011).....	20
Tabela 4. Critérios de Avaliação, Sua Quantificação e Peso de Incidência.....	26
Tabela 5. Tecnologias pré-seleccionadas para a geração de electricidade em Moçambique.....	28
Tabela 6. Produção Annual de RSU em alguns Municípios de Moçambique (GIZ, 2012)	35
Tabela 7. Categorização de algumas Cidades Municipalizadas Moçambicanas	36
Tabela 8. Evolução da população total e urbana e das respectivas emissões de CO _{2eq}	37
Tabela 9. Incineração de Resíduos Hospitalares e Respectivas Emissões	38
Tabela 10. Emissões de N ₂ O a partir de detritos humanos.....	38
Tabela 11. Critérios de Avaliação e Sua Quantificação	40
Tabela 12. Tecnologias de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos pré-seleccionadas	40

Lista de Tabelas Anexas

Tabela A 1. Valores dos Critérios intrínsecos às tecnologias pré-seleccionadas para a geração de electricidade	47
Tabela A 2. Valores dos Critérios intrínsecos às Tecnologias de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos.....	47
Tabela A 3. Caracterização da unidade NGCC	50
Tabela A 4. Caracterização da ANGCC.....	51
Tabela A 5. Caracterização da ANGCC com CCS	51
Tabela A 6. Resumo da Análise da ICF sobre os Novos Campos de Recursos em Moçambique	52
Tabela A 7. Caracterização da tecnologia IGCC (unidade simples) com CCS	53
Tabela A 8. Caracterização da IGCC (unidade simples).....	53
Tabela A 9. Caracterização do Sistema Avançado a Carvão Pulverizado (unidade simples).....	54
Tabela A 10. Caracterização do Sistema Avançado a Carvão Pulverizado (unidade simples) com CCS.....	55
Tabela A 11. Caracterização dos Sistemas Fotovoltáicos de Capacidade Regular	56
Tabela A 12. Caracterização dos Sistemas Fotovoltáicos de Capacidade Média	57
Tabela A 13. Caracterização de Unidade Hidroeléctrica Regular	57
Tabela A 14. Caracterização de Unidade Mini-Hidroeléctrica	58
Tabela A 15. Caracterização de Turbinas Eólicas Offshore.....	59
Tabela A 16. Caracterização de Turbinas Eólicas Offshore	60
Tabela A 17. Caracterização da Gaseificação Integrada de Biomassa para Ciclo Combinado.....	61
Tabela A 18. Caracterização da unidade de Combustão de Biomassa leito Fluidizado e borbulhante	63

Lista de Acrónimos, Símbolos e Abreviaturas

República de Moçambique

Tabela A 19. Caracterização da Pirólise de RSU.....	65
Tabela A 20. Caracterização da Gaseificação de RSU.....	66
Tabela A 21. Caracterização da uma Unidade de Incineração de RSU.....	67
Tabela A 22. Caracterização de uma Unidade de Gaseificação do Plasma	68
Tabela A 23. Caracterização de uma Unidade de Bioigestão Anaeróbica	68
Tabela A 24. Caracterização de uma Unidade de Compostagem em Vaso.....	69
Tabela A 25. Caracterização de um Aterro Sanitário com Produção de Biogás.....	70
Tabela A 26. Caracterização de um Aterro Sanitário com Produção de Biogás em um Biorreactor	71
Tabela A 27. Chave de Avaliação (Graduação) dos Critérios de Seleção das Tecnologias (Gestão de RSU).....	71
Tabela A 28. Avaliação das Tecnologias de Geração de Electricidade face aos Impactos Sócio-Económicos, Ambientais e Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável.....	72
Tabela A 29. Avaliação das Tecnologias de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos face aos Impactos Sócio-Económicos, Ambientais e Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável.....	73
Tabela A 30. Membros integrantes da Equipa Multi-sectorial (GIIMC)	74
Tabela A 31. Membros integrantes da Equipa do Ministério de Recursos Minerais e Energia (Geração de Electricidade)	74
Tabela A 32. Membros integrantes da Equipa dos Conselhos Municipais das Cidades de Maputo e da Matola.....	74

Lista de Acrónimos, Símbolos e Abreviaturas

Abreviatura	Descrição
ABQH	Análise das Barreira e (definição do) Quadro Habilitador
ANGCC	Advanced Natural Gas Combined Cycle
ANT	Avaliação das Necessidade Tecnológicas
B-IGCC	Biomass Integrated Gasification Combined Cycle
CCS	Carbon Capture and Sequestration
CCPS	Combined Cycle power Stations
CDS-ZC	Centro de Desenvolvimento Sustentável para as Zonas Costeiras
CN	Comunicação Nacional à CQNUMC
CNID	Contribuição Nacional Intencionalmente Determinada (INDC)
COP	Conferência (Anual) das Partes (da CQNUMC)
CQNUMC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
DNGA	Direcção Nacional de gestão Ambiental
DNISA	Direcção Nacional de Segurança Alimentar
DTU	Denmark Technical University
EDM	Electricidade de Moçambique
ENAMMC	Estratégia Nacional de Adaptação e Mitigação das Mudanças Climáticas
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
FEMA	Fundo Empresarial para o Meio Ambiente
FUNAE	Fundo de Energia
GdM	Governo de Moçambique
GEE	Gases de Efeito de Estufa
GIIMC	Grupo Inter-Institucional para as Mudanças Climáticas
GNV	Gás Natural Veicular
GTP	Gaseificação Térmica do Plasma
HCB	Hidroelétrica de Cahora-Bassa
HRSG	Heat Recovery Steam Generator

Lista de Acrónimos, Símbolos e Abreviaturas

República de Moçambique

IIAM	Instituto de Investigação Agrária de Moçambique
IGCC	Integrated Gasification Combined Cycle
INAHINA	Instituto Nacional de Hidrografia
INGC	Instituto Nacional de Gestão de Calamidades
MAIP	Ministério das Águas Interiores e Pescas
MASA	Ministério da Agricultura e Segurança Alimentar
MC	Mudanças Climáticas
MCDA	Análise Multicritérios
MCTESTP	Ministério de Ciência e Tecnologia, Ensino Superior e Técnico-Profissional
MICQA	Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental (extinto em Fev 2015)
MIREM	Ministério dos Recursos Minerais (extinto em Fev 2015)
MIREME	Ministério dos Recursos Minerais e Energia (desde Fev 2015)
MITADER	Ministério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural (desde Fev 2015)
MOPHRH	Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos
MOU	Memorandum de Entendimento
MOZAL	Mozambique Aluminium Smelter
MWel	Megawatt de electricidade
NGCC	Natural Gas Combined Cycle
PAT	Plano de Acção Tecnológica
RA	Resíduos Animais ou seus derivados
RBM	Resíduos Biomédicos
RC	Centros Regionais
RE	Resíduos Especiais
REP	Resíduos de Jardins e Espaços Particulares
RI	Resíduos Inertes
RP	Resíduos Perigosos
RSC	Resíduo Sólidos Comerciais
RSCÉ	Resíduos Sólidos de Construção e Entulhos
RSD	Resíduo Sólidos Domésticos
RSH	Resíduos Sólidos Hospitalares
RSI	Resíduos Sólidos Industriais
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RSVP	Resíduos Sólidos de Vias e outros Espaços Públicos
RV	Resíduos Sólidos Volumosos
SCN	Segunda Comunicação Nacional
SETSAN	Secreatariado Técnico de Segurança Alimentar e Nutricional
UDP	Consórcio UNEP-DTU
UNEP	United Nations Environmental Programme
USD	Dólar Norte-Americano

Símbolo	Descrição
---------	-----------

CH ₄	Metano
-----------------	--------

Lista de Acrónimos, Símbolos e Abreviaturas

República de Moçambique

CO	Monóxido de Carbono
CO₂	Dióxido de Carbono
CO_{2eq}	Dióxido de Carbono equivalente
Gg	Gigagrama (quilotonelada)
GW	Gigawatt
kW	Quilowatt
MW	Megawatt
N₂O	Dióxido de Mononitrogénio
NMVOC	Compostos Orgânicos Voláteis não-Metânicos
NO_x	Óxidos de Nitrogénio
SO_x	Óxidos de Enxofre
TCF	TeraCubic Feet
TWh	Terawatt-hora

Parte I

Relatório da Avaliação das Necessidades Tecnológicas

Sumário Executivo

No âmbito das suas responsabilidades como Parte da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (CQNUMC), Moçambique assumiu um compromisso de reduzir as suas emissões de gases de efeito de estufa, em 76,5 milhões de toneladas de CO₂e, no período 2020-2030, como parte da sua Contribuição Nacional Intencionalmente Determinada (CNID). Nesta perspectiva e participando na iniciativa global determinada pela *Poznan Strategic Programme on Technology Transfer*, o presente relatório apresenta a Avaliação das Necessidades Tecnológicas de Moçambique no sector de produção de energia eléctrica e de gestão de resíduos sólidos urbanos.

Moçambique é um país com enormes potencialidades de fontes de energia tanto renováveis (sol, rios, mar, oceano, ventos, biomassa) como fósseis (carvão e gás natural). Os recursos energéticos fósseis recentemente descobertos, sobretudo na bacia do Zambeze e do Rovuma, determinam uma importante alteração na intensidade de carbono em tecnologias de produção de energia, fazendo com que Moçambique comece a migrar na direcção de uma rede eléctrica com uma intensidade de carbono progressivamente crescente.

No sector de resíduos sólidos urbanos, Moçambique ainda não usa qualquer tecnologia moderna de tratamento de resíduos, limitando-se, as autoridades municipais gestoras deste resíduos, a recolhê-los e a depositá-los a céu aberto expostos à actividade dos catadores de lixo, com excepção dos lixos tóxicos ou perigosos, depositados, por imperativos legais, em aterros controlados.

No presente estudo, foram seleccionadas 15 tecnologias de produção de electricidade que abrangem todas as fontes relevantes de energia existentes no país. Estas tecnologias foram avaliadas com recurso a uma gama de critérios que incluem os custos de investimento e de operação/manutenção, a capacidade de geração, a necessidade de infra-estruturas, as prioridades nacionais, a disponibilidade no mercado (maturidade da tecnologia), a intensidade carbónica, os potenciais impactos ambientais, económicos e sociais. Da avaliação feita, as três tecnologias melhor classificadas foram eleitas como as prioritárias, nomeadamente os Sistemas Fotovoltáicos, o Ciclo Combinado Convencional a Gás (gás natural) e Turbinas Hidráulicas Regulares (Hidroelectricidade).

No sector de gestão de resíduos sólidos urbanos, foram pré-seleccionadas 8 tecnologias, qualquer uma delas apropriada para o contexto nacional. A avaliação multicriteriosa incluiu critérios como custos de investimento e de operação/manutenção, impactos sócio-económicos e ambientais, disponibilidade no mercado, necessidade de infra-estruturas e prioridade nacional. Desta avaliação, a biodigestão anaeróbica em aterro sanitário para produção do biogás, o aterro sanitário biorreactor para a produção de biogás e a pirólise emergiram como as primeiras três tecnologias de eleição.

Nas circunstâncias nacionais actuais, sugere-se que sejam também consideradas as tecnologias melhor classificadas por cada uma das fontes de energia existentes em Moçambique, visando otimizar a utilização dos recursos nacionais que, de outro modo, ficariam à margem do processo de desenvolvimento do sector. No tratamento de resíduos, as tecnologias eleitas têm o condão de, ao mesmo tempo que contribuem para a mitigação das mudanças climáticas, contribuírem para a geração de electricidade e, por via disso, adicionarem valor económico aos resíduos. Constata-se que o Projecto de Lixeira comum para Matola e Maputo, que pode vir a incluir a Vila Municipal de Boane, já elege como uma das tecnologias a aplicar, a biodigestão anaeróbica em aterro sanitário para a produção de biogás.

Capítulo 1. INTRODUÇÃO

1.1. Projecto de Avaliação das Necessidades Tecnológicas

As Mudanças Climáticas constituem uma preocupação global devido à natureza dos seus impactos, por um lado, e às suas causas, por outro lado. Consequentemente, as medidas tendentes a mitigar os efeitos das Mudanças Climáticas requerem um compromisso real de todos os países, independentemente do seu posicionamento geopolítico, regional ou económico.

O presente estudo debruça-se sobre a Avaliação das Necessidades Tecnológicas (ANT) deriva da decisão assumida na *Poznan Strategic Programme on Technology Transfer*, estabelecido na XIV Conferência das Partes (COP 14-Poznan, Polónia) da Convenção-Quadro das Nações Unidas para as Mudanças Climáticas. O objectivo principal da ANT é incrementar os investimentos em acções de transferência de tecnologias de modo a permitir que os países em vias de desenvolvimento atendam as suas necessidades de desenvolvimento alicerçado em tecnologias ambientalmente aceitáveis.

O processo de ANT pode ser definido como uma série de actividades orientadas por cada país, de forma participativa, visando a identificação, selecção e implementação de tecnologias ambientalmente ajustadas e que contribuam para o objectivo global de redução de emissões de gases de efeito de estufa (mitigação) e/ou diminuir a vulnerabilidade às mudanças climáticas (adaptação).

Este processo é conduzido de forma participativa, com os parceiros e partes interessadas relevantes bem como, de forma integrada, com outras medidas e actividades similares em curso no país e conducentes a alicerçar o desenvolvimento nacional sustentável. Por outro lado, o envolvimento dos parceiros e das partes interessadas visa assegurar a apropriação do processo tanto pelo sector público como pelo sector privado e, acima de tudo, pelo Governo, que o deverá incluir nas suas estratégias de desenvolvimento sustentável.

Os principais objectivos do presente estudo compreendem(UNEP-DTU, 2015):

- identificar e priorizar as tecnologias de mitigação nos sectores de energia e de resíduos;
- identificar, analisar e atender as barreiras que possam obstruir o desenvolvimento e a difusão das tecnologias prioritizadas, incluindo a identificação do quadro *Habilitador* destas tecnologias; e,
- articular, com base nos resultados obtidos dos dois primeiros passos, o Plano de Acção Tecnológica (PAT) com propostas concretas de medidas/acções traduzidas em ideias de projecto.

Deste modo, espera-se que este processo produza três relatórios, nomeadamente (i) de ANT, (ii) de Análise de Barreiras e Quadro *Habilitador* (ABQH), e (iii) PAT, incluindo ideias de projectos com os respectivos custos e potenciais esquemas de financiamento.

1.2 Selecção dos Sectores

A selecção dos sectores prioritários para o exercício de avaliação das necessidades tecnológicas foi feita com base nas vulnerabilidades do país e nas contribuições sectoriais como fontes de emissão de gases de efeito de estufa constante das Comunicações Nacionais à CQNUMC, conforme indicado no CNID. Com efeito, neste compromisso, Moçambique designou os sectores de energia, florestas e uso de terra bem como resíduos sólidos urbanos como sendo aqueles nos quais a sua aposta de mitigação dos gases de efeito de estufa iria incidir.

1.2.1 Perspectiva Sectorial, Mudanças Climáticas Projectadas, Emissões Actuais de Gases de Efeito de Estufa e as Tendências Sectoriais

Moçambique submeteu até ao presente, duas Comunicações Nacionais à Convenção das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (CNUMC) no âmbito das suas obrigações e responsabilidades, cobrindo os períodos 1990-1994 e 1995-2004. Como pode-se facilmente notar, a última Comunicação, produzida há mais de uma década, não pode ser usada como referência sólida para os cenários actuais de desenvolvimento que sofreram enormes mudanças nos últimos 10 anos.

Não obstante, importa fazer alguma referência à informação desta última CN (SCN 1995-2004) que indicava, em relação às emissões dos gases de efeito directo de estufa convertidas para dióxido de carbono-equivalente, que o país havia emitido, no período em análise, 1 381 789 Gg de CO_{2eq}, correspondendo à média anual de 138 178,9 Gg de CO_{2eq}, de acordo com a Segunda Comunicação Nacional (SCN, 2011). Durante este período, as emissões apresentavam já uma tendência crescente conforme ilustra a figura 1.

O cenário actual pode representar um incremento bastante elevado de emissões de gases de efeito de estufa, sobretudo no sector de energia, dado o leque de projectos de geração de energia eléctrica em carteira e em fase de implementação inscritos nos planos de desenvolvimento sectorial aprovado pelo GdM e que são baseados no actual cenário de recursos de natureza fósil. De facto, as crescentes descobertas de reservas de carvão e gás natural tendem a suplantar a tradicional energia de origem hídrica e trazer para a rede nacional, uma carga de emissões descompensadas, como referido mais tarde neste relatório.

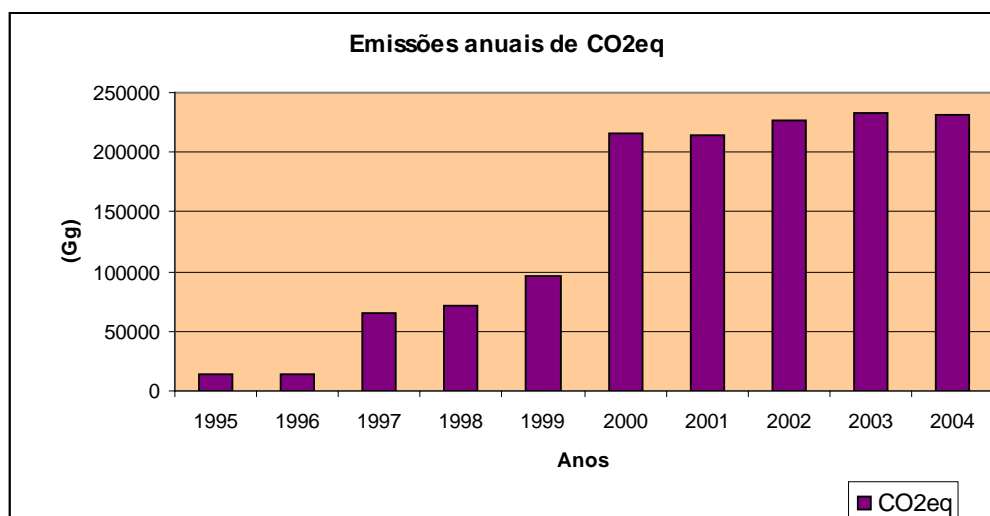


Figura 1. Emissões Nacionais Anuais de Gases de Efeito de Estufa no período 1995-2004

Considerando o conjunto das emissões médias anuais dos principais gases de efeito de estufa (em CO_{2eq}), o país registou um balanço de emissões líquido de 405 332,97 Gg de CO_{2eq}. Esta grandeza resultou de emissões líquidas que totalizaram 475 237,97 Gg de CO_{2eq} (ver tabela 1) emitidos pelos cinco subsectores em análise (excluindo as emissões provenientes da queima directa de biomassa e as emissões da aviação internacional tendo Moçambique como origem ou destino) versus as emissões absorvidas que totalizaram 69 905,58 Gg de CO₂/ano [SCN, 2011].

Tabela 1. Emissões médias anuais de Gases de Efeito Directo de Estufa (em CO_{2eq}) [SCN, 2011].

Capítulo 1. INTRODUÇÃO

República de Moçambique

Sectores	Emissões de CO ₂ (Gg)	Remoções de CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	Total Sectorial
<i>Energia</i>	1.292,77		0,65		1.293,42
<i>Processos Industriais</i>	316,39				316,39
<i>Agricultura</i>	0,00		4.651,43	455.157,72	459.809,15
<i>Mudanças no Uso de Terra e Silvicultura</i>	11.712,00	-69.905,58	69,09	6,20	-58.118,29
<i>Lixos</i>	10,21		1.860,31	161,20	2.031,72
Total	13.331,37	-69.905,58	6.581,48	455.325,12	405.332,39
<i>Biomassa</i>	29.802,73				
<i>Bunkers Internacionais</i>	50,32				
<i>Emissões líquidas</i>	475.237,97				
Balanco (Emissões -Remoções)	405.332,39				

A maior fonte de gases de efeito de estufa era o sector de agricultura com 99,20% das emissões de CO₂-eq (SCN, 2011). O sector de Mudança de Uso de Terra e Silvicultura tinha um balanço negativo de emissões, significando que constituía-se em um sumidouro e não uma fonte de emissões, quando considerado de forma global (Tabela 1).

O óxido de dinitrogénio (N₂O) é o gás que mais contribuiu nas emissões globais, correspondendo a 87% do total dos gases emitidos de 1995 a 2004, seguido pelo metano, sem incluir os gases emitidos na aviação internacional e na queima de biomassa para fins energéticos (Figura 2).

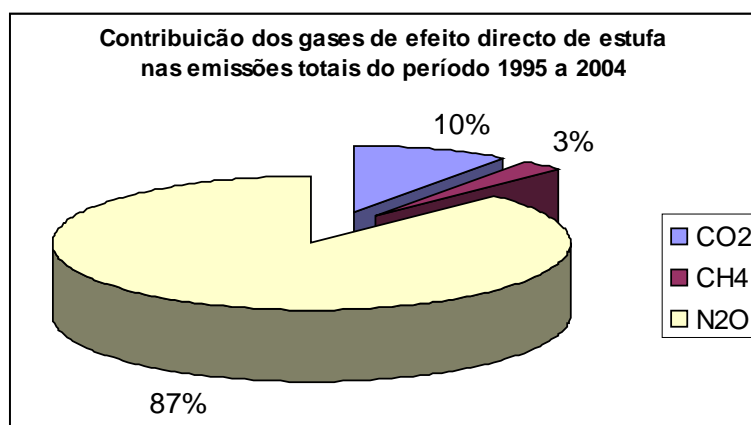


Figura 2. Composição qualitativa dos gases de efeito directo de estufa no período de 1995-2004[SCN, 2011]

A Tabela 2 apresenta a evolução das emissões de GEE, directos e indirectos, produzidos por cada sector de actividade económica nacional, incluindo o sector de energia. As emissões do sector de energia são resultado de contribuições individuais dos seu subsectores, conforme indicam a Tabela 3 e a Figura 4. Nota-se que em todos os subsectores houve um aumento das emissões de gases de efeito de estufa, sendo que o sub-sector com maior contribuição anual proveio do subsector dos transportes com cerca de 81,86%, seguido do das indústrias de produção de energia com 9,72%, indústrias de manufactura e construção com 5,86% e, por fim, os sub-sectores de comércio e instituições e residencial com emissões insignificantes cerca de 2,55% e 0,01%, respectivamente.

Capítulo 1. INTRODUÇÃO

República de Moçambique

Tabela 2. Emissões Globais de Gases de Efeito de Estufa (directos e indirectos)[SCN, 2011]

Sectores	Emissões de CO ₂ (Gg)	Remoções de CO ₂ (Gg)	CH ₄ (Gg)	N ₂ O (Gg)	NO _x (Gg)	CO (Gg)	NMVOCs (Gg)	SO _x (Gg)
Energia	1.292,77		0,03					
Processos Industriais	316,39		0,00		0,32	79,97	34,27	2,12
Agricultura			221,50	1.468,25	0,21	3,00		
Mudanças no Uso de Terra e Silvicultura	11.712,00	69.905,58	3,29	0,02	0,25	12,32		
Lixos e Resíduos	10,21		88,59	0,52				
Total	13.331,37	69.905,58	313,40	1.468,79	0,78	95,29	34,27	2,12
Biomassa	29.802,73							
Bunkers Internacionais	50,32							

1.2.2 Processo de Selecção dos Sectores e Seus Resultados

A Segunda Comunicação Nacional de Moçambique aponta, por ordem decrescente, os sectores de Agricultura, Energia (utilização) e Resíduos/Lixos como os que mais emissões com efeito de estufa emitiram no período coberto pela SCN. Por outro lado, vários estudos realizados a nível nacional indicam que o país apresenta um índice de vulnerabilidade agravado devido à sua longa linha costeira com o Oceano Índico que determina a sua exposição aos efeitos da subida do nível das águas do mar, nomeadamente a erosão costeira, entre outros. Estes elementos determinam que o país tenha decidido elaborar estudos sobre as suas necessidades tecnológicas nestas áreas (Agricultura, Energia, Resíduos e Gestão Costeira).

Capítulo 2. ARRANJO INSTITUCIONAL E ENVOLVIMENTO DAS PARTES INTERESSADAS

República de Moçambique

Capítulo 2. ARRANJO INSTITUCIONAL E ENVOLVIMENTO DAS PARTES INTERESSADAS

Para o desenvolvimento deste estudo foi concebida uma estrutura de coordenação e constituídas equipas de trabalho, de acordo com as circunstâncias nacionais e em observância das directrizes definidas na metodologia da ANT.

O Governo Moçambicano através do Ministério de Ciência e Tecnologia, Ensino Superior e Técnico-Profissional (MCTESTP) e do Ministério do Ambiente, Terra e Desenvolvimento Rural (MITADER) liderou o processo de ANT em três áreas, nomeadamente:

- Agricultura;
- Infraestruturas +Zonas Costeiras e,
- Geração de Energia+Gestão de Resíduos Urbanos Sólidos.

De acordo com as áreas de interesse, foram envolvidas as partes interessadas incluindo Ministérios de tutela, a diferentes níveis.

No presente relatório, foram envolvidos o Ministério de Recursos Minerais e Energia, através da sua Direcção Nacional de Energia e os Municípios de Maputo e da Matola através das Direcções de Salubridade Urbana. Isto é, além do envolvimento na elaboração, o relatório foi partilhado e aprovado por estes órgãos, em representação dos seus sectores. Adicionalmente, foram activamente envolvidos alguns representantes do sector privado assim como experts dos dois sectores em apreço, descritas nas secções a seguir.

2.1 Equipa Nacional de Avaliação das Necessidades Tecnológicas

No que se refere ao modelo organizacional para o processo de ANT, o Governo de Moçambique, através do MITADER, sugeriu a seguinte estrutura e composição:

■ COMITÉ DIRECTIVO DO PROJECTO

Sob direcção de S. Excia. o Ministro do MITADER, o Comité Directivo do Projecto é composto pelas seguintes entidades:

- Secretário Permanente do Ministério de Ciência e Tecnologia, Ensino Superior e Técnico Profissional;
- Um Director Nacional de cada um dos Ministérios:
 - De Recursos Minerais e Energia (MIREME);
 - Da Agricultura e Segurança Alimentar (MASA);
 - Das Águas Interiores e Pescas (MAIP),
 - Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural (MITADER); e,
 - Das Obras Públicas, habitação e Recursos Hídricos (MOPHRH);
- Representantes das seguintes organizações:
 - Associação Nacional dos Municípios;
 - Fórum Empresarial do Ambiente (FEMA);
 - UNEP (UNIDO)-Moçambique

■ COORDENAÇÃO DO PROCESSO DE ANT

Esta responsabilidade foi atribuída ao MITADER e ao MCTESTP, que indicaram os dois coordenadores (co-coordenadores) do projecto. Ao MITADER coube também a responsabilidade de assinar o MOU, cabendo, conseqüentemente a esta instituição, a responsabilidade de coordenação geral do projecto, facilitando a comunicação entre os membros dos vários órgãos estabelecidos para a implementação do Projecto ANT, incluindo a circulação, divulgação disseminação da informação produzida e a gestão do projecto (elaboração e submissão dos relatórios de progressos e planos de actividades).

O MCTESTP, na qualidade de gestor do pelouro de ciência e tecnologia no país e, sendo a supervisora das entidades que detêm o conhecimento científico-tecnológico a nível nacional, ficou com a responsabilidade de assessorar na assimilação e apropriação dos requisitos específicos e desempenho das tecnologias e assegurar os mecanismos e a plataforma de transferência de tecnologias e de *know-how*, onde se mostrar necessário.

Para este trabalho, o MITADER liderou o processo de ANT com a participação do MCTESTP, assumindo a responsabilidade de convocar o Comité Nacional e os *stakeholders* para as sessões de trabalho e discussão realizadas.

■ COMITÉ NACIONAL DE ANT

Este Comité foi desenhado de forma a incluir representantes do Grupo Inter-Institucional para as Mudanças Climáticas (GIIMC) relevantes ao processo de ANT.

Considerando os sectores propostos nos sectores identificados, tais como ambiente, agricultura, água, infra-estruturas, zonas costeiras, energia, sector privado (FEMA), co-coordenadores, UNAC, gestão de calamidades, foram definidas como responsabilidades deste Comité as seguintes: (i)

- Identificar as prioridades nacionais de desenvolvimento e sectores prioritários para considerar na avaliação das necessidades tecnológicas;
- Decidir sobre a constituição dos Grupos Temáticos;
- Aprovar as tecnologias e as estratégias de adaptação e mitigação recomendadas pelos Grupos temáticos; e,
- Aprovar a Plano de Acção Tecnológico Sectorial (o roteiro de política necessária para remover as barreiras e criar o ambiente favorável) e desenvolver o Plano de Acção Nacional Tecnológico transversal para adaptação e mitigação.

Neste trabalho, duas reuniões de avaliação deste estudo foram realizados e foram discutidos aspectos técnicos relacionados com as matérias tratadas na presente ANT. A versão final foi partilhada com a Direcção do Comité Nacional visando colher comentários e garantir o enquadramento dos resultados com as políticas sectoriais de desenvolvimento.

Reuniões adicionais de trabalho foram realizadas com diferentes stakeholders em momentos distintos conforme o estágio da ANT.

Capítulo 2. ARRANJO INSTITUCIONAL E ENVOLVIMENTO DAS PARTES INTERESSADAS

República de Moçambique

■ CONSULTORES/PERITOS NACIONAIS

Os consultores nacionais são peritos nacionais nas áreas de adaptação e mitigação seleccionados pelo Comité Nacional de ANT em consulta com a UDP. Estes têm a missão de trabalhar em estreita colaboração com o Comité Nacional de ANT e os vários Grupos Temáticos criados, e sob a coordenação directa dos co-coordenadores nacionais designados. No geral, os consultores nacionais têm a responsabilidade de apoiar todo o processo de ANT liderando e realizando actividades como, por exemplo, a pesquisa, a análise e a síntese em apoio ao projecto ANT.

Os consultores nacionais são uma componente importante global no projecto ANT e participam nos seminários regionais de desenvolvimento de capacidades organizados pela UDP e os Centros Regionais (RCs). Eles são responsáveis por fornecer serviços de assessoria técnica necessária para a realização e desenvolvimento da ANT e Planos de Acção a nível do país. Em conjunto com os coordenadores da ANT, os consultores nacionais assessoram na aplicação do método participativo para o processo da ANT, facilitando as tarefas de comunicação no seio da equipa nacional da ANT, o alcance de todas as partes interessadas, a formação de redes, bem como a coordenação e a comunicação dos resultados do trabalho. Os Consultores Nacionais são responsáveis pelas seguintes tarefas:

- a) Apoio na identificação e categorização dos sectores prioritários do país, bem como na identificação e priorização de tecnologias de mitigação através de um processo participativo com um amplo envolvimento de todos os interessados;
- b) Facilitação do processo de análise, nos dos grupos de trabalho, sobre como as tecnologias priorizadas podem ser implementadas no país e como as circunstâncias de implementação podem ser melhoradas, respondendo com soluções adequadas às potenciais barreiras identificadas bem como facilitando o estabelecimento do Quadro Habilitador. Os resultados desta fase constituem matéria do relatório sobre Análise de Barreiras e Quadro Habilitador (ABQH);
- c) Preparação do Plano de Acção Nacional de Tecnologias, que deverá delinear elementos essenciais de um Quadro Habilitador para a transferência de tecnologias e consistirá de um rol de medidas de desenvolvimento do mercado, medidas institucionais, financeiras e regulamentares bem como as necessidades de capacitação institucional e em recursos humanos. Deverá incluir também um plano de acção detalhado para a implementação das medidas políticas propostas e avaliação das necessidades de ajuda externa para cobrir os custos adicionais de implementação.
- d) Preparação da ANT, ABQH, PAT e do relatório final nacional. O relatório do PAT deverá incluir ideias concretas de projectos.

■ GRUPOS TEMÁTICOS

Quatro Grupos Temáticos foram criados com a responsabilidade de coordenar os estudos definidos nos quatro sectores seleccionados. Os Grupos Temáticos são coordenados pelos sectores cuja área temática é parte das áreas sob seu domínio e compostos por representantes de outros sectores, de academias e de sector privado relevantes para o sucesso do processo. Assim foram constituídos os seguintes Grupos Temáticos:

Capítulo 2. ARRANJO INSTITUCIONAL E ENVOLVIMENTO DAS PARTES INTERESSADAS

República de Moçambique

- a) **Grupo Temático de Agricultura:** coordenado pelo Ministério de Agricultura e Segurança Alimentar (MASA) e composto por representantes dos seguintes sectores DNSA, IIAM, Hidráulica, águas, meteorologia, SETSAN, Direcção Nacional de Desenvolvimento Rural, União Nacional dos Camponeses
- b) **Grupo Temático de Infra-estruturas incluindo Zonas Costeiras:** coordenado pelo Ministério das Obras Públicas e Habitação e Recursos Hídricos e composto por representantes dos seguintes estradas e pontes, habitações, ambiente, pescas, INAHINA, CDS-ZC e gestão de calamidades
- c) **Grupo Temático de Energia:** coordenado pelo MIREME e composto por representantes dos seguintes sectores energias renováveis, combustíveis, sector privado (FEMA, Matola Gas Company), EDM, FUNAE, Direcção Nacional de Água (MOPHRH)
- d) **Grupo Temático de Resíduos:** coordenado pelo MITADER (AQUA) e composto por representantes das seguintes instituições DNGA, Associação dos Municípios, Conselho Municipal da Cidade de Maputo, Conselho Municipal da Cidade da Matola.

2.2 Processo de Envolvimento das Partes Interessadas seguido na Avaliação das Necessidades Tecnológicas: Avaliação Geral

No presente trabalho, os *stakeholders* participaram na identificação das tecnologias em uso no país e selecção, com base na informação técnica providenciada pelo Consultor, das tecnologias consideradas apropriadas para a avaliação e priorização de acordo com a perspectiva da ANT.

Em duas sessões de trabalho, foram discutidos e consensualizados os resultados referentes aos seguintes itens:

- Identificação e selecção dos critérios de avaliação das tecnologias eleitas para a ANT;
- Discussão da relevância e do factor de peso de cada critério escolhido para a avaliação das tecnologias seleccionadas; e,
- Discussão e aceitação dos resultados obtidos através do MCDA.

Após as etapas acima referidas, foi elaborado o relatório sobre a Avaliação das Necessidades Tecnológicas e partilhado com as partes interessadas para aprovação, e às entidades oficiais, para homologação.

3.1. Contexto Nacional do Sector de Geração de Electricidade

Com um potencial nacional de cerca de 12.000 MW em recursos energéticos que inclui hidroelectricidade, cerca de 300 TCF *onshore* e *offshore* de gás natural e cerca de 20 triliões de toneladas de carvão mineral (somente em Búzi, Pande e Temane, as reservas confirmadas superam 3,5 TCF) além de cerca de 30 milhões de hectares de terra arável intacta, um elevado potencial em biomassa e bioenergia, grande propensão a energias oceânicas, eólica e solar ainda mal avaliado (USAID, 2015), Moçambique é um dos maiores produtores e exportadores de electricidade na África SubSahariana (exportando cerca de 60% da electricidade que produz) e encontra-se estrategicamente posicionado, sob o ponto de vista geográfico e da sua infra-estrutura actual de transmissão de electricidade, que lhe permitiria preencher o défice de oferta doméstica em electricidade e ainda, através da sua participação na *Southern Africa Power Pool* (SAPP), garantir uma oferta adicional à procura doméstica na África do Sul, Zimbábue, Botsuana, Malawi e Namíbia.

De facto, a posição geográfica do país, servindo de interface entre a zona austral e a zona oriental de África, aliada ao potencial em recursos enérgicos (hidroelectricidade, carvão e gás natural), à sua imensa linha costeira servida de portos de grande porte dos quais dependem muitos países do interior que se servem dos seus gasoductos, oleoductos, linhas férreas e rede viária, colocam o país numa posição bastante privilegiada em relação a muitos países das duas regiões: África Oriental e Austral. Apesar destes pergaminhos, a transição de biomassa para energias modernas, no país, não se antevê para as próximas décadas, dada a vastidão do país e a predominância da utilização desta fonte de energia pela esmagadora maioria dos seus cidadãos, sobretudo para a satisfação da necessidade de energia doméstica, facto aliás, bastante comum na região SubSahariana de África.

Moçambique conta actualmente com uma capacidade de produção de electricidade de cerca de 2.300 megawatts, sendo a Hidroeléctrica de Cahora Bassa (HCB) o empreendimento que mais energia produz no país (2.075MW). Grande parte da produção da HCB (cerca de 75%) é destinada à exportação, designadamente para o Zimbábue e para a África do Sul, país que, através da Eskom, mantém um acordo com a HCB para a compra anual de 1100 megawatts, válido até 2029 (Fullbright, 2015).

O sector de energia em Moçambique desempenha um papel primordial, na actualidade, dado que para além de ser determinante para o processo de industrialização que o país está a experimentar, a exportação de electricidade e gás gera para o país divisas importantes para a sua economia. Por outro lado, o custo relativamente baixo da electricidade em Moçambique tem contribuído para atrair investimentos externos visando implantar em solo Moçambicano indústrias de consumo intensivo de energia, como são os caso da indústria de fundição de alumínio, instalada no país há cerca de duas décadas.

A exportação de energia ou recursos energéticos (hidroelectricidade, carvão mineral e gás natural) bem como os projectos em carteira para cobrir a crescente procura doméstica continuarão a jogar um papel cada vez mais importante na economia Moçambicana, nas próximas décadas. A liberalização do sector de electricidade iniciada no final da década de 1990 abriu espaço para que o sector privado se envolvesse no mercado de geração, transmissão e distribuição de electricidade, ainda que sem resultados concretos até agora.

Capítulo 3 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS: Sector de Geração de Electricidade

República de Moçambique

O pico da procura nacional era de 530 MW (excluindo a indústria de fundição de alumínio, MOZAL¹) com um consumo de electricidade de cerca de 3TWh/ano. O crescimento no consumo de electricidade tem sido assinalável nos últimos anos, com uma taxa de 6-8% na última década, cobrindo o fornecimento aos sectores doméstico, comercial e industrial ligados à rede de distribuição da Electricidade de Moçambique (EDM), de acordo com o estudo da USAID, 2015.

Cerca de 136 MW (dos quais 61 MW são de hidroelectricidade e 75 MW são gerados a partir de diesel e gás natural) são fornecidos com base em geração própria da EDM, a partir de centrais antigas, muitas das quais apresentam já índices de obsolescência que só pode ser respondida com reabilitação e substituição. A restante procura é satisfeita com base em um acordo de compra com a Hidroeléctrica de Cahora-Bassa (HCB), localizada ao longo do Rio Zambeze, no Distrito de Songo (Província de Tete), com uma capacidade instalada de 2.075 GW. O número de consumidores tem estado a crescer em mais de 10% anualmente, desde o ano 2000, tendo atingido 850.000 em 2010 (sendo 2.240 clientes de voltagem média e alta)[USAID, 2015].

A projecção da procura de electricidade pressupõe que, com uma média anual de crescimento estimada em 6%, o país vá atingir muito rapidamente (até 2030) a procura máxima anual de 8.300 GWh. Para responder em tempo real à procura nacional de electricidade, é imperioso encontrar fontes adicionais de geração de electricidade pois a reserva de 400 MW através da HCB já está praticamente esgotada. Deste modo, ganham importância ímpar os projectos de reabilitação das barragens de Mavúzi, Chicamba e Corumana, bem como os estudos de viabilidade das barragens hidroeléctricas e a implementação dos projectos de Tsate, Muneze, Alto Malema, Massingir e Mavúzi II e III bem como a adaptação da antiga Central Térmica da SONEFE que passará a ser uma Central a Gás Natural (ICF, 2012).

A biomassa, proveniente de cerca de 30 milhões de hectares de áreas florestais para a colheita de lenha e carvão vegetal, representa cerca de 80% da energia consumida a nível doméstico, com predominância para as comunidades de renda baixa a média. Estima-se que cerca de 16 milhões de hectares sejam devastadas anualmente para satisfazer as necessidades energéticas domésticas (Ministério de Energia, 2010).

O consumo actual de produtos petrolíferos em Moçambique é de cerca de 600 milhões de litros anualmente, com particular destaque para o sector dos transportes e o da agricultura. Actualmente, o gás de petróleo liquefeito (GLP) ou gás de cozinha e o petróleo de iluminação (querosene) têm uma influência reduzida na balança de energia do país. Com efeito, o consumo de GPL é massivo apenas no meio urbano, com particular destaque para as Cidades de Maputo, Matola, Beira e Nampula, com um consumo global que não supera 14 kton por ano, devido também à ineficiência e restrições da rede de distribuição do gás (UCF, 2012)

¹ Mozambique Aluminium Smelter

3.2. Emissões de Gases de Efeito de Estufa das Tecnologias em Uso no País para a Geração de Electricidade

O Sector de produção de energia eléctrica em Moçambique foi, durante décadas, tradicional e fortemente baseado na hidroelectricidade, conforme referido anteriormente. Com um factor de emissão de 0,44503 g/kWh (Brander et al, 2011). Moçambique sempre perfilou como um dos países que usa electricidade limpa, até há bem pouco tempo. Porém, com as recentes descobertas de enormes reservas de gás, carvão e até algum petróleo, este sector tende a expandir-se na direcção de uma utilização local destes recursos para, entre outros, gerar electricidade.

Assim, as fontes predominantemente usadas em Moçambique para a produção de diferentes tipos de energia consumida na sua economia são:

- **Combustíveis Líquidos**, maioritariamente usados em veículos automóveis e aeronaves;
- **Gás natural**, usado a nível industrial (geração de energia de processamento e de electricidade);
- **Carvão**, usado em centrais térmicas para geração de electricidade, usando turbinas a vapor ou a gás;
- **Energia solar fotovoltaica**, a nível doméstico, sobretudo em unidades fotovoltaicas de micro a pequena capacidade (sistemas isolados);
- **Biomassa**, sobretudo no sector doméstico, em forma de lenha ou carvão vegetal (com maior predominância para as zonas suburbanas, periurbanas e rurais); e,
- **Hidroenergia**, principal fonte de geração de electricidade para a rede nacional e para a exportação.

As energias eólica, geotérmica, das marés e das ondas, ainda não têm expressão na matriz nacional de geração de electricidade em Moçambique.

As tecnologias em uso incluem, entre outras, diferentes turbinas hidráulicas em barragens hidroeléctricas de escala regular a micro-hídrica, as turbinas a vapor e turbinas a gás de ciclo simples (em centrais térmicas) e ciclos combinados a gás (gás natural). A biomassa é sobretudo usada para a produção de energia térmica, não havendo registos de uso deste material para a geração de electricidade.

A tabela 3 e as figuras abaixo fornecem o resumo das emissões de CO₂ no sector de energia.

Capítulo 3 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS: Sector de Geração de Electricidade

República de Moçambique

Tabela 3. Resumo das Emissões subsectoriais do Sector de Energia no período 1995-2004(SCN, 2011)

Sector de Energia (Gg CO2)		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Queima de Combustíveis	Indústrias Energéticas	25,90	28,20	31,60	31,70	34,90	25,20	38,10	42,40	36,10	35,80
	Indústrias de Manufatura e Construção	0,00	0,00	6,70	119,60	93,20	95,40	93,40	98,30	136,90	114,30
	Transportes	892,30	888,00	905,10	963,20	1.050,20	1.098,00	1.048,40	1.197,60	1.276,80	1.262,90
	Comércio/Instituições	0,04	0,03	0,04	0,00	0,02	0,03	0,05	0,06	0,07	0,44
	Residencial	62,20	69,90	84,40	103,50	158,40	183,30	153,90	141,90	143,80	155,20
	Memo items	28.310,81	28.658,10	29.006,40	29.351,25	29.693,17	30.065,85	30.401,37	30.741,69	31.083,36	31.217,90
Bunkers Internacionais	Bunkers Internacionais	27,61	32,40	38,30	40,65	40,07	69,75	62,37	63,49	62,66	65,30
	Aviação	27,61	32,40	38,30	40,65	40,07	69,75	62,37	63,49	62,66	65,30
	Combustão de Biomassa	28.283,20	28.625,70	28.968,10	29.310,60	29.653,10	29.996,10	30.339,00	30.678,20	31.020,70	31.152,60
Emissões de metano (Gg)		0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,09
Emissões fugitivas de combustíveis	Emissões fugitivas de combustíveis	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,09
	Gás Natural	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,09

A Figura 3 mostra que a maior contribuição média anual líquida no sector de energia provieo do subsector residencial (36,92%) e do dos transportes (31,09%), seguindo-se o subsector indústria de manufatura e construção (22,27%), e, apenas em quarto lugar, o subsector de indústrias energéticas (9,62%). O subsector do comércio, serviços e instituições apresenta uma contribuição marginal inferior a 0,1%.

Com o actual nível de recuperação e desenvolvimento do sector industrial, do parque automóvel e da disponibilidade de mais recursos energéticos fósseis, este nível está muito abaixo dos índices actuais de emissões de GEE oriundas do sector de energia, quer de produção de electricidade quer de utilização de combustíveis em diferentes ramos da economia nacional.

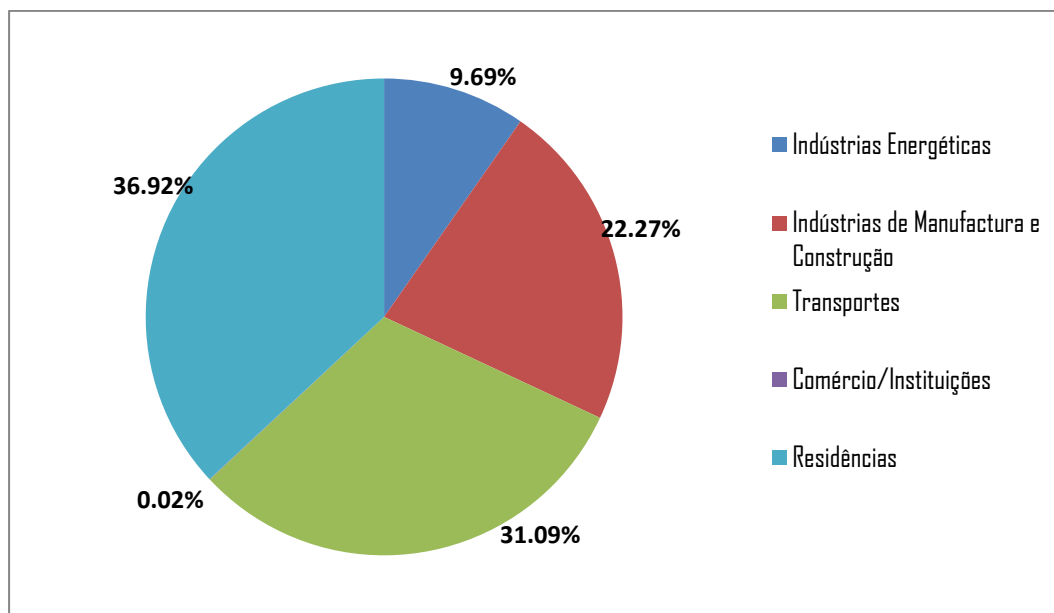


Figura 3. Contribuição média anual dos Subsectores de Energia (1995-2004) [SCN, 2011]

Com efeito, durante o período de análise abrangido pela SCN, a indústria de produção de energia a partir do gás natural manteve-se incipiente, o parque automóvel era então muito inferior ao actual, os projectos de geração de electricidade eram bastante reduzidos e o país estava ainda

Capítulo 3 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS: Sector de Geração de Electricidade

República de Moçambique

sob algumas restrições de fornecimento de energia eléctrica, que era então, baseada quase na totalidade, em fontes hidroeléctricas.

3.3. Políticas Nacionais sobre Mitigação das Mudanças Climáticas e Prioridades de Desenvolvimento

O Governo de Moçambique elaborou a Estratégia Nacional de Adaptação e Mitigação das Mudanças Climáticas (ENAMMC) para o período 2013-2025, que inclui linhas estratégicas e prioritárias a adoptar e implementar nesse período e o plano de acção para 2013-2014.

A Estratégia (ENAMMC) define, como prioridade nacional a adaptação e a redução do risco climático, ao mesmo tempo que reconhece a necessidade de aproveitar as oportunidades que o país tem, sem prejuízo das acções de desenvolvimento, para reduzir os impactos das MC através de um conjunto de acções de mitigação e de desenvolvimento de baixa intensidade carbónica. Estas são as premissas definidas pelo GdM para dar resposta à projectada procura doméstica (nacional) e regional de médio e longo prazos, no âmbito das necessidades e planos de desenvolvimento tanto nacional como regional.

Diferentes subsectores de Energia têm estado a ser alvo de medidas reformistas que determinam a médio e longo prazo alterações nas emissões de gases de efeito de estufa do sector. Com efeito, nas últimas duas décadas, ao mesmo tempo que o país foi descobrindo recursos energéticos de origem fóssil, foram implementadas medidas como a ramificação do gasoduto de gás natural para a Cidade de Maputo, passando-se a alimentar algumas indústrias baseadas no parque industrial da Matola (o maior do país) com este combustível em substituição do gasóleo, carvão ou óleo combustível².

Adicionalmente, foi introduzido o gás natural veicular em transportes públicos colectivos bem como em transporte individual particular e foi introduzido um extenso programa de canalização do gás natural para uso doméstico e em serviços comerciais e outros. Por outro lado, a criação do Fundo de Energia (FUNAE) em 1997 (Decreto N° 24 de 22 de Julho) contribuiu sobremaneira para a extensão do programa de electrificação rural ao longo das últimas duas décadas, e que tem incluído programas de electrificação com recurso a sistemas energéticos isolados, com maior destaque para os painéis solares domésticos³. Por outro lado, o FUNAE tem vindo a implementar outros programas de extensão de energia para o meio rural que incluem estações de distribuição de combustíveis líquidos, reabilitação ou edificação de centrais micro e mini-hidroeléctricas que abrem espaço para a criação de mini-redes. O FUNAE está também envolvido em projectos de pequenas centrais fotovoltaicas que passarão a alimentar pequenas redes isoladas da rede nacional ou aumentar a capacidade da rede nacional.

No contexto geração de electricidade e tendo em vista garantir a provisão da procura crescente com base nos recursos naturalmente disponíveis, as projecções de produção de electricidade num futuro a médio prazo prenunciam uma redução da fracção de hidroelectricidade na matriz de geração nacional, por influência do surgimento de novos projectos de geração baseados em gás natural e carvão mineral. É assim que se projecta que o país passe de aproximadamente 100% de rede eléctrica baseada em hidroelectricidade (em 2013) para menos de 60% de hidroelectricidade, cerca de 25% de electricidade gerada a partir de carvão mineral e a fracção restante, a partir de gás natural, em 2030 (Potinger, 2009).

² Fuel oil

³ Solar Home Systems

Capítulo 3 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS: Sector de Geração de Electricidade

República de Moçambique

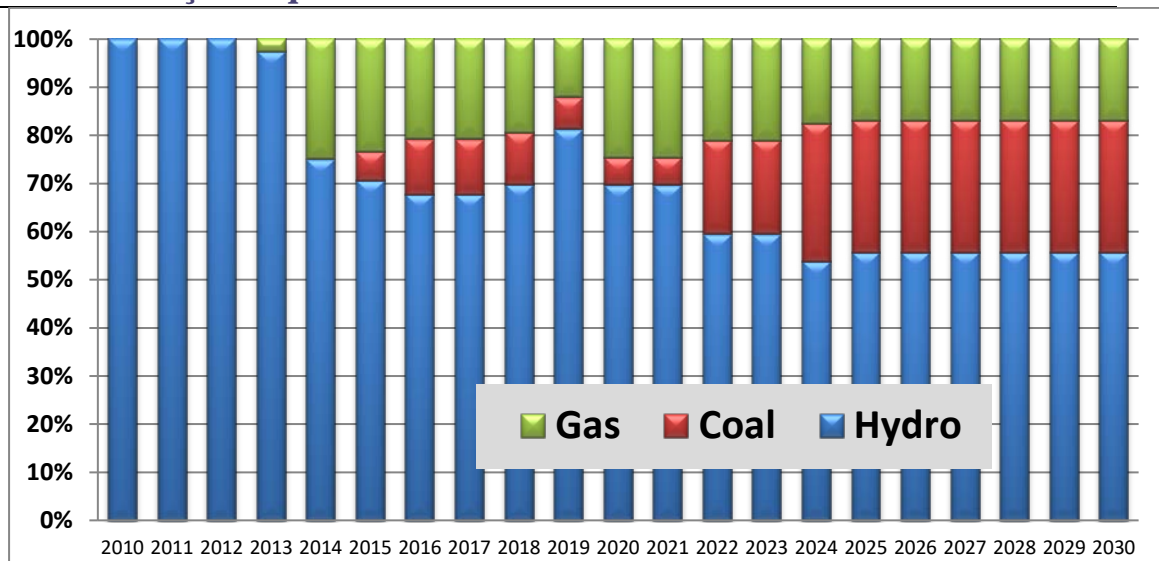


Figura 4. Plano de Desenvolvimento e Diversificação da Matriz de Energia Eléctrica Nacional (Fonte: Direcção Nacional de Energia, MIREME)

Como se nota a partir da figura 4 acima, o cenário de referência de desenvolvimento das fontes de electricidade em Moçambique está intrinsecamente ligado a um nível de emissões que tenderá a crescer nos próximos anos. Porém, os compromissos globais, a posição de extrema vulnerabilidade e a necessidade de honrar as responsabilidades nacionais e internacionais assumidas de forma oficial a nível da CQNUMC determinam que Moçambique não negligencie a necessidade de adoptar acções estratégicas ambientalmente aceitáveis, não obstante a sua riqueza em recursos energéticos fósseis.

As acções estratégicas são, além das questões transversais, agrupadas em dois pilares principais, nomeadamente, o pilar de medidas de adaptação e redução do risco climático (1) e o de medidas de mitigação desenvolvimento de baixo carbono (2)[Assembleia da República, 2015].

No pilar (2) de mitigação e desenvolvimento de baixo carbono, são priorizadas as seguintes estratégias:

- i. melhorar o acesso às energias renováveis;
- ii. aumentar a eficiência energética;
- iii. garantir o cumprimento dos padrões regulamentados para as emissões provenientes das actividades da indústria extractiva;
- iv. promover urbanização de baixo carbono;
- v. controlar as emissões dos processos industriais incluindo resíduos e efluentes associados;
- vi. desenvolver práticas agrárias de baixo carbono;
- vii. reduzir a taxa de desmatamento e de queimadas descontroladas;
- viii. planear e gerir a biodiversidade e os ecossistemas costeiros; e,
- ix. gerir e valorizar os resíduos.

O Plano Quinquenal do Governo de Moçambique para o período 2015-2019 define como um dos seus objectivos estratégicos, o aumento do acesso e disponibilidade de energia eléctrica,

Capítulo 3 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS: Sector de Geração de Electricidade

República de Moçambique

combustíveis líquidos e gás natural para o desenvolvimento das actividades sócio-económicas, consumo doméstico e exportação.

Nas acções prioritárias para o alcance deste objectivo estratégico, o N°47 enfatiza a garantia da segurança do fornecimento de energia eléctrica à escala nacional através da diversificação da localização das fontes de geração, por um lado, e a promoção de projectos de construção de centrais de produção de energia eléctrica resilientes à mudança e variabilidade climáticas nomeadamente os projectos de hidroelectricidade de Mphanda Nkuwa (fase I: 1.500 MW), Cahora-Bassa Norte (1.245 MW), Lupata (600 MW), Boroma (200 MW), Alto Malema (60 MW), a Central a carvão mineral de Moatize (300MW) bem como a construção de de centrais a gás natural nos locais de exploração ou nas suas proximidades, nomeadamente a Central Termoeléctrica de Maputo (100 MW), a da Gigawatt, em Ressano Garcia (100 MW), a de Temane (80MW) e a de Kuaninga (40 MW)[Assembleia da República, 2015], conforme indicado na Fig 5, abaixo.

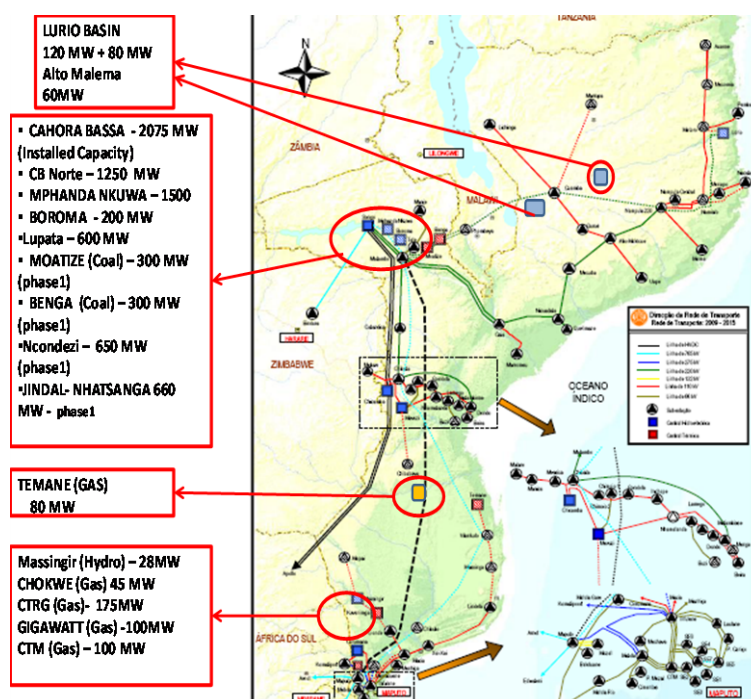


Figura 5. Projectos de Geração de Electricidade em Moçambique (Fonte: EDM)

Por outro lado, o Plano do GdM compromete-se a prosseguir com os seguintes programas :

- electrificação rural através de Rede Eléctrica nacional e de sistemas solares, com prioridade para as Sedes dos novos Distritos, Postos Administrativos e Localidades;
- electrificação de unidades sanitárias através de sistemas solares, assegurando a melhoria da qualidade dos serviços de saúde para o cidadão;
- construção de centrais mini-hídricas de Rotanda, Chiurairue, Sembezeia, Muoha, Mavonde e Berua, Nintulo, Meponda, N'timbe, Luanga, Luaice e Zize (Assembleia da República, 2015).

Como se pode notar, o GdM não especifica as tecnologias mas somente as fontes de energia, para cada um dos projectos listados.

Capítulo 3 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS: Sector de Geração de Electricidade

República de Moçambique

No concernente aos combustíveis, no mesmo número, merece destaque o compromisso do Governo em expandir a rede de distribuição do gás natural para uso doméstico e industrial bem como prosseguir com a construção e expansão das infra-estruturas de abastecimento de gás natural veicular (GNV).

O cenário de referência do desenvolvimento do sector de energia em Moçambique baseou-se, durante muito tempo, em recursos hídricos e biomassa.

Nos últimos anos, a descoberta de enormes jazigos de carvão mineral e de gás natural determinaram alguma tendência importante de evolução das energias primárias para fontes de origem fóssil. Esta tendência deverá acentuar-se ainda mais nos próximos 5 anos com o início da exploração do gás natural da Bacia do Rovuma e com o incremento da produção de energia eléctrica a partir de centrais térmicas alimentadas com carvão mineral. Este cenário de evolução determinará um forte agravamento das emissões de gases de efeito de estufa do sector de energia, o que deverá ser acautelado com o desenho de medidas de mitigação de vária índole sugeridas nas tecnologias que este estudo apresenta, identificadas e seleccionadas de forma participativa, no quadro do arranjo institucional concebido para a presente ANT.

Na pré-selecção das tecnologias de geração de electricidade, o primeiro critério de referência foi a listagem dos recursos naturais energéticos disponíveis e a consequente identificação das tecnologias de geração de electricidade compatíveis com cada uma das fontes de energia identificadas no rol de recursos energéticos existentes no país.

3.3 Contexto de Decisão

A decisão sobre os sectores prioritários para o exercício de avaliação das necessidades tecnológicas dos compromissos assumidos pelo país através da Contribuição Nacional Intencionalmente Determinada (CNID). Por outro lado, a CNID, um estudo que envolveu todos os sectores da economia nacional, baseou-se não apenas nos cenários antecipados de desenvolvimento nacional como nas constatações da SCN, 2011 e na avaliação do potencial de emissões projectadas no cenário business-as-usual, nas próximas décadas. Assim, os sectores de energia, florestas e uso de terra bem como resíduos sólidos urbanos foram indicados na CNID como sendo aqueles nos quais a aposta nacional de mitigação dos gases de efeito de estufa iria incidir.

3.5 Perspectivas de Potencial das Tecnologias de Mitigação, Potencial de Mitigação e Outros Benefícios

Na perspectiva de mitigação das mudanças climáticas, e tendo como base a imensidão de recursos energéticos de que o país é rico, as tecnologias apropriadas para o país são aquelas que apresentam emissões nulas, nomeadamente as tecnologias baseadas em fontes renováveis de energia como são os casos de centrais hidroeléctricas, sistemas fotovoltaicos, sistemas eólicos, tecnologias de energia de biomassa, sistemas geotérmicos, tecnologias de energia das marés e das ondas. De facto, o país possui um potencial aceitável em todas estas formas de energia primárias. Porém, em muitos casos, as tecnologias ainda não se apresentam consolidadas no mercado, por um lado, ou são demasiado caras e com exigências tecnológicas bastante apelativas, por outro lado, inviabilizando-se ou adiando-se, deste modo, a sua assimilação para uso nacional.

Alternativamente, e tendo em conta a abundância recentemente confirmada de recursos fósseis, é consensual que a utilização de tecnologias com elevada eficiência e/ou a combinação com

Capítulo 3 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS: Sector de Geração de Electricidade

República de Moçambique

mecanismos de captura e armazenamento de carbono pode concorrer, de forma positiva, para os objectivos de mitigação assumidos pelo país no âmbito da Contribuição Nacional Intencionalmente Determinada (CNID), referida anteriormente.

No sector de RSU, dada a forma quase tradicional de gestão em vigor, uma modernização das práticas actuais implicará uma projecção dos actuais locais de deposição bem como da sua localização e das práticas e tecnologias correntes de recolha e tratamento de resíduos sólidos.

Com base nesta realidade, o país assume como prioridades de mitigação das emissões de gases de efeito de estufa no sector de energia, a adopção das seguintes medidas:

- inclusão crescente de fontes renováveis de energia na sua matriz de produção de energia eléctrica, sobretudo na extensão da rede eléctrica;
- uso de tecnologias de produção de electricidade com alta eficiência energética, visando melhorar os factores de emissão; e,
- combinação das tecnologias tradicionais de geração de electricidade a partir de fontes fósseis de energia (não renováveis) com tecnologias de redução, remoção ou captura de carbono.

3.6 Critérios e Processo de Priorização de Tecnologias

Para a avaliação das tecnologias de geração de electricidade, foram definidos parâmetros de análise que foram avaliados segundo um instrumento de avaliação multicritérios, nomeadamente:

- Tecnologias apropriadas aos recursos nacionais (fontes primárias de energia) actualmente disponíveis ou potenciais (15 alternativas tecnológicas);
- Critérios de avaliação na perspectiva económica, financeira, tecnológica e política alicerçados na realidade nacional e internacional (9 critérios);
- Escala de variação (arbitrária, mas consistente) para a quantificação dos critérios qualitativos (1-5) baseados na contribuição de cada tecnologia para os desafios de contexto nacional em análise;
- Pesos para cada critério sobre a avaliação global (em percentagem), revelando a importância relativa de cada um dos critérios nas prioridades nacionais; e,
- O valor (extremo) considerado óptimo.

Tendo em conta que o presente exercício tem como principal objectivo garantir que o país participe de forma activa nos esforços globais de redução de emissões responsáveis pelo aquecimento global, o critério sobre as emissões mereceu o peso máximo (15%). Por outro lado, tendo em conta a capacidade limitada do país para investir em novas tecnologias e para suportar os custos de manutenção, os critérios relacionados a estes aspectos mereceram um nível de peso substancial e a seguir ao peso do critério sobre emissões (13 e 11%, respectivamente).

O alinhamento com as prioridades nacionais de desenvolvimento bem como a necessidade de infra-estrutura de raiz e o tempo que decorre desde a concepção/aprovação e financiamento do projecto até à primeira produção, foram outros critérios julgados importantes para avaliar a capacidade do país em acolher as tecnologias (11% por cada critério). Com o peso mínimo (7%) foram avaliados os critérios sobre o impacto ambiental (porque, de algum modo, o critério sobre as emissões já inclui em parte, um impacto ambiental), o impacto sócio-económico directo, pois o alinhamento com o plano de desenvolvimento nacional e a natureza transversal e abrangente dos

Capítulo 3 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS: Sector de Geração de Electricidade

República de Moçambique

projectos de produção de electricidade determinam outros impactos positivos indirectos gerados nos sectores secundários que beneficiam desta comodidade. A mesma análise é extensiva ao critério sobre o desenvolvimento sustentável.

A tabela a seguir (Tabela 4) resume os critérios e a sua categorização, quantificação e peso na classificação final das tecnologias pré-seleccionadas.

Tabela 4. Critérios de Avaliação, Sua Quantificação e Peso de Incidência

	Critério	Categoria	Unidade	Valor Preferido	Escala de Variação	Pesos (%)
1	Capital de Investimento	Económica	USD/kW	Baixo		13
2	Custos de Operação e Manutenção	Económica	USD/MWh-ano	Baixo		11
3	Disponibilidade da Tecnologia no Mercado	Económica	Comercial/Não Comercial	Elevada	1-5	7
4	Emissões de gases de estufa	Ambiental	Kg CO _{2e} /MWh	Baixas		15
5	Impacto Sócio-Económico Directo (Positivo)	Sócio-Económica	Baixo/Elevado	Elevado (positivo)	1-5	7
6	Impactos Ambientais (não MC)	Ambiental	Baixo/Elevado	Baixo	1-5	7
7	Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável	Sócio-Económica	Baixa/Elevada	Elevada	1-5	7
8	Necessidade Infra-estrutural	Económica	Elevada/Baixa	Baixa	1-5	11
9	Prioridade Nacional (Plano Quinquenal)	Política e Sócio-Económica	Prioritária/Não prioritária	Prioritário	1-5	11
10	Disponibilidade do Produto do Projecto	Económico	Imediata/Longo Prazo	Alta disponibilidade	1-5	11

Os critérios usados para a avaliação destas tecnologias podem ser resumidos, conforme se segue:

Capital de Investimento: *é o capital básico de referência para a implementação da tecnologia. Este valor não inclui direitos alfandegários nem custos de transporte e instalação dos equipamentos.*

Custos de Operação e Manutenção: *são os custos de referência (fixos) relacionados com a operação dos equipamentos tecnológicos e outros meios auxiliares directamente inerentes à tecnologia.*

Disponibilidade da Tecnologia no Mercado: *Refere-se à maturidade da tecnologia e à sua disponibilidade para uso imediato. Neste caso, as tecnologias tradicionais são consideradas tecnologias maduras e consolidadas e quase de domínio geral por engenheiros do sector. Porém, as tecnologias resultantes de inovações recentes ou ainda em fase piloto, e conseqüentemente, rodeadas ainda de algumas incertezas ou dúvidas, consideram-se tecnologias de fraca disponibilidade no mercado, dada a sua disponibilidade restrita ou imaturidade.*

Emissões de Gases de Efeito de Estufa: *as tecnologias de geração de energia são grandes contribuintes de emissões para a atmosfera e, no presente estudo, tratando-se de eleger tecnologias de geração de energia com potencial para a mitigação das emissões de gases de efeito de estufa, este factor é de uma importância ímpar. No caso presente foram consideradas emissões de dióxido de carbono equivalente usando os factores de conversão sugeridos pelo IPCC GHG Inventory Methodologies, 1996.*

Capítulo 3 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS: Sector de Geração de Electricidade

República de Moçambique

Impactos Sócio-Económicos Directos: trata-se da série de impactos que derivam da instalação da Indústria Energética e do seu produto, a electricidade. Com efeito, estes impactos incluem a geração de receita, de divisas, de emprego e de serviços a nível individual, familiar, comunitário, nacional. A sua esfera de influência pode ser institucional, comunitário ou pessoal. Dado que estes impactos podem ser negativos ou positivos, na presente análise toma-se como referência a série de impactos positivos e a classificação considera a sua maximização como meta.

Impactos Ambientais: a implementação de qualquer projecto tecnológico produz impactos sobre o ambiente no qual é inserido. Estes impactos podem ser circunscritos à área de implementação ou transcendem a fronteira deste espaço e atingir horizontes fora do domínio do projecto. Neste caso, são considerados os impactos mensuráveis directos e, sobretudo, aqueles que circunscrevem-se à área da vizinhança imediata do projecto. Assim, fica excluído, por exemplo, o factor relacionado com as emissões locais, para além de ter efeitos globais já foi tratado de forma específica.

Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável: de uma forma geral, apenas os projectos baseados em fontes renováveis de energia é que contribuem para o desenvolvimento sustentável. Porém, neste estudo, o escalonamento determina que estes estejam no extremo positivo e de forma gradual sejam posicionadas as tecnologias que ainda que não sejam baseadas em fontes renováveis, representem formas de geração cujas emissões podem ser mitigadas e/ou cujas tecnologias podem ser sustentadas com a capacidade local.

Necessidade Infra-estrutural: a indústria de energia inclui, como é comum acontecer com a indústria, em geral, além dos equipamentos tecnológicos, edificações que acomodam a linha tecnológica e os serviços inerentes. Existem tecnologias que demandam grandes investimentos infra-estruturais, como as barragens hidroeléctricas, e outras que não são tão exigentes, como os painéis solares caseiros. Este critério é um indicativo da magnitude relativa de investimento necessário para concretizar o projecto.

Prioridade Nacional: Os ciclos governamentais em Moçambique são quinquenais. No início de cada ciclo, o Governo elege as suas prioridades de desenvolvimento. Por outro lado, existe o Plano de Desenvolvimento do Estado Moçambicano que foi elaborado para um período mais amplo que o de um Governo, servindo de referência para a elaboração dos planos Quinquenais. Esse Programa é conhecido como o Plano 2025. A conjugação destes documentos determina o que é considerado Prioridade Nacional actual, que é baseado nas condições objectivas do momento e nas necessidades avaliadas por cada governo.

Disponibilidade do Produto do Projecto: um dado projecto pode ter todos os elementos de análise positivos mas, a sua implementação revelar-se um desafio, a curto prazo, não ultrapassável. Esta circunstância pode ser determinada por diversos factores tais como a disponibilidade do recurso necessário (fonte de energia), o tempo necessário para implementar o projecto, uma vez reunidas todas as condições financeiras (dependentes da disponibilidade local dos recursos humanos, materiais e tecnológicos procurados) ou mesmo a passagem de recurso potencial para recurso disponível para utilização. Este parâmetro determina o período de tempo que decorre desde o início do projecto até à produção do primeiro electrão.

Capítulo 3 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS: Sector de Geração de Electricidade

República de Moçambique

Com base nas premissas anteriormente indicadas e considerando a imperiosidade defendida pela Lei de Energia que preconiza a diversificação da matriz (de produção) energética, baseada nos recursos natural e nacionalmente disponíveis, foram pré-seleccionadas as 15 tecnologias de geração de electricidade indicadas na tabela 5.

Tabela 5. Tecnologias pré-seleccionadas para a geração de electricidade em Moçambique⁴

Fonte de Energia	Tecnologia
Gás Natural	1 Ciclo Combinado com Captura e Sequestro de Carbono
	2 Ciclo Combinado Convencional
	3 Ciclo Combinado Avançado
Carvão	4 Sistemas Avançados de Pulverização
	5 Ciclo Combinado de Gaseificação Integrada (IGCC), unid simples
	6 Ciclo Combinado de Gaseificação Integrada (IGCC) com CCS, unid simples
	7 Ciclo Combinado de Gaseificação Integrada (IGCC), unid dupla
Hidroelectricidade	8 Hidroelectricidade Regular
	9 Hidroelectricidade de pequena-escala (Mini-Hídricas)
Radiação Solar	10 Sistemas Solares Fotovoltáicos Regulares
	11 Sistemas Solares Fotovoltáicos Médios
Ventos (Eólicas)	12 Turbinas Eólicas Onshore
	13 Turbinas Eólicas Offshore
Biomassa	14 Ciclo Combinado de Gaseificação Integrada (B-IGCC)
	15 Sistemas de Leito Fluidizado e Borbulhante

3.7 Resultados da Priorização de Tecnologias

Com base no Método de Análise e Decisão Multicritérios (MCDA), e tendo em conta os critérios acima definidos e os seus valores, foram apuradas as três primeiras opções tecnológicas, nomeadamente:

- *Sistemas Solares Fotovoltáicos de escala regular,*
- *Ciclo Combinado Convencional a Gás e,*
- *Turbinas Hidráulicas Regulares)*

Deste modo, estas são as tecnologias que melhor concorrem para os objectivos do país, sob o ponto de vista sócio-económico, ambiental e político, ao mesmo tempo que se enquadram nas medidas e metas de mitigação definidas pelo país no âmbito dos seus compromissos globais assumidos através da sua CNID já referida. A figura 6 (abaixo) indica o escalonamento das 15 tecnologias pré-seleccionadas que determina a selecção das tecnologias acima referidas como as três melhores no contexto do estudo em análise.

⁴ A descrição das características destas tecnologias é feita no anexo 1 deste documento

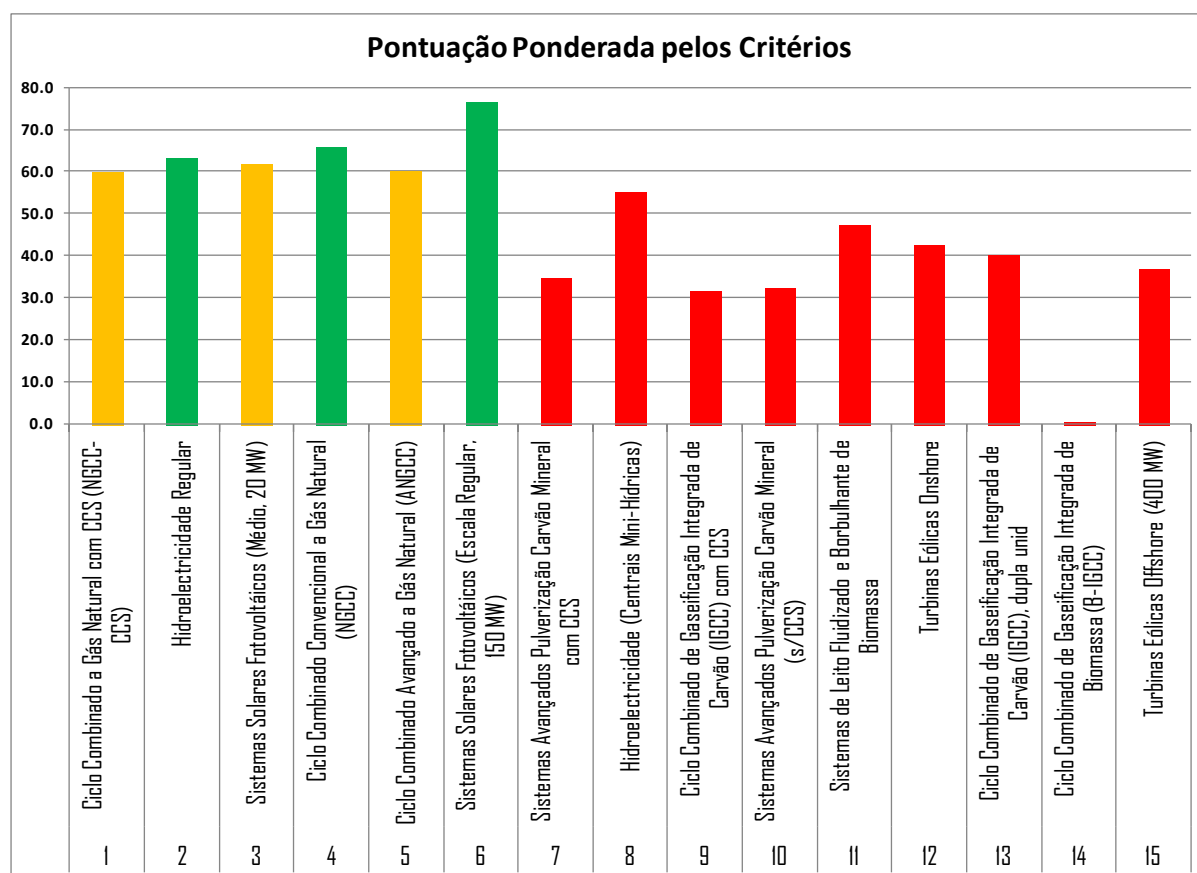


Figura 6. Escalonamento das Tecnologias de Geração de Electricidade na Perspectiva de Mitigação das Mudanças Climáticas

Sistemas Solares Fotovoltáicos (150 MW)

Os sistemas fotovoltaicos de escala regular (150 MW) são uma opção com vantagens comparativas e que poderiam ser usados para alimentar sectores da rede nacional distantes das fontes de geração tradicional, constituindo-se em elementos de optimização da extensão da rede nacional de electricidade, fazendo uso do enorme potencial de insolação que Moçambique possui para além de fazer uso da enorme experiência sobre estes sistemas acumulada neste sector, a nível nacional, através do Fundo de Energia (FUNAE), a entidade do Governo de Moçambique que implementa projectos de electrificação rural com base em fontes de energia alternativas.

Os sistemas propostos neste estudo apresentam custos de investimento na faixa de USD63,784/kW e custos fixos de operação e manutenção avaliados em USD24,69kW/ano (US-EIA, 2013 e 2016). Apesar de estes custos serem relativamente altos, outros critérios, tais como a maturidade tecnológica, a ausência de emissões e a prontidão de produção de energia, incluindo a modesta necessidade infra-estrutural, determinam que estes sistemas apresentem-se como alternativa positiva, o que determinou a sua classificação final.

Capítulo 3 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS: Sector de Geração de Electricidade

República de Moçambique

Ciclo Combinado Convencional a Gás Natural (650MW)

As recentes descobertas de gás natural em Moçambique (bacia do Rovuma) trouxeram este recurso energético para a matriz de fontes de geração de electricidade a nível nacional, justificando a sua inclusão nas prioridades de desenvolvimento do país, conforme aludido anteriormente. Com efeito, já é uma realidade a geração de electricidade a partir de gás natural usando o ciclo combinado (Centrais Térmicas de Ressano Garcia).

O plano de desenvolvimento do sector de energia em Moçambique deposita enormes expectativas no desenvolvimento dos projectos de gás natural e o facto de este recurso ser relativamente limpo sob o ponto de vista de emissões de gases de efeito de estufa (entre os outros combustíveis fósseis) aliado ao custo relativamente acessível de instalações e de manutenção de centrais a gás natural, constituem vantagens importantes para justificar esta opção.

A proposta aqui considerada contempla a capacidade de produção por unidade de geração (usina) de elevada capacidade (650MW), com custos de instalação de cerca de USD917/kW e custos operacionais de aproximadamente USD13,17/kW.ano (US EIA, 2013 e 2016), garantindo níveis de emissões bastante abaixo dos que ocorreriam se a fonte de geração fosse o carvão mineral. Dado o alinhamento com os planos de desenvolvimento nacional neste sector, a baixa taxa de emissões e a efectividade dos custos de investimento, operação e manutenção, está devidamente justificada a eleição desta tecnologia combinada como a segunda melhor opção tecnológica de produção de electricidade em Moçambique.

Uma desvantagem específica a Moçambique, relacionada com esta tecnologia, é determinada pelo facto de actualmente, o gás natural em exploração, que provém das reservas de Pande e Temane, estar totalmente comprometido com os projectos em curso ou já concebidos. Com efeito, as enormes reservas recentemente descobertas ainda não estão em exploração e a sua disponibilidade ainda vai demorar algum tempo. Os projectos de utilização desse gás a nível nacional ainda estão numa fase bastante primária de concepção e negociação. Estes factores determinam que a probabilidade de se ter uma nova central de geração de electricidade com base no gás natural, em um espaço de tempo curto, seja remota, de algum modo.

Turbinas Hidroeléctricas Regulares (500MW)

Esta tecnologia além de não produzir emissões e estar baseada em uma fonte renovável (água), representará um aproveitamento de um grande potencial que o país possui em recursos hídricos e enquadra-se nas perspectivas de desenvolvimento do sector energético definidas pelo GdM. É, por isso, uma opção tecnológica que está devidamente enquadrada no perfil energético de Moçambique.

A selecção baseou-se nas variáveis definidas que indicam um potencial de geração à escala regular (500MW), com custos de investimento de cerca de USD3.000/kW e custos de operação e manutenção à volta de USD14/kW.ano (US-EIA,2013 e 2016) e emissões nulas (não envolve qualquer processo de combustão). Há que reconhecer que na fase de construção e arranque, as centrais hidroeléctricas apresentam emissões substanciais que entretanto, para além de serem mitigáveis, perdem qualquer significância, a médio e longo termo. É, em adição, uma tecnologia tecnicamente dominada em Moçambique (é a maior fonte de electricidade da rede nacional) e com benefícios sócio-económicos reconhecidos além da sua neutralidade sobre o ambiente.

Capítulo 3 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS: Sector de Geração de Electricidade

República de Moçambique

Sob o ponto de vista social, as barragens contribuem para o controlo dos caudais dos cursos de água em que estão instaladas e podem proporcionar actividades turísticas e económicas através das albufeiras que, entretanto, são edificadas.

A grande desvantagem desta fonte de geração de electricidade é a sua vulnerabilidade aos efeitos climáticos, nomeadamente a seca e estiagem. De facto, actualmente, a oscilação dos níveis de água na grande maioria das bacias hidrográficas nacionais põem em causa a sustentabilidade desta tecnologia face aos efeitos negativos das Mudanças Climáticas. Por outro lado, o tempo de erecção de uma barragem hidroeléctrica regular determina que a disponibilidade deste tipo de tecnologia para a produção se concretize apenas depois de alguns pares de anos, conforme a dimensão.

4.1 Contexto Nacional do Sector de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

Resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões são sub-produtos paralelos comumente gerados em qualquer actividade económica ou social sem que constituam, por si sós, um objectivo desta actividade. A sua geração ocorre tanto a nível doméstico como de serviços, comércio, indústria ou qualquer outro sector de actividade. Uma vez gerados, passam a constituir-se em problema económico e ambiental pois, a sua deposição exige recursos adicionais que devem ser destinados à sua gestão desde o transporte, o tratamento até à gestão dos seus impactos sobre o ambiente, etc.

O Sector de Gestão e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos em Moçambique é caracterizado por ausência de classificação, deposição em contentores (figura 7) normalmente distribuídos pelas cidades de onde as autoridades municipais fazem a recolha para a deposição em lixeiras a céu-aberto, localizados, regra geral, em lugares habitados, ainda que afastados dos centros urbanos. Nestes locais, não existem técnicas ou tecnologias clássicas de tratamento. Este facto é aproveitado pelos catadores de lixo que usam as lixeiras como local de recuperação de produtos ou artigos que retiram e adicionam valor (figura 8), vendendo ao público ou reutilizando de forma individual (figura 9).



Figura 7. Lixo não classificado espalhado à volta do contentor aguardando recolha pelas autirdades municipais em uma das cidades Moçambicanas

A ausência de classificação dos resíduos a partir dos locais de geração, quer a nível doméstico quer de serviços, reduz o potencial de aproveitamento destes resíduos e constitui um desafio ao processamento dos resíduos sólidos de forma consistente. Esta dificuldade relaciona-se com a diversidade da natureza dos materiais misturados que incluem materias silicosos, metalicos, orgânicos putrescíveis, plásticos, borracha, madeiras, electrodomésticos descartados, mobiliário, tecidos, papel e cartão, etc.(figura 7). Apesar de existir, oficialmente uma categorização dos resíduos sólidos urbanos em Moçambique, em geral, a sua separação não é prática comum pelo cidadão. Esta prática é comum excepto nos casos de lixos especiais relacionados com a natureza da actividade do gerador não doméstico, que por razões óbvias, produz um tipo ou alguns tipos especializados de resíduos concentrando-os em contentores especiais e dedicados.

Capítulo 4 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO SECTOR DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS
República de Moçambique



Figura 8 Catadores de Lixo em plena actividade em uma das lixeiras de Moçambique



Figura 9. Catador de Lixo com o produto do seu trabalho

Capítulo 4 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO SECTOR DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

República de Moçambique

De acordo com a legislação nacional do sector (Postura de Limpeza de Resíduos Sólidos Municipais), os resíduos sólidos urbanos incluem as seguintes subcategorias (Decreto N° 13/2006):

- **Resíduos Sólidos Domésticos (RSD):** produzidos em habitações e outros lugares da mesma classe;
- **Resíduos Sólidos Comerciais (RSC):** produzidos em estabelecimentos comerciais e industriais, entidades públicas, escritórios, serviços e que sejam depositados em equipamentos destinados aos RSD;
- **Resíduos Sólidos Volumosos (RV):** provenientes de instalações domiciliárias, comerciais, industriais ou outros listados anteriormente, cuja remoção implica a utilização de equipamentos especiais, devido ao seu volume, peso ou outra condição peculiar e imprópria para deposição normal;
- **Resíduos de Jardins ou Espaços Particulares (REP):** resultantes de actividades de manutenção e conservação de espaços particulares;
- **Resíduos Sólidos de Vias e Outros Espaços Públicos (RSVP):** resultam de limpeza pública de jardins, parques, ruas, cemitérios ou outros espaços públicos;
- **Resíduos Sólidos Industriais (RSI):** produzidos em unidades industriais, desde que não pertençam à subclasse de resíduos perigosos;
- **Resíduos Sólidos Hospitalares (RSH):** resíduos de natureza hospitalar não contaminados e equiparáveis aos RSD;
- **Resíduos Animais ou Seus Derivados (RA):** constituídos por cadáveres ou restos de animais bem como seus dejectos;
- **Resíduos Inertes (RI):** areias, cinzas e outro material semelhante;
- **Resíduos Sólidos de Construção ou Entulhos (RSCE):** resultantes de obras de construção ou demolição de edificações ou infra-estruturas públicas ou privadas;
- **Resíduos Especiais (RE):** resíduos que demandam tratamento especial devido às suas características, sobretudo em tamanho, peso e densidade;
- **Resíduos Biomédicos (RBM):** resíduos resultantes de actividades de diagnóstico, tratamento e investigação em medicina humana ou veterinária;
- **Resíduos Perigosos (RP):** resíduos inflamáveis, tóxicos, corrosivos, explosivos, infecciosos, radioactivos ou com qualquer outra qualidade que represente perigo à vida ou ao ambiente.

A gestão dos RBM e RP é centralizada e da responsabilidade do Minsitério da Terra, Ambiente e Desenvolvimento Rural (MITADER).

Em Moçambique, a gestão de resíduos, sobretudo sólidos, tem sido um desafio às autoridades administrativas, desde que o país ascendeu à independência em 1975. O fraco nível de industrialização do país determina que o sector industrial, comercial e de serviços tenha um regime de gestão dos seus resíduos (sólidos, efluentes e emissões) separado e menos apelativo para as autoridades do que o sector doméstico.

Dada a natureza da população Moçambicana, com a maioria (mais de 80%) vivendo no meio rural, onde predomina a gestão de resíduos a nível caseiro, dispensa-se, aparentemente, qualquer sistema integrado de gestão, como ocorre nos centros urbanos. Com efeito, nas zonas rurais, bem como em muitos aglomerados urbanos, a queima (incineração caseira), o soterramento

Capítulo 4 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO SECTOR DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

República de Moçambique

e a reciclagem são as formas mais comuns de gestão dos resíduos sólidos produzidos a nível, sobretudo doméstico.

Actualmente, dois desafios têm sido colocados às autoridades, nomeadamente a gestão dos resíduos sólidos e dos efluentes (águas residuais) urbanos. A gestão e tratamento de águas residuais é pouco desenvolvida dado que apenas as cidades de Maputo e da Beira, mais a Vila do Songo, possuem sistemas de tratamento de águas residuais. Na Cidade de Maputo, a Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) é por lagunagem. Na Cidade da Beira e Vila do Songo, as ETARs são clássicas e baseadas em operações unitárias. Assim, a principal área de preocupação diária na gestão de resíduos no país, concentra-se, por estas razões, nos resíduos sólidos urbanos.

De um modo geral, a gestão de todos os resíduos urbanos está delegada às autoridades Municipais, um sistema de gestão administrativa autárquico introduzido no país em 1999. De facto, a partir dessa altura, a gestão urbana da maior parte das cidades e vilas foi sendo, de forma progressiva, transferida para os Governos Municipais que entretanto foram sendo instituídos de forma democrática. Hoje, o país possui 55 Municípios (2015) em igual número de cidades e vilas distribuídas ao longo do território nacional, sendo as províncias de Nampula (7), Zambézia (6) e Gaza(6), as mais autarcizadas. Estes órgãos de governação local herdaram a responsabilidade de, entre outras, gerir os resíduos urbanos bem como garantir o cumprimento da legislação pertinente a esta actividade nas suas áreas de jurisdição (Conselho Municipal da Cidade de Maputo, 2008).

Actualmente, os principais centros urbanos que merecem destaque em Moçambique são as Cidades de Maputo, Beira, Matola, Nampula e, mais recentemente, Tete, não só pelo elevado número de munícipes que detêm como pelo nível de industrialização, de actividade comercial e de serviços que ostentam e que se traduz, claramente, em um nível alto de produção de resíduos urbanos. Contudo, os últimos desenvolvimentos determinarão, inequivocamente, a filiação de mais Cidades Municipais como Centros Urbanos de destaque no contexto nacional. A tabela 5 indica alguns níveis de produção anual de RSU num conjunto de 14 Municípios distribuídos pelo país(GIZ, 2012).

A nível nacional, é prática comum a recolha de resíduos sólidos urbanos (RSU), sobretudo, para deposição ou descarte em lixeiras a céu aberto, sem que tenham sido previamente classificados e sem qualquer tratamento sistematizado e clássico. Os locais usados para o efeito, em regra, na periferia imediata dos centros urbanos, não obedecem aos critérios padronizados para tal, sendo normal que a lixiera esteja localizada no meio de uma Comunidade. Excepção de realce é o caso da Vila do Songo. Ademais, apenas a Cidade de Maputo (e Matola) possui um aterro sanitário para lixos perigosos/tóxicos.

É dado adquirido que nenhuma autoridade municipal em Moçambique tem estabelecido um sistema de gestão de RSU moderno, de nível internacional e com os padrões universalmente adoptados. O modelo actualmente em uso para esta gestão pode ser, por isso, considerado tradicional, carecendo de um *upgrade* apropriado. Por outro lado, estima-se que no país, apenas cerca de um terço da população tenha acesso à água potável e menos de metade, a um saneamento adequado. Adicionalmente, a maioria das cidades em Moçambique apresenta redes de esgoto com ligações domiciliare, ainda que seja comum a ocorrência de fossas sépticas, sobretudo, nas zonas periurbanas. Esta realidade determina o perfil do subsector de águas residuais nacional (Tabela 6).

Tabela 6. Produção Anual de RSU em alguns Municípios de Moçambique (GIZ, 2012)

Município	Produção Anual de RSU (ton)
-----------	-----------------------------

Capítulo 4 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO SECTOR DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

República de Moçambique

Maputo	1.135.000
Matola	110.000
Xai-xai	17.163
Inhambane	52.370
Vilankulo	3.650
Beira	62.065
Nampula	191.625
Ilha de Moçambique	7.200
Nacala	33.127
Quelimane	4.500
Mocuba	750
Pemba	6.300
Montepuez	6.500
Mocímboa da Praia	2.160

Nas zonas meramente rurais predomina o uso de latrinas ou outra forma de deposição e acondicionamento tradicional de dejectos. Esta realidade tem um impacto directo na capacidade das unidades domiciliarees gerarem águas de esgoto e determina o nível de desenvolvimento das infra-estruturas dos sistemas de tratamento.

O conjunto das Cidades Moçambicanas é subdividido em quatro categorias, definidas com base no grau de desenvolvimento urbano, com particular destaque para a complexidade da vida económica, política e sócio-cultural, sua densidade populacional, grau de industrialização, desenvolvimento do mercado local (comércio), saúde, educação e desporto. Estas categorias definem-se de A a D, conforme a Tabela 7 a seguir:

Tabela 7. Categorização de algumas Cidades Municipalizadas Moçambicanas

Categoria A	Categoria B	Categoria C	Categoria D
MAPUTO-Cidade	BEIRA	CHIMOIO	ANGOICHE
	NAMPULA	NACALA	CUAMBA
	MATOLA	QUELIMANE	CHIBUTO
		INHAMBANE	CHÓKWÈ
		PEMBA	DONDO
		TETE	GURUÈ
		XAI-XAI	MAXIXE
		ILHA DE MOÇAMBIQUE	MOCUBA
			MONTEPUEZ

Fonte: Classificação de Cidades e Vilas, INFP, 1998

Devido à ausência de qualquer tecnologia convencionada de gestão e tratamento de resíduos em Moçambique, a escolha de alternativas tecnológicas torna-se um desafio pois representa uma perspectiva inovadora sobre o espectro actual.

A selecção das tecnologias apropriadas para a gestão e tratamento dos RSU em Moçambique está alicerçada na perspectiva de cumprir com os seguintes desideratos (MICOA, 2009).

Capítulo 4 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO SECTOR DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

República de Moçambique

- Reduzir a quantidade de resíduos perigosos;
- Segregar os RSU visando tratamento especializado e dedicado;
- Adicionar valor aos RSU;
- Garantir a optimização do reuso e da reciclagem dos RSU, quando a redução de produção destes não possa ser influenciada;
- Assegurar que as formas ou tecnologias usadas na gestão e tratamento do lixo contribuam para a sustentabilidade ambiental e mitigação das emissões associadas aos RSU;
- Minimizar os impactos ambientais relacionados com a recolha, o transporte, o tratamento e o descarte dos RSU; e,
- Gerar receita para cobrir os custos de gestão dos RSU.

Nesta perspectiva e tendo em conta os desafios energéticos nacionais e regionais, foi escolhida a vertente “*waste-to energy*” para a selecção das tecnologias mais apropriadas para o contexto de Moçambique.

4.2 Emissões de Gases de Efeito de Estufa das Tecnologias em Uso no País para a Gestão de Resíduos Sólidos e Efluentes Urbanos

As práticas actuais neste sector estão associadas a emissões directas de metano não contabilizado cujos índices são incertos, dada a falta de elementos de avaliação credíveis. Entretanto, é um facto que para o sector de lixos, a última Comunicação Nacional de Moçambique indicava um nível médio de emissões anuais de cerca de 2.030Gg CO₂ eq, dos quais cerca de 92% são emitidos na forma de metano, aproximadamente 8% como monóxido de dinitrogénio e apenas traços de dióxido de carbono (<1%)[SCN, 2011].

Em relação aos esgotos, a produção de gases de efeito de estufa associada à população urbana foi estimada e reportada pela SCN, 2011, no período 1995-2004, conforme a Tabela 8 a seguir:

Tabela 8. Evolução da população total e urbana e das respectivas emissões de CO₂eq

Ano	População do País (hab.)	População urbana nacional (hab.)	Produção de RSU (Gg/ano)	Emissões metano (Gg/ano)	Emissões metano (Gg CO ₂ eq/ano.)
1995	17 423 200	4 404 527	1 607,65	77,07	1 618,47
1996	18 027 600	4 495 977	1 641,03	78,67	1 652,07
1997	18 527 100	4 594 406	1 676,83	80,39	1 688,19
1998	16 452 000	4 755 960	1 735,93	83,22	1 747,62
1999	16 841 000	4 922 345	1 796,66	86,13	1 808,73
2000	17 242 200	5 093 942	1 859,29	89,13	1 871,73
2001	17 656 200	5 270 559	1 923,75	92,22	1 936,62
2002	18 082 500	5 451 960	1 989,97	95,40	2 003,4
2003	18 521 200	5 637 918	2 057,84	98,65	2 071,67
2004	18 962 000	5 828 150	2127,27	101,98	2 141,58

Com estas estatísticas, poder-se-á deduzir que, em média, no período de referência foram emitidos cerca de 1.854 GgCO₂eq/ano (SCN, 2011).

Capítulo 4 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO SECTOR DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

República de Moçambique

Lixo Hospitalar

O crescimento demográfico e a expansão contínua da rede sanitária verificados ao longo dos últimos anos tem vindo a incrementar, de forma proporcional, o volume do lixo de natureza hospitalar produzido nas unidades sanitárias. A SCN estimou com base nos dados do período já referido, as emissões de dióxido de carbono correspondentes à quantidade de resíduos produzida na altura (tabela 9), tendo obtido os resultados indicados na tabela abaixo (SCN, 2011).

Tabela 9. Incineração de Resíduos Hospitalares e Respectivas Emissões

ANO	Resíduos hospitalares, (ton/ano)	Emissões de CO ₂ (Gg/ano)
1995	1 0251,7	8,570
1996	1 0259,8	8,577
1997	1 0573,2	8,839
1998	1 0457,9	8,743
1999	1 2871,9	10,761
2000	1 2234,7	10,228
2001	1 2789,1	10,692
2002	1 3632,4	11,397
2003	1 3552,7	13,330
2004	1 3137,2	10,982
Média (CO₂ neutro)*		10,212

*Dado que em regra estes resíduos são de natureza orgânica (biomassa), o efeito do CO₂ é considerado neutro.

Dejectos Humanos

Com base na SCN, as emissões de gases de efeito de estufa originadas a partir de dejectos humanos no período de referência foram, em média 16,15 Gg CO_{2eq}/ano, conforme ilustra a tabela 10.

Tabela 10. Emissões de N₂O a partir de detritos humanos

Ano	Consumo de proteínas	População Nacional	Emissões	
	(kg/pess.ano)	(1000habit.)	(Gg N ₂ O/ano)	(Gg CO _{2eq} /ano)
1995	11,68	17 423,2	0,51	158,1
1996	11,68	18 027,6	0,53	164,3
1997	11,68	18 527,1	0,54	167,4
1998	11,68	16 452	0,48	148,8
1999	11,68	16 841	0,49	151,9
2000	11,68	17 242,2	0,51	158,1
2001	11,68	17 656,2	0,52	161,2
2002	11,68	18 082,5	0,53	164,3
2003	11,68	18 521,2	0,54	167,4
2004	11,68	18 962	0,56	173,6
Média				161,51

Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR)

Existem em Moçambique três ETAR, conforme já referido, que se encontram localizadas em Maputo, Beira e Songo (Tete).

Capítulo 4 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO SECTOR DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

República de Moçambique

Dados obtidos em relação à ETAR de Maputo (Infulene) indicam que ela havia sido dimensionada para 90.000 utentes, sendo alimentada pelo sistema principal de esgotos interceptando parte das águas que outrora eram descarregadas na Baía de Maputo. Estas águas são aduzidas à estação por elevação a partir dos pontos mais baixos, através de duas estações de bombagem^[9].

O funcionamento da ETAR-Maputo assenta num pré-tratamento em duas lagoas anaeróbicas onde a carga orgânica é reduzida em cerca de 45%, seguido de um tratamento final em outras duas lagoas facultativas nas quais, além da continuação da redução da matéria orgânica em cerca de 80%, faz-se também a eliminação de outros poluentes contidos nas águas em tratamento. O caudal máximo admissível é de 2000m³/h (SCN, 2011).

4.3 Contexto de Decisão

O principal desafio que hoje é colocado ao sector de gestão de resíduos sólidos urbanos, é, sobretudo, o de garantir a recolha destes resíduos de forma efectiva e assegurar que a sua gestão e tratamento é rentabilizada, de modo a mitigar as despesas elevadas que hoje caracterizam o sector. Deste modo, para além do princípio da *redução-reutilização-reciclagem*, é importante encontrar formas de associar a estas práticas alguma perspectiva de geração de receitas e mitigação das emissões dos gases de efeito de estufa inerentes aos resíduos, sua gestão e tratamento. Esta base de decisão conduz de forma clara a uma das práticas mais divulgadas de aliar a gestão e o tratamento à adição de valor aos resíduos, sobretudo de natureza sólida, que é a perspectiva *waste-to-energy*, conforme já referenciado algures neste estudo, sem perder de vista a questão ambiental que é o garante do desenvolvimento sustentável.

4.4 Perspectivas dos Potenciais das Tecnologias de Mitigação, Potencial de Mitigação e Outros Benefícios

As tecnologias seleccionadas para a avaliação têm como característica importante o seguinte:

- Concorrem para a gestão e tratamento dos RSU, de uma forma geral, independentemente da sua classificação e composição;
- Adicionam valor aos RSU;
- Produzem benefícios ambientais (redução de emissões de gases de efeito de estufa);
- São tecnologias desenvolvidas e amplamente consolidadas (a maioria) e que podem criar um impacto sócio-económico positivo no sector, gerando, além das comodidades, emprego para o cidadão nacional, e,
- Modernizar tecnologicamente o sector.

De facto, qualquer das tecnologias eleitas evitará, em primeiro lugar, a emissão livre de metano para o ambiente e, ao queimá-lo, convertê-lo-á em dióxido de carbono com um factor de aquecimento global muito mais reduzido do que o metano, beneficiando, deste modo, o ambiente. A geração de energia poderá implicar a geração de receitas pelas entidades gestoras das lixeiras e tornar sustentável a gestão dos resíduos sólidos urbanos.

4.5 Critérios e Processo de Priorização de Tecnologias

Para a avaliação das tecnologias de tratamento de resíduos, foram definidos parâmetros de análise que foram avaliados segundo um instrumento de avaliação multicritérios, nomeadamente:

Capítulo 4 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO SECTOR DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

República de Moçambique

- Tecnologias apropriadas para o tratamento de resíduos nacionalmente disponíveis (8 alternativas tecnológicas);
- Critérios de avaliação na perspectiva económica, financeira, tecnológica e política alicerçados na realidade nacional e internacional (9 critérios);
- Escala de variação (arbitrária) para a quantificação dos critérios qualitativos(1-5);
- Pesos para cada critério sobre a avaliação global (percentagem); e,
- O valor (extremo) considerado óptimo (maior ou menor).

Uma grande fracção dos RSU é constituída de materiais putrescíveis de natureza orgânica que, devido ao empilhamento, decompõem-se em condições de anaerobiose. Ora, esta condição é propícia para a geração de moléculas orgânicas leves, com destaque para o metano, que ao libertar-se para o ambiente causa um efeito de aquecimento global 21 vezes mais acentuado que o causado pelo dióxido de carbono, contribuindo sobremaneira para o incremento da concentração dos gases de efeito de estufa na atmosfera. Esta característica é também comum em sistemas de tratamento de águas residuais onde as lamas acumuladas são sobretudo orgânicas e, a humidade reduz a absorção do oxigénio, propiciando a degradação anaeróbica, tal como referido em relação aos RSU.

A escolha das tecnologias apropriadas incidiu sobre a necessidade de redução de emissões e, ao mesmo tempo, aproveitar o material residual como precursor de energia (*waste to energy technologies*), como forma de adicionar valor ao RSU.

Os nove critérios estabelecidos para avaliar as tecnologias pré-seleccionadas são apresentados e caracterizados na tabela 11, abaixo.

Tabela 11. Critérios de Avaliação e Sua Quantificação

Ordem	Critério	Categoria	Unidade	Valor Preferido	Escala de Variação	Pesos (%)
1	Capital de Investimento	Económica	M USD	Baixo		15
2	Custos de Operação e Manutenção	Económica	USD/ton	Baixo		15
3	Disponibilidade da Tecnologia no Mercado	Económica	Baixa/Elevada	Elevada	1-5	12
4	Necessidade de Infra-estruturas	Ambiental	Baixa/Elevada	Baixa	1-5	10
5	Capacidade	Tecnológica	Ton/dia	Elevado		12
6	Impactos Ambientais	Ambiental	Baixo/Elevado	Baixo	1-5	8
7	Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável	Sócio-Económica	Baixa/Elevada	Elevada	1-5	10
8	Geração de Receita	Económica	Elevada/Baixa	Baixa	1-5	8
9	Prioridade Nacional	Política e Sócio-Económica	Prioritária/Não prioritária	Prioritário	1-5	10

A descrição dos critérios feita anteriormente é válida para este sector.

Com base neste critérios, as oito tecnologias pré-seleccionadas (tabela 12) foram avaliadas como potenciais alternativas para a gestão e tratamento de resíduos em Moçambique, tendo em conta os níveis actuais de geração de RSU nas principais cidades nacionais bem como as projecções baseadas nas tendências de desenvolvimento de alguns centros urbanos nacionais.

Tabela 12. Tecnologias de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos pré-seleccionadas⁵

Nº Ordem	Tecnologia
1	Aterro Sanitário (landfill) biorreactor para a geração de biogás

⁵ A descrição detalhada das características de cada uma destas tecnologias é feita no anexo I.

Capítulo 4 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO SECTOR DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

República de Moçambique

- 2 Aterro Sanitário (landfill) com geração de biogás
 - 3 Biodigestão Anaeróbica
 - 4 Compostagem em Vaso
 - 5 Gaseificação
 - 6 Gaseificação do Plasma
 - 7 Incineração
 - 8 Pirólise
-

4.6 Resultados da Priorização de Tecnologias

As oito opções tecnológicas escolhidas foram avaliadas com recurso ao Método de Análise de Decisão Multicritérios (MCDA), tendo resultado no escalonamento apresentado na figura 10, tendo sido:

- *Aterro Sanitário com produção de Biogás,*
- *Aterro Sanitário biorreactor de Produção de Biogás, e*
- *Pirólise*

No sector de gestão de resíduos, e de acordo com o que é apresentado na figura, as três primeiras tecnologias, com a melhor pontuação, são sobretudo ambientalmente favoráveis e conjugam o tratamento dos RSU com a geração de uma comodidade de inegável importância que é o combustível, precursor de energia.

Qualquer destas três opções tecnológicas (*Aterro Sanitário com produção de Biogás, Aterro Sanitário biorreactor de Produção de Biogás e Pirólise*) irá reduzir a emissão de metano para a atmosfera, criando a possibilidade de este ser usado como precursor de energia útil em centrais térmicas de geração de electricidade.

Capítulo 4 PRIORIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS NO SECTOR DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS

República de Moçambique

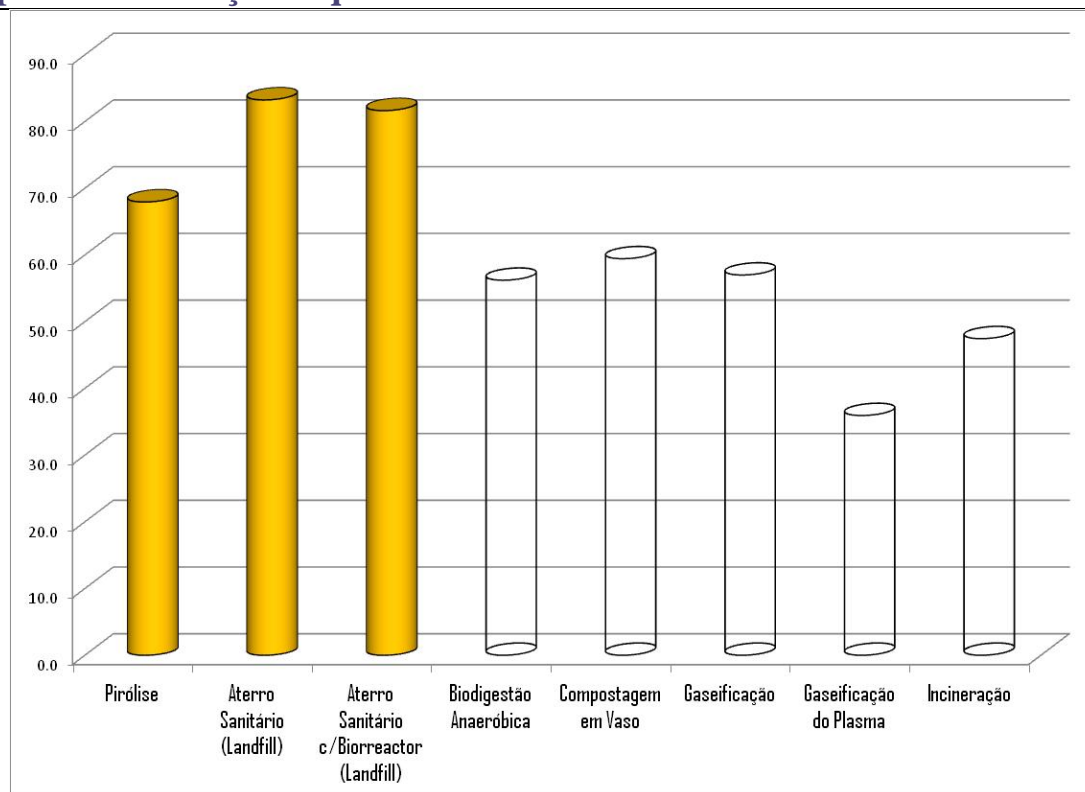


Figura 10. Resultado da MCDA sobre Tecnologias de Gestão de RSU na perspectiva de mitigação das Mudanças Climáticas

Em relação às tecnologias eleitas, é de sublinhar que o projecto de nova lixeira para as Cidades de Maputo e Matola, e eventualmente Boane, já propõe um aterro sanitário como uma das opções de tratamento dos RSU orientada para o principal objectivo de reduzir os volumes dos RSU e a sua periculosidade mas também para a produção de energia eléctrica com a queima do biogás produzido, como forma não só de adicionar valor ao produtos derivados dos RSU como também de mitigar os efeitos do metano sobre a atmosfera.

Um dos principais factores que determina a opção de uma lixeira comum para os Municípios de Maputo e Matola, está relacionado com a necessidade de otimizar os volumes de capitação bem como os investimentos em tecnologias de tratamento modernos que demandam elevados níveis de deposição diária.

As tecnologias eleitas podem ser usadas apenas em aglomerados urbanos que tenham uma produção de RSU consentânea com as capacidades indicadas nas fichas técnicas das tecnologias, de modo a otimizar os custos. De outro modo, um exercício de redução de escala deverá ser feito. Apesar destas limitações, os níveis de desenvolvimento e a proximidade de algumas cidades Municipais poderá permitir que, a breve trecho, tecnologias que tratem volumes grandes de RSU possam ser adoptadas em locais aparentemente não elegíveis de imediato. Estes seriam os casos das Cidades de Tete, Beira e Quelimane (em franca expansão); Tete-Moatize bem como Inhambane-Maxixe, cidades que podem adoptar a estratégia de Maputo-Matola e otimizar não apenas os seus investimentos nestas tecnologias como também viabilizar as opções sugeridas.

No caso das Cidades de Maputo e Matola, o exercício será oposto ao discutido anteriormente pois, dada a elevada produção diária acumulada de RSU nestas duas Cidades, impõe-se uma ampliação da escala ou a multiplicação de unidades individuais para cobrir a massa a ser tratada.

Capítulo 5. SUMÁRIO E CONCLUSÕES

República de Moçambique

Capítulo 5. SUMÁRIO E CONCLUSÕES

As tecnologias seleccionadas pelo modelo MCDA para a geração de electricidade, nomeadamente Ciclo Combinado Convencional a Gás (gás natural), Geradores de Hidroelectricidade (Sistemas Solares Fotovoltáicos de grande escala (150 MW, Ciclo Combinado Convencional com CCS e Turbinas Hidráulicas de escala regular), assentam em apenas três das diversas fontes disponíveis para a geração de electricidade em Moçambique.

As três tecnologias seleccionadas por este meio enquadram-se perfeitamente na Política Energética Nacional pois contribuem para a diversificação da matriz energética, por um lado, e fazem o aproveitamento de recursos abundantes em Moçambique e possuem um elevado potencial para mitigar as emissões de gases de efeito de estufa.

É importante notar que, em relação a centrais baseadas em painéis solares fotovoltaicos, o país acaba de inaugurar uma central similar no Norte de Moçambique, ao mesmo tempo que, a Electricidade de Moçambique acaba de assegurar um financiamento para a edificação de uma Central Fotovoltáica de cerca de 40,5 MW a ser implementado muito brevemente.

No que concerne a Centrais Térmicas a Gás Natural, os projectos descritos algures neste documento mostram como o país já está na rota desta tecnologia para fazer o aproveitamento do gás natural abundante em subsolo nacional. A vasta lista de centrais hidroeléctricas em carteira que foi apresentada anteriormente bem como o potencial hídrico do país concorrem para garantir que esta tecnologia enquadra-se perfeitamente nos planos estratégicos de desenvolvimento nacional, por um lado, e concorrem para a limitação das emissões nacionais dos gases de efeito de estufa.

Contudo, este resultado, deixa de fora as seguintes fontes nacionais de geração de electricidade:

- **eólica**, importante no actual e futuro programa de electrificação rural com base em sistemas isolados e/ou em redes de distribuição independentes da rede nacional, sobretudo ao longo da linha costeira;
- **carbonífera**, amplamente disponível devido aos elevados volumes de carvão térmico extraídos nas minas nacionais e com um mercado fraco devido ao seu baixo valor energético;
- **biomássica**, principal fonte de energia doméstica, sobretudo nas zonas periurbanas e rurais.

Assim, é de recomendar que, independentemente dos resultados deste estudo, o GdM mobilize recursos paralelos para investimento em tecnologias claramente alinhadas com a mitigação das mudanças climáticas bem como com o desenvolvimento sustentável do país.

Em relação à gestão dos RSU, as três primeiras tecnologias têm a particularidade de permitir o tratamento não só de RSU como também de outro tipo de lixo desde que sejam orgânicos, na perspectiva de produzir energia eléctrica e reduzir o volume dos resíduos depositados.

Para um país sem tradição de gestão moderna de RSU, estas tecnologias servirão de modelo de gestão de RSU altamente rentável, ao mesmo tempo que se constituirão em tecnologias apropriadas para ajudar o país a honrar o seu compromisso de mitigação de gases de efeito de estufa. O projecto de edificação de um sistema de tratamento de RSU baseado em uma das tecnologias aqui seleccionadas, para as Cidades de Maputo, Matola e Boane, é um exemplo

Capítulo 5. SUMÁRIO E CONCLUSÕES

República de Moçambique

inequívoco da inserção destas tecnologias nas prioridades de desenvolvimento sectorial em Moçambique.

Tendo em conta a vastidão dos resíduos sólidos urbanos, recomenda-se que, para o material que eventualmente não possa ser biodigerido ou para os locais onde as tecnologias classificadas nas primeiras três posições não possam ser implementadas, a compostagem ou a incineração sejam consideradas como alternativas aceitáveis.

Capítulo 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

República de Moçambique

Capítulo 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) Aromal Thampan e Munish Kumar Chandel; 2015. *Bioreactor Landfill Technology*; International Journal of Science and Research (IJSR); Volume 4 Issue 6, June 2015 pgs 256-260
- 2) Coba, 2016; *Projecto de Aterro Sanitário para as Cidades de Maputo e Matola: Avaliação de Impacto Ambiental*, Vol 1- Relatório do EPDA; Março, 2016
- 3) Coba, Março, 2016; *Projecto de Aterro Sanitário para as Cidades de Maputo e Matola: Avaliação de Impacto Ambiental*, Vol 2- Relatório do EPDA; Março, 2016
- 4) Conselho Municipal da Cidade de Maputo, 2008 *Limpeza de Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Maputo*; Município de Maputo; Kapicua, Livros e Multimedia
- 5) ENERGINET.DK, 2012; *Technology Data for Energy Plants; Generation of Electricity and District Heating, Energy Storage and Energy Carrier Generation and Conversion*, (description)
- 6) *Estratégia de Energia*, Resolução 10/2009 de 10 de Março (Conselho de Ministros, de Moçambique)
- 7) Gesto-Energia, SA, 2014; *Renewable Energy ATLAS OF MOZAMBIQUE: resources and projects for power generation*; ISBN 978-989-97416-3-8
- 8) GIZ; 2012 *Economic Instruments in Solid Waste Management: Case study Maputo, Mozambique*; GIZ-Concepts for Sustainable Waste Management
- 9) Governo de Moçambique, 2011; *Segunda Comunicação Nacional sobre Mudanças Climáticas*, Outubro de 2011, Ministério para a Coordenação da Acção Ambiental,
- 10) ICF International; 2012; *Natural Gas Master Plan for Mozambique (draft final report executive summary)*,
- 11) INPE, 1998; *Classificação das Cidades e Vilas de Moçambique*
- 12) IRENA, 2012; *Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series*; Vol 1: Power Sector, June 2012
- 13) Kevin R. Craig e Margaret K. Mann, 1996, *Cost and Performance Analysis of Biomass-based Integrated Gasification Combined Cycle (BIGCC) Power Systems*, NREL-National Renewable Energy Laboratory, Midwest Research Institute, USA, October 1996
- 14) Lori Pottinger (ed), 2009; *A Renewable Energy Plan for Mozambique, Mark Hankins*,
- 15) Marchezetti, Ana Lúci; 2009; *Avaliação de Alternativas Tecnológicas para o Tratamento de Resíduos Sólidos Domiciliares pela Aplicação do Método AHP* :Estudo de Caso da Região Metropolitana de Curitiba
- 16) Matthew Brander, Aman Sood, Charlotte Wylie, Amy Haughton, and Jessica Lovell; 2011; *Technical Paper, Electricity Grid Specific Emission Factors for Grid Electricity; Ecometrica* (August, 2011)
- 17) MICOA, 2011; *Estratégia Nacional de Adaptação e Mitigação das Mudanças Climáticas (ENAMMC) para o período 2013-2025*,
- 18) MICOA, 2012; *Estratégia de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Moçambique*, Agosto de 2012
- 19) Ministério da Energia, 2011; *Estratégia de Desenvolvimento de Energias Novas e Renováveis (EDENR) para o período 2011-2025*, República de Moçambique
- 20) Neville A. H. Holt, 2001; *Integrated Gasification Combined Cycle Power Plants*, EPRI, 2001, Encyclopedia of Physical Science and Technology, Academic Press, September 2001
- 21) Norton Rose Fulbright, 2015; *Investing in the African Electricity Sector: Mozambique, ten things to know*
- 22) Patrick Heapers, Dylan McConnell, 2011, *Renewable Energy Technology Cost Review*, Melbourne Energy Institute, Technical Paper Series, March 2011,
- 23) *Plano Quinquenal do Governo de Moçambique para o período 2015-2019*, Resolução 12/2015 de 14 de Abril, Assembleia da República
- 24) Qinglin Zhang, Liran Dor, Dikla Fenigshtein, Weihong Yang, Wlodzimierz Blasiak; 2012; *Gasification of MSW in the Plasma Gasification Melting Process*; Applied Energy, Vol 90 (2012), Issue I, 106-112
- 25) *Regulamento sobre Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Moçambique*, Decreto 13/2006 de 15 de Junho
- 26) Resilience Policy Team; 2015; *Mozambique Climate Action Report*, Irish Aid
- 27) Rick Tidball, Joel Bluestein, Nick Rodriguez and Stu Knoke; 2010; *Cost and Performance Assumptions for Modeling Electricity Generation Technologies*; NREL, Fairfax, Virginia
- 28) Suman Ghosh, Syed E. Hasan, 2010, *Sanitary Landfill*; Environmental and Engineering Geology, Vol. III; UNESCO-Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)
- 29) The WB and the GoM Steering Committee, 2012 *The Future of Natural Gas in Mozambique: Towards a Gas Master Plan-Executive Summary*, Mozambique
- 30) Tolmasquim, Maurício Tiomino, *Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil*, Rio de Janeiro, Relume Dumará; CENERGIA, 2004
- 31) UNEP DTU Partnership, 2015; *A step-by-step guide for countries conducting a Technology Needs Assessment*

Capítulo 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

República de Moçambique

- 32) US Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, <https://energy.gov/eere/water/types-hydropower-plants> (Feb, 2017)
- 33) US Energy Information Administration, 2013; *Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants*, April 2013, Independent Statistics & Analysis,
- 34) US Energy Information Administration; 2016; *Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants*, November, 2016, Independent Statistics & Analysis.
- 35) USAID-DAI; 2015; *The Electricity Sector in Mozambique: an analysis of the power crisis and its impact on the business environment*; February 2015
- 36) World Bank-Carbon Finance Unit; 2008; *MSW Treatment Technologies and Carbon Finance*; Thailand, Bangkok, January, 2008 (PPI)
- 37) Youngchul Byun, Moohyun Cho, Soon-Mo Hwang and Jaewoo Chung; 2012; *Thermal Plasma Gasification of Municipal Solid Waste*; Intech, pgs 184-208 (Chapter 7)
- 38) Youngchul Byun, Moohyun Cho, Soon-Mo Hwang e Jaewoo Chung, Gasification for Practical Applications, 2012; *Thermal Plasma Gasification of Municipal Solid Waste*;

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

A.1 Introdução

Para a aplicação da *análise multicritérios (MCDA)*, no sector de geração de electricidade, foram definidos os valores intrínsecos às tecnologias eleitas, de acordo com os critérios anteriormente referidos, constam dos da tabela a seguir:

Tabela A 1. Valores dos Critérios intrínsecos às tecnologias pré-seleccionadas para a geração de electricidade

Nº Ordem	Parâmetros Intrínsecos	Capacid	Capital Inv	Custos O&M	Emissões
	Tecnologia pré-seleccionada	MW	USD/kW	USD/kW.ano	kg CO2/MW
1	Ciclo Combinado Convencional a Gás Natural com CCS (NGCC-CCS)	340	2095	31.79	18.571
2	Hidroelectricidade Regular	500	2963	14.13	0
3	Sistemas Solares Fotovoltáicos	150	3873	24.69	0
4	Ciclo Combinado Convencional a Gás Natural (NGCC)	650	917	13.17	149.006
5	Ciclo Combinado Avançado a Gás Natural (ANGCC)	400	1023	15.37	181.069
6	Sistemas Solares Fotovoltáicos	20	4183	27.75	0
7	Sistemas Avançados Pulverização Carvão Mineral com CCS	650	5227	80.53	31.881
8	Hidroelectricidade (Centrais Mini-Hídricas)	2	6500	14.13	0
9	Ciclo Combinado de Gaseificação Integrada de Carvão (IGCC) com CCS	520	6599	72.83	31.881
10	Sistemas Avançados Pulverização Carvão Mineral (s/CCS)	650	3246	37.8	318.805
11	Sistemas de Leito Fluidizado e Borbulhante de Biomassa	50	4114	105.63	0
12	Turbinas Eólicas <i>Onshore</i>	100	2213	39.4	0
13	Ciclo Combinado de Gaseificação Integrada de Carvão (IGCC), dupla unid	1200	3784	51.39	149.006
14	Ciclo Combinado de Gaseificação Integrada de Biomassa (B-IGCC)	20	8180	356.07	0
15	Turbinas Eólicas <i>Offshore</i>	400	6230	74	0

Fonte: US EIA, 2013 e 2016

Tabela A 2. Valores dos Critérios intrínsecos às Tecnologias de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos

Nº Ordem	Tecnologia	CAPACIDAD	CAPITAL INV	CUSTOS O&M
		E ton/dia	\$(Milhoes)	\$/ton
1	Aterro Sanitário (landfill) biorreactor para a geração de biogás	500	15	30
2	Aterro Sanitário (landfill) com geração de biogás	500	10	20
3	Biodigestão Anaeróbica	300	80	100
4	Compostagem em Vaso	500	80	60
5	Gaseificação	900	170	150
6	Gaseificação do Plasma	900	80	150
7	Incineração	1300	180	120
8	Pirólise	270	90	150

Fontes: US EIA, 2013 e 2016; Qinglin et al, 2012; IRENA, 2012; Byun et al, 2012; World Bank, 2008

A.2 Características Específicas das Tecnologias

A.2.1. Geração de Electricidade

CAPTURA E ARMAZENAMENTO DE DIÓXIDO DE CARBONO (CCS)

As centrais térmicas produzem, de um modo geral (salvo as nucleares e geotérmicas) emissões de dióxido de carbono. Estas emissões são líquidas quando os combustíveis usados são fósseis. Nestes casos, o CO₂ pode variar entre 3 a 15% do volume total dos gases de combustão, dependendo do tipo de combustível e tecnologia usados. Dado o impacto negativo sobre o ambiente causado pelas emissões de dióxido de carbono, que é um gás de efeito de estufa, têm sido desenvolvidas diferentes iniciativas tecnológicas visando a redução destas emissões. Uma destas tecnologias usadas para este efeito é a captura e o armazenamento de (dióxido de) carbono (CCS). Esta tecnologia é apropriada para centrais que produzem grandes quantidades de dióxido de carbono, como as centrais térmicas regulares.

A CCS consiste de três etapas, nomeadamente a captura do gás carbónico, o seu transporte para o sumidouro e a sua injeção em formações geológicas subterrâneas. Existem actualmente muitos sistemas de CCS no mundo, sendo a maioria, de pequena escala. Os sistemas existentes podem ser categorizados em três grupos, designadamente, os sistemas de captura pós-queima; os sistemas de captura pré-combustão e os sistemas de combustão oxi-combustível.

Na captura pós-combustão ou pós-queima, o gás carbónico é separado dos restantes gases de combustão, de diferentes formas, a mais comum das quais é a absorção química com recurso a solventes como soluções amoniacais. Depois desta absorção, o CO₂ é extraído do solvente por aquecimento, sendo secado e transportado para o armazenamento.

Na captura pré-combustão, o gás CO₂ é removido antes do processo de combustão por gaseificação do carvão ou descarbonização do gás natural, produzindo-se essencialmente CO₂ e hidrogénio. Apenas o hidrogénio é usado como combustível. O CO₂ é então transportado para o sumidouro onde é armazenado.

A combustão de oxi-combustível consiste na queima do combustível primário com o oxigénio no lugar do ar para que o gás resultante seja, principalmente, constituído de vapor de água e CO₂ facilitando a captura do carbono devido à sua elevada concentração. Porém, esta técnica requer a obtenção prévia de oxigénio a partir do ar.

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

1. TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ELECTRICIDADE A PARTIR DE GÁS NATURAL

Devido às elevadas eficiências e à razão carbono-hidrogénio no gás natural, as centrais NGCC são ambientalmente favoráveis. A sua principal desvantagem relaciona-se com a volatilidade dos preços de gás natural no mercado internacional, contrariamente ao que ocorre com o carvão mineral.

1.1. GERAÇÃO DE ELECTRICIDADE EM CENTRAIS TÉRMICAS DE CICLO COMBINADO

O principal elemento das centrais termoelétricas de ciclo combinado são as turbinas a gás, uma tecnologia em grande parte proveniente dos jactos desenvolvidos para as aeronaves militares e civis, onde o combustível é o querosene. Nas termoelétricas, o combustível de eleição é cada vez mais o gás natural, embora seja quase sempre dada a possibilidade de operar com um segundo combustível, como o diesel, para evitar interrupções no caso de problemas no suprimento do gás.

As centrais termoelétricas de ciclo combinado (Combined cycle power stations, CCPS") usam turbinas a gás e a vapor associadas em uma única planta, ambas gerando energia eléctrica a partir da queima do mesmo combustível. Para isto, o calor existente nos gases de exaustão das turbinas a gás é recuperado, produzindo o vapor necessário ao accionamento da turbina a vapor.

Turbina a Gás

Podemos distinguir três componentes principais em uma turbina à gás: o compressor, o sistema de combustão e a turbina propriamente dita, esta última sendo a fonte de accionamento tanto do compressor como do gerador de energia eléctrica.

O ar atmosférico captado pelo compressor é comprimido no sistema de combustão à pressão de cerca de 13 bar, e temperatura da ordem de 375° C, a qual se eleva a 1 250° C com a queima do gás. A energia gerada na expansão que se segue à queima do gás acciona a turbina, reduzindo-se a pressão à atmosférica e a temperatura a cerca de 550° C nos gases de exaustão da turbina (Energinet.Dk, 2012).

Se uma turbina estiver operando isoladamente, ou em ciclo aberto, como nas aeronaves, sua eficiência térmica será da ordem de 36%, ou seja, mais de 60% do calor gerado pela queima do combustível é perdido nos gases de exaustão.

É verdade que a eficiência térmica pode ser melhorada com temperaturas e pressões de entrada mais elevadas, mas tal exige materiais mais caros ao longo da canalização do gás, com limitações técnicas e económicas que podem ser desprezadas no caso de unidades aeronáuticas (especialmente militares), mas são relevantes nas turbinas industriais. Nestas, é fundamental compatibilizar as temperaturas e as pressões com custos de investimento, de operação e manutenção (Qinglin et al, 2012).

Turbina a Vapor

O terceiro elemento básico nas CCPS é a turbina a vapor, cuja função é gerar energia eléctrica adicional a partir do vapor produzido no gerador de vapor por recuperação de calor (HRSG). Seu funcionamento não difere das turbinas usadas em termelétricas convencionais a vapor, com queima de carvão ou óleo. O vapor saído da turbina é condensado e volta a ser usado como água de alimentação do HRSG.

Caso a instalação esteja à beira-mar ou próxima de um rio, a preferência é pelo condensador à água corrente, com passagem única. Se isto não for possível, pode-se ter torres de resfriamento (as enormes torres de concreto com perfil parabólico são típicas de termoelétricas) ou mesmo, caso não haja água disponível, optar-se por radiadores resfriados através do ar. Neste último caso, os investimentos tendem a crescer e a eficiência térmica da planta tende a baixar.

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

1.2. CICLO COMBINADO CONVENCIONAL A GÁS NATURAL (NGCC)

A tecnologia NGCC utiliza duas caldeiras de combustão ligadas a sistema de geração de electricidade (turbina à gás), por um lado, e uma turbina à vapor também ligada a um gerador de electricidade, por outro lado.

Para a presente avaliação, a unidade NGCC escolhida apresenta as seguintes características:

Tabela A 3. Caracterização da unidade NGCC

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	650	MW
2	Custos de investimento:	917	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	13,17	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	149,006	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0,0013/0,0096	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	5	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	5	AD
8	Impacto Ambientais:	4	AD
9	Contribuição para o DS:	2	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	4	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	5	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	4	AD

Fonte: US-EIA 2013 e 2016

1.3. CICLO COMBINADO AVANÇADO A GÁS NATURAL (ANGCC)

O Ciclo Combinado Avançado a Gás (ANGCC) apresenta a mesma configuração que o NGCC anteriormente descrito. A principal diferença entre estas duas tecnologias reside no facto de usar uma caldeira de combustão que, diferentemente do que acontece no NGCC, em que a caldeira é da classe F, aqui é da classe H. Dado que a caldeira de combustão da classe H usada nesta tecnologia aproveita o arrefecimento do vapor das partes rotativas como das estacionárias, a turbina à vapor e a HRSG são de um *design* mais avançado que aqueles do NGCC. As vantagens do ANGCC em comparação com o NGCC são, sobretudo, a maior capacidade de geração de electricidade, para o mesmo tamanho de instalação, devido à maior temperatura de queima que é conseguida.

Para o sistema ANGCC analisado, as características de referência são as seguintes:

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

Tabela A 4. Caracterização da ANGCC

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	400	MW
2	Custos de investimento:	1.023	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	15,37	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	181,069	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0,0016/0,0116	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	4	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	5	AD
8	Impacto Ambientais:	3	AD
9	Contribuição para o DS:	2	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	4	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	4	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	3	AD

Fonte: US-EIA 2013 e 2016

1.4. CICLO COMBINADO AVANÇADO A GÁS NATURAL COM CCS

A diferença entre o sistema anterior e este consiste apenas na adição de um sistema complementar destinado exclusivamente a capturar e armazenar as emissões de dióxido de carbono. Esta combinação resulta numa redução assinalável de emissões de gases de efeito de estufa libertadas para a atmosfera mas, em contrapartida, encarece relativamente o sistema de produção de electricidade, conforme os custos abaixo indicados. Para esta análise, foi usada uma unidade de geração de menor capacidade que a anterior, nomeadamente, de 340 MW contra 640 MW do anterior. Ainda assim, apresenta custos de investimento e de manutenção superiores ao do sistema desprovido de CCS, conforme se pode notar a seguir.

Para a presente avaliação, a unidade ANGCC com CCS escolhido apresenta as seguintes características

Tabela A 5. Caracterização da ANGCC com CCS

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	340	MW
2	Custos de investimento:	2.095	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	31,79	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	18,571	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0,0016/0,0116	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	3	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	5	AD
8	Impacto Ambientais:	4	AD
9	Contribuição para o DS:	4	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	4	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	5	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	3	AD

Fonte: US-EIA 2013 e 2016

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

A tecnologia de CCS é descrita em secção separada, algures neste documento.

Disponibilidade Nacional de Gás Natural

O Plano Director desenhado em 2012 pelo GdM e pelo Banco Mundial (World Bank Steering Comand GdM, 2012), indica reservas estimadas de cerca de 280 TCF, dos quais cerca de 130 TCF já confirmadas (provadas) e cerca de 150 TCF por descobrir, distribuidos conforme a tabela a seguir (tabela A6):

Tabela A 6. Resumo da Análise da ICF sobre os Novos Campos de Recursos em Moçambique

Campo	Natureza	Reservas, TCF		
		Estimadas	Confrimadas	Desconhecidas
Rovuma Norte	Offshore	199,4	124,4	75,0
Rovuma Sul	Offshore	36,0		36,0
Rovuma	Onshore	3,1		3,1
Bacia de Maniamba	Onshore	1,2		1,2
Centro	Offshore	17,9		17,9
Sul e Oeste	Offshore	5,7	3,5	2,3
Sul	Offshore	13,1		13,1
	TOTAIS	276,5	127,9	148,1

Fonte: World Bank and GdM, 2012

Estas estatísticas não incluem Temane e Pande (*onshore*, no Sul de Moçambique), em exploração pela SASOL, que já oferecem a Moçambique a sua primeira experiência de utilização multiforme do gás natural, quer para a geração de electricidade quer para a alimentação da indústria de transformação e a provisão de GNV.

A maior desvantagem actual para a geração suplementar de electricidade está relacionada com a fase actual de desenvolvimento da indústria extractiva das reservas indicadas na tabela acima. Com efeito, à excepção do gás explorado *onshore* pela SASOL, já totalmente comprometido, não se espera gás disponível para o mercado nos próximos 2 anos.

2. TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ELECTRICIDADE A PARTIR DE CARVÃO MINERAL

2.1. GASEIFICAÇÃO INTEGRADA DE CARVÃO EM CICLO COMBINADO (IGCC)

A tecnologia de IGCC permite o uso de combustíveis sólidos e líquidos na geração de electricidade, conferindo benefícios ambientais equiparáveis a centrais térmicas a gás natural e um desempenho de ciclo combinado. De forma simples, o combustível sólido ou líquido é gaseificado com o uso de oxigénio ou ar, produzindo gás de síntese (*syngas*).

O *syngas* é arrefecido, limpo de material particulado e derivados de enxofre e queimado numa turbina a gás. Devido à remoção de precursores de emissões (derivados de enxofre e de nitrogénio, material particulado) realizada a pressões elevadas antes da queima do gás de síntese, as centrais térmicas que usam IGCC conseguem cumprir padrões de emissão bastante exigentes.

Os gases de exaustão produzidos na turbina à gás passam por uma caldeira baseada equipada com um sistema recuperativo de energia térmica (HRSG), onde se produz vapor que alimenta uma segunda turbina, a *turbina à vapor*. Deste modo, há produção de electricidade em duas turbinas, uma a gás e outra à vapor, otimizando o consumo de energia térmica para produzir electricidade.

As centrais térmicas que usam IGCC existentes no Mundo cobrem capacidades de produção que variam desde 60 MW (SVC, República Checa) até 800 MW (Repsol/Iberdola/Total/EdF/Texaco, Espanha), e usam diferentes tipos de combustíveis, nomeadamente carvão mineral, biomassa, resíduos sólidos orgânicos, resíduos de petróleo, etc. (Holt, 2001).

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

2.2. UNIDADE SIMPLES DE IGCC COM CCS

Para a presente avaliação, a tecnologia IGCC (unidade simples) com CCS escolhida apresenta as seguintes características:

Tabela A 7. Caracterização da tecnologia IGCC (unidade simples) com CCS

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	520	MW
2	Custos de investimento:	6.599	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	72,83	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	31,8805	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0,0232/0,0116	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	4	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	4	AD
8	Impacto Ambientais:	3	AD
9	Contribuição para o DS:	3	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	4	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	3	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	4	AD

Fonte: US-EIA, 2013 e 2016

2.3. IGCC UNIDADE DUPLA

A inclusão de um par de unidades incrementa a capacidade de produção e otimiza de forma relativa os custos de investimento. Deste modo, as características desta tecnologia, sem incluir o sistema CCS, são as seguintes:

Tabela A 8. Caracterização da IGCC (unidade simples)

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	1.200	MW
2	Custos de investimento:	3.784	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	51,39	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	149,006	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0,0387/0,0116	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	5	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	4	AD
8	Impacto Ambientais:	3	AD
9	Contribuição para o DS:	3	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	4	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	3	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	4	AD

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

2.4. SISTEMA AVANÇADO A CARVÃO PULVERIZADO (UNIDADE SIMPLES)

Trata-se da tecnologia mais popular em centrais térmicas de produção de electricidade com base na queima do carvão e está alicerçada em décadas de experiência internacional. A secção de gás desta tecnologia opera à pressão atmosférica, permitindo um fluxo simples dos materiais pela planta.

Os principais avanços desta tecnologia incluem um aumento significativo da eficiência térmica derivada do aumento da pressão do vapor e da temperatura à saída da caldeira/entrada da turbina a vapor. A maioria das centrais que usam esta tecnologia operam em regime subcrítico. Porém, existem unidades funcionando em regime supercrítico (240-260 bar/560-570°C; bastante populares) e outras mais recentes, em regime ultra-supercrítico (acima de 270 bar/580°C; muito poucas) [Energinet.Dk, 2012].

O aumento da pressão do vapor e da temperatura resultam em um incremento da eficiência térmica e, consequentemente, uma redução do factor de emissão dos gases de efeito de estufa.

A actual análise foi feita com base em um sistema de uma unidade, operando em regime ultra-supercrítico (USC Ciclo de Rankine), cujas características são as seguintes (US EIA, 2013, 2016).

Tabela A 9. Caracterização do Sistema Avançado a Carvão Pulverizado (unidade simples)

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	650	MW
2	Custos de investimento:	3.246	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	37,80	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	318,805	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0,1548/0,0929	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	4	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	4	AD
8	Impacto Ambientais:	3	AD
9	Contribuição para o DS:	2	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	4	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	4	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	5	AD

Fonte: US-EIA, 2013 e 2016

2.5. SISTEMA AVANÇADO A CARVÃO PULVERIZADO (UNIDADE SIMPLES) COM CCS

Como já foi discutido algures neste documento, a adição da componente de captura e armazenamento de carbono tem a vantagem de reduzir as emissões atmosféricas mas adiciona também e em grande medida os custos. Neste caso, seguindo a sugestão da US EIA Office (2013, 2016), foram incrementados os custos da tecnologia sem CCS em 30% de modo a acomodar os equipamentos e infra-estrutura adicionais.

Deste modo, as características desta tecnologia combinada passam a ser as seguintes:

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

Tabela A 10. Caracterização do Sistema Avançado a Carvão Pulverizado (unidade simples) com CCS

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	650	MW
2	Custos de investimento:	5.227	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	80,53	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	31,881	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0,0031/0,0929	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	3	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	4	AD
8	Impacto Ambientais:	3	AD
9	Contribuição para o DS:	3	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	4	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	4	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	4	AD

Fonte: US-EIA, 2013 e 2016

Disponibilidade de Carvão Mineral

As estimativas sugerem reservas com cerca de 20 biliões de toneladas métricas de carvão mineral concentrados sobretudo na Bacia do Rio Zambeze, Província de Tete (figura A1), compreendendo desde carvão térmico até carvão coque, de elevado conteúdo calorífico e valor comercial (Fullbright, 2015)



Figura A 1. Província de Tete: a mais rica em carvão mineral no país

3. TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ELECTRICIDADE A PARTIR DE ENERGIA SOLAR

3.1. SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAÍCOS:

Sistemas solares fotovoltaicos (PVS) são dispositivos electrónicos que convertem directamente a luz solar em electricidade. Com os níveis actuais de desenvolvimento dos PVS, existem módulos para aplicações diversificadas, desde a aplicação singular doméstica (sistemas isolados da rede) até aplicações de grande escala como geração de electricidade para redes de pequena a média dimensão. Esta tecnologia possui os seguintes benefícios:

- Renovabilidade e vastidão da disponibilidade da fonte de energia que usa;
- Independência total em relação à volatilidade do mercado de combustíveis;
- Sua disponibilidade em tamanhos modulares que permitem a sua utilização como fontes isoladas; e,
- Baixos custos de operação e manutenção.

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

Os PVS consistem de células fotovoltaicas agrupadas, formando o módulo e ainda componentes acessórias. As tecnologias das células fotovoltaicas são classificadas, em geral, em três gerações, dependendo do material básico usado e da maturidade comercial:

- i. Primeira geração: totalmente comerciais, usam tecnologia de sílica-cristalina, quer na versão singular (sc-Si) ou múltipla (mc-Si);
- ii. Segunda geração: baseados em tecnologias fotovoltaicas de filmes delgados, incluem, geralmente, três grupos, nomeadamente (a) sílica amorfa (a-Si) ou micro-amorfa (a-Si/ μ c-Si); (b) telureto de cádmio (CdTe) e (c) Seleneto de índio e cobre (CIS) e di-seleneto de cobre, índio e gálio (CIGS); e,
- iii. Terceira geração: incluem tecnologias tais como concentradores fotovoltaicos (CPV) e fotovoltaicos orgânicos (ainda em fase de desenvolvimento) e outros conceitos tecnológicos ainda não comercialmente disponíveis.

Sob o ponto de vista de escala de produção, os PVS podem ser agrupados e classificados em quatro grupos principais, conforme indicado abaixo:

- i. *PVS residenciais*: tipicamente com capacidade de geração de electricidade até 20 kW e, geralmente, colocados nos telhados dos edifícios;
- ii. *PVS de escala regular*: tipicamente com capacidade de geração até 1 MW, colocados em edifícios gigantes ou complexos comerciais, escolares, hospitalares, universitários, entre outros;
- iii. *PVS de escala utilitária*: com capacidade de geração capaz de alimentar uma rede de electricidade (acima de 1MW), normalmente montados em terra; e,
- iv. *PVS para aplicações fora-da-rede (off-grid)*: com tamanhos diversificados, desde os sistemas geralmente para uso a nível doméstico ou de micro e pequena unidades económicas não ligadas à rede eléctrica até sistemas de escala regular usados para alimentar comunidades isoladas da rede.

Na presente avaliação, foram considerados os sistemas dos grupos (iii). Com efeito, sistemas escala utilitária (20MW) são cruciais para a alimentação de mini-redes nas zonas rurais, permitindo o desenvolvimento sócio-económico nestes locais. Por outro lado, dada o elevado potencial do país em relação à radiação e insolação solares, afigura-se sensato projectar a produção de electricidade em média a grande escala (150MW) para alimentar a rede nacional e, contribuir para a sua sustentabilidade, por um lado, e para a redução da intensidade carbónica, por outro lado.

Assim, para a escala de produção de 150 MW, foram consideradas as seguintes características:

Tabela A 11: Caracterização dos Sistemas Fotovoltaicos de Capacidade Regular

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	150	MW
2	Custos de investimento:	3.784	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	24,69	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	0	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	5	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	5	AD
8	Impacto Ambientais:	4	AD
9	Contribuição para o DS:	4	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	3	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	3	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	4	AD

Para a escala média, de 20 MW, foram consideradas as seguintes características:

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

Tabela A 12. Caracterização dos Sistemas Fotovoltáicos de Capacidade Média

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	20	MW
2	Custos de investimento:	4.183	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	27,75	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	0	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	5	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	5	AD
8	Impacto Ambientais:	3	AD
9	Contribuição para o DS:	4	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	4	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	5	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	4	AD

Fonte: US-EIA, 2013 e 2016

Potencial Nacional em Radiação Solar :

O potencial nacional em radiação solar é dos melhores e comparável aos locais considerados de topo a nível global, como na Ásia e África do Sul. Com efeito, dados apresentados pelo Atlas das Energias Renováveis de Moçambique (2014) indicam uma radiação global nacional em plano horizontal que varia entre 1,8 e 2,2 MWh/m².ano, com as Províncias de Niassa e de Tete a apresentar o maior potencial para projectos de energia fotovoltaica, nos níveis acima de 1,9 MWh/m².ano.

4. TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ELECTRICIDADE A PARTIR DE CORRENTES FLUVIAIS

4.1. TURBINAS HIDRÁULICAS EM INSTALAÇÕES HIDROELÉCTRICAS

As turbinas hidráulicas transformam a energia hidráulica (energia de pressão e a energia cinética) de um fluxo de água em energia mecânica, na forma de torque e velocidade de rotação, resultando destas, a produção de energia hidroeléctrica.

Em uma instalação hidroeléctrica, há uma barragem das águas de um curso natural ou artificial de água, formando um reservatório (albufeira). A água da albufeira é depois conduzida de forma programada por meio de condutas ou canalizações até à turbina hidráulica.

A energia potencial existente, resultante das linhas de água a montante e à jusante da barragem, traduz-se em energia cinética, através do movimento das massas de água que faz girar a turbina hidráulica, ligada por um eixo a um gerador de energia eléctrica. Por indução do fluxo de água, as pás da turbina giram e põem o eixo da turbina em movimento rotativo. No gerador, o movimento de rotação induz à geração de energia eléctrica.

As centrais hidroeléctricas podem classificar-se em três grupos principais, nomeadamente, micro-hídricas (até 100 kW), Mini-hídricas (100kW-10MW) ou Hidroeléctrica de escala regular (acima de 10 MW). Porém, existe uma classificação paralela que designada Pequenas Hidroeléctricas aquelas cuja capacidade nominal de produção varia entre 1 e 10MW (US DoE, 2017).

No país, existe uma experiência longa de gestão de centrais hidroeléctricas acumulada ao longo de mais de 40 anos. De facto, Moçambique era até há bem poucos anos, um país cuja rede eléctrica nacional era maioritariamente alimentada de fonte hidroeléctrica.

Para a presente avaliação, a unidade geração hidroeléctrica escolhida apresenta as seguintes características:

Tabela A 13. Caracterização de Unidade Hidroeléctrica Regular

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	500	MW
2	Custos de investimento:	2.963	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	14,13	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	0	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	5	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	5	AD
8	Impacto Ambientais:	4	AD
9	Contribuição para o DS:	5	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	5	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	4	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	3	AD

Fonte: US-EIA 2013 e 2016

4.2. MINI-TURBINAS HIDROELÉCTRICAS

De acordo com o potencial local ou com a demanda a ser satisfeita, pode ser mais viável a opção de instalação de centrais hidroeléctricas de dimensão e capacidade reduzidas, podendo ser micro-hídrica (capacidade igual ou inferior a 100kW) ou mini-hídrica (acima de micro-hídrica, até 10 MW)^[28].

As centrais hidroeléctricas da categoria acima mencionada são uma opção útil para pequenas redes locais ou locais com recursos hídricos limitados. Estas circunstâncias podem ser consideradas comuns em vários pontos do país, viabilizando esta opção.

A proposta feita neste estudo é baseada em Centrais Mini-Hídricas de 2 MW de capacidade de geração, que apresentam as seguintes características (por unidade)

Tabela A 14. Caracterização de Unidade Mini-Hidroeléctrica

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	2	MW
2	Custos de investimento:	6.500	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	14,13	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	0	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	5	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	5	AD
8	Impacto Ambientais:	4	AD
9	Contribuição para o DS:	5	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	5	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	4	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	3	AD

Fonte: US EIA, 2013 e 2016

Disponibilidade Nacional de Recursos Hídricos:

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

As províncias com maior potencial hidroeléctrico, de acordo com o REAM-2014 (Atlas das Energias Renováveis de Moçambique, 2014) são Sofala, Zambézia e Niassa, devido à conjugação de factores determinantes como a morfologia da superfície altamente favorável e o caudal movimentados pelas bacias nestas províncias.

O REAM-2014 identificou 351 locais prioritários para projectos de hidroelectricidade com um potencial de 5,6 GW sobretudo localizados na Província de Tete, Manica e Nampula, por esta ordem. Deste potencial de projectos, cerca de 3 GW estão concentrados na bacia do Vale do Zambeze, onde está o potencial mais competitivo com capacidade para mais de 100 MW por cada projecto.

5. TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ELECTRICIDADE A PARTIR DA ENERGIA DOS VENTOS

A energia contida nas massas de ar em movimento, vulgarmente conhecidas como ventos, tem um potencial enorme para a geração de energia eléctrica. Esta transformação de energia cinética das correntes de ar em energia eléctrica é realizada com recurso à turbinas eólicas que podem ser instaladas quer no mar (*offshore*) que na zona continental (*onshore*).

A tecnologia de conversão de energia cinética em energia eólica usando turbinas eólicas tem experimentado um enorme desenvolvimento, quer em capacidade quer em eficiência. Hoje existem dois tipos de turbinas, a vertical e a horizontal. Qualquer um dos tipos pode ser encontrado no mercado com diferentes capacidades de produção. Conforme a velocidade de ar para a qual são projectas, as turbinas eólicas podem ser classificadas por classes, indo de classe I até classe IV, num intervalo de velocidades que vai desde 6 a 10 m/s.

As vantagens desta tecnologia são inúmeras e incluem a ausência de emissões para a atmosfera, a ocupação de espaço mínimo em terra ou no mar e a flexibilidade para alimentar mini-redes ou constituir-se em sistemas isolados de geração de electricidade, apropriados para as zonas rurais e outros locais sem rede. Porém, também apresenta algumas desvantagens como a poluição sonora e visual e a interferência com a fauna aérea.

Sob o ponto de vista tecnológico, a turbina eólica tem as mesmas características independentemente de ser onshore ou offshore. A diferença entre os dois pontos geográficos reside na abundância e regularidade de ventos velozes no mar (devido à ausência de obstáculos às correntes do ar) e a disponibilidade espacial fora da competição pelo espaço que é comum no continente (IRENA, 2012).

5.1. TURBINAS EÓLICAS NA ZONA CONTINENTAL (ONSHORE)

Para a opção turbina eólicas *ONSHORE*, foram considerados os seguintes parâmetros:

Tabela A 15. Caracterização de Turbinas Eólicas Offshore

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	500	MW
2	Custos de investimento:	2.963	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	14,13	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	0	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	5	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	5	AD
8	Impacto Ambientais:	4	AD
9	Contribuição para o DS:	5	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	5	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	4	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	3	AD

Fonte: US-EIA, 2013 e 2016

5.2. TURBINAS EÓLICAS EM ZONA OCEÂNICA (OFFSHORE)

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas República de Moçambique

Por seu turno, a versão *OFFSHORE* foi avaliada com base nos seguintes elementos:

Tabela A 16. Caracterização de Turbinas Eólicas Offshore

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	400	MW
2	Custos de investimento:	6.230	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	74	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	0	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	4	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	3	AD
8	Impacto Ambientais:	5	AD
9	Contribuição para o DS:	3	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	5	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	2	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	3	AD

Fonte: US-EIA, 2013 e 2016

Potencial Nacional Eólico:

Exceptuando a zona sul do país e as zonas altas da região Central e Norte, onde ocorrem ventos velozes, o potencial nacional eólico caracteriza-se por ventos de intensidade média a baixa, com predominância de velocidades de 4-6m/s, a 80 metros de altitude. De facto, as províncias de Maputo e de Gaza são aquelas que apresentam ventos mais velozes com velocidades acima de 7m/s (Atlas das Energias Renováveis de Moçambique, 2014)

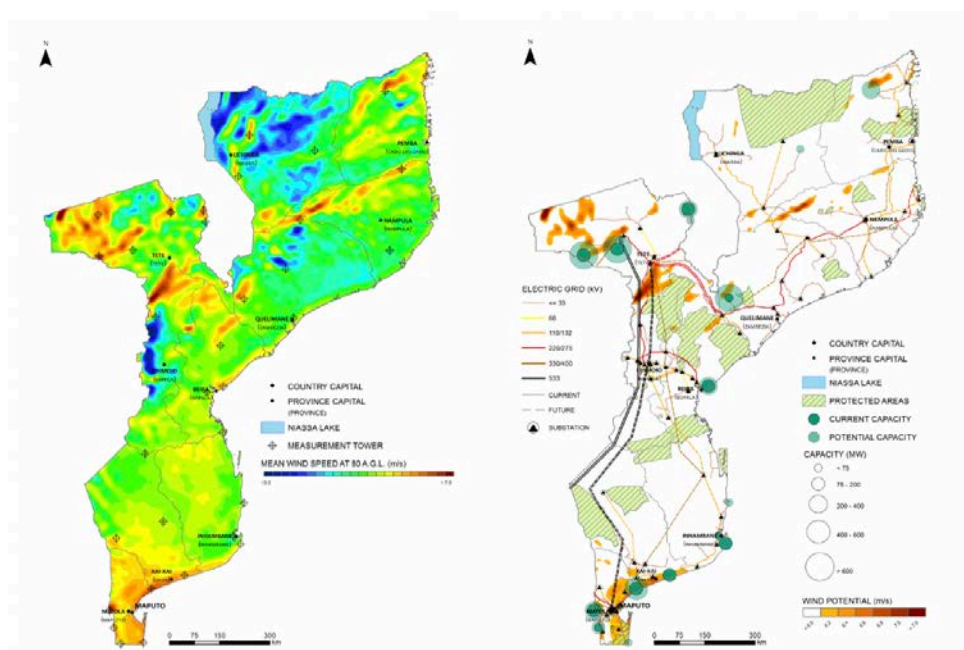


Figura A 2. Potencial Eólico Nacional

Por outro lado, é importante sublinhar que junto à linha costeira, os ventos são grandemente influenciados pelas brisas marítimas durante o dia e, pelas brisas terrestres, durante a noite. Nestas zonas, os ventos tendem a ser estáveis ao longo do ano, atingindo valores de alta intensidade entre Setembro e Novembro.

O Atlas das Energias Renováveis de Moçambique, 2014 apresenta uma capacidade eólica potencial de 4,5 GW, dos quais cerca de 20% de potencial para ligação imediata à rede. O maior potencial para geração de electricidade está localizado nas Províncias de Tete, Maputo e Zambézia.

6. TECNOLOGIAS DE GERAÇÃO DE ELECTRICIDADE A PARTIR DE BIOMASSA

6.1. GASEIFICAÇÃO INTEGRADA DE BIOMASSA PARA CICLOS COMBINADOS

A gaseificação de biomassa é uma tecnologia que permite submeter a biomassa a um processo de aquecimento com défice de oxigénio, induzindo à sua termólise e conseqüente libertação de voláteis combustíveis ricos em monóxido de carbono, hidrogénio e metano. Quando o processo de gaseificação é induzido com o uso de vapor, os gases resultantes podem ser muito ricos em hidrogénio. Estes gases combustíveis, que compõem o gás de síntese, são depois submetidos à combustão visando produzir os gases quentes (de combustão) necessários para alimentar a turbina a gás e depois, a caldeira que alimenta a turbina a vapor.

A gaseificação orientada para a produção de electricidade está consolidada para carvão mineral, sendo que, para biomassa é recente e substitui o sistema tradicional de um combustor combinado com um gaseificador e uma turbina a gás. A gaseificação pode ser realizada com ar atmosférico, com oxigénio puro ou com vapor. Outra variante está relacionada com a forma como a alimentação é feita em relação à descarga dos gases resultantes.

Na versão em análise, ela consiste na combinação de um gaseificador e turbinas a gás e a vapor, permitindo que a energia contida nos gases descarregados na turbina a gás seja aproveitada na caldeira que produz vapor e alimenta a turbina a vapor. Este aproveitamento integral permite aumentos de eficiência global na ordem de 50 a 60%, em ciclos comerciais (Tolmasquim, 2004 e Craig, 1996).

O aumento de eficiência proporciona benefícios económicos e ambientais, viabilizando os custos de produção de electricidade bem como otimizando a relação recurso-produto, fazendo desta tecnologia uma opção competitiva e ambientalmente recomendável.

A actual avaliação da gaseificação integrada de biomassa foi realizada com base nos seguintes critérios:

Tabela A 17. Caracterização da Gaseificação Integrada de Biomassa para Ciclo Combinado

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	20	MW
2	Custos de investimento:	8.180	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	356,07	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	0*	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	4	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	4	AD
8	Impacto Ambientais:	4	AD
9	Contribuição para o DS:	3	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	3	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	4	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	3	AD

Fonte: US-EIA, 2013 e 2016

6.2. COMBUSTÃO DE BIOMASSA EM LEITO FLUIDIZADO CIRCULANTE

A biomassa não é apenas um recurso renovável para a obtenção de energia como é também uma fonte de energia com um balanço de emissões de dióxido de carbono neutras, conforme se pode concluir analisando o ciclo de carbono. De facto, o dióxido de carbono emitido durante a sua combustão (queima) é reabsorvido a partir

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

da atmosfera durante o processo de fotossíntese que as plantas realizam durante o seu crescimento e a partir do qual constroem os seus tecidos orgânicos.

A combustão em leito fluidizado é um dos métodos mais eficientes e mais versáteis de queima directa de combustíveis sólidos para a produção de energia térmica. Nesta tecnologia, um material mineral inerte (areia, por exemplo) é usado como leito do reactor e, através dele, sopra-se ar a partir de baixo a uma pressão tal que o leito comporta-se como um fluído.

O leito é aquecido até cerca de 800-850°C, altura em que o material combustível, finamente dividido, é introduzido na câmara de combustão. Existem muitos modelos de câmaras de leito fluidizado. Porém, para a biomassa, o mais comum é o leito fluidizado circulatório que inclui um filtro-ciclone que separa o material sólido dos gases de combustão antes destes serem libertados na exaustão. Os sólidos assim retidos são recirculados ao leito (o que justifica a designação de *circulatório*)[NREL, 2010].

Na combustão de biomassa, esta tecnologia apresenta duas vantagens distintas, nomeadamente (i) a habilidade de queimar uma vasta gama de combustíveis sem grande influência sobre a sua eficiência, por um lado e, (ii) a capacidade de se utilizarem substâncias químicas ao fluído visando absorver as potenciais pesécies poluentes.

A tecnologia de Leito Circulante e Fluidizado de Biomassa é baseada em uma fonte de energia renovável e abundante no país, cujas emissões líquidas são nulas. Com efeito, Moçambique é um país rico em recursos biomássicos florestais e agrícolas que poderão ser valorizados através desta tecnologia. Por outro lado, as práticas de manejo florestal conhecidas no país e amplamente divulgadas e geridas pelo Ministério da Agricultura e Segurança Alimentar, ajudarão a mitigar prováveis efeitos paralelos e negativos no uso e aproveitamento de terra, comuns em projectos de energia de biomassa a nível global.

O uso desta tecnologia energia de biomassa poderá trazer efeitos positivos sob o ponto de vista sócio-económico e ambiental dado que tornar-se-á numa alternativa de adicionar valor aos resíduos agrícolas e aos restos da exploração madeireira, além de poder incentivar as plantações de culturas meramente energéticas de elevada rotação.

A eleição desta tecnologia deve-se à sua contribuição sócio-económica positiva, neutralidade em emissões de gases de efeitos de estufa, sua capacidade para a erecção de pequenas centrais eléctricas (até 10MW), para alimentar mini-redes (fazendo uso de recursos localmente existentes) a um custo de cerca de USD3400/kWel e custos operacionais e de manutenção de aproximadamente USD64/MW.ano. A tecnologia proposta é mais eficiente do que a simples queima em leito fixo e aumenta a sustentabilidade do processo de geração de electricidade por esta via (US DoE, 2017).

Por exemplo, quando o combustível é carvão mineral, como material inerte, pode-se usar o calcário que absorve o enxofre, prevenindo a produção de dióxido de enxofre. Esta tecnologia é mais apropriada para pequenas a médias centrais térmicas destinadas à co-geração de electricidade e calor.

Em centrais térmicas, esta tecnologia é associada à caldeira onde se produz o vapor do processo.

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

Para a presente avaliação, a unidade de combustão de biomassa leito fluidizado e borbulhante escolhido apresenta as seguintes características:

Tabela A 18. Caracterização da unidade de Combustão de Biomassa leito Fluidizado e borbulhante

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Geração:	50	MW
2	Custos de investimento:	4.114	\$/kW
3	Custos de Operação e Manutenção:	105,63	\$/kW.ano
4	Intensidade Carbónica (CO ₂):	0*	kg/MWh
5	Emissões Não-Carbónicas (SO ₂ ; NO _x):	0	kg/MWh
6	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	4	AD
7	Benefícios Sócio-económicos:	4	AD
8	Impacto Ambientais:	4	AD
9	Contribuição para o DS:	3	AD
10	Necessidade em infra-estruturas:	3	AD
11	Alinhamento com o Plano de Desenvolvimento Nacional:	4	AD
12	Prontidão para fornecimento de Electricidade:	3	AD

(*) *com base no Ciclo de Carbono*

Potencial Nacional em Recursos Biomássicos:

O recurso biomássico aqui considerado exclui os resíduos sólidos Municipais pelo facto de estes merecerem, neste estudo, um tratamento especial e em separado. Assim, está incluída nesta secção a biomassa florestal e a agroindustrial. Nestas categorias, o país possui um potencial de cerca de 1 GW em biomassa florestal e cerca de 1,1 GW de biomassa agro-industrial (IRENA, 2012).

O maior potencial biomássico concentra-se, sobretudo, na Província da Zambézia, seguindo-se Sofala e Niassa. Actualmente, pouco aproveitamento é feito dos recursos biomássicos para a produção de electricidade o que determina que, apenas a nível meramente doméstico seja amplamente usada esta fonte de energia para a confecção alimentar, na forma de lenha ou de carvão vegetal. Há, porém, algumas excepções de usos industriais de biomassa lenhosa fora do ambiente doméstico. Tais são os casos de hospitais rurais, escolas com regimes de internato, quartéis, padarias, unidades de processamento (cozimento) de cerâmica, destilarias rurais domésticas, sector de hotelaria de micro e pequena escala (fora das grandes cidades), etc.

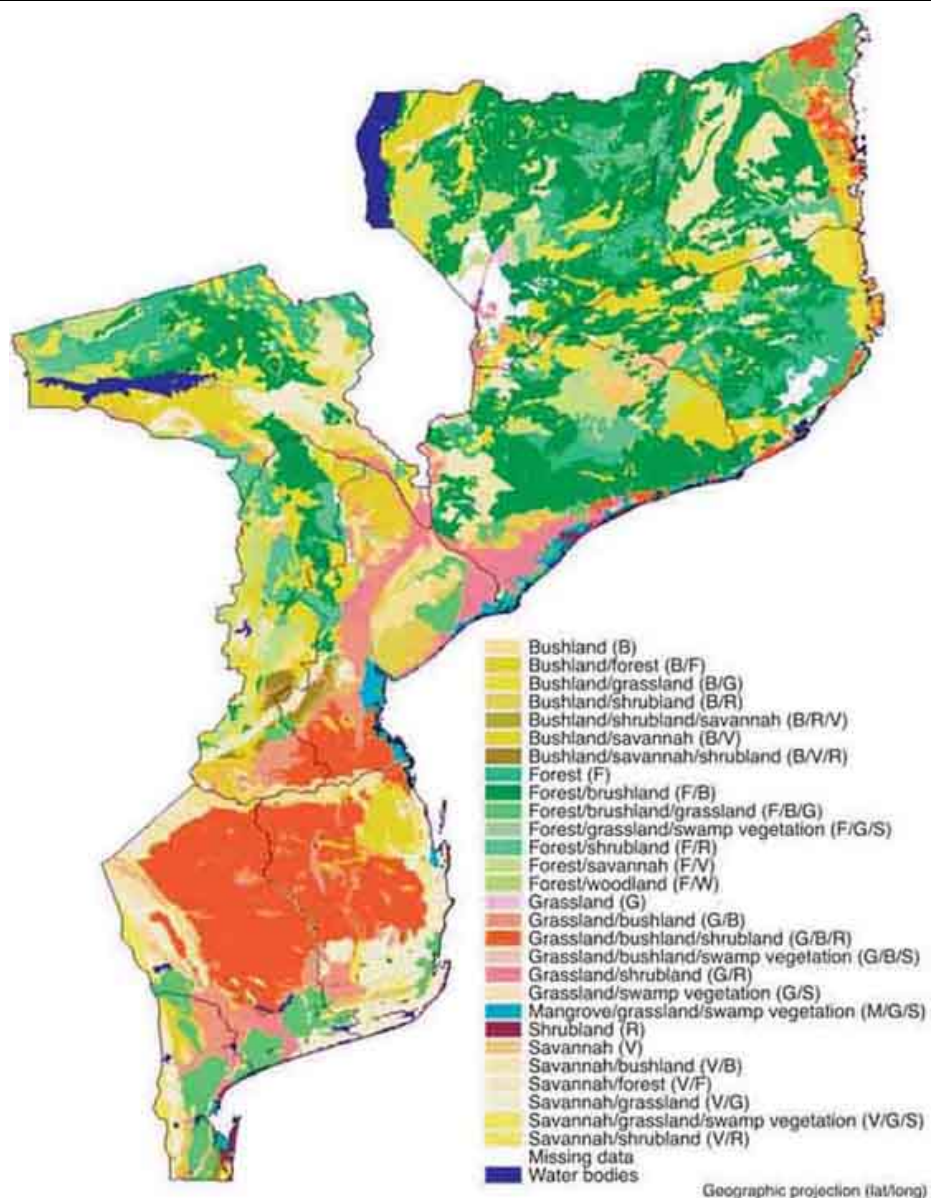


Fig 1. Potencial de Biomassa Florestal de Moçambique (Fonte: www.fao.org)

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

A.2.2. Gestão de Resíduos Sólidos Municipais

1. TECNOLOGIAS DE GESTÃO ASSOCIÁVEIS À GERAÇÃO DE ELECTRICIDADE

As tecnologias de tratamento e gestão de resíduos sólidos urbanos, pré-seleccionadas para este estudo, podem ser subdivididas em tecnologias termoquímicas e tecnologias bioquímicas.

As tecnologias termoquímicas incluem, entre outras, a pirólise, incineração, gaseificação clássica e gaseificação do plasma. Por seu turno, as tecnologias bioquímicas são a biodigestão anaeróbica, compostagem, aterro sanitário com produção de biogás com ou sem biorreactor.

1.1. Pirólise

A pirólise (também conhecida como termólise) é a degradação térmica de materiais carbonáceos, com recurso a uma fonte externa de calor, em ambiente pobre ou isento de oxigénio, numa gama de temperaturas entre 450 e 750°C. Este processo produz voláteis combustíveis consistindo de uma mistura de hidrogénio molecular, monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano e hidrocarbonetos de cadeia complexa; líquido pirolítico (bio-óleo ou alcatrão) e coque. A composição relativa dos gases, líquido e sólido varia conforme a temperatura do processo, a sua duração e ritmo de aquecimento além da composição dos RSU (World Bank, 2008).

Em comparação com a incineração, as vantagens da pirólise incluem (Marchezetti, 2009):

- Temperatura de reacção inferior à da incineração;
- Ausência ou escassez de oxigénio reduz as emissões para a atmosfera;
- Não oxida metais, o que preserva em grande medida a qualidade destes;
- Não produz cinzas e a limpeza dos gases produzidos é mais facilitada; e,
- Proporciona uma grande redução de volume de resíduos do que na incineração.

Apesar disto, a pirólise apresenta algumas desvantagens quando comparada com a incineração, tais como:

- Necessidade de pré-tratamento antes de submeter à pirólise;
- Produtos da pirólise não podem ser descartados sem tratamento;
- Instalações e equipamentos de limpeza dos gases extremamente caros;
- Actualmente, apesar de a tecnologia ser consolidada, a sua aplicação para projectos de grande escala continua limitada.

No caso presente, a pirólise escolhida apresenta as seguintes características:

Tabela A 19. Caracterização da Pirólise de RSU

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Tratamento	30-270	Ton/dia
2	Custos de investimento:	90.000.000	\$
3	Custos de Operação e Manutenção:	150	\$/ton.ano
4	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	3	AD
5	Contribuição para o DS:	5	AD
6	Necessidade em infra-estruturas:	5	AD
7	Prioridade Nacional:	2	AD
8	Geração de Receita	5	AD

Fonte: World Bank, 2012

Esta tecnologia pode ser aplicada nos 3 grandes centros urbanos do país, nomeadamente, Maputo-Matola, e Nampula. Com os actuais índices de crescimento demográfico urbano em algumas cidades municipalizadas de Moçambique, acredita-se que poderia ser claramente justificada esta opção tecnológica para outras cidades, nomeadamente as Cidades da Beira e de Inhambane.

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

Um aterro comum entre os aglomerados urbanos Tete-Moatize e de Inhambane-Maxixe, poderia, a breve trecho, viabilizar um projecto destes.

1.2. Gaseificação

A gaseificação permite a conversão de sólidos orgânicos e gases combustíveis através de um processo termoquímico que decorre por etapas envolvendo uma combustão parcial seguida de um processo de termólise e a própria gaseificação propriamente dita. O processo de gaseificação pode ser realizado com quantidades sub-estequiométricas de oxigénio ou ar, além de vapor. De facto, a gaseificação é a etapa que submete os produtos da pirólise a um processo de volatilização térmica que reduz a quantidade dos condensáveis até valores mínimos. Com efeito, este processo pode converter em gases, uma percentagem de massa do substracto até cerca de 85%, dependendo do tipo de resíduos sólidos e do agente gaseificador.

A gaseificação tem um poder de reduzir a massa dos resíduos até 75% e em volume, até 90%. Por outro lado, a gaseificação produz entre 8 a 12% de cinzas, valores muito abaixo dos cerca de 15-20% de cinzas produzidas na incineração. Adicionalmente, o gás de síntese produzido por gaseificação possui um volume 30% inferior ao volume dos gases de combustão produzidos durante a incineração. A grande desvantagem dos sistemas de gaseificação é a grande demanda por limpeza rotineira para impedir que o alcatrão produzido crie condições que podem conduzir à dificuldades de operação do sistema, em casos de acumulação excessiva (US DoE, 2017).

Para o actual estudo, a gaseificação escolhida apresenta as seguintes características (World Bank, 2008):

Tabela A 20. Caracterização da Gaseificação de RSU

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Tratamento	900	Ton/dia
2	Custos de investimento:	170.000.000	\$
3	Custos de Operação e Manutenção:	150	\$/ton.ano
4	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	3	AD
5	Contribuição para o DS:	5	AD
6	Necessidade em infra-estruturas:	5	AD
7	Prioridade Nacional:	2	AD
8	Geração de Receita	5	AD

Fonte: World Bank, 2008

Esta tecnologia, na escala sugerida poderia apenas ser aplicável para o aterro sanitário comum entre as Cidades de Maputo e da Matola.

1.3. Incineração

A incineração é um processo de tratamento de resíduos que consiste na queima directa, em duas etapas, de resíduos sólidos. A etapa primária (500-900°C) produz gases e material particulado ainda combustíveis que, em uma segunda etapa, são submetidos à queima a temperaturas superiores às da queima primária (750-1200°C), e bastante excesso de oxigénio, garantindo combustão completa e reduzindo a possibilidade de formação de furanos e dioxinas^[28]. Estas características permitem o tratamento de resíduos sólidos de variada gama, incluindo resíduos perigosos.

Apesar das suas características aparentemente tolerantes, a incineração só é efectiva se for precedida de um pré-tratamento (secagem, moagem/trituração, compostagem) e seguida de um pós-tratamento dos gases produzidos, nomeadamente a limpeza dos gases e o seu arrefecimento, antes de libertados para o ambiente. Esta última etapa garante a remoção de material particulado, dos gases ácidos e previne a poluição térmica da atmosfera.

As vantagens da incineração são a destruição de componentes patogénicos e tóxicos em resíduos perigosos, a grande redução de volume dos resíduos bem como o aproveitamento dos gases de combustão para a

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

geração de electricidade, entre outras. São desvantagens a registar o elevado teor de cinzas, a produção de escória e a diversificada gama de compostos que compõem os gases de combustão resultantes (US DoE, 2017).

As características consideradas para a proposta feita neste estudo são apresentadas na tabela a seguir (World Bank, 2008):

Tabela A 21. Caracterização da uma Unidade de Incineração de RSU

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Tratamento	1300	ton/dia
2	Custos de investimento:	180.000.000	\$
3	Custos de Operação e Manutenção:	120	\$/ton.ano
4	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	5	AD
5	Contribuição para o DS:	3	AD
6	Necessidade em infra-estruturas:	3	AD
7	Prioridade Nacional:	2	AD
8	Geração de Receita	5	AD

Fonte: World Bank, 2008

Pela sua elevada capacidade, a incineração seria viável apenas para o aglomerado urbano constituído pelas Cidades de Maputo e da Matola. Para outras cidades, seria necessário reduzir a escala pois de outro modo os custos deixavam de ser efectivos.

1.4. Gaseificação do Plasma

A Gaseificação Térmica do Plasma (GTP) tem sido usada para diferentes fins industriais. Contudo, nas últimas duas décadas, esta tecnologia tem-se revelado como uma alternativa viável para a gestão de resíduos altamente tóxicos que incluem resíduos radioactivos, lixo médico e resíduos poluentes do ar. Com efeito, está demonstrado que a GTP é um processo ambientalmente benigno que produz apenas escória inerte e poluentes atmosféricos em quantidades dentro dos limites aceitáveis pela legislação intranacional (Byun et al, 2012).

O processo de GTP funciona a temperaturas bastante elevadas e na ausência ou défice de oxigénio, gaseificando lixo orgânico e outros materiais. O produto deste tratamento é o gás de síntese (syngas) rico em hidrogénio (H₂) e monóxido de carbono (CO).

Existem cerca de 20 unidades de GTP de nível comercial na Ásia, Europa e América, sendo a mais antiga, a Central de Landskrona (Suécia), que funciona desde 1983 (Byun et al, 2012).

Comparado com outras tecnologias de tratamento de resíduos sólidos urbanos, a GTP apresenta as seguintes vantagens:

- Elevada densidade energética e temperaturas, permitindo elevadas produções em fornos de tamanhos modestos;
- Diminuta quantidade de oxidante necessária para a produção do gás de síntese; e,
- Reduzido tempo de ligação e desligação da unidade de processamento.

No caso em discussão neste estudo, foi considerada uma unidade de GTP com capacidade para tratar resíduos sólidos urbanos, conforme as características constantes desta tabela (abaixo):

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

Tabela A 22. Caracterização de uma Unidade de Gaseificação do Plasma

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Tratamento	900	Ton/dia
2	Custos de investimento:	80.000.000	\$
3	Custos de Operação e Manutenção:	150	\$/ton.ano
4	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	2	AD
5	Contribuição para o DS:	4	AD
6	Necessidade em infra-estruturas:	5	AD
7	Prioridade Nacional:	2	AD
8	Geração de Receita	4	AD

Fonte: World Bank, 2008

Tal como em casos anteriores, a escala de produção necessária para otimizar os custos desta opção tecnológica só pode ser satisfeita pelo aglomerado urbano constituído por Maputo e Matola, de forma cumulativa.

1.5. Biodigestão Anaeróbica

A biodigestão anaeróbica é uma tecnologia de tratamento de matérias susceptíveis de sofrer reacções de degradação bacteriana ou enzimática na ausência total de oxigénio (ambiente anaeróbico). O material orgânico é submetido a um processo de decomposição que permite a produção de biogás e de lamas digeridas, que podem ser usadas como fertilizante na agricultura. Este processo permite até cerca de 60% de redução de volume dos resíduos e a produção de biogás combustível susceptível de ser usado como combustível para diferentes fins, incluindo a produção de electricidade.

As características da biodigestão proposta neste estudo estão resumidas na tabela que se segue:

Tabela A 23. Caracterização de uma Unidade de Bioigestão Anaeróbica

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Tratamento	300	Ton/dia
2	Custos de investimento:	80.000.000	\$
3	Custos de Operação e Manutenção:	100	\$/ton.ano
4	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	5	AD
5	Contribuição para o DS:	5	AD
6	Necessidade em infra-estruturas:	2	AD
7	Prioridade Nacional:	4	AD
8	Geração de Receita	4	AD

Fonte: World Bank, 2008

Esta tecnologia pode ser aplicada por cidades como Maputo-Matola e Nampula. Tendo em conta os níveis de desenvolvimento urbano das Cidades de Tete, Moatize e Inhambane, eventualmente a opção de de um aterro comum para as cidades vizinhas poderia também viabilizar a curto termo a opção por esta tecnologia.

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

1.6. Compostagem em Vaso

Compostagem em vaso é um processo que um processo de compostagem de resíduos orgânicos que ocorre com a utilização de reactores apropriados nos quais o processo de compostagem toma lugar.

Com esta tecnologia podem ser processadas grandes quantidades de resíduos sem ocupação de grandes espaço como na compostagem comum (compostagem de andaime) e pode-se submeter praticamente qualquer tipo de resíduos orgânicos (por exemplo, carne, estrume animal, biossólidos, restos de comida). Este método envolve a alimentação com materiais orgânicos em um tambor, silo, trincheira forrada com concreto ou equipamento similar, permitindo um bom controlo das condições ambientais, como temperatura, humidade e fluxo de ar. O material é submetido a um processo mecânico de mistura que garante arejamento. O tamanho do reactor pode variar em tamanho e capacidade. Este método produz composto em apenas algumas semanas.

A compostagem em vaso proposta neste estudo apresenta as seguintes características:

Tabela A 24. Caracterização de uma Unidade de Compostagem em Vaso

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Tratamento	500	Ton/dia
2	Custos de investimento:	80.000.000	\$
3	Custos de Operação e Manutenção:	60	\$/ton.ano
4	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	5	AD
5	Contribuição para o DS:	5	AD
6	Necessidade em infra-estruturas:	5	AD
7	Prioridade Nacional:	5	AD
8	Geração de Receita	2	AD

Fonte: World Bank, 2008

Apenas Maputo-Matola e Nampula poderiam usar esta alternativa tecnológica, dados os níveis de produção de RSU necessários.

1.7. Aterro Sanitário (com Produção de Biogás)

O aterro sanitário representa um dos métodos mais antigos e mais comuns de tratamento de resíduos sólidos (RSU). Ao longo dos anos, com o avanço da ciência e da tecnologia, a *design*, a operação e a manutenção de aterros sanitários conheceram um desenvolvimento significativo, resultando em instalações eficientes, compatíveis com o ambiente e livres dos problemas de muitos dos problemas que criaram, no passado, a imagem de uma tecnologia suja, libertadora de maus odores e potencial contaminante dos solos e do ar. Com efeito, os aterros modernos possuem características melhoradas que garantem não só instalações limpas e seguras, como também a produção de gás de síntese (biogás) que pode ser aproveitado como combustível e, conseqüentemente, uma fonte potencial limpa de energia, contribuindo para reduzir emissões de gases de efeito estufa que contribuem para o aquecimento global (Gosh et al, 2010).

Os principais subprodutos das reações que ocorrem em um aterro sanitário são o gas de lixeira e os lixiviados, produzidos em diferentes etapas da degradação dos RSU.

No presente estudo, o aterro sanitário proposto foi caracterizado do seguinte modo:

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

Tabela A 25. Caracterização de um Aterro Sanitário com Produção de Biogás

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Tratamento	500	Ton/dia
2	Custos de investimento:	10.000.000	\$
3	Custos de Operação e Manutenção:	20	\$/ton.ano
4	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	5	AD
5	Contribuição para o DS:	5	AD
6	Necessidade em infra-estruturas:	5	AD
7	Prioridade Nacional:	5	AD
8	Geração de Receita	4	AD

Fonte: World Bank, 2008

Com a capacidade de 500 ton/dia, esta opção poderia ser usada em Maputo-Matola e Nampula.

1.8. Aterro Sanitário com Produção de Biogás em um Biorreactor

Um aterro sanitário com biorreactor é um aterro sanitário que usa processos microbiológicos aperfeiçoados para transformar e estabilizar os constituintes de resíduos orgânicos fácil e moderadamente degradáveis dentro de um período de 5 a 10 anos de implementação do processo do biorreactor.

O aterro biorreactor aumenta significativamente a extensão da decomposição de resíduos orgânicos, as taxas de conversão e a eficácia do processo em relação ao que ocorre em um aterro sanitário comum, como o descrito anteriormente (Tampman et al, 2010).

O aterro biorreactor requer certas actividades específicas de manuseamento bem como modificações operacionais de modo a tornar mais eficientes os processos de decomposição microbiana. O método mais importante e mais económico é a adição e o gestão de líquidos.

Entre as vantagens desta tecnologia, para além de produzir gás combustível, há a destacar as seguintes (Tampman et al, 2010):

- rápido assentamento: volume reduzido e estabilizado dentro de 5 a 10 anos de implementação do processo biorreactor;
- aumento do rendimento da unidade de gás, rendimento total e taxa de fluxo - quase todos os componentes orgânicos fácil ou moderadamente degradáveis são decompostos dentro de 5 a 10 anos depois de encerramento;
- maior qualidade dos lixiviados: a estabilização ocorre dentro de 3 a 10 anos após o encerramento;
- possibilidade de uso precoce do solo após o encerramento.

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

O modelo proposto para este estudo é caracterizado da seguinte forma:

Tabela A 26. Caracterização de um Aterro Sanitário com Produção de Biogás em um Biorreactor

Nº	Critério	Valor	Unidade
1	Capacidade de Tratamento	500	Ton/dia
2	Custos de investimento:	15.000.000	\$
3	Custos de Operação e Manutenção:	30	\$/ton.ano
4	Maturidade da Tecnologia (Global/Nacional):	3	AD
5	Contribuição para o DS:	5	AD
6	Necessidade em infra-estruturas:	3	AD
7	Prioridade Nacional:	3	AD
8	Geração de Receita	4	AD

Fonte: World Bank, 2008

De acordo com as autoridades Municipais de Maputo, esta é a opção em vista para o novo aterro conjunto entre as Cidades de Maputo e de Matola (Relatório EPDA Vols I e II, 2016). Todavia, poderia também ser aplicável em Nampula.

A.3 Critérios e Chave para a Sua Avaliação

A avaliação das tecnologias obedeceu aos critérios abaixo indicados, classificados conforme as suas características intrínsecas, alinhamento com as necessidades e prioridades nacionais bem como os seus impactos directos quer sobre a economia quer sobre o ambiente.

A sua classificação, feita em uma escala de 1 a 5, para ambos os sectores em análise, é explicada na tabela a seguir:

Table 1. Chave de Avaliação (Gradação) dos Critérios de Selecção das Tecnologias (Geração de Electricidade)

Tabela A 27. Chave de Avaliação (Gradação) dos Critérios de Selecção das Tecnologias (Gestão de RSU)

Critério	Classificação Quantitativa				
	1	2	3	4	5
Maturidade (Disponibilidade) da Tecnologia	Em desenvolvimento	Em testagem	Experimental	Disponível	Popular ou Consolidada
Emissões de Gases de Efeito de Estufa	Neutro	Sustentáveis	Substanciais	Elevadas	Extremamente Elevadas
Impacto Sócio-Económico Directo (Geração de Receita)	Neutro	Fraco	Aceitável	Positivo	Altamente Positivo
Impactos Ambientais (excepto MC)	Negativos/Mitigáveis	Neutros	Aceitáveis	Positivos	Altamente Positivos
Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável	Neutra	Fraca	Aceitável	Positiva	Altamente Positiva
Necessidade de Infra-Estrutura	Básica	Comportável	Considerável	Elevada	Extremamente Elevadas
Prioridade Nacional (Plano do Governo)	Não-priorizado	Terceária	Secundária	Primária	Grande Prioridade
Disponibilidade do Produto do Projecto	Longo Prazo	Médio Prazo	Curto-a-Médio	Curto Prazo	Imediata

Os critérios *Emissões de Gases de Efeito de Estufa* e *Disponibilidade do Produto do Projecto* foram aplicados de forma exclusiva para a geração de electricidade.

O Critério *Geração de Receita* foi usado de forma exclusiva para o Sector de Resíduos Sólidos, dada a necessidade de valor a adição de valor aos RSU.

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

A.4 Benefícios Sócio-económicos e Ambientais e Desenvolvimento Sustentável

A avaliação das tecnologias teve em conta que, no contexto nacional, elas devem contribuir não apenas para a mitigação das mudanças climáticas como também para assistir o país nas suas políticas visando o desenvolvimento social e económico, nomeadamente, gerando emprego (directo e indirecto) e ajudando o país a gerar comodidades com potencial para exportação, fonte de divisas, produzindo impacto cruzado sobre outros sectores produtivos da economia nacional.

Por outro lado, o nível de utilização dos recursos naturais e a sua sustentabilidade, no contexto de desenvolvimento sustentável, foi avaliada de forma criteriosa, tendo em vista a disponibilidade de recursos diversificados necessários para garantir a implementação de longa duração da tecnologia em causa.

As tabelas a seguir (tabelas 28 e 29) mostram a classificação das tecnologias de geração de electricidade e de gestão de resíduos, respectivamente, quanto aos impactos previstos.

Tabela A 28. Avaliação das Tecnologias de Geração de Electricidade face aos Impactos Sócio-Económicos, Ambientais e Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável

Nº Ordem	Tecnologia	Impactos		
		Sóc-Económicos	Ambientais	Des Sustentável
1	Ciclo Combinado à Gás	5	3	2
2	Ciclo Combinado Combinado Avançado à Gás	5	3	2
3	Ciclo Combinado à Gás c CCS	5	4	4
4	Sistema Carvão Pulverizado Avançado-Dupla Unidade	5	3	2
5	Sistema Carvão Pulverizado Avançado-Dupla Unid c CCS	5	4	3
6	Ciclo Combinado de Gasseificação de Carvão-Unid Simples c CCS	5	3	3
7	Ciclo Combinado de Gasseificação de Carvão-Dupla Unid	4	3	3
8	Sistemas FV Modulos IMW	3	4	4
9	Sistemas FV Modulos Residenciais	4	4	3
10	Turbinas Hidráulicas (Regulares)	4	4	5
11	Turbinas Hidráulicas (Mini)	3	4	5
12	Turbinas Eólicas Onshore	3	5	3
13	Turbinas Eólicas Offshore	3	5	3
14	Ciclo Combinado a Biomassa	5	5	3
15	Leito Fluidizado e Circulante de Biomassa	5	5	3

Annex I: Ficha Técnica sobre as Tecnologias Seleccionadas

República de Moçambique

Tabela A 29. Avaliação das Tecnologias de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos face aos Impactos Sócio-Económicos, Ambientais e Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável

Nº Ordem	Tecnologia	Impactos		
		Sóc-Económicos	Ambientais	Des Sustentável
1	Pirólise	2	5	2
2	Gaseificação	2	5	2
3	Incineração	3	3	2
4	Gaseificação do Plasma	2	4	2
5	Biodigestão Anaeróbica	2	5	4
6	Compostagem em Vaso	2	5	5
7	Aterro Sanitário com Biogás	2	5	5
8	Aterro Sanitário com Biogás em Biorreactor	3	5	3

Anexo II: Lista dos Representantes das Partes Interessadas e Respective Contactos

República de Moçambique

ANEXO II: Lista dos Representantes das Partes Interessadas e Respective Contactos

Tabela A 30. Membros integrantes da Equipa Multi-sectorial (GIIMC)

Nome	Instituição	Área de Interesse	Contacto Telefónico
Belarmina Mirasse	EDM	Electricidade e Ambiente	+258 849553229
Carlino Ming Chey	FEUEM	Resíduos/Electricidade	+258 84768785
Daúde Carimo	MOPRH	Resíduos/Electricidade	+258 843040400
Mara Letice	MITADER-DPC	Resíduos/Electricidade	+258 823268470
Maria Franci Ubisse	CARE-PNOSCNC	Resíduos/Electricidade	+258 844054294
Teresa Moreira	MIREME-DNPC	Electricidade	+258 825384362
Yolanda Mulhuini	GMDR-PNOSCNC	Electricidade/Resíduos	+258 844206652

Tabela A 31. Membros integrantes da Equipa do Ministério de Recursos Minerais e Energia (Geração de Electricidade)

Nome	Instituição	Área de Interesse	Contacto Telefónico
Anísio Pinto Manuel	DNE-MIREME	Estudos e Projectos	+258 848576118
António Chicachama	DNE-MIREME	Planeamento Energético	+258 840409362 +258 827350220
Estácio Chumbitico	DNE-MIREME	Estudos e Projectos	+258 845389997
Izalde José	DNE-MIREME	Planeamento Energetico	+258 842821959 +258 824659472
Marcelina Mataveia	DNE-MIREME	Directora Nacional-Adjunta	+258 824195400

Tabela A 32. Membros integrantes da Equipa dos Conselhos Municipais das Cidades de Maputo e da Matola

Nome	Instituição	Área de Interesse	Contacto Telefónico
João Mucavele	CMCMaputo	DMGRSUS-Director	+258 828766060
Meriamo Stela	CMCMaputo	Dept Gestão de RS	+258845702196
Délcio Arlindo	CMCMaputo	Dept Gestão de RS	+258849448248
Anselmo Inguane	CMCMaputo	Dept Planificação e Monitoria	+258845125150
Florência Martins	CMCMaputo	Dept Planificação e Monitoria	+258844776318
Luís Bila	CMCMaputo	Dept Planificação e Monitoria	+258845108404
Célia Beira	CMCMatola	DMRSUS-Matola	+258827592503
Sérgio Paulo Francisco Manhique	CMC Maputo	Gabinete de Estudos	+258846148423