



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

ENGENHARIA ELÉCTRICA

TRABALHO DE LICENCIATURA

**Dimensionamento de uma Central Térmica de Incineração
de Resíduos Sólidos na Província de Maputo**

Autor:

Eucides Ezequiel Dgedge

Supervisores:

Eng^o Dário Marcelino Nhacassane (UEM)

Eng^a Olga Utchavo Madeira (EDM)

Maputo, Julho de 2017



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

ENGENHARIA ELÉCTRICA

TRABALHO DE LICENCIATURA

**Dimensionamento de uma Central Térmica de Incineração
de Resíduos Sólidos na Província de Maputo**

Autor:

Eucides Ezequiel Dgedge

Supervisores:

Eng^o Dário Marcelino Nhacassane (UEM)

Eng^a Olga Utchavo Madeira (EDM)

Maputo, Julho de 2017

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho a Deus todo poderoso e detentor de toda sabedoria e aos meus pais
Custódio Vasco Dgedge e Ana Cristina Monteiro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus todo poderoso e detentor de toda sabedoria pela minha vida, pela inteligência e por até aqui ter sido a minha fonte de vida, saúde e bem-estar.

Aos meus pais Custódio Vasco Dgedge e Ana Cristina Monteiro pelo amor, carinho e por me terem sempre apoiado em todas áreas da vida.

Ao meu supervisor Eng^o Dário Marcelino Nhacassane pelo apoio na realização do trabalho, pelas preciosas dicas, pelo encorajamento e por sempre apoiar meus projectos e minha formação profissional.

A minha supervisora Eng^a Olga Utchavo Madeira pelo apoio na realização do trabalho, compreensão e paciência.

Ao Eng^o Sebastião Maurício Ngugulo da Direcção de Planeamento de Sistemas da EDM pelas preciosas dicas, pela partilha de conhecimento e pelo apoio nos meus projectos.

Aos funcionários da empresa Electricidade de Moçambique, sobretudo da Direcção de Planeamento de Sistemas e da Direcção da Rede de Transporte pela preciosa informação disponibilizada para realização do trabalho.

A minha namorada Dyova pelo amor, carinho, companheirismo, paciência e apoio durante todo o curso e em todas as áreas da minha vida.

Aos meus colegas e amigos do grupo de estudos pelo apoio, conhecimento partilhado e companheirismo ao longo do curso.

A minha tia Nelma Massunda pelos seus conselhos e pelo apoio na realização do trabalho.

Aos funcionários dos conselhos municipais das cidades de Maputo e Matola, Elias Matusse, Bernardo Rupia, Helena Antónia e Zefanias Langa, pelo apoio na colecta de informação.

Ao Eng^o Joaquim Ou-Chim, da empresa Electricidade de Moçambique, pela oportunidade de estágio que me concedeu.

Ao Eng^o Anacleto Albino, com o qual trabalhei como monitor, na cadeira de Transporte e Distribuição de Energia Eléctrica II, e, em geral a todos os docentes e funcionários do Departamento de Engenharia Electrotécnica.

EPÍGRAFE

Sofro em tudo dificuldades, mas não fico angustiado. Sinto insegurança, mas não me deixo vencer. Perseguem-me, mas não me sinto abandonado. Deitam-me por terra, mas não me destroem. Trago continuamente no meu próprio corpo o sofrimento mortal de Jesus, para que também a sua vida se manifeste em mim. Enquanto vivo, estou entregue a morte, por causa de Jesus, de modo que sua vida se manifeste no meu corpo mortal.

2 CORÍNTIOS 4, 8-11

BÍBLIA SAGRADA

ÍNDICE

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 Contextualização e delimitação do tema.....	1
1.2 Formulação do problema e motivação	2
1.3 Objectivos.....	3
1.3.1 Objectivo Geral	3
1.3.2 Objectivos específicos	3
1.4 Metodologia.....	3
1.5 Organização do texto	4
CAPÍTULO 2 – RESÍDUOS SÓLIDOS E SUAS CARACTERÍSTICAS	6
2.1 Introdução.....	6
2.2 Classificação dos resíduos sólidos	6
2.2.1 Quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio	6
2.2.2 Quanto a origem ou natureza.....	7
2.3 Características dos resíduos sólidos.....	9
2.3.1 Características físicas	9
2.3.2 Características químicas	10
2.3.3 Características biológicas	10
2.4 Acondicionamento e reciclagem.....	10
2.4.1 Acondicionamento.....	10
2.4.2 Reciclagem	11
CAPÍTULO 3 – PRODUÇÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA ÁREA EM ESTUDO.....	12
3.1 Introdução.....	12
3.2 Geração e acondicionamento de resíduos sólidos no Município de Maputo	13
3.3 Geração e acondicionamento de resíduos sólidos no Município da Matola	15
3.4 Projecção das quantidades de resíduos sólidos nos arredores dos Municípios de Maputo e Matola	17
CAPÍTULO 4 – CONVERSÃO DA ENERGIA QUÍMICA CONTIDA NOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM ENERGIA ELÉCTRICA	19
4.1. Introdução.....	19
4.2 Centrais térmicas - Considerações gerais	20

4.2.1 Classificação de centrais térmicas	21
4.2.2 Configuração básica de uma central térmica	21
4.2.3 Desenvolvimento e projecto de centrais térmicas.....	22
4.3 Centrais waste-to-energy	23
4.3.1 Circuitos de uma central waste-to-energy	24
4.3.2 Elementos principais de uma central waste-to-energy	25
4.4 Conversão de Energia: Princípios termodinâmicos	31
4.5 Modelagem matemática de centrais térmicas: O ciclo de Rankine.....	33
4.5.1 Ciclo ideal de Rankine	33
4.5.2 Ciclo real de Rankine	35
4.5.3 Ciclo de Rankine com reaquecimento	36
4.6 Estudo económico de centrais eléctricas.....	36
4.6.1 Factor de carga	37
4.6.2 Factor de utilização	37
4.6.3 Factor de demanda.....	37
4.6.4 Factor de capacidade	37
4.6.5 Factor de diversidade.....	38
4.6.7 Curva de carga.....	38
4.6.8 Curva de duração de carga	38
CAPÍTULO 5 – DIMENSIONAMENTO DA CENTRAL TÉRMICA.....	39
5.1 Introdução.....	39
5.2 Selecção do local de implantação da central em estudo	39
5.3 Poder calorífico dos resíduos sólidos.....	40
5.4 Cálculo da potência eléctrica da central.....	41
5.4.1 Avaliação do potencial de produção de calor	41
5.4.2 Simulação computacional.....	42
5.4.3 Resultados da simulação em EES.....	43
5.4.5 Cálculo adicional	45
5.5 Selecção dos principais componentes	46
5.5.1 Turbinas.....	46

5.5.2 Incineradores e caldeiras	47
5.5.3 Depósito de resíduos sólidos	47
5.5.4 Condensadores	47
5.5.6 Bombas.....	47
5.5.6 Geradores	47
CAPÍTULO 6 – AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA CENTRAL NA REDE ELÉCTRICA NACIONAL	48
6.1 Introdução.....	48
6.2 Simulação da rede de transmissão com a entrada da central	48
6.2.1 Configuração da rede no ano de 2017	49
6.2.2 Configuração da rede no ano de 2019 e introdução da central waste-to-energy	50
6.2.3 Análise de contingência.....	52
6.2.4 Análise dos resultados da simulação	53
CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES ECONÓMICAS, AMBIENTAIS E SOCIAIS	54
7.1 Introdução.....	54
7.2 Considerações económicas	54
7.3 Considerações sociais e ambientais	56
CONCLUSÕES	58
RECOMENDAÇÕES	60
BIBLIOGRAFIA	61
GLOSSÁRIO	64
ANEXOS	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Disposição geográfica da área em estudo [Elaborado por Osório Nhabangue em ArcGis].....	13
Figura 2: Vista aérea da localização da Lixeira Municipal de Hulene [Google Earth].....	14
Figura 3: (a) Recipiente metálico de 6 m ³ (b). Recipiente plástico de 2,5 m ³ [Fotografado pelo autor].	15
Figura 4: Vista aérea da localização da Lixeira de Malhampsene [Google Earth].	16
Figura 5:(a) Veículo porta contentores de 6m ³ (b) Veículo compactador [32, 54].	17
Figura 6: Gráfico ilustrativo do índice de produção per capita [33].....	18
Figura 7: Distribuição das fontes de produção de energia em 2010 [65].....	20
Figura 8: Configuração básica de uma central térmica [42].	21
Figura 9: Diagrama de blocos de uma central "waste-to-energy" [2].	23
Figura 10: Vista em corte do incinerador e seus sistemas auxiliares [2].	26
Figura 11: Ilustração do funcionamento de turbinas de impulso e de reacção [9].	27
Figura 12: (a) Condensador de injeção (b) condensador de superfície [42].	29
Figura 13: Diagrama T-s do ciclo de Rankine [7].	33
Figura 14: Ciclo Real de Rankine [7].	35
Figura 15: Ciclo de Rankine com reaquecimento [7].	36
Figura 16: Curva de carga [42].....	38
Figura 17: Curva de duração de carga [42].....	38
Figura 18: Local de implantação da central [Fonte: Google Earth].....	39
Figura 19: Variação entre quantidade de resíduos inserida, potência térmica de entrada e poder calorífico [2].	41
Figura 20: Definição de variáveis e dos seus valores na tabela de equações do EES.	42
Figura 21: Inserção das equações da bomba e da turbina de alta pressão na tabela de equações do EES.....	43
Figura 22: Inserção das equações da turbina de baixa pressão, caldeira, condensador e eficiência na tabela de equações do EES.	43
Figura 23: Janela de soluções do EES.....	43
Figura 24: Janela de resultados no EES.....	44
Figura 25: Diagrama T-s para o ciclo em estudo plotado no programa EES.	44
Figura 26: Configuração da rede de transmissão da DTSU para o ano de 2017.....	49
Figura 27: Configuração da rede no ano de 2019 sem introdução da central nem das linhas de 275 kV projectadas.	50
Figura 28: Entrada em funcionamento da central sem energização das novas linhas de 275 kV.	51
Figura 29: Situação da rede de transmissão da DTSU com introdução das linhas de 275 kV e da Central proposta.	52
Figura 30: Trajecto das linhas de interligação da central a rede nacional de energia.	53
Figura 31: Custos de capital dos diferentes tipos de centrais eléctricas [63].	55
Figura 32: Avaliação da tarifa energética a ser praticada pela central [66].	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação percentual dos resíduos sólidos colectados no município de Maputo [34].....	15
Tabela 2: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos do Município da Matola [32].	16
Tabela 3: Poder calorífico dos resíduos sólidos [6].....	40
Tabela 4: Necessidades de água de arrefecimento em função da potência de uma central térmica [37].	46

LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

EDM – Electricidade de Moçambique

DTSU – Divisão de transporte Sul

DTCE – Divisão de Transporte Centro

DTCN – Divisão de Transporte Centro Norte

FUNAE – Fundo Nacional de Energia

DTNO – Divisão de Transporte Norte

INE – Instituto Nacional de Estatística

EES – Engineering Equation Solver

PSS/E – Power System Simulator for Engineering

CTM – Central Térmica de Maputo

LISTA DE SÍMBOLOS

% – Percentagem

v – Volume

l – Comprimento

h – Entalpia

s – Entropia

p – Pressão

t – Temperatura

w – Trabalho Termodinâmico

W – Trabalho

η – Rendimento

q – Calor

P – Potência Activa

\dot{m} – Fluxo de Massa

m – Massa

S – Potência Aparente

Q – Potência Reactiva

U – Tensão

I – Corrente

RESUMO

O presente trabalho representa o desfecho de uma pesquisa feita nas cidades de Maputo e Matola. Nota-se nestas cidades uma grande pressão populacional, o que propicia o acúmulo de resíduos sólidos em locais impróprios, o que se têm tornado um problema social que poderá evoluir para um problema ambiental se nada for feito. Nota-se também uma grande pressão no sistema eléctrico que resulta em dificuldades da concessionária (EDM) de atender as necessidades energéticas da região. Foi então levada a cabo a pesquisa em epígrafe como forma de propor uma solução integrada para estes dois grandes problemas. A pesquisa propriamente dita inicia com a descrição e caracterização dos sistemas de acondicionamento de resíduos nestas duas urbes (com dados colhidos junto das entidades responsáveis), onde torna-se notório o défice dos sistemas de acondicionamento uma vez que as quantidades de resíduos depositados nas lixeiras de Hulene e Malhampsene está abaixo da real quantidade produzida. Segue-se então a discussão dos diferentes processos tecnológicos envolvidos na conversão da energia química contida nos resíduos sólidos em energia eléctrica. É então introduzido o conceito de centrais *waste-to-energy* (resíduo-em-energia) onde nota-se que estas centrais têm basicamente o mesmo princípio de funcionamento que outras centrais térmicas (como as centrais a carvão e de biomassa) estando a única particularidade no incinerador e nos parâmetros termodinâmicos, dado o baixo poder calorífico dos resíduos sólidos. Nota-se nesta discussão de tecnologias que as centrais *waste-to-energy* para além da produção de energia eléctrica permitem a recuperação de produtos (reciclagem) de grande aplicação para vários ramos da indústria (gesso, sal industrial, matéria prima para indústria construtiva, etc.), o que a confere grande grau de rentabilidade económica. De seguida é feita a avaliação da potência possível de se produzir com os dados levantados. Nesta fase, foi utilizado o programa computacional *Engineering Equations Solver* que permitiu o cálculo dos diferentes parâmetros da central o que resultou num máximo de 62 MW de potência. O local escolhido para implantação foi o distrito municipal Katembe devido a disponibilidade de água de arrefecimento assim como por questões estratégicas de operação da central. Segue-se então a simulação do impacto da central proposta na rede eléctrica da DTSU, onde nota-se a importância da central na estabilização de tensão na região sul assim como no alívio das subestações de Infulene e Matola. Seguem-se então as avaliações económicas, sociais e ambientais onde nota-se que estas centrais possuem um elevado custo de capital, contudo possuem um alto grau de rentabilidade económica para além dos benefícios sociais e ambientais como a redução da quantidade de resíduos sólidos mal-acondicionados nas urbes e, a redução de emissões de gases tóxicos assim como a criação de postos de emprego. Entre as principais recomendações deixadas, estão a necessidade de desenvolvimento de programas de educação cívica dos munícipes assim como a aposta na geração distribuída de energia eléctrica como forma de diversificação da matriz energética, aumento da fiabilidade e redução da dependência externa reduzindo a longo prazo a tarifa energética praticada.

ABSTRACT

The present work represents the outcome of a survey carried out in the cities of Maputo and Matola. There is a great population pressure in these cities, which favors the accumulation of solid waste in inappropriate places, which has become a social problem that could evolve into an environmental problem if nothing is done. There is also a great pressure of the electrical system that results in difficulties of the concessionaire (EDM) to meet the energy needs of the region. The above-mentioned research was then carried out as a way of proposing an integrated solution to these two major problems. The research itself starts with the description and characterization of the waste treatment systems in these two cities (with data collected from the responsible entities), where the deficit of packaging systems becomes evident, since the amount of waste deposited in the bins is below the actual quantity produced. It then follows the discussion of the different technological processes involved in the conversion of the chemical energy contained in the solid waste into electrical energy. It is then introduced the concept of waste-to-energy (waste-to-energy) plants where it is noted that these plants have basically the same operating principle as other thermal power plants (such as coal and biomass power plants) Particularity in the incinerator and in the thermodynamic parameters, given the low calorific value of the solid residues. It is noteworthy in this discussion of technologies that waste-to-energy plants besides the production of electric energy allow the recovery of products (recycling) of great application for various branches of industry (gypsum, industrial salt, Etc.), which gives it a great degree of economic profitability. Then the evaluation of the possible power to produce with the collected data is made. In this phase, the Engineering Equations Solver software was used, which allowed the calculation of the different parameters of the plant, which resulted in a maximum of 62 MW of power. The site chosen for implementation was the Katembe municipal district due to the availability of cooling water as well as strategic issues of operation of the plant. Then the simulation of the proposed power plant's impact on the DTSU grid is shown, where the importance of the power station in the stabilization of tension in the south region as well as in the relief of the Infulene and Matola substations is noted. This is followed by economic, social and environmental assessments where it is noted that these plants have a high cost of capital, but they have a high degree of economic profitability in addition to the social and environmental benefits such as the reduction of the quantity of solid waste, The reduction of toxic gas emissions and the creation of jobs. Among the main recommendations left are the need to develop civic education programs for citizens as well as the focus on distributed generation of electricity as a way of diversifying the energy matrix, increasing reliability and reducing external dependence, reducing the long-term tariff Practiced energy.

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e delimitação do tema

Nos últimos anos, Moçambique tem registado consideráveis índices de crescimento populacional acompanhados por um processo de urbanização acelerado, o qual, propicia o aumento do consumo de produtos descartáveis, e, como resultado, têm-se verificado maior volume e diversificação dos resíduos sólidos [29, 34]. Por outro lado, as debilidades dos sistemas de acondicionamento de resíduos sólidos municipais aliados a fraca educação cívica dos munícipes propicia o acúmulo de resíduos sólidos em locais impróprios nos diferentes municípios.

A região sul de Moçambique, sobretudo nas cidades de Maputo, Matola e arredores, regista grande pressão populacional, daí a predominância de resíduos sólidos mal-acondicionados ao longo das vias públicas bem como junto às residências e edifícios em geral.

Outro grande problema destas cidades é a enorme pressão do sistema eléctrico dada insuficiência de potência para acomodar a crescente demanda, em parte causada pelo acelerado crescimento populacional.

Por outro lado, a procura por fontes alternativas de produção de energia eléctrica continua a crescer dada a necessidade de preservação do meio ambiente [13].

Adicionalmente, importa referir que o acondicionamento e tratamento adequado dos resíduos sólidos municipais são acções que representam uma mais valia no que concerne a parte energética, criando assim diversificação da matriz energética. Assim sendo, a recuperação da energia contida nos resíduos traz inúmeras vantagens, entre as quais: *fonte alternativa de energia eléctrica, benefícios ambientais* assim como *redução dos resíduos acumulados nas cidades* [40, 54].

O presente trabalho, visa dar a conhecer os resultados de uma pesquisa feita para avaliar a possibilidade de aproveitamento de resíduos nas cidades supracitadas para a produção de energia eléctrica.

O grande mérito desta pesquisa é de traçar soluções para dois grandes problemas na região sul de Moçambique: a predominância de resíduos sólidos mal-acondicionados assim como o défice de energia eléctrica.

Desta forma, é discutida a tecnologia para conversão da energia química contida nos resíduos sólidos em energia eléctrica bem como, por via de simulação computacional, tecnicamente avaliado o impacto da central proposta na rede eléctrica de transmissão da região Sul.

1.2 Formulação do problema e motivação

As cidades de Maputo, Matola bem como arredores, na região Sul de Moçambique, registam grande pressão populacional. Daí o grande volume e diversidade de resíduos sólidos ao longo das vias públicas, bem como junto as residências e edifícios em geral. Para além do grande volume e diversidade, a estes resíduos não tem sido dado o tratamento adequado, o que culmina com o acúmulo destes em locais não apropriados.

Desta forma, se os sistemas de acondicionamento e tratamento de resíduos sólidos não forem melhorados, o acúmulo de resíduos na via publica poderá evoluir para um problema de saúde pública assim como para um problema ambiental (poluição ambiental).

Outro grande problema da região é o défice energético, em parte causado pelo acelerado crescimento populacional, sobretudo nas zonas urbanas. Assim sendo, para resolver o problema de défice energético, torna-se necessário o investimento em infraestruturas tais como centrais de produção de energia, bem como em linhas de transmissão e distribuição de energia eléctrica.

Moçambique detém um grande potencial energético, possuindo inúmeras bacias hidrográficas com grande potencial hidroeléctrico, assim como grandes reservas de combustíveis fósseis tais como carvão e gás natural. Contudo, maior parte destas fontes encontram-se distantes do maior centro de carga (região Sul) [13].

Por outro lado, no país tem se assistido a uma corrida para a produção de energia eléctrica a partir de fontes alternativas, com principal enfoque para a energia solar. Tais projectos têm sido promovidos por entidades como o FUNAE e a EDM, bem como por meio de investimento privado [13, 64].

Com o presente trabalho pretende-se trazer à discussão, a necessidade de alargamento da matriz energética em Moçambique, e traz como proposta, a introdução de Centrais Térmicas de incineração de resíduos sólidos urbanos na região sul de Moçambique, especificamente nas cidades de Maputo e Matola.

Desta forma, esta pesquisa torna-se necessária uma vez que seus resultados representam uma grande valia, tornando possível a solução integrada de dois grandes problemas da região. Outro grande mérito da pesquisa prende-se no facto de que a incineração de resíduos para produção de energia eléctrica reduzir emissões de monóxido de carbono para o meio ambiente.

1.3 Objectivos

1.3.1 Objectivo Geral

O presente trabalho tem como objectivo estudar a possibilidade da implementação de uma central eléctrica de incineração de resíduos sólidos urbanos das cidades de Maputo e Matola.

1.3.2 Objectivos específicos

O presente trabalho tem os seguintes objectivos específicos:

- Descrever os sistemas de acondicionamento de resíduos sólidos nas cidades de Maputo e Matola;
- Dar a conhecer a teoria por detrás dos processos tecnológicos para a conversão da energia química contida nos resíduos sólidos em energia eléctrica;
- Dimensionar os principais componentes da central eléctrica proposta;
- Avaliar, por meio de simulação computacional, o impacto da integração da central na rede eléctrica de transporte Sul da EDM;
- Avaliar os impactos sociais e ambientais da implementação do projecto.

1.4 Metodologia

Para o alcance dos objectivos supracitados utilizaram-se diversos procedimentos metodológicos, entre os quais:

Pesquisa bibliográfica:

- Leitura de manuais técnicos e científicos visando a elucidação dos diversos conceitos técnicos apresentados no trabalho;
- Consulta de catálogos de fabricantes de equipamentos para centrais, e guias técnicos visando conhecer a tecnologia por detrás das centrais eléctricas, bem como do tratamento de resíduos sólidos urbanos.
- Consulta de relatórios estatísticos do INE e dos Municípios em estudo.

Entrevistas informais:

- Colecta de informações sobre a rede eléctrica nacional assim como dos custos de materiais junto à Direcção de Planeamento de Sistemas da empresa Electricidade de Moçambique;
- Colecta de informações qualitativas e quantitativas inerentes aos resíduos sólidos na área em estudo (Município de Maputo e Município da Matola).

Observação directa:

- Observação directa dos sistemas de acondicionamento e recolha de resíduos sólidos na área em estudo visando a confirmação dos dados fornecidos.

Análise e processamento dos dados:

- Cálculo manual e também utilizando ferramentas computacionais para a simulação da rede e modelagem da central.

1.5 Organização do texto

O presente texto está dividido em 7 capítulos, incluindo o capítulo introdutório (no qual é feita a delimitação e contextualização do tema assim como são apresentados os objectivos e os procedimentos metodológicos para o alcance dos mesmos), onde são desenvolvidos os termos de referência (objectivos específicos) do trabalho.

No capítulo 2 é apresentada a teoria referente aos resíduos sólidos, abrangendo sua definição, classificação assim como são tratados assuntos de extrema importância como o acondicionamento de resíduos sólidos e a reciclagem.

No capítulo 3 é apresentada informação de interesse relativa a área de estudo tal como localização geográfica, população, relevo assim como descrição dos sistemas de acondicionamento de resíduos sólidos.

No capítulo 4 é feita uma análise das tecnologias de conversão da energia química contida nos resíduos sólidos em energia eléctrica. Assim sendo, são discutidos os princípios termodinâmicos por detrás das centrais térmicas de incineração de resíduos sólidos urbanos. Neste capítulo são também apresentadas e discutidas as bases para o cálculo económico de centrais eléctricas.

No capítulo 5 é feito o dimensionamento da central proposta e dos seus principais componentes. Tal dimensionamento é feito através de cálculos matemáticos e da modelação da central no programa computacional *EES (Engineering Equation Solver)* na sua versão demonstrativa (*DEMO*).

No capítulo 6 é avaliado, por meio de simulação computacional, o impacto da referida central eléctrica na rede eléctrica nacional da região Sul. Para o efeito, a ferramenta computacional *PSS/E (Power System Simulation for Engineering)* é utilizada para a realização do estudo de integração da central proposta na rede eléctrica nacional.

No capítulo 7 são feitas considerações económicas e sociais bem como avaliados os impactos ambientais da implantação da central em estudo. Neste capítulo é feita a estimativa do custo de implantação da central bem como a avaliação dos impactos socioambientais da central eléctrica proposta.

Por fim, são apresentadas as conclusões e recomendações que reflectem os objectivos do trabalho, e, portanto, uma síntese conclusiva do trabalho realizado.

CAPÍTULO 2 – RESÍDUOS SÓLIDOS E SUAS CARACTERÍSTICAS

2.1 Introdução

Geralmente, em diferentes publicações, os termos “lixo” e “resíduos sólidos” são utilizados indistintamente [33, 40, 44, 54]. O dicionário de língua portuguesa da Porto Editora (2015) define lixo como “aquilo que se deita fora por não ter utilidade ou por ser velho”.

Por outro lado, resíduo sólido é todo o material sólido ou semi-sólido indesejável que necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta, em qualquer recipiente apropriado ao acto [33].

Contudo, muitos destes materiais podem ser reutilizados e/ou reciclados, e os mesmos podem se tornar matéria-prima para processos industriais bem como para a produção de energia eléctrica [33, 54].

Desta forma, verifica-se a subjectividade da característica supracitada (inutilidade) uma vez que um bem considerado inútil por um determinado indivíduo que o descarta, para outro pode tornar-se matéria-prima para um novo produto ou processo [33, 54].

2.2 Classificação dos resíduos sólidos

Classificar os resíduos sólidos consiste em agrupá-los em função de determinadas características semelhantes que os mesmos apresentam.

Os resíduos sólidos podem ser classificados de duas maneiras principais, a saber: quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente e quanto a sua origem ou natureza [33].

2.2.1 Quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio

Quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio os resíduos sólidos podem ser distinguidos em três classes: classe I ou perigosos, classe II ou não-inertes e classe III ou inertes [33, 54].

a) Classe I ou perigosos

São aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reactividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada [33, 54].

São exemplos de resíduos sólidos de classe I: lixo hospitalar, produtos químicos industriais, óleos, cinzas de metais preciosos, pilhas, baterias e pesticidas [33].

b) Classe II ou não-inertes

São resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com a possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos de classe I ou classe III [33, 54].

São exemplos de resíduos sólidos de classe II: resíduo orgânico, papel, palha de aço, agulhas, latas e fiação eléctrica [33].

c) Classe III ou inertes

São aqueles que não se degradam ou não se decompõem quando dispostos no solo (sua degradação é muito lenta), sendo muitos destes produtos recicláveis [33].

São exemplos de resíduos sólidos de classe III: tijolo, plástico, borracha, entulhos de obras ou de demolição, pedras e areias retiradas de escavações [33].

2.2.2 Quanto a origem ou natureza

As características dos resíduos sólidos estão directamente ligadas à sua origem [33, 44, 54]. A partir da origem é possível avaliar o risco de contaminação do meio ambiente que o referido resíduo sólido apresenta.

Quanto à natureza ou origem, os resíduos sólidos podem ser distinguidos em cinco classes, a saber: resíduo doméstico ou residencial, resíduo comercial, resíduo público, resíduo domiciliar especial e resíduo de fontes especiais [33].

a) Resíduo doméstico

Incorpora os resíduos sólidos produzidos nas diversas actividades diárias nas residências, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais [33, 54].

b) Resíduo comercial

Incorpora resíduos sólidos produzidos em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da actividade desenvolvida [33, 40].

O resíduo comercial abrange dois grupos de geradores: o pequeno gerador de resíduos comerciais (geração de um máximo de 120 dm³ de resíduos) e o grande gerador de resíduos comerciais (geração acima de 120 dm³ de resíduos) [54].

A identificação do grande gerador de resíduos comerciais é de extrema importância uma vez que os resíduos por este produzidos, por terem elevado volume, podem ser recolhidos por uma empresa privada possibilitando assim a redução de encargos por parte do Conselho Municipal [33, 54].

c) Resíduo público

Incorpora resíduos resultantes da natureza como folhas, poeira bem como aquele que em Moçambique denomina-se “lixo verde” ou “lixo de poda” [33, 54].

d) Resíduo domiciliar especial

Nas actividades domiciliares pode também ser produzido resíduo que acarreta riscos ao meio ambiente. E estes enquadram-se na classificação de resíduo domiciliar especial.

Este incorpora entulhos de obras, pilhas, baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus [33, 54].

e) Resíduo de fontes especiais

São resíduos, que em função de suas características peculiares, passam a merecer cuidados especiais no manuseio, acondicionamento, armazenagem, transporte e tratamento ou destino final [40].

São exemplos de resíduos de fontes especiais: o lixo industrial, o lixo radioactivo, lixo de portos, aeroportos e terminais rodoviárias lixo agrícola e lixo hospitalar [33].

2.3 Características dos resíduos sólidos

Para o presente trabalho, apurar as características dos resíduos sólidos é de extrema importância uma vez que possibilita a determinação mais precisa da potência que pode ser obtida a partir da incineração dos mesmos.

Importa referir que as características dos resíduos sólidos variam em função de vários factores, entre os quais: factores sociais, económicos, culturais, geográficos e climáticos. Assim sendo, nota-se que estas características estão directamente ligadas aos hábitos e costumes das comunidades [33, 54].

Entre elas destacam-se características físicas, características químicas e características biológicas [33].

2.3.1 Características físicas

As características físicas abrangem a geração per capita, a composição gravimétrica, peso específico aparente, teor de humidade e compressibilidade [33, 40, 54].

A geração per capita estabelece uma relação entre a quantidade de resíduos sólidos gerada diariamente e o número de habitantes da região em estudo [33].

A composição gravimétrica representa a relação percentual entre um determinado componente individual e o peso total dos resíduos sólidos [33, 40].

O peso específico aparente estabelece uma relação entre o peso de uma amostra de resíduos sólidos e o volume ocupado pelo mesmo. Em média os resíduos sólidos domiciliários apresentam um peso específico aparente de 280 kg/m^3 [33, 44].

O teor de humidade representa a quantidade de água contida numa amostra de resíduos sólidos. Esta característica varia de região para região estando directamente ligada ao nível de precipitação que cada região apresenta [33, 54].

A compressibilidade é uma característica ligada a possibilidade de redução de volume dos resíduos [33].

2.3.2 Características químicas

As características químicas abrangem o poder calorífico, potencial de hidrogénio, composição química bem como a relação carbono/nitrogênio. [33, 40, 54].

O poder calorífico está relacionado a “capacidade de queima” dos resíduos sólidos, isto é, capacidade de libertar calor quando submetido a combustão [33].

O potencial de hidrogénio está relacionado ao teor de acidez dos resíduos sólidos.

A composição química é uma relação das quantidades dos elementos químicos dos resíduos que determina o nível de risco que o resíduo apresenta [33, 54].

A relação carbono/nitrogênio indica o grau de decomposição da matéria orgânica dos resíduos sólidos nos processos de tratamento [33, 54].

2.3.3 Características biológicas

O estudo de características biológicas dos resíduos sólidos é de extrema importância uma vez que em função destas os riscos à saúde pública que os resíduos sólidos apresentam podem ser avaliados, possibilitando o posterior tratamento assim como estabelecimento de medidas adequadas aos riscos.

As características biológicas dos resíduos sólidos são determinadas pela população microbiana assim como agentes patogênicos presentes nos resíduos sólidos [33].

2.4 Acondicionamento e reciclagem

Estas são duas actividades de extrema importância contribuindo directamente na redução dos riscos resultantes do mal acondicionamento dos resíduos sólidos.

2.4.1 Acondicionamento

O acondicionamento de resíduos sólidos é uma actividade que consiste na preparação adequada dos mesmos para posterior recolha adequada e segura [33, 54].

A eficácia no processo de colecta dos resíduos sólidos municipais está directamente ligada ao acondicionamento dos mesmos. Assim sendo, esta torna-se mais complicada se os resíduos sólidos se encontrarem dispersos na via pública [33].

O acondicionamento dos resíduos sólidos é de extrema importância, trazendo inúmeros benefícios, portanto, a sua importância está em:

- Evitar acidentes;
- Evitar a proliferação de resíduos ao longo da via pública;
- Minimizar o impacto visual e olfactivo;
- Facilitar a colecta dos resíduos sólidos;
- Facilitar a separação para reciclagem (no caso de colecta selectiva o devido acondicionamento).

Em geral, os resíduos sólidos são acondicionados em recipientes próprios dispostos ao longo da via pública. Vários factores contribuem para a escolha do recipiente adequado para o acondicionamento dos resíduos, entre eles: características dos resíduos sólidos, frequência de colecta, preço do recipiente e quantidade de resíduo produzida [33, 44].

A colecta dos resíduos sólidos municipais é geralmente feita com recurso a camiões basculantes equipados com mecanismos adequados ao tipo de recipiente de acondicionamento [33, 54]

2.4.2 Reciclagem

Considera-se reciclagem um processo de transformação de determinados materiais encontrados nos resíduos sólidos em produtos de utilidade diária, isto é, um processo de reintrodução de produtos descartados na indústria [33, 40, 44, 54].

Entre as principais vantagens do processo de reciclagem encontram-se:

- Aumento da flexibilidade dos aterros sanitários;
- Redução de impactos ambientais;
- Preservação dos recursos disponíveis na natureza;
- Redução de resíduos sólidos.

CAPÍTULO 3 – PRODUÇÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA ÁREA EM ESTUDO

3.1 Introdução

A província de Maputo está localizada na região Sul de Moçambique, sendo geograficamente limitada a Norte pela província de Gaza, a Sul pela África do Sul, a Este pelo Oceano Índico e a Oeste pela África do Sul e Suazilândia [4, 10].

Esta província tem o relevo caracterizado por baixas altitudes e extensas planícies com altitudes não superiores a 100 m (em relação ao nível medio das águas do mar) ao longo da costa. À medida em que se afasta da costa são registadas pequenas elevações até que são atingidas grandes elevações de relevo nos Montes Libombos [4].

A Província de Maputo possui ainda três bacias hidrográficas, a saber: bacia hidrográfica de Maputo, bacia hidrográfica de Incomáti e bacia hidrográfica de Umbeluzi [4, 10].

No que toca a divisão administrativa a Província de Maputo está dividida em 8 distritos, nomeadamente: Boane, Manhiça, Marracuene, Matutuine, Namaacha, Moamba e Cidade da Matola que é a cidade capital [4, 22]. Ainda na divisão administrativa, importa referir que esta província conta com 4 municípios: Matola, Boane, Manhiça e Namaacha [4, 10, 22].

A Cidade de Maputo está limitada a Norte pelo Distrito de Marracuene, a Sul pelo Distrito de Matutuine, a Este pelo Oceano Índico e a Oeste pela Cidade da Matola. Esta é a capital de Moçambique, constituindo administrativamente um município com governo eleito, não devendo por isso ser confundida com a Província de Maputo [11, 22].

A Cidade de Maputo é considerada como maior centro financeiro de Moçambique, onde são encontradas as sedes dos maiores grupos económicos do país bem como de empresas públicas e privadas, sendo ainda responsável por 20,2% do PIB de Moçambique [11].

A Cidade de Maputo está situada 10 km a Este da Cidade da Matola, e, sendo maior centro financeiro do país regista-se um elevado fluxo diário de pessoas entre as duas cidades devido as actividades económicas desenvolvidas entre as duas cidades.

No que toca a produção de resíduos sólidos, dados colhidos junto a Direcção Municipal de Gestão de Resíduos Sólidos e Salubridade do Conselho Municipal da Cidade de Maputo, apontam para a produção diária de 1500 toneladas de resíduos sólidos. No entanto, são colectadas 950 toneladas, tendo como destino final a Lixeira Municipal de Hulene, onde estes são incinerados. Esta Lixeira foi construída em 1972 e ocupa uma área de 17 ha (170 000 m²), tendo já atingido o seu limite máximo de utilização.

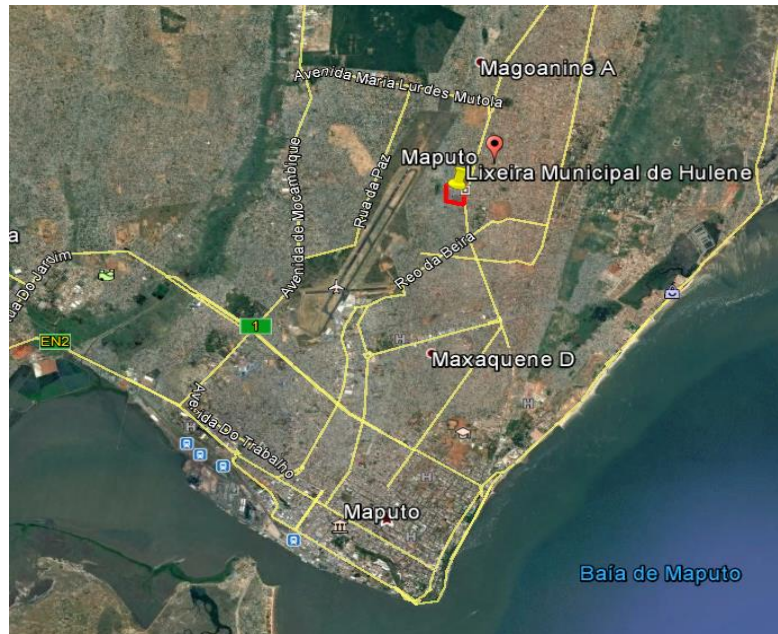


Figura 2: Vista aérea da localização da Lixeira Municipal de Hulene [Google Earth].

A Lixeira Municipal de Hulene recebe apenas resíduos não perigosos tais como os domiciliare, comerciais, industriais e hospitalares não perigosos. A mesma não recebe resíduos líquidos, explosivos, resíduos hospitalares não tratados e cadáveres de animais [34].

No que diz respeito ao tipo de resíduos sólidos urbanos colectados foram apurados os seguintes materiais: plástico, vidro, papelão, metal, tecidos, borracha, material orgânico e resíduos verdes (de poda).

A tabela a seguir estabelece uma relação percentual da composição de resíduos sólidos colectados no Município de Maputo.

Tabela 1: Relação percentual dos resíduos sólidos colectados no município de Maputo [34].

Tipo de resíduo	Área urbana (%)	Área suburbana (%)
Papelão	13,2	4
Borracha	1,5	4,2
Vidro	7,5	2,8
Metal	2,8	1,2
Plástico	8,4	6,6
Material orgânico	63,7	33,2
Fracção fina	0	44,2
Outros	2,8	0

Quanto ao sistema de acondicionamento, são dispostos ao longo da via pública recipientes plásticos e metálicos com as seguintes capacidades: 1,1 m³, 2,5m³, 6 m³ e 12 m³.



(a)



(b)

Figura 3: (a) Recipiente metálico de 6 m³ (b). Recipiente plástico de 2,5 m³ [Fotografado pelo autor].

A recolha de lixo é feita por camiões compactadores munidos de mecanismos de elevação adequados aos recipientes de acondicionamento dispostos ao longo da via pública.

3.3 Geração e acondicionamento de resíduos sólidos no Município da Matola

Segundo dados colhidos junto ao Conselho Municipal da Cidade de Maputo, o Instituto Nacional de Estatística (INE, 2010) estima que o Município da Matola tenha actualmente 997 701 habitantes dos quais 481 635 do sexo masculino e 516 066 do sexo feminino.

Dados colhidos junto a Vereação de Ambiente, Salubridade e Jardins Municipais do Conselho Municipal da Cidade da Matola apontam para a recolha diária de 800 toneladas de resíduos sólidos urbanos, os quais, têm como destino final a Lixeira de Malhampsene.

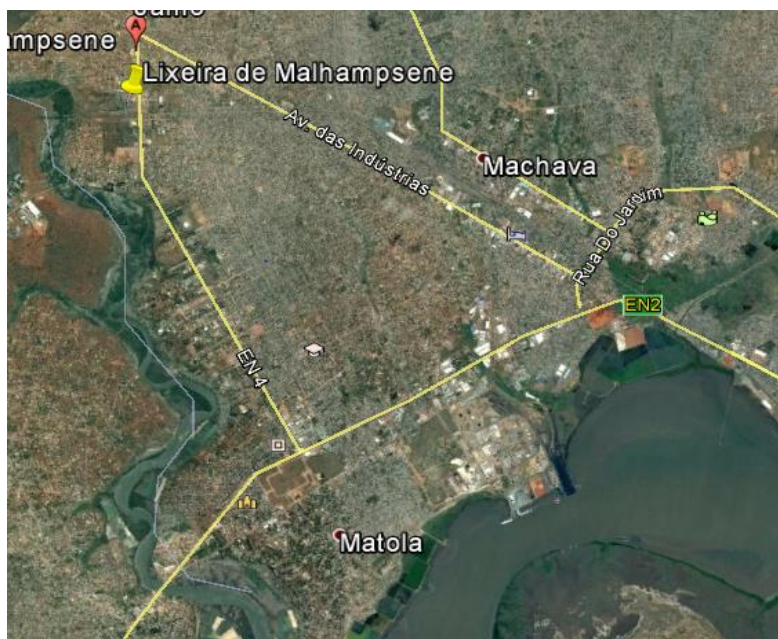


Figura 4: Vista aérea da localização da Lixeira de Malhampsene [Google Earth].

No que diz respeito a composição dos resíduos sólidos foram apurados os seguintes materiais: papelão, têxteis, metais, vidro, plásticos e material orgânico.

A tabela 2, obtida junto a Vereação de Ambiente, Salubridade e Jardins Municipais desta urbe estabelece uma relação gravimétrica dos diferentes componentes encontrados nas amostras de resíduos sólidos desta urbe.

Tabela 2: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos do Município da Matola [32].

Tipo de resíduo	Área urbana (%)	Área suburbana (%)
Papelão	12,4	5
Têxteis	2,3	3,7
Vidro	3,3	2,6
Metal	1,8	1,7
Plástico	9,9	8,7
Material orgânico	68,4	69
Outros	1,9	9,2

Neste município foi apurada a existência de 49 contentores de 6 m³ dispostos ao longo da via pública para o acondicionamento adequado dos resíduos sólidos municipais.

No que toca a colecta de resíduos sólidos são utilizados diversos camiões com mecanismos de elevação (compactadores e porta contentores) assim como camiões de caixa aberta.



(a)

(b)

Figura 5:(a) Veículo porta contentores de 6 m³ (b) Veículo compactador de 12 m³ [32, 54].

3.4 Projecção das quantidades de resíduos sólidos nos arredores dos Municípios de Maputo e Matola

É objectivo do presente projecto avaliar o potencial não só dos resíduos sólidos dos municípios de Maputo e Matola como também das vilas e municípios nos arredores. Com a aproximação da data de conclusão das obras do projecto da estrada circular e da ponte Maputo-Katembe prevê-se uma explosão demográfica no distrito municipal Katembe, assim como nos distritos de Matutuine e Boane.

Assim sendo, convém fazer estimativas da capacidade de produção de resíduos sólidos dos distritos mencionados assim como do distrito de Marracuene.

Para o efeito, a estimativa será feita pela previsão de “produção per capita”, método este que relaciona o número de habitantes de uma determinada região com a quantidade de lixo diária produzida. Para isso será utilizado o gráfico da figura 6 que estabelece uma relação entre o número de habitantes e o índice de geração per capita.

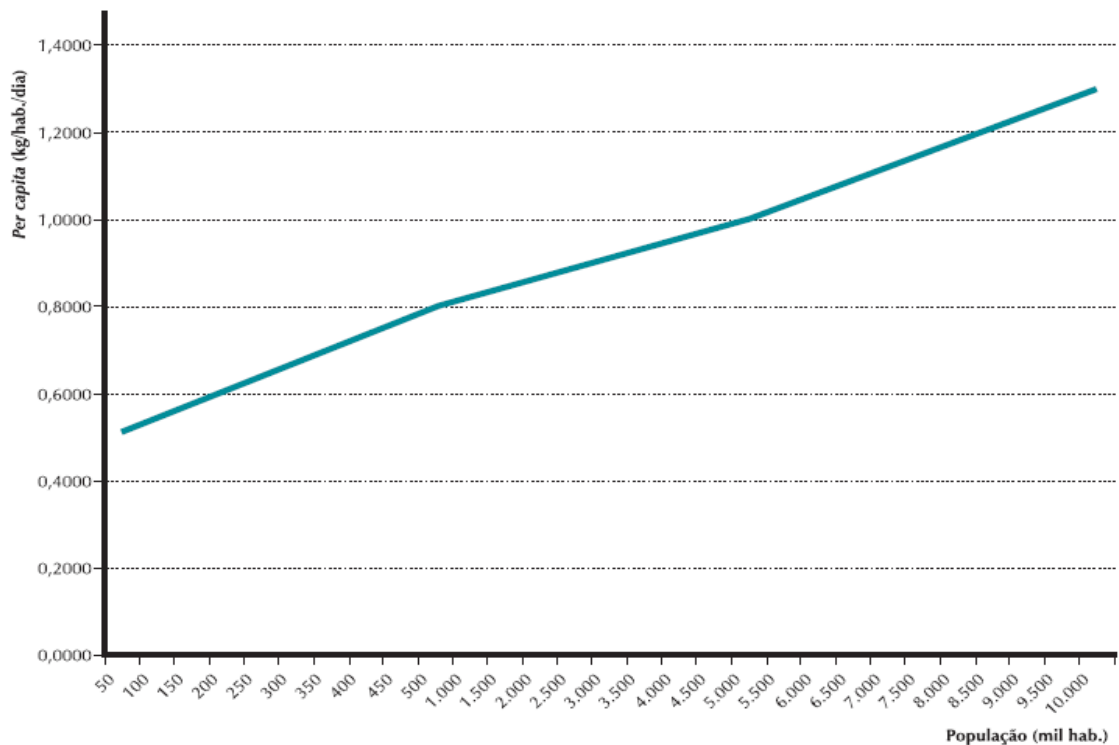


Figura 6: Gráfico ilustrativo do índice de produção per capita [33].

Dados fornecidos pelo INE relativos as projecções da população total 2007 – 2040, para o ano de 2017 apontam para o seguinte:

- Distrito de Marracuene: 158 129 habitantes;
- Distrito de Matutuine: 41 785 habitantes; e
- Vila de Boane: 167 841 habitantes.

Assim sendo, multiplicando os valores supracitados com os índices fornecidos pelo gráfico da figura 6 são obtidos os seguintes resultados:

- Distrito de Marracuene: $158\,129\text{ hab} \times 0,57\text{ kg/hab/dia} = 90,134\text{ ton/dia}$;
- Distrito de Matutuine: $41\,785\text{ hab} \times 0,5\text{ kg/hab/dia} = 20,893\text{ ton/dia}$; e
- Distrito de Boane: $167\,841\text{ hab} \times 0,58\text{ kg/hab/dia} = 97,348\text{ ton/dia}$.

CAPÍTULO 4 – CONVERSÃO DA ENERGIA QUÍMICA CONTIDA NOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM ENERGIA ELÉCTRICA

4.1 Introdução

As centrais térmicas de incineração de resíduos sólidos são também conhecidas como centrais *waste-to-energy* (resíduos em energia) devido a matéria-prima utilizada nas mesmas (resíduos sólidos/material descartado nas diversas actividades humanas) [2, 30, 45, 49, 61].

Nestas centrais, ocorre queima indiscriminada dos resíduos sólidos municipais. Portanto, antes da incineração, os mesmos são misturados num depósito de resíduos existente na central, a fim de garantir uma “qualidade uniforme” dos resíduos depositados. Tal mistura visa otimizar o processo de incineração. Há ainda que salientar que este tipo de central recebe apenas resíduos municipais (domiciliares e públicos) e industriais não perigosos [2, 45, 61, 63].

A semelhança dos outros tipos de centrais termoeléctricas, as centrais termoeléctricas de incineração de resíduos sólidos têm o seu funcionamento baseado em princípios termodinâmicos. Estes princípios possibilitam descrever o processo de conversão de energia das diversas fontes existentes na natureza em energia eléctrica [2, 26, 61].

Adicionalmente, importa referir que as centrais *waste-to-energy* têm como fluido de trabalho o vapor de água. Assim sendo, diferem das centrais térmicas a carvão e nucleares principalmente pelo combustível utilizado. Contudo, o seu ciclo de potência no processo de produção de energia eléctrica é o mesmo. Por este motivo as centrais *waste-to-energy* enquadram-se no grupo das chamadas “centrais térmicas” [5, 28, 42, 45, 54,59].

No geral, as centrais térmicas, no seu processo de produção de energia convertem, através da queima, a energia química contida nos combustíveis (neste caso resíduos sólidos urbanos), em energia térmica. Esta, por sua vez, é convertida em energia mecânica de rotação através da expansão de vapor nas turbinas, a qual, por fim é convertida em energia eléctrica nos geradores acoplados aos eixos das respectivas turbinas [7, 42, 45, 61].

Segundo estimativas feitas em 2010 pela Agência Internacional de Energia (AIE), a produção de energia eléctrica a partir de resíduos sólidos e biocombustíveis corresponde a 10% da produção total de energia eléctrica no mundo.

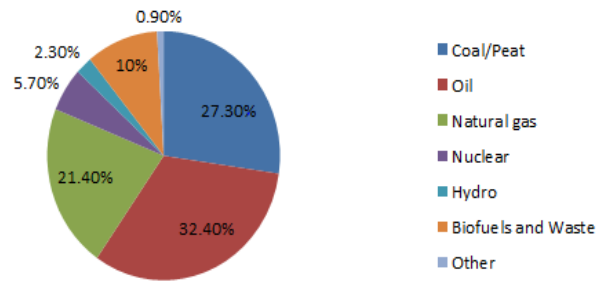


Figura 7: Distribuição das fontes de produção de energia em 2010 [65].

Apesar do princípio de funcionamento ser similar ao das centrais térmicas que se baseiam na queima de outros tipos de combustíveis (carvão mineral, biomassa, etc.), as centrais *waste-to-energy* possibilitam obter inúmeros benefícios económicos, ambientais e sociais [2, 5, 59].

Entre os diversos benefícios das centrais *waste-to-energy* destacam-se:

- Uso de um recurso renovável;
- Quando bem explorada apenas 1 % da matéria prima é desperdiçada;
- Uso de um ciclo fechado possibilita economia de água;
- Reaproveitamento de materiais não-combustíveis como matéria prima para materiais de construção civil, materiais de cobertura de asfalto, sal industrial, entre outros;
- Alta viabilidade económica.

O grande demérito de centrais *waste-to-energy* é o baixo poder calorífico dos resíduos sólidos municipais comparados ao carvão mineral, biocombustíveis ou Urânio enriquecido. Contudo, as centrais *waste-to-energy* são muito atractivas dada alta viabilidade económica, assim como seus impactos ambientais são menos severos em relação as centrais térmicas na base de outros tipos de combustíveis.

Outra desvantagem comum entre as centrais térmicas é o facto de apresentarem baixa eficiência bem como solicitarem elevadas quantidades de água para arrefecimento [42, 45, 61, 63].

4.2 Centrais térmicas - Considerações gerais

Como foi dito anteriormente, as centrais térmicas têm como fluido de trabalho o vapor de água e o ciclo do mesmo é comum independentemente do combustível em utilização [7, 42, 35].

Assim sendo, existem inúmeros pontos comuns entre as centrais no que toca a sua classificação, configuração, assim como na análise de diversas variáveis aquando do planeamento das centrais eléctricas [42, 61].

4.2.1 Classificação de centrais térmicas

As centrais térmicas são basicamente classificadas de duas maneiras, nomeadamente:

- **Centrais térmicas não industriais:** nas quais a energia produzida destina-se a venda e geralmente à saída da turbina o fluido de trabalho é recuperado e ré-circulado no ciclo (são condensadores) [9].
- **Centrais térmicas industriais:** são geralmente operadas por companhias de manufactura para consumo interno onde a energia produzida geralmente não está disponível para venda assim como são geralmente não condensadoras [9].

Importa referir que as centrais térmicas condensadoras oferecem grandes vantagens uma vez que têm uma maior quantidade de energia extraída por unidade de vapor. Tal possibilita o desenvolvimento de maiores potências nas turbinas uma vez que o vapor liquefeito é ré-circulado pelo uso de bombas de circulação [9].

4.2.2 Configuração básica de uma central térmica

A configuração básica de uma central térmica está ilustrada na figura 8. São na figura destacados os elementos principais, ou seja, elementos directamente envolvidos no processo de transformação da energia química contida nos resíduos sólidos em energia eléctrica.

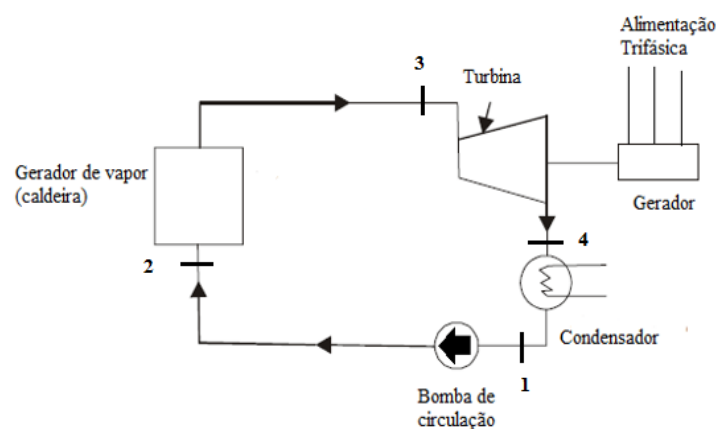


Figura 8: Configuração básica de uma central térmica [42].

Em princípio (ponto 1) a água entra como líquido saturado (a uma determinada temperatura e pressão prestes a iniciar o processo de transformação em vapor) e é comprimido até que atinja a pressão de operação da caldeira (ponto 2) [7, 9, 42, 61].

A caldeira é o elemento responsável pela produção de vapor. A mesma pode ser dividida em três estágios a saber: economizador (pré-aquecedor), aquecedor e super aquecedor. À saída da caldeira, a água de alimentação encontra-se completamente transformada em vapor superaquecido (ponto 3), assim sendo, o vapor de água tem neste ponto temperatura e pressão adequadas para a expansão na turbina a vapor [7, 9, 35, 42].

Entre os pontos 3 e 4 o vapor superaquecido expande na turbina e a energia potencial contida no vapor de água é transformada em energia mecânica de rotação na turbina, a qual, por sua vez é transformada em energia eléctrica [7, 9, 35, 42].

No ponto 4 (ponto de saída da turbina), o fluido de trabalho encontra-se ainda no estado gasoso. Contudo, a sua pressão e temperatura não são suficientes para continuar o processo de expansão. Desta forma, entre os pontos 4 e 1 o vapor é condensado para que seja possível a sua recirculação pelo uso de bombas [7, 9, 35, 42].

Desta forma, no processo de condensação é extraído calor (arrefecimento) do fluido a pressão constante. Daí, é necessário um fluido de arrefecimento externo (geralmente água). Por este motivo as centrais térmicas geralmente são localizadas junto a cursos de água uma vez que grandes quantidades de água são necessárias para o arrefecimento [7, 9, 35].

Contudo, em alguns países onde a escassez de água faz-se sentir, é utilizada a tecnologia “*dry cooling*” que significa arrefecimento a seco. Desta forma, nestas centrais o fluido de arrefecimento é o ar [7, 35, 42].

4.2.3 Desenvolvimento e projecto de centrais térmicas

Na concepção e desenvolvimento de uma central térmica, há importantes passos a seguir por forma a otimizar a selecção de parâmetros da mesma [35, 36, 58, 61].

Segundo Raja (2006), o *design* técnico satisfatório de uma central térmica consiste nos seguintes passos:

- i. Selecção do local;
- ii. Estimativa da capacidade da central;
- iii. Selecção das turbinas e respectivos dispositivos auxiliares;
- iv. Selecção de caldeiras e dispositivos auxiliares
- v. Projecto do sistema de manipulação de matéria prima;
- vi. Selecção do condensador
- vii. Projecto do sistema de arrefecimento;
- viii. Projecto do sistema de tubulação para vapor e água;
- ix. Selecção do gerador eléctrico;
- x. Projecto do sistema de controlo;
- xi. Projecto do *layout* da central.

4.3 Centrais *waste-to-energy*

A configuração básica de uma central *waste-to-energy* pode ser vista na figura 9. Na figura é apresentado o *layout* básico em diagrama de blocos. A partir da figura é possível notar que os resíduos sólidos são introduzidos no incinerador (caldeira) pelo qual passam tubos de água. Por conseguinte a água é transformada em vapor a temperaturas e pressões suficientemente altas para mover as pás das turbinas. Depois da incineração dos resíduos inicia o processo de tratamento de gases que é a parte mais longa do processo [2, 3, 5, 61, 63].

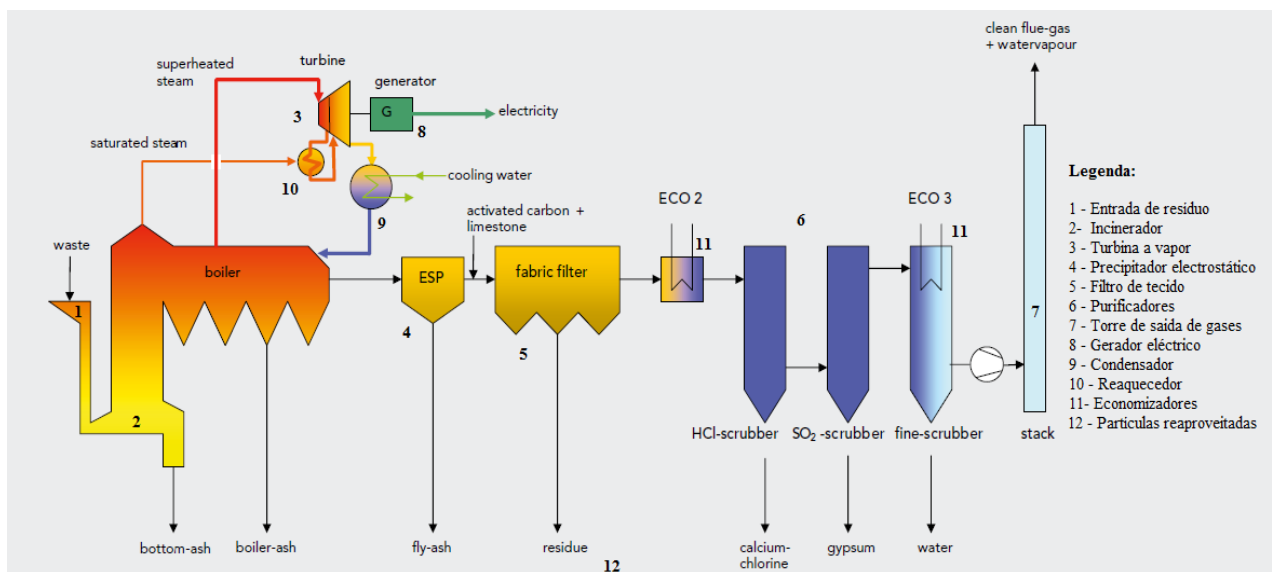


Figura 9: Diagrama de blocos de uma central "waste-to-energy" [2].

Como ilustrado na figura 9, feita a mistura dos resíduos sólidos no *waste bunker* (depósito de resíduos), os mesmos são continuamente transportados para o incinerador onde ocorre a queima. Pelo incinerador passam tubos de água através dos quais é feita a transferência de calor para o fluido de trabalho, transformando o mesmo em vapor. Tal vapor é submetido a expansão nas turbinas que accionam geradores eléctricos responsáveis pela transformação de energia mecânica em eléctrica [2, 25, 26, 59, 61, 63].

À saída do incinerador, os gases resultantes da combustão passam por um processo de purificação. Assim sendo, é utilizado um precipitador electrostático para remoção de cinzas. De seguida, partículas mais finas são removidas pelo filtro de tecido. Por fim, os gases são submetidos a um processo de purificação final. Como se pode notar, pela torre de saída de gases são apenas expelidos gases purificados e vapor de água, o que torna os impactos ambientais menos severos [2, 25, 59, 61].

A grande vantagem de centrais *waste-to-energy* é o reaproveitamento de diversos produtos de combustão como matéria prima para diversos materiais. Tal reaproveitamento aumenta a rentabilidade económica da central assim como possibilita a redução de impactos ambientais. Nota-se também que o calor dos gases purificados pode ser aproveitado para pré-aquecer a água de alimentação o que aumenta significativamente a eficiência da central [2, 25, 26, 59, 61, 63].

4.3.1 Circuitos de uma central *waste-to-energy*

Nas centrais térmicas não apenas é registado fluxo do fluido de trabalho. Como já referenciado anteriormente as centrais térmicas necessitam de água de arrefecimento, ar para combustão, combustível (resíduos sólidos neste caso), gás para ignição. Estas centrais, devido a queima de grandes quantidades de combustível geram também consideráveis quantidades de cinzas [2, 9, 28, 63].

Assim sendo, torna-se importante a gestão adequada de todos os sistemas principais e auxiliares de uma central térmica, visando flexibilizar a operação e manutenção das instalações. Para o efeito, a central é dividida em circuitos [9, 35, 38, 61].

No caso particular de uma central *waste-to-energy* destacam-se os seguintes circuitos:

- Circuito de resíduos sólidos e cinzas;
- Circuito de água de alimentação e vapor;

- Circuito de água de arrefecimento;
- Circuito de ar e gases.

4.3.2 Elementos principais de uma central waste-to-energy

A seguir são apresentadas as diversas características dos principais elementos de uma central *waste-to-energy*.

4.3.2.1 Incinerador

O incinerador é um dos elementos mais importantes de uma central *waste-to-energy*. Neste, ocorre a queima dos resíduos sólidos numa grelha que pode ser fixa ou móvel (horizontal ou oblíqua). Pelo incinerador passam tubos de água contendo o fluido de trabalho e é no mesmo que esta água é transformada em vapor (mecanismo similar às caldeiras *water tube boilers* utilizadas nas centrais a carvão) [2, 45, 46].

A tecnologia actual baseia-se no uso de incineradores com grelha horizontal equipada com um sistema de arrefecimento a água. O sistema de arrefecimento é de extrema importância uma vez que impede a danificação (queima) da grelha, assim como permite a queima segura de materiais com elevado poder calorífico (tal como alguns resíduos industriais). Conclui-se então que este sistema de arrefecimento permite prolongar o tempo de vida do incinerador [2, 59, 61].

Outro aspecto importante a considerar é o facto de o sistema de arrefecimento da grelha estar conectado ao ciclo de vapor, ou seja, o fluido de arrefecimento da grelha é também o fluido de trabalho, permitindo assim um ganho económico considerável [2].

Para maximizar a eficiência do processo de combustão, ar comprimido é introduzido no incinerador. A quantidade de ar necessária varia geralmente entre 4000 e 6000 m³ por tonelada de resíduos sólidos [2, 61].

A figura 10, possibilita obter uma visão geral dos elementos do incinerador de grelha horizontal e seus sistemas auxiliares.

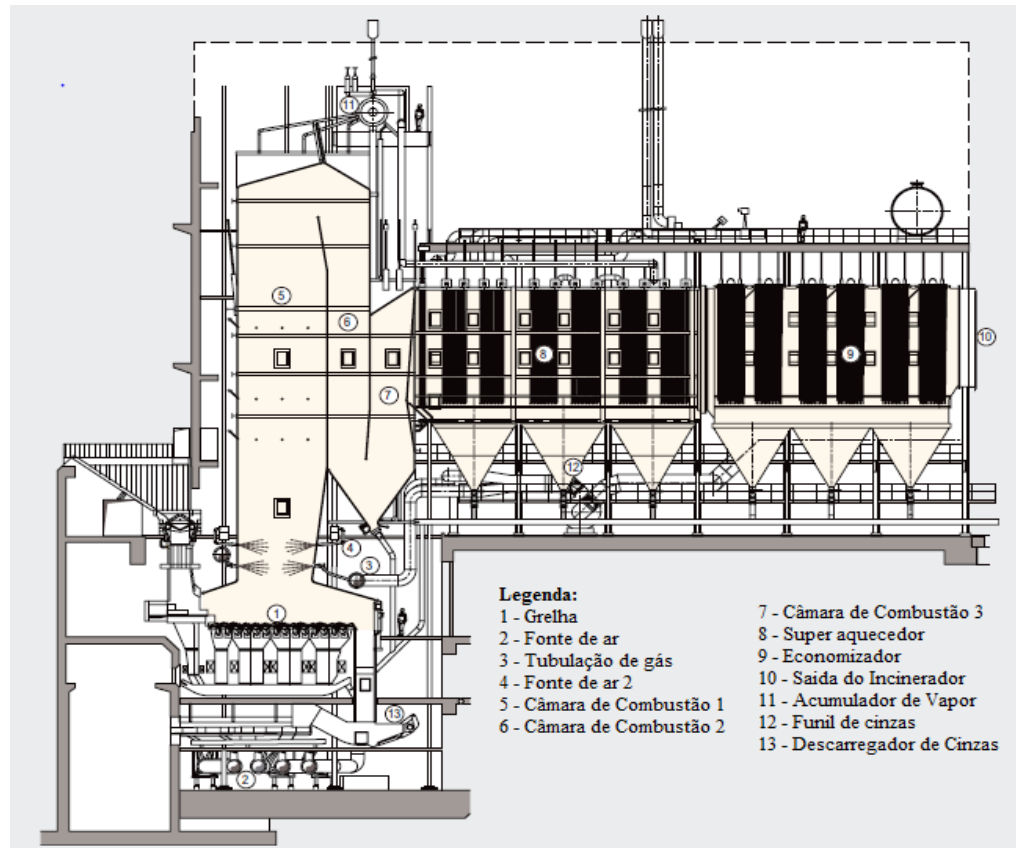


Figura 10: Vista em corte do incinerador e seus sistemas auxiliares [2].

4.3.2.2 Turbina a vapor

A turbina é a máquina responsável pela transformação da energia potencial contida no vapor em energia cinética, e esta por sua vez em energia mecânica de rotação. Para tal, ocorre nesta máquina a expansão do vapor de altas para baixas pressões criando assim um movimento rotacional na turbina [9, 11, 36, 42, 45, 47, 48].

Desta forma, constata-se que a turbina é uma máquina de extrema importância visto que funciona, para o caso de centrais eléctricas, como máquina primária a partir da qual o gerador eléctrico transforma energia mecânica de rotação em energia eléctrica [9, 11, 61].

A utilização de turbinas a vapor traz consigo grandes vantagens [7, 42]. As mesmas são apresentadas a seguir:

- Pequeno espaço ocupado;
- Fundações pouco exigentes;
- Pequena necessidade de óleo de lubrificação;

- Baixo custo de manutenção;
- Excelente regulação;
- Possibilidade de construção de unidades com alta potência;
- Capacidade de expandir até baixas pressões e de operar a elevadas temperaturas.

A classificação das turbinas a vapor pode ser feita atendendo a variados critérios, contudo, o critério mais importante e comum é segundo a acção do vapor sobre as pás [7, 9, 42, 45].

Segundo este critério as turbinas podem ser:

– ***Turbina de impulso***

Neste tipo de turbina, a pressão do fluido de trabalho não altera enquanto este se move sobre as pás das turbinas [9, 42, 45].

– ***Turbina de reacção***

Neste tipo de turbina o fluido de trabalho expande-se continuamente ao longo das pás das mesmas. Devido ao aumento do volume do vapor a baixas pressões o diâmetro da turbina aumenta a cada estágio. Nestas turbinas, a força de reacção opera num sentido contrário a fluxo do fluido de trabalho [9, 42, 45].

– ***Turbina de impulso e reacção***

Na prática as turbinas comerciais são uma combinação de turbinas de impulso e turbinas de reacção. Desta forma é possível incrementar a eficiência uma vez que é extraída maior quantidade de energia por unidade de vapor [9, 42, 45]. Desta forma, o projecto considera a utilização de turbinas de impulso e de reacção.

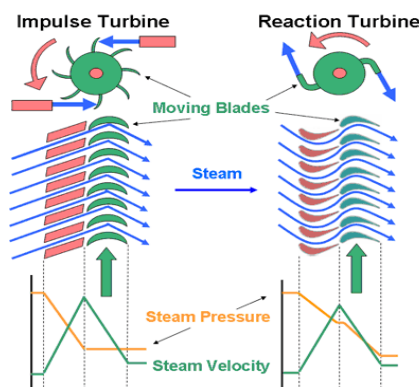


Figura 11: Ilustração do funcionamento de turbinas de impulso e de reacção [9].

4.3.2.3 Condensador

O dicionário de língua portuguesa da Porto Editora, 2015 define condensador como “aparelho que se destina a fazer passar vapor ou um gás ao estado líquido”.

Por outras palavras, o condensador é o dispositivo responsável pela extração de calor do vapor à saída da turbina e transformação do mesmo em água, permitindo assim a recirculação do fluido de trabalho. Tal significa que o condensador recebe calor do último estágio da turbina e o transforma em água para alimentação da caldeira [9, 42, 61].

Desta forma, duas grandes vantagens podem ser apontadas na utilização de condensadores: aumento da eficiência térmica da instalação e maior produção de trabalho por unidade de vapor [9, 7].

Existem basicamente dois tipos de condensadores: *condensador de injeção* e *condensador de superfície* [9, 37, 42, 61].

Nos condensadores de injeção o vapor saturado à saída da turbina é misturado com a água de arrefecimento, causando uma condensação rápida, desta forma, à saída do condensador a temperatura do fluido de alimentação e do fluido de arrefecimento é a mesma [37, 61].

Nota-se então, que o fluido resultante da condensação por injeção deve passar por um processo de tratamento antes da entrada na caldeira, facto que pode encarecer os projectos [9, 37, 61].

Nos condensadores de superfície não há contacto directo entre a água de alimentação e a água de arrefecimento. Assim sendo, neste tipo de condensador é possível a utilização de água com elevado teor de impurezas para o arrefecimento [9, 35].

As grandes vantagens dos condensadores de superfície residem em:

- Melhoria da eficiência da planta;
- Baixo consumo de energia;
- O condensado pode ser directamente recirculado.

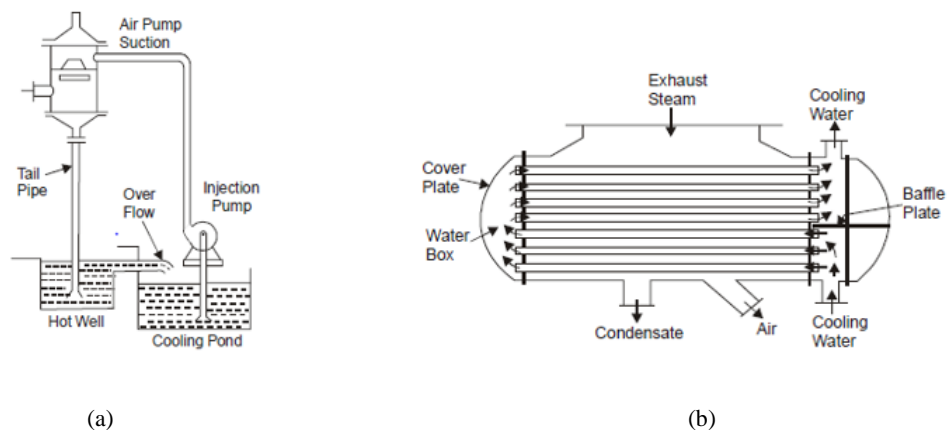


Figura 12: (a) Condensador de injeção (b) condensador de superfície [42].

4.3.2.4 Bombas de circulação

Estas têm um papel vital nas centrais térmicas, garantindo um fluxo contínuo do fluido de trabalho, participando também, de forma indirecta, na regulação da temperatura e pressão do sistema. Estas garantem também o caudal desejado no sistema [9, 11, 61].

Além de permitir a circulação do fluido de trabalho as bombas são aplicadas para outros fins, tais como: *serviços gerais da central, movimento do fluido de arrefecimento e lubrificação dos equipamentos* [61].

As bombas são basicamente motores eléctricos munidos de um mecanismo de circulação de fluidos. É sempre aconselhável, por motivos de operação e manutenção, que o número de unidades de bombeamento seja superior a um. Contudo, o grau de confiabilidade das bombas tem crescido ao longo dos tempos, o que possibilita reduzir o número de unidades de bombeamento, sem que as actividades de manutenção impliquem paragem parcial ou total da central [9, 35, 42].

4.3.2.5 Sistemas de tratamento de gases e reaproveitamento de produtos

As centrais *waste-to-energy* têm a grande vantagem de recuperar vários materiais que podem servir de matéria prima para diversos produtos de grande utilização [2, 54].

A figura 9 apresenta os diversos produtos que podem ser recolhidos nos diversos estágios do processo de incineração dos resíduos sólidos municipais.

Neste processo, apenas é descartado material proveniente do filtro de tecido, portanto, uma pequena porção dos materiais de entrada [2, 54].

Os principais elementos envolvidos no tratamento de gases de combustão são:

- **Precipitador Electrostático:**

Este dispositivo é colocado a saída da caldeira e tem a função de forçar a queda de partículas presentes nos gases de combustão (*fly-ash*) [2].

O precipitador electrostático é constituído por dois eléctrodos com uma elevada tensão contínua entre os mesmos. Esta tensão faz com que as partículas fiquem carregadas negativamente o que faz com que sejam atraídas por um eléctrodo carregado positivamente presente no sistema [2].

- **Filtro de Tecido:**

Este dispositivo é colocado após o precipitador electrostático. Antes da entrada dos gases no mesmo, é inserida uma mistura de Carbono e Calcário de forma a assegurar a separação efectiva de metais pesados e dioxinas. Este filtro é basicamente constituído por material têxtil e a remoção das partículas por ele captadas pode ser feita por introdução de correntes de ar ou movimentando a carcaça do filtro [2, 59].

- **Purificadores:**

Após o filtro de tecido encontram-se purificadores dos quais são extraídos produtos de grande utilidade, assim como servem de economizadores para a água de alimentação. Geralmente são colocados três purificadores dos quais se extrai sal industrial, gesso e água. Esta água é utilizada para compensar perdas de água ocorridas por evaporação ou devido a fugas na central, o que representa um grande ganho económico [2, 59]

Desta forma, são recuperados variados materiais de grande utilidade para diversos produtos e processos, tais como:

- **Cinzas do incinerador (*bottom ash*):** após a incineração os materiais inertes são acumulados no fundo do incinerador. Estes, submetidos a um processo de tratamento adequado, podem ser reaproveitados para fabricação de tijolos e de concreto de alta qualidade. Neste processo também podem ser recuperados alguns metais como alumínio e cobre, que são de grande importância para a indústria produtiva [2, 28, 30].

- **Cinzas “flutuantes” (*fly-ash*):** estas partículas são removidas do precipitador electrostático e transformadas em material de cobertura de asfalto [2, 5].
- **Sal industrial:** do primeiro purificador é extraído Cloreto de Cálcio que é um material largamente utilizado na indústria química [2, 5, 59].
- **Gesso:** este é retirado do segundo purificador e é largamente utilizado para produção de materiais de construção, blocos de gesso e paredes de gesso cortinado [2, 5].
- **Água:** no terceiro purificador é extraída água que serve para compensar perdas de água ocorridas ao longo do fluxo do fluido de trabalho, o que torna as centrais *waste-to-energy* centrais mais atractivas e amigáveis ao ambiente [2, 26].

4.3.2.6 Gerador eléctrico

É uma máquina fundamental numa central eléctrica sendo responsável por converter a energia mecânica de rotação da turbina a vapor em energia eléctrica [1, 2, 8, 9].

É uma máquina eléctrica rotativa cujo funcionamento baseia-se na lei de indução de Faraday segundo a qual, *a força electromotriz em qualquer circuito fechado é igual ao negativo da variação temporal do fluxo magnético na área delimitada pelo circuito* [8, 35, 61].

Existem basicamente dois tipos de máquinas síncronas:

- **Máquinas de pólos salientes:** estas desenvolvem menores velocidades e são utilizadas nas centrais hidroeléctricas. Têm geralmente um pequeno comprimento e raios elevados sendo também montados na maioria das vezes de forma vertical em relação ao eixo [42, 51, 61, 65].
- **Máquina de pólos lisos:** estas desenvolvem velocidades maiores e são utilizadas nas centrais térmicas e centrais a gás. Têm geralmente elevado comprimento e raios menores sendo na maior parte das vezes montados de forma horizontal em relação ao eixo [42, 51, 61, 65].

4.4 Conversão de Energia: Princípios termodinâmicos

A termodinâmica é conhecida como “*ciência da energia*”. Esta ciência cobre vários princípios e leis que descrevem a conversão de uma forma de energia para outra. Importa então descrever os

sistemas termodinâmicos com vista a facilitar a análise dos processos de conversão de energia. No contexto termodinâmico um sistema corresponde a uma determinada quantidade de matéria ou uma região do espaço selecionada para a análise, na qual os processos de conversão de energia têm lugar [2, 7, 9, 35, 42, 45].

Um sistema termodinâmico é delimitado por uma linha imaginária que o separa da **vizinhança** (matéria ou região fora da região em estudo). Esta linha imaginária recebe o nome de **fronteira**. Existem dois tipos de sistemas termodinâmicos: **aberto** e **fechado**. Um sistema termodinâmico é considerado aberto se é verificada a troca de matéria e de energia com o meio externo (vizinhança). Num sistema termodinâmico fechado apenas ocorre troca de energia com a vizinhança, não havendo possibilidade de troca de matéria [9, 27, 35, 42, 45].

O presente estudo de processos termodinâmicos é baseado em duas leis, a saber: **a primeira lei da termodinâmica** e **a segunda lei da termodinâmica**.

A primeira lei da termodinâmica, também conhecida como “*lei de conservação de energia*” estabelece que “*num processo cíclico, a energia não pode ser criada ou desperdiçada, apenas muda de forma, assim, a quantidade de calor injectada no sistema é proporcional ao trabalho desenvolvido pelo sistema*” [27, 42, 45].

$$\Sigma Q \sim \Sigma W \tag{1}$$

Onde:

Q - Calor fornecido ao sistema;

W - Trabalho realizado pelo sistema.

Desta lei surge outra propriedade de extrema importância chamada **energia interna** e denotada por U. Qualquer alteração no seu valor representa a diferença entre o calor fornecido ao sistema e o trabalho realizado pelo mesmo [27, 35, 42, 45].

De uma forma geral a segunda lei da termodinâmica estabelece que num processo cíclico alguma parte do calor é sempre rejeitado. O enunciado de Clausius estabelece que “***o calor não pode fluir, de forma espontânea, de um corpo de temperatura menor para outro de temperatura mais alta***” [37, 42, 45, 53].

Outras propriedades termodinâmicas de extrema importância para a análise de centrais eléctricas são a **entropia** e a **entalpia**. A entropia (S) representa a quantidade de calor que não pode ser

convertida em trabalho mecânico, e é comumente denominado “grau de desordem” de um sistema termodinâmico. Daí que qualquer aumento na entropia representa perda de disponibilidade de energia para realização de trabalho útil. Já a entalpia (H) representa a quantidade de calor presente nos processos termodinâmicos [9, 45, 53].

4.5 Modelagem matemática de centrais térmicas: O ciclo de Rankine

4.5.1 Ciclo ideal de Rankine

O gráfico da figura 13 representa o diagrama T-s (temperatura vs entropia) do diagrama ilustrado na figura 8. O ponto 4.2.2 faz uma explanação clara dos processos envolvidos no ciclo de Rankine.

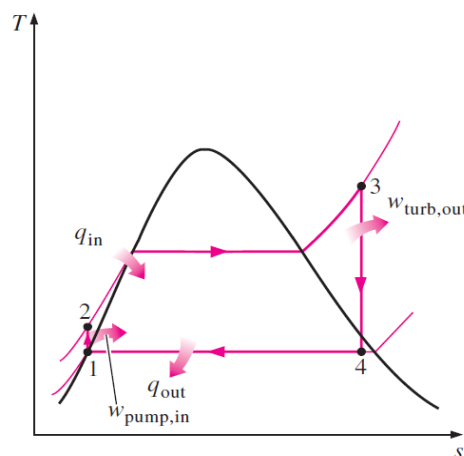


Figura 13:Diagrama T-s do ciclo de Rankine [7].

A figura 13 representa um ciclo ideal de Rankine, isto é, os processos de compressão e expansão na bomba e na turbina são isentrópicos (entropia constante) bem como a fricção do fluido de trabalho e as perdas de calor durante o ciclo são desprezíveis [7, 42, 53].

Os seguintes processos estão envolvidos no ciclo:

- ✚ 1 – 2 Compressão isentrópica na bomba;
- ✚ 2 – 3 Adição de calor a pressão constante na caldeira;
- ✚ 3 – 4 Expansão isentrópica na turbina;
- ✚ 4 – 1 Rejeição de calor a pressão constante no condensador.

As seguintes equações são envolvidas no ciclo ideal de Rankine:

Trabalho de bombagem:

$$w_{pump,in} = h_2 - h_1 \quad (2)$$

ou

$$w_{pump,in} = v(P_2 - P_1) \quad (3)$$

onde $h_1 = h_{f@P_1}$ e $v \cong v_1 = v_{f@P_1}$

Calor fornecido pela caldeira:

$$q_{in} = h_3 - h_2 \quad (4)$$

Trabalho realizado pela turbina:

$$w_{turb,out} = h_3 - h_4 \quad (5)$$

Calor rejeitado pelo condensador:

$$q_{out} = h_4 - h_1 \quad (6)$$

Eficiência térmica do ciclo:

$$\eta = \frac{w_{net}}{q_{in}} = \frac{w_{turb,out} - w_{pump,in}}{q_{in}} \quad (7)$$

Especificação das variáveis:

h - Entalpia [kJ/kg]

v - Volume específico [m³/kg]

P - Pressão do fluido (kPa)

q - Calor (kJ/kg)

w - Trabalho realizado (kJ/kg)

η - Eficiência (%)

4.5.2 Ciclo real de Rankine

No ciclo real de Rankine consideram-se as eficiências da turbina bem como da bomba. Desta forma, os processos de expansão e de compressão não são isentrópicos. Consideram-se também perdas por fricção e evaporação do fluido de trabalho nos diversos estágios do ciclo de potência da central [7, 9, 45, 53].

Desta forma são calculadas as eficiências da caldeira e da bomba, considerando-se que a turbina desenvolve menos potência e a bomba consome mais potência [7, 45, 53].

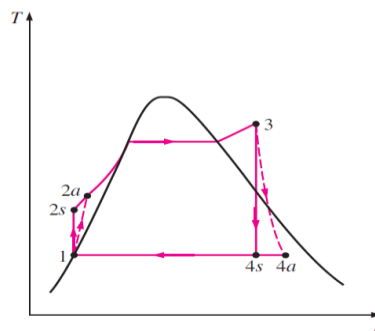


Figura 14: Ciclo Real de Rankine [7].

$$\eta_p = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \quad (8)$$

$$\eta_t = \frac{h_3 - h_{4a}}{h_3 - h_{4s}} \quad (9)$$

As centrais térmicas são caracterizadas por ter baixa eficiência, geralmente situada entre 20 a 30% para uma central com ciclo simples. Contudo, existem alguns métodos para aumentar a eficiência de centrais eléctricas [7, 27, 35, 42, 45].

Geralmente são utilizados os seguintes métodos:

- **Redução da pressão do condensador** - implica menor rejeição de calor;
- **Aumento da temperatura de sobreaquecimento** - aumenta o trabalho desenvolvido pela turbina, contudo não deve ser demasiadamente elevada devido as características construtivas das máquinas;
- **Aumento da pressão da caldeira** - com o aumento da pressão da caldeira, aumenta também a temperatura do vapor;

- **Reaquecimento** - durante a expansão o fluido de trabalho é removido da turbina e reaquecido para possibilitar maior produção de trabalho por unidade de vapor;
- **Regeneração** - durante a expansão o fluido de trabalho é removido da turbina e recirculado para a caldeira, o que permite alimentar à caldeira a uma temperatura mais elevada reduzindo assim o calor a ser fornecido à caldeira.

4.5.3 Ciclo de Rankine com reaquecimento

As centrais *waste-to-energy* são geralmente operadas com ciclo de Rankine com reaquecimento. O princípio do ciclo com reaquecimento consiste basicamente em expandir o vapor em dois ou mais estágios, contudo, entre os estágios o fluido de trabalho retorna à caldeira e é reaquecido e depois volta à turbina [2, 7, 27, 53].

A figura 14 apresenta um diagrama de blocos e um diagrama T-s de uma central com um estágio de reaquecimento.

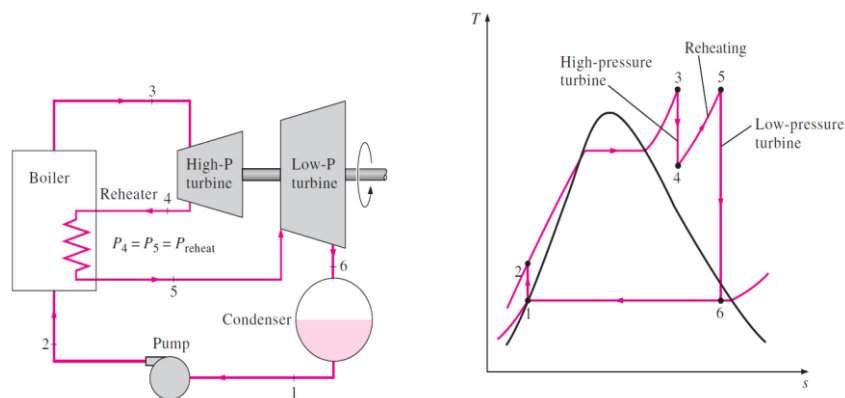


Figura 15: Ciclo de Rankine com reaquecimento [7].

4.6 Estudo económico de centrais eléctricas

A economia é um dos factores mais preponderantes no projecto de centrais eléctricas. O estudo económico de centrais eléctricas tem como objectivo principal a minimização do custo final de energia eléctrica fornecida aos consumidores, ou seja, assegurar que o consumidor utilize energia eléctrica ao preço mais baixo possível [14, 21, 35, 38, 42, 63].

A tarifa energética depende dos custos totais de produção de energia assim como os custos de transmissão da mesma. Os encargos totais de produção de energia são divididos em custos fixos

e custos variáveis. Os custos fixos incluem o capital inicial, taxas de exploração, seguros e gestão. Já os encargos variáveis são os de operação e manutenção que incluem os custos de combustível, reparação de avarias, armazenagem e supervisão [14, 38, 42, 63].

Algumas medidas para redução dos custos são:

- Selecção de equipamento com elevado tempo de vida útil;
- Operação com elevado factor de carga;
- Aumento da eficiência da central;
- Manutenção adequada;
- Simplificação do projecto da central.

A capacidade de uma central é determinante nos custos da mesma. Assim sendo, os factores determinantes na capacidade da central são também determinantes nos custos. Por isso, o estudo económico de centrais envolve o estudo destes factores [38, 42, 63].

4.6.1 Factor de carga

É a razão entre a carga média e a carga máxima de um sistema durante um período de tempo especificado. É recomendável que este tenha sempre o valor mais alto possível (próximo de 1), como forma de reduzir a tarifa energética, uma vez que o elevado valor possibilita obter maior flexibilidade na operação das centrais e menor número de centrais de pico [35, 38, 42].

4.6.2 Factor de utilização

É a razão entre a quantidade de energia gerada anualmente e a capacidade instalada na central eléctrica em estudo [35, 38, 42].

4.6.3 Factor de demanda

É a razão entre a demanda máxima da central e a carga a ele conectada [35, 38, 42].

4.6.4 Factor de capacidade

É a razão entre a demanda média de uma central e a máxima capacidade instalada na central [35, 38, 42].

4.6.5 Factor de diversidade

É a razão entre a soma das máximas demandas individuais e a demanda máxima da central eléctrica [35, 38, 42].

4.6.7 Curva de carga

É uma curva ilustrativa da variação da carga num sistema em função do tempo. O estudo desta característica pressupõe a definição de um intervalo de tempo para o estudo [35, 38, 42].

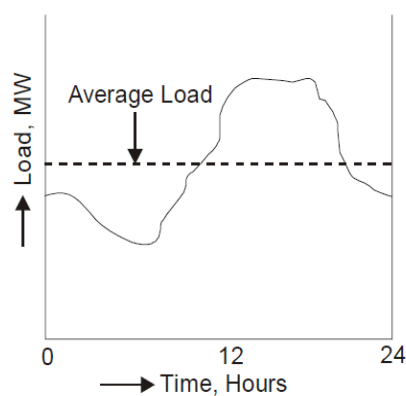


Figura 16: Curva de carga [42]

4.6.8 Curva de duração de carga

Nesta curva as cargas são organizadas de forma descendente (em termos de magnitude) durante o intervalo de tempo especificado [35, 38, 42].

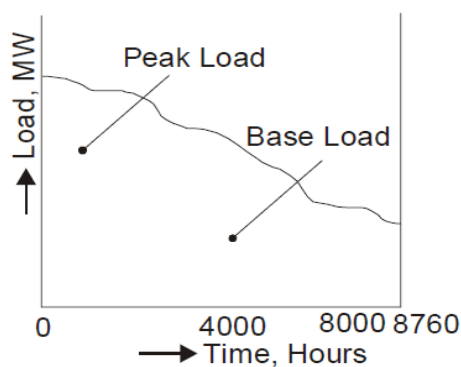


Figura 17: Curva de duração de carga [42]

CAPÍTULO 5 – DIMENSIONAMENTO DA CENTRAL TÉRMICA

5.1 Introdução

O dimensionamento da central consiste basicamente na determinação da sua capacidade em potência [7, 26, 42, 45]. Por outro lado, é importante especificar nesta fase as características dos diversos equipamentos da central tendo em conta a potência obtida pelo cálculo. Desta forma torna-se necessário conhecer as características químicas e físicas dos resíduos sólidos já mencionados [2, 21, 54, 63].

Por outro lado, importa referir que outros factores cruciais na determinação da capacidade de uma central são a curva de carga e a demanda prevista para o futuro [7, 38].

5.2 Selecção do local de implantação da central em estudo

A localização seleccionada para a instalação da central em estudo é indicada na figura 18, tendo uma área correspondente de cerca de 176421 m².

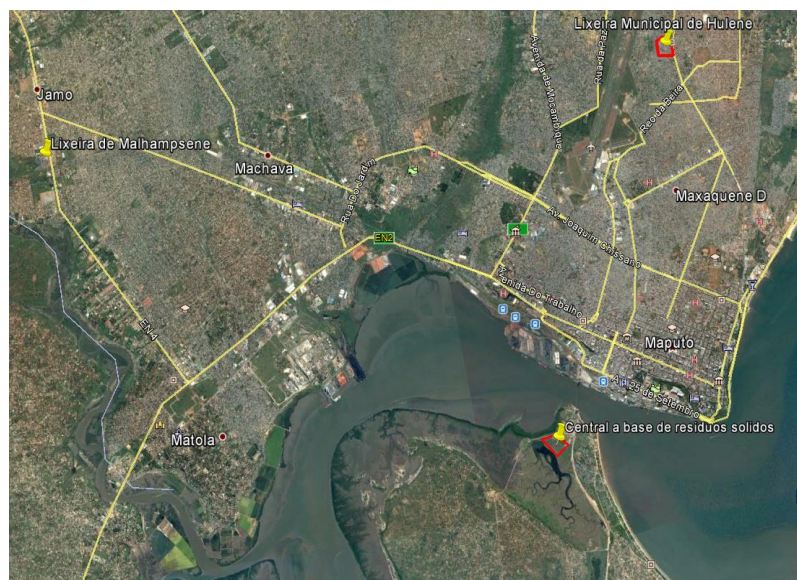


Figura 18: Local de implantação da central [Fonte: Google Earth]

A selecção do local para implantação de uma central *waste-to-energy* depende de vários factores, entre os quais: disponibilidade de mão-de-obra, tamanho da central, localização dos centros de carga, problemas públicos, possibilidade de expansão futura, disponibilidade de geradores de

resíduos sólidos, disponibilidade de água de arrefecimento, natureza da terra bem como da infraestrutura de transporte de matéria prima [25, 38, 42].

Neste caso, os factores determinantes para a localização da central foram a disponibilidade de água de arrefecimento, localização dos centros de carga, bem como a disponibilidade de geradores de resíduos sólidos. Note-se que a localização proposta é próxima a região mais populosa dos municípios de Maputo e Matola, regiões estas que produzem mais resíduos, o que permite economizar recursos de transporte de matéria prima.

Outra grande valia prende-se ao facto de esta localizar-se junto a um curso de água assim como junto aos maiores centros de carga da região Sul de Moçambique. Note-se também que a região da Katembe irá registar uma explosão demográfica nos próximos anos, tornando-se também um centro de resíduos sólidos, assim como um grande centro de carga.

5.3 Poder calorífico dos resíduos sólidos

O processo de determinação do poder calorífico de resíduos sólidos municipais envolve processos estatísticos complexos. Contudo, os diversos catálogos técnicos assim como manuais sobre resíduos sólidos e centrais *waste-to-energy* estimam que o poder calorífico dos resíduos sólidos municipais é de 10 MJ/kg [2, 3, 6, 26, 49, 63].

O poder calorífico de alguns dos resíduos sólidos apresentados no capítulo 3 podem ser consultados na tabela 3. Na tabela, os resíduos considerados incombustíveis (vidro e metal) não são colocados.

Tabela 3: Poder calorífico dos resíduos sólidos [6].

Resíduo	Poder calorífico (KJ/kg)
Papelão	16872,8
Borracha	28386,5
Plástico	26376,8
Material Orgânico	5484,7

5.4 Cálculo da potência eléctrica da central

A potência eléctrica produzida numa central (térmica) depende em grande parte da quantidade de combustível introduzida na mesma [45, 61]. Tratando-se de resíduos sólidos importa avaliar a energia térmica possível de gerar num intervalo de tempo definido.

5.4.1 Avaliação do potencial de produção de calor

A avaliação do potencial de produção de calor é feita com base na quantidade de resíduos sólidos que podem ser inseridos no incinerador.

Como apurado no capítulo 3, as cidades de Maputo e Matola têm uma capacidade combinada de recolha de resíduos de 1750 toneladas por dia. Apurou-se também que nos arredores (distritos de Marracuene, Matutuine e Boane) é estimada uma capacidade combinada de 208 toneladas diárias. Contudo, a provável data de início de operação será o ano de 2019, no qual a região de estudo tem estimada uma população de 2921385 habitantes. Assim sendo é considerado um índice de geração per capita de 0,85 e uma faixa de contingência de 15% o que perfaz uma quantidade de cerca 2110,73 toneladas diárias (87,947 toneladas por hora).

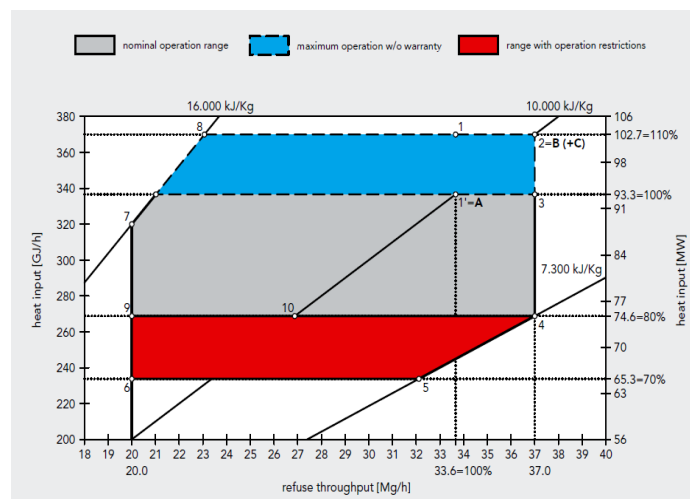


Figura 19: Variação entre quantidade de resíduos inserida, potência térmica de entrada e poder calorífico [2].

O gráfico da figura 19, fornecido pela empresa holandesa Afval possibilita estimar o calor fornecido pelos resíduos para cada linha de combustão (considerando duas linhas). No ponto “A” considera-se (para 10 MJ/kg) uma introdução de 102 toneladas por hora, representando uma relação linear.

É então possível avaliar a capacidade térmica da central em estudo utilizando proporcionalidade directa.

$$P_{t@87,947\text{ton/h}} = \frac{87,947 \frac{\text{ton}}{\text{h}} \times 93,3 \text{ MW}}{102 \frac{\text{ton}}{\text{h}}} = 80,45 \text{ MW}$$

Assim sendo, para duas linhas de incineração a capacidade térmica geral da central será o dobro do valor encontrado, ou seja, 160,9 MW.

5.4.2 Simulação computacional

A simulação computacional da central foi executada no programa *Engineering Equations Solver (EES)* na sua versão demonstrativa. Este programa possibilita escrever códigos para representar problemas matemáticos (em linguagem própria), desenvolver diagramas bem como plotar curvas características de fluidos [7, 18].

Para o projecto em epígrafe as seguintes condições são consideradas:

- Ciclo de Rankine real com um estágio de reaquecimento;
- O calor é rejeitado a uma pressão de 3 kPa;
- O calor é fornecido a pressões de 13000 e 1400 kPa pela caldeira e pelo reaquecedor, respectivamente;
- Temperatura de sobreaquecimento nos dois estágios igual a 480°;
- Eficiência isentrópica da bomba e da turbina são, respectivamente, 0,95 e 0,85.

Os parâmetros foram escolhidos com base em recomendações deixadas pelos fabricantes de equipamento e operadores de centrais *waste-to-energy*. Nota-se também que em catálogos de fabricantes, os parâmetros de turbinas para estas centrais são similares aos adoptados [2, 49].

O código desenvolvido pelo autor do projecto é apresentado nas figuras 20, 21 e 22.

```

Equations Window
"Input Data - from diagram window. "
P[6] = 3 [kPa]
P[3] = 13000 [kPa]
T[3] = 480 [C]
P[4] = 1400 [kPa]
T[5] = 480 [C]
Eta_t = 0,85
Eta_p = 0,95

$UnitSystem SI C kPa kJ
$TabStops 0,2 3,5 in

function x6$(x6) "Estado do fluido a saída do condensador"
x6$="
if (x6>1) then x6$="(superheated)"
if (x6<0) then x6$="(subcooled)"
end
    
```

Figura 20: Definição de variáveis e dos seus valores na tabela de equações do EES.

```

"Bomba"
P[1] = P[6]
P[2]=P[3]
x[1]=0
h[1]=enthalpy(STEAM,P=P[1],x=x[1])
v[1]=volume(STEAM,P=P[1],x=x[1])
s[1]=entropy(STEAM,P=P[1],x=x[1])
T[1]=temperature(STEAM,P=P[1],x=x[1])
W_p_s=v[1]*(P[2]-P[1])
W_p=W_p_s/Eta_p
h[2]=h[1]+W_p
v[2]=volume(STEAM,P=P[2],h=h[2])
s[2]=entropy(STEAM,P=P[2],h=h[2])
T[2]=temperature(STEAM,P=P[2],h=h[2])

"Turbina de alta pressão"
h[3]=enthalpy(STEAM,T=T[3],P=P[3])
s[3]=entropy(STEAM,T=T[3],P=P[3])
v[3]=volume(STEAM,T=T[3],P=P[3])
s_s[4]=s[3]
hs[4]=enthalpy(STEAM,s=s_s[4],P=P[4])
Ts[4]=temperature(STEAM,s=s_s[4],P=P[4])
Eta_t=(h[3]-h[4])/(h[3]-hs[4])
T[4]=temperature(STEAM,P=P[4],h=h[4])
s[4]=entropy(STEAM,T=T[4],P=P[4])
v[4]=volume(STEAM,s=s[4],P=P[4])
h[3] =W_t_hp+h[4]
    
```

Figura 21: Inserção das equações da bomba e da turbina de alta pressão na tabela de equações do EES.

```

"Turbina de baixa pressão"
P[5]=P[4]
s[5]=entropy(STEAM,T=T[5],P=P[5])
h[5]=enthalpy(STEAM,T=T[5],P=P[5])
s_s[6]=s[5]
hs[6]=enthalpy(STEAM,s=s_s[6],P=P[6])
Ts[6]=temperature(STEAM,s=s_s[6],P=P[6])
vs[6]=volume(STEAM,s=s_s[6],P=P[6])
Eta_t=(h[5]-h[6])/(h[5]-hs[6])
h[5]=W_t_lp+h[6]
x[6]=QUALITY(STEAM,h=h[6],P=P[6])

"Caldeira"
Q_in + h[2]+h[4]=h[3]+h[5]

"Condenser analysis"
h[6]=Q_out+h[1]
T[6]=temperature("steam",h=h[6],P=P[6])
s[6]=entropy("steam",h=h[6],P=P[6])
x6s$=x6$(x[6])

"Eficiência"
W_net=W_t_hp+W_t_lp-W_p
Eff=W_net/Q_in
    
```

Figura 22: Inserção das equações da turbina de baixa pressão, caldeira, condensador e eficiência na tabela de equações do EES.

5.4.3 Resultados da simulação em EES

Escrito o programa em EES, o mesmo foi executado e suas soluções foram exibidas na janela de soluções apresentada na figura 23. Esta janela de soluções exibe a eficiência térmica do ciclo (Eff), o calor fornecido na caldeira (Q_{in}), o calor rejeitado no condensador (Q_{out}), o trabalho realizado pela bomba ($W_{p,s}$), o trabalho realizado pelas turbinas de alta e baixa pressão ($W_{t,hp}$ e $W_{t,lp}$) o trabalho útil do ciclo (W_{net}).

As entalpias e entropias de cada ponto não são apresentadas na janela de soluções visto que para o problema em estudo importa apenas conhecer o trabalho realizado por cada elemento com vista a avaliar a potência da central eléctrica.

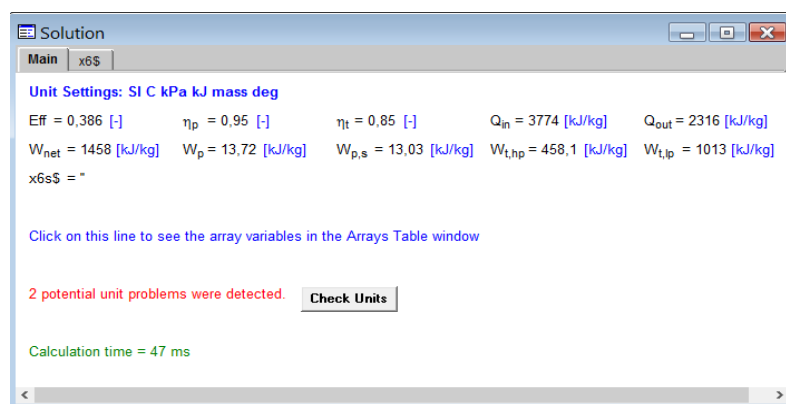


Figura 23: Janela de soluções do EES

Como mencionado anteriormente, o programa EES permite também fazer a análise de ciclos de potência na forma gráfica. Isto é, o programa permite desenvolver e editar modelos de centrais de forma gráfica.

Tal pode ser constatado na figura 24. Os caracteres de cor azul representam os dados de entrada ao passo que os de cor vermelha representam os resultados. A grande vantagem da janela de diagrama (*Diagram Window*) é o facto de os dados poderem ser alterados com facilidade assim como o facto de os resultados poderem ser apresentados de imediato.

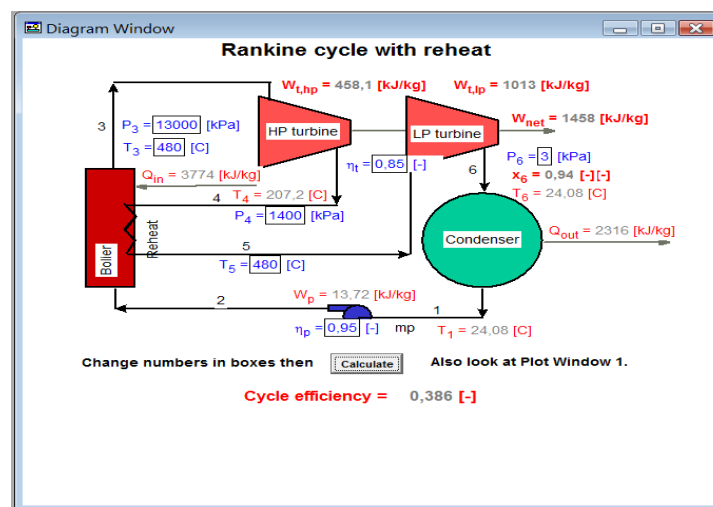


Figura 24: Janela de resultados no EES.

O diagrama T-s para o ciclo em estudo pode ser visto na figura 25. O mesmo foi plotado no programa EES e nele estão representados todos os pontos do ciclo.

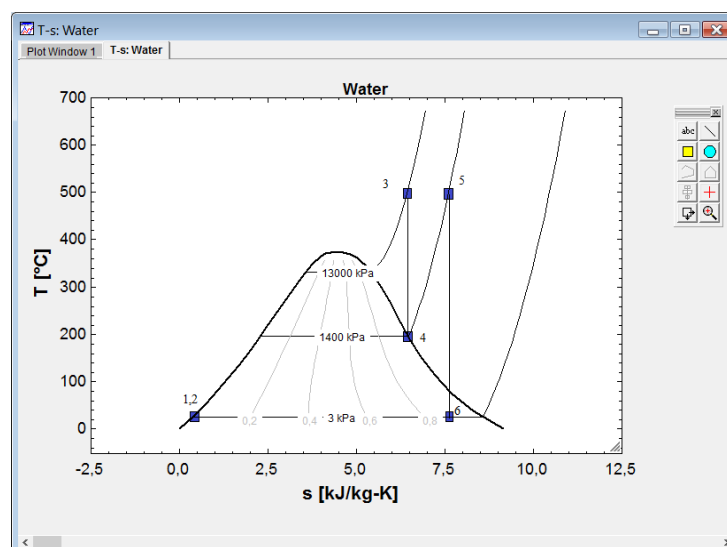


Figura 25: Diagrama T-s para o ciclo em estudo plotado no programa EES.

5.4.5 Cálculo adicional

Nos pontos anteriores foram feitos cálculos de extrema importância como a capacidade térmica, o trabalho realizado pelos diversos componentes bem como a eficiência da central, contudo, não foi determinado o fluxo do fluido de trabalho nem as necessidades de água de arrefecimento. Estes cálculos poderiam ser feitos no EES, contudo a versão demonstrativa do mesmo tem limitações no que toca ao número de equações.

a) Cálculo do fluxo do fluido de trabalho

O fluxo do fluido de trabalho (\dot{m}) pode ser definido pela razão entre a potência da caldeira e o calor inserido (Q_{in}). A potência por linha de incineração foi calculada no ponto 5.4.1. e tem o valor 80,45 MW. Contudo, procura-se a massa total do fluido por isso considera-se o valor de 160,9 MW.

$$\dot{m} = \frac{P_{total,caldeira}}{Q_{in}} \quad (10)$$

$$\dot{m} = \frac{160,9 \times 10^3 \text{ kW}}{3774 \text{ kJ/kg}} = 42,63 \text{ kg/s}$$

O que significa que o fluxo total de água de alimentação é de 42,63 kg/s. Desta forma, considerando-se duas linhas de incineração o fluxo por linha de incineração será reduzido a metade, portanto 21,32 kg/s.

b) Cálculo da potência eléctrica da central

A potência eléctrica da central pode ser calculada multiplicando a capacidade térmica da central pelo rendimento do gerador (η_g) e pelo rendimento do ciclo (η_{ciclo}). Pode ainda ser calculado multiplicando o fluxo do fluido de trabalho pelo rendimento do gerador e pelo trabalho útil.

Por segurança considera-se neste trabalho uma faixa de rendimentos entre 90 e 99 %. A faixa de potência toma então os valores:

$$P_{min} = P_{tot,caldeira} \times \eta_{ciclo} \times \eta_{g1} = 160,9 \times 0,386 \times 0,9 = 55,897 \text{ MW}$$

$$P_{max} = P_{tot,caldeira} \times \eta_{ciclo} \times \eta_{g2} = 160,9 \times 0,386 \times 0,99 = 61,486 \text{ MW}$$

A potência eléctrica da central pode então variar de **55,897 a 61,486 MW**.

c) Necessidades de água de arrefecimento

No presente trabalho são considerados condensadores de superfície. Para centrais térmicas estes são geralmente construídos com um vácuo de 25 mmHg para uma pressão de 0,03 bar que é considerada neste trabalho [9, 37].

A tabela 4, feita com base no livro “*Elements of Heat Engines*” da autoria de Patel, ilustra a variação da quantidade de água de arrefecimento em função da potência da central.

Tabela 4: Necessidades de água de arrefecimento em função da potência de uma central térmica [37].

Nº	Capacidade da central (MVA)	Quantidade de H2O de arrefecimento (m ³ /h)	$\Delta t^{\circ}\text{C}$ (diferença entre temperatura de H2O de arrefecimento na entrada e saída)
1	30	5000	10
2	55	9000	10
3	125	17000	9
4	200	27000	9

Atendendo e considerando que a potência mínima da central em estudo corresponde a pouco mais de 9000 m³/h podendo exceder ao valor considerado em 10%, ou seja 9900 m³/h.

Para condensadores de superfície as necessidades de ar são de cerca de 5 kg de ar de arrefecimento por cada 10000 kg de vapor [37].

5.5 Seleção dos principais componentes

Calculados os parâmetros da central, é então feita a especificação dos principais componentes como as turbinas, geradores, caldeiras, condensadores e bombas.

A selecção dos componentes é então feita considerando duas linhas de incineração com características idênticas.

5.5.1 Turbinas

Para o presente projecto são propostas duas turbinas (e mais uma de reserva) similares a “Siemens SST-700, Reheat” com uma potência mecânica de saída 31 MW, tendo parâmetros de pressão e temperatura correspondentes aos dados apresentados na figura 24.

5.5.2 Incineradores e caldeiras

São consideradas duas linhas de incineração idênticas sendo que a grelha considerada é horizontal e arrefecida com água do ciclo de trabalho.

Para cada caldeira é proposta uma potência térmica de 81 MW com uma capacidade de queima de cerca de 44 toneladas de resíduos por hora. A canalização deverá suportar um fluxo de fluido de trabalho de 21,32 kg de fluido de trabalho por segundo.

5.5.3 Depósito de resíduos sólidos

Para o depósito de resíduos sólidos é proposto um volume de 20 000 m³ munido de 6 portas de descarregamento para camiões.

5.5.4 Condensadores

O condensador deverá ter uma capacidade de rejeitar 99 MW de calor assim como deverá ter a capacidade de circular 9900 m³/h de água de arrefecimento.

5.5.6 Bombas

As bombas propostas são de utilização específica para centrais eléctricas e constam do catálogo de bombas da empresa japonesa TORISHIMA [56]. Assim sendo, foram seleccionadas:

- Para água de alimentação: são propostas 2 bombas de 0,6 MW similares a TORISHIMA HLV.
- Para água de arrefecimento: são propostas 3 bombas de 30 MW similares a TORISHIMA CDM.

5.5.6 Geradores

São propostos dois geradores (e mais um de reserva) similares a “GE TOPACK GENERATOR Packaged air-cooled” com uma potência de 31 MW, 98,7% de eficiência, 50 Hz, dois pólos e uma tensão de 15 kV.

CAPÍTULO 6 – AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA CENTRAL NA REDE ELÉCTRICA NACIONAL

6.1 Introdução

O impacto da central em estudo na rede eléctrica nacional é avaliado através da ferramenta computacional PSS/E (*Power Systems Simulation for Engineering*). Esta é uma ferramenta com interface gráfica que possibilita o desenvolvimento de diversos estudos em sistemas de potência, tais como: fluxo de potência, curto circuito, estabilidade transitória assim como optimização do fluxo de potência.

A rede de transmissão de energia em Moçambique compreende todas as infraestruturas que operam com níveis de tensão igual ou superior a 66 kV, sendo dividida em quatro regiões, a saber: Sul (DTSU), Centro (DTCN), Centro-Norte (DTCN) e Norte (DTNO) [13]. A DTSU opera no momento com os seguintes níveis de tensão: 66, 110, 275 e 400 kV [12, 13].

A rede de transmissão da região Sul é interligada à rede Sul Africana através de linhas de 110 e 275 kV, oriundas de Komatiport, assim como a partir de duas linhas de 400 kV, interligadas à subestação de Maputo, que, por sua vez são transformadas para o nível de 275 kV. Neste momento grande parte da potência (325 MW) é produzida na região de Ressano Garcia e o remanescente provém da vizinha África do Sul. Na Cidade de Maputo, o nível de tensão predominante é de 66 kV formando-se uma rede em anel na cidade de Maputo [12, 13].

6.2 Simulação da rede de transmissão com a entrada da central

Para a simulação as seguintes condições foram consideradas:

- Geração de 62 MW, com factor de potência 0,8 atrasado, consistindo em duas máquinas síncronas idênticas de 31 MW;
- Taxa de crescimento de carga de 12,7% ao ano;
- Ano de entrada em funcionamento da central *waste-to-energy* 2019;
- Centrais eléctricas de Kuvaninga (40 MW) e CTM (100 MW) em funcionamento nos anos de 2017 e 2018, respectivamente;

- Transformador adicional de 250 MVA, 275/66 kV na subestação de Infulene instalado no ano de 2019;
- Subestações de 275/66 kV, com dois transformadores de 150 MVA em funcionamento em Salamanga e Beluluane, assim como novo transformador de 275/110 kV, 250 MVA, instalado na Macia no ano de 2019;
- Linhas de transmissão de 275 kV Beluluane-Salamanga, Ressano-Garcia-Beluluane e Ressano-Garcia-Macia em funcionamento, consistindo em condutores do tipo 2xBEAR, com capacidade de 479 MVA, assim como STATCOM instalado em Lindela (10 MVAR);
- Central *waste-to-energy* conectada a rede eléctrica nacional a partir da subestação de Boane por via de 3 linhas de 66 kV do tipo Dove, cada com uma capacidade de 60 MVA, como forma de garantir redundância (critério N-1-1);
- Método de *Newton-Raphson* adoptado para resolver o sistema, tomando a subestação de Maputo como barramento de referência.

6.2.1 Configuração da rede no ano de 2017

A configuração actual da rede de transmissão da região sul (DTSU) é apresentada na figura 26.

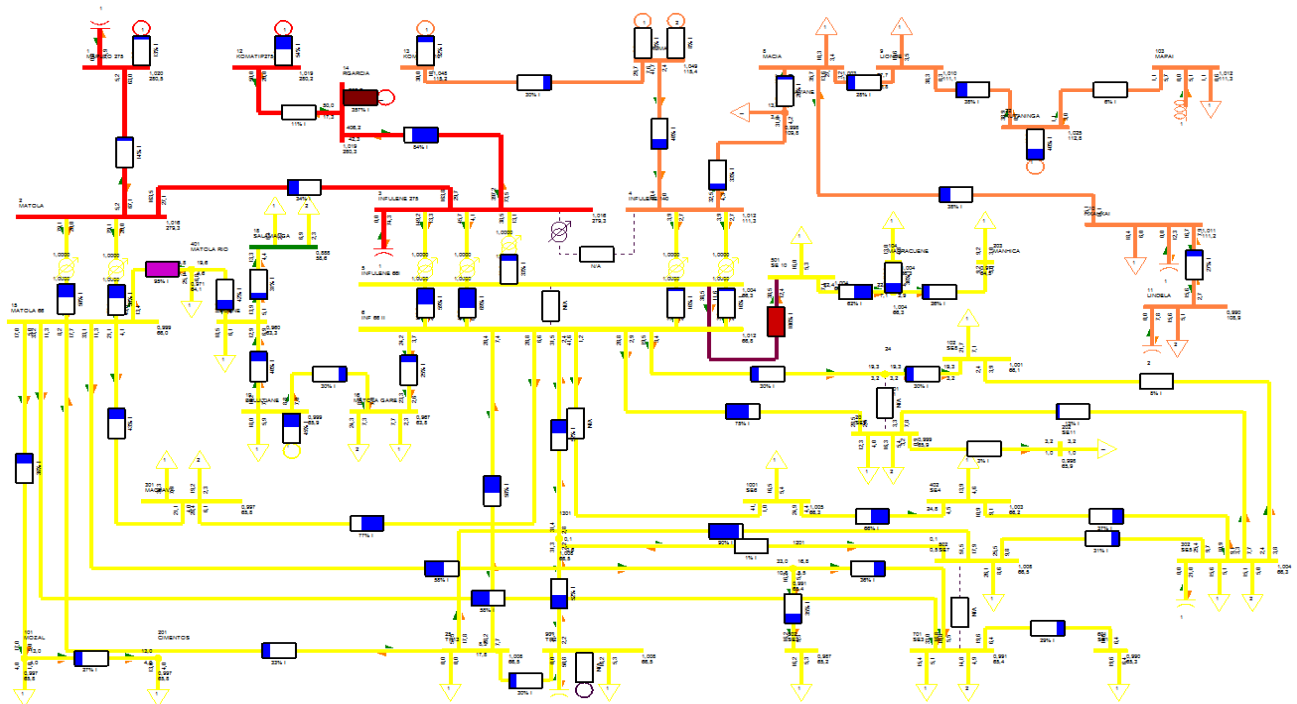


Figura 26: Configuração da rede de transmissão da DTSU para o ano de 2017.

conclusão das obras da estrada circular de Maputo e da ponte (Maputo-Katembe) a carga irá registar um crescimento exponencial na região, o que tornará a qualidade de energia assim como a fiabilidade factores de extrema importância nesta região.

A figura 28 espelha o comportamento da rede com introdução da central em estudo, considerando as linhas de 275 kV ainda não energizadas.

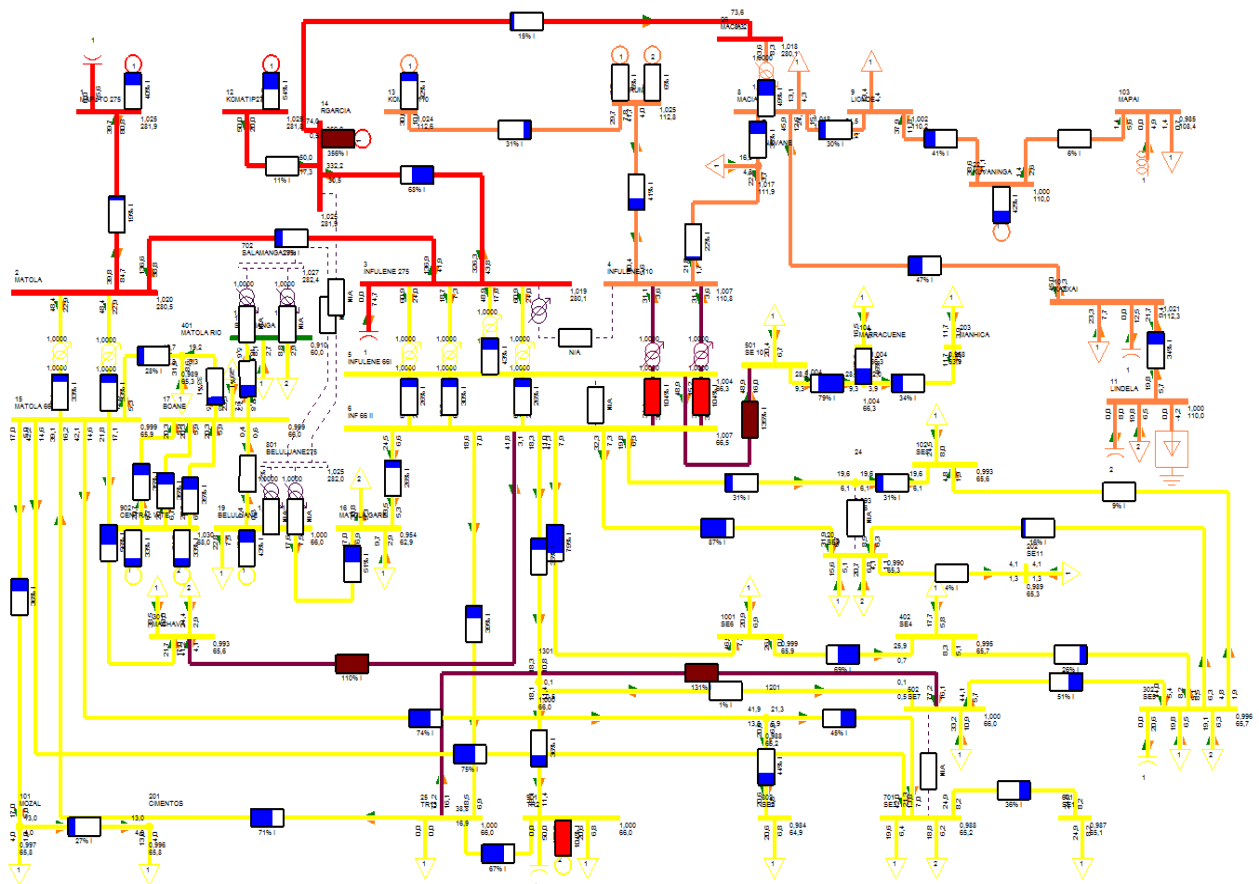


Figura 28: Entrada em funcionamento da central sem energização das novas linhas de 275 kV.

Com a entrada em funcionamento da central em estudo, a situação tende a estabilizar-se, contudo a subestação de Salamanga continua em subtensão (0,9094 pu). Adicionalmente, importa referir que a linha Matola-Matola-Rio (66 kV) deixa de estar em sobrecarga, o que deixa a subestação da Matola com maior disponibilidade de potência para alimentar a subestação da Machava assim como as subestações no interior da Cidade de Maputo.

A figura 29 ilustra a situação da rede de transmissão da DTSU com introdução das linhas de 275 kV Beluluane-Salamanga e Ressano-Garcia-Beluluane. Pelo nível de tensão e pela distância das

linhas, nota-se que estas linhas terão elevadas correntes de carregamento, o que irá estabilizar a situação da subestação de Salamanga. As tensões encontram-se na tabela do anexo 18.

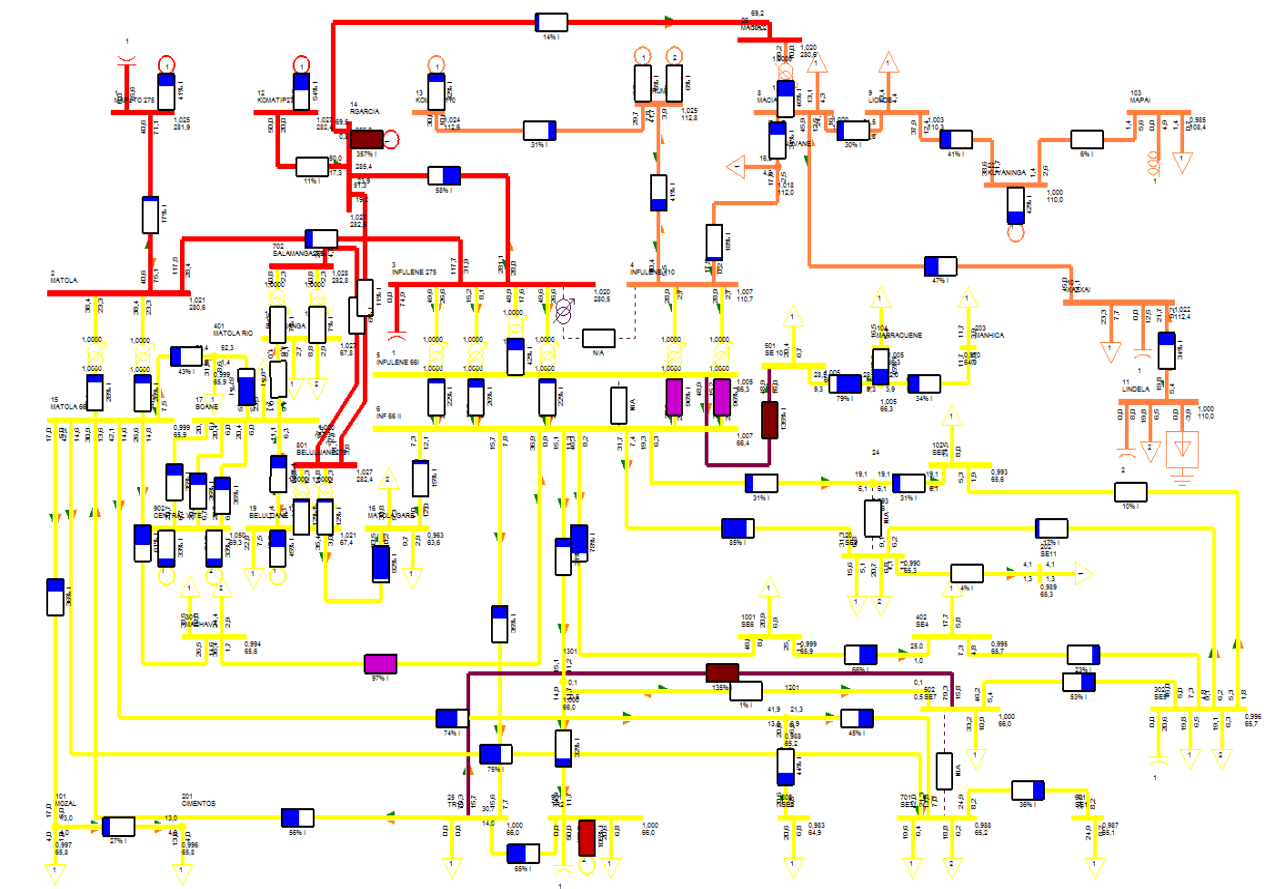


Figura 29: Situação da rede de transmissão da DTSU com introdução das linhas de 275 kV e da Central proposta.

6.2.3 Análise de contingência

A análise de contingência é feita com objectivo de avaliar o comportamento da rede com perda de um dos elementos do sistema. Esta análise pode ser conferida no anexo 7. Notou-se que com a perda da central em estudo as tensões nos barramentos da Boane e Salamanga baixam ligeiramente assim como a linha de transmissão de 66 kV Infulene-Machava fica sobrecarregada uma vez que a subestação da Matola passa a subministrar mais potência para a Matola-Rio, fazendo com que a subestação de Infulene tenha que drenar mais potência para Machava. Nota-se então a importância desta central no ajuste da estabilidade da rede. A nova central *waste-to-energy* proposta traz maior robustez, fiabilidade e redundância a rede da DTSU.

6.2.4 Análise dos resultados da simulação

A simulação da rede de transmissão de energia da DTSU acima apresentada tornou possível prever o comportamento da rede com a implementação da central.

Na mesma simulação, para além da implementação da central foram considerados outros projectos da EDM com previsão de implementação até 2019.

A rede do ano de 2017 espelha de forma fidedigna a rede oficial fornecida pela Direcção de Planeamento de Sistemas da EDM, na qual a subestação de Salamanga está em subtensão com a linha Matola-Matola-Rio de 66 kV operando próximo ao seu limite de operação.

Por questões estratégicas, a central é interligada a subestação de Boane, o que pressupõe a construção de três linhas de transmissão de 66 kV da central a subestação. Tal deve-se a proximidade com a subestação assim como pelas características da rede na região, isto é, a região composta pelas subestações de Boane, Matola-Rio, Beluluane e Salamanga é pouco estável e apresenta sérios problemas de tensão.



Figura 30: Trajecto das linhas de interligação da central a rede nacional de energia.

Os resultados da simulação mostram também que a introdução da central proposta para além da rede tornar-se mais robusta e redundante as subestações da Matola e de Infulene registam um alívio, passando a ter mais potência disponível para a cidade de Maputo. É também notório o descarregamento gradual de algumas linhas circunvizinhas que operam próximo aos limites ($\pm 5\%$).

CAPÍTULO 7 – CONSIDERAÇÕES ECONÓMICAS, AMBIENTAIS E SOCIAIS

7.1 Introdução

O estudo feito para implementação de uma central de produção de energia eléctrica incorpora não só o relatório técnico relativo ao funcionamento da central como também o estudo económico, assim como o estudo de seus impactos sociais e ambientais [14, 21, 35, 38, 42, 63].

Quando se trata de centrais *waste-to-energy*, o investimento inicial é geralmente alto. Contudo, é importante considerar que este factor pode variar de acordo com o local de implementação da central. Isto é, os custos de implementação de uma central eléctrica são directamente afectados pela localização da central, pela política económica do referido país, questões sísmicas (que podem implicar necessidades de protecção adicional), entre outros factores [14, 38, 63].

A avaliação de impactos ambientais (AIA) é um estudo complexo geralmente conduzido por uma empresa especializada na matéria [3, 63]. Neste trabalho, os impactos ambientais não são profundamente estudados. Contudo, são avaliados os principais impactos ambientais que a implementação do projecto pode trazer. Importa ainda referir que os impactos ambientais interferem directamente na vida das populações circunvizinhas, assim sendo, podem também ser sociais.

7.2 Considerações económicas

As centrais *waste-to-energy* possuem um elevado custo de capital em relação as centrais eléctricas baseadas em outros tipos de tecnologia. O custo de capital de uma central *waste-to-energy* é de 8312 dólares americanos por kW (8312 US\$/kW) [14, 63]. Contudo, estes custos podem variar de acordo com a tecnologia em uso assim como potência e localização da central. Portanto, é complicado generalizar os custos de implementação de uma central deste tipo.

Outros dados comuns entre diferentes centrais deste tipo ao redor do mundo são os custos fixos de operação e manutenção (que rondam os 392,82 US\$/kW-ano), os custos variáveis de operação

e manutenção (que rondam os 8,75 US\$/MWh) e o rácio de calor (que ronda os 18000 Btu/kWh) [14, 63].

A figura 31 mostra a variação dos custos de capital entre as diferentes fontes de geração de energia eléctrica. Nota-se que as centrais cujo princípio é a queima de resíduos sólidos municipais tem custos de capital elevados em relação a outras fontes.

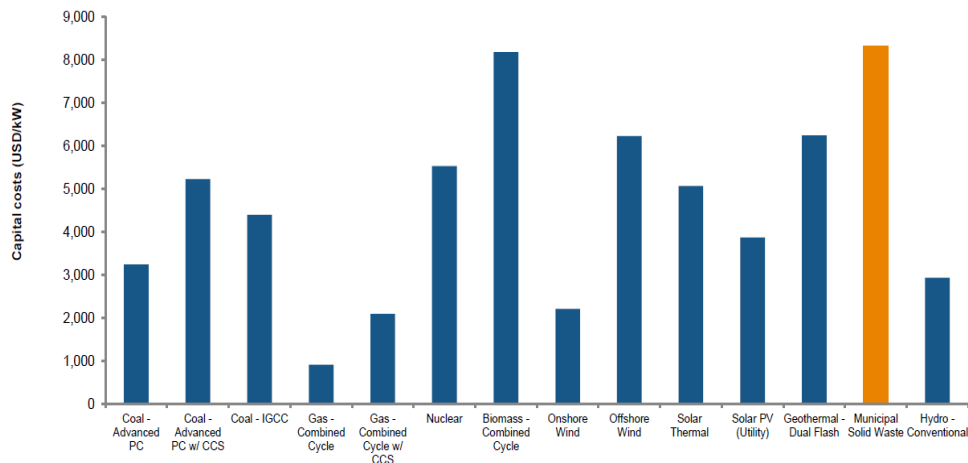


Figura 31: Custos de capital dos diferentes tipos de centrais eléctricas [63].

Apesar dos elevados custos de capital das centrais *waste-to-energy*, estas continuam sendo um tipo muito atractivo de central eléctrica devido aos seus benefícios ambientais, bem como devido ao retorno de investimento. Adicionalmente, a recuperação (e/ou reciclagem) de produtos constitui uma mais valia. Assim sendo, a implementação de centrais *waste-to-energy* possibilita o estabelecimento de várias fontes de receita: *energia eléctrica, reciclagem, venda de produtos obtidos no sistema de tratamento de gases e gestão de resíduos* [14, 63].

Em muitos países, estas centrais são inicialmente instaladas como unidades de reciclagem e de gestão de resíduos sólidos municipais, o que gera também receitas [14, 63].

Moçambique é ainda considerado um país de economia emergente (em desenvolvimento). Desta forma, os custos de operação serão consideravelmente baixos, uma vez que há disponibilidade de mão-de-obra de baixo custo. Isto é, os encargos com a massa laboral são baixos.

O custo da tarifa energética a ser praticado pela central foi estimado com recurso a ferramenta computacional disponível no portal do Laboratório Nacional de Energias Renováveis dos Estados Unidos da América (NREL – www.nrel.gov). Para a estimativa da tarifa foram considerados os dados acima apresentados assim como foi considerado período de financiamento

de 5 anos com taxa de desconto de 20%. Considerou-se também factor de capacidade de 100%. Considera-se também a tarifa praticada pela EDM que ronda os 5,2 cêntimos de dólar/kWh (segundo dados colhidos junto a página oficial da EDM – www.edm.co.mz - e pela análise directa de facturas de energia, ao câmbio do dia 3 de Julho de 2017, o que corresponde a 3,12 Mt/kWh).

Simple Levelized Cost of Energy Calculator	
Financial	
Periods (Years):	5 ?
Discount Rate (%):	20 ?
Renewable Energy System Cost and Performance	
Capital Cost (\$/kW):	8312 ?
Capacity Factor (%):	100 ?
Fixed O&M Cost (\$/kW-yr):	392,82 ?
Variable O&M Cost (\$/kWh):	0,008 ?
Heat Rate (Btu/kWh):	18000 ?
Fuel Cost (\$/MMBtu):	0 ?
Today's Utility Electricity Cost	
Electricity Price (cents/kWh):	5.2 ?
Cost Escalation Rate (%):	3.0 ?
Results	
Levelized Cost of Utility Electricity (cents/kWh): 5.6 ?	

Figura 32: Avaliação da tarifa energética a ser praticada pela central [66].

7.3 Considerações sociais e ambientais

As centrais *waste-to-energy* são consideradas ambientalmente amigáveis não só pelo reduzido índice de emissão de gases quando comparado com outras centrais térmicas como também pela utilização de um recurso renovável que são os resíduos sólidos municipais.

Note-se também que os outros recursos como o carvão, o gás natural e petróleo poluem o ambiente não só durante a sua queima para a produção de energia como também no seu processo de obtenção, uma vez tratar-se de recursos fósseis.

A central proposta irá permitir a redução do volume de resíduos sólidos em mais de 90% e ao mesmo tempo produção de energia eléctrica, permitindo assim que menos terra seja ocupada para a deposição de lixo, assim como para aterros sanitários. Assim sendo os espaços ocupados pelas lixeiras de Hulene e de Malhampsene poderão ser utilizados para outros fins tais como habitacionais, recreativos, entre outros.

Actualmente, as populações circunvizinhas das lixeiras de Hulene e de Malhampsene são afectadas negativamente pela presença destas lixeiras, uma vez que os resíduos sólidos são incinerados de forma descuidada, libertando inúmeros gases nocivos à saúde. Outros grandes problemas enfrentados por estas populações são a poluição visual, causada pela acumulação de resíduos sólidos até fora das lixeiras, assim como cheiro nauseabundo causado pela sobrelotação destas lixeiras. Contudo, com a introdução da central proposta este problema será eliminado.

A implementação deste projecto poderá também trazer inúmeros benefícios a vida dos munícipes de Maputo, Matola e arredores. Isto pelo facto de os municípios abrangidos passaram a registar níveis de limpeza acentuados assim como melhoria na qualidade de energia. As zonas em expansão como o distrito municipal Katembe, os barros Matola-Gare e Matola-Rio, passarão a beneficiar-se de energia eléctrica de melhor qualidade e com maior nível de fiabilidade.

A maior disponibilidade de energia eléctrica torna-se também um factor atractivo ao investimento industrial e comercial o que trará maior empregabilidade na região.

Não menos importante é o emprego directo na área de implementação da central. A central em estudo necessitará de profissionais de diversas áreas. Desde engenheiros especialistas nos processos tecnológicos envolvidos numa central eléctrica, a operadores de máquinas e captadores de resíduos sólidos, diminuindo a taxa de desemprego. Tratando-se de uma central de incineração de resíduos sólidos, várias empresas surgirão para a prestação de pequenos serviços.

A colaboração com a academia é também uma vantagem encontrada na elaboração deste projecto, principalmente pela sua localização que tornará o acesso fácil à central, permitindo a realização de estudos nas mais diversas áreas do saber.

CONCLUSÕES

Como resultado da pesquisa desenvolvida, foram alcançadas as seguintes conclusões:

1. A área de estudo tem potencial para produção de energia a partir da incineração de resíduos sólidos. Até 2019, a potência possível de ser produzida poderá ser maior que o valor apresentado no trabalho. Contudo, por questões de contingência, foi considerada uma faixa de 15% devido a possíveis irregularidades que possam ocorrer no transporte e manuseio dos resíduos sólidos;
2. A produção (e/ou tipo) de resíduos sólidos está directamente associada ao número de habitantes, assim como com o nível de urbanização, o qual, depende muitas vezes do tipo de economia. Neste contexto, Moçambique, enquadrando-se nos países de economia emergente, o poder calorífico dos resíduos sólidos colectados não é muito alto, rondando os 10 MJ/kg;
3. O Município da Matola regista poder calorífico combinado dos seus resíduos mais baixo em relação ao Município de Maputo, dado apresentar área suburbana mais extensa em relação ao Município de Maputo;
4. Nota-se também, que a quantidade diária de resíduos sólidos colectados nos dois municípios está abaixo do ideal, ou seja, por limitações no sistema de recolha, ou de vias de acesso, ou ainda nos sistemas de acondicionamento muitos munícipes, sobretudo na região suburbana acabam enterrando ou procedendo a queima descuidada de resíduos sólidos;
5. Os processos tecnológicos de centrais *waste-to-energy* são similares aos dos outros tipos de central térmica, sendo que a grande diferença reside no incinerador e no sistema de tratamento de gases. Devido ao baixo poder calorífico dos resíduos sólidos municipais, os incineradores são geralmente projectados para operar a pressões e temperaturas reactivamente baixas, como forma também de reduzir os custos dos equipamentos e evitar perdas por dissipação de calor ao longo dos tubos;
6. Os custos de capital de centrais *waste-to-energy* são altos, contudo suas receitas são também altas, o que permite rápida recuperação do investimento. A questão do alto capital inicial é também compensada pela melhoria do ambiente nos municípios;

7. No que toca a simulação de centrais eléctricas existem ainda poucos programas computacionais com *interface* gráfica que permitem simular centrais eléctricas de forma simples, e com precisão. Contudo, o *EES* permite simular centrais eléctricas, assim como plotar gráficos/diagramas necessários para o estudo;
8. A implementação da central eléctrica em estudo traz consigo uma grande vantagem que é a diversificação da matriz energética nacional. Permite então, um alívio das subestações de Matola e Infulene, reduzindo assim o fluxo de energia da rede eléctrica da vizinha África do Sul, o que a médio prazo resultará na redução da tarifa energética;
9. Várias linhas da DTSU, sobretudo as de 275 kV têm operado muito abaixo da sua capacidade nominal. Algumas delas foram construídas a mais de 30 anos, estando próximas ao seu limite de tempo de vida útil. Tal pode significar perdas monetárias avultadas. Importa ainda referir que muitas destas linhas operam de forma capacitiva, ou seja, sua utilidade não tem sido propriamente transmitir energia eléctrica, mas estabilizar a tensão nos barramentos;
10. As centrais *waste-to-energy* são ambientalmente amigáveis uma vez que apresentam emissões reduzidas.

RECOMENDAÇÕES

Tendo sido finalizado o trabalho, são deixadas as seguintes recomendações a EDM e aos Municípios de Maputo e Matola:

1. Desenvolver projectos para a melhoria de vias de acesso, permitindo assim maior vazão do trânsito, factor que irá permitir a melhor circulação dos camiões de recolha de resíduos sólidos na área em estudo.
2. Elaborar planos de desenvolvimento de redes eléctricas alinhados aos planos de desenvolvimento municipal, como forma de evitar a elaboração contínua de projectos de emergência;
3. Aumentar a capacidade das linhas que operam próximo a sua capacidade limite (DL1B, DL6 DL14, DL22, DL26), caso contrário a potência gerada nas novas centrais não poderá fluir aos consumidores. Fluindo, terá elevado conteúdo de harmónicas (Anexo 3);
4. Aquisição de novo transformador 66/110 kV, 30 MVA para a subestação de Infulene, devido a operação em sobrecarga (até 2018) dos instalados actualmente. Desta forma, será melhorado o fornecimento de energia à região da Macia, Lionde, Chicumbane e Lindela;
5. Traçar planos de educação cívica dos munícipes, para que os mesmos tenham consciência da importância do tratamento adequado dos resíduos sólidos, evitando assim o acúmulo de resíduos em locais impróprios;
6. Desenvolver planos de geração distribuída de energia eléctrica, o que irá permitir que as centrais estejam mais próximas aos centros de carga, conferindo assim maior redundância e um custo mais reduzido da energia eléctrica fornecida aos consumidores;
7. Fazer redimensionamento da rede eléctrica do distrito municipal Katembe, visando assegurar melhor qualidade de energia aos clientes, e redução dos custos de transmissão.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ABB. 2011, *Solutions for Waste-to-Energy-Plants*.
- [2] AEB. 2006, *Value from Waste: Waste Fired Power Plant, Rotor Offset*, Amsterdam.
- [3] AEB. 2013, *Sustainability report 2013*, Amsterdam.
- [4] ALBINO, A. 2012, *ANÁLISE HIDROCLIMÁTICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS E SEU ENTORNO: ESTUDO DO CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UMBELUZI-MOÇAMBIQUE*, UFRJ, Rio de Janeiro.
- [5] ANTILLA, L. 2013, *Waste-to-Energy Scenarios in the China Context*, Lappeenranta University of Technology, Lappeenranta.
- [6] BOSTO, L; DAVID, J. 2008, *Aproveitamento Energético de Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS*, Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, Brasil.
- [7] ÇENGEL, Y; BOLES, M. 2006, *Thermodynamics: An Engineering Approach*, 5th Ed, McGraw-Hill, London.
- [8] CHILENGUE, Z. 2015, *Máquinas Síncronas*, Notas do docente.
- [9] CHISSICO, J. 2015, *Produção de Energia Eléctrica*, Notas do docente.
- [10] CONSELHO MUNICIPAL DA MATOLA. 2010, *Plano de Estrutura Urbana da Cidade da Matola: Análise da Situação Actual*, Matola.
- [11] CONSELHO MUNICIPAL DE MAPUTO. 2010, *Perfil Estatístico Do Município de Maputo*, Maputo.
- [12] EDM – Direcção da Rede de Transporte. 2011, *Caracterização e Qualidade Técnica da Rede Nacional de Transporte*, Maputo.
- [13] EDM. 2012, *Final Master Plan Update Report 2012-2027*, Maputo.
- [14] EIA. 2013, *Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants*, U.S Department of Energy, Washington DC.
- [15] ENVIROS CONSULTING. 2004, *Planning for Waste Management Facilities: A Research Study*, Office of the Deputy Prime Minister, London.
- [16] ESKOM. 2017, *Tariffs & Charges 2017/2018*,
- [17] ESWET Handbook. 2012, *Everything you always wanted to know about Waste-to-Energy*.
- [18] FCHART. 2017, *EES: ENGINEERING EQUATION SOLVER MANUAL*.
- [19] GENERAL ELECTRIC. 2015, *STEAM POWER SYSTEMS PRODUCT CATALOG*.
- [20] HOVAL, *Industrial Boilers: Complete system solutions for steam and hot water applications*, Liechtenstein.
- [21] ICF INTERNATIONAL. 2014, *Economic Analysis of New Waste-to-Energy Facility in Metro Vancouver*, Belcorp Environmental Services Inc.
- [22] INE, *PROJECCÇÕES ANUAIS DA POPULAÇÃO TOTAL, URBANA E RURAL, DOS DISTRITOS DA PROVÍNCIA DE MAPUTO 2007-2040*, Maputo.
- [23] INE. 2007, *RECENCEAMENTO GERAL DA POPULAÇÃO E HABITAÇÃO: INDICADORES SÓCIO-DEMOGRÁFICOS*, Maputo.
- [24] INE. 2012, *ESTATÍSTICAS DO DISTRITO CIDADE DA MATOLA*, Matola.
- [25] JOHAN, T; GEZELIUS, J. 2015, *Waste-To-Energy in Kutai Kartanegara*, Indonesia, UPPSALA UNIVERSITET, Moldova.

- [26] KARLSSON, L; JÖNSSON, T. 2012, *Pre-feasibility Study of a Waste to Energy Plant in Chisinau*, UPPSALA UNIVERSITET, Moldova.
- [27] KIAMEH, P; 2004, *POWER GENERATION HANDBOOK: SELECTION, APPLICATIONS, OPERATION, AND MAINTENANCE*, 1ST Ed, McGraw-Hill, Tamil Nadu.
- [28] KOLB, J; WILKES, K. 1988, *Power Generation from Waste Incineration*, Oak Ridge National Laboratory, Virginia.
- [29] LANGA, J. 2014, *GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM MOÇAMBIQUE, RESPONSABILIDADE DE QUEM?*, Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, Maputo.
- [30] LEBENSMINISTERIUM. 2010, *WASTE-TO-ENERGY IN AUSTRIA: White Book – Figures, Data, Facts*, 2nd Ed, Gedruckt Mit, Vienna.
- [31] MARCONI, M; LAKATOS, E. 2003, *fundamentos de metodologia científica*, 5^a Ed, Editora Atlas, São Paulo.
- [32] Melo, L. 2016, *GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: CONSELHO MUNICIPAL DA CIDADE DA MATOLA*, 9^{as} Jornadas Técnicas Internacionais de Resíduos, Viana do Castelo.
- [33] MONTEIRO, J; Et al. 2001, *GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS: Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República, Brasília.
- [34] MUCAVELE, J. 2016, *GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MOÇAMBIQUE: O CASO DO MUNICÍPIO DE MAPUTO*, 9^{as} Jornadas Técnicas Internacionais de Resíduos, Viana do Castelo.
- [35] NAG, P. 2008, *POWER PLANT ENGINEERING*, 3rd Ed, Tata McGraw- Hill Publishing Company Ltd, Tamil Nadu.
- [36] NAG, P. 2008, *POWER PLANT TECHNOLOGY*, 3rd Ed, Tata McGraw- Hill Publishing Company Ltd, Tamil Nadu.
- [37] PATEL, R; KARAMCHANDANI, C. 1997, *ELEMENTS OF HEAT ENGINES*, 6th Ed, ACHARYA PUBLICATIONS, Vadodara.
- [38] PATIL, N. 2015, *Economics of Power Generation*, Electrical Engineering Department, Senjay, Ghodawat Polytechnic, Attire.
- [39] PAUSCHERT, D. 2009, *Study of Equipment Prices in the Power Sector*, The International Bank for Reconstruction and Development, Washington.
- [40] PAVAN, M. 2010, *GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: AVALIAÇÃO E DIRETRIZES PARA TECNOLOGIAS POTENCIALMENTE APLICÁVEIS NO BRASIL*, USP, São Paulo.
- [41] PENNINGER, A; LEZSOVITS, F; ROHÁLY, J. *Boilers: Heat Engines and Boilers: Lecture note for the undergraduate BSc course*, Budapest University of Technology and Economics, Budapest.
- [42] RAJA, A; SRIVASTAVA, A; DWIVEDI, M. 2006, *POWER PLANT ENGINEERING*, 1st Ed, NEW AGE INTERNATIONAL PUBLISHERS, New Delhi.
- [43] RODRIGUEZ, M. 2011, *COST-BENEFIT ANALYSIS OF A WASTE TO ENERGY PLANT FOR MONTEVIDEO; AND WASTE TO ENERGY IN SMALL ISLANDS*, Columbia University, Columbia.
- [44] RUSSO, M. 2003, *TRATAMENTO DE RESÍDUOS SOLIDOS*, Universidade de Coimbra, Coimbra.
- [45] SARKAR, D. 2015, *THERMAL POWER PLANT DESIGN and OPERATION*, 1ST Ed, Elsevier, Amsterdam.

- [46] SCNEIDER, D. 2010, *Cost Analysis of Waste-To Energy*, University of Zagreb, Zagreb
- [47] SIEMENS. 2013, *Industrial Steam Turbines: The comprehensive product range from 2 to 250 megawatts*, Erlangen.
- [48] SIEMENS. 2015, *Power Island: Industrial Power Plants*, Erlangen.
- [49] SIEMENS. 2015, *Steam Turbines: Energy from Waste*, Erlangen.
- [50] SIEMENS. 2016, *Industrial Power: Turbines for Biomass Plants*, Erlangen.
- [51] SIEMENS. 2016, *Siemens Air-Cooled Generators SGen-100A-2P Series: Efficient and reliable with ratings from 25 MVA up to 370 MVA*, Erlangen.
- [52] SILVA, E. 2013, *GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NA MICROREGIÃO DE LAVRAS- MG*, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.
- [53] SONNTAG, R; BORGNACKE, C; WYLEN G. 1997, *FUNDAMENTOS DA TERMODINÂMICA*, 5ª Edição, EDGARD BLÜCHER, São Paulo.
- [54] TCHOBANOGLIOUS, G; KREITH, F. 2002, *HANDBOOK OF SOLID WASTE MANAGEMENT*, 2nd Ed, McGraw-Hill Handbooks, New York.
- [55] TEIR, S; KULLA, A. 2002, *Boiler Calculations*, Helsinki University of Technology, Espoo.
- [56] TORISHIMA, *PUMPS FOR POWER PLANT*, Beijing.
- [57] UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE-FENG. 2009, *REGULAMENTO CULMINÁRIO: TRABALHO DE LICENCIATURA E ESTÁGIO PROFISSIONAL*, Maputo.
- [58] WEBER, F. *Layout Planning of Waste-to-Energy Plants*.
- [59] WELLINGER, A. 2013, *Waste to Energy: Summary and Conclusions from the IEA Bioenergy ExCo71 Workshop*, IEA Bioenergy, Vienna.
- [60] WIKNER, E. 2009, *Modelling Waste-to-Energy systems in Kumasi, Ghana*, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- [61] WOODRUFF, E; LAMMERS, H; LAMMERS, T. 2004, *STEAM PLANT OPERATION*, 8TH Ed.
- [62] WORLD ENERGY COUNCIL. 2013, *World Energy Resources: Waste to energy*.
- [63] WORLD ENERGY COUNCIL. 2016, *Waste Energy Resources: Waste to Energy/2016*.
- [64] www.edm.co.mz , acessado em 26 de Junho de 2017.
- [65] www.electrical-engineering-portal.com , acessado em 26 de Junho de 2017.
- [66] www.nrel.gov , acessado em 26 de Junho de 2017.

GLOSSÁRIO

Barramento – condutor ou grupo de condutores eléctricos com função de colectar energia de um ponto de entrada e distribuir para outros pontos nele conectados.

Energia – é uma propriedade que define a capacidade de realização de trabalho, ou seja, produzir força num determinado corpo ou sistema físico medida em J (Joule)

Fluxo de potência – estudo realizado em redes eléctricas com objectivo principal de encontrar a solução de uma rede eléctrica, feito geralmente de forma computacional.

Potência – velocidade em que determinado trabalho é realizado ou em que determinada quantidade de energia é transferida.

Potência aparente – soma vectorial das potências activa e reactiva medida em VA (Volt-Ampere)

Potência activa – é a parte da potência aproveitada para realização de trabalho útil medida em w (Watt)

Potência Reactiva – e a parte da potência utilizada para magnetização de máquinas, conudo não realiza trabalho útil e é medida em Var (Volt-Ampere reactivo).

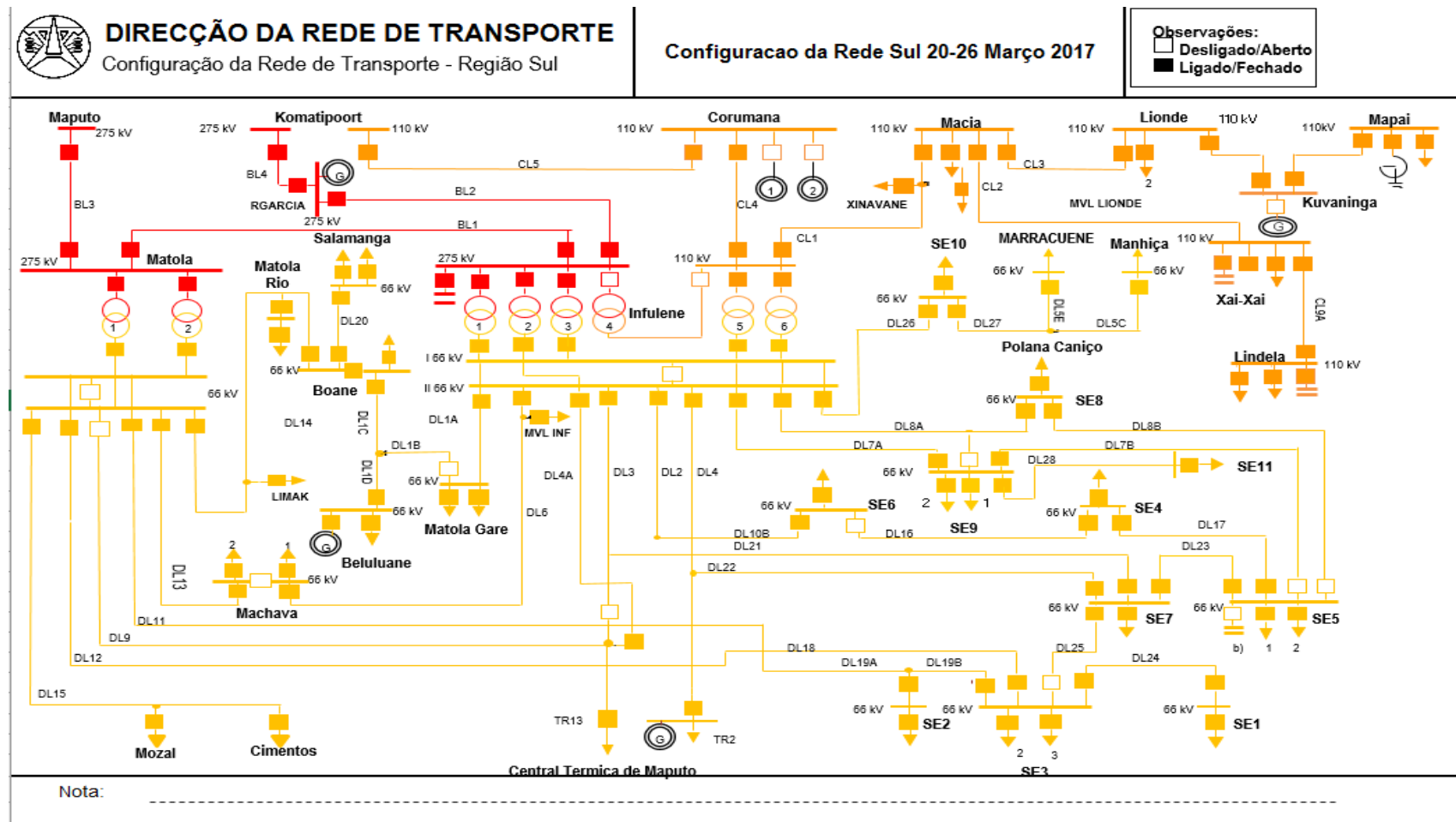
Rede Eléctrica – conjunto de infraestruturas de produção, transporte e distribuição de elergia eléctrica.

Trabalho – grandeza física que quantifica a energia necessária para aplicação de uma força medido em J (Joule)

ANEXOS

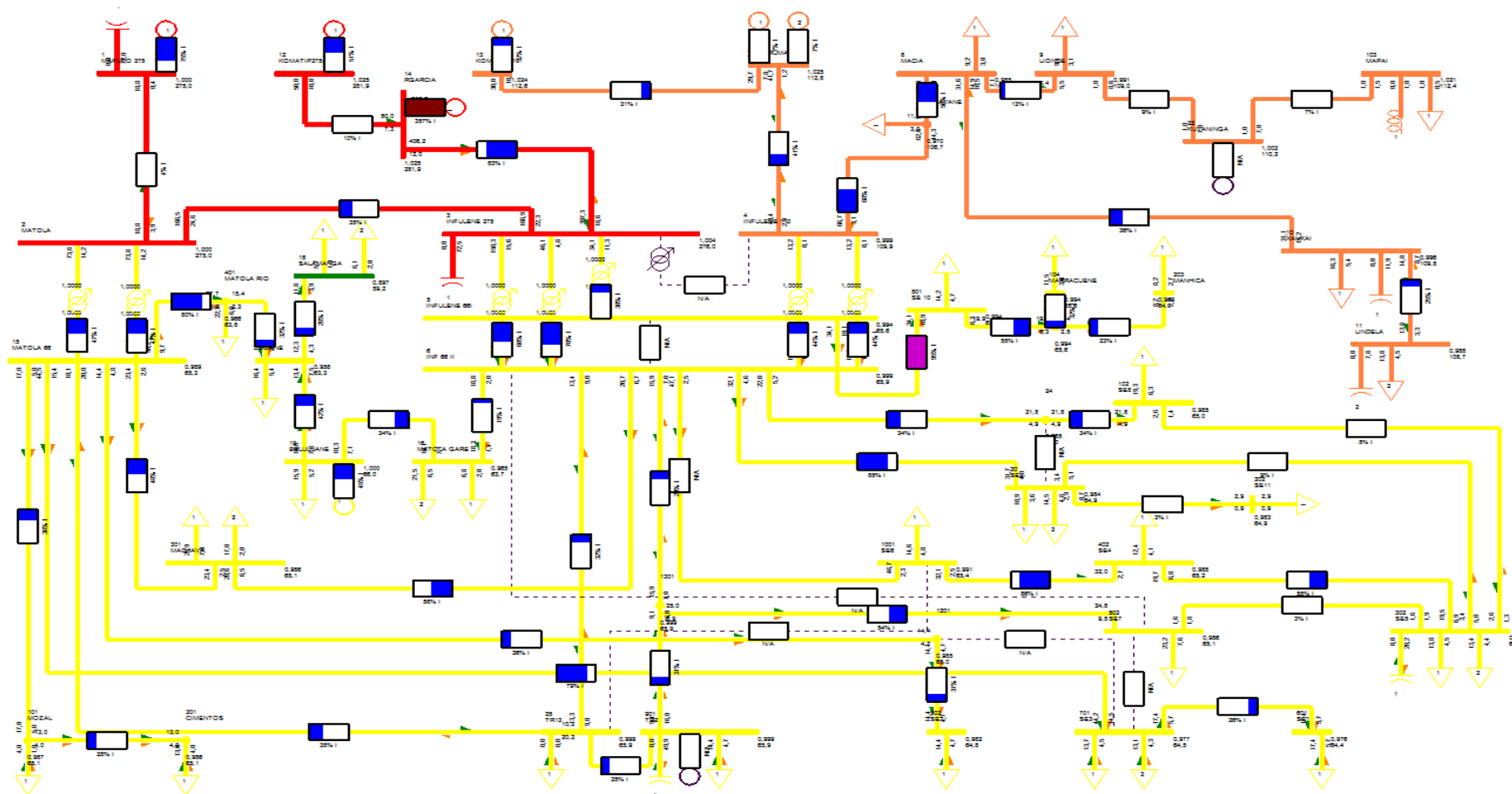
Anexo 2

Configuração da rede da DTSU (2017), fornecida pela Direcção da Rede de Transporte da empresa Electricidade de Moçambique.



Anexo 3

Simulação da rede do ano 2016 no PSS/E.



Tensões nos barramentos em 2016.

PSS® E University 32 - C:\Users\euclid\Dropbox\Trabalhos de Licenciatura\Dgedge\Trabalho\Simulacao PSS@E\2016\SUL2016.sav - [Network data]

File Edit View Diagram Power Flow Fault QPF Trans Access Dynamics Disturbance Subsystem Misc I/O Control Tools Window Help

100%

Bus Number	Bus Name	Base kV	Area Number/Name	Zone Number/Name	Owner Number/Name	Code	Voltage (pu)	Angle (deg)	G-Neg Load (pu)	B-Neg Load (pu)	G-Zero Load (pu)	B-Zero Load (pu)
1	MAPUTO 275	275,0	1	1	1	3	1,0000	-0,74				
2	MATOLA	275,0	1	1	1	1	1,0001	-0,67				
3	INFULENE 275	275,0	1	1	1	1	1,0037	-0,05				
4	INFULENE 110	110,0	1	1	1	1	0,9993	-4,67				
5	INFULENE 66I	66,0	1	1	1	1	0,9939	-1,84				
6	INF 66 II	66,0	1	1	1	1	0,9993	-4,67				
7	CORRUMANA	110,0	1	1	1	2	1,0250	2,36				
8	MACIA	110,0	1	1	1	1	0,9857	-20,29				
9	LIONDE	110,0	1	1	1	1	0,9919	-21,52				
10	XAI-XAI	110,0	1	1	1	1	0,9968	-23,60				
11	LINDELA	110,0	1	1	1	1	0,9893	-31,87				
12	KOMATIP275	275,0	1	1	1	2	1,0250	7,39				
13	KOMATIP110	110,0	1	1	1	-2	1,0237	4,67				
14	RGARCIA	275,0	1	1	1	2	1,0250	7,27				
15	MATOLA 66	66,0	1	1	1	1	0,9880	-4,67				
16	MATOLA GARE	66,0	1	1	1	1	0,9655	-7,30				
17	BOANE	66,0	1	1	1	1	0,9579	-7,60				
18	SALAMANGA	66,0	1	1	1	1	0,8961	-12,35				
19	BELULUANE	66,0	1	1	1	-2	0,9997	-6,26				
20	SE9	66,0	1	1	1	1	0,9849	-5,90				
21	XINAVANE	110,0	1	1	1	1	0,9714	-17,75				
22	KUVANINGA	110,0	1	1	1	-2	1,0032	-21,79				
23		66,0	1	1	1	1	0,9939	-1,84				
24		66,0	1	1	1	1	0,9869	-5,97				
25	TR13	66,0	1	1	1	1	0,9937	-4,52				
101	MOZAL	66,0	1	1	1	1	0,9860	-4,83				
102	SE8	66,0	1	1	1	1	0,9869	-5,97				
103	MAPAI	110,0	1	1	1	1	1,0226	-22,54				
104	MARRACUENE	66,0	1	1	1	1	0,9939	-1,84				
201	CIMENTOS	66,0	1	1	1	1	0,9854	-4,87				
202	SE11	66,0	1	1	1	1	0,9842	-5,97				
203	MANHICA	66,0	1	1	1	1	0,9695	-3,14				
301	MACHAVA	66,0	1	1	1	1	0,9861	-5,04				
302	SE5	66,0	1	1	1	1	0,9881	-6,16				
401	MATOLA RIO	66,0	1	1	1	1	0,9656	-6,70				
402	SE4	66,0	1	1	1	1	0,9890	-5,48				
501	SE 10	66,0	1	1	1	1	0,9939	-1,84				
502	SE7	66,0	1	1	1	1	0,9897	-6,24				
601	SE1	66,0	1	1	1	1	0,9753	-5,72				
701	SE3	66,0	1	1	1	1	0,9762	-5,67				
802	SE2	66,0	1	1	1	1	0,9811	-5,22				
901	TR2	66,0	1	1	1	-2	1,0061	-5,69				
1001	SE6	66,0	1	1	1	1	0,9919	-5,02				
1201		66,0	1	1	1	1	0,9842	-4,99				
1301		66,0	1	1	1	1	1,0060	-5,69				
*												

Anexo 4

Resumo de pontas DTSU 2016, fornecido pela Direcção da Rede de Transporte da empresa Electricidade de Moçambique.

SUBESTAÇÃO	Mais Altos					Mais Baixos			
	Barramento [kV]	Icc [A]	Ângulo [graus]	Impedância [Ω]	Potência [MVA]	Icc [A]	Ângulo [graus]	Impedância [Ω]	Potência [MVA]
DIVISÃO DE TRANSPORTE SUL									
MAPUTO 400	400	12685	-72	18	8788	12599	-72	18	8729
MAPUTO 275	275	9980	-78	16	4754	9841	-78	16	4687
CORUMA	110	1494	-78	43	285	2830	-79	22	539
CORUMA	33	2067	-84	9	118	2545	-87	7	145
INFULENE	275	8001	-76	20	3811	8001	-76	20	3811
INFULENE	110	4592	-82	14	875	3639	-80	17	693
INFULENE A	66	11382	-74	3	1301	9077	-80	4	1038
INFULENE B	66	15303	-75	2	1749	13067	-80	3	1494
MATOLA	275	8929	-77	18	4253	8771	-76	18	4178
MATOLA	66	10140	-67	4	1159	2062	-82	18	236
MACIA	110	1216	-67	52	232	1170	-67	54	223
MACIA	33	2040	-74	9	117	1993	-75	10	114
R. GARCIA	275	7063	-77	22	3364	6368	-77	25	3033
BOANE	66	5454	-65	7	623	1545	-75	25	177
BOANE	33	3956	-78	5	226	2113	-77	9	121
SALAMANGA	66	1149	-65	33	131	764	-68	50	87
SALAMANGA	33	1337	-73	14	76	1027	-73	19	59
C.T.M. A	66	7605	-67	5	869	6196	-77	6	708
C.T.M. A	33	4551	-79	4	260	4120	-82	5	235
C.T.M. B	66	9964	-70	4	1139	6967	-71	5	796
C.T.M. B	33	4328	-81	4	247	1901	-84	10	109
CIMENTOS	66	8045	-67	5	920	1901	-84	20	217
MATOLA RIO	66	7313	-69	5	836	1774	-77	21	203
MATOLA RIO	33	5101	-77	4	292	2517	-78	8	144
MATOLA GARE	66	6142	-65	6	702	4647	-70	8	531
MATOLA GARE	33	2568	-83	7	147	4312	-78	4	246
MOZAL PORTO	66	8571	-67	4	980	1927	-84	20	220
CORUMA	110	4	-74	16542	1	2120	-65	30	404
CORUMA	33	1494	-78	13	85	2545	-87	7	145
MANHIÇA	66	2037	-67	19	233	1434	-60	27	164
MANHIÇA	33	2024	-59	9	116	2024	-68	9	116
BELOLUANE	66	62219	-66	1	7113	3870	-70	10	442
BELOLUANE	11	10682	-78	1	204	9293	-82	1	177
MARRACUENE	66	3212	-73	12	367	3060	-74	12	350
MARRACUENE	33	3222	-61	6	184	2920	-64	7	167
MACHAVA	66	9820	-68	4	1123	7207	-79	5	824
MACHAVA	33	5024	-81	4	287	4630	-82	4	265
SE10	66	6814	-65	6	779	4687	-79	8	536
SE10	33	4948	-79	4	283	5411	-70	4	309
SE9	66	6261	-65	6	716	5564	-70	7	636
SE9	11	15113	-78	0	288	14299	-80	0	272
SE9	33	4022	-80	5	230	3862	-81	5	221
SE5	66	9085	-69	4	1039	4330	-69	9	495
SE5	11	11933	-82	1	227	10188	-80	1	194
SE5	11	11905	-82	1	227	9675	-79	1	184
SE4	66	8950	-69	4	1023	6426	-71	6	735
SE4	11	13232	-82	0	252	12083	-81	1	230
SE6	66	9599	-70	4	1097	7602	-73	5	869
SE6	11	18400	-82	0	351	16832	-83	0	321
SE6	33	7623	-81	2	436	6862	-82	3	392
SE7	66	8673	-69	4	991	7416	-74	5	848
SE7	11	17101	-80	0	326	16147	-80	0	308
SE2	66	7668	-67	5	877	4326	-74	9	495
SE2	11	12770	-81	0	243	10541	-81	1	201
SE3	66	7287	-67	5	833	4937	-75	8	564
SE3	11	19993	-77	0	381	16190	-80	0	308
SE3	11	19993	-77	0	381	16190	-80	0	308
SE1	66	7021	-67	5	803	4817	-75	8	551
SE1	11	12643	-80	1	241	11379	-80	1	217
SE8	66	7121	-69	5	814	4687	-70	8	536
SE8	11	15793	-79	0	301	13315	-77	0	254
SE11	66	4823	-68	8	551	4389	-72	9	502
SE11	33	4466	-80	4	255	4252	-81	4	243
SE11	11	5859	-84	1	112	5730	-85	1	109
CHICUMBANE	110	949	-66	67	181	903	-66	70	172
CHICUMBANE	33	2385	-69	8	136	2250	-70	8	129
XINAVANE	110	1403	-69	45	267	1350	-68	47	257
XINAVANE	33	2407	-76	8	138	2319	-76	8	133
LINDELA	110	424	-59	150	81	408	-59	156	78
LINDELA	33	1251	-61	15	71	1199	-61	16	69
LIONDE	110	899	-68	71	171	884	-68	72	168
LIONDE	33	1421	-73	13	81	1464	-74	13	84

Anexo 5

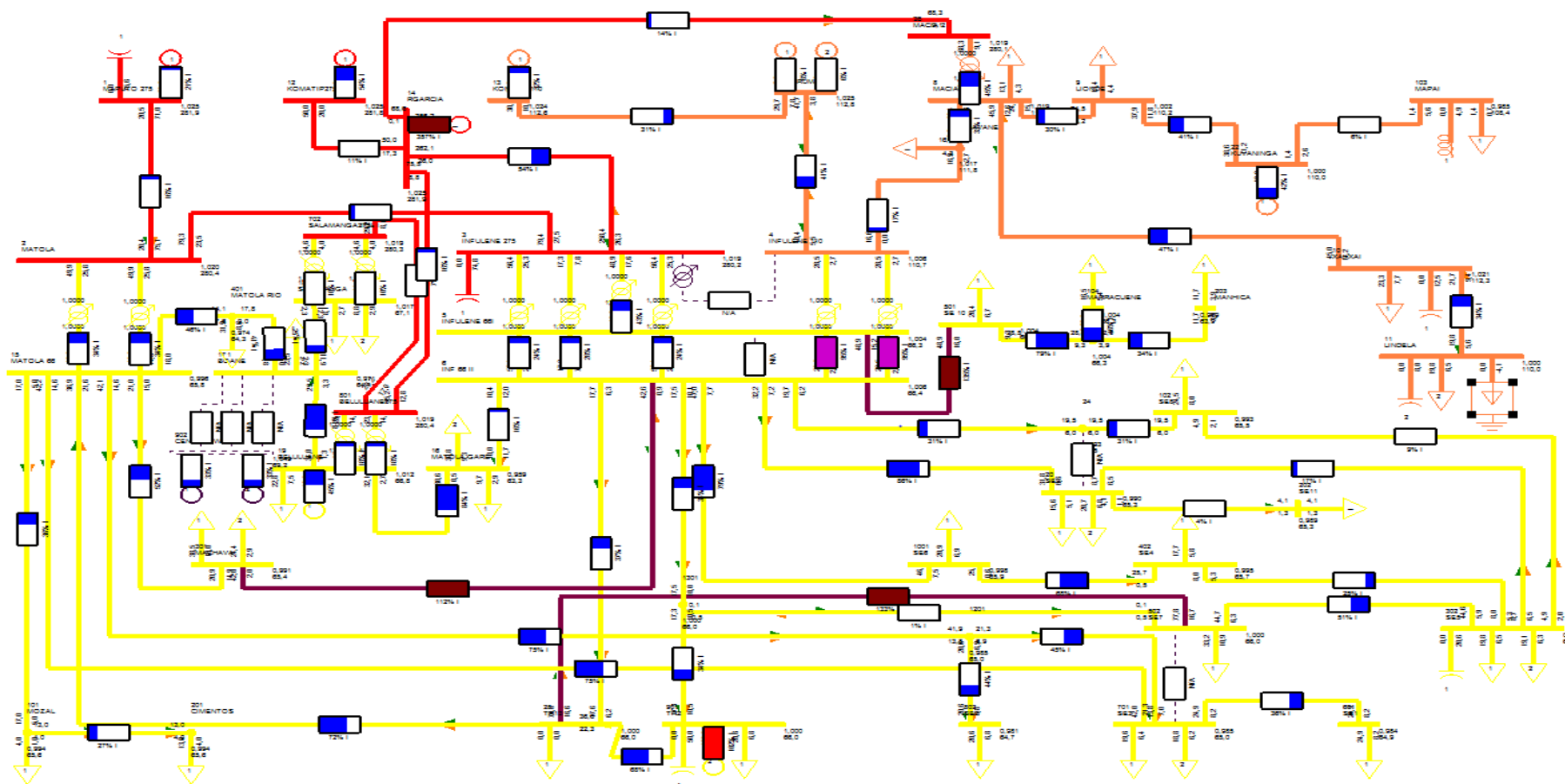
Características das Linhas de Transmissão da EDM, fornecido pela Direcção da Rede de Transporte da empresa Electricidade de Moçambique.

Linhas da Área de Transporte Sul										
BARRAMENTO INICIAL	BARRAMENTO FINAL	CÓDIGO Antigo	U [kV]	L [km]	ANO	CONDUTOR	R@30 [Ω/km]	X+/- [Ω/km]	B+/- [10-6/Ωkm]	Smáx [MVA]
Arnout	Maputo	AL2**	400	49,9	1998	3xTern	0,0249	0,2750	3,4773	1293
Edwalene	Maputo	AL3**	400	58,1	1998	3xTern	0,0249	0,2750	3,4773	1293
SE Matbla	Infulene	BL1	275	16	2000	2xBEAR	0,0567	0,3285	3,5472	479
Ressano Garcia	Infulene	BL2	275	76	1972	2xBEAR	0,0567	0,3285	3,5472	479
Komatipoort	Ressano Garcia	BL4	275	9	1972	2xBEAR	0,0567	0,3285	3,5472	479
SE Mapub	Matbla	BL3	275	16	2004	2xBEAR	0,0567	0,3285	3,5472	479
Motraco	Mozal	ca**	132	10,5	1998	3xTern	0,0249	0,2750	3,4773	1293
Infulene	Macia	CL1	110	125,0	1983	DOVE	0,1049	0,3963	2,9154	99
Macia	Chicumbane	CL2	110	49,0	1983	DOVE	0,1049	0,3963	2,9154	99
Macia	Lionde	CL3	110	53,0	1983	DOVE	0,1049	0,3963	2,9154	99
Infulene	Corrumana	CL4	110	92,0	1984	DOVE	0,1049	0,3963	2,9154	99
Corrumana	Komatipoort	CL5	110	40,0	1990	DOVE	0,1049	0,3963	2,9154	99
Chicumbane	Lindela	CL9	110	233,8	2002	AAAC 150	0,2055	0,4271	2,6769	68
Infulene	Boane	DL01	66	42,0	1982	LEOPARD	0,2216	0,3802	3,0272	38
Infulene	2M	DL02	66	4,5	2003	PANTHER	0,1396	0,3834	3,0450	50
Infulene	CTM	DL03	66	7,5	2004	PANTHER	0,1396	0,3834	3,0450	50
Infulene	CTM	DL04	66	7,5	2004	PANTHER	0,1396	0,3834	3,0450	50
Infulene	Manhiça	DL05	66	62,0	1975/88/04	LEOPARD	0,2216	0,3802	3,0272	38
Infulene	Machava	DL06	66	7,5	1991	LEOPARD	0,2216	0,3802	3,0249	38
Infulene	SE5(Compone)	DL07	66	15,1	1990	LEOPARD	0,2216	0,3802	3,0249	38
Infulene	SE5 (SE8)	DL08	66	16,3	2008	BEAR	0,1097	0,3770	3,0423	57
CTM	Matbla	DL09	66	4,9	1998	DOVE	0,1049	0,3748	3,1021	60
CTM	SE6	DL10	66	3,8	1992	LEOPARD	0,2216	0,3802	3,0272	38
CTM	Matbla	DL11	66	4,9	1998	DOVE	0,1049	0,3748	3,1021	60
CTM	Matbla	DL12	66	4,9	1998	DOVE	0,1049	0,3748	3,1021	60
Matbla	Machava	DL13	66	2,5	1998	PANTHER	0,1396	0,3834	3,0450	50
Matbla	Boane	DL14	66	21,9	1998	PANTHER	0,1396	0,3834	3,0450	50
Matbla	Cimombos	DL15	66	2,7	1998	PANTHER	0,1396	0,3834	3,0450	50
SE6	SE4	DL16	66	2,4	1998	LEOPARD	0,2216	0,3802	3,0272	38
SE4	SE5	DL17	66	4,8	1996	LEOPARD	0,2216	0,3802	3,0272	38
CTM	SE3	DL18	66	5,4	2001	PANTHER	0,1396	0,3834	3,0450	50
CTM	SE2/3	DL19	66	5,4	2001	PANTHER	0,1396	0,3834	3,0450	50
Boane	Salamanga	DL20	66	76,7	2002	PANTHER	0,1396	0,3834	3,0450	50
2M	SE7	DL21	66	7,9	2004	PANTHER	0,1396	0,3834	3,0450	50
2M	SE7	DL22	66	7,9	2004	PANTHER	0,1396	0,3834	3,0450	50
SE7	SE5	DL23	66	4,0	2004	2xPANTHER	0,0788	0,2299	5,3066	88
SE3	SE1	DL24	66	2,1	2004	XLPE500	0,0684	0,1210	5,6549	73
SE3	SE7	DL25	66	2,2	2005	XLPE1000	0,0302	0,1090		77
Infulene	SE10	DL26	66	8,3	2015	2xDOVE	0,5213	0,2503	4,7790	120
SE9	SE11	DL28	66	8,3	2015	2xDOVE	0,5213	0,2503	4,7790	120
Infulene	CTM	DL4 Antigo	66	7,5	1972	PARTRIDGE	0,2178	0,3784	3,0427	38

Bus Number	Bus Name	Base kV	Area Number/Name	Zone Number/Name	Owner Number/Name	Code	Voltage (pu)	Angle (deg)	G-Neg Load (pu)	B-Neg Load (pu)	G-Zero Load (pu)	B-Zero Load (pu)
1	MAPUTO 275	275,0	1	1	1	3	1,0200	-0,74				
2	MATOLA	275,0	1	1	1	1	1,0187	-0,53				
3	INFULENE 275	275,0	1	1	1	1	1,0206	0,13				
4	INFULENE 110	110,0	1	1	1	1	1,0168	-2,30				
5	INFULENE 66I	66,0	1	1	1	1	1,0092	-2,08				
6	INF 66 II	66,0	1	1	1	1	1,0168	-2,31				
7	CORRUMANA	110,0	1	1	1	2	1,0500	4,33				
8	MACIA	110,0	1	1	1	1	1,0240	6,15				
9	LIONDE	110,0	1	1	1	1	1,0193	8,88				
10	XAI-XAI	110,0	1	1	1	1	1,0292	2,34				
11	LINDELA	110,0	1	1	1	1	1,0000	-7,24				
12	KOMATIP275	275,0	1	1	1	-2	1,0235	6,28				
13	KOMATIP110	110,0	1	1	1	-2	1,0489	6,52				
14	RGARCIA	275,0	1	1	1	-2	1,0240	6,16				
15	MATOLA 66	66,0	1	1	1	1	1,0065	-3,79				
16	MATOLA GARE	66,0	1	1	1	1	0,9636	-6,67				
17	BOANE	66,0	1	1	1	1	0,9591	-7,78				
18	SALAMANGA	66,0	1	1	1	1	0,8812	-13,99				
19	BELULUANE	66,0	1	1	1	-2	0,9954	-6,34				
20	SE9	66,0	1	1	1	1	1,0047	-3,28				
21	XINAVANE	110,0	1	1	1	1	1,0250	3,99				
22	KUVANINGA	110,0	1	1	1	2	1,0250	12,19				
23		66,0	1	1	1	1	1,0092	-2,08				
24		66,0	1	1	1	1	1,0070	-3,29				
25	TR13	66,0	1	1	1	1	1,0161	-2,63				
26	MACIA 275	275,0	1	1	1	1	1,0240	6,16				
101	MOZAL	66,0	1	1	1	1	1,0046	-3,94				
102	SE8	66,0	1	1	1	1	1,0070	-3,29				
103	MAPAI	110,0	1	1	1	1	1,0117	11,81				
104	MARRACUENE	66,0	1	1	1	1	1,0092	-2,08				
201	CIMENTOS	66,0	1	1	1	1	1,0040	-3,98				
202	SE11	66,0	1	1	1	1	1,0039	-3,37				
203	MANHICA	66,0	1	1	1	1	0,9795	-3,72				
301	MACHAVA	66,0	1	1	1	1	1,0030	-3,84				
302	SE5	66,0	1	1	1	1	1,0110	-3,10				
401	MATOLA RIO	66,0	1	1	1	1	0,9738	-6,48				
402	SE4	66,0	1	1	1	1	1,0088	-2,85				
501	SE 10	66,0	1	1	1	1	1,0092	-2,08				
502	SE7	66,0	1	1	1	1	1,0161	-2,63				
601	SE1	66,0	1	1	1	1	0,9963	-4,67				
701	SE3	66,0	1	1	1	1	0,9974	-4,61				
802	SE2	66,0	1	1	1	1	0,9937	-4,90				
901	TR2	66,0	1	1	1	-2	1,0161	-2,63				
1001	SE6	66,0	1	1	1	1	1,0106	-2,57				
1201		66,0	1	1	1	1	0,9975	-4,61				
1301		66,0	1	1	1	1	1,0161	-2,63				

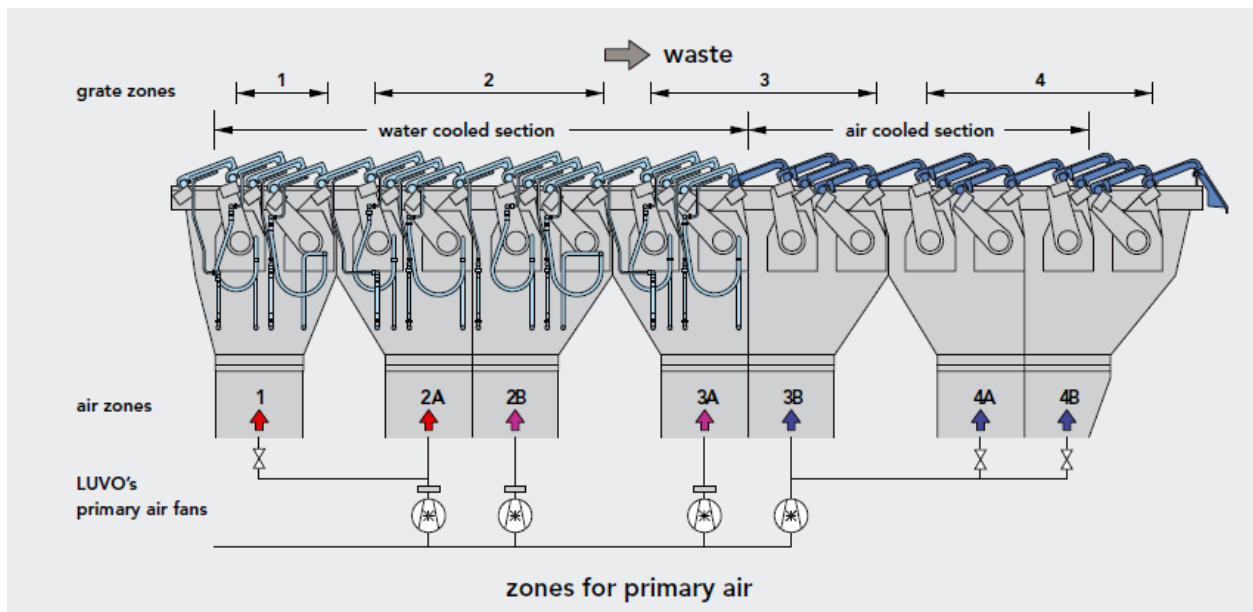
Anexo 7

Análise de contingência para o ano 2019. Perda da central.

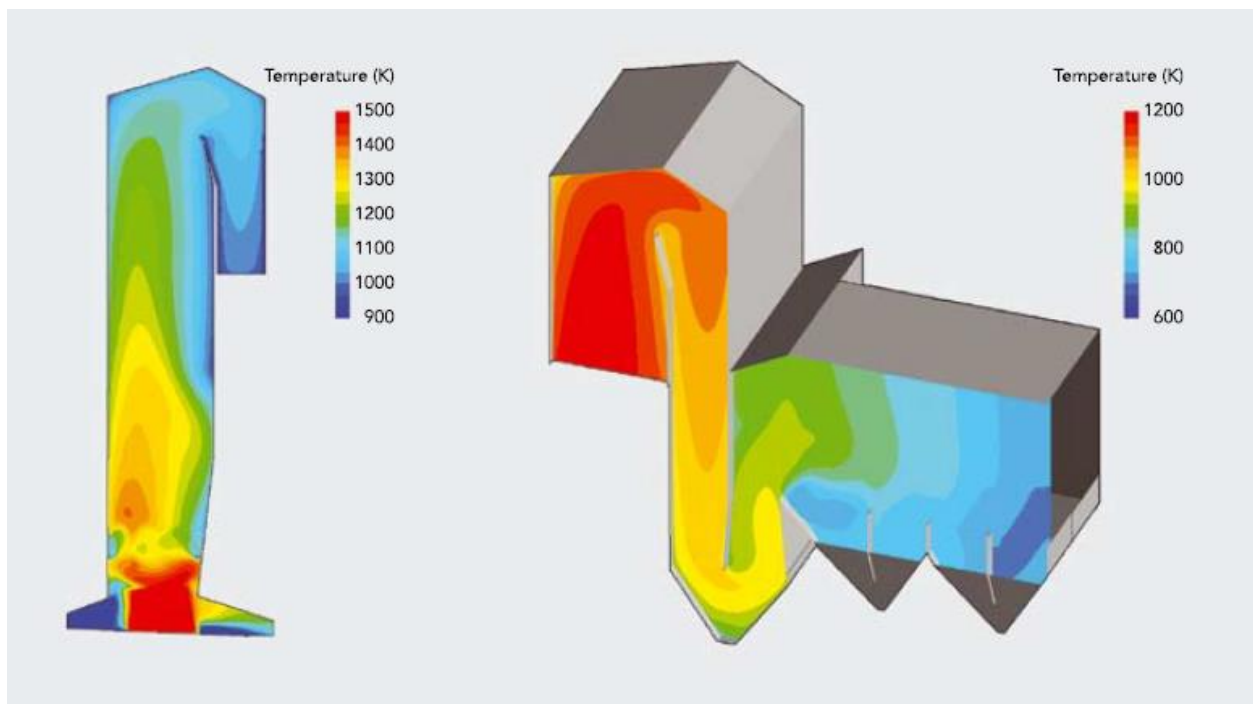


Anexo 8

Grelha de incineração [2].

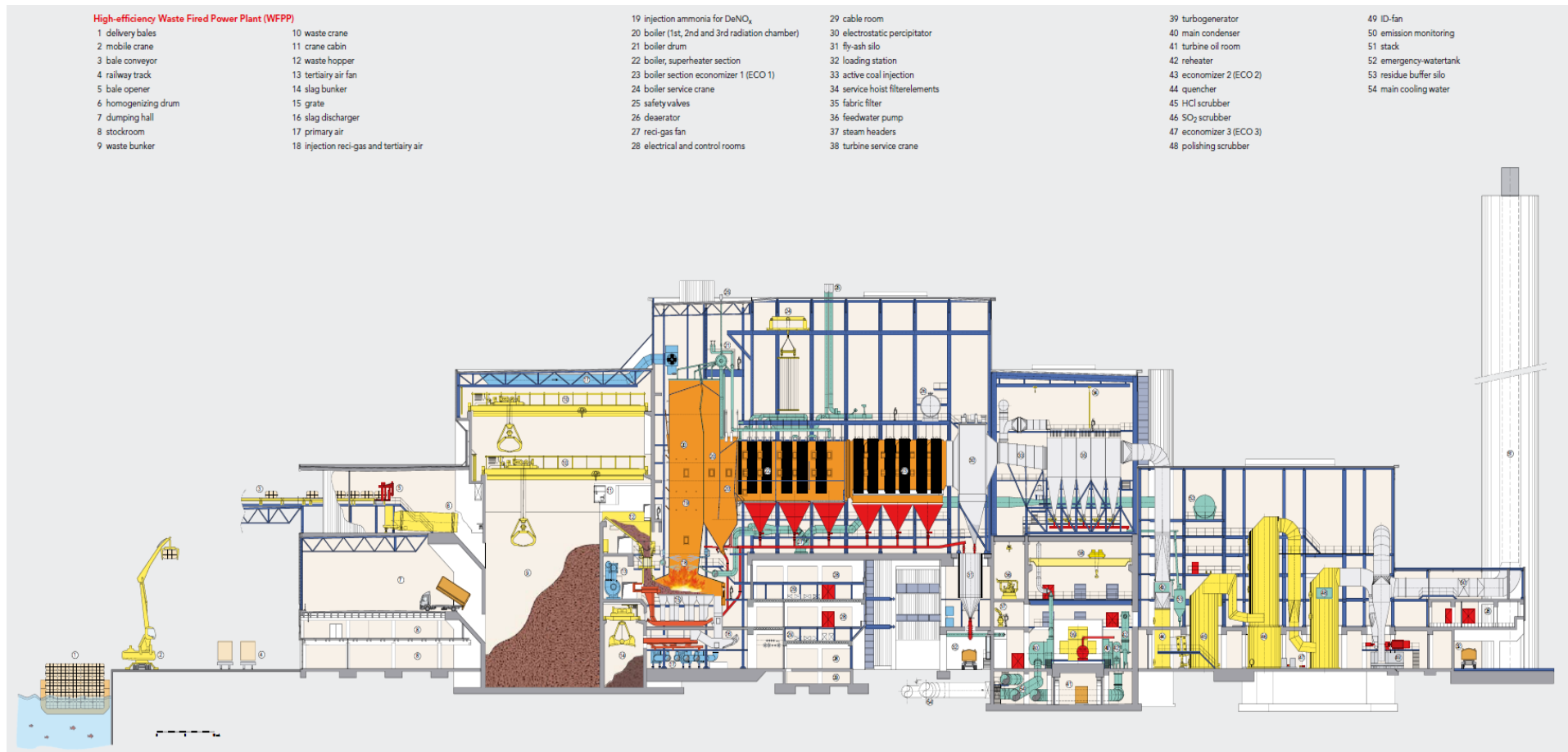


Faixa de temperaturas no incinerador [2].



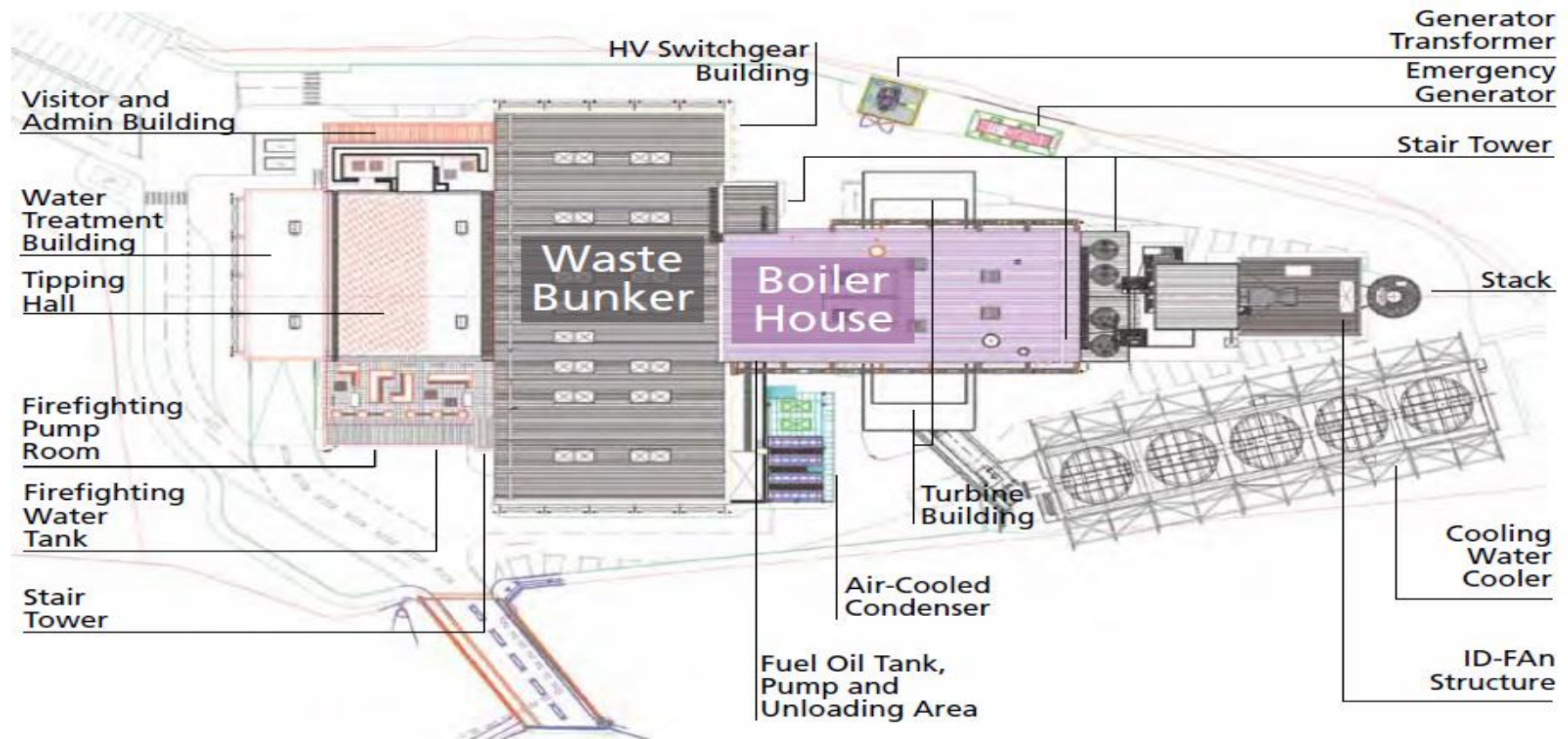
Anexo 9

Vista em corte de uma central *Waste-to-Energy* [2].



Anexo 10








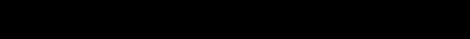

Planta típica de uma central *Waste-to-Energy*. [58]






Anexo 11

Código de cores da Direcção da Rede de Transporte da empresa Electricidade de Moçambique.

Código de cores de diferentes níveis de tensão da rede de transporte
Voltage level Coloring code in transmission grid

Nível de tensão [kV]	Letra	Cor	Sample
765	A	?	?
533	A	Roxo	
400	A	Castanho	
275/220	B	Vermelho	
110	C	Laranja	
66	D	Amarelo	
33	E	Verde	
22	F	Azul	
11	G	Preto	
6.6	H	Cinzentos	

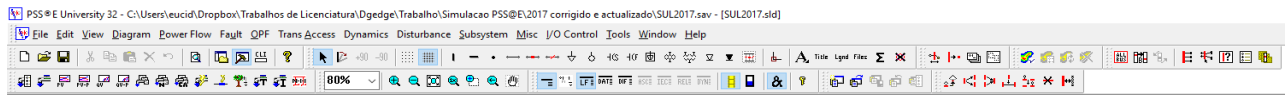
Código de cores das fases
Phase Coloring code

Fase	Código	Cor
R		Encarnado
S		Verde
T		Amarelo

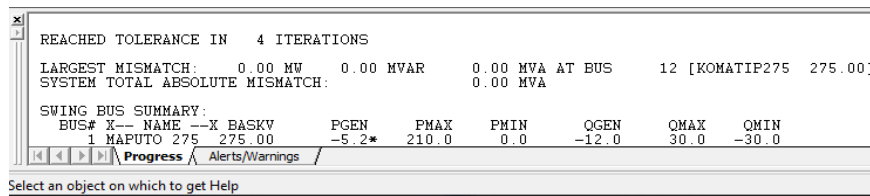
Anexo 12

Algumas janelas e comandos do PSS/E.

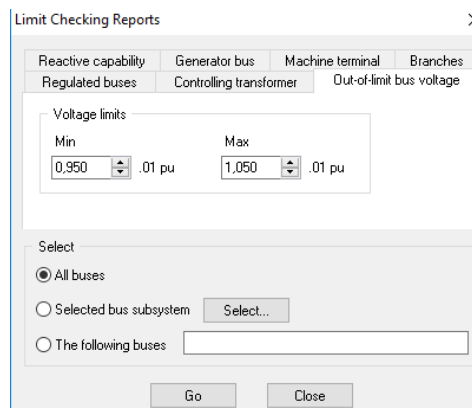
Barra de ferramentas e opções rápidas.



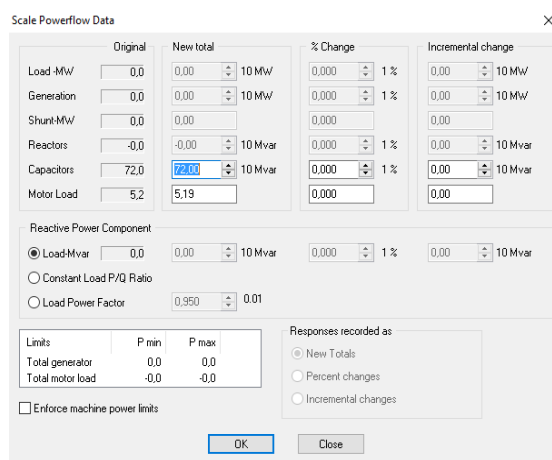
Janela de Soluções



Janela de verificação dos limites de tensão.



Janela de modificação percentual dos valores de cargas e outros elementos.



Inserção de parâmetros de geradores.

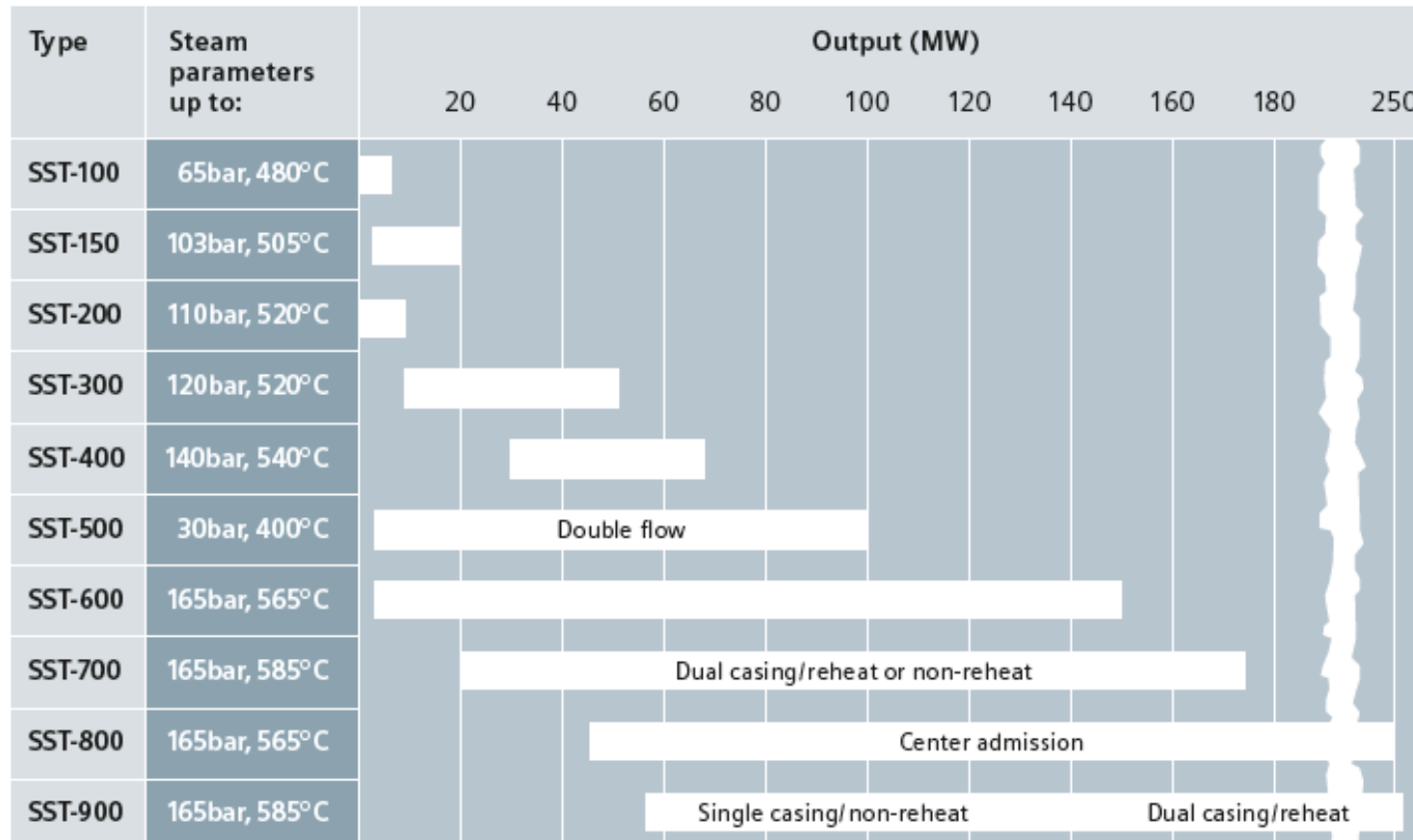
Inserção de parâmetros de linhas de transmissão.

Base de dados de linhas aberta na janela de linhas de transmissão.

Bus Number	Bus Name	Id	Area Number/Name	Zone Number/Name	Owner Number/Name	In Service	Scalable	Pload (MW)	Qload (Mvar)	Iload (MW)	Iload (Mvar)	Yload (MW)	Yload (Mvar)
8	MACIA 110,0	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10,3410	3,3990	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
9	LIONDE 110,0	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10,5679	3,4738	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	XAX-XAX 110,0	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	18,3575	6,0340	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
11	LINDELA 110,0	2	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15,5774	5,1202	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
16	MATOLA GARE 66	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	7,6689	2,2540	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
16	MATOLA GARE 66	2	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	24,2529	7,3256	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
17	BOAHNE 66,0	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	18,5012	6,0812	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
18	SALAMANGA 66	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6,3867	2,0993	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
18	SALAMANGA 66	2	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6,9028	2,2725	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
19	BELLUJANE 66	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	17,9739	5,9078	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
20	SE9 66,000	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	12,2822	4,0370	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
20	SE9 66,000	2	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	16,2964	5,3565	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
21	XINAVANE 110	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	12,9605	3,3811	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
25	TR13 66,000	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
101	MOZAL 66,000	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	4,0000	1,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
102	SE8 66,000	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	21,7125	7,1367	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
103	MARPAI 110,0	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,1270	0,5635	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
104	MARRACUENE 8	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	12,9892	4,2594	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
201	CIMENTOS 66,0	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	13,0000	4,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
202	SE11 66,000	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3,2353	1,0143	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
203	MANHICA 66,0	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	9,2458	3,0390	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
301	MACHAVA 66,0	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	30,3161	7,8891	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
301	MACHAVA 66,0	2	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	19,2081	2,2540	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
302	SE5 66,000	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15,5535	5,1123	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
302	SE5 66,000	2	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15,0622	4,9508	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
401	MATOLARIO 66	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	25,1156	6,7621	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
402	SE4 66,000	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	13,9239	4,5766	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
501	SE10 66,000	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	16,0448	5,2738	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
501	SE10 66,000	2	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	10,8400	4,1100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
502	SE7 66,000	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	26,1462	8,5940	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
601	SE1 66,000	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	19,5916	6,4396	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
701	SE3 66,000	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15,3977	5,0611	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
701	SE3 66,000	2	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	14,8106	4,8881	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
802	SE2 66,000	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	16,1882	5,3210	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
901	TR2 66,000	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	16,1885	5,3210	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
1001	SE6 66,000	1	1	1	1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	16,4641	5,4116	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Anexo 13

Turbinas Siemens [48] [49] [50].



Anexo 14

Custos médios das linhas de transmissão em Moçambique segundo o *Final Master Plan Update Report* da EDM.

Table 6-5 – Budget Costs, HVAC Sub-Transmission Lines
Steel Lattice Towers – Delta Conductor Configuration

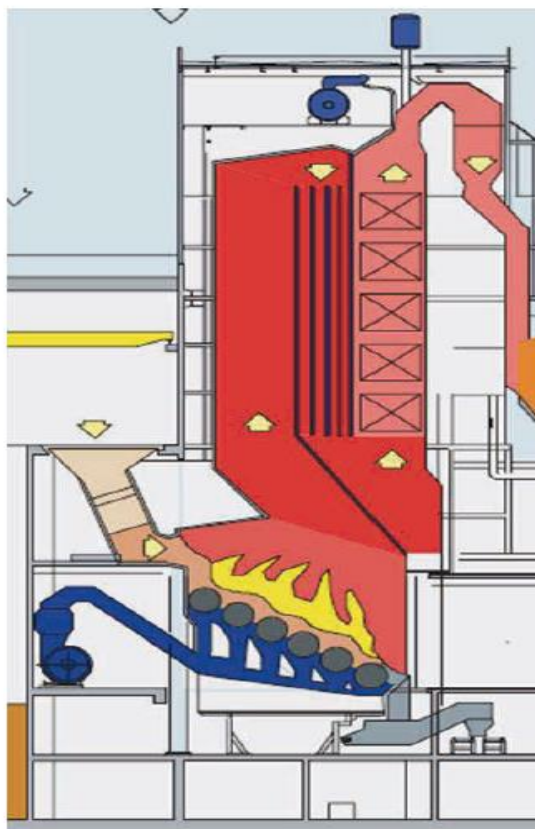
HVAC Voltage (kV)	Conductors per Phase (Number x Size)	Aluminium Cross-Section (mm ²)	Investment Costs (kUSD/km)	
			No Shield Wire	One Shield Wire
66	1 x Wolf	158	93	
	1 x Lynx	183	94	
	1 x Panther	212	96	
	1 x Dove	282	101	
	1 x Condor	402	108	
	2 x Wolf	316	105	
	2 x Lynx	366	108	
	2 x Panther	424	112	
	2 x Dove	564	122	
	2 x Condor	804	139	
110	1 x Wolf	158		105
	1 x Lynx	183		106
	1 x Panther	212		108
	1 x Dove	282		112
	1 x Condor	402		120
	2 x Wolf	316		117
	2 x Lynx	366		120
	2 x Panther	424		124
	2 x Dove	564		134
	2 x Condor	804		151

Table 6-6 – Budget Costs, HVAC Transmission Lines
Horizontal Conductor Configuration

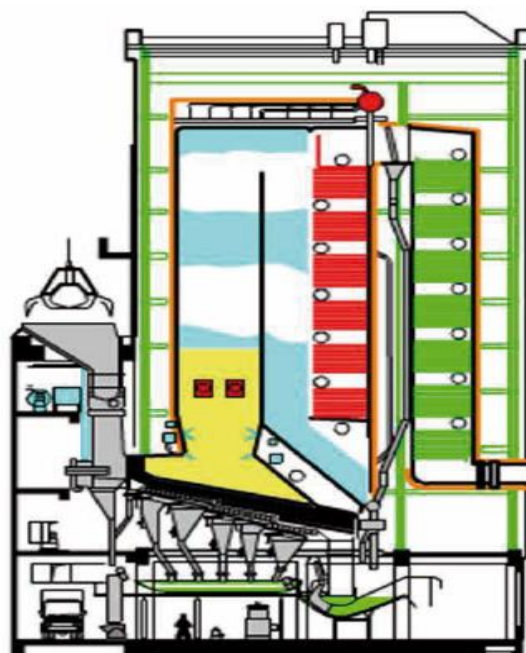
HVAC Voltage (kV)	Conductors per Phase (No x Size)	Total Aluminium Cross-Section (mm ²)	Investment Costs (kUSD/km)		
			Y Tower	V Tower	Cross-Rope Tower
220	1 x Dove	282	146	129	110
	1 x Condor	402	155	137	118
	1 x Moose	529	163	145	126
	2 x Dove	564	169	151	132
	2 x Condor	804	187	169	150
	2 x Moose	1058	206	187	168
	3 x Dove	846	196	178	159
	3 x Condor	1206	225	207	188
	3 x Moose	1587	255	237	218
	275	2 x Bear	528	180	161
2 x Tern		804	200	181	162
2 x Moose		1058	219	200	181
3 x Tern		1206	267	246	227
400	3 x Moose	1587	297	276	257
	4 x Tern	1608	310	289	270
	4 x Moose	2116	354	333	314

Anexo 15

Outras tecnologias de incineração (tipos de incinerador) de resíduos sólidos [59].



roller grate



reciprocating grate



reverse acting grate

Anexo 16

Tensões nos barramentos no ano de 2017.

Bus Number	Bus Name	Base kV	Area Number/Name	Zone Number/Name	Owner Number/Name	Code	Voltage (pu)	Angle (deg)	G-Neg Load (pu)	B-Neg Load (pu)	G-Zero Load (pu)	B-Zero Load (pu)
1	MAPUTO 275	275,0	1	1	1	3	1,0000	-0,74				
2	MATOLA	275,0	1	1	1	1	1,0001	-0,67				
3	INFULENE 275	275,0	1	1	1	1	1,0037	-0,05				
4	INFULENE 110	110,0	1	1	1	1	0,9993	-4,67				
5	INFULENE 66I	66,0	1	1	1	1	0,9939	-1,84				
6	INF 66 II	66,0	1	1	1	1	0,9993	-4,67				
7	CORRUMANA	110,0	1	1	1	2	1,0250	2,36				
8	MACIA	110,0	1	1	1	1	0,9857	-20,29				
9	LIONDE	110,0	1	1	1	1	0,9919	-21,52				
10	XAI-XAI	110,0	1	1	1	1	0,9968	-23,60				
11	LINDELA	110,0	1	1	1	1	0,9893	-31,87				
12	KOMATIP275	275,0	1	1	1	2	1,0250	7,39				
13	KOMATIP110	110,0	1	1	1	-2	1,0237	4,67				
14	RGARCIA	275,0	1	1	1	2	1,0250	7,27				
15	MATOLA 66	66,0	1	1	1	1	0,9880	-4,67				
16	MATOLA GARE	66,0	1	1	1	1	0,9655	-7,30				
17	BOANE	66,0	1	1	1	1	0,9579	-7,60				
18	SALAMANGA	66,0	1	1	1	1	0,8961	-12,35				
19	BELULUANE	66,0	1	1	1	-2	0,9997	-6,26				
20	SE9	66,0	1	1	1	1	0,9849	-5,90				
21	XINAVANE	110,0	1	1	1	1	0,9714	-17,75				
22	KUVANINGA	110,0	1	1	1	-2	1,0032	-21,79				
23		66,0	1	1	1	1	0,9939	-1,84				
24		66,0	1	1	1	1	0,9869	-5,97				
25	TR13	66,0	1	1	1	1	0,9937	-4,52				
101	MOZAL	66,0	1	1	1	1	0,9860	-4,83				
102	SE8	66,0	1	1	1	1	0,9869	-5,97				
103	MAPAI	110,0	1	1	1	1	1,0226	-22,54				
104	MARRACUENE	66,0	1	1	1	1	0,9939	-1,84				
201	CIMENTOS	66,0	1	1	1	1	0,9854	-4,87				
202	SE11	66,0	1	1	1	1	0,9842	-5,97				
203	MANHICA	66,0	1	1	1	1	0,9695	-3,14				
301	MACHAVA	66,0	1	1	1	1	0,9861	-5,04				
302	SE5	66,0	1	1	1	1	0,9881	-6,16				
401	MATOLA RIO	66,0	1	1	1	1	0,9656	-6,70				
402	SE4	66,0	1	1	1	1	0,9890	-5,48				
501	SE 10	66,0	1	1	1	1	0,9939	-1,84				
502	SE7	66,0	1	1	1	1	0,9897	-6,24				
601	SE1	66,0	1	1	1	1	0,9753	-5,72				
701	SE3	66,0	1	1	1	1	0,9762	-5,67				
802	SE2	66,0	1	1	1	1	0,9811	-5,22				
901	TR2	66,0	1	1	1	-2	1,0061	-5,69				
1001	SE6	66,0	1	1	1	1	0,9919	-5,02				
1201		66,0	1	1	1	1	0,9842	-4,99				
1301		66,0	1	1	1	1	1,0060	-5,69				

Anexo 17

Tensões nos barramentos no ano de 2019, sem introdução da central nem das linhas de 275 kV.

Bus Number	Bus Name	Base kV	Area Number/Name	Zone Number/Name	Owner Number/Name	Code	Voltage (pu)	Angle (deg)	G-Neg Load (pu)	B-Neg Load (pu)	G-Zero Load (pu)	B-Zero Load (pu)
1	MAPUTO 275	275,0	1	1	1	3	1,0250	-0,74				
2	MATOLA	275,0	1	1	1	1	1,0188	-0,78				
3	INFULENE 275	275,0	1	1	1	1	1,0177	-0,35				
4	INFULENE 110	110,0	1	1	1	1	1,0085	-2,49				
5	INFULENE 66I	66,0	1	1	1	1	1,0028	-2,86				
6	INF 66 II	66,0	1	1	1	1	1,0065	-2,49				
7	CORRUMANA	110,0	1	1	1	2	1,0250	4,60				
8	MACIA	110,0	1	1	1	1	1,0164	3,76				
9	LIONDE	110,0	1	1	1	1	1,0011	6,53				
10	XAI-XAI	110,0	1	1	1	1	1,0098	-0,50				
11	LINDELA	110,0	1	1	1	1	0,9434	-11,33				
12	KOMATIP275	275,0	1	1	1	-2	1,0246	5,77				
13	KOMATIP110	110,0	1	1	1	-2	1,0237	6,90				
14	RGARCIA	275,0	1	1	1	2	1,0250	5,64				
15	MATOLA 66	66,0	1	1	1	1	0,9943	-4,37				
16	MATOLA GARE	66,0	1	1	1	1	0,9313	-7,78				
17	BOANE	66,0	1	1	1	1	0,9268	-9,19				
18	SALAMANGA	66,0	1	1	1	1	0,8258	-16,79				
19	BELULUANE	66,0	1	1	1	-2	0,9601	-7,67				
20	SE9	66,0	1	1	1	1	0,9897	-3,58				
21	XINAVANE	110,0	1	1	1	1	1,0155	1,94				
22	KUVANINGA	110,0	1	1	1	2	1,0000	10,08				
23		66,0	1	1	1	1	1,0028	-2,86				
24		66,0	1	1	1	1	0,9930	-3,54				
25	TR13	66,0	1	1	1	1	1,0000	-2,91				
26	MACIA 2	275,0	1	1	1	1	1,0164	3,76				
101	MOZAL	66,0	1	1	1	1	0,9923	-4,53				
102	SE8	66,0	1	1	1	1	0,9930	-3,54				
103	MAPAI	110,0	1	1	1	1	0,9851	9,61				
104	MARRACUENE	66,0	1	1	1	1	1,0028	-2,86				
201	CIMENTOS	66,0	1	1	1	1	0,9917	-4,57				
202	SE11	66,0	1	1	1	1	0,9887	-3,69				
203	MANHICA	66,0	1	1	1	1	0,9673	-4,70				
301	MACHAVA	66,0	1	1	1	1	0,9894	-4,46				
302	SE5	66,0	1	1	1	1	0,9954	-3,40				
401	MATOLA RIO	66,0	1	1	1	1	0,9494	-7,57				
402	SE4	66,0	1	1	1	1	0,9951	-3,09				
501	SE 10	66,0	1	1	1	1	1,0028	-2,86				
502	SE7	66,0	1	1	1	1	1,0000	-2,92				
601	SE1	66,0	1	1	1	1	0,9819	-5,39				
701	SE3	66,0	1	1	1	1	0,9832	-5,32				
702	SALAMANGA275	275,0	1	1	1	4	1,0285	1,90				
801	BELULUANE275	275,0	1	1	1	4	1,0287	2,54				
802	SE2	66,0	1	1	1	1	0,9787	-5,65				
901	TR2	66,0	1	1	1	2	1,0000	-2,91				
902	CENTRAL WTE	66,0	1	1	1	4	1,0301	-0,10				
1001	SE6	66,0	1	1	1	1	0,9984	-2,77				
1201		66,0	1	1	1	1	0,9832	5,34				

Bus Plant Machine Load Fixed Shunt Switched Shunt Branch Breaker 2 Windino 3 Windino Impedance table FACTS 2-Term DC VSC DC N-Term DC

Anexo 18

Tensões nos barramentos no ano de 2019, com introdução da central e das linhas de 275 kV.

Bus Number	Bus Name	Base kV	Area Number/Name	Zone Number/Name	Owner Number/Name	Code	Voltage (pu)	Angle (deg)	G-leg Load (pu)	B-leg Load (pu)	G-Zero Load (pu)	B-Zero Load (pu)
1	MAPUTO 275	275,0	1	1	1	3	1,0250	-0,74				
2	MATOLA	275,0	1	1	1	1	1,0203	-0,54				
3	INFULENE 275	275,0	1	1	1	1	1,0194	-0,06				
4	INFULENE 110	110,0	1	1	1	1	1,0064	-1,50				
5	INFULENE 66I	66,0	1	1	1	1	1,0046	-2,57				
6	INF 66 II	66,0	1	1	1	1	1,0064	-1,51				
7	CORRUMANA	110,0	1	1	1	2	1,0250	5,58				
8	MACIA	110,0	1	1	1	1	1,0171	3,37				
9	LIONDE	110,0	1	1	1	1	1,0014	6,14				
10	XAI-XAI	110,0	1	1	1	1	1,0106	-0,88				
11	LINDELA	110,0	1	1	1	1	0,9446	-11,70				
12	KOMATIP275	275,0	1	1	1	-2	1,0253	5,22				
13	KOMATIP110	110,0	1	1	1	-2	1,0237	7,89				
14	RGARCIA	275,0	1	1	1	-2	1,0257	5,09				
15	MATOLA 66	66,0	1	1	1	1	0,9987	-2,65				
16	MATOLA GARE	66,0	1	1	1	1	0,9626	-1,52				
17	BOANE	66,0	1	1	1	1	1,0191	1,45				
18	SALAMANGA	66,0	1	1	1	1	1,0259	3,24				
19	BELULUANE	66,0	1	1	1	-2	1,0193	3,62				
20	SE9	66,0	1	1	1	1	0,9897	-2,54				
21	XINAVANE	110,0	1	1	1	1	1,0155	1,81				
22	KUVANINGA	110,0	1	1	1	2	1,0000	9,69				
23		66,0	1	1	1	1	1,0046	-2,57				
24		66,0	1	1	1	1	0,9931	-2,49				
25	TR13	66,0	1	1	1	1	1,0000	-1,76				
26	MACIA 2	275,0	1	1	1	1	1,0171	3,37				
101	MOZAL	66,0	1	1	1	1	0,9967	-2,80				
102	SE8	66,0	1	1	1	1	0,9931	-2,49				
103	MAPAI	110,0	1	1	1	1	0,9851	9,23				
104	MARRACUENE	66,0	1	1	1	1	1,0046	-2,57				
201	CIMENTOS	66,0	1	1	1	1	0,9962	-2,84				
202	SE11	66,0	1	1	1	1	0,9888	-2,64				
203	MANHICA	66,0	1	1	1	1	0,9692	-4,40				
301	MACHAVA	66,0	1	1	1	1	0,9933	-2,91				
302	SE5	66,0	1	1	1	1	0,9955	-2,30				
401	MATOLA RIO	66,0	1	1	1	1	0,9985	-1,37				
402	SE4	66,0	1	1	1	1	0,9952	-2,05				
501	SE 10	66,0	1	1	1	1	1,0046	-2,57				
502	SE7	66,0	1	1	1	1	1,0000	-1,76				
601	SE1	66,0	1	1	1	1	0,9864	-3,65				
701	SE3	66,0	1	1	1	1	0,9877	-3,58				
702	SALAMANGA275	275,0	1	1	1	1	1,0270	3,54				
801	BELULUANE275	275,0	1	1	1	1	1,0254	4,04				
802	SE2	66,0	1	1	1	1	0,9832	-3,91				
901	TR2	66,0	1	1	1	2	1,0000	-1,76				
902	CENTRAL WTE	66,0	1	1	1	-2	1,0492	4,04				
1001	SE6	66,0	1	1	1	1	0,9984	-1,76				
1201		66,0	1	1	1	1	0,9877	-3,58				
1301		66,0	1	1	1	1	1,0000	-1,76				