



**Elias Viriato Wetela**

Licenciado em Física

## **Contribuição para o Estudo do Despacho Técnico-Económico no Sistema Electroprodutor em Moçambique**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Energias  
Renováveis – Conversão Eléctrica e Utilização Sustentáveis

Orientador: Jorge Alberto Mendes de Sousa – Professor Coordenador, ISEL

Co-orientador: Mário Ventim Neves – Professor Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor(a) Anabela Monteiro Gosalves Pronto – FCT/UNL

Arguente(s): Prof. Doutor(a) Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis – ISEL/IPL

Vogal(ais): Prof. Doutor: Jorge Alberto Mendes de Sousa – ISEL

Prof. Doutor: Mário Ventim Neves – FCT/UNL



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Abril de 2013**

**Elias Viriato Wetela**

Licenciado em Física

**Contribuição para o Estudo do Despacho  
Técnico-Económico no Sistema  
Electroprodutor em Moçambique**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Energias  
Renováveis – Conversão Eléctrica e Utilização Sustentáveis

Orientador: Jorge Alberto Mendes de Sousa, Professor Coordenador, ISEL

Co-orientador: Mário Ventim Neves, Professor Auxiliar, FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor(a) Anabela Monteiro Golsalves Pronto – FCT/UNL

Arguente(s): Prof. Doutor(a) Francisco Alexandre Ganho da Silva Reis – ISEL/IPL

Vogal(ais): Prof. Doutor: Jorge Alberto Mendes de Sousa – ISEL

Prof. Doutor: Mário Ventim Neves – FCT/UNL

## **Contribuição para o Estudo do Despacho Técnico-Económico no Sistema Electroprodutor em Moçambique**

**Copyright** © Elias Viriato Wetela, FCT/UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

**T**he weight of the reasons cannot be taken with the precision of algebraic quantities, yet when each is thus considered, separately and comparatively, we think we can judge better, and we less liable to make a rash step, and in fact we have found great advantage from this kind of equation, and what might be called moral or prudential algebra.

(B. Franklin)



## **Agradecimentos**

A presente dissertação constitui uma etapa importante a nível académico, é o resultado não só de um trabalho pessoal, neste âmbito, gostaria de dirigir uma palavra de grato reconhecimento a todas as pessoas e instituições que, de diferentes formas, com seu apoio, tornaram possível a sua concretização.

Aos orientadores Professor Jorge de Sousa e Professor Mário Fernando Ventim Neves, orientadores desta dissertação, pela disponibilidade, apoio incondicional e empenho na orientação científica deste estudo a nível do rigor, sugestões e críticas.

Aos Professores Inocente Vasco Mutimucuo e Adriano Sacate, professores do departamento de Física da Universidade Eduardo Mondlane, que moral e institucionalmente me incentivaram a prosseguir na formação a este nível.

Engenheiro Ezequiel Carvalho (ISEL), que prestou o seu apoio incondicional na orientação para a modelização com o software GAMS, executado na elaboração na presente dissertação.

A minha Mãe Luísa Viriato, por ter sempre acreditado em mim, e apoiado incondicionalmente, nos bons e maus momentos. Com todo o seu apoio, me permitiu crescer e aprender. Reconheço o esforço do meu Pai Damasco Joel Wetela (em memória) que fez de tudo para me guiar habitualmente pelo percurso da vida.

A minha namorada Olga Isabel Mufume, pelo amor, paciência e motivação constante durante os nossos 10 anos de namoro.

Não menos importante, ao Professor Gabriel de Barros, que de braços abertos acolheu-me e integrou-me na convivência do dia a dia nesta minha primeira experiência académica fora fronteiras.

O meu muito obrigado ao (IPAD)  
Instituto Português de apoio  
ao Desenvolvimento !

## **Resumo**

O objectivo específico da presente pesquisa, é concernente á optimização de produção de energia eléctrica baseada na tecnologia hidráulica, de forma a minimizar o custo de produção eléctrica por utilização da tecnologia térmica. Tal processo designado por despacho económico, é efectuado em vários cenários por forma a aproximar a realidade, e que é modelizado por intermédio de uma plataforma informática GAMS (General Algebraic Modeling System).

O despacho económico constitui a resposta do problema ao ajuste de produção eléctrica em relação a procura, isto porque, permitir solucionar quase a tempo real o uso racional de energia primaria convertida em energia eléctrica.

Entretanto, com base no diagrama de carga mensal do sistema Moçambicano (pontas) fez-se uma extrapolação baseada no diagrama de carga da REN, na qual se aplicou o método adimensional por forma a serem encontrados os correspondentes diagramas de carga hora-hora do sistema eléctrico em Moçambicano.

Os resultados obtidos pelo método adimensional foram posteriormente caracterizados por «diagrama de carga sob ponta máxima de consumos» e «diagrama de carga sob ponta mínima de consumos», para cada uma das quatro regiões de distribuição electricidade designadas por ATSU, ATCN, ATCE e ATNO, de modo a serem modelizados por intermédio do software GAMS.

**Palavras – chaves:** optimização de produção de energia eléctrica, despacho económico de geradores, diagrama de carga.

## **Abstract**

The main objective of the present dissertation is concerned on the optimization of power energy generation based on the hydraulic technology in order to minimize the objective function (total cost of energy power generation) by using the thermal units technology. Such process designated as economic dispatch, which is simulated in vary scenarios in such way to approximate the case study reality. To perform the respective optimization we used the software tool GAMS – General Algebraic Modeling System.

The economic dispatch might give the answer to the problem related with the power energy adjusting on the supply side relative to the power energy demand, which could solve almost on real time the amount of primary energy used to convert in to energy power.

Therefore, according to the monthly Mozambique load shape (peak) were made the extrapolation based on the hourly Portuguese system load shape using data from REN (Rede Eléctrica Nacional), where were used the adimensional method in such way to be reached the equivalent hourly load shape to Mozambique system.

The result obtained from the adimensional method were characterized by level which consist in « maximum load shape of demand» and «minimum load shape of demand» for one of each four subdivided supply electricity system in Mozambique appointed as ATSU, ATCN, ATCE e ATNO in such way to be modelised by GAMS software.

**Keywords:** optimization of power energy generation, economic dispatch, load shape.

É de salientar que por mera razão de praticabilidade aliada a não devida interiorização ao novo acórdão ortográfico, a presente dissertação foi escrita na base da então ortografia.

# Índice

|   |     |
|---|-----|
| Agradecimentos .....  | i   |
| Resumo .....  | ii  |
| Abstract .....  | iii |
| Acrónimos.....  | xi  |
| Lista de Variáveis.....   | xii |
| 1. Introdução .....   | 1   |
| 1.1. Enquadramento e Motivação.....   | 1   |
| 1.2. Estrutura da Dissertação.....  | 3   |
| 1.3. Objectivos .....   | 5   |
| 1.3.1. Objectivo Geral .....  | 5   |
| 1.3.2. Objectivo Específicos.....   | 5   |
| 2. Pressuposto Teórico .....  | 7   |
| 2.1 A Produção e a Procura de Energia Eléctrica.....                                    | 7   |
| 2.2. A Coordenação Hidrotérmica.....  | 9   |
| 2.2.1. Problematização da Coordenação Hidrotérmica .....                                | 11  |
| 2.2.2. Formulação do Problema na Coordenação Hidrotérmica.....                          | 12  |
| 2.2.3. Solucionamento do Problema da Coordenação Hídrica .....                          | 13  |
| 2.3. Conversão do Sistema Hídrico e Térmico na Produção de Energia Eléctrica .....      | 14  |
| 2.3.1. Sistema Hídrico na Conversão em Energia Eléctrica .....                          | 14  |
| 2.3.2. Sistema Térmico na Conversão em Energia Eléctrica.....                           | 16  |
| 2.4. Despacho Económico de Produção em Geradores Térmicos .....                         | 18  |
| 2.5. Teoria do Custo Marginal e o Teorema de Karush Kuhn Tucker .....                   | 20  |
| 3. Caracterização do Sector de Energia em Moçambique .....                              | 24  |
| 3.1. Actual Estado de Energias Renováveis em Moçambique .....                           | 24  |
| 3.2. Actual Estado de Produção e Transporte de Energia de Eléctrica em Moçambique ..... | 25  |
| 3.3. Actual Contexto do Sistema de Distribuição de Electricidade em Moçambique .....    | 29  |
| 4. Metodologia do Trabalho .....  | 31  |
| 4.1. Coordenação Hidrotérmica .....   | 31  |
| 4.2. Custo de Combustível Utilizados nos Grupos Geradores .....                         | 35  |
| 4.2.1. Custo de Produção em Grupos Hídricos .....                                       | 35  |
| 4.2.2. Custo de Produção em Grupos Geradores Térmico .....                              | 35  |
| 4.2.3. Despacho Económico de Grupos Geradores Térmico.....                              | 38  |
| 4.3. Caracterização Técnica de Grupos Térmicos .....                                    | 39  |
| 4.4. Breve Descrição do Software Utilizado no Trabalho – GAMS.....                      | 41  |
| 5. Análise de Dados e Discussão de Resultados .....                                     | 42  |

|  |    |
|--|----|
| 5.1. Análise Sobre Região Sul (ATSU).....  | 42 |
| 5.2. Análise Sobre Região Centro (ATCE) .....  | 48 |
| Os diagramas apresentados nas figuras 5.5 até 5.8 carecem de dados suficientes, razão pela qual a sua disposição apresenta vários vácuos.....  | 53 |
| 5.3. Análise Sobre Região Centro (ATCN).....   | 53 |
| 5.4. Análise Sobre Região Norte (ATNO) .....   | 57 |
| 6. Interligação entre Regiões .....  | 61 |
| 6.1. ATNO Interligada á ATCN.....  | 61 |
| 6.2. ATCN e ATNO Interligada a ATCE.....   | 64 |
| Observa-se que na interligação de ATCN e ATNO a ATCE os geradores térmico encontram-se fora de operação. A figura 6.5 é o espectro da proporção de energia eléctrica produzida por região, na base do diagrama de carga interligado centro e centro-norte em Moçambique, referente ao ano 2010. .... | 66 |
| 6.3. Sistema Interligado na Hipótese de Acoplamento das Quatro Regiões á Única . . . . . Linha Nacional de Transporte Considerando Integração de Grupos Projectados.....   | 73 |
| 7. Conclusão.....  | 85 |
| 7.1. Recomendações.....  | 88 |
| 7.2. Dificuldades e Perspectivas Futuras.....  | 89 |
| Referências Bibliográficas .....   | 90 |
| Anexos .....   | 92 |

## Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura: 2.1 Diagrama de carga diário típica do sistema eléctrico em Moçambique.....                                      | 8  |
| Figura 2.2: Par de grupo gerador (hídrico e térmico) em um sistema hidrotérmico.....                                     | 11 |
| Figura 2.3: Curva característica da relação entre volume da água turbinada e a potência gerada.....                      | 15 |
| Figura 2.4: Curva característica da taxa de água incrementada para fornecer 1 MW em um grupo hídrico...                  | 15 |
| Figura 2.5: Componentes principais que constituem um grupo gerador térmico.....  | 17 |
| Figura 2.6: Curva da relação entre combustível gasto e a potência gerada em um grupo termico.....                        | 18 |
| Figura 2.7: Disposição de N geradores térmico ligados a um barramento no suprimento da garga. ....                       | 19 |
| Figura 3.1: Uma das acções que tem estado a ser desenvolvidas na área das renováveis pela FUNAE .....                    | 24 |
| Figura 3.2: Diagrama do sistema de transporte de distribuição de electricidade em Moçambique.....                        | 25 |
| Figura 3.6:Configuração actual da rede de transporte de energia eléctrica até 2011. ....                                 | 30 |
| Figura 3.7: Configuração do projecto de alargamento da actual capacidade instalada. ....                                 | 32 |
| Figura 4.1: Diagrama de carga diário típico do sistema Português, num dia de máximo consumo .....                        | 32 |
| Figura 4.2: Curva adimensional baseada no diagrama de carga da figura 4.1 .....  | 33 |
| Figura 4.3:Diagrama de carga diário típico na ATSU em um dia de máximo consumo .....                                     | 33 |
| Figura 4.4:Subdivisão em áreas regionais na distribuição de electricidade. ....  | 34 |
| Figura 5.1: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>A</b> <sub>1</sub> .....  | 44 |
| Figura 5.2: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>A</b> <sub>2</sub> .....  | 46 |
| Figura 5.3: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>A</b> <sub>3</sub> .....  | 47 |
| Figura 5.4: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>A</b> <sub>4</sub> .....  | 48 |
| Figura 5.5: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>B</b> <sub>1</sub> .....  | 50 |
| Figura 5.6: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>B</b> <sub>2</sub> .....  | 51 |
| Figura 5.7: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>B</b> <sub>3</sub> .....  | 52 |
| Figura 5.8: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>B</b> <sub>4</sub> .....  | 53 |
| Figura 5.9: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>C</b> <sub>1</sub> .....  | 55 |
| Figura 5.10: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>C</b> <sub>2</sub> ..... | 56 |
| Figura 5.11: Diagrama característico de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>D</b> <sub>2</sub> .....          | 58 |
| Figura 6.1: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>E</b> <sub>1</sub> .....              | 62 |
| Figura 6.2: Contribuição no nivelamento do diagrama de carga por região sobre cenário <b>E</b> <sub>1</sub> .....        | 62 |
| Figura 6.3: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>E</b> <sub>2</sub> .....              | 63 |
| Figura 6.4: Contribuição no nivelamento do diagrama de carga por região sobre cenário <b>E</b> <sub>2</sub> .....        | 64 |
| Figura 6.5: Proporção de energia eléctrica por fonte no sistema interligado ATCE-ATCN-ATNO .....                         | 66 |
| Figura 6.6: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>F</b> <sub>1</sub> .....              | 67 |
| Figura 6.7: Contribuição no nivelamento do diagrama de carga por região sobre cenário <b>F</b> <sub>1</sub> .....        | 68 |
| Figura 6.8: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>F</b> <sub>2</sub> .....              | 69 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 6.9: Contribuição no nivelamento do diagrama de carga por região sobre cenário <b>F<sub>2</sub></b> .....       | 69 |
| Figura 6.10: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>F<sub>3</sub></b> .....            | 70 |
| Figura 6.11: Contribuição no nivelamento do diagrama de carga por região sobre cenário <b>F<sub>3</sub></b> .....      | 71 |
| Figura 6.12: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>F<sub>4</sub></b> .....            | 72 |
| Figura 6.13: Contribuição no nivelamento do diagrama de carga por região sobre cenário <b>F<sub>4</sub></b> .....      | 72 |
| Figura 6.14: Curvas características da variação do custo margina com o crescimento da potência.....                    | 76 |
| Figura 6.15: Proporção de electricidade por tecnologia na interligação ATSU-ATCE-ATCN-ATNO.....                        | 77 |
| Figura 6.16: Definição de argumentos no GAMS sobre operação de coordenação hidrotérmica.....                           | 78 |
| Figura 6.17: Tradução de principais argumentos no GAMS sobre operação de coordenação hidrotérmica...                   | 79 |
| Figura 6.18: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>G<sub>1</sub></b> .....            | 80 |
| Figura 6.19: Distribuição de electricidade por tecnologia no diagrama de carga para cenário <b>G<sub>1</sub></b> ..... | 81 |
| Figura 6.20: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>G<sub>2</sub></b> .....            | 83 |
| Figura 6.21: Distribuição de electricidade por tecnologia no diagrama de carga para cenário <b>G<sub>2</sub></b> ..... | 83 |

## Lista de Tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 3.1: Evolução da ponta no consumo de electricidade em Moçambique. ....                                     | 29 |
| Tabela 4.1: Informação do preço de combustível para o sector electroproductor. ....                               | 36 |
| Tabela 4.2: Variação do preço de combustível consumido na tecnologia térmica. ....                                | 36 |
| Tabela 4.3: Etapas idealizadas para guiar a modelização na coordenação hidrotérmica. ....                         | 36 |
| Tabela 4.4: Informação do caudal turbinado disponível nas centrais hídricas em Moçambique. ....                   | 37 |
| Tabela 4.5: Incremento de volume de água capaz de produzir 1 MW nos de grupos hídricos. ....                      | 37 |
| Tabela 4.6: Definição de senários que conduzem a modelização da coordenação hidrotérmica. ....                    | 38 |
| Tabela 4.7: Característica das funções custo de produção de energia eléctrica em geradores térmicos. ....         | 39 |
| Tabela 4.8: Agregação das funções custo de produção de acordo com a localização das mesmas. ....                  | 40 |
| Tabela 4.9: Períodos em intervalos de tempo de consumos durante as 24 horas no digrama nacional. ....             | 40 |
| Tabela 5.1: Centrais hídricas presentes a fornecer na rede nacional. ....   | 43 |
| Tabela 5.2: Centrais térmicas presentes a fornecer na rede nacional. ....   | 43 |
| Tabela 5.3: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>A</b> <sub>1</sub> . ....  | 44 |
| Tabela 5.4: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>A</b> <sub>2</sub> . ....  | 45 |
| Tabela 5.5: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>A</b> <sub>3</sub> . ....  | 46 |
| Tabela 5.6: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>A</b> <sub>4</sub> . ....  | 47 |
| Tabela 5.7: Centrais hídricas presentes a fornecer na rede nacional. ....   | 48 |
| Tabela 5.8: Centrais térmicas presentes a fornecer na rede nacional. ....   | 49 |
| Tabela 5.9: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>B</b> <sub>1</sub> . ....  | 49 |
| Tabela 5.10: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>B</b> <sub>2</sub> . .... | 50 |
| Tabela 5.11: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>B</b> <sub>3</sub> . .... | 51 |
| Tabela 5.13: Centrais hídricas presentes a fornecer na rede nacional. ....  | 54 |
| Tabela 5.14: Centrais térmicas presentes a fornecer na rede nacional. ....  | 54 |
| Tabela 5.15: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>C</b> <sub>1</sub> . .... | 55 |
| Tabela 5.16: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>C</b> <sub>2</sub> . .... | 56 |
| Tabela 5.17: Centrais hídricas presentes a fornecer na rede nacional. ....  | 57 |
| Tabela 5.18: Centrais térmicas presentes a fornecer na rede nacional. ....  | 57 |
| Tabela 5.19: Resultado de produção de energia eléctrica sobre na região ATNO ( <b>D</b> <sub>1</sub> ). ....      | 57 |
| Tabela 6.1: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>E</b> <sub>1</sub> . ....  | 61 |
| Tabela 6.2: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>E</b> <sub>2</sub> . ....  | 63 |
| Tabela 6.3: Centrais hídricas presentes a fornecer na rede nacional. ....   | 65 |
| Tabela 6.4: Centrais térmicas presentes a fornecer na rede nacional. ....   | 65 |
| Tabela 6.5: Resultado da optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>F</b> <sub>1</sub> . ....  | 67 |
| Tabela 6.6: Resultado da optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>F</b> <sub>2</sub> . ....  | 68 |

|   |    |
|---|----|
| Tabela 6.7: Resultado da optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>F</b> <sub>3</sub> . ..... | 70 |
| Tabela 6.8: Resultado da optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>F</b> <sub>4</sub> . ..... | 71 |
| Tabela 6.9: Centrais hídricas presentes a fornecer na rede nacional. ....   | 74 |
| Tabela 6.10: Centrais térmicas presentes a fornecer na rede nacional. ....  | 74 |
| Tabela 6.11: Agregação das funções custo de produção de energia eléctrica. ....                                   | 75 |
| Tabela 6.12: Agregação das funções características custo de produção.....   | 75 |
| Tabela 6.13: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>G</b> <sub>1</sub> .....  | 80 |
| Tabela 6.14: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário <b>G</b> <sub>2</sub> .....  | 82 |

## **Acrónimos**

|         |   |   |
|---------|---|---|
| ATCE    | – | Área de Transporte Centro                       |
| ATCN    | – | Área de Transporte Centro Norte                 |
| ATNO    | – | Área de Transporte Norte                        |
| ATSU    | – | Área de Transporte Sul                          |
| CNELEC  | – | Conselho Nacional de Electricidade              |
| DGEG    | – | Direção Geral de Energia e Geologia             |
| EDM     | – | Electricidade de Moçambique                     |
| FUNAE   | – | Fundo Nacional de Energia                       |
| GAMS    | – | General Algebraic Modeling System               |
| HCB     | – | Hidroeléctrica de Cahora Bassa                  |
| MOTRACO | – | Moçambique Transmission Company                 |
| NERC    | – | North American Electric Reliability Corporation |
| REN     | – | Rede Eléctrica Nacional                         |
| SAPP    | – | South African Power Pool                        |

## Lista de Variáveis

|                             |   |  |
|-----------------------------|---|--|
| $P_h$                       | – | Potência derivado de produção hídrica (MW)                                     |
| $P_t$                       | – | Potência derivado de produção térmica (MW)                                     |
| $P_{c_j}$                   | – | Consumo no período j (MWh)   |
| a                           | – | Coefficiente quadrático da função do custo de produção de gerador              |
| b                           | – | Coefficiente linear da função do custo de produção de gerador                  |
| c                           | – | Coefficiente fixa da função do custo de produção de gerador                    |
| H                           | – | Potência térmica (calorífica) de entrada ( Btu/h);                             |
| P                           | – | Potência eléctrica (MW);   |
| C                           | – | Custo de produção (€/MW);  |
| F                           | – | Custo de combustível injectado na caldeira em cada hora (€/h);                 |
| $\rho_{ag}$                 | – | Densidade da água ( kg/m <sup>3</sup> );                                       |
| g                           | – | Aceleração de gravidade (m/s <sup>2</sup> );                                   |
| q                           | – | Caudal turbinado (m <sup>3</sup> /s);  |
| $\eta$                      | – | Rendimento do gerador (%);   |
| acre-foot                   | – | Volume da água a uma altura de 1 ft (1 acre-foot = 1,2335.103 m <sup>3</sup> ) |
| FP                          | – | Factor de potência (%);  |
| S                           | – | Potência aparente  |
| $I_{1Sul}$ e $I_{2Sul}$     | – | Interligação 1 e 2 na região sul   |
| $I_{1-ATCN}$ e $I_{2-ATCN}$ | – | Interligação 1 e 2 na região norte   |
| $HP_{1-ATSU}$               | – | Grupo hídrico número 1 projectado na região sul                                |
| $H_{1-ASTU}$                | – | Grupo hídrico número 1 na região sul   |
| $H_{3-ATCE}$                | – | Grupo hídrico número 3 na região centro  |
| $HP_{2-ATCN}$               | – | Grupo hídrico número 2 projectado na região centro norte                       |
| $H_{4-ATCE}$                | – | Grupo hídrico número 4 na região centro  |
| $T_{1-Carvão}$              | – | Grupo térmico número 1 a carvão  |
| $T_{1,2,3,4,5 - Gás}$       | – | Grupo térmico número 4 a gás   |

---

# Capítulo

# 1

---

## Introdução

Alberga as notas introdutórias do trabalho e define os objectivos da pesquisa a serem atingidos, assim como a justificativa ao tema em abordagem.

## **1. Introdução**

### **1.1. Enquadramento e Motivação**

A energia eléctrica se obtém pela conversão a partir das fontes de energia primária, significa que, o calor libertado na combustão do carbono, do petróleo e do gás natural (combustível fóssil), é convertido primeiro em energia mecânica de rotação mediante um ciclo termodinâmico.

Por outro lado, em centrais hidroeléctricas, a energia potencial contida na água armazenada em um reservatório é convertida em energia mecânica de rotação em turbinas hidráulicas, que posteriormente é transformada em energia eléctrica mediante a utilização de dispositivos electromecânicos denominados geradores.

O objectivo específico da presente pesquisa, é concernente á optimização de produção de energia eléctrica baseada na tecnologia hidráulica, de forma a minimizar o custo de produção eléctrica pela tecnologia térmica, que é efectuado em vários cenários para aproximar a realidade, modelizado por intermédio de uma plataforma informática GAMS (General Algebraic Modeling System).

A justificação sobre o «análise técnica no trabalho» como parte integrante do tema cinge-se pelo facto de ter sido considerado no presente trabalho parte de dados de ordem técnica que são conjugados, por forma a tomar decisões muito próximas à realidade do caso de estudo (sistema electroproductor em Moçambique).

O impacto que surge pela procura da energia eléctrica, associado a queima de combustível fóssil para geração de electricidade, reflectem-se na emissão de gases efeito de estufa, tais como CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub> e NO<sub>x</sub>, que contribui para sua concentração na atmosfera.

Neste âmbito, para materialização do presente trabalho, o pesquisador suscitado pelo real facto de que, a energia eléctrica gerada assim como o volume da água ou do gás que flui dos reservatórios como resultado da diferença de cotas, não pode ser armazenado economicamente na base das tecnologias actualmente existentes, excepto o armazenamento em pequenas dimensões, logo, o sistema de geração, transporte e distribuição, deve ser capaz de em todo instante ajustar a produção de energia eléctrica em função da procura, de forma a otimizar os recursos utilizados na conversão de energia.

O despacho económico constitui a resposta do problema ao ajuste de produção eléctrica em relação à procura, isto porque, permite solucionar a tempo real o uso racional de energia primária que é convertida em energia eléctrica.

A metodologia usada recai sobre análise quantitativa, pese embora tenha havido durante a pesquisa tenha havido um estudo sobre o tema baseado na revisão bibliográfica, pois, foi na base desta perspectiva metodológica que definiu a estruturação do trabalho, a qual segue a respectiva estrutura da pesquisa.

## 1.2. Estrutura da Dissertação

O trabalho dispõe de uma estrutura sequencial obedecendo quatro capítulos que são envolvidos de subcapítulos.

*Primeiro capítulo* – alberga as notas introdutórias do trabalho e define os objectivos da pesquisa a serem atingidos, assim como a justificativa ao tema em abordagem.

*Segundo capítulo* – é constituído por pressuposto teórico, onde se fez um levantamento da literatura pertinente ao tema, dentre muitos foram consultadas sites de instituições relacionadas com serviços energéticos, caso de DGEG, REN, NERC e outros, foram também consultados relatórios técnicos e de estatística da EDM referente aos últimos cinco anos.

*Terceiro capítulo* – é feita caracterização do sector de energia em Moçambique.

*Quarto capítulo* – é apresentada a metodologia que orienta o trabalho.

*Quinto capítulo* – tratamento de dados e discussão dos resultados. Neste capítulo, o tratamento de dados e a respectiva análise teve como base a seguinte abordagem.

- **Coordenação hidrotérmica** – Não se leva em consideração os constrangimentos da linha e nem de investimentos. Conhecendo as características técnicas de funcionamento de grupos geradores hídricos e também dos geradores térmicos concernente ao preço de combustível, através das respectivas funções de custo de produção, foram analisados vários cenários.

Por outro lado, especial atenção deu-se na consideração das características de funcionamento dos grupos hídricos na qual se teve o cuidado de analisar a disponibilidade do recurso hídrico nos pontos onde se encontram a operar (caso de estudo Moçambicano), sendo para tal considerados as duas estações do ano «época de baixa precipitação e época com disponibilidade de recurso hídrico». Uma vez que os geradores tanto térmicos como hídricos funcionam sob uma gama de eficiência, o combustível "gasto" por cada gerador "input" para produzir um (MWh) "output" é distribuído de acordo com o parâmetro eficiência de cada tecnologia.

Entretanto, com base no diagrama de carga do sistema Moçambicano (pontas) fez-se uma extrapolação baseada no diagrama de carga da REN, na qual se aplicou o método adimensional por forma a serem encontrados os correspondentes diagramas de carga hora-hora do sistema

eléctrico Moçambicano, e que posteriormente foram caracterizados por «diagrama de carga sob ponta máxima de consumos» e «diagrama de carga sob ponta mínima de consumos», para cada uma das quatro regiões de distribuição de electricidade designadas por ATSU, ATCN, ATCE e ATNO.

*Sexto capítulo* – de forma complementar ao quinto capítulo, é feita uma análise sobre interligação entre regiões.

*Sétimo capítulo* – neste capítulo apresenta-se a conclusão do trabalho e possíveis recomendações observadas na pesquisa, assim como apresentação da referencia bibliográfica.

### **1.3. Objectivos**

#### **1.3.1. Objectivo Geral**

A disposição do sistema de produção de energia eléctrica em Moçambique ocorre em subsistemas predominadas pela utilização de grupos hídricos. Neste contexto, o principal objectivo recai sobre análise do despacho técnico-económico do sistema electroproductor em Moçambique, baseada na coordenação hidrotérmica.

#### **1.3.2. Objectivo Específicos**

O objectivo específico que orienta o presente trabalho consiste em;

Optimização de produção de energia eléctrica em cada momento baseado na determinação do perfil de geração a partir da tecnologia hidráulica, por forma a minimizar os custos de produção de energia eléctrica pela utilização da tecnologia térmica, para as seguintes situações em Moçambique:

- i. Sistemas isolados (Sul, Centro, Centro-Norte e Norte);
- ii. Sistema interligado entre regiões (Centro, Centro-Norte e Norte);
- iii. Sistema interligado nacional (hipotético).

---

## Capítulo

## 2

---

### **Pressuposto Teórico**

É constituído por pressuposto teórico, onde se fez um levantamento da literatura pertinente ao tema, dentre muitos foram consultadas "sites" de instituições relacionadas com serviços energéticos, caso de DGEG, REN, NERC e outros, foram também consultados relatórios técnicos e de estatística da EDM referente aos últimos cinco anos contados até 2010.

## 2. Pressuposto Teórico

O tratamento de dados e a respectiva discussão foi efectuado mediante ao pressuposto teórico, ajustado á referencia bibliográfica previamente seleccionada de acordo com o presente tema em pesquisa, por forma a subsidiar a tomada de decisão nos resultados e nas conclusões que se atingiam durante a realização do trabalho.

Foram também consultados na internet sites de instituições de investigação e de serviços relacionadas com a pesquisa, que é o caso das "sites" de, REN, DGEG, HCB, EDM e NERC.

Visto que em geral, a análise económica de produção eléctrica abarca uma larga área de estudo, para que o presente trabalho tivesse uma contextualização, houve necessidade de criar delimitação da referência bibliográfica consultadas, no que diz respeito a abordagem do despacho económico de produção eléctrica para o caso de estudo Moçambicano.

De forma descritiva sublinha-se as duas grandes soluções baseadas no despacho económico tais são:

- *Pré-despacho (reserva girante) – é o serviço de produção eléctrica optimizado em função da carga num dado período, necessário para manter a integridade do sistema de transmissão na presença de constrangimentos (interrupções de geração e variação da carga) [1].*
- *Despacho económico hora-hora «on-line economic dispatch» – e o serviço que garante suprir a variação da carga hora-hora em função da disponibilidade de grupos geradores com objectivo de minimizar o custo total de produção fornecimento eléctrico quantidade de energia produzida por uma central numa num dado período [1].*

### 2.1 A Produção e a Procura de Energia Eléctrica

A energia eléctrica se obtém pela conversão da energia primária, isto é, o calor libertado na combustão do carvão, do petróleo e do gás natural (combustíveis fósseis), ainda na combustão libertada pela fissão de material nuclear, que é convertido primeiro em energia mecânica de rotação mediante um ciclo termodinâmico.

Por outro lado, em centrais hídricas, a energia potencial contida na água armazenada em um reservatório é convertida em energia mecânica de rotação em turbinas hidráulicas [2].

Portanto, a energia mecânica obtida se transforma em energia eléctrica mediante dispositivos electromecânicos denominados geradores.

A energia eléctrica, a diferença de cotas nos depósitos de água ou do gás, não pode ser armazenado economicamente na base das tecnologias actualmente existentes, excepto em armazenamento de pequenas dimensões por intermédio de baterias. No entanto, o sistema de geração, transporte e distribuição, deve ser capaz de ajustar a energia produzida em relação a procura em quase todo instante obedecendo os valores de tensão e frequência especificados na respectiva região.

Por exemplo, a carga no consumo eléctrico varia durante as 24 horas e varia também em função das épocas do ano. Usando a figura 2.1 que se segue;

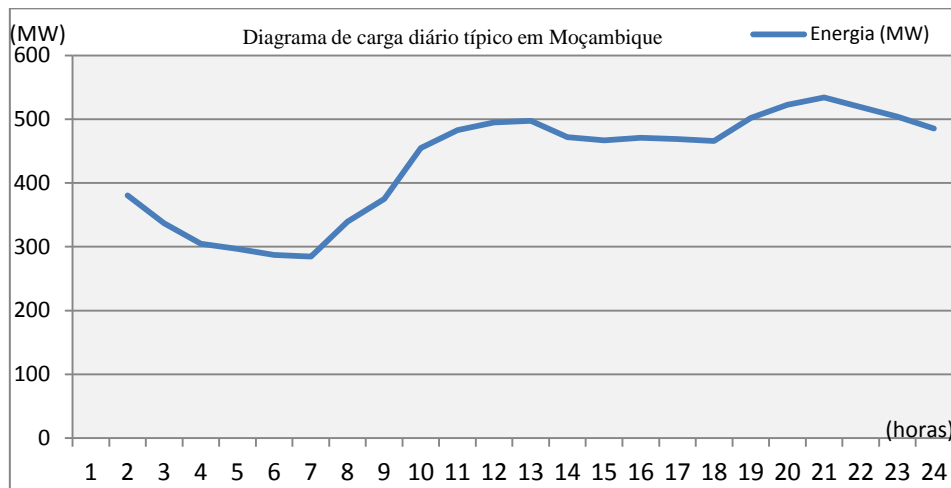


Figura: 2.1 Diagrama de carga diário típica do sistema eléctrico em Moçambique.

É possível examinar a curva de consumo total, que corresponde a carga máxima diária, típica no sistema eléctrico em Moçambique, ocorrido no dia 29 de Dezembro de 2010, sendo que a ponta de potência média horária ocorreu às 21 horas com 534 MW, que praticamente aconteceu no mesmo horário do dia 23 de Dezembro de 2009.

O exemplo acima, mostra que para dar resposta a este nível de consumo, leva-se em consideração aspectos de ordem económica, que avaliam a conveniência de disponibilizar o máximo da capacidade da geração instalada. Os aspectos económicos estão relacionados com o facto de, grupos geradores térmicos constituírem a base do diagrama de produção, razão pela qual são avaliados na base de mérito de ordem na entrada em operação [3].

A ênfase sobre a base do diagrama de produção, tem sido utilizada como uma estratégia para a reserva de produção em grupos geradores de combustível com custos mais elevado, de modo que possam responder muito rapidamente nas horas de ponta, estes grupos de nivelamento de carga são designados de grupos de pontas ou de emergência [4].

O paradigma que surge pela utilização dos grupos geradores de base que ao serem mantidos em funcionamento a 100% das suas capacidades de produção, podem conduzir a que em horas de baixo consumo haja um excesso de produção proveniente da utilização da energia primária. A resposta para este paradigma é encontrado na base da coordenação hidrotérmica.

## **2.2. A Coordenação Hidrotérmica**

A coordenação hidrotérmica, consiste na determinação da produção de energia eléctrica produzida a partir do recurso hídrico em cada momento (hora-hora), de forma a minimizar o custo de produção das centrais térmicas, tendo em consideração as diversas restrições relacionadas com sistema de armazenamento da água [5] [6].

O planeamento dum sistema hidroeléctrico é geralmente mais complexo do que a gestão de um sistema puramente térmico [2]. Por outro lado, cada sistema tem características distintas em função das diferenças naturais dos rios, tipo de barragem construída, queda de água, sistema de afluentes, entre outros.

O sistema hidroeléctrico envolve evidentemente, a previsão e planeamento do caudal turbinado. A questão da previsão do volume da água por turbinar em extensão a longo período «*long - range hidro-scheduling*» envolve por seu turno, o planeamento a longo e curto prazo da disponibilidade do recurso hídrico em função da capacidade do sistema de represas durante um intervalo de tempo, na qual a sua previsão, é efectuada na base de previsão meteorológica e ou mesmo estatístico [3] , [4] e [7].

Normalmente a previsão por extensão a longo tempo compreende um período que vai de uma semana a um ano, ou mesmo vários anos. Sendo que, o termo mais provável no «*long-range hidro-scheduling*», pode ser baseado na probabilidade do grau de precipitação a ser analisado e pela dimensão do plano das necessidades a serem estabelecidas na utilização das águas dos rios [5] e [7].

Portanto, a previsão por extensão a longo prazo para o sector electroproductor, deve ser feita respeitando certos procedimentos baseados nas políticas do uso da água, quando são respondidas questões como [8]:

- i. Poderá a água ser usada atendendo a possibilidade de ser restituída na base da previsão feita estatisticamente (valores médios da pluviosidade);
- ii. Ou então a água será usada considerando a previsão da pior situação – caso de baixa pluviosidade (que obriga maior contribuição das térmicas).

Em forma de resposta às duas situações colocadas anteriormente, poder-se-ia dizer que, a primeira situação é favorável aos electroprodutores, com abundância da água, criam-se condições plenas de funcionamento dos geradores hídricos, e os grupos térmicos são desativados, o resultado é a redução dos custos de produção eléctrica.

Por outro lado, segundo [5] e [7] a previsão do caudal turbinado, em extensão a curto período «short range hidro-scheduling», tem a duração que pode ir entre um dia a uma semana, e em especial integra uma análise hora-hora de todo sistema de produção com o principal objectivo de reduzir os custos de produção para um determinado período de consumo. Para esta situação, sempre assume-se que o nível de carga, o volume de água por turbinar e o número de grupos em operação se encontram bem definidos.

De uma forma concisa, o planeamento como sendo parte da *coordenação hidrotérmica*, consiste na determinação da produção da energia eléctrica produzida a partir dos recursos hídricos em cada momento, por forma a minimizar os custos de produção (das centrais térmicas) tendo em consideração as diversas restrições do sistema, por exemplo, gestão da água para outro uso, caudal mínimo e máximo [5] e [4].

A explicação física e matemática do caso coordenação hidrotérmica, pode ser explicada na base da figura 2.2, na qual se assume que só o sistema hídrico não é suficiente para suportar a carga durante um determinado período, e considerando a existência de um volume de água máximo que poderá ser descarregado durante o período  $T_{\max}$  em horas para garantir a produção [2] e [5].

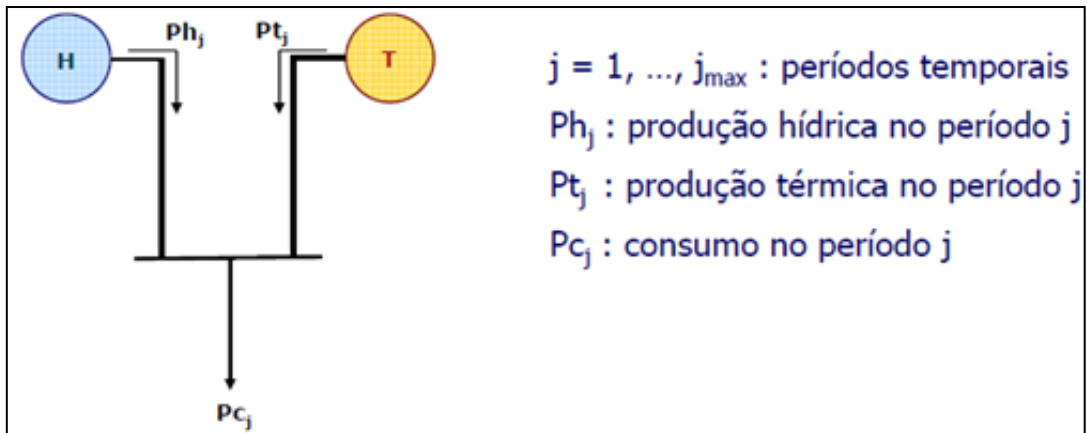


Figura 2.2: Par de grupo gerador (hídrico e térmico) em um sistema hidrotérmico.  
 Fonte: pwp.net,ipl.pt/deea.isel/jsousa.

E obedecendo as condições que regem o problema da coordenação hidrotérmica, são consideradas certas premissas que conduzem ao óptimo funcionamento dos geradores eléctricos, segundo ao que se apresenta de seguida.

### 2.2.1. Problematização da Coordenação Hidrotérmica

Ao se considerar que a potência hídrica instalada é superior ao consumo em todos os períodos  $t_i$  em análise [5].

$$P_{hj}^{\max} \geq P_{Cj} \quad ; \quad j = 1, \dots, j_{\max} \quad (2.1)$$

E por outro lado, tem em conta que, em algumas situações a energia hídrica disponível não é suficiente para satisfazer o consumo em todos os períodos [5], [9] e [10].

$$\sum_{j=1}^{j_{\max}} P_{hj} < \sum_{j=1}^{j_{\max}} P_{Cj} \quad (2.2)$$

Onde:

- $j = 1 \dots j_{\max}$  – é o tempo de funcionamento (h);
- $P_{hj}$  – Potência proveniente da tecnologia hídrica;
- $P_{Cj}$  – é a carga por ser suprimida;

Olhando para a insuficiência de produção por gerador hídrico descrita pela expressão (2.2), então o défice para suportar a carga é coberto pela central térmica [4], e a expressão matemática que coordena o respectivo balanço energético é dada por:

$$W_t = \sum_{j=1}^{j_{\max}} P_{C_j} - \sum_{j=1}^{j_{\max}} P_{h_j} \quad (2.3)$$

Neste contexto, a expressão (2.3) torna-se prático monitorizar os períodos em que a central térmica pode ser desligada.

### 2.2.2. Formulação do Problema na Coordenação Hidrotérmica

Se o interesse é utilizar no máximo a energia produzida por grupos hídricos, de maneira a minimizar o custo de funcionamento das centrais térmicas, para tal, as duas equações (2.4) e (2.5) são definidas como;

$$\min \quad C_T = \sum_{j=1}^{j_{\max}} C_j(P_{t_j}) \quad (2.4)$$

$$\text{s. a} \quad \sum_{j=1}^{j_{\max}} P_{t_j} = P_{\text{carga}} \quad (2.5)$$

$$P_{i_{\min}} \leq P_i \leq P_{\text{carga}} \quad (2.6)$$

No entanto, a agregação das expressões (2.4) e (2.5) é definido recorrendo ao método Lagrangiano [3] e [11], que pode ser apresentado da seguinte forma:

$$L = \sum_{j=1}^{j_{\max}} C_j(P_{t_j}) + \lambda \left( W_t - \sum_{j=1}^{j_{\max}} P_{t_j} \right) \quad (2.7)$$

Assim são encontradas as seguintes parcelas que derivam do ajuste da expressão (2.6).

$$\frac{dL}{dp_{t_j}} = C'_j(P_{t_j}) - \lambda = 0 \quad (2.8)$$

$$P_{t_j} = \text{const} = P_{t_j}^* \quad (2.9)$$

$$C'_j(P_{t_j}) = \lambda \quad (2.10)$$

Definida a equação Lagrangeana (2.6), é apresentada a função (2.9) típica que relaciona a potência da central térmica e custo, isto significa que o gerador térmico deverá operar á um custo  $\lambda$  em função da potência produzida durante o tempo  $t$  [5] e [11].

Onde:

$P^*$  – é o valor óptimo da potência gerada por grupo térmico;  
 $\lambda$  – multiplicador de Lagrange que esclarece o custo marginal de geradores térmicos (€/MW);  
 $L$  – definição da função de Lagrange;  
 $C$  – derivada da primeira ordem da função custo de produção;  
 $W$  – energia produzida em cada instante (MWh);  
 $P_t$  – potência activa produzida por gerador termico;

### 2.2.3. Solucionamento do Problema da Coordenação Hídrica

A função custo de produção eléctrica em grupos geradores térmicos expressa por [5]:

$$C(P_t) = a + bP_t + cP_t^2 \quad (2.11)$$

Então a função custo de produção eléctrica em geradores térmicos pode ser definida considerando o valor óptimo da potência ( $P^*$ ) gerada pelo grupo térmico [5] e [9].

$$C_T = (a + bP_t^* + cP_t^{*2})T \quad (2.12)$$

Onde:

$T$  – é o número total de períodos em que as centrais térmicas se encontram ligadas;  
 $a, b$  e  $c$  – coeficientes térmicos relacionados com a combustão do combustível.

Levando em conta a definição da energia produzida no gerador termico [5] e [7], expressa por (2.12) é obtido a definição do número total de períodos ( $T$ ) em que a central térmica se encontra em operação. Da conjugação de (2.11) e (2.13), a função custo total (2.11) é agora expressa por (2.14).

$$W_t = t \cdot P_t \quad (2.13)$$

$$T = \frac{W_t}{P_t} \quad (2.14)$$

$$C_T = (a + bP_t + cP_t^2) \cdot \frac{W_t}{P_t} \quad (2.15)$$

Entretanto, as condições e as formulações estabelecidas obtém-se a solução que consiste na definição do ponto mais eficiente de funcionamento do gerador térmico para suportar determinada carga o mais tempo possível [5]. Tal é encontrado pela minimização da função custo total de produção (2.10), o que corresponde a derivação de primeira ordem dada pela seguinte expressão:

$$\frac{dC_T}{dP_t} = (b + 2c \cdot P_t) \frac{W_t}{P_t} - (a + bP_t + cP_t^2) \cdot \frac{W_t}{P_t^2} = 0 \quad (2.16)$$

Deste modo, é encontrado o ponto óptimo de funcionamento dos grupos geradores térmicos, que corresponde ao ponto de máxima eficiência [2], [4] e [9] apresentado pela seguinte expressão:

$$P_t = P_t^* = \sqrt{\frac{a}{C}} \quad (2.17)$$

## **2.3. Conversão do Sistema Hídrico e Térmico na Produção de Energia Eléctrica**

### **2.3.1. Sistema Hídrico na Conversão em Energia Eléctrica**

Por outro lado, destaca-se a operacionalidade das centrais hídricas que estão relacionada com a limitação imposta por um conjunto de situações tais como, cheias, abastecimento urbano e biodiversidade, assim como pelas características dos próprios reservatórios de água utilizados para a conversão de energia potencial em energia eléctrica [2], [5], [7] e [12].

Existe semelhança nas características funcionais entre turbinas hídricas e térmicas em termos de "input-output", nas turbinas hídricas o "input" é feito em termos de volume de água por unidade de tempo e "output" é feito em termos de potência eléctrica [2].

A figura 3 mostra a curva típica de "input-output" de um gerador hídrico na qual a montante em que se encontra acoplada é constante. Praticamente esta característica mostra uma curva linear de "input" do volume de água necessário por cada unidade de tempo em função da potência eléctrica como "output" na medida em que a potência eléctrica gerada tende a aumentar até ao ponto da carga nominal do funcionamento do gerador. Acima da carga nominal de funcionamento do gerador, o volume da água admitida aumenta na medida em que a eficiência da turbina baixa [5], [7] e [13].

As unidades de medida apresentadas nas duas figuras 2.3 e 2.4 mostram que o incremento do volume de água é expresso em «acre-feet» para obtenção de um megawatt hora ou seja, corresponde a variação de volume de água em função da queda (altura-h) para extrair um MWh o que equivale a [5] e [7];

- Um acre-foot – unidade de medida do volume da água que abrange uma área ( $m^2$ ) quando cai a uma altura de 1 m;
- 1 acre-foot é equivalente a  $1,2335 \cdot 10^3 m^3$ .

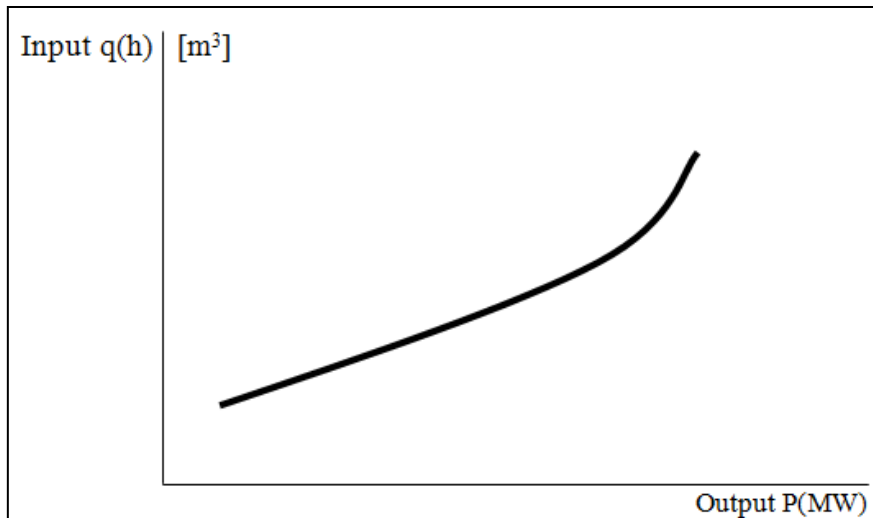


Figura 2.3: Curva característica da relação entre volume da água turbinada e a potência eléctrica gerada em um grupo hídrico.  
 Fonte: Allen.J. Power Generation, II ed.

As figuras (2.3) e (2.4), validam a correspondência existente entre o volume da água turbina (proveniente do reservatório) em função da altura entre a montante e jusante, isto é, a quantidade de energia que se pode extrair de um reservatório da água ( m<sup>3</sup>) é igual ao produto da densidade da água armazenada no reservatório pela altura (m) em que a água deverá cair, baseada na seguinte equação da potência gerada pela turbina hídrica [2], [5], [7] e [9].

$$P(t) = \rho_{ag} \cdot h_{\acute{u}til} \cdot g \tag{2.18}$$

A taxa do volume da água incrementada acima da carga nominal segundo [5] pode ser interpretada na base da curva característica apresentada na figura (2.4).

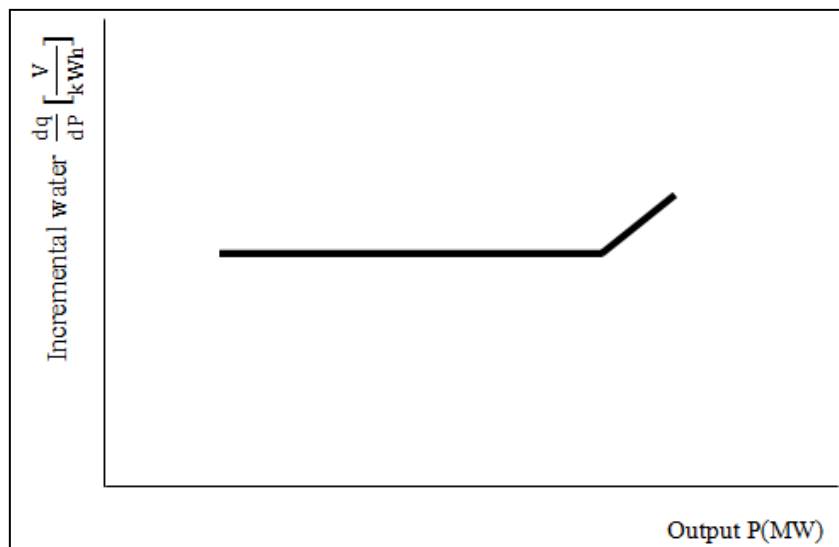


Figura 2.4: Curva característica da taxa de água incrementada para fornecer 1 MW em um grupo hídrico.  
 Fonte: Allen.J, Power Generation, II ed.

A explicação dada nos últimos três parágrafos, é reforçada pelo facto de, nas condições normais o volume de água de (1000 m<sup>3</sup>) que cai à uma altura de 42,5 m extrai uma quantidade de energia equivalente a 1kWh, tal equivalência possui uma proporcionalidade directa, na medida em que, quando um volume de água de 42,5 m<sup>3</sup> que cai à uma altura de 1000 m, é extraída dela uma energia equivalente a 1kWh [5], [9], [7] e [14].

Ao levar em conta o caudal turbinado que tem influência directa no rendimento de funcionamento da turbina [2], a equação (2.17) passa a ser expressa por;

$$P(t) = \rho_{ag} \cdot h_{\text{útil}} \cdot g \cdot q \cdot \eta \quad (2.19)$$

Onde;

P(t) – potência extraída pela turbina hídrica durante um intervalo de tempo t;

$\rho_{ag}$  – densidade da água ( kg/m<sup>3</sup>);

g – aceleração de gravidade (m/s<sup>2</sup>);

q – caudal turbinado (m<sup>3</sup>/s);

$\eta$  – rendimento da turbina (%);

$h_{\text{útil}}$  – altura útil resultado da (altura bruto da queda em metro – perda de carga).

### 2.3.2. Sistema Térmico na Conversão em Energia Eléctrica

Na análise de problemas associados com grupos geradores térmicos depara-se com uma gama de parâmetros incontornáveis inerentes ao funcionamento destes grupos, no que diz respeito a componente económica do combustível utilizado e efeito que se obtém na produção eléctrica.

Os geradores térmicos são caracterizados por possuir na sua constituição uma caldeira que produz o vapor capaz de provocar um binário mecânico. Segundo [3] , [5] e [14] a resultante do binário provocado pela força do vapor que é libertado da caldeira em função do combustível utilizado, está relacionado não só com a produção eléctrica, mas também com o funcionamento de todo o sistema da central, o que significa que, uma central térmica precisa normalmente cerca de 2% a 6% de energia produzida pela mesma para auxiliar no funcionamento dos dispositivos integrantes, tais como, bomba de alimentação da caldeira, ventiladores, condensadores de bombas de circulação da água, etc.

A figura 2.5 representa o esquema típico da constituição de um grupo gerador térmico, constituído por uma caldeira, turbina e um gerador.

A principal razão que justifica a componente económica na operação de grupos térmicos está relacionada com a energia bruta ou primaria "*gross input*" que representa o consumo total de combustível pelo gerador, que é medida seja em termos de euro por cada hora ou em termos de toneladas de carvão por cada hora ou mesmo em termos de milhões de metros cúbicos de gás por cada hora, versus energia eléctrica gerada pelo grupo térmico "*net output*" [2] e [5], que corresponde a taxa de energia disponível em função da capacidade do gerador.

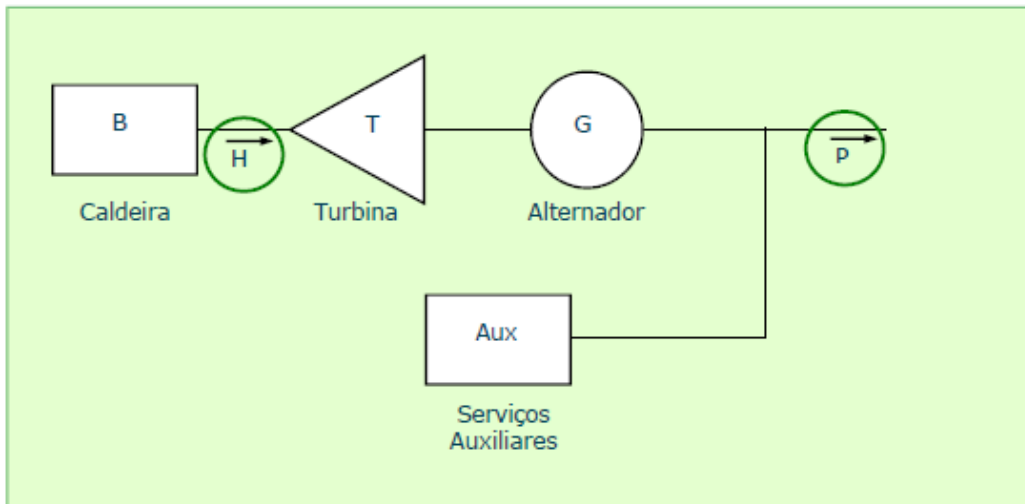


Figura 2.5: Componentes principais que constituem um grupo gerador térmico.  
Fonte: [pwp.net.ipl.pt/deea.isel/jsousa](http://pwp.net.ipl.pt/deea.isel/jsousa).

Em um gerador térmico, a função que expressa a relação "*gross input*" Vs "*net output*", conforme é apresentado na figura 5.2 é dada por [5] e [9].

$$H(P) = a + bP + cP^2 \quad (2.20)$$

Onde:

H – é a potência térmica (calorífica) de entrada;  
P – é a potência eléctrica de saída.

A definição (€ por hora) da equação (2.20) corresponde a relação entre o custo de funcionamento de um gerador térmico e custos de manutenção, assim como os custos de remuneração dos operadores que no geral é incluída na função custo total de produção que é expressa directamente em relação ao custo de combustível usado para se obter a potência P, [2], [5] e [9].

$$C(P) = [a + bP + cP^2]F \quad (2.21)$$

Onde;

C – Custo de produção (€/MW);  
F – Custo de combustível injectado na caldeira em cada hora (€/h).

A interpretação que suscita em torno da figura 2.6, (curva semi-convexa) está relacionada com a característica do combustível usado "input" expressão (2.20) e energia produzida "output" num gerador ideal, na qual o "input" pode ser definida em quantidade de calor expresso em [milhões de Btu por hora (MBtu/h)] ou em termos de custo total por cada hora (€/h) [5] e [9].

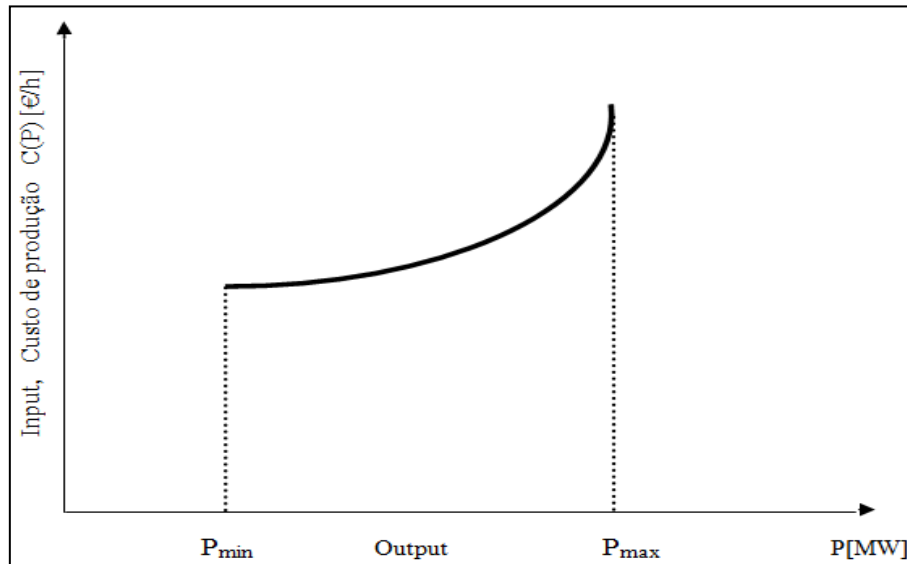


Figura 2.6: Curva da relação entre combustível gasto e a potência gerada em um grupo termico.  
Fonte: Allen.J, Power Generation, II ed.

As características de funcionamento das máquinas mencionadas acima são obtidas na base de testes da queima de combustível durante o respectivo funcionamento, ou mesmo encontrados na base de cálculos do fabricante.

#### 2.4. Despacho Económico de Produção em Geradores Térmicos

A questão do despacho económico assume-se com a existência de  $N$  geradores térmicos ligados a um barramento que abastece determinada carga  $P_{carga}$ , na qual o combustível  $F_i$  usado representa o termo custo, e da operação do gerador resulta a potência eléctrica  $P_i$ . Portanto, a taxa do custo total do combustível no funcionamento do grupo térmico é encontrado pelo somatório de custo de combustível consumido por cada um dos grupos [2], [4], [5] e [9] e é expresso por:

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_N \quad (2.22)$$

$$F_T = \sum_i^N F_i(P_i) \quad (2.23)$$

Entretanto, o despacho económico de produção eléctrica dos geradores térmicos passa por um processo de optimização que usualmente consiste na minimização ou maximização de uma função, assim, vários constrangimentos podem ser definidos por forma a que a função objectivo seja determinado.

Os grupos geradores térmicos possuem vários constrangimentos críticos que podem ser definidos como função auxiliar ou podem ser simples condições [3], tais como limites de operação ou das variáveis a serem analisadas.

Geralmente no despacho económico um dos principais constrangimentos está relacionado com a mínima carga na qual o gerador deve operar, que é largamente influenciado pela produção do vapor e do ciclo regenerativo [2], [5] e [6].

A limitação na operação dos geradores térmicos á carga mínima é geralmente causada pela estabilidade da queima do combustível e os constrangimentos inerentes com a estrutura da câmara de vapor, por exemplo, a maior parte de grupos térmicos não podem operar abaixo de 25% da sua capacidade, isto é, é sempre necessário um mínimo de potência na ordem dos 25% que garante os serviços auxiliares de operação [5], [7] e [6].

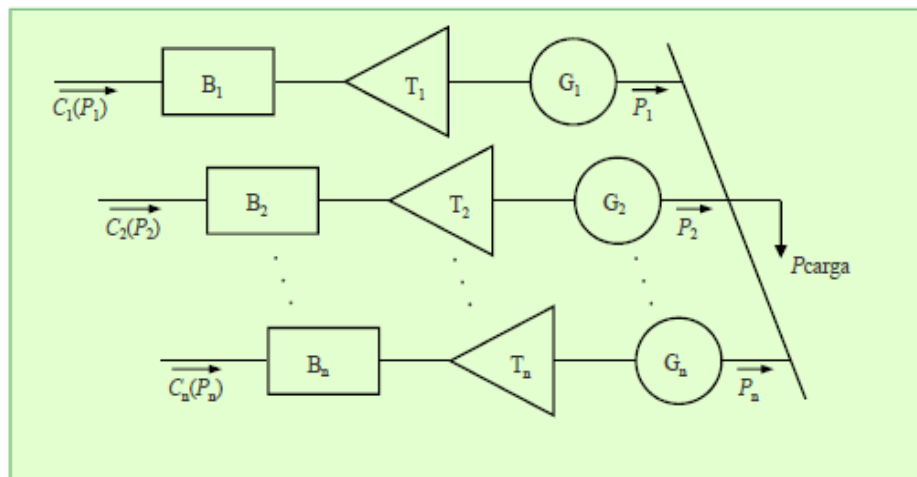


Figura 2.7: Disposição de N geradores térmico ligados a um barramento no suprimento da carga.  
 Fonte: [pwp.net.ipl.pt/deea.isel/jsousa](http://pwp.net.ipl.pt/deea.isel/jsousa)

Por forma a estabelecer condições necessárias para alguns valores extremos da função objectivo, adiciona-se a parcela relacionada com definição dos constrangimentos junto á função objectivo, neste caso, a parcela da definição dos constrangimentos é multiplicada por factor X\*, a função que resulta desta condição é denominada por função de Lagrange [2], [4] e [5] e é expressa por:

$$\nabla f.(X^*) + \sum_{i=1}^{m_1} \mu_i \cdot g_i(X^*) + \sum_{i=m_1+1}^m \lambda_i \cdot \nabla h_i.(X^*) = 0 \quad (2.24)$$

Portanto, a função 2.24 é aplicada para normalização das funções da coordenação hidrotermica em programação linear por forma a que se extraiam as condições (2.24), (2.25) e (2.26) do despacho económico (condições de minimização do custo de produção).

$$\min \quad C_T = \sum_{i=1}^n C_i(P_i) \quad (2.25)$$

$$C_P = \sum_{i=1}^n P_i = P_{carga} \quad (2.26)$$

$$P_{i_{\min}} \leq P_i \leq P_{i_{\max}} \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.27)$$

A resposta ao problema do despacho económico é fundamentado pela inserção de um objectivo por conhecer, designado por *função objectivo* na qual se procura minimizar o custo total de produção [2], [5] e [13] que é definido pela expressão (2.24).

A conjugação entre as expressões (2.24) e (2.26) deve ser intermediado pelo balanço entre a potência do lado da produção e da carga [3] e [5], definida pela expressão (2.25).

As expressões (2.24), (2.25) e (2.26) representam um sistema com várias iterações de forma a ser encontrado o ponto óptimo de funcionamento.

## 2.5. Teoria do Custo Marginal e o Teorema de Karush Kuhn Tucker

Usualmente, o custo total que se obtém pela optimização de produção de energia eléctrica, sugere a que se encontre a inferência complementar da optimização do despacho económico «o custo marginal», a qual representa a formação da remuneração de geradores eléctricos no ponto óptimo do seu funcionamento [2], [5] e [9]. O custo marginal tem efeito sobre o resultado do balanço da função objectivo custo de produção e é representado pela seguinte expressão:

$$C'(P) = (b + 2CP)F \quad (2.28)$$

Com:  $a : g_i(x) \geq 0 ; i = 1, \dots, m_1 \quad ; \quad h_i(x) = 0 ; i = m_1 + 1, \dots, m$

Onde:

$f(x)$ ,  $g_i(x)$  e  $h_i(x)$  – são funções diferenciais.

Ao ser introduzido  $X^*$  como solução óptima da função de Lagrange [2] e [5], verifica-se a ocorrência das seguintes três condições de Karush Kuhn Tucker  $KT_1$ ,  $KT_2$  e  $KT_3$ :

$$KT_1: \quad g_i(x) \geq 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, m_1 \quad (2.29)$$

$$h_i(x) = 0 \quad ; \quad i = m_1 + 1, \dots, m \quad (2.30)$$

O custo marginal resulta da optimização de produção e torna-se sensível a qualquer variação que se efectua, significa que, por qualquer casualidade existir modificação nos parâmetros variáveis, conseqüentemente existirá uma variação do custo marginal [9] e [15].

Razão pela qual, torna-se razoável conhecer o cálculo do custo marginal baseado no teorema de Kuhn-Tucker na qual se introduz o multiplicador de Lagrange que torna possível encontrar os extremos da variação do custo de produção [2], [5] e [16], sendo assim, assume-se que os operadores lagrangeanos tomam os seguintes valores;

$$\bar{\mu}_i, \underline{\mu}_i \geq 0 \quad (i = 1, \dots, m_1); \quad e \quad \lambda_i \text{-irrestritos} \quad (i = m_1 + 1, \dots, m)$$

Ao levar em consideração as restrições impostas pelos multiplicadores  $\bar{\mu}_i, \underline{\mu}_i$  e  $\lambda_i$ , assim como as expressões (6) e (7) resultam na definição de  $KT_2$  e  $KT_3$  [5];

$$KT_2: \quad \mu_i, g_i(X^*) = 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, m_1 \quad (2.31)$$

$$KT_3: \quad \nabla f.(X^*) + \sum_{i=1}^{m_1} \mu_i \nabla g_i(X^*) + \sum_{i=m_1+1}^m \lambda_i \cdot \nabla h_i.(X^*) = 0 \quad (2.32)$$

$$KT_3: \quad \max: \quad -C_T - \sum_{i=1}^n C_i.(P_i) \quad (2.33)$$

$$h(P) = \sum_{i=1}^n P_i - P_{carga} = 0 \quad (2.34)$$

$$\underline{g}_i(P) = P_i - P_{i_{\min}} \geq 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.35)$$

$$\bar{g}_i(P) = P_{i_{\max}} - P_i \geq 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.36)$$

O resultado que aparece pela aplicação do teorema de Kuhn-Tucker é dado para cada uma das condições  $KT_1$ ,  $KT_2$  e  $KT_3$ , [2], [5] e [16] por:

$$KT_1: \quad \sum_{i=1}^n P_i - P_{carga} = 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.37)$$

$$P_i - P_{i_{\min}} \geq 0 \quad (2.38)$$

$$P_{i_{\max}} - P_i \geq 0 \quad (2.39)$$

$$KT_2: \quad \underline{\mu}_i (P - P_{i_{\min}}) = 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.40)$$

$$\bar{\mu}_i (P_{i_{\max}} - P_i) = 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.41)$$

$$KT_3: \quad -C_i'(P_i) + \lambda + \underline{\mu}_i - \bar{\mu}_i = 0; \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.42)$$

Os operadores  $\bar{\mu}_i, \underline{\mu}_i$  quando activados como multiplicadores junto as condições  $KT_1, KT_2$  e  $KT_3$ , resultam em quatro possíveis restrições que ditam a determinação do custo marginal de cada grupo gerador durante o seu funcionamento [2], [5] e [16].

Tais restrições resultam nas seguintes combinações [2]:

- 1) Nenhuma restrição activa;
- 2) Restrição activa para  $P_{\max}$ ;
- 3) Restrição activa para  $P_{\min}$ ;
- 4) Ambas as restrições activas.

|    | $\underline{\mu}_i$ | $\bar{\mu}_i$ |
|----|---------------------|---------------|
| 1) | 0                   | 0             |
| 2) | 0                   | +             |
| 3) | +                   | 0             |
| 4) | +                   | +             |

Condições de teorema de Kahn Tucker.  
Fonte: pwp.net.ipl.pt/deea.isel/jsousa

### 1) Nenhuma restrição activa:

$$\underline{\mu}_i = \bar{\mu}_i = 0$$

$$KT_3: \quad -C_i'(P_i) + \lambda + \underline{\mu}_i - \bar{\mu}_i = 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.43)$$

$$P_{i_{\min}} \leq P_i \leq P_{i_{\max}} \quad C_i'(P_i) = \lambda \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.44)$$

### 2) Restrição activa para $P_{\max}$ :

$$\bar{\mu}_i > 0; \underline{\mu}_i = 0$$

$$KT_2: \quad \underline{\mu}_i (P - P_{i_{\min}}) = 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.45)$$

$$\bar{\mu}_i (P_{i_{\max}} - P_i) = 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.46)$$

$$KT_3: \quad -C_i'(P_i) + \lambda + \underline{\mu}_i - \bar{\mu}_i = 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.47)$$

$$\bar{\mu}_i (P_{i_{\max}} - P_i) = 0 \quad ; \quad C_i'(P_i) = \lambda - \bar{\mu}_i < \lambda \quad ; \quad P_i = P_{i_{\max}} \quad (2.48)$$

**3) Restrição activa para  $P_{\min}$ :**

$$\bar{\mu}_i = 0 ; \underline{\mu}_i > 0$$

$$KT_2: \quad \underline{\mu}_i (P - P_{i_{\min}}) = 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.49)$$

$$\bar{\mu}_i (P_{i_{\max}} - P_i) = 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.50)$$

$$KT_3: \quad -C_i'(P_i) + \lambda + \underline{\mu}_i - \bar{\mu}_i = 0 \quad ; \quad \underline{\mu}_i (P - P_{i_{\min}}) = 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.51)$$

$$C_i'(P_i) = \lambda + \underline{\mu}_i > \bar{\mu}_i > \lambda \quad ; \quad \underline{\mu}_i (P - P_{i_{\min}}) = 0 \quad ; \quad P = P_{i_{\min}} \quad (2.52)$$

**4) Ambas as restrições activas:**

$$\bar{\mu}_i > 0 ; \underline{\mu}_i > 0$$

$$KT_2: \quad \underline{\mu}_i (P - P_{i_{\min}}) = 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.53)$$

$$\bar{\mu}_i (P_{i_{\max}} - P_i) = 0 \quad ; \quad i = 1, \dots, n \quad (2.54)$$

$$\text{Impossível} \begin{cases} P_i = P_{i_{\min}} \\ P_i = P_{i_{\max}} \end{cases}$$

---

## **Capítulo**

### **3**

---

## **Caracterização do Sector de Energia em Moçambique**

É feita caracterização do sector de energia em Moçambique.

### 3. Caracterização do Sector de Energia em Moçambique

Na representação institucional em Moçambique, a exploração, transformação e gestão dos recursos energéticos está sob orientação dos ministérios da energia e dos recursos minerais. O ministério da energia como pelouro integra os serviços reguladores de energia tais como, FUNAE, EDM, HCB, MOTRACO, CNELEC e PETROMOC, sendo que cada regulador tem os seguintes compromentimentos:

- FUNAE – Gestão de fundo para o fomento de energias proveniente de recursos endógenos;
- EDM – Gestão do sector eléctrico (produção, transporte e distribuição);
- HCB – Produção de energia eléctrica;
- MOTRACO – Operador sobre o sistema de transporte de energia eléctrica a partir da rede estrangeira para a MOZAL e EDM;
- CNELEC – Agencia Nacional Reguladora de Electricidade;
- PETROMOC – Gestão pelos combustíveis líquidos;

#### 3.1. Actual Estado de Energias Renováveis em Moçambique

Fundo Nacional de Energia (FUNAE) é a principal instituição responsável pelo desenvolvimento de planos no abastecimento de energia eléctrica em estabelecimentos públicos principalmente escolas e hospitais, localizados em zonas sem perspectivas pelo menos a médio prazo de electrificação com base a energia da rede pública [17]. É utilizado para este fim, o sistema de mini-hídricas, fotovoltaicos de baixa escala e em alguns casos acompanhados por sistemas acumuladores.



Figura 3.1: Uma das acções que tem estado a ser desenvolvidas na área das renováveis pela FUNAE–Moçambique.  
Fonte: [www.funae.co.mz](http://www.funae.co.mz)

Paralelamente a este processo, o FUNAE, é responsável pela montagem de bombas de abastecimento de água e combustível nas zonas rurais em Moçambique que funcionam na base de sistemas fotovoltaico, é assim o principal financiador de projectos de produção do biocombustíveis [8] e [17] .

Existe actualmente em Moçambique uma única turbina eólica em funcionamento com uma capacidade de 3000 kW [17]. Não obstante, está em curso em todo território Moçambicano por intermédio do FUNAE um estudo muito avançado que consiste na medição dos recursos endógenos (vento e radiação solar) no âmbito do projecto designado por Atlas de Energias.

### 3.2. Actual Estado de Produção e Transporte de Energia de Eléctrica em Moçambique

Em Moçambique a gestão do sector eléctrico (produção, transporte e distribuição) é assegurado pela EDM, sendo que, a cobertura geral dos três serviços ao longo do território Moçambicano é feito comportando o seguinte diagrama.

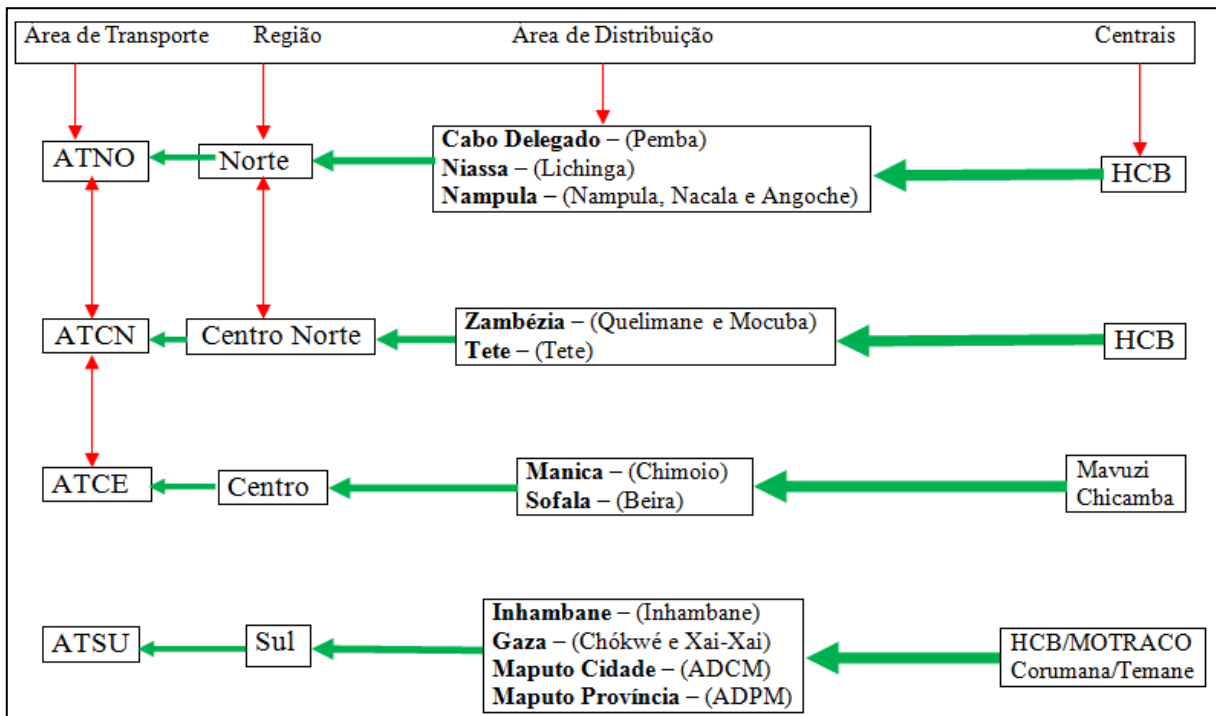


Figura 3.2: Diagrama ilustrativo do sistema de produção e transporte de electricidade em Moçambique.

A dimensão geográfica do sistema de produção, transporte e distribuição de energia eléctrica encontra-se estruturado de acordo com os esquemas apresentados nas figuras 3.3 e 3.4.

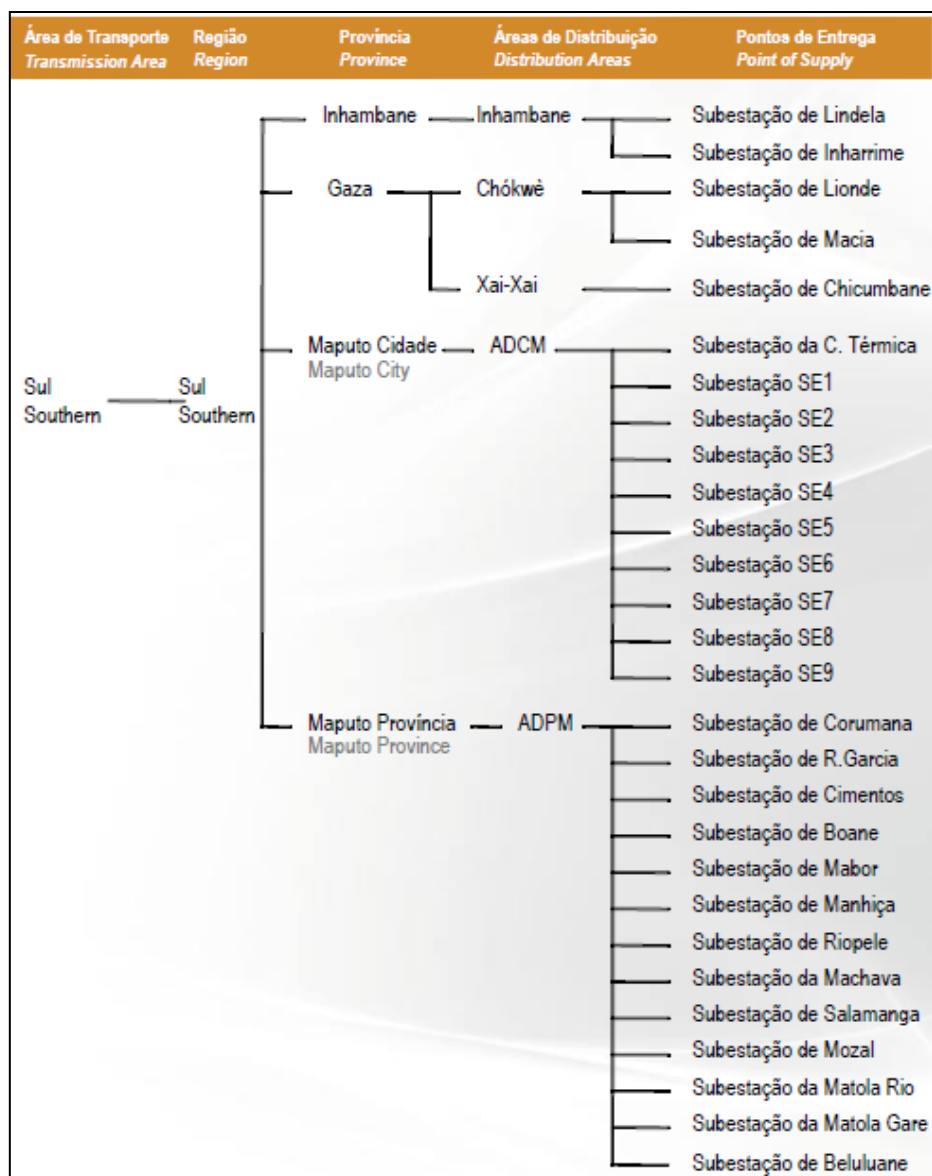


Figura 3.3: Organização Geografica do sistema de produção e transporte de electricidade em Moçambique.  
 Fonte: Relatório de caracterização da rede nacional de transporte EDM - 2010.

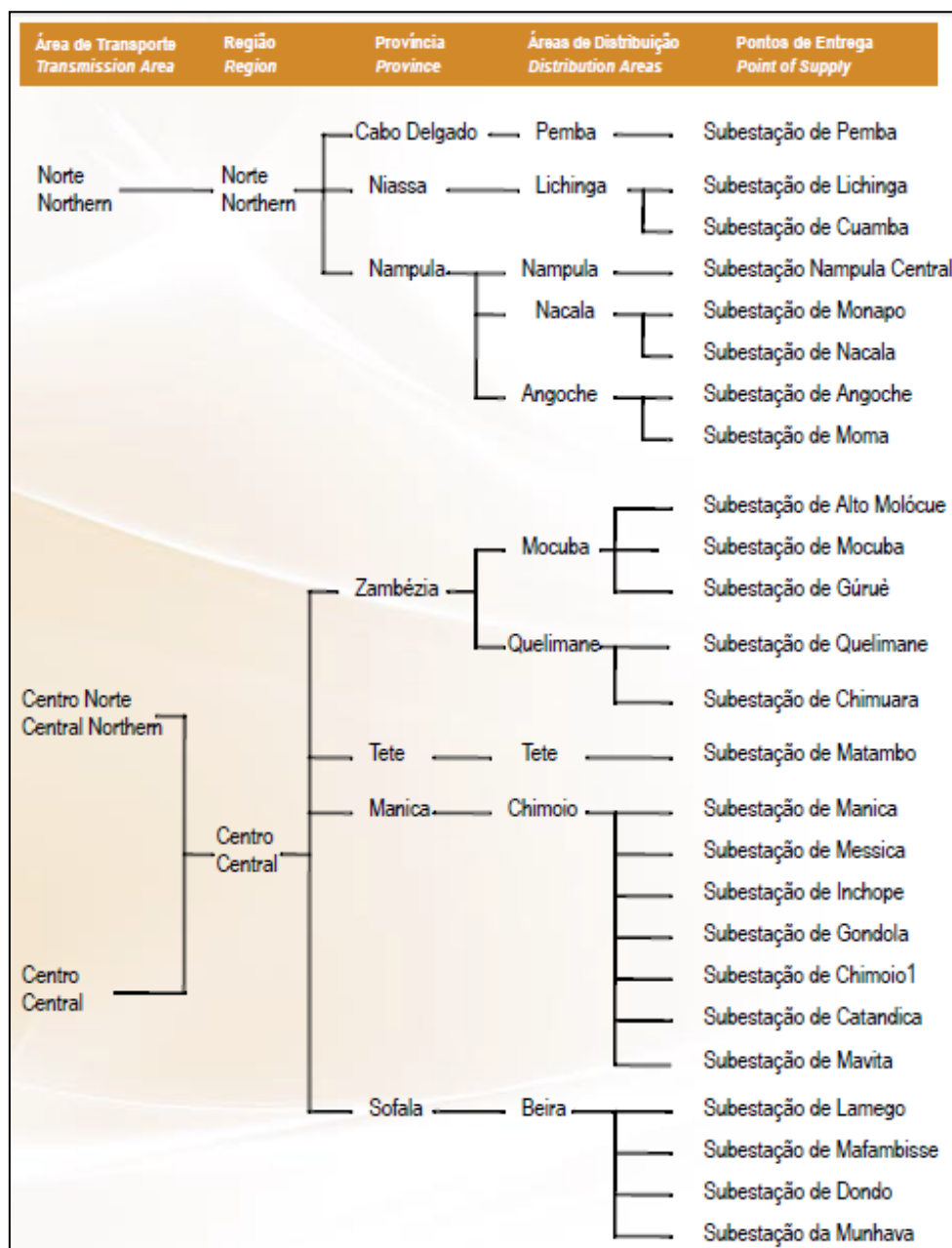


Figura 3.4: Organização Geográfica do sistema de produção e transporte eléctrica.

Fonte: Relatório de caracterização da rede nacional de transporte EDM - 2010.

O diagrama de produção eléctrica em Moçambicano é constituído até 31 de Dezembro de 2010 por 95% como base proveniente das hídricas e 5% proveniente de térmica (gás natural), sendo que dos 5%, mais de metade opera num sistema isolado [18].

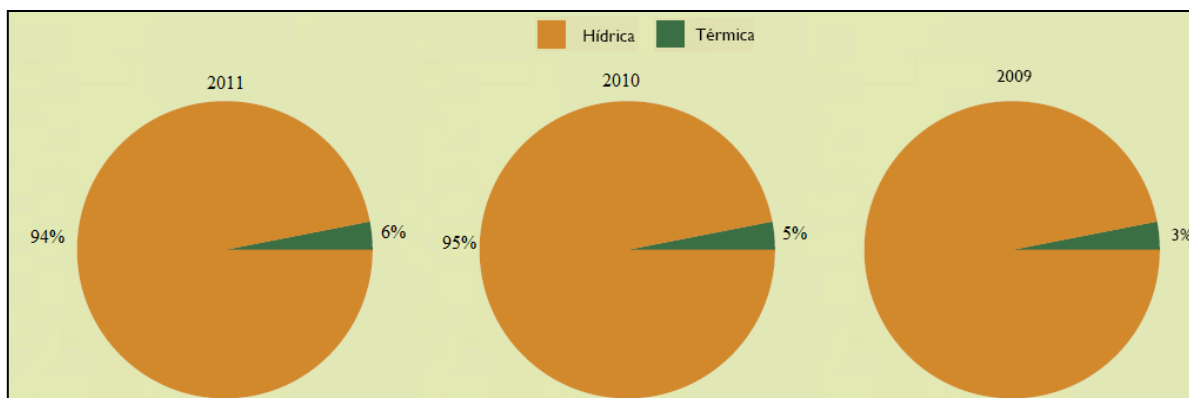


Figura 3.5: Diagrama ilustrativo da evolução de produção de energia eléctrica por fonte em Moçambique.  
Fonte: Relatório estatístico da EDM - 2010/11.

As figuras 3.3 e 3.4 ilustram o estado actual do volume por fonte de energia produzida no sistema nacional em Moçambique.

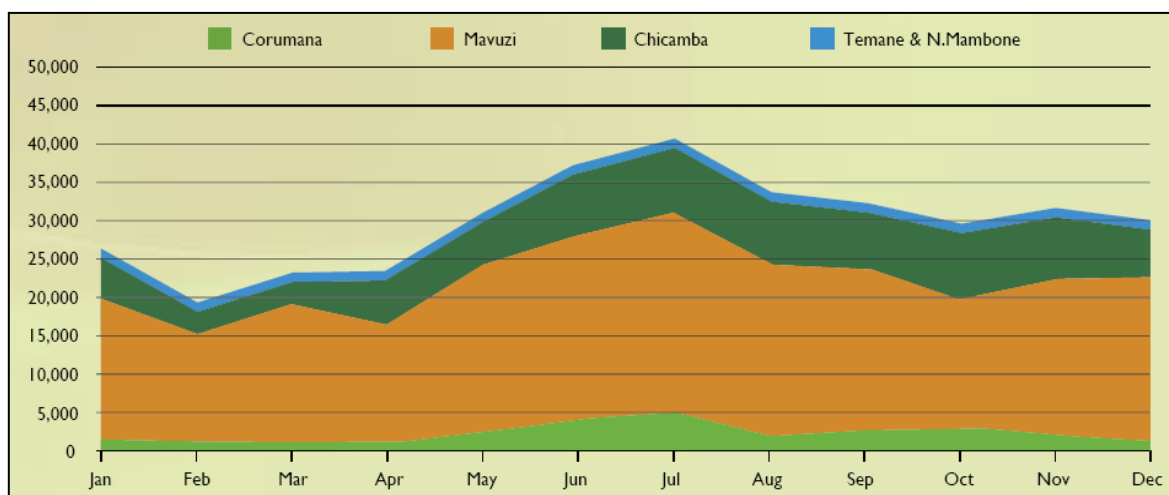


Figura 3.6: Diagrama de produção mensal de energia eléctrica das centrais hídricas e térmicas até 2010.  
Fonte: Relatório estatístico da EDM - 2010.

O consumo de energia eléctrica nas zonas fronteiriças e em algumas regiões fornecida através de sistemas de distribuição isoladas, aliada a acção levada a cabo pelo departamento de operador de mercado [18], faz com que a energia total disponível, isto é, energia bruto disponível em Moçambique até 2010 tenha a seguinte constituição:



Figura 3.7: Comparação por fonte do volume de energia eléctrica consumida em Moçambique nos anos 2009/10.  
Fonte: Relatório estatístico da EDM - 2010.

O aumento da produção de energia entre 2009 e 2010 é também justificado pelo aumento do nível da carga em todas as áreas de operação, sendo ATSU o que apresenta maior crescimento da carga, como se pode ver na tabela 3.1, a evolução das pontas dos anos 2007 à 2011 [18].

Tabela 3.1: Evolução da ponta no consumo de electricidade em Moçambique.  
Fonte: Relatório estatístico da EDM - 2010.

| Áreas de Transporte | Ponta anual por região |      |      |      |      |
|---------------------|------------------------|------|------|------|------|
|                     | 2007                   | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| ATSU                | 244                    | 279  | 312  | 345  | 374  |
| ATCE                | 59                     | 67   | 68   | 73   | 88   |
| ATCN                | 73                     | 90   | 110  | 131  | 164  |
| Sistema Geral       | 364                    | 416  | 481  | 534  | 610  |

O notável crescimento do consumo de electricidade ao longo dos anos, segundo apresentado na tabela 3.1 suscita a implementação de estratégias coerentes no que diz respeito á identificação da proveniência de cada nível de carga (indústria, habitação, serviços, transporte ou agricultura), de forma a existir uma articulação coesa entre a produção "supply-side" e o consumo "demand-side" para que possa contribuir deste modo no balanço energético.

Como se pode observar na figura 3.6, que a linha de transporte na região ATSU se encontra isolada das restantes regiões, razão pela qual, foi criada a MOTRACO responsável pelo fornecimento de electricidade à região ATSU, através do acordo 16 de Junho de 1998 (fornecimento à EDM através de Komatipoort) [19] e [20].

### 3.3. Actual Contexto do Sistema de Distribuição de Electricidade em Moçambique

Considerando ao que foi exposto nos primeiros parágrafos do presente capítulo, é de salientar que, no geral verifica-se um crescimento da procura, havendo um obstáculo relacionada com a baixa capacidade da infraestrutura nacional para uma projeção a médio e a longo prazo, capaz de garantir o transporte de energia eléctrica dos centros de geração até aos consumidores finais dentro do país, como se pode analisar através da figura 3.6.

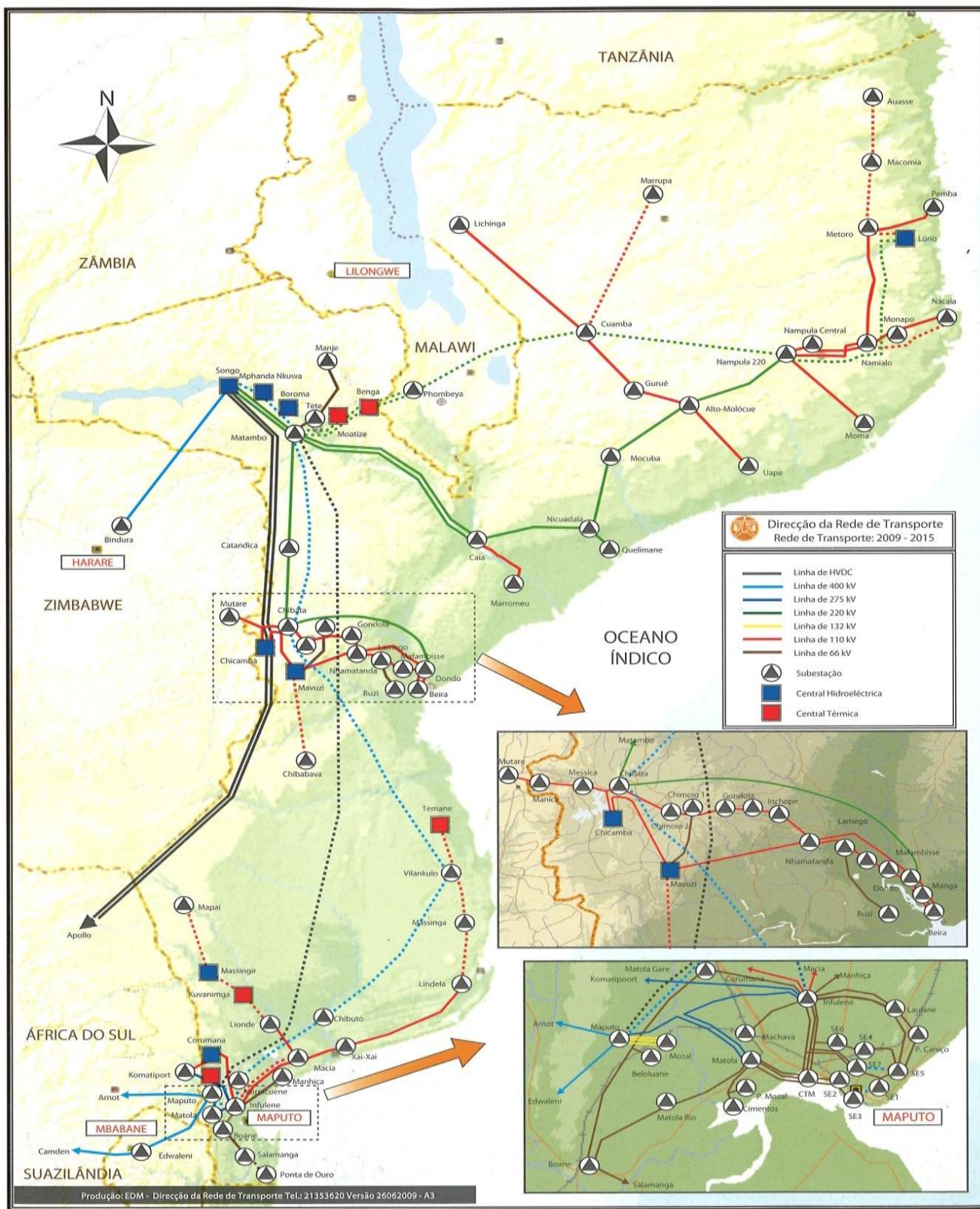


Figura 3.8: Configuração actual da rede de transporte de energia eléctrica até 2011, gerida pela EDM.  
 Fonte: Relatório de caracterização da rede nacional de transporte EDM - 2010.

Um modelo simplificado de fluxo de potência no sistema electroprodutor em Moçambique é mostrado na figura 3.9 que se segue, na qual, se ilustram os sentidos da proveniência da potência

activa injectada na rede nacional Moçambicana, assim como os pontos de importação, recepção e os de entrega ao consumidor final em (alta, média e baixa tensão).

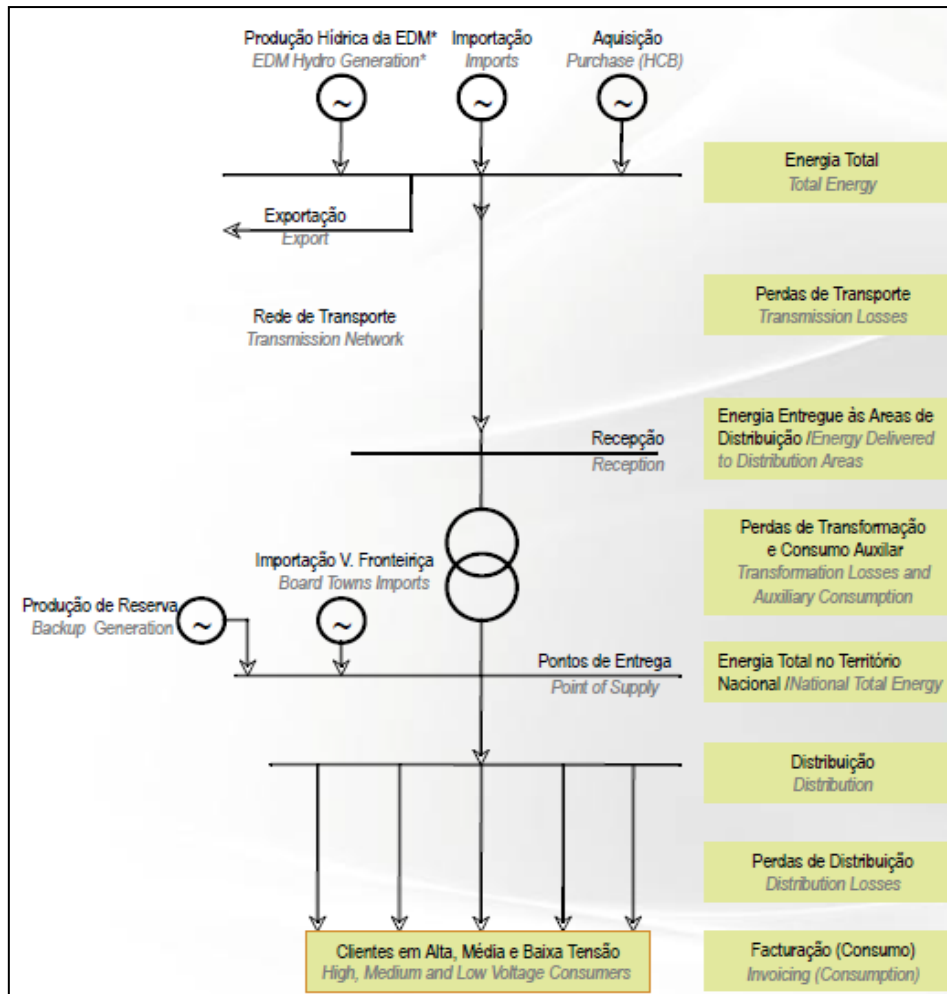


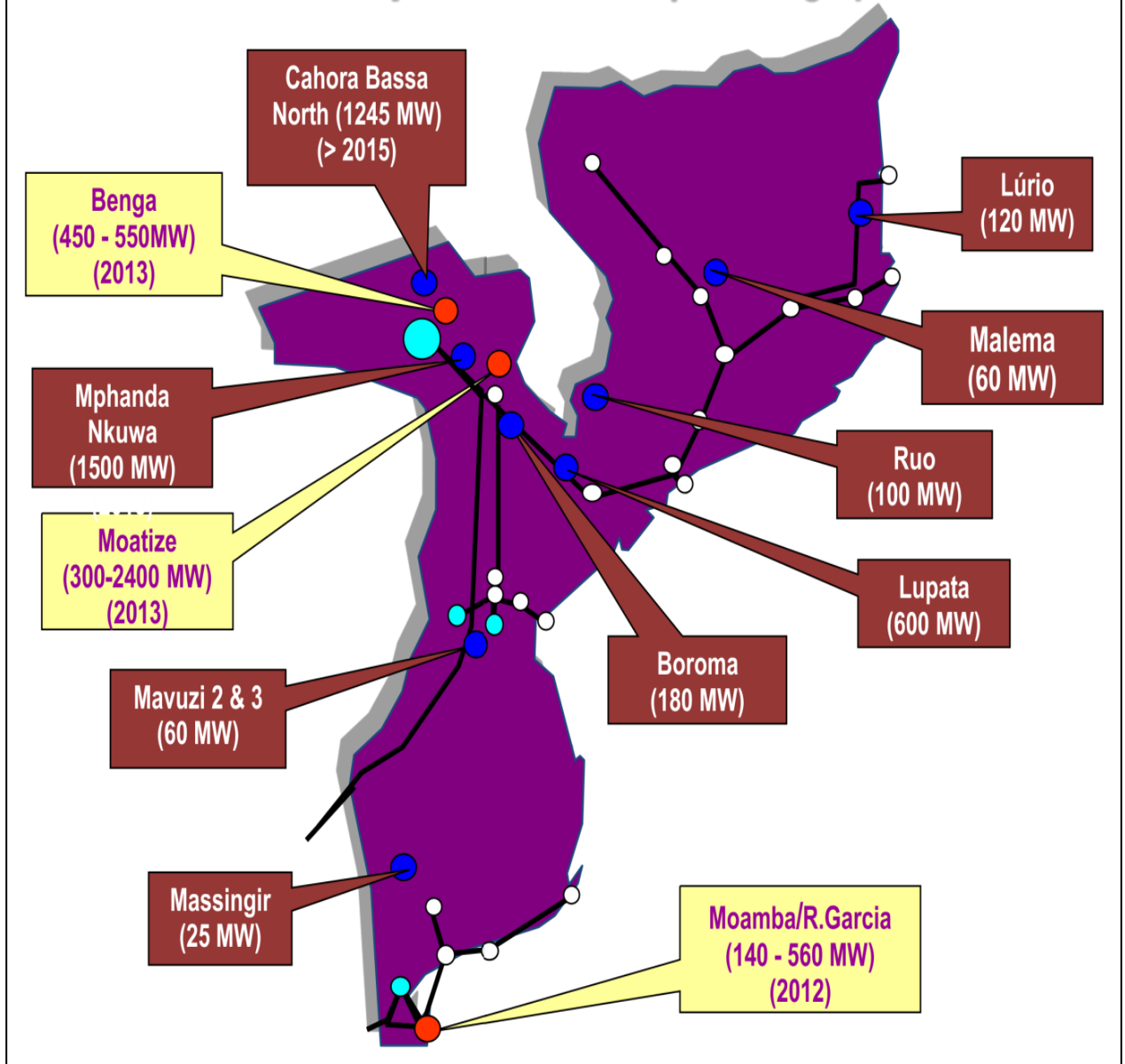
Figura 3.9: Diagrama de fluxos eléctricos no sistema nacional de produção.

Fonte: Relatório de caracterização da rede nacional de transporte EDM - 2010.

A EDM tem assim em plena execução a construção de duas (2) linhas de transporte eléctrica a 800kV HVDC e 400 AC num comprimento de 1240 km e 1400 km respectivamente [21] e [22] que ligarão as zonas ATCN e ATSU condicionando a complementaridade de interligação entre ATCN com ATNO, segundo a ilustra a figura 3.7.

Evidentemente, paralelamente a construção das linhas de transporte, estão projectadas novas centrais de produção eléctrica, das quais três (3) são térmicas [19], [18] e [23].

## Generation Projects in Mozambique: Geographic location



- – Térmica;
- – Subestação;
- – Transformador;
- – Hídrica;

Figura 3.7: Configuração do projecto de alargamento da actual capacidade instalada.

Fonte: Relatório anual 2010 - EDM.

---

# Capítulo 4

---

## Metodologia do Trabalho

É apresentada a metodologia que orienta o trabalho.

## 4. Metodologia do Trabalho

O presente trabalho centra-se no caso de estudo Moçambicano, sendo para tal, sido obtida informação sobre o sistema de electroproductor Moçambicano.

O levantamento da informação necessária foi efectuado junto a Electricidade de Moçambique (EDM) precisamente nas direcções de produção, de transporte assim como no departamento de operador de mercado.

O estudo baseou-se em dados de referência ano 2010 disponibilizados em 2011, isto porque os relatórios do ano  $n$  só ficam disponíveis no ano  $n+1$ .

Através de um questionário elaborado juntamente com os orientadores, serviu de guião para obtenção da informação pertinente ao trabalho junto à EDM. Pós esta etapa, foi criado uma base de dados que permitiu articular os objectivos específicos do trabalho e os respectivos dados.

Neste contexto, foram feitas várias análises no que concerne á:

- i. Coordenação hidrotérmica para actual situação;
- ii. Coordenação hidrotérmica com integração de novos geradores térmicos;

### 4.1. Coordenação Hidrotérmica

A coordenação hidrotérmica, consiste na determinação da produção de energia eléctrica produzida a partir do recurso hídrico em cada momento (hora-hora), de forma a minimizar o custo de produção das centrais térmicas, tendo em consideração as diversas restrições relacionadas com sistema de armazenamento da água [2] e [5].

Para o caso, obteve-se junto a Eletricidade de Moçambique e na Direcção Nacional de Águas de Moçambique [24] informação do caudal turbinado nas centrais hídricas que se encontram em operação. Uma vez não ter sido possível obter informação relacionada com a característica do caudal turbinado para os futuros grupos geradores, recorreu-se aos relatórios da NERC (*GAR Report*) [7], na qual se fez um levantamento de parâmetros característicos de funcionamento de gama dos grupos hídricos equiparados aos projectados em Moçambique, tendo em conta que esta instituição possui uma base de informação anual/ciclo de três anos/ciclo de cinco anos (*GAR*

*Report*) com variadíssima gama de grupos hídricos e térmicos que se encontram operacional e em constante monitorização.

Foi com base na informação do caudal turbinado para época de verão « designado por época com disponibilidade hídrica» e época de inverno «designado por época de baixa precipitação» que se utilizou para prosseguir com análise da coordenação hidrotérmica.

De acordo com a definição da coordenação hidrotérmica, a minimização do custo de produção de energia eléctrica só é possível a sua execução quando se dispõe de informação relacionada com o nível de carga que se deve suprir durante determinado tempo.

No entanto, o diagrama de carga utilizado na coordenação foi encontrado utilizando os valores das pontas de consumo eléctrico Moçambicano para o ano de referência (2010) [18].

Uma vez, não existir até então um acompanhamento a tempo real a evolução da carga (hora-hora) a nível nacional em Moçambique, optou-se por utilizar a disponibilidade do diagrama da REN, tendo sido feito uma extrapolação do diagrama da REN [25], para um dia de maior consumo com as pontas de consumo Moçambicano [18].

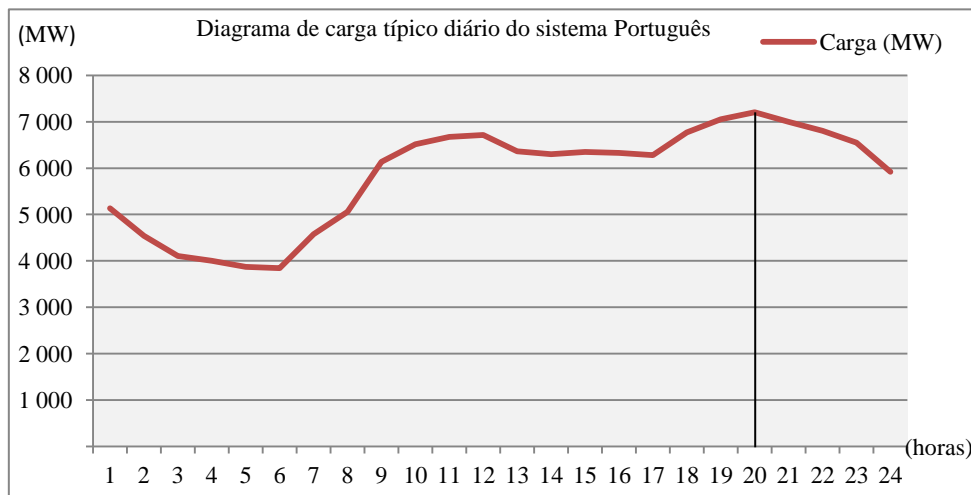


Figura 4.1: Diagrama de carga diário típico do sistema Português num dia de máximo consumo -13/12/2011.

Com esta opção, se procurou encontrar a curva adimensional apresentada na figura 4.2, que consiste em dividir a potência do diagrama Português em cada hora, pela potência máxima do dia no próprio diagrama de carga Português, como se pode observar nas figuras 4.1 e 4.2.

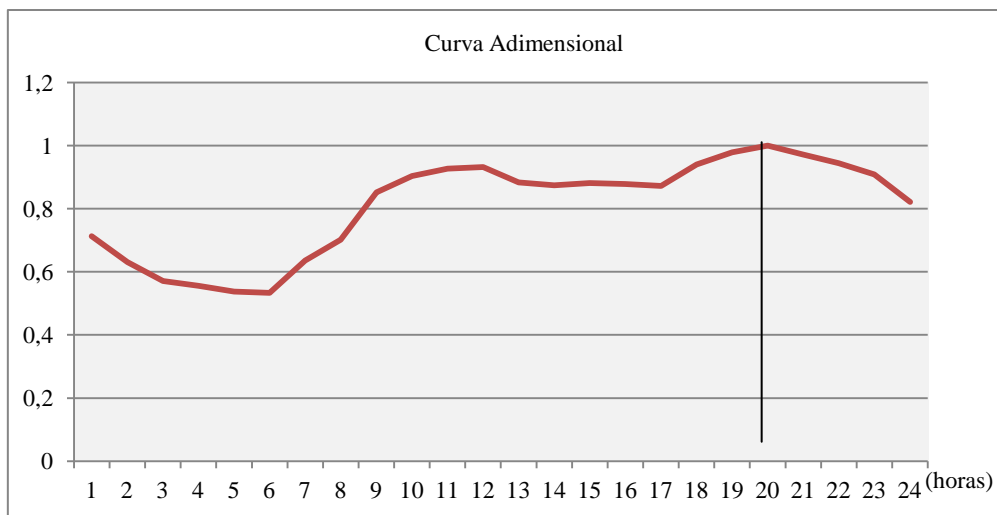


Figura 4.2: Curva adimensional baseada no diagrama de carga da figura 4.1, em um dia de máximo consumo -13/12/2011.

Encontrado a curva adimensional, este é multiplicado com o valor da ponta do consumo da EDM, e assim fica definido o nível de diagrama de carga (hora-hora) da EDM para região sul, como se pode ver na figura 4.3.

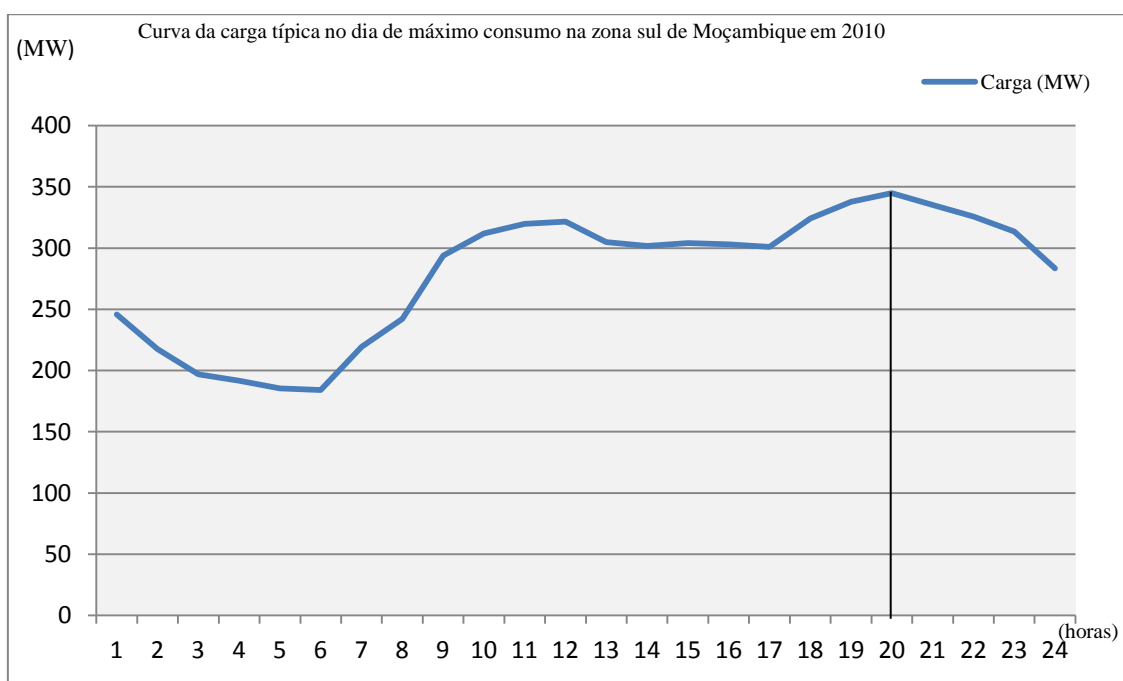


Figura 4.3: Diagrama de carga diário típico na ATSU em um dia de máximo consumo, extrapolado da figura 4.2.

A figura 4.3 representa o diagrama típico da região sul (ATSU). Tendo em conta que a rede de transporte nacional em Moçambique não se encontra interligada, quer dizer, se encontra subdividida em áreas regionais de transporte, como se pode ver na figura 4.4 que se segue.

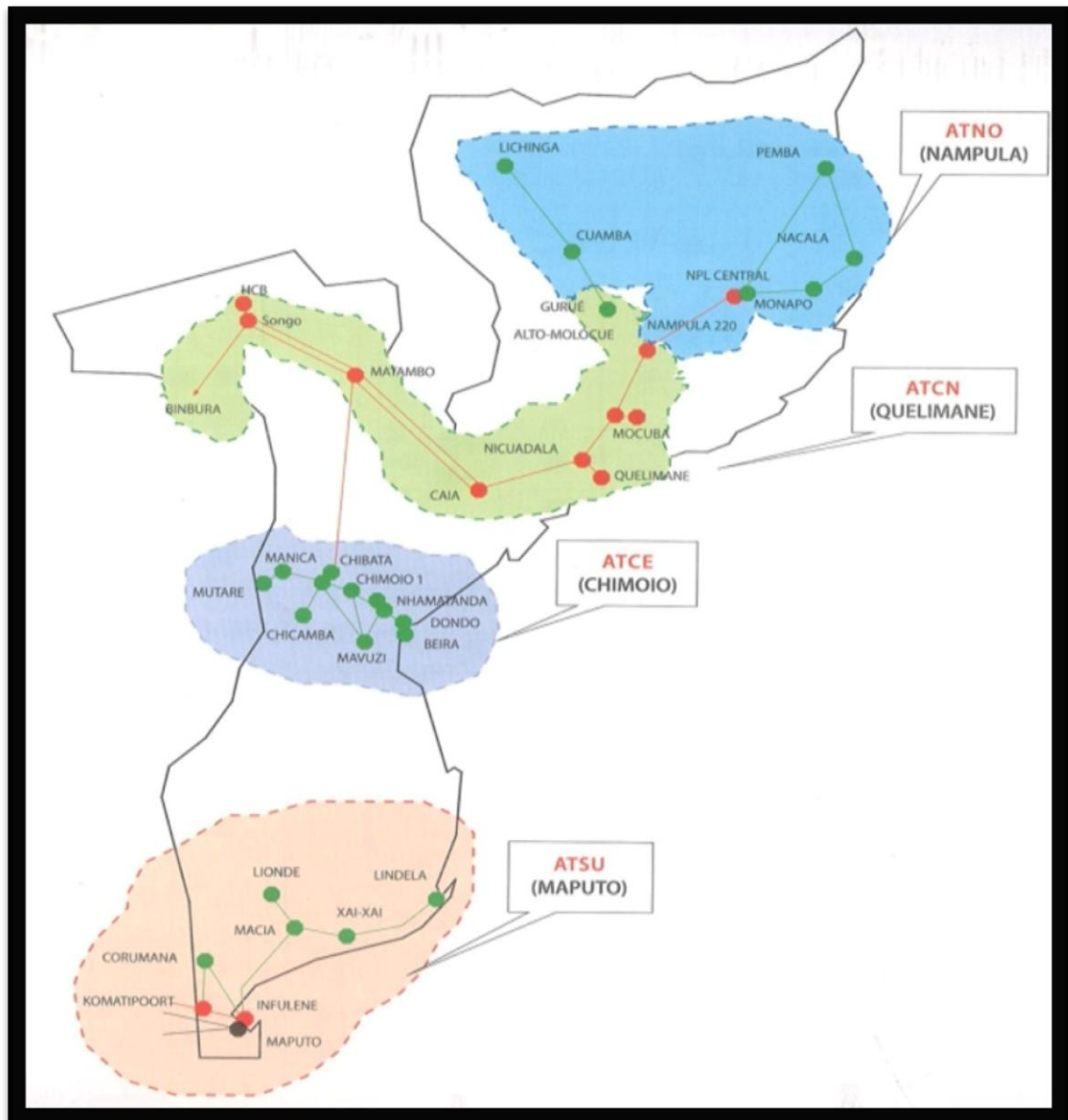


Figura 4.4:Subdivisão em áreas regionais na distribuição de electricidade.  
 Fonte: Relatório anual 2010 - EDM.

No entanto, com esta configuração, foi feito o mesmo procedimento para os valores das pontas nas restantes regiões (ATCE, ATCN, ATNO) para os dias de consumos máximos e baixos consumos.

Por este meio, estava assim definido o diagrama de carga para as quatro regiões, na qual se utilizou para execução da coordenação, Uma particularidade que se verificou com a definição dos diagramas de cargas das regiões, esta relacionada com o facto de não existência na base de dados da EDM valores de consumo da ATNO.

Em relação ao diagrama de carga da região ATNO, partindo de princípio que as duas regiões (ATCN e ATNO) partilhavam o mesmo diagrama de carga [18] e tendo em atenção que se encontrarem em áreas de jurisdição de transporte diferentes, fez-se uma extrapolação usando o diagrama da ATCN e recorrendo às pontas mensais das três províncias (Pemba, Lichinga e Nampula) [18], que apresentam valores baixos relativamente as outras províncias, definiu-se o diagrama de carga para as 24 horas da ATNO.

É fundamental destacar que pelo facto de se ter utilizado o diagrama da REN para traçar o nível de diagrama (hora-hora) de consumo Moçambicano, verifica-se as seguintes observações;

- A hora de máximo consumo em Moçambique (hora que se atinge o pico) é menos 1 horas ao diagrama de consumo da REN, isto é, transladam-se no diagrama de carga Moçambicano 21 horas (tempo verificado na curva adimensional resultado do diagrama da REN) para 20 horas (tempo que efectivamente verifica-se o pico em Moçambique);
- A convergência da intensidade do consumo que se observa, deve-se pelo facto de acontecer em estações do ano opostos (*Dezembro em Moçambique Vs Dezembro em Portugal*) de maior consumo em ambos pontos.

## **4.2. Custo de Combustível Utilizados nos Grupos Geradores**

### **4.2.1. Custo de Produção em Grupos Hídricos**

Para o presente estudo, devido a inexistência em Moçambique de um dispositivo regulatório ou mesmo ambiental que orienta a fixação de taxas monetárias no que diz respeito ao uso do recurso hídrico para fins de produção eléctrica, não foi aplicado nenhum custo sobre uso do recurso hídrico, isto é, assumiu-se que para além de despesas inerentes a custos fixos a geração de energia eléctrica baseada na tecnologia hídrica não carece de custo de produção.

### **4.2.2. Custo de Produção em Grupos Geradores Térmico**

Na coordenação hidrotérmica assim como no despacho económico (unit commitment), a utilização dos grupos térmicos passa fundamentalmente por acompanhar o comportamento dos mercados face ao custo dos combustíveis.

A activação de grupos térmicos tem alguma relação com o uso do combustível de baixo custo que o mercado oferece. Para tal, de acordo com a [26], o preço de combustíveis para o sector eléctrico produtor, praticado em Portugal até 11 de Novembro de 2012 é apresentado na tabela 4.1 que se segue.

Tabela 4.1: Informação do preço de combustível para o sector electroprodutor.  
Fonte: <http://www.dgeg.pt/11/11/2012>.

| Combustível | Preço €/MWh<br>(Taxa de Iva incluso) |
|-------------|--------------------------------------|
| Gás         | 30                                   |
| Carvão      | 25                                   |
| Gasóleo     | 105                                  |

O diagrama de produção eléctrica em Moçambicano é constituído até 31 de Dezembro de 2010 por 95% como base proveniente das hídricas e 5% proveniente de centrais térmicas a gás natural, na qual, mais de metade dos 5 % operam num sistema isolado [18] e [22].

De acordo com o plano da EDM-produção [27] em vigor para a conversão dos grupos térmicos a gasóleo para gás, que actualmente funcionam como back-up, aliado a construção de novas centrais térmicas em função á nova disponibilidade de combustíveis, houve necessidade de se fazer uma classificação dos geradores no que diz respeito a quantidade do combustível consumido, baseada na eficiência das turbinas.

Tabela 4.2: Variação do preço de combustível consumido na tecnologia térmica, baseada na eficiência das turbinas.  
Fonte: <http://www.energycommunity.org/>, (para definição de rendimento gerador em função do combustível usado).

| Combustível    | Rendimento | Preço   | Combustível    | Rendimento | Preço   | Combustível    | Rendimento | Preço   |
|----------------|------------|---------|----------------|------------|---------|----------------|------------|---------|
| Gasóleo        | $\eta$ (%) | (€/MWh) | Carvão         | $\eta$ (%) | (€/MWh) | Gás            | $\eta$ (%) | (€/MWh) |
| T <sub>2</sub> | 37         | 110     | T <sub>2</sub> | 40         | 25      | T <sub>2</sub> | 34         | 30      |
| T <sub>3</sub> | 38         | 105     | T <sub>3</sub> | 40         | 25      | T <sub>3</sub> | 34         | 30      |
| T <sub>4</sub> | 39         | 100     | T <sub>4</sub> | 40         | 25      | T <sub>4</sub> | 38         | 27      |
| T <sub>5</sub> | 40         | 95      | T <sub>5</sub> | 40         | 25      | T <sub>5</sub> | 38         | 27      |

O objectivo de classificar os geradores, consiste na definição do preço gasto por cada gerador para fornecer uma unidade de MWh, isto é, a quantidade do combustível gasto, sendo que os grupos geradores instalados em anos cada vez mais recente em relação aos outros, apresentam um rendimento alto e baixo consumo de combustível quando comparados entre si.

Tabela 4.3: Etapas idealizadas para guiar a modelização na coordenação hidrotérmica.

| Diagrama de Carga | Épocas                                  |   | Verificar o Custo de Produção<br>(€/MW) |
|-------------------|---|---|---|
|                   | Baixa Precipitação<br>(m <sup>3</sup> ) | Disponibilidade Hídrica (m <sup>3</sup> ) |   |
| Pontas Baixas     | X <sub>1</sub>                          | Y <sub>1</sub>                            | \$                                      |
| Pontas Máximas    | X <sub>2</sub>                          | Y <sub>2</sub>                            | \$                                      |

A tabela 4.3 mostra os cenários que foram considerados na execução da coordenação por forma a se achar o ponto óptimo de produção de energia eléctrica. Por outro lado, é apresentado na tabela 4.4 o volume de água (caudal) disponível no reservatório para ser turbinada em diferentes estações do ano (época de baixa precipitação e época com disponibilidade hídrica).

Tabela 4.4: Informação do caudal turbinado disponível nas centrais hídricas em Moçambique.

Fonte: [www.edm.co.mz](http://www.edm.co.mz); [www.hcb.co.mz](http://www.hcb.co.mz); <http://www.aquashare.org.mz/>; <http://www.me.gov.mz/prt/>

| Volume da total da água turbinada                   | Pontas Máximas de Consumo |        |       |          | Pontas Mínimas de Consumo |        |       |          |
|---|---------------------------|--------|-------|----------|---------------------------|--------|-------|----------|
|   | ATSU                      | ATCN   | ATCE  | ATNO     | ATSU                      | ATCN   | ATCE  | ATNO     |
| Época de baixa precipitação (m <sup>3</sup> )       | 184                       | 21372  | 17239 | Inviável | 1840                      | 21372  | 17239 | Inviável |
| Época com disponibilidade hídrica (m <sup>3</sup> ) | 384                       | Mantém | 18679 | Inviável | 384                       | Mantém | 18679 | 598      |

O critério utilizado para classificar os grupos térmicos, foi usado igualmente para classificar os grupos hídricos, o resultado desta classificação foi a obtenção do incremento necessário do volume exacto da água que cada gerador admite para disponibilizar uma unidade de MWh e de acordo com o levantamento de rendimento de cada gerador obteve-se os seguintes volumes apresentados na tabela 4.5.

Tabela 4.5: Incremento de volume de água capaz de produzir 1 MW no funcionamento de grupos hídricos.

Fonte: <http://www.nerc.com-incremento do volume da água em função da característica de geradores disponível>.

| Grupos Hídricos             | H <sub>1</sub> | H <sub>3</sub> | H <sub>4</sub> | H <sub>5</sub> | H <sub>6</sub> | H <sub>7</sub> | H <sub>8</sub> | H <sub>11</sub> | H <sub>13</sub> | H <sub>14</sub> | H <sub>15</sub> | H <sub>16</sub> | H <sub>17</sub> | H <sub>18</sub> |
|-----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Rendimento $\eta$ (%)       | 70             | 74             | 95             | 72             | 72             | 80             | 82             | 77              | 95              | 95              | 90              | 93              | 85              | 90              |
| Volume (m <sup>3</sup> /MW) | 12.5           | 11.5           | 22             | 15             | 15             | 15             | 12             | 13              | 30              | 35              | 18              | 25              | 16              | 18              |

Durante a análise dos resultados houve necessidade de assumir algum posicionamento em relação a certos constrangimentos de disposição dos grupos geradores e das linhas de transporte eléctrica em Moçambique, por exemplo:

- Situação hipotética do despacho com existência de uma linha de transporte por forma a estudar a viabilidade da interligação;
- Validação do acordo bilateral da disponibilidade de potência contratada entre EDM e HCB por intermédio da MOTRACO.

No sistema de interligação nacional assim como no sistema regional interligado a definição do caudal turbinado foi encontrado na base do somatório do volume da água disponível para ser turbinado usado em cada região, com um ligeiro acréscimo pois no sistema único de transporte leva-se em consideração a margem de erro de 5% definido convencionalmente.

Satisfeita as condições necessárias, através do GAMS fez-se a modelação da coordenação para os diagramas das regiões (ATSU, ATCE, ATCN e ATNO) obedecendo o cenário que é apresentado na tabela 4.6.

Tabela 4.6: Definição de cenários que conduzem a modelização da coordenação hidrotérmica.

| Regiões                     |                        | Cenários                |                          |                |
|-----------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------|
| Regiões                     | Diagrama de Carga (MW) | Época                   | Caudal (m <sup>3</sup> ) | Designação     |
| ATSU                        | Ponta Mínima           | Baixa Percipitação      | 184                      | A <sub>1</sub> |
|                             | Ponta Mínima           | Disponibilidade Hídrica | 384                      | A <sub>2</sub> |
|                             | Ponta Máxima           | Baixa Percipitação      | 184                      | A <sub>3</sub> |
|                             | Ponta Máxima           | Disponibilidade Hídrica | 384                      | A <sub>4</sub> |
| ATCE                        | Ponta Mínima           | Baixa Percipitação      | 17239                    | B <sub>1</sub> |
|                             | Ponta Mínima           | Disponibilidade Hídrica | 18679                    | B <sub>2</sub> |
|                             | Ponta Máxima           | Baixa Percipitação      | 17239                    | B <sub>3</sub> |
|                             | Ponta Máxima           | Disponibilidade Hídrica | 18679                    | B <sub>4</sub> |
| ATCN                        | Ponta Mínima           | Baixa Percipitação      | 21372                    | C <sub>1</sub> |
|                             | Ponta Mínima           | Disponibilidade Hídrica | Não avaliado             | C <sub>2</sub> |
|                             | Ponta Máxima           | Baixa Percipitação      | 21372                    | C <sub>3</sub> |
|                             | Ponta Máxima           | Disponibilidade Hídrica | Não avaliado             | C <sub>4</sub> |
| ATNO                        | Ponta Mínima           | Baixa Percipitação      | Sem efeito               | D <sub>1</sub> |
|                             | Ponta Mínima           | Disponibilidade Hídrica | 598                      | D <sub>2</sub> |
|                             | Ponta Máxima           | Baixa Percipitação      | Sem efeito               | D <sub>3</sub> |
|                             | Ponta Máxima           | Disponibilidade Hídrica | 598                      | D <sub>4</sub> |
| Interligação ATNO – ATCN    | Ponta Mínima           | Dependente de ATCN      |                          | E <sub>1</sub> |
|                             | Ponta Máxima           |                         |                          | E <sub>2</sub> |
| Interligação ATCE-ATCN-ATNO | Ponta Mínima           | Baixa Percipitação      | 17837                    | F <sub>1</sub> |
|                             | Ponta Mínima           | Disponibilidade Hídrica | 30226                    | F <sub>2</sub> |
|                             | Ponta Máxima           | Baixa Percipitação      | 17837                    | F <sub>3</sub> |
|                             | Ponta Máxima           | Disponibilidade Hídrica | 30226                    | F <sub>4</sub> |
| Interligação Nacional       | Ponta Máxima           | Baixa Percipitação      | 39209                    | G <sub>1</sub> |
|                             |                        | Disponibilidade Hídrica | 51598                    | G <sub>2</sub> |

### 4.2.3. Despacho Económico de Grupos Geradores Térmico

A questão relacionada com optimização de produção de energia eléctrica de grupos térmicos, encontra-se integrada nos argumentos definidos na coordenação hidrotérmica.

Durante o trabalho assumiu-se que no sistema nacional interligado só os grupos térmicos projectados é que se encontram em funcionamento, devido a imposição da definição do mínimo técnico. A activação destes acontece quando é considerado que o sistema de transporte se

encontra completamente interligado entre as quatro regiões, na qual foram integrados no GAMS por forma a fazerem parte da matriz por solucionar.

### 4.3. Caracterização Técnica de Grupos Térmicos

Os grupos geradores térmico instalados em cada região isto é, os geradores utilizados na situação da análise do despacho por região são substituído por novos geradores térmico que surgem do quadro de projeção para incremento da actual potencia instalada. O funcionamento destes geradores térmicos é caracterizado por respectivas equações de custo  $C(P)$  e obedecem a certos parâmetros de funcionamento relacionados com o consumo do combustível.

O sistema de equações de custo de produção em causa é constituído por grupos que usam o gás e carvão como combustível, no entanto a obtenção da informação relacionada com o funcionamento destes grupos não é de fácil acesso, isto porque os electroprodutores não os disponibilizam.

Não obstante, na base dos dados disponibilizados no relatório da NERC e de acordo com a disposição da gama dos grupos considerados no presente estudo para o sistema de produção Moçambicano, perante a situação do consumo dos combustíveis foi considerando o procedimento similar feito na coordenação hidrotérmica, e deste modo foi possível operar com equações de custo de produção com coeficientes mais equiparados com os do caso de estudo, como se pode ver na tabela 4.7.

Tabela 4.7: Característica das funções custo de produção de energia eléctrica em geradores térmicos.  
Fonte: <http://www.nerc.com>

| Região | Grupos | Coeficientes Térmico |      |         | Potência (MW) |        |
|--------|--------|----------------------|------|---------|---------------|--------|
|        |        | a                    | b    | c       | Mínima        | Máxima |
| ATCN   | Carvão | 510                  | 7,5  | 0,00643 | 75            | 300    |
| ATSU   | Gás    | 120                  | 6    | 0,04    | 0             | 40     |
| ATSU   | Gás    | 200                  | 6,55 | 0,07    | 25            | 100    |
| ATCN   | Carvão | 310                  | 7,85 | 0,00476 | 63            | 250    |

Observa-se na tabela 4.7 que os grupos geradores tem a capacidade que varia entre 40 á 300 MW. Ao serem agregados os coeficientes (a), (b) e (c), obtém-se as funções de custo apresentadas na tabela 4.8.

Tabela 4.8: Agregação das funções custo de produção de acordo com a localização das mesmas.

|   |   |                               |                      |
|---|---|-------------------------------|----------------------|
| $C(P_1) = 510 + 7,5 P_1 + 0,00643 P_1^2$ [€/h]  | ; | $75 \leq P_1 \leq 300$ [MW]   | (Carvão - Moatize I) |
| $C(P_2) = 120 + 6 P_1 + 0,04 P_1^2$ [€/h]       | ; | $0 \leq P_1 \leq 40$ [MW]     | (Gás - Kuvaninga)    |
| $C(P_3) = 200 + 6,55 P_1 + 0,07 P_1^2$ [€/h]    | ; | $25 \leq P_1 \leq 100$ [MW]   | (Gás - Maputo)       |
| $C(P_4) = 310 + 7,85 P_1 + 0,00476 P_1^2$ [€/h] | ; | $62,5 \leq P_1 \leq 250$ [MW] | (Carvão - Benga I)   |

São apresentadas as características técnicas de funcionamento de geradores através das respectivas funções de custo, descritas em função da capacidade de cada gerador.

A caracterização do diagrama de carga nacional, pode ser subdividido em períodos nos quais os consumos tem a duração, e como se pode ver na tabela 4.9, o período 3 apresentar maior duração, mas o pico acontece no período 4.

Tabela 4.9: Períodos em intervalos de tempo de consumos durante as 24 horas no digrama nacional.

| Período | Duração (hrs) | Consumo (MW) |
|---------|---------------|--------------|
| 1       | 3             | 297          |
| 2       | 5             | 381          |
| 3       | 11            | 495          |
| 4       | 5             | 534          |

A caracterização descrita permitiu com que a análise de dados fosse efectuado por intermédio do GAMS, de forma á:

- *Determinar do perfil de geração que minimiza o custo total de produção;*
- *Analisar o fluxo de potência que transita nos sistemas interligados em função de cada cenário;*
- *Determinar o respectivo custo total de produção;*

Para seguintes situações:

- Sistemas isolados (Sul, Centro, Centro-Norte e Norte);
- Sistema interligado entre regiões (Centro, Centro-Norte e Norte);
- Sistema interligado nacional (hipotético).

#### **4.4. Breve Descrição do Software Utilizado no Trabalho – GAMS**

O GAMS – General Algebraic Modeling System é uma linguagem dedicada à modelização de problemas de optimização lineares, não lineares e de programação inteira mista, particularmente útil para problemas de elevada dimensão e complexidade [28] e [29].

O GAMS permite ao utilizador concentrar-se na modelação do problema tornando fácil a sua implementação. O utilizador pode alterar a formulação de forma rápida e simples, podendo seleccionar e trocar o método numérico de resolução e até mudar um problema linear para não linear sem qualquer problema [28] e [29].

---

## **Capítulo**

### **5**

---

## **Análise de Dados e Discussão de Resultados**

Neste capítulo efectua-se o tratamento de dados e a respectiva discussão dos resultados, focada na coordenação hidrotérmica.

Não se leva em consideração os constrangimentos da linha e nem de investimentos. Conhecendo as características técnicas de funcionamento de grupos geradores hídricos e também dos geradores térmicos concernente ao preço de combustível, através das respectivas funções de custo de produção, foram analisados vários cenários definidos na tabela 4.6.

## 5. Análise de Dados e Discussão de Resultados

### 5.1. Análise Sobre Região Sul (ATSU)

- «Integração da Central MOTRACO»

Tratando-se de coordenação hidrotérmica e visto que a ponta de consumo na região Sul (ano de referência 2010) é de ordem dos 345 MW superando deste modo o total da potência instalada (térmicas e hídricas) nesta região, a EDM aplica um dos dispositivos legais ao abrigo de acordo bilateral entre Moçambique e Africa do Sul, o qual consiste na utilização da linha da MOTRACO fornecida pela ESKOM (HCB – SAPP) especialmente para fornecer energia eléctrica a zona sul de Moçambique [20] e [19] e em particular a MOZAL.

Por forma a tornar prático a realização do presente trabalho, considerar-se-á que a linha de transporte da MOTRACO de 1500 MVA [19], como sendo um grupo gerador instalado na região ATSU, pois uma vez conhecida a capacidade da linha, procura-se a potência instalada da referida linha com base no factor de potência de 0,60% [ $\cos(\varphi) = 0,60$ ] [18] e, recorrendo a expressão (5.2), converte-se a potência aparente da linha da MOTRACO de maneira a que se represente a potência activa que corresponde a potência injectada nesta linha que abastece a ATSU.

$$FP = \frac{[W]}{[VA]} \quad (5.1)$$

$$FP = \frac{P}{S} \quad (5.2)$$

$$P = FP \times S \quad (5.3)$$

$$P = 0,60 \times 1500 \quad (\text{MW})$$

$$P = 900 \quad (\text{MW})$$

Onde:

FP – é o factor de potência (%);

P – potência activa (MW);

S – potência aparente (VA);

O resultado apresentado acima, que deriva da expressão (5.2), representa a potência que a ATSU recebe pela linha da MOTRACO e desta forma passa a ser assumida como sendo uma potência instalada localmente por um grupo de capacidade 900 MW.

Neste âmbito, devido a várias condicionantes técnicas, a quantidade de energia consumida não obedece uma sequência linear, facto este que, para a pesquisa é utilizado o GAMS que activa parte da potência que transita para ATSU via MOTRACO (900 MW).

A potência disponibilizada pela HCB à EDM zona Sul que é de 230 á 240 MW [18] que resulta do acordo estabelecido é modelizada no GAMS em (€/MWh) a um custo de (25 €/MWh) apesar de provir de um recurso hídrico. Não obstante, devido a curva da procura que possui variação ao longo do tempo, o consumo acima de 240 MW disponibilizados contratualmente, passa a ser praticado o custo de energia que vigora no mercado regional de electricidade (31€/MWh) até Novembro de 2012 [30], visto que o único gerador hídrico que é usado para nivelar o diagramada de carga é de baixa capacidade instalado (16 MW). Sendo para tal, ter sido ramificado em dois geradores ( $I^1_{1Sul}$  e  $I^2_{1Sul}$ ) para modelização no GAMS.

A potência em excesso não consumida pela EDM-SUL, flui para a linha de outros potenciais clientes usuários da linha MOTRACO para qual foi criada, que é o caso da MOZAL e Edwaleni (Suazilândia) [19].

Na execução dos cálculos através do software GAMS, usam-se dois extremos do volume total de água disponível para ser turbinada, isto é, "época de baixa precipitação" e "época com disponibilidade do recurso hídrico", e que na base do volume de água disponível foi feita uma caracterização que resultou em quatro (4) cenários que estão explícitos e apresentados na tabela 4.6 do capítulo IV.

De seguida é feita a análise de resultados, utilizando os dados das centrais representadas nas tabelas 5.1 e 5.2 que correspondem aos grupos geradores térmicos e hídricos respectivamente instalados na região sul, e efectua-se o despacho de produção eléctrica relativo a região sul.

Tabela 5.1: Centrais hídricas presentes a fornecer na rede nacional.

| Central Hídrica | Província | Ano de Instalação | Fabricante | P. Instalada [MW] | P.Disponível [MW] | $\eta$ [%] | Estado      |
|-----------------|-----------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|------------|-------------|
| Corumana        | Maputo    | 1990              | Udenas     | 2 x 8,30          | 2 x 8,00          | 87         | Operacional |

Tabela 5.2: Centrais térmicas presentes a fornecer na rede nacional.

| Central Térmica | Província | Combustível | Fabricante   | Ano de Instalação | Potência Nominal [MW] | Potência Disponível [MW] | $\eta$ [%] | Estado      |
|-----------------|-----------|-------------|--------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|------------|-------------|
| Maputo          | Maputo    | Diesel      | BBC          | 1973/10           | 36                    | 33                       | 36,5       | Backup      |
|                 |           |             | Deutz        | 1991/11           | 25                    | 23                       | 36         | Backup      |
| Temane          | Γmbane    | Gás Natural | Cummins      | 2006              | 1,86                  | 1,62                     | 34         | Operacional |
|                 |           |             | Guascor      | 2008/10           | 3,74                  | 3,6                      | 35,6       | Operacional |
| N.Mbone         | Γmbane    | Gás Natural | Perkins 2000 | 2007/8            | 0,9                   | 0,82                     | 35         | Operacional |

<sup>1</sup> Interligação na região sul que corresponde a um grupo gerador hídrico imaginário que resulta do acordo bilateral á um custo de energia de 25€/MWh.

<sup>2</sup> Interligação na região sul que corresponde a um grupo gerador hídrico imaginário que fornece clientes especiais e tem o custo praticado no mercado de energia eléctrica de 31€/MWh.

Em seguida é apresentado o resultado do cenário  $A_1$  e o respectivo diagrama que resulta da optimização da produção eléctrica.

- **Resultado Sobre Cenário:  $A_1$**

Tabela 5.3: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário  $A_1$ .

| Período(hrs)   | Diagrama de Carga (MW) | $H_{1-Sul}$ | $I_{1-Sul}$ | $I_{2-Sul}$ |
|--|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1  | 189                    | 0,00        | 189,00      | 0,00        |
| 2  | 176                    | 0,00        | 176,00      | 0,00        |
| 3  | 156                    | 0,00        | 156,00      | 0,00        |
| 4  | 141                    | 0,00        | 141,00      | 0,00        |
| 5  | 137                    | 0,00        | 137,00      | 0,00        |
| 6  | 133                    | 0,00        | 133,00      | 0,00        |
| 7  | 132                    | 0,00        | 132,00      | 0,00        |
| 8  | 157                    | 16,00       | 141,00      | 0,00        |
| 9  | 173                    | 0,00        | 173,00      | 0,00        |
| 10   | 210                    | 0,00        | 210,00      | 0,00        |
| 11   | 223                    | 0,00        | 223,00      | 0,00        |
| 12   | 229                    | 0,00        | 229,00      | 0,00        |
| 13   | 230                    | 0,00        | 230,00      | 0,00        |
| 14   | 218                    | 0,00        | 218,00      | 0,00        |
| 15   | 216                    | 0,00        | 216,00      | 0,00        |
| 16   | 218                    | 16,00       | 202,00      | 0,00        |
| 17   | 217                    | 3,20        | 213,80      | 0,00        |
| 18   | 215                    | 16,00       | 199,00      | 0,00        |
| 19   | 232                    | 16,00       | 216,00      | 0,00        |
| 20   | 242                    | 16,00       | 226,00      | 0,00        |
| 21   | 247                    | 16,00       | 231,00      | 0,00        |
| 22   | 240                    | 16,00       | 224,00      | 0,00        |
| 23   | 233                    | 16,00       | 217,00      | 0,00        |
| 24   | 224                    | 16,00       | 208,00      | 0,00        |
| <b>Custo de produção por interligação = € 116,020,00</b> |                        |             |             |             |

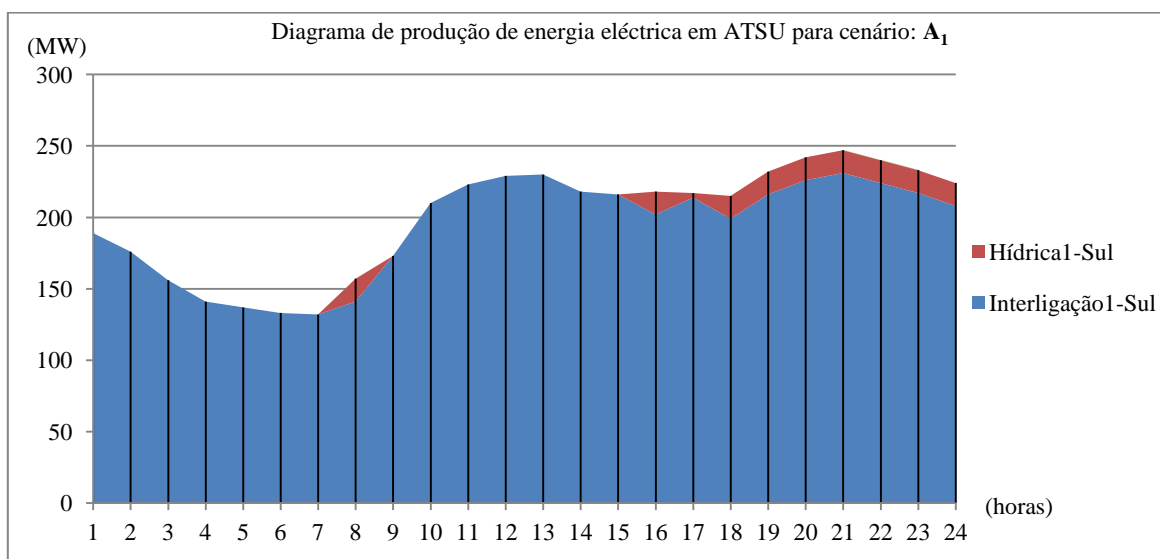


Figura 5.1: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica no ponto óptimo sobre cenário  $A_1$ .

Associado ao facto de insuficiência do recurso hídrico, observa-se que o diagrama de carga relativo ao cenário  $A_1$  desta região é assegurado por grupo ( $I_{1-Sul}$ ), que é relativo a capacidade disponibilizada sob acordo bilateral entre HCB e EDM á um custo de (25€/MWh) e também observa-se a contribuição do gerador (**Hídrico<sub>1-Sul</sub>**) que entra em operação intermitentemente em função do volume da água existente neste cenário, portanto, o custo de produção que se apresenta é de **€116,020,00**.

Considerando que há épocas com aumento de volume da água que resulta do efeito meteorológico, o volume total de água turbinada é incrementado em mais 2000 m<sup>3</sup>, isto é, acrescentado ao volume já existente de 1840 m<sup>3</sup> para 3840 m<sup>3</sup> para nivelar o diagrama de carga em um dia de baixo consumo, o que resulta num novo cenário  $A_2$  que passa a ser apresentado na tabela 5.4 que se segue.

- **Resultado Sobre Cenário:  $A_2$**

Tabela 5.4: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário  $A_2$ .

| Período(hrs)   | Diagrama de Carga (MW) | $H_{1-Sul}$ | $I_{1-Sul}$ | $I_{2-Sul}$ |
|--|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1  | 189                    | 0,00        | 189,00      | 0,00        |
| 2  | 176                    | 0,00        | 176,00      | 0,00        |
| 3  | 156                    | 0,00        | 156,00      | 0,00        |
| 4  | 141                    | 3,20        | 137,80      | 0,00        |
| 5  | 137                    | 16,00       | 121,00      | 0,00        |
| 6  | 133                    | 16,00       | 117,00      | 0,00        |
| 7  | 132                    | 0,00        | 132,00      | 0,00        |
| 8  | 157                    | 16,00       | 141,00      | 0,00        |
| 9  | 173                    | 16,00       | 157,00      | 0,00        |
| 10   | 210                    | 16,00       | 194,00      | 0,00        |
| 11   | 223                    | 16,00       | 207,00      | 0,00        |
| 12   | 229                    | 16,00       | 213,00      | 0,00        |
| 13   | 230                    | 16,00       | 214,00      | 0,00        |
| 14   | 218                    | 16,00       | 202,00      | 0,00        |
| 15   | 216                    | 16,00       | 200,00      | 0,00        |
| 16   | 218                    | 16,00       | 202,00      | 0,00        |
| 17   | 217                    | 16,00       | 201,00      | 0,00        |
| 18   | 215                    | 16,00       | 199,00      | 0,00        |
| 19   | 232                    | 16,00       | 216,00      | 0,00        |
| 20   | 242                    | 16,00       | 226,00      | 0,00        |
| 21   | 247                    | 16,00       | 231,00      | 0,00        |
| 22   | 240                    | 16,00       | 224,00      | 0,00        |
| 23   | 233                    | 16,00       | 217,00      | 0,00        |
| 24   | 224                    | 16,00       | 208,00      | 0,00        |
| <b>Custo de produção por interligação = € 112,020,00</b> |                        |             |             |             |

Verifica-se neste cenário que para além do gerador ( $I_{1-Sul}$ ), há uma contribuição considerável do gerado (Hídrico<sub>1-Sul</sub>) durante maior parte do tempo que se justifica pelo facto de ser o cenário com

disponibilidade de recurso hídrico para um diagrama de baixo consumo, o que resulta na diminuição do custo de produção em menos € 4000, comparado com o cenário  $A_1$ .

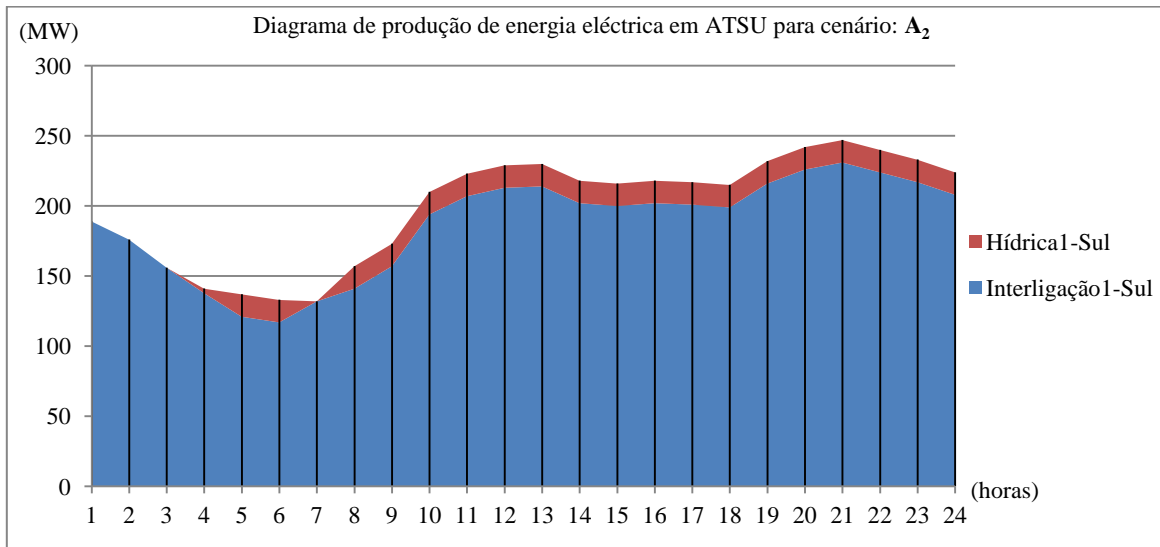


Figura 5.2: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica no ponto óptimo sobre cenário  $A_2$ .

- **Resultado Sobre Cenário:  $A_3$**

Tabela 5.5: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário  $A_3$ .

| Período(hrs)   | Diagrama de Carga (MW) | $H_{1-Sul}$ | $I_{1-Sul}$ | $I_{2-Sul}$ |
|--|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1  | 264                    | 0,00        | 240,00      | 24,00       |
| 2  | 246                    | 6,00        | 240,00      | 0,00        |
| 3  | 218                    | 0,00        | 218,00      | 0,00        |
| 4  | 197                    | 0,00        | 197,00      | 0,00        |
| 5  | 192                    | 0,00        | 192,00      | 0,00        |
| 6  | 185                    | 0,00        | 185,00      | 0,00        |
| 7  | 184                    | 0,00        | 184,00      | 0,00        |
| 8  | 219                    | 0,00        | 219,00      | 0,00        |
| 9  | 242                    | 2,00        | 240,00      | 0,00        |
| 10   | 294                    | 0,00        | 240,00      | 54,00       |
| 11   | 312                    | 0,00        | 240,00      | 72,00       |
| 12   | 320                    | 0,00        | 240,00      | 80,00       |
| 13   | 321                    | 0,00        | 240,00      | 81,00       |
| 14   | 305                    | 0,00        | 240,00      | 65,00       |
| 15   | 302                    | 0,00        | 240,00      | 62,00       |
| 16   | 304                    | 11,20       | 240,00      | 52,80       |
| 17   | 303                    | 16,00       | 240,00      | 47,00       |
| 18   | 301                    | 16,00       | 240,00      | 45,00       |
| 19   | 324                    | 16,00       | 240,00      | 68,00       |
| 20   | 338                    | 16,00       | 240,00      | 82,00       |
| 21   | 345                    | 16,00       | 240,00      | 89,00       |
| 22   | 335                    | 16,00       | 240,00      | 79,00       |
| 23   | 326                    | 16,00       | 240,00      | 70,00       |
| 24   | 314                    | 16,00       | 240,00      | 58,00       |
| <b>Custo de produção por interligação = € 169,767,80</b> |                        |             |             |             |

Sendo «época de baixa precipitação» encontrando-se a operar sob digrama de máximo consumo, correspondente ao cenário  $A_3$ , o gerador ( $I_{1-Sul}$ ) encontra-se a operar a 100% da capacidade

máxima na maior parte do tempo acompanhado pelo ( $H_{1-Sul}$ ) e também tendo sido activado o ( $I_{2-Sul}$ ) nas horas 16 á 24, que resulta na subida do custo total de produção para €169,767,80 comparado com os cenários  $A_1$  e  $A_2$ .

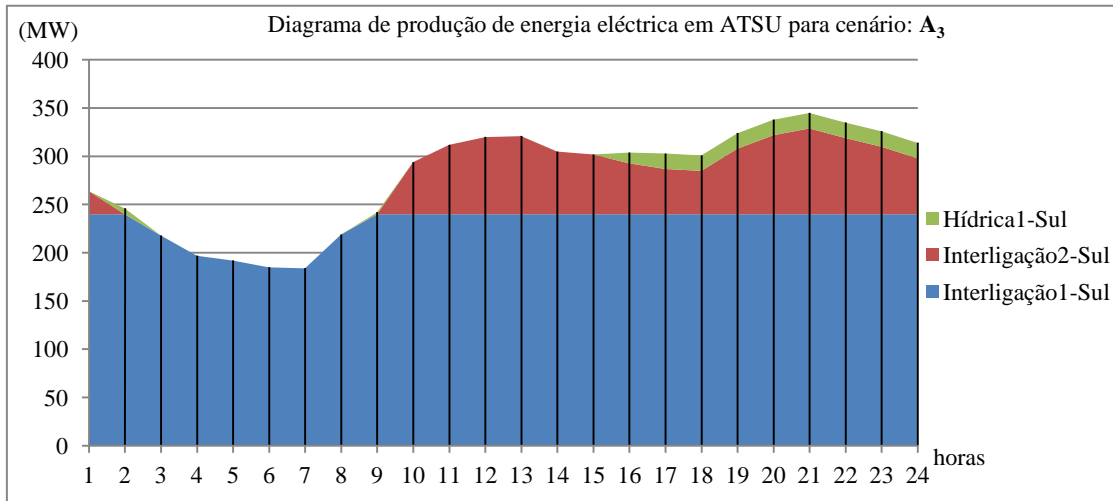


Figura 5.3: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica no ponto óptimo sobre cenário  $A_3$ .

- **Resultado Sobre Cenário:  $A_4$**

Tabela 5.6: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário  $A_4$ .

| Período   | Diagrama de Carga (MW) | $H_{1-Sul}$ | $I_{1-Sul}$ | $I_{2-Sul}$ |
|---|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 1   | 264                    | 16,00       | 240,00      | 8,00        |
| 2   | 246                    | 6,00        | 240,00      | 0,00        |
| 3   | 218                    | 0,00        | 218,00      | 0,00        |
| 4   | 197                    | 0,00        | 197,00      | 0,00        |
| 5   | 192                    | 11,20       | 180,80      | 0,00        |
| 6   | 185                    | 16,00       | 169,00      | 0,00        |
| 7   | 184                    | 0,00        | 184,00      | 0,00        |
| 8   | 219                    | 16,00       | 203,00      | 0,00        |
| 9   | 242                    | 2,00        | 240,00      | 0,00        |
| 10  | 294                    | 16,00       | 240,00      | 38,00       |
| 11  | 312                    | 16,00       | 240,00      | 56,00       |
| 12  | 320                    | 16,00       | 240,00      | 64,00       |
| 13  | 321                    | 16,00       | 240,00      | 65,00       |
| 14  | 305                    | 16,00       | 240,00      | 49,00       |
| 15  | 302                    | 16,00       | 240,00      | 46,00       |
| 16  | 304                    | 16,00       | 240,00      | 48,00       |
| 17  | 303                    | 16,00       | 240,00      | 47,00       |
| 18  | 301                    | 16,00       | 240,00      | 45,00       |
| 19  | 324                    | 16,00       | 240,00      | 68,00       |
| 20  | 338                    | 16,00       | 240,00      | 82,00       |
| 21  | 345                    | 16,00       | 240,00      | 89,00       |
| 22  | 335                    | 16,00       | 240,00      | 79,00       |
| 23  | 326                    | 16,00       | 240,00      | 70,00       |
| 24  | 314                    | 16,00       | 240,00      | 58,00       |
| <b>Custo de produção por interligação = € 165,067</b> |                        |             |             |             |

Observa-se que no cenário  $A_4$  que é resultado da disponibilidade do recurso hídrico para diagrama de carga alto, os geradores ( $I_{1-Sul}$ ), ( $H_{1-Sul}$ ) e ( $I_{2-Sul}$ ) entram em operação a parti da hora 9 até 24, sendo que o grupo ( $H_{1-Sul}$ ) se mantém activo praticamente durante as 24 horas com uma ligeira variação na primeiras horas, e o gerador ( $I_{1-Sul}$ ) tal como acontece nos cenários  $A_1$ ,  $A_2$  e  $A_3$ , neste o mesmo se verifica que forma a base do diagrama de produção e e apresentado um custo total de €165,067,00.

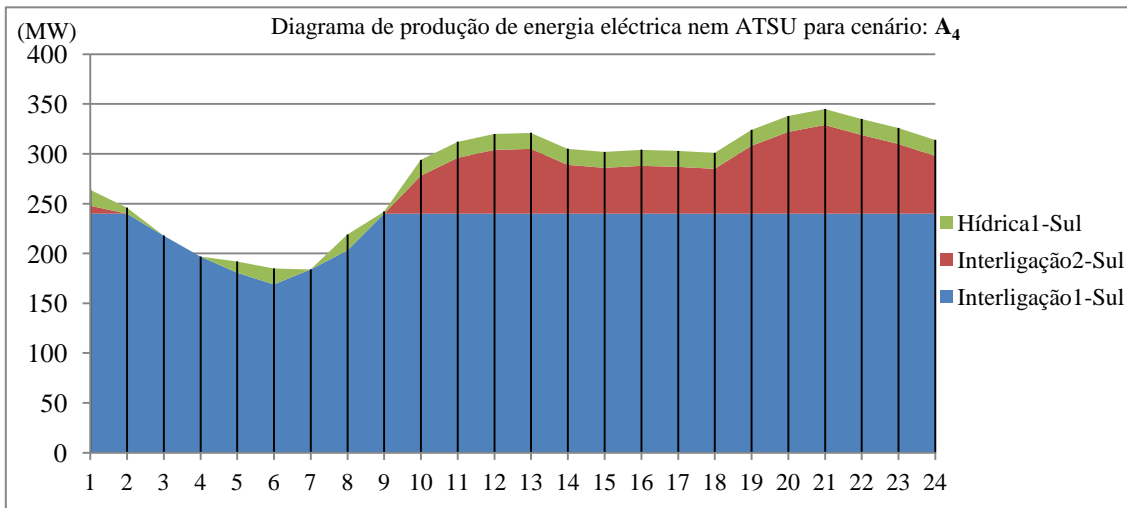


Figura 5.4: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica no ponto óptimo sobre cenário  $A_4$ .

## 5.2. Análise Sobre Região Centro (ATCE)

A região centro (ATCE) actualmente é caracterizada por baixa contribuição de grupos térmicos devido a existência de centrais hídricas instaladas nesta região que respondem ao respectivo nível de consumo desta região, por outro lado devido ao facto de se encontrar interligada com a região centro-norte que possui uma capacidade instalada relativamente maior,

Ao considerarmos os dados que são apresentados nas tabelas 5.7 e 5.8 sobre informação dos grupos instalados na região centro, obedecendo a tabela 4.6 que contem a identificação dos cenários, prossegue-se com os respectivos cálculos em que os resultados são apresentados nas tabelas que se seguem abaixo.

Tabela 5.7: Centrais hídricas presentes a fornecer na rede nacional.

| Central Hídrica | Ano Instalação | Fabricante | P. Instalada [MW] | P. Disponível [MW] | $\eta$ [%] | Estado      |
|-----------------|----------------|------------|-------------------|--------------------|------------|-------------|
| Mavuzi          | 1955           | Charmiles  | 1 x 6,2           | 5,00               | 75         | Operacional |
|                 | 1955           | Charmiles  | 1 x 6,2           | 5,00               |            | Operacional |
|                 | 1957           | Neyrpic    | 3 x 17,50         | 3 x 14             | 74         | Operacional |
| Chicamba        | 1968           | Secheron   | 2 x 24,00         | 2 x 23             | 78         | Operacional |
| Total           |                |            | 112,9             | 98                 |            |             |

Tabela 5.8: Centrais térmicas presentes a fornecer na rede nacional.

| Central Térmica | Província | Combustível | Ano Instalação | P. Instalada [MW] | P. Disponível MW] | $\eta$ [%] | Estado |
|-----------------|-----------|-------------|----------------|-------------------|-------------------|------------|--------|
| Beira           | Sofala    | Gás Natural | 1988           | 14                | 12                | 36,9       | Backup |

Com esta disponibilidade do recurso hídrico e atendendo a ponta máxima do consumo ATCE, quando executado a optimização, constata-se que a maior contribuição provem do lado dos grupos hídricos embora a análise incide sobre na época de baixa precipitação como se pode ver na tabela 5.9.

Salienta-se que a produção de energia eléctrica para esta região acontece em função do diagrama de carga de clientes da região fronteiriça (Mutare) que se encontram interligados por intermédio da linha de 110 kV. Especula-se que, pelo facto de não ter sido contabilizado a carga da região fronteiriça no diagrama de consumo regional, o sistema caracteriza-se por grupos contribuem na produção de forma alternada com uma variação em forma de serra viradas para baixo.

- **Resultado Sobre Cenário: B<sub>1</sub>**

Tabela 5.9: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário B<sub>1</sub>.

| Período (hrs)   | Diagrama de Carga | T <sub>1-CE</sub> | H <sub>1-CE</sub> | H <sub>2-CE</sub> | H <sub>3-CE</sub> | H <sub>4-CE</sub> |
|---|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1   | 39                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 29,00             | 0,00              |
| 2   | 36                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 26,00             | 0,00              |
| 3   | 32                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 22,00             | 0,00              |
| 4   | 29                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 19,00             | 0,00              |
| 5   | 28                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 18,00             |
| 6   | 27                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 17,00             | 0,00              |
| 7   | 27                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 17,00             |
| 8   | 32                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 22,00             | 0,00              |
| 9   | 36                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 26,00             |
| 10  | 43                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 33,00             | 0,00              |
| 11  | 46                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 36,00             |
| 12  | 47                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 37,00             | 0,00              |
| 13  | 48                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 38,00             |
| 14  | 45                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 35,00             | 0,00              |
| 15  | 45                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 35,00             |
| 16  | 45                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 35,00             | 0,00              |
| 17  | 45                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 35,00             |
| 18  | 44                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 34,00             | 0,00              |
| 19  | 48                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 38,00             | 0,00              |
| 20  | 50                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 40,00             | 0,00              |
| 21  | 51                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 41,00             | 0,00              |
| 22  | 50                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 40,00             |
| 23  | 48                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 38,00             |
| 24  | 46                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 36,00             |
| <b>Custo de produção por tecnologia hidráulica = € 0,00</b> |                   |                   |                   |                   |                   |                   |

Observa-se que o diagrama de carga para este cenário é garantido por geradores hídricos, sendo que os grupos de menor capacidade (5MW) formam a base do diagrama de produção, neste caso,

o custo de € 0,00 que é apresentado tem a ver com facto o de não existir nenhuma taxa que incide sobre o uso do recurso hídrico para actividades de geração eléctrica. A figura 5.5 abaixo apresentada ilustra a forma como os geradores operam para nivelar o diagrama de carga do cenário B<sub>1</sub>.

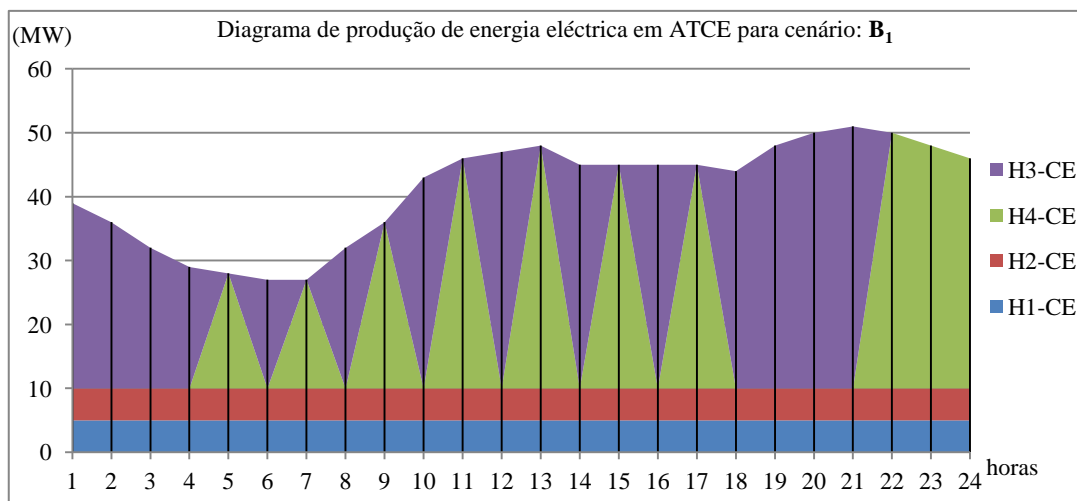


Figura 5.5: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica no ponto óptimo sobre cenário B<sub>1</sub>.

- **Resultado Sobre Cenário: B<sub>2</sub>**

Tabela 5.10: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário B<sub>2</sub>.

| Período (hrs) | Diagrama de Carga (MW) | H <sub>1-CE</sub> | H <sub>2-CE</sub> | H <sub>3-CE</sub> | H <sub>4-CE</sub> | T <sub>1-CE</sub> |
|---------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1             | 39                     | 5,00              | 5,00              | 29,00             | 0,00              | 0,00              |
| 2             | 36                     | 5,00              | 5,00              | 26,00             | 0,00              | 0,00              |
| 3             | 32                     | 5,00              | 5,00              | 22,00             | 0,00              | 0,00              |
| 4             | 29                     | 5,00              | 5,00              | 19,00             | 0,00              | 0,00              |
| 5             | 28                     | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 18,00             | 0,00              |
| 6             | 27                     | 5,00              | 5,00              | 17,00             | 0,00              | 0,00              |
| 7             | 27                     | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 17,00             | 0,00              |
| 8             | 32                     | 5,00              | 5,00              | 22,00             | 0,00              | 0,00              |
| 9             | 36                     | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 26,00             | 0,00              |
| 10            | 43                     | 5,00              | 5,00              | 33,00             | 0,00              | 0,00              |
| 11            | 46                     | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 36,00             | 0,00              |
| 12            | 47                     | 5,00              | 5,00              | 37,00             | 0,00              | 0,00              |
| 13            | 48                     | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 38,00             | 0,00              |
| 14            | 45                     | 5,00              | 5,00              | 35,00             | 0,00              | 0,00              |
| 15            | 45                     | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 35,00             | 0,00              |
| 16            | 45                     | 5,00              | 5,00              | 35,00             | 0,00              | 0,00              |
| 17            | 45                     | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 35,00             | 0,00              |
| 18            | 44                     | 5,00              | 5,00              | 34,00             | 0,00              | 0,00              |
| 19            | 48                     | 5,00              | 5,00              | 38,00             | 0,00              | 0,00              |
| 20            | 50                     | 5,00              | 5,00              | 40,00             | 0,00              | 0,00              |
| 21            | 51                     | 5,00              | 5,00              | 41,00             | 0,00              | 0,00              |
| 22            | 50                     | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 40,00             | 0,00              |
| 23            | 48                     | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 38,00             | 0,00              |
| 24            | 46                     | 5,00              | 5,00              | 0,00              | 36,00             | 0,00              |

**Custo de produção por tecnologia hidráulica = € 0,00**

No cenário B<sub>2</sub>, tal como se constatou no anterior cenário, verifica-se unicamente a operacionalidade dos grupos hídricos sendo que os dois geradores de menor capacidade (5MW) encontram-se a operar a 100% formando a base do diagrama de produção, e o custo que se apresenta neste cenário é de € 0,00 devido a activação única de geradores térmicos.

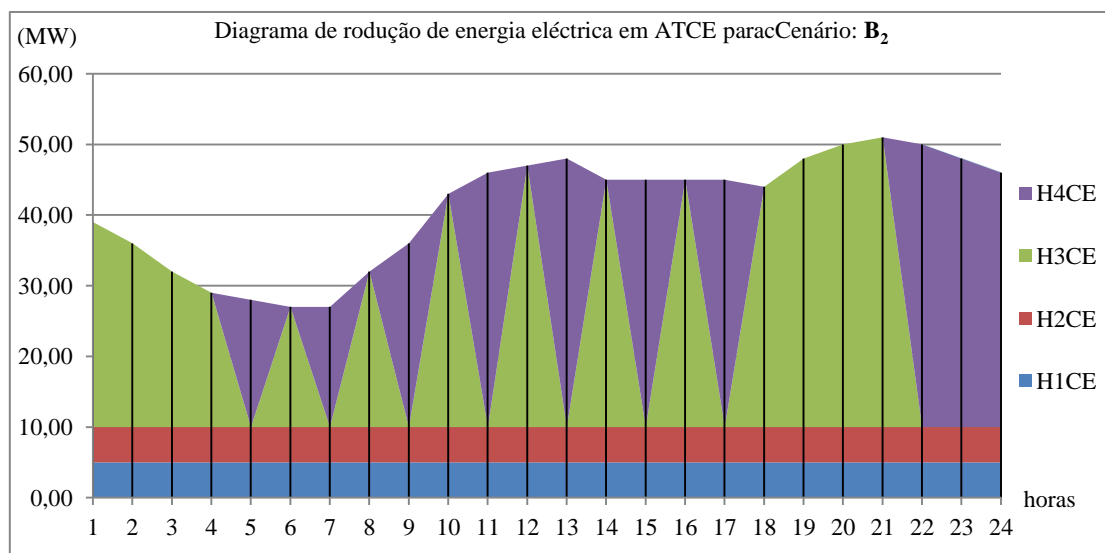


Figura 5.6: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica no ponto óptimo sobre cenário B<sub>2</sub>.

- **Resultado Sobre Cenário: B<sub>3</sub>**

Tabela 5.11: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário B<sub>3</sub>.

| Período (hrs)  | Diagrama de Carga (MW) | T <sub>1-CE</sub> | H <sub>1-CE</sub> | H <sub>2-CE</sub> | H <sub>3-CE</sub> | H <sub>4-CE</sub> |
|--|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1  | 56                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 14,00             |
| 2  | 52                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 10,00             |
| 3  | 46                     | 4,00              | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 0,00              |
| 4  | 42                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 0,00              |
| 5  | 41                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 41,00             | 0,00              |
| 6  | 39                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 39,00             | 0,00              |
| 7  | 39                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 39,00             |
| 8  | 46                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 4,00              |
| 9  | 51                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 5,00              | 46,00             |
| 10   | 62                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 20,00             |
| 11   | 66                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 20,00             | 46,00             |
| 12   | 68                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 26,00             |
| 13   | 68                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 26,00             |
| 14   | 64                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 22,00             |
| 15   | 64                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 18,00             | 46,00             |
| 16   | 64                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 22,00             |
| 17   | 64                     | 0,92              | 0,00              | 0,00              | 17,08             | 46,00             |
| 18   | 64                     | 12,00             | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 10,00             |
| 19   | 69                     | 12,00             | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 15,00             |
| 20   | 71                     | 12,00             | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 17,00             |
| 21   | 73                     | 12,00             | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 19,00             |
| 22   | 71                     | 12,00             | 0,00              | 0,00              | 13,00             | 46,00             |
| 23   | 69                     | 12,00             | 0,00              | 0,00              | 11,00             | 46,00             |
| 24   | 56                     | 12,00             | 0,00              | 0,00              | 8,00              | 46,00             |
| <b>Custo de produção por interligação = € 8,892,31</b> |                        |                   |                   |                   |                   |                   |

Observa-se neste cenário que o diagrama de carga de máximo consumo da região centro, não é coberto somente pelos geradores hídricos, nota-se uma contribuição do único gerador térmico que é activado á 100% nas horas 18 á 24. Com esta notável contribuição do grupo térmico significa que o custo de produção neste cenário passa a ser de € 8,892,31, que reflecte sobre o custo de combustível usado.

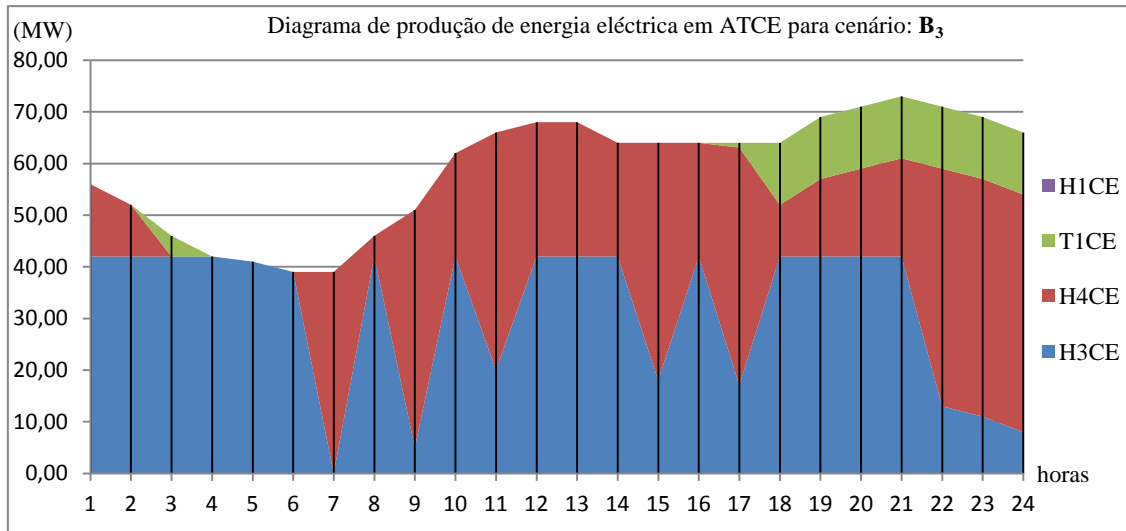


Figura 5.7: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica no ponto óptimo sobre cenário  $B_3$ .

- **Resultado Sobre Cenário:  $B_4$**

Tabela 5.12: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário  $B_4$ .

| Período (hrs) | Carga Máxima (MW) | T <sub>1-CE</sub> | H <sub>1-CE</sub> | H <sub>2-CE</sub> | H <sub>3-CE</sub> | H <sub>4-CE</sub> |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1             | 56                | 0,00              | 0,00              | 5,00              | 42,00             | 9,00              |
| 2             | 52                | 0,00              | 0,00              | 5,00              | 42,00             | 5,00              |
| 3             | 46                | 0,00              | 0,00              | 5,00              | 41,00             | 0,00              |
| 4             | 42                | 0,00              | 0,00              | 5,00              | 37,00             | 0,00              |
| 5             | 41                | 0,00              | 0,00              | 5,00              | 36,00             | 0,00              |
| 6             | 39                | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 39,00             | 0,00              |
| 7             | 39                | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 39,00             |
| 8             | 46                | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 4,00              |
| 9             | 51                | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 5,00              | 46,00             |
| 10            | 62                | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 42,00             | 20,00             |
| 11            | 66                | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 20,00             | 46,00             |
| 12            | 68                | 0,00              | 2,00              | 0,00              | 42,00             | 24,00             |
| 13            | 68                | 0,00              | 5,00              | 0,00              | 42,00             | 21,00             |
| 14            | 64                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 42,00             | 12,00             |
| 15            | 64                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 8,00              | 46,00             |
| 16            | 64                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 42,00             | 12,00             |
| 17            | 64                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 8,00              | 46,00             |
| 18            | 64                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 42,00             | 12,00             |
| 19            | 69                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 42,00             | 17,00             |
| 20            | 71                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 42,00             | 19,00             |
| 21            | 73                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 42,00             | 21,00             |
| 22            | 71                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 15,00             | 46,00             |
| 23            | 69                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 13,00             | 46,00             |
| 24            | 56                | 0,00              | 5,00              | 5,00              | 10,00             | 46,00             |

**Custo de produção por tecnologia hidráulica = € 0,00**

Considerando ser diagrama da ponta máxima em época com disponibilidade hídrica suficiente, a produção passa a ser garantida unicamente por grupos hídricos, o que faz com que o sistema desactive o grupo térmico  $T_{1-CE}$ , neste caso, o custo de produção toma o valor de (€0,00).

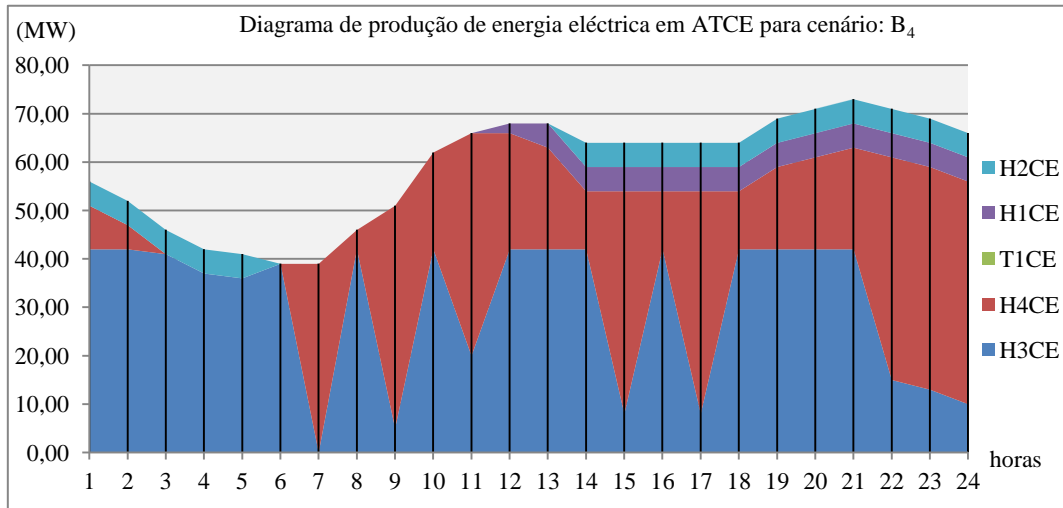


Figura 5.8: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica no ponto óptimo sobre cenário **B<sub>4</sub>**.

Os diagramas apresentados nas figuras 5.5 até 5.8 carecem de dados suficientes, razão pela qual a sua disposição apresenta vários vácuos.

### 5.3. Análise Sobre Região Centro (ATCN)

Faz parte da potência instalada na região centro-norte geradores térmicos que em maior parte do tempo permanecem como back-up.

O aspecto importante a ser levado em consideração nesta região tem haver com o facto de integração da central de maior capacidade instalada em Moçambique na ordem dos 2070MW [20], que através da linha de 665 MVA pertencente a EDM operada pela HCB e 44 MVA da HCB ambas sob um factor de potência de (FP = 0,5) [19], colocam em disponibilidade 354,5 MW da HCB usando a analogia das equações (5.1) e (5.2), através do barramento de Matambo para suportar o diagrama de carga da ATCN.

O fornecimento de electricidade neste ponto, pese embora depender do volume da água disponível ( $m^3/MWh$ ), possui um custo em (€/MWh) relativo a interligação, visto que esta produção eléctrica não deriva da central pertencente a Electricidade de Moçambique.

Tal como mostrado na ATSU, sobre a proveniência do custo da «central interligação na região ( $I_{sul}$ )», que resulta do acordo bilateral entre a HCB e EDM, o mesmo acontece para a região centro-norte «central interligação na região ( $I_{Norte}$ )».

- O acordo bilateral entre HCB e a EDM consiste na fixação da potência para ATCN, entregue no barramento de Matambo, que é de 70 MW a custo de 25 €/MWh [23] e [20].

$$I_{1-ATCN} = 0,8. P. h. C + (w - 0,8. P. h). P^2 \quad (5.4)$$

Onde:

P – potência contratada (MW);

h – números de horas;

C – custo de energia eléctrica taxada em (ZAR/MWh);

w – é a energia consumida (MWh);

$P^2 = \frac{1}{3}. C$  – é o debito da energia não consumida (MWh);

0,8 – coeficiente de ajustamento para ATCN;

- Sendo que, o consumo acima da potência contratada sobre gerador ( $I_{2-ATCN}$ ), o custo a ser praticado é baseado na seguinte expressão, [23]:

$$\text{Em horas de ponta} = (2n-1). 2,3. C. \Delta P \quad (5.5)$$

$$\text{Em horas fora de ponta} = (2n-1). 1,6. C. \Delta P \quad (5.6)$$

Onde:

C – é o custo de energia eléctrica taxada em (ZAR/MWh);

$\Delta P$  – é a variação da potência contratada (MW);

n – é o número de vezes em que ocorreu a penalização;

Devido ao baixo nível de consumo de electricidade que caracteriza esta região, apresentando ponta máxima na ordem de 65 MW em dias de baixo consumo e 92 MW em dias de consumo intenso [18], faz com que a EDM através de um forecasting<sup>3</sup> declare previamente à HCB a quantidade de energia necessária para ser fornecida a esta região [18].

As tabelas 5.13 e 5.14 apresentam os dados dos grupos geradores instalados na ATCN, seguidos das respectivas tabelas dos resultados.

Tabela 5.13: Centrais hídricas presentes a fornecer na rede nacional.

| Central Hídrica | Ano de Instalação | P. Instalada [MW] | P. Disponível [MW] | $\eta$ [%] | Estado      |
|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------|-------------|
| HCB             | 1977              | 5 x 415           | 354,5              | 95         | Operacional |

Tabela 5.14: Centrais térmicas presentes a fornecer na rede nacional.

| Central Térmica | Província | Combustível    | Fabricante | Ano de Instalação | Potência Nominal [MW] | Potência Disponível [MW] | $\eta$ [%] | Estado |
|-----------------|-----------|----------------|------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|------------|--------|
| Tete            | Tete      | Gasóleo/Diesel | Deutz      | 1991              | 0,82                  | 0,60                     | 38,3       | Backup |
| Quelimane       | Quelimane | Gasóleo/Diesel | Mirrlees   | 1980              | 3,44                  | 3,40                     | 37,6       | Backup |
|                 |           | Gasóleo/Diesel | Mirrlees   | 1980              | 3,44                  | 3,40                     | 37,6       | Backup |

<sup>3</sup> Avaliação prévia do fornecimento de energia eléctrica num determinado período, que pode ser de longo ou curto tempo.

- **Resultado Sobre Cenário: C<sub>1</sub>**

Nesta região constata-se que, para o cenário C<sub>1</sub> a "interligação - I<sub>2</sub>" que deriva da região ATCN, sendo que esta, representa a potência proveniente da HCB como resultado do acordo com a EDM que se encontra também em vigor na região sul, nivela na integra o perfil de carga sob ponta mínima de consumo eléctrico desta região.

Tabela 5.15: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário C<sub>1</sub>.

| Período (hrs) | Diagrama de Carga (MW) | T <sub>1-CN</sub> | T <sub>2-CN</sub> | T <sub>3-CN</sub> | I <sub>1-CN</sub> | I <sub>2-CN</sub> |
|---------------|------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1             | 50                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 50,00             |
| 2             | 46                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 46,00             |
| 3             | 41                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 41,00             |
| 4             | 37                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 37,00             |
| 5             | 36                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 36,00             |
| 6             | 35                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 35,00             |
| 7             | 35                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 35,00             |
| 8             | 41                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 41,00             |
| 9             | 46                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 46,00             |
| 10            | 55                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 55,00             |
| 11            | 59                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 59,00             |
| 12            | 60                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 60,00             |
| 13            | 61                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 61,00             |
| 14            | 57                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 57,00             |
| 15            | 57                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 57,00             |
| 16            | 57                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 57,00             |
| 17            | 57                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 57,00             |
| 18            | 57                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 57,00             |
| 19            | 61                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 61,00             |
| 20            | 64                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 64,00             |
| 21            | 65                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 65,00             |
| 22            | 63                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 63,00             |
| 23            | 61                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 61,00             |
| 24            | 59                     | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 0,00              | 59,00             |

**Custo de produção por interligação = € 31,500,00**

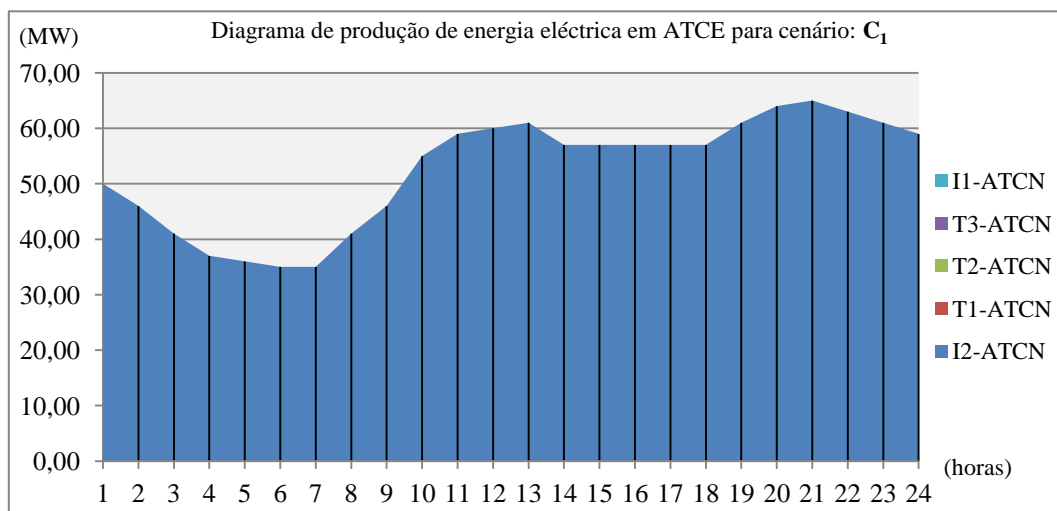


Figura 5.9: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica no ponto óptimo sobre cenário C<sub>1</sub>.

Constatado que o fornecimento de electricidade nesta região é assegurado pelas interligações "I<sub>1-ATCN</sub> e I<sub>2-ATCN</sub>", foi feita a análise somente para os cenários C<sub>1</sub> e C<sub>2</sub>. Tal significa que, o "grupo gerador instalado (interligação I<sub>2</sub>)" na região ATCN nivela na integra o perfil de carga eléctrico deste cenário como se pode ver na figura 5.9, apresentando um custo reduzido de € 31,500,00.

• **Resultado Sobre Cenário: C<sub>2</sub>**

Tabela 5.16: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário C<sub>2</sub>.

| Período (hrs)   | Diagrama de Carga (MW) | T <sub>1-ATCN</sub> | T <sub>2-ATCN</sub> | T <sub>3-ATCN</sub> | I <sub>1-ATCN</sub> | I <sub>2-ATCN</sub> |
|---|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1   | 70                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 70,00               |
| 2   | 66                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 66,00               |
| 3   | 58                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 58,00               |
| 4   | 52                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 52,00               |
| 5   | 51                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 51,00               |
| 6   | 49                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 49,00               |
| 7   | 49                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 49,00               |
| 8   | 58                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 58,00               |
| 9   | 65                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 65,00               |
| 10  | 78                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 8,00                | 70,00               |
| 11  | 83                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 13,00               | 70,00               |
| 12  | 85                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 15,00               | 70,00               |
| 13  | 86                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 16,00               | 70,00               |
| 14  | 81                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 11,00               | 70,00               |
| 15  | 80                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 10,00               | 70,00               |
| 16  | 81                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 11,00               | 70,00               |
| 17  | 81                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 11,00               | 70,00               |
| 18  | 80                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 10,00               | 70,00               |
| 19  | 86                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 16,00               | 70,00               |
| 20  | 90                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 20,00               | 70,00               |
| 21  | 92                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 22,00               | 70,00               |
| 22  | 89                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 19,00               | 70,00               |
| 23  | 87                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 17,00               | 70,00               |
| 24  | 84                     | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 14,00               | 70,00               |
| <b>Custo de produção por interligação = € 45,803,00</b> |                        |                     |                     |                     |                     |                     |

O diagrama de carga no cenário C<sub>2</sub> é nivelado com a integração do (I<sub>1-ATCN</sub>) nas horas de ponta sem que tenha sido activado nenhum outro grupo térmico como ilustra a figura 5.10.

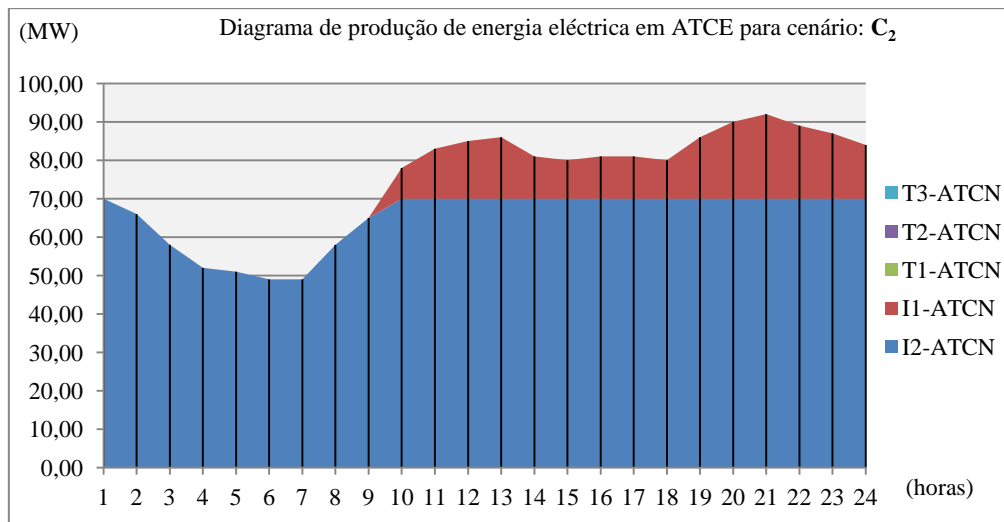


Figura 5.10: Diagrama da curva característica de produção de energia eléctrica no ponto óptimo sobre cenário C<sub>2</sub>.

## 5.4. Análise Sobre Região Norte (ATNO)

Tabela 5.17: Centrais hídricas presentes a fornecer na rede nacional.

| Central Hídrica | Ano de Instalação | P. Instalada [MW] | P. Disponível [MW] | $\eta$ [%] | Estado      |
|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------|-------------|
| Mini - Lichinga | 1983              | 2 x 0,73          | 2 x 0,6            | 70         | Operacional |
| Mini - Cuamba   | 1989              | 1 x 1,9           | 1 x 0,9            | 72         | Operacional |

Tabela 5.18: Centrais térmicas presentes a fornecer na rede nacional.

| Central Térmica | Província  | Combustível    | Fabricante  | Ano Instalação | Potência Nominal [MW] | Potência Disponível [MW] | $\eta$ [%] | Estado |
|-----------------|------------|----------------|-------------|----------------|-----------------------|--------------------------|------------|--------|
| Nampula         | Nampula    | Gasóleo/Diesel | Man         | 1965/71        | 6,4                   | 5,20                     | 37         | Backup |
| Nacala          | Nampula    | Gasóleo/Diesel | Sulzer      | 1966/79        | 2,41                  | 2,20                     | 36         | Backup |
| Montepuez       | C.Delegado | Gasóleo/Diesel | Atlas Copco | 1978/03        | 1,22                  | 1                        | 38         | Backup |
| Pemba           | C.Delegado | Gasóleo/Diesel | Cummins     | 2002           | 1,46                  | 1,3                      | 37,8       | Backup |
| Lichinga        | Niassa     | Gasóleo/Diesel | Cummins     | 1979/03        | 1,77                  | 1,32                     | 38,5       | Backup |

A tabela 5.19 apresenta o diagrama de carga da região norte, que através do GAMS deve ser encontrado o ponto óptimo de produção de energia eléctrica em conformidade com as tabelas 5.17 e 5.18, por forma a nivelar o presente diagrama.

- **Resultado Sobre Cenário: D<sub>1</sub>**

Tabela 5.19: Resultado de produção de energia eléctrica sobre sobre cenário D<sub>1</sub>.

| Diagrama de Carga Sob Máximo Consumo (MW) | Período (horas) | Diagrama de Carga Sob Mínimo Consumo (MW) |
|---|-----------------|---|
| 30  | 1               | 21  |
| 28  | 2               | 20  |
| 25  | 3               | 18  |
| 22  | 4               | 16  |
| 22  | 5               | 16  |
| 21  | 6               | 15  |
| 21  | 7               | 15  |
| 25  | 8               | 18  |
| 28  | 9               | 20  |
| 33  | 10              | 24  |
| 36  | 11              | 25  |
| 36  | 12              | 26  |
| 37  | 13              | 26  |
| 35  | 14              | 25  |
| 34  | 15              | 24  |
| 35  | 16              | 25  |
| 35  | 17              | 25  |
| 34  | 18              | 24  |
| 37  | 19              | 26  |
| 38  | 20              | 27  |
| 39  | 21              | 28  |
| 38  | 22              | 27  |
| 37  | 23              | 26  |
| 36  | 24              | 25  |

A região norte (ATNO) apresenta fraco potencial de geração eléctrica , no entanto, tendo como objectivo avaliação técnica do despacho de produção eléctrica, foi feito um ensaio através do GAMS usando apenas grupos instalados nesta região.

A origem da impraticabilidade que se verifica tem a ver com o facto de, o somatório da potencia instalada em todos os geradores que se observa na figura 5.11, não ser capaz de nivelar o respectivo diagrama de carga figura 5.12, por forma a obedecer uma das formulações base do despacho económico dado por:

$$C_P = \sum_{i=1}^n P_i = P_{\text{carga}} \quad (5.7)$$

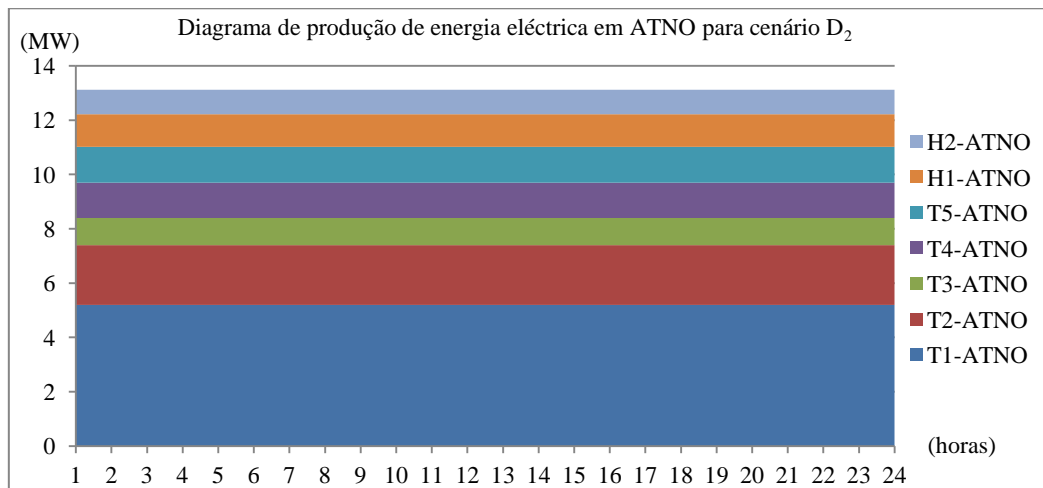


Figura 5.11: Diagrama característico de produção de energia eléctrica sobre cenário D2.

A figura 5.11 ilustra o diagrama de produção de todos grupos instalados na ATNO que operando sem nenhuma restrição, com uma potência produzida de 13,12MW, entrando em contrariedade com o diagrama de carga a ser nivelado que é apresentado na figura 5.12 com uma ponta de 28MW.

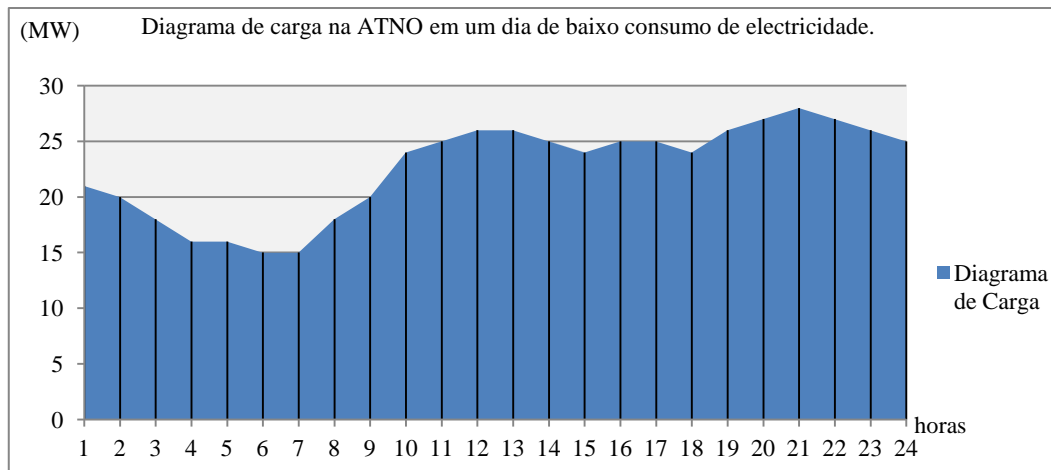


Figura 5.12: Diagrama de carga característico na ATNO em um dia de baixo consumo de electricidade sobre cenário **D<sub>3</sub>**.

Razão pela qual nesta região não foi possível efectuar-se nenhum cenário, pois a solução deste défice é encontrada quando o sistema de fornecimento eléctrico desta região ATNO é interligado com a região ATCN.

---

# Capítulo

# 6

---

## Interligação entre Regiões

De forma complementar ao quinto capítulo,  
é feita uma análise sobre interligação entre regiões.

## 6. Interligação entre Regiões

### 6.1. ATNO Interligada á ATCN

Tendo sido feito a análise sobre cada região e que os resultados são apresentado nas respectivas tabelas contendo diagramas de cargas, de seguida é feita análise da região ATNO na condição desta se encontrar ligada à ATCN por forma a tornar possível o nivelamento do diagrama de carga da região norte (ATCN).

Para o efeito, se considera que o diagrama de carga do sistema ATNO encontra-se acoplado na linha que fornece a região ATCN, o que significa que dispõe de condições na qual o fluxo de energia proveniente da linha ATCN transita para outra região ATNO servindo-se dos barramentos de Matambo (ATCN) e Nampula 220 (ATNO). Tendo sido feito a respectiva análise por intermédio do GAMS, envolvendo os diagramas de cargas das duas regiões, é apresentado o respectivo resultado rotulado por cenários  $E_1$  e  $E_2$ .

- **Resultado Sobre Cenário:  $E_1$**

Tabela 6.1: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário  $E_1$ .

| Período (horas) | Diagrama de Carga (MW) | $I_{1-CN}$ | $I_{2-CN}$ | $H_{1-NO}$ | $H_{2-NO}$ |
|-----------------|------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 1               | 71                     | 0,00       | 68,90      | 1,20       | 0,90       |
| 2               | 66                     | 0,00       | 63,90      | 1,20       | 0,90       |
| 3               | 59                     | 0,00       | 56,90      | 1,20       | 0,90       |
| 4               | 53                     | 0,00       | 50,90      | 1,20       | 0,90       |
| 5               | 52                     | 0,00       | 49,90      | 1,20       | 0,90       |
| 6               | 50                     | 0,00       | 47,90      | 1,20       | 0,90       |
| 7               | 50                     | 0,00       | 47,90      | 1,20       | 0,90       |
| 8               | 59                     | 0,00       | 56,90      | 1,20       | 0,90       |
| 9               | 66                     | 0,00       | 63,90      | 1,20       | 0,90       |
| 10              | 79                     | 6,90       | 70,00      | 1,20       | 0,90       |
| 11              | 84                     | 11,90      | 70,00      | 1,20       | 0,90       |
| 12              | 86                     | 13,90      | 70,00      | 1,20       | 0,90       |
| 13              | 87                     | 14,90      | 70,00      | 1,20       | 0,90       |
| 14              | 82                     | 9,90       | 70,00      | 1,20       | 0,90       |
| 15              | 81                     | 8,90       | 70,00      | 1,20       | 0,90       |
| 16              | 82                     | 9,90       | 70,00      | 1,20       | 0,90       |
| 17              | 82                     | 9,90       | 70,00      | 1,20       | 0,90       |
| 18              | 81                     | 8,90       | 70,00      | 1,20       | 0,90       |
| 19              | 87                     | 14,90      | 70,00      | 1,20       | 0,90       |
| 20              | 91                     | 18,90      | 70,00      | 1,20       | 0,90       |
| 21              | 93                     | 20,90      | 70,00      | 1,20       | 0,90       |
| 22              | 90                     | 17,90      | 70,00      | 1,20       | 0,90       |
| 23              | 87                     | 14,90      | 70,00      | 1,20       | 0,90       |
| 24              | 84                     | 11,90      | 70,00      | 1,20       | 0,90       |

**Custo de produção por interligação = €44,957**

Com a interligação entre as duas regiões, faz com que todos os grupos térmicos, passam a operar fora do sistema interligado, no entanto, as centrais mini-hídricas de Lichinga e Cuamba de potência 1,2 e 0,9 MW respectivamente para este cenário encontram-se a operar durante as 24 horas.

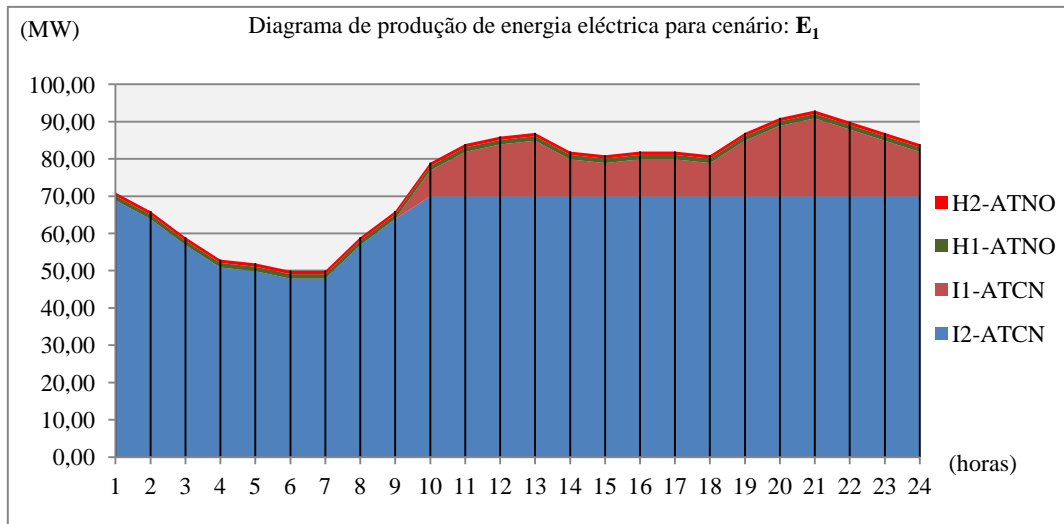


Figura 6.1: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário  $E_1$ .

Observa-se na figura 6.1 que neste cenário a maior contribuição na produção de electricidade 86%, é proveniente do gerador denominado por "interligação -  $I_2$ " que deriva da região ATCN, proveniente da HCB como resultado do acordo com a EDM. E 11% corresponde ao consumo da potência contratada que é taxado na base da expressão (*cálculo da linha centro-norte*).

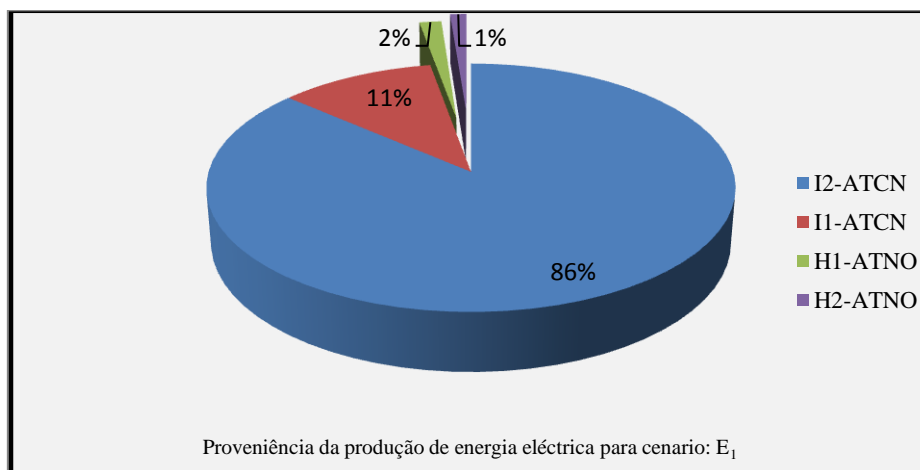


Figura 6.2: Contribuição no nivelamento do diagrama de carga por região sobre cenário  $E_1$ .

O custo total que se verifica no cenário  $C_1$  e  $C_2$  é inferior quando comparado com o do cenário  $E_1$  e  $E_2$ , que se justifica pelo facto de se ter acoplado os dois diagramas de carga no mesmo sistema interligado.

- **Resultado Sobre Cenário: E<sub>2</sub>**

Tabela 6.2: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário E<sub>2</sub>.

| Período (horas)   | Diagrama de Carga (MW) | I <sub>1-ATCN</sub> | I <sub>2-ATCN</sub> | H <sub>1-ATNO</sub> | H <sub>2-ATNO</sub> |
|---|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1   | 100                    | 27,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 2   | 94                     | 21,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 3   | 83                     | 10,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 4   | 74                     | 1,90                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 5   | 73                     | 0,90                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 6   | 70                     | 0,00                | 67,90               | 1,20                | 0,90                |
| 7   | 70                     | 0,00                | 67,90               | 1,20                | 0,90                |
| 8   | 83                     | 10,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 9   | 93                     | 20,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 10  | 111                    | 38,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 11  | 119                    | 46,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 12  | 121                    | 48,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 13  | 123                    | 50,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 14  | 116                    | 43,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 15  | 114                    | 41,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 16  | 116                    | 43,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 17  | 116                    | 43,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 18  | 114                    | 41,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 19  | 123                    | 50,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 20  | 128                    | 55,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 21  | 131                    | 58,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 22  | 127                    | 54,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 23  | 124                    | 51,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 24  | 120                    | 47,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| <b>Custo de produção por interligação = € 67.215.80</b> |                        |                     |                     |                     |                     |

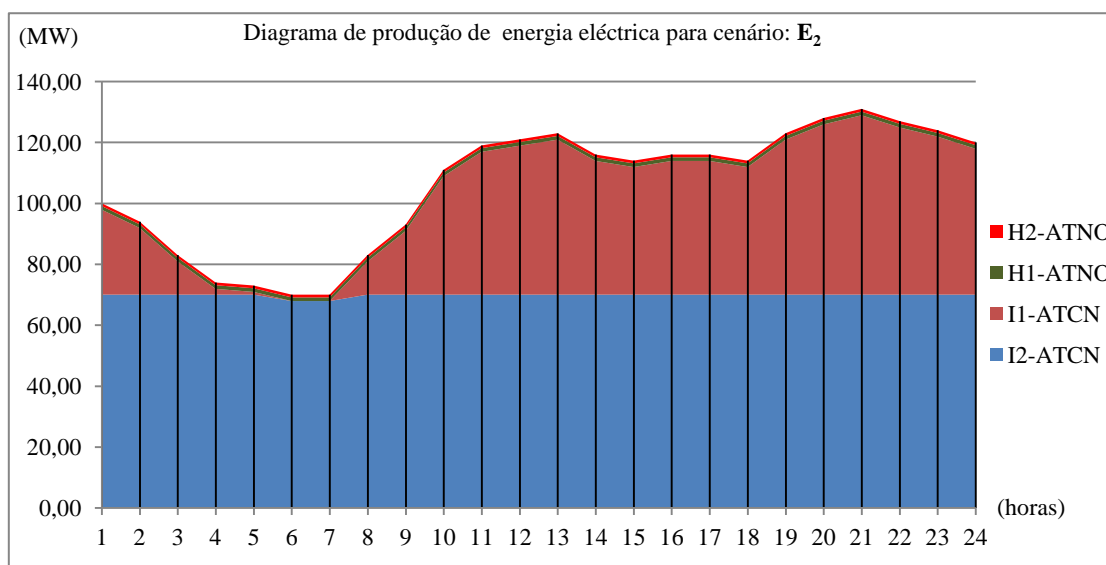


Figura 6.3: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário E<sub>2</sub>.

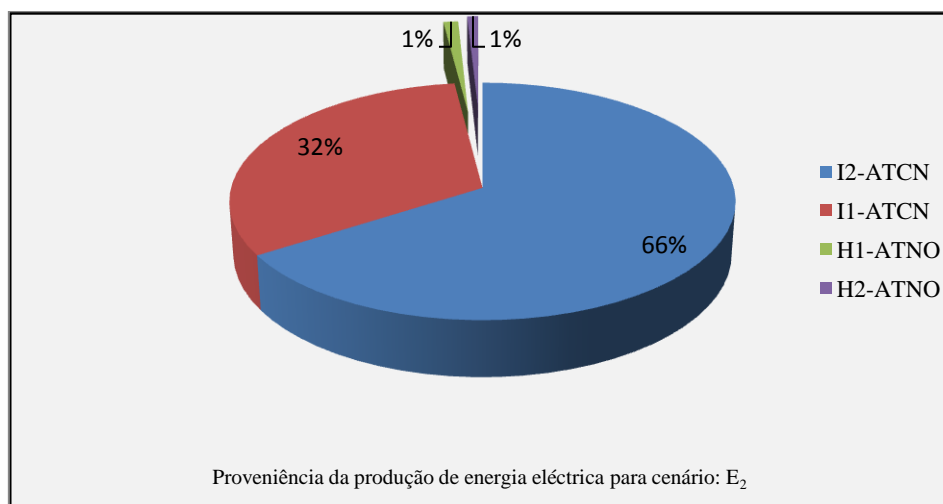


Figura 6.4: Contribuição no nivelamento do diagrama de carga por região sobre cenário E<sub>2</sub>.

## 6.2. ATCN e ATNO Interligada a ATCE

Em função dos dados apresentados nas tabelas 6.3 e 7.3, observa-se que os grupos geradores hídricos instalados na ATCE (98 MW) satisfazem o respectivo diagrama de carga e que a respectiva ponta de consumo é de ordem dos 65 MW.

Com esta observação, percebe-se que o diagrama de carga da região ATCE não depende da potência instalada em ATCN, excepto se existirem situações de ordem externa.

Por outro lado a ATCN com uma potência disponível de (355 MW) para satisfazer um nível de carga que apresenta uma ponta de consumo de 92 MW favorece o fornecimento eléctrico á região ATNO em função do seu nível do diagrama que é caracterizado por baixo consumo. *É portanto, nesta perspectiva que a EDM engloba o diagrama de carga do consumo da região ATNO para ATCN e passa a considerar estas duas regiões como uma única só com a designação de ATCN & Tete.*

Neste contexto, na situação actual ATSU não irá ter nenhuma menção relativa ao sistema interligado devido ao facto desta se encontrar isolada sem condições de momento para se fazer ligar as restantes três regiões.

Considerando todos dados descritos acima nos é fundamental analisar a viabilidade de produção em função sobre único sistema interligado constituído por três regiões que se encontram interligados, isto é, uma vez estas regiões se encontram interligadas uma da outra, sendo que

nesta situação usar-se-á o diagrama de carga nacional que teve de ser desagregar a região ATSU por forma a se encontrar o correspondente a ATCE e ATCN & Tete.

O diagrama usado nesta situação, é relativo a pontas de consumo nacional como já referenciado, na qual a ATSU apresenta a ponta de consumo mais alto na ordem dos 345 MW [18].

Na base da informação do registo de pontas regionais e nacional [18] e [22], e em função no historial do registo das pontas dos últimos 5 anos, achou-se a percentagem correspondente ao consumo de ATSU que é de ordem dos 65% em relação a ponta nacional em função deste percentual ficamos a saber que os 35% representam as pontas de consumo das restantes regiões. Sendo assim, é feita análise da função objectivo do sistema interligado e as tabelas 6.3 e 6.4 que se seguem, apresentam os dados técnicos dos grupos geradores hídricos e térmicos que estão em pleno funcionamento sobre o referido sistema interligado.

Tabela 6.3: Centrais hídricas presentes a fornecer na rede nacional.

| Central Hídrica | Província | Ano de Instalação | Fabricante | P. Instalada [MW] | P. Disponível [MW] | $\eta$ [%] | Estado      |
|-----------------|-----------|-------------------|------------|-------------------|--------------------|------------|-------------|
| HCB             | Tete      | 1977              | Secheron   | —                 | 355                | 95         | Operacional |
| Mavuzi          | Manica    | 1955              | Charmiles  | 1 x 6,2           | 5                  | 75         | Operacional |
|                 |           | 1955              | Charmiles  | 1 x 6,2           | 5                  |            | Operacional |
|                 |           | 1957              | Neyrpic    | 3 x 17,50         | 3 x 14             | 74         | Operacional |
| Chicamba        | Manica    | 1968              | Secheron   | 2 x 24,00         | 2 x 23             | 78         | Operacional |
| Mini-Lichinga   | Niassa    | 1983              | Sanden     | 2 x 0,73          | 2 x 0,6            | 70         | Operacional |
| Mini-Cuamba     | Niassa    | 1989              | Soerumsand | 1 x 1,9           | 1 x 0,9            | 72         | Operacional |

Tabela 6.4: Centrais térmicas presentes a fornecer na rede nacional.

| Central Térmica | Província  | Combustível | Fabricante | Ano de Instalação | Potência Nominal [MW] | Potência Disponível [MW] | $\eta$ [%] | Estado |
|-----------------|------------|-------------|------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|------------|--------|
| Tete            | Tete       | Diesel      | Deutz      | 1991              | 0,82                  | 0,6                      | 38,3       | Backup |
| Quelimane       | Quelimane  | Diesel      | Mirrlees   | 1980              | 3,44                  | 3,4                      | 37,6       | Backup |
|                 |            | Diesel      | Mirrlees   | 1980              | 3,44                  | 3,4                      | 37,6       | Backup |
| Beira           | Sofala     | Gás Natural | Deutz      | 1988              | 14                    | 12                       | 36,9       | Backup |
| Nacala          | Nampula    | Diesel      | Sulzer     | 1966/79           | 2,41                  | 2,2                      | 36         | Backup |
| Nampula         | Nampula    | Diesel      | Man        | 1965/71           | 6,4                   | 5,2                      | 37         | Backup |
| Montepuez       | C.Delegado | Diesel      | Copco      | 1978/03           | 1,22                  | 1                        | 38         | Backup |
| Pemba           | C.Delegado | Diesel      | Cummins    | 2002              | 1,46                  | 1,3                      | 37,8       | Backup |
| Lichinga        | Niassa     | Diesel      | Cummins    | 1979/03           | 1,77                  | 1,32                     | 38,5       | Backup |

O resultado que é apresentado nas tabelas 6.5, 6.6, 6.7 e 6.8 reflecte o contexto em que as regiões ATCE, ATCN e ATNO se encontram interligadas, os diagramas de carga dos quatro cenários que representam o sistema interligado é o resultado da agregação do respectivo diagrama de carga de cada região, e o mesmo acontece com o volume da água turbinada.

Observa-se que na interligação de ATCN e ATNO a ATCE os geradores térmico encontram-se fora de operação. A figura 6.5 é o espectro da proporção de energia eléctrica produzida por região, na base do diagrama de carga interligado centro e centro-norte em Moçambique, referente ao ano 2010.

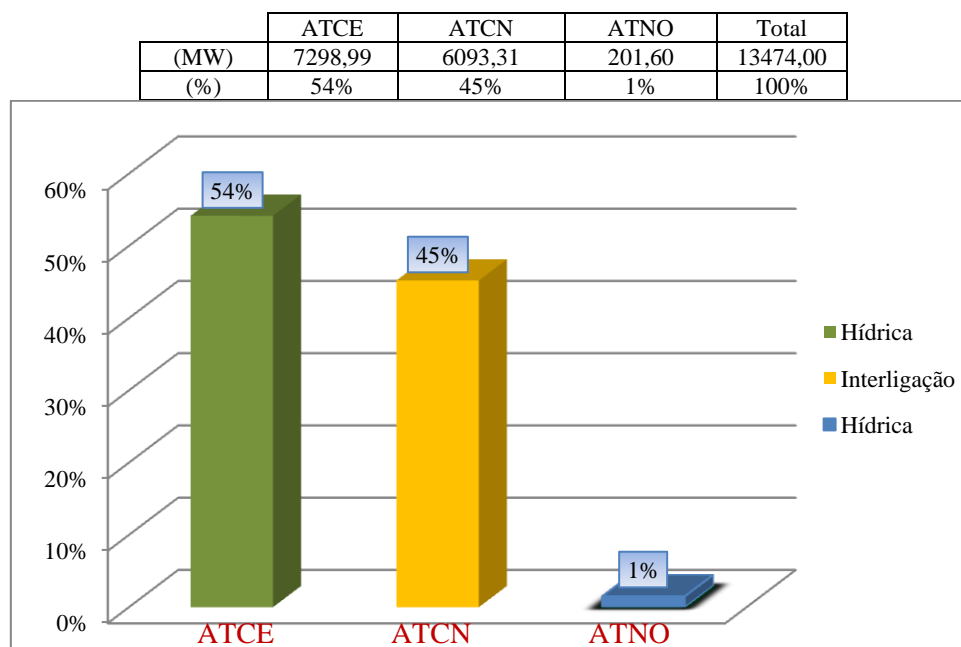


Figura 6.5: Proporção de energia eléctrica produzida por fonte no sistema interligado ATCE-ATCN-ATNO/2010.

O procedimento efectuado para se alcançar o resultado apresentado na figura 6.5, resulta da modelização por intermédio do GAMS na qual é apresentado de seguida na base de quatro cenários.

A tabela 6.5 representa o resultado do cenário  $F_1$  e mostra que o fornecimento eléctrico é garantido por grupos geradores hídricos e também pelo «grupo interligação ( $I_{2-ATCN}$ )», como já referenciado a não existência de custos de geração por via grupos hídricos e quando o sistema de produção se encontra interligado, faz com que o «grupo interligação ( $I_{1-ATCN}$ )» fique desativado reduzindo o custo total de produção.

• **Resultado Sobre Cenário: F<sub>1</sub>**

Tabela 6.5: Resultado da optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário F<sub>1</sub>.

| Período (MW) | Diagrama de Carga (MW) | H <sub>1-ATCEz</sub> | H <sub>2-ATCE</sub> | H <sub>3-ATCE</sub> | H <sub>4-ATCE</sub> | I <sub>1-ATCN</sub> | I <sub>2-ATCN</sub> | H <sub>1-ATNO</sub> | H <sub>2-ATNO</sub> |
|--------------|------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1            | 110                    | 0,00                 | 0,00                | 37,90               | 0,00                | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 2            | 102                    | 0,00                 | 0,00                | 29,90               | 0,00                | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 3            | 91                     | 0,00                 | 0,00                | 18,90               | 0,00                | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 4            | 82                     | 0,00                 | 0,00                | 39,41               | 0,00                | 0,00                | 40,49               | 1,20                | 0,90                |
| 5            | 80                     | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 35,90               | 0,00                | 0,00                | 1,20                | 0,90                |
| 6            | 77                     | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 32,90               | 0,00                | 0,00                | 1,20                | 0,90                |
| 7            | 77                     | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 32,90               | 0,00                | 0,00                | 1,20                | 0,90                |
| 8            | 91                     | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 0,00                | 0,00                | 46,90               | 1,20                | 0,90                |
| 9            | 102                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 0,00                | 0,00                | 57,90               | 1,20                | 0,90                |
| 10           | 122                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 7,90                | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 11           | 130                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 15,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 12           | 133                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 18,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 13           | 135                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 20,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 14           | 127                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 12,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 15           | 126                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 11,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 16           | 127                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 12,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 17           | 127                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 12,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 18           | 125                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 10,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 19           | 135                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 20,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 20           | 141                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 26,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 21           | 144                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 29,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 22           | 140                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 25,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 23           | 135                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 20,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 24           | 130                    | 0,00                 | 0,00                | 42,00               | 15,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |

**Custo Total = 35,132,31**  
**Custo de produção por tecnologia hidráulica = € 0,00**  
**Custo de produção por interligação = € 35,132,31**

Constata-se através da figura 6.6 que, o I<sub>2-ATCN</sub> forma a base do diagrama de produção de electricidade apresentando uma interrupção nas horas 5 á 7. Uma particularidade que se nota, tem a ver com o facto da operação a 100% dos dois geradores mini-hídricos durante as 24 horas.

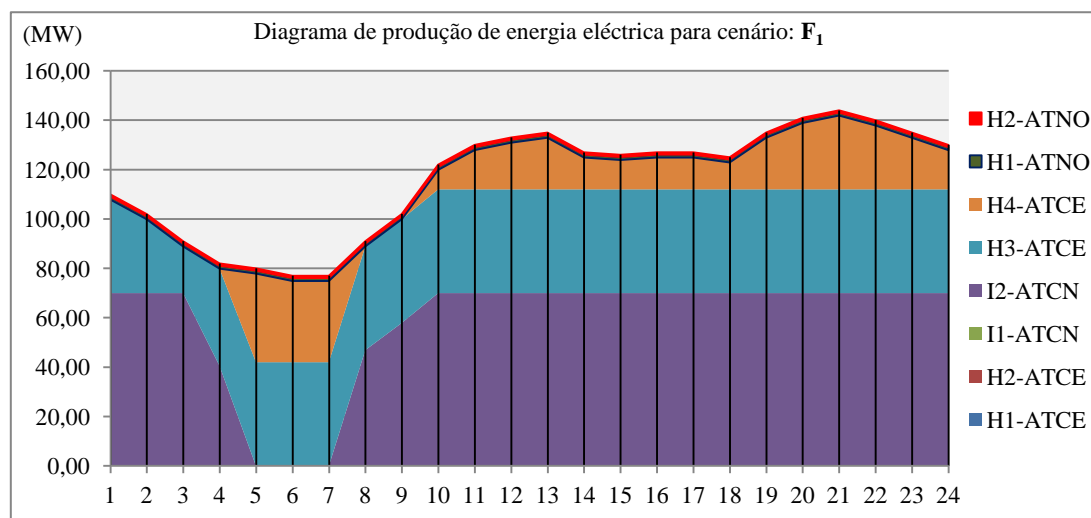


Figura 6.6: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário F<sub>1</sub>.

Para este cenário, a maior contribuição para nivelamento do diagrama de carga provém do (I<sub>2</sub>-ATCN) e seguido imediatamente do (H<sub>3</sub>-ATCE), com forme é apresentado na figura 6.7.

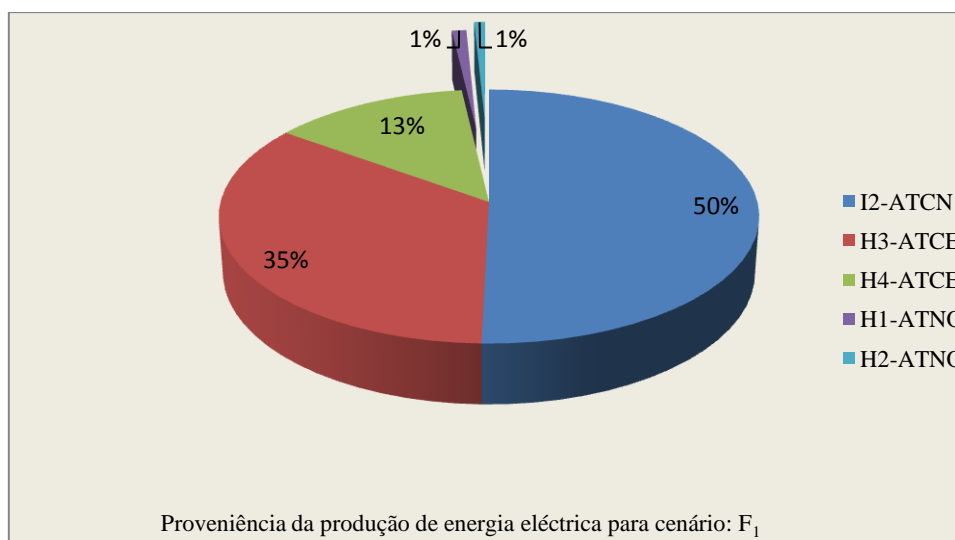


Figura 6.7: Contribuição no nivelamento do diagrama de carga por região sobre cenário F<sub>1</sub>.

### • Resultado Sobre Cenário: F<sub>2</sub>

Tabela 6.6: Resultado da otimização de produção de energia eléctrica sobre cenário F<sub>2</sub>.

| Período (MW)   | Diagrama de Carga (MW) | H <sub>3</sub> -ATCE | H <sub>4</sub> -ATCE | H <sub>1</sub> -ATCE | H <sub>2</sub> -ATCE | I <sub>2</sub> -ATCN | H <sub>1</sub> -ATNO | H <sub>2</sub> -ATNO | I <sub>1</sub> -ATCN |
|--|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1  | 110                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 9,90                 | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 2  | 102                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 1,90                 | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 3  | 91                     | 42,00                | 37,00                | 4,90                 | 5,00                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 4  | 82                     | 42,00                | 27,90                | 5,00                 | 5,00                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 5  | 80                     | 42,00                | 25,90                | 5,00                 | 5,00                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 6  | 77                     | 42,00                | 22,90                | 5,00                 | 5,00                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 7  | 77                     | 42,00                | 22,90                | 5,00                 | 5,00                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 8  | 91                     | 42,00                | 36,90                | 5,00                 | 5,00                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 9  | 102                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 1,90                 | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 10   | 122                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 21,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 11   | 130                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 29,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 12   | 133                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 32,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 13   | 135                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 34,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 14   | 127                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 26,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 15   | 126                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 25,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 16   | 127                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 26,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 17   | 127                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 26,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 18   | 125                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 24,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 19   | 135                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 34,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 20   | 141                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 40,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 21   | 144                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 43,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 22   | 140                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 39,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 23   | 135                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 34,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| 24   | 130                    | 42,00                | 46,00                | 5,00                 | 5,00                 | 29,90                | 1,20                 | 0,90                 | 0,00                 |
| <b>Custo Total = € 12,230,00</b><br><b>Custo de produção por tecnologia hidráulica = € 0,00</b><br><b>Custo de produção por interligação = € 12,230,00</b> |                        |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |

No cenário  $F_2$ , devido ao aumento do volume da água turbinada, são activados os geradores hídricos ( $H_{1-ATCE}$  e  $H_{2-ATCE}$ ), e o «grupo interligação ( $I_{2-ATCN}$ )» apresenta uma contribuição reduzida quando comparado com o cenário  $E_1$ , sendo que o «grupo interligação ( $I_{1-ATCN}$ )» permanece fora de operação.

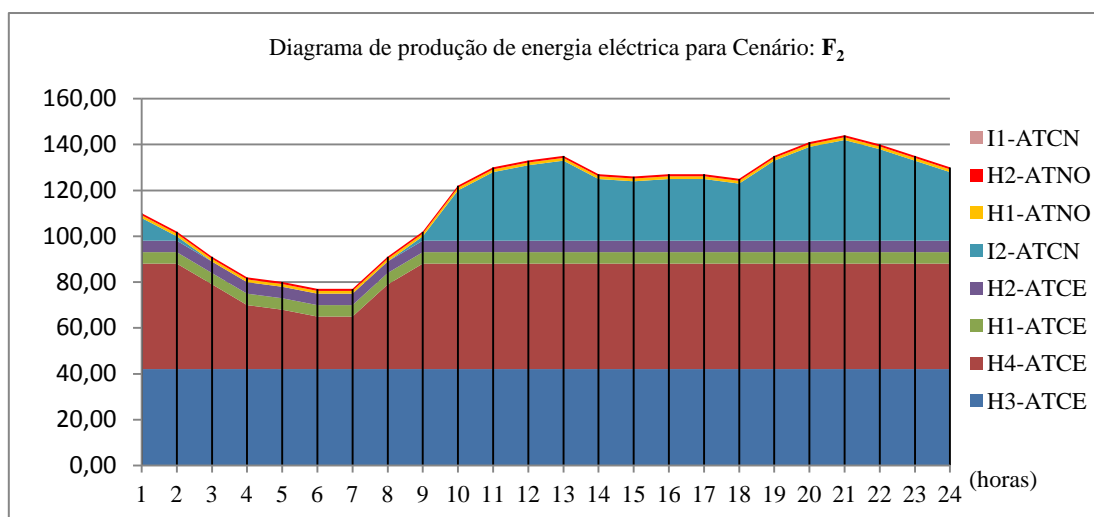


Figura 6.8: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário  $F_2$ .

Os geradores mini-hídricas ( $H_{1-ATNO}$  e  $H_{2-ATNO}$ ) continuam em operação durante 24 horas, sendo que, na figura 6.9 o destaque é sobre  $H_{3-ATCE}$  e  $H_{4-ATCE}$  que partilham a maior contribuição para o fornecimento no sistema interligado.

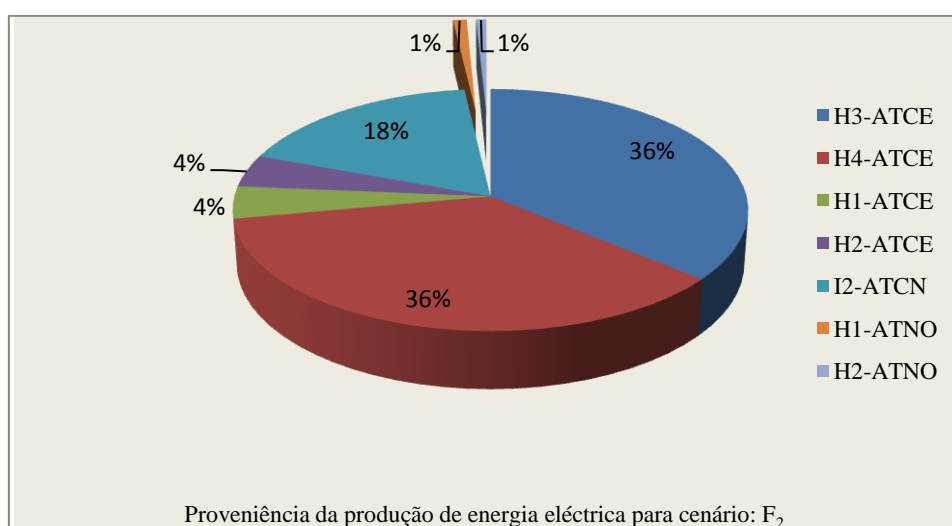


Figura 6.9: Contribuição no nivelamento do diagrama de carga por região sobre cenário  $F_2$ .

• **Resultado Sobre Cenário: F<sub>3</sub>**

Tabela 6.7: Resultado da optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário F<sub>3</sub>.

| Período (horas)   | Diagrama de Carga (MW) | H <sub>1-ATCE</sub> | H <sub>2-ATCE</sub> | H <sub>3-ATCE</sub> | H <sub>4-ATCE</sub> | I <sub>1-ATCN</sub> | I <sub>2-ATCN</sub> | H <sub>1-ATNO</sub> | H <sub>2-ATNO</sub> |
|---|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1   | 156                    | 0,00                | 0,00                | 1,71                | 46,00               | 36,19               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 2   | 146                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 46,00               | 27,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 3   | 129                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 46,00               | 10,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 4   | 116                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 43,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 5   | 114                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 41,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 6   | 109                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 36,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 7   | 109                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 36,90               | 0,00                | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 8   | 129                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 46,00               | 10,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 9   | 144                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 46,00               | 25,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 10  | 173                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 46,00               | 54,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 11  | 185                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 46,00               | 66,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 12  | 189                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 46,00               | 70,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 13  | 191                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 46,00               | 72,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 14  | 180                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 46,00               | 61,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 15  | 178                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 46,00               | 59,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 16  | 180                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 46,00               | 61,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 17  | 180                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 46,00               | 61,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 18  | 178                    | 0,00                | 0,00                | 0,00                | 46,00               | 59,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 19  | 192                    | 0,00                | 0,00                | 42,00               | 46,00               | 31,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 20  | 199                    | 0,00                | 0,00                | 42,00               | 46,00               | 38,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 21  | 204                    | 0,00                | 0,00                | 42,00               | 46,00               | 43,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 22  | 198                    | 0,00                | 0,00                | 42,00               | 46,00               | 37,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 23  | 193                    | 0,00                | 0,00                | 42,00               | 46,00               | 32,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| 24  | 176                    | 0,00                | 0,00                | 42,00               | 46,00               | 15,90               | 70,00               | 1,20                | 0,90                |
| <b>Custo Total de Produção = 69,413,06</b><br><b>Custo de produção por tecnologia hidráulica = € 0,00</b><br><b>Custo de produção por interligação = 69,413</b> |                        |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |                     |

Na figura 10.6 observa-se que para nivelar o digrama de carga do cenário F<sub>3</sub> foram activados os «grupos interligação (I<sub>1-ATCN</sub>) e (I<sub>2-ATCN</sub>)» e nota-se que houve reserva de utilização da água que posteriormente é usada pelo (H<sub>2-ATCE</sub>) nas horas de ponta 20 á 23.

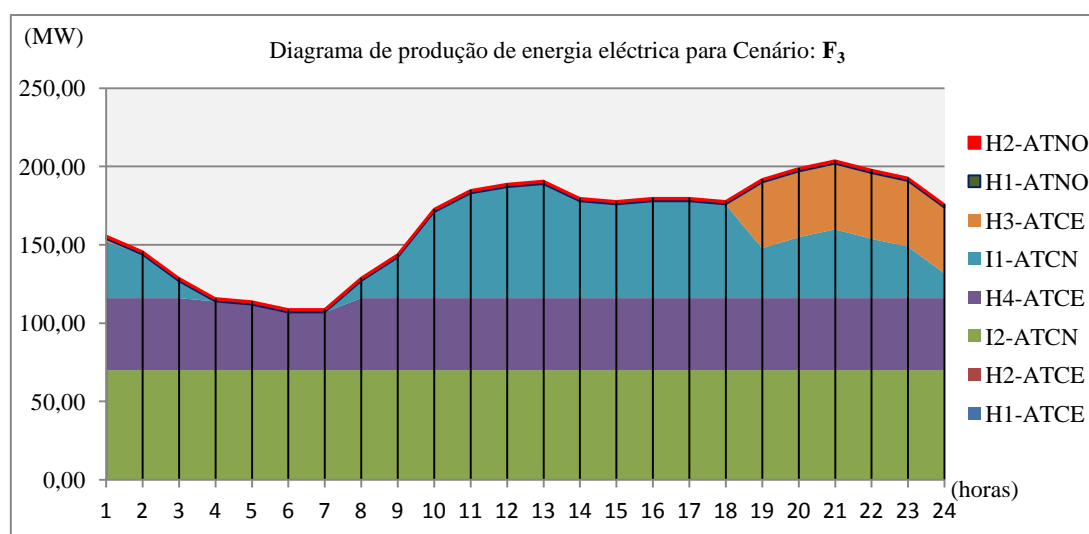


Figura 6.10: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário F<sub>3</sub>.

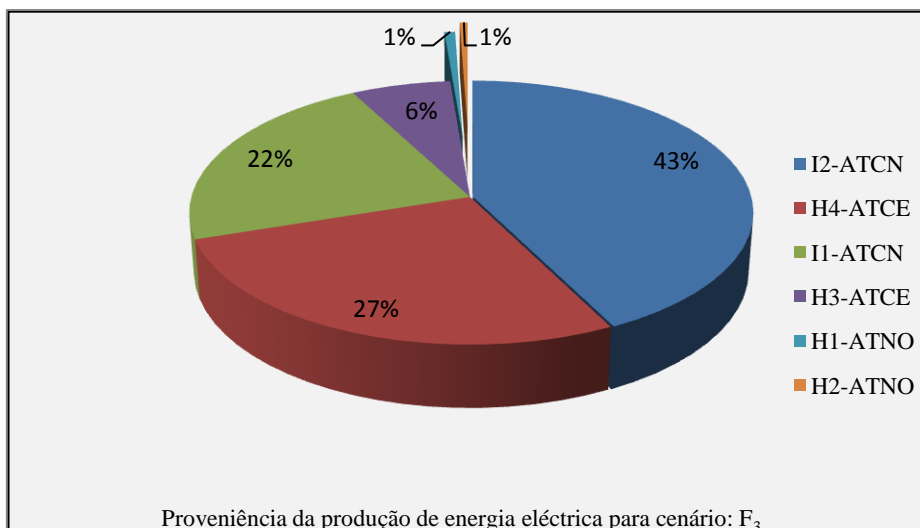


Figura 6.11: Contribuição no nivelamento do diagrama de carga por região sobre cenário F<sub>3</sub>.

O «grupo interligação (I<sub>2</sub>-ATCN)» contribui para este cenário E<sub>3</sub> com maior produção, seguido pelo gerador hídrico (H<sub>4</sub>-ATCE) e pelo «grupos interligação (I<sub>1</sub>-ATCN)».

#### • Resultado Sobre Cenário: F<sub>4</sub>

Tabela 6.8: Resultado da optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário F<sub>4</sub>.

| Período (horas)  | Diagrama de Carga (MW) | H <sub>3</sub> -ATCE | H <sub>4</sub> -ATCE | I <sub>2</sub> -ATCN | H <sub>1</sub> -ATCE | H <sub>2</sub> -ATCE | I <sub>1</sub> -ATCN | H <sub>1</sub> -ATNO | H <sub>2</sub> -ATNO |
|--|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1  | 156                    | 42,00                | 46,00                | 65,90                | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 2  | 146                    | 42,00                | 46,00                | 55,90                | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 3  | 129                    | 42,00                | 46,00                | 38,90                | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 4  | 116                    | 42,00                | 46,00                | 25,90                | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 5  | 114                    | 42,00                | 46,00                | 23,90                | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 6  | 109                    | 42,00                | 46,00                | 18,90                | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 7  | 109                    | 42,00                | 46,00                | 18,90                | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 8  | 129                    | 42,00                | 46,00                | 38,90                | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 9  | 144                    | 42,00                | 46,00                | 52,83                | 0,00                 | 1,07                 | 0,00                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 10   | 173                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 2,90                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 11   | 185                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 14,90                | 1,20                 | 0,90                 |
| 12   | 189                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 18,90                | 1,20                 | 0,90                 |
| 13   | 191                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 20,90                | 1,20                 | 0,90                 |
| 14   | 180                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 9,90                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 15   | 178                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 7,90                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 16   | 180                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 9,90                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 17   | 180                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 9,90                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 18   | 178                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 7,90                 | 1,20                 | 0,90                 |
| 19   | 192                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 21,90                | 1,20                 | 0,90                 |
| 20   | 199                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 28,90                | 1,20                 | 0,90                 |
| 21   | 204                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 33,90                | 1,20                 | 0,90                 |
| 22   | 198                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 27,90                | 1,20                 | 0,90                 |
| 23   | 193                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 22,90                | 1,20                 | 0,90                 |
| 24   | 176                    | 42,00                | 46,00                | 70,00                | 5,00                 | 5,00                 | 5,90                 | 1,20                 | 0,90                 |
| <b>Custo Total = € 42,330,33</b><br><b>Custo de produção por tecnologia hidráulica = € 0,00</b><br><b>Custo de produção por interligação = € 42,330,33</b> |                        |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |

O cenário  $F_4$  é caracterizado por maior caudal turbinado razão pela qual os primeiros dois níveis da base do diagrama de produção de energia eléctrica provém da fonte hídrica.

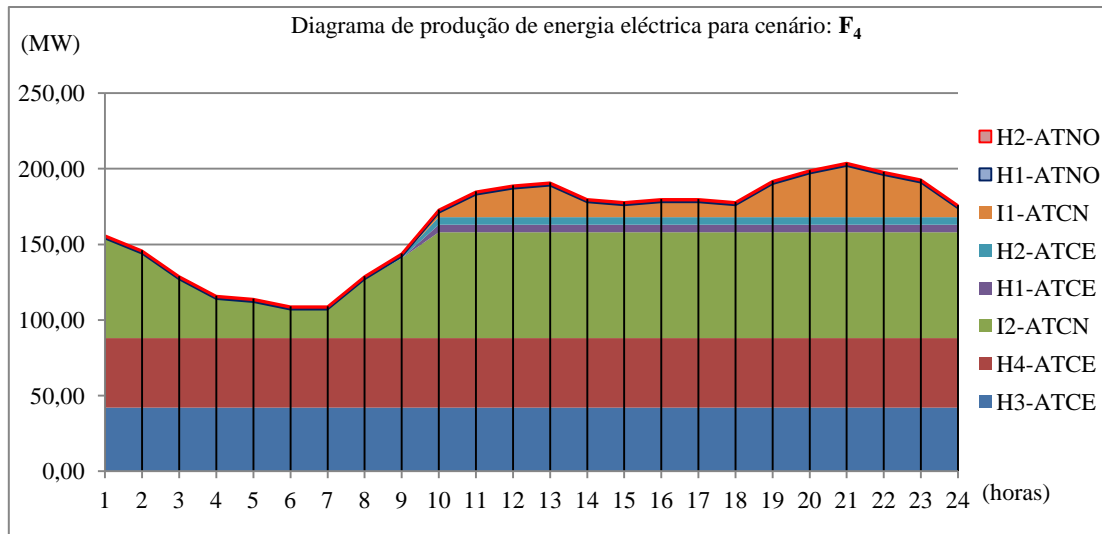


Figura 6.12: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário  $F_4$ .

Observa-se na figura 6.12 que a partir da hora 10 em diante, foram activados a 100% todos os grupos hídricos havendo ainda a integração do «grupo interligação ( $I_2$ -ATCN) e ( $I_1$ -ATCN)». Na figura 6.13 observa-se que mais de 50% da produção é gerada por fonte hídrica.

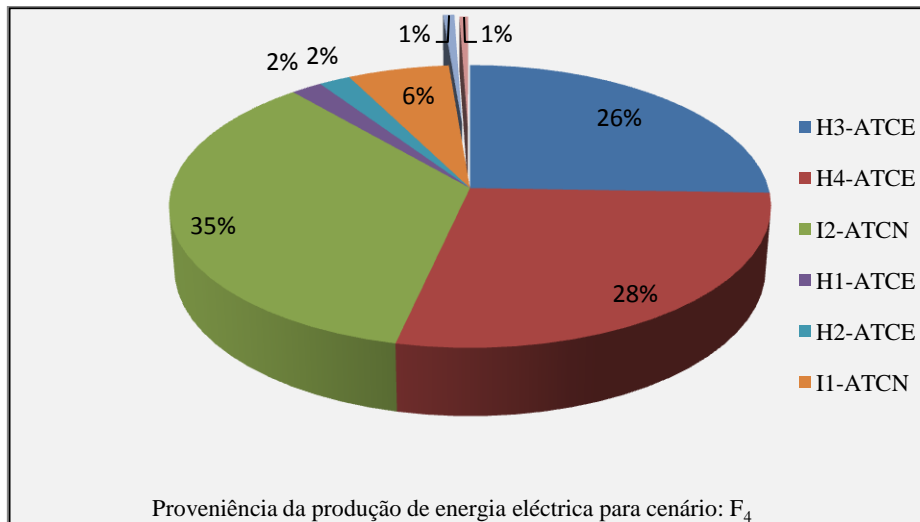


Figura 6.13: Contribuição no nivelamento do diagrama de carga por região sobre cenário  $F_4$ .

### **6.3. Sistema Interligado na Hipótese de Acoplamento das Quatro Regiões à Única Linha Nacional de Transporte Considerando Integração de Grupos Projectados**

O incremento da potência a ser instalado nos pontos de produção de electricidade em virtude do alargamento do parque produtor (térmico e hídrico) projectado, justificado pelo aumento exponencial do nível de carga aliado a expansão da rede de distribuição eléctrica, que é impulsionado pelo crescimento da actividade económica, condiciona a existência de uma linha de transporte de corrente de eléctrica que integra as quatro regiões. Neste contexto, o sistema interligado nacional irá acoplar a geração proveniente de cada uma das regiões por forma a responder a crescente procura de electricidade a um nível do diagrama de carga nacional, tanto como na possível alocação ao mercado regional (SAPP<sup>4</sup>), através da mesma linha nacional de transporte.

Neste contexto, admitindo a operacionalidade da rede nacional de transporte que se encontra ligada ao sistema de produção das regiões ATSU, ATCE, ATCN e ATNO, numa forma hipotética procura-se neste ponto do capítulo encontrar a resposta de produção de energia eléctrica levando em consideração que para este cenário são integrados todos os grupos que se encontram em operação já mencionados na análise acima apresentada, assim como são integrados alguns novos grupos hídricos e térmicos.

Uma vez que se dispõe de informação sobre as características técnicas destes grupos projectados, é do interesse do pesquisador neste trabalho analisar a coordenação hidrotérmica de um sistema interligado nacional tendo em conta a integração de grupos térmicos.

As tabelas 6.9 e 6.10 que se seguem colocam em disposição todos os grupos geradores térmicos e hídricos instalados e projectados em cada região, originando deste modo uma matriz constituída por grupos geradores que se encontram a fornecer a rede nacional no preciso momento e as projectadas que vão entrando em operação gradualmente.

---

<sup>4</sup> South Africa Power Pool.

- **Centrais Hídricas Actuais e Projectadas para Rede Nacional**

Tabela 6.9: Centrais hídricas presentes a fornecer na rede nacional.

| Central Hídrica            | Província | Ano de Instalação | Fabricante | Pot. Instalada [MW] | Pot. Disponível [MW] | $\eta$ [%] | Estado      |
|----------------------------|-----------|-------------------|------------|---------------------|----------------------|------------|-------------|
| ATSU                       |           |                   |            |                     |                      |            |             |
| Corumana                   | Maputo    | 1990              | Undenas    | 2 x 8,30            | 16                   | 87         | Operacional |
| Massingir                  | Gaza      | —                 | —          | 1 x 25              | 25                   | 80         | Projectada  |
| ATCE (Sem Nenhum Projecto) |           |                   |            |                     |                      |            |             |
| Mavuzi                     | Manica    | 1955              | Charmiles  | 1 x 6,2             | 5                    | 75         | Operacional |
|                            |           | 1955              | Charmiles  | 1 x 6,2             | 5                    |            |             |
|                            |           | 1957              | Neyrpic    | 3 x 17,50           | 3 x 14               | 74         | Operacional |
| Chicamba                   | Manica    | 1968              | Secheron   | 2 x 24,00           | 2 x 23               | 78         | Operacional |
| ATCN                       |           |                   |            |                     |                      |            |             |
| HCB                        | Tete      | 1977              | Secheron   | 2075                | 354                  | 95         | Operacional |
| North Sonto                | Tete      | —                 | —          | 3 x 415             | 1245                 | 93         | Projectada  |
| Mpanda Nkuwa               | Tete      | 2015              | —          | 4 x 375             | 1500                 | 95         | Projectada  |
| Boroma                     | Tete      | —                 | —          | 2 x 80              | 160                  | 90         | Projectada  |
| Lupata                     | Tete      | —                 | —          | 2 x 300             | 900                  | 87         | Projectada  |
| Malema                     | Zambézia  | —                 | —          | 1 x 80              | 80                   | 85         | Projectada  |
| Mugeba                     | Zambézia  | —                 | —          | 2 x 60              | 160                  | 90         | Projectada  |
| Mini-Lichinga              | Niassa    | 1983              | Sanden     | 2 x 0,73            | —                    | 70         | Backup      |
| Mini-Cuamba                | Niassa    | 1989              | Soerumsand | 1 x 1,9             | —                    | 72         | Backup      |
| Lúrio                      | C.Delgado | —                 | —          | 2 x 60              | 120                  | 88         | Projectada  |

- **Centrais Térmicas Actuais e Projectadas para Rede Nacional**

Tabela 6.10: Centrais térmicas presentes a fornecer na rede nacional.

| Central Térmica     | Província | Combustível | Fabricante | Ano de Instalação | Potência Nominal | Potência | $\eta$ (%) | Estado      |
|---------------------|-----------|-------------|------------|-------------------|------------------|----------|------------|-------------|
| ATSU                |           |             |            |                   |                  |          |            |             |
| R. Garcia           | Maputo    | Gás Natural | Guascor    | 2012              | 107,5            | 105      | 37         | Operacional |
| Temane              | Γmbane    | Gás Natural | Cummins    | 2006              | 1,86             | 1,62     | 34         | Operacional |
|                     |           |             | Guascor    | 2008/10           | 3,74             | 3,6      | 35,6       | Operacional |
| Kuvananga           | Xai-Xai   | Gás         | —          | 2014              | 40               | 0        | 36,3       | Projectada  |
| R. Garcia           | Maputo    | Gás         | —          | 2014              | 213              | 0        | 37,7       | Projectada  |
| ATCN                |           |             |            |                   |                  |          |            |             |
| Vale I              | Tete      | Carvão      | —          | 2014              | 2 x 300          | 600      | 39         | Projectada  |
| Vale II             | Tete      | Carvão      | —          | 2016              | 2 x 600          | 1800     | 39         | Projectada  |
| Benga I             | Tete      | Carvão      | —          | 2014              | 2 x 250          | 500      | 38         | Projectada  |
| Benga II            | Tete      | Carvão      | —          | 2017              | 2 x 500          | 1000     | 38         | Projectada  |
| ATNO                |           |             |            |                   |                  |          |            |             |
| Sem Nenhum Projecto |           |             |            |                   |                  |          |            |             |
| ATCE                |           |             |            |                   |                  |          |            |             |
| Sem Nenhum Projecto |           |             |            |                   |                  |          |            |             |

O resultado que é apresentado de seguida nas tabelas 6.13, 6.14 e 6.15, realçam os grupos geradores que são activados, considerando que também fazem parte deste sistema os grupos térmicos e hídricos projectados que vão entrando em funcionamento gradualmente e tendo em conta que o diagrama de carga que se aplica é relativo ao sistema interligado nacional.

Uma particularidade que se destaca neste ponto, é o facto de se capitalizar toda a potência instalada dos grupos geradores em ATSU, ATCE, ATCN e ATNO por intermédio da rede nacional de transporte (RNT) o que faz com que a análise seja feita apenas ao nível das cargas de “ponta máxima de consumo” isto porque com o incremento da potencia instalada através dos grupos projectados fica disponível um nível de potência alto, tal que o diagrama de carga nacional poderá ser considerado insignificante.

A questão do despacho económico assume-se com a existência de N grupos geradores eléctricos ligados a um sistema de transporte de energia eléctrica com o propósito de se encontrar o óptimo ponto de operação dos mesmos grupos.

Tendo em conta a função custo de produção, os coeficientes da tabela 6.11 são representados obedecendo a expressão (6.5).

$$C(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad [€/h] \quad ; \quad P_{iMin} \leq P_i \leq P_{iMax} \quad [MW] \quad (6.1)$$

Tabela 6.11: Agregação das funções custo de produção de energia eléctrica.

| Característica por Unidade | Região | Grupos | Combustível | Coeficientes Térmico |      |         | Potência (MW) |        |
|----------------------------|--------|--------|-------------|----------------------|------|---------|---------------|--------|
|                            |        |        |             | a                    | b    | c       | Mínima        | Máxima |
| 1                          | ATCN   | 1      | Carvão      | 510                  | 7,5  | 0,00643 | 75            | 300    |
| 1                          | ATSU   | 2      | Gás         | 120                  | 6    | 0,04    | 10            | 40     |
| 1                          | ATSU   | 3      | Gás         | 200                  | 6,55 | 0,07    | 25            | 100    |
| 2                          | ATSU   | 4      | Gás         | 310                  | 7,85 | 0,00476 | 63            | 250    |

Os cinco (5) grupos geradores térmicos apresentados na tabela 6.11 são caracterizados por quatro funções de custo de produção, na qual dois (2) grupos a gás com 250 MW de potência máxima por cada um apresentados numa única função. Os grupos a gás com 100 MW e 40 MW de potência máxima corresponde respectivamente a uma curva de produção para cada um, e ainda um outro grupo á carvão com 300 MW de potência máxima apresentado por respectiva curva.

Deste modo, as respectivas funções são apresentadas na tabela 6.12 de forma agregadas.

Tabela 6.12: Agregação das funções características custo de produção de energia eléctrica pela tecnologia térmica.

|   |   |                                     |                      |
|---|---|-------------------------------------|----------------------|
| $C(P_1) = 510 + 7,5 P_1 + 0,00643 P_1^2 \quad [€/h]$  | ; | $75 \leq P_1 \leq 300 \quad [MW]$   | (Carvão - Moatize I) |
| $C(P_2) = 120 + 6 P_1 + 0,04 P_1^2 \quad [€/h]$       | ; | $0 \leq P_1 \leq 40 \quad [MW]$     | (Gás - Kuvaninga)    |
| $C(P_3) = 200 + 6,55 P_1 + 0,07 P_1^2 \quad [€/h]$    | ; | $25 \leq P_1 \leq 100 \quad [MW]$   | (Gás - Maputo)       |
| $C(P_4) = 310 + 7,85 P_1 + 0,00476 P_1^2 \quad [€/h]$ | ; | $62,5 \leq P_1 \leq 250 \quad [MW]$ | (Carvão - Benga I)   |

Conhecendo as características técnicas dos grupos através das respectivas funções de custo de produção acima apresentadas e que já foram descritas na secção da metodologia no que diz respeito a sua origem e obedecendo os limites técnicos mínimos de funcionamento assim como o diagrama de carga durante as 24 horas num sistema interligado nacional em Moçambique, em que a ponta máxima é de 534 MW (ano de referencia 2010). E por outro lado, sem ter que considerar a especificidade da linha de transmissão, concernente aos constrangimentos da linha tais como, limite de funcionamento, perdas por transmissão e custo de investimento, efectua-se a seguinte análise concernente ao despacho económico.

O despacho económico é efectuado em conformidade ao tempo de funcionamento de cada grupo monitorizado pelo lado do electroproductor. Assim, deve se efectuar uma previsão hora-hora do nível de carga em função da procura, assim como deve ser efectuado exaustivamente a previsão do nível de carga a longo e a curto prazo, o que significa que, deve ser feito um acompanhamento da evolução da procura (horas-pontas e horas-baixas ou intermédias).

A informação contida na tabela 6.11 referente a característica de cada gerador, é usada de forma teórica na obtenção das curvas características apresentadas na figura 6.14 sobre o custo marginal de cada gerador que resulta da optimização de produção eléctrica, indicando que na activação dos grupos térmicos ao longo dos cenários, existe uma proporcionalidade directa entre o custo marginal obtido e a evolução do nível da carga, o que quer dizer que o custo marginal aumenta com aumento da potência produzida.

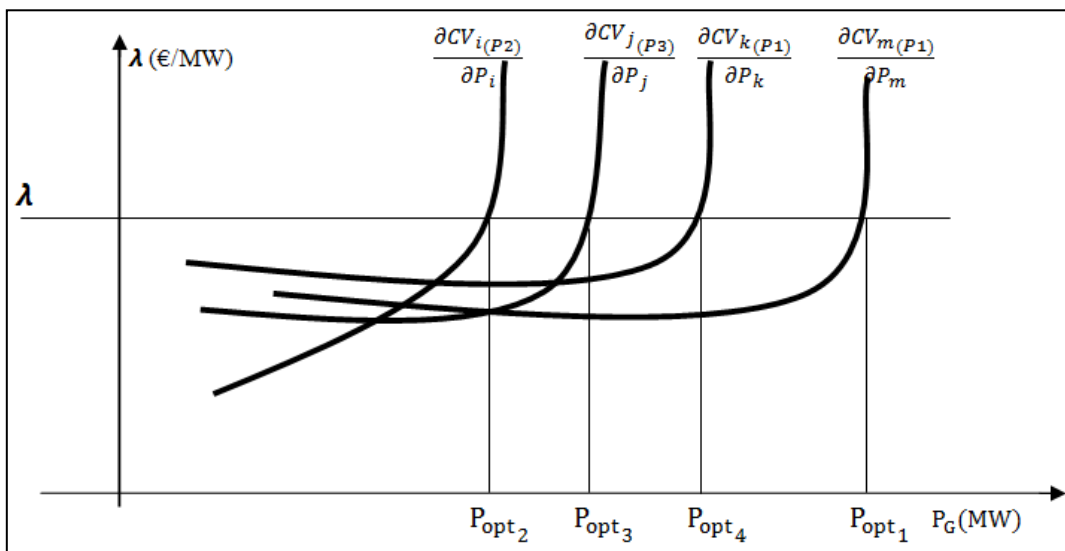


Figura 6.14: Curvas características da variação do custo marginal com o crescimento da potência produzida.

A figura 6.15 representa a proporção de energia eléctrica produzida por fonte na RNT em Moçambique, referente ao ano 2010, que é o resultado da modelização efectuado por intermédio do GAMS na qual é apresentado de seguida na base de dois cenários.

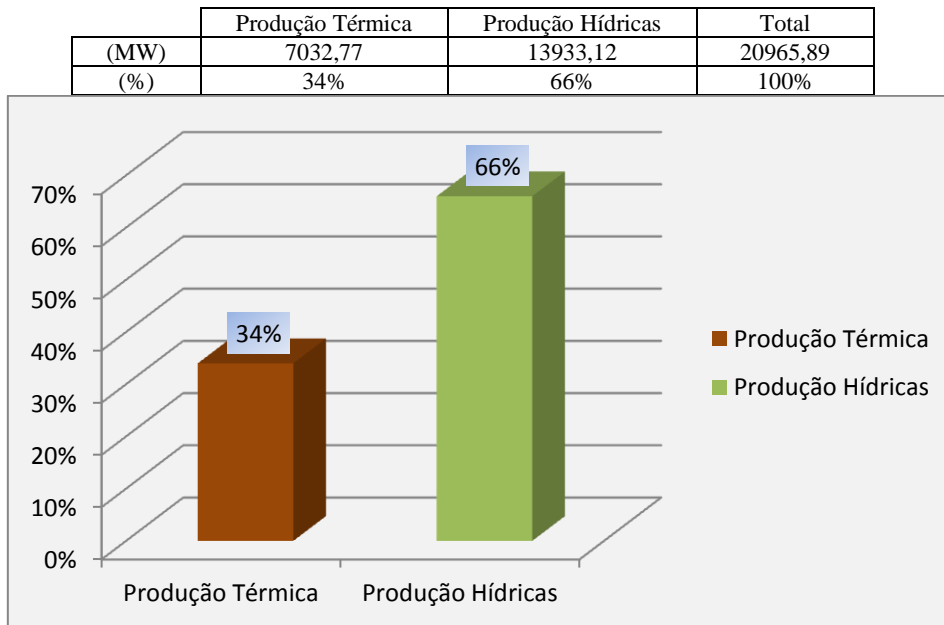


Figura 6.15: Proporção de electricidade produzida por tecnologia na interligação ATSU-ATCE-ATCN-ATNO/2010.

Deste modo, há necessidade de impor restrições no funcionamento dos grupos térmicos, por forma a obedecer o limite mínimo técnico, expresso por (6.8).

Portanto, para que a optimização seja substanciada deve ser observado no mínimo a formulação (6.2), (6.3) e (6.4) seguinte [2]:

$$\min \quad C_T = \sum_{i=1}^n C_i \cdot (P_i) \quad (6.2)$$

$$C_T = \sum_{i=1}^n P_i = P_{\text{carga}} \quad (6.3)$$

$$P_{i_{\min}} \leq P_i \leq P_{i_{\max}} \quad (6.4)$$

A resposta ao problema do despacho económico é fundamentado pela inserção de um objectivo por conhecer, na qual se procura minimizar o custo total de produção através da expressão (6.2).

Na minimização do custo de produção de energia eléctrica que surge através das expressões (6.2) e (6.4) é intermediado pelo balanço entre a potência do lado da produção e pela carga, definida pela expressão (6.3).

A modelização no GAMS é efectuada com a definição das restrições em função da capacidade máxima de cada gerador, conforme é apresentado na figura 6.16 que mostra o procedimento da definição de alguma das operações com restrição.

- Argumentos que validam as expressões (6.2), (6.3) e (6.4) modelizados através do software GAMS.

### A. Definição de:

- Grupos geradores;
- Características das funções de custo de produção;
- Carga por suprir;

```
* COORDENACAO HIDROTERMICA para caso de Estudo em Moçambique
SETS
j indice dos periodos de tempo / 1*24 /
g indice dos grupos geradores /T1C,T2G,T3G,T4G,T5G,HP1Sul,HP1NO,HP1CN,HP2CN,HP3CN,H1Sul,H1CE,H2CE,H3CE,H4CE,H1NO,H2NO,I1CN,I2CN,I1Sul,I2Sul/
t(g) indice dos grupos geradores termico / T1C,T2G,T3G,T4G,T5G/
h(g) indice dos grupos geradores hidrico /T1C,T2G,T3G,T4G,T5G,HP1Sul,HP1NO,HP1CN,HP2CN,HP3CN,H1Sul,H1CE,H2CE,H3CE,H4CE,H1NO,H2NO,I1CN,I2CN,I1Sul,I2Sul/
cart /FMIN,PMAX,a,b,c/
hid /FMIN,PMAX,y,vt/
cons / D /
xx /T1C,T2G,T3G,T4G,T5G,HP1Sul,HP1NO,HP1CN,HP2CN,HP3CN,H1Sul,H1CE,H2CE,H3CE,H4CE,H1NO,H2NO,I1CN,I2CN,I1Sul,I2Sul/

*Projectada ZONA SUL: [(Kuvaninga T16= 78 MW); (Ressano Garcia T17= 213 MW)]
*Projectada ZONA NORTE: Sem Projecto de Termica;
*Projectada ZONA CENTRO:Sem Projecto de Termica;
*Projectada na ZONA CENTRO NORTE:T18 = 2 x 300 MW (Vale I)
*Projectada na ZONA CENTRO NORTE:T19 = 1800 MW (Vale II)
*Projectada na ZONA CENTRO NORTE:T20 = 2 x 250 MW (Benga I)
*Projectada na ZONA CENTRO NORTE:T21 = 1 x 1000 MW (Benga II);

TABLE Gen(g,cart) caracteristicas dos grupos geradores térmicos
*
      FMIN      PMAX      a      b      c
      (MW)      (MW)      (€/h)      (€/MWh)      (€/MWh2)
T1C      75      300      510      7.5      0.00643
T2G      10      40      120      6.0      0.04
T3G      25      100      200      6.55      0.07
T4G      62.5      250      310      7.85      0.00476
T5G      62.5      250      310      7.85      0.00476
I1CN      0      285      0      25      0
I2CN      0      70      0      31      0
I1Sul      0      240      0      25      0
I2Sul      0      660      0      31      0
H1Sul      0      16      0      0      0
H1CE      0      5      0      0      0
I1Sul      0      240      0      25      0
I2Sul      0      660      0      31      0
H1Sul      0      16      0      0      0
H1CE      0      5      0      0      0
H2CE      0      5      0      0      0
H3CE      0      42      0      0      0
H4CE      0      46      0      0      0
H1NO      0      1.2      0      0      0
H2NO      0      0.9      0      0      0
HP1Sul      0      25      0      0      0
HP1NO      0      120      0      0      0
HP1CN      0      160      0      0      0
HP2CN      0      80      0      0      0
HP3CN      0      120      0      0      0

*Projectada ZONA SUL:(Gaza H11 = 25 MW)
*Projectada ZONA CENTRO:Sem Projecto de Hidrica;
*Projectada ZONA NORTE:(Cabo Delegado H12 = 120 MW) (Lurio)
* Projectada na ZONA CENTRO NORTE: H13 = 3 x 415MW (North Sonto)
* Projectada na ZONA CENTRO NORTE: H14 = 4 x375 (Mpanda Nkuva)
* Projectada na ZONA CENTRO NORTE: H15 = 2 x 80 (Boroma)
* Projectada na ZONA CENTRO NORTE: H16 = 2 x 300 (Lupata)
* Projectada na ZONA CENTRO NORTE: H17 = 1 x 80 (Malema)
* Projectada na ZONA CENTRO NORTE: H18 = 2 x 60 (Mugeba)

TABLE Vol(h,hid) caracteristicas dos grupos geradores hidricos
*
      FMIN      PMAX      y      vt
      (MW)      (MW)      (m3/h)      (m3/MWh)
*Actuis em operacao
H1Sul      0      16      0      10
H1CE      0      5      0      15
H2CE      0      5      0      15
H3CE      0      42      0      13
H4CE      0      46      0      13
H1NO      0      1.2      0      20
H2NO      0      0.9      0      20
I1CN      0      285      0      0
I2CN      0      70      0      0
I1Sul      0      240      0      0
I2Sul      0      660      0      0
HP1Sul      0      25      0      13
HP1NO      0      120      0      16
HP1CN      0      160      0      20
HP2CN      0      80      0      14
HP3CN      0      120      0      16
```

Figura 6.16: Definição de argumentos no GAMS sobre operação de coordenação hidrotérmica.

## B. Tradução e execução de expressões (6.2), (6.3) e (6.4)

- i. Variáveis a serem determinadas;
- ii. Limites de funcionamento dos grupos;
- iii. Equação de custo total de produção;
- iv. Equação de balanço produção em função da carga;

```
;
SCALAR Vh volume de agua disponivel para turbinamento /51598/;

VARIABLES
Custo funcao objectivo: custo total de producao
P(g,j) potencia do gerador g no periodo t;
|
POSITIVE VARIABLES P(g,j);

EQUATIONS
EQCUSTO equacao da funcao objectivo custo total
PMAXLIM(g,j,h) equacao de potencia maxima
PMINLIM(g,j,h) equacao de potencia minima
BALANCE(j,h) equacao do balanço entre a producao e consumo
ENRGHID energia hidrica;

*EQCUSTO.. Custo =e= SUM((j,g), Gen(g,'a')+ Gen(g,'b')*P(g,j)+ Gen(g,'c')*Power(P(g,j),2));
EQCUSTO.. Custo =e= SUM((j,h), Gen(h,'a')+ Gen(h,'b')*P(h,j)+ Gen(h,'c')*Power(P(h,j),2));
PMAXLIM(g,j,h).. P(g,j) =l= Gen(g,'PMAX');
PMINLIM(g,j,h).. P(g,j) =g= Gen(g,'PMIN');
BALANCE(j,h).. SUM(g, P(g,j)) =e= Load(j,'D');

ENRGHID.. Vh =g= SUM((j,h), Gen(h,'a')+ Gen(h,'b')*P(h,j));
*ENRGHID.. Vh =g= SUM((j,h), Vol(h,'y')+ Vol(h,'vt')*P(h,j));

MODEL cht /ALL/;

SOLVE cht USING nlp MINIMIZING Custo;

* Escrita no ficheiro .lst dos resultados relativo ao custo total de producao(Custo.1)
*e da potencia otimizada de cada grupo (P.1)
Display P.1, Custo.1,Vh;

Parameter
V volume total da agua turbinada;
V=SUM((j,h),Vol(h,'vt')*P.1(h,j));

*Determinacao do custo marginal de cada grupo (CM = C' = b+2*P)
Parameter CMarg(j,g) custo marginal;
CMarg(j,g)= Gen(g,'b') + 2*Gen(g,'c')*P.1(g,j);

File output /C:\Users\Wetela\Documents\trabalho-ATSU=V-Pontas.txt/;
put output ;

* Escreve resultados de cada grupo

* Escreve custo total
put "Custo.1 ATSU=V-Pontas = ", put Custo.1, put /, put / ;

loop(xx, put xx.Tl);put/
loop(j,loop(g, put p.1(g,j));put/);
* Fecha ficheiro
putclose output
```

Figura 6.17: Tradução de principais argumentos no GAMS sobre operação de coordenação hidrotérmica.

• Resultado Sobre Cenário: G<sub>1</sub>

Tabela 6.13: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário G<sub>1</sub>.

| Período (horas) | Diagrama de Carga (MW) | HP <sub>1</sub> -ATSU | H <sub>1</sub> -ARSU | H <sub>3</sub> -ATCE | H <sub>4</sub> -ATCE | HP <sub>2</sub> -ATCN | T <sub>1</sub> -Carvão | T <sub>4</sub> -Gás | T <sub>5</sub> -Gás | T <sub>2</sub> -Gás | T <sub>3</sub> -Gás |
|-----------------|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1               | 408                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 66,68                 | 95,30                  | 91,97               | 91,97               | 34,07               | 25,00               |
| 2               | 381                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 0,00                  | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 27,00               | 25,00               |
| 3               | 337                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 2,72                 | 0,00                  | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 26,28               | 25,00               |
| 4               | 305                    | 25,00                 | 16,00                | 12,72                | 0,00                 | 0,00                  | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 26,28               | 25,00               |
| 5               | 297                    | 25,00                 | 16,00                | 4,72                 | 0,00                 | 0,00                  | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 26,28               | 25,00               |
| 6               | 287                    | 19,72                 | 16,00                | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                  | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 26,28               | 25,00               |
| 7               | 285                    | 17,72                 | 16,00                | 0,00                 | 0,00                 | 0,00                  | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 26,28               | 25,00               |
| 8               | 339                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 4,72                 | 0,00                  | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 26,28               | 25,00               |
| 9               | 375                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 40,72                | 0,00                  | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 26,28               | 25,00               |
| 10              | 455                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 0,00                  | 92,11                  | 87,67               | 87,67               | 33,56               | 25,00               |
| 11              | 483                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 15,68                 | 95,30                  | 91,97               | 91,97               | 34,07               | 25,00               |
| 12              | 495                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 27,68                 | 95,30                  | 91,97               | 91,97               | 34,07               | 25,00               |
| 13              | 498                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 30,68                 | 95,30                  | 91,97               | 91,97               | 34,07               | 25,00               |
| 14              | 472                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 4,68                  | 95,30                  | 91,97               | 91,97               | 34,07               | 25,00               |
| 15              | 467                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 0,00                  | 95,22                  | 91,86               | 91,86               | 34,06               | 25,00               |
| 16              | 471                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 3,68                  | 95,30                  | 91,97               | 91,97               | 34,07               | 25,00               |
| 17              | 469                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 1,68                  | 95,30                  | 91,97               | 91,97               | 34,07               | 25,00               |
| 18              | 466                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 0,00                  | 94,96                  | 91,51               | 91,51               | 34,01               | 25,00               |
| 19              | 502                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 34,68                 | 95,30                  | 91,97               | 91,97               | 34,07               | 25,00               |
| 20              | 523                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 55,68                 | 95,30                  | 91,97               | 91,97               | 34,07               | 25,00               |
| 21              | 534                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 66,68                 | 95,30                  | 91,97               | 91,97               | 34,07               | 25,00               |
| 22              | 519                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 51,68                 | 95,30                  | 91,97               | 91,97               | 34,07               | 25,00               |
| 23              | 504                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 36,68                 | 95,30                  | 91,97               | 91,97               | 34,07               | 25,00               |
| 24              | 485                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 46,00                | 17,68                 | 95,30                  | 91,97               | 91,97               | 34,07               | 25,00               |

**Custo Total € 94,860,40**  
**Custo de produção por tecnologia hidráulica = € 0,00**  
**Custo de produção por tecnologia térmica = € 94,860,40**

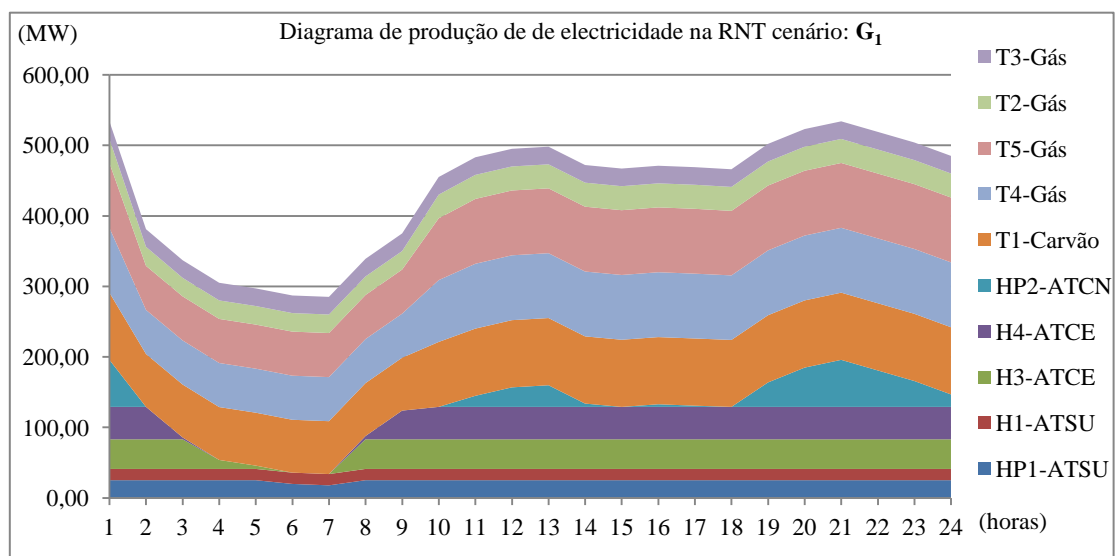


Figura 6.18: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário G<sub>1</sub>.

Sendo que, o gerador térmico a carvão como fonte de energia, possui maior proporção no diagrama de produção como se pode confirmar através da figura 6.19, o que se justifica pelo facto de ser a tecnologia que utiliza o combustível de menor custo entre as térmicas projectadas.

A maior proporção térmica de produção de electricidade que domina o cenário  $G_1$ , justifica-se pelo facto de se ter definido o ponto mínimo de funcionamento técnico e em simultâneo por ser época de baixa precipitação.

O mínimo técnico, é definido de acordo com a capacidade de cada gerador, que é de 25% da respectiva capacidade do gerador, podendo os 25% serem aplicados para geradores que funcionam na faixa dos 50 MW á 600 MW [5]. Ao não ser respeitado este limite, coloca-se em questão a degradação prematura do gerador, resultando na diminuição da eficiência devido a queima incompleta do combustível [5] e [6].

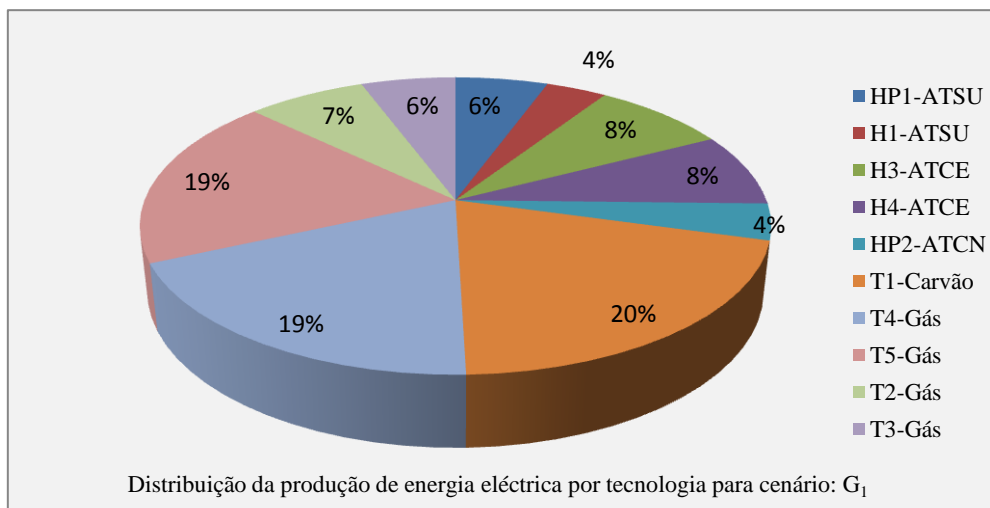


Figura 6.19: Distribuição de produção de electricidade por tecnologia no nivelamento do diagrama de carga para cenário  $G_1$ .

Os grupos hídricos instalados que operam sob baixo caudal turbinado, formam a base no diagrama de potência disponível do lado do electroproductor, isto é, seguem uma sequência ordenada de entrada no nivelamento do diagrama de carga na medida em que o nível de consumo aumenta, sendo que, com este critério, subentende-se que seja a forma razoável ou mesmo sustentável de "armazenar a energia", percebendo-se que os reservatórios de maior caudal passam a servir como reserva para determinado plano de produção (horas de maior consumo).

• **Resultado Sobre Cenário: G<sub>2</sub>**

O cenário G<sub>2</sub> possui maior proporção de produção de electricidade proveniente de geradores térmico tal como acontece no G<sub>1</sub>.

Tabela 6.14: Resultado de optimização de produção de energia eléctrica sobre cenário G<sub>2</sub>.

| Período (horas)   | Diagrama de Carga (MW) | HP <sub>1</sub> -ATSU | H <sub>1</sub> -ASTU | H <sub>3</sub> -ATCE | HP <sub>2</sub> -ATCN | H <sub>4</sub> -ATCE | T <sub>1</sub> -Carvão | T <sub>4</sub> -Gás | T <sub>5</sub> -Gás | T <sub>3</sub> -Gás | T <sub>2</sub> -Gás |
|---|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1   | 408                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 91,85                  | 87,32               | 87,32               | 25,00               | 33,52               |
| 2   | 381                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 0,00                  | 46,00                | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 25,00               | 27,00               |
| 3   | 337                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 0,00                  | 6,92                 | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 25,00               | 22,08               |
| 4   | 305                    | 25,00                 | 16,00                | 16,92                | 0,00                  | 0,00                 | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 25,00               | 22,08               |
| 5   | 297                    | 25,00                 | 16,00                | 8,92                 | 0,00                  | 0,00                 | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 25,00               | 22,08               |
| 6   | 287                    | 23,92                 | 16,00                | 0,00                 | 0,00                  | 0,00                 | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 25,00               | 22,08               |
| 7   | 285                    | 21,92                 | 16,00                | 0,00                 | 0,00                  | 0,00                 | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 25,00               | 22,08               |
| 8   | 339                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 0,00                  | 8,92                 | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 25,00               | 22,08               |
| 9   | 375                    | 23,92                 | 16,00                | 42,00                | 0,00                  | 46,00                | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 25,00               | 22,08               |
| 10  | 455                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 71,45                 | 46,00                | 75,00                  | 62,50               | 62,50               | 25,00               | 29,55               |
| 11  | 483                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 78,65                  | 69,48               | 69,48               | 25,00               | 31,39               |
| 12  | 495                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 81,76                  | 73,68               | 73,68               | 25,00               | 31,89               |
| 13  | 498                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 82,53                  | 74,72               | 74,72               | 25,00               | 32,02               |
| 14  | 472                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 75,80                  | 65,63               | 65,63               | 25,00               | 30,94               |
| 15  | 467                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 75,00                  | 63,65               | 63,65               | 25,00               | 30,70               |
| 16  | 471                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 75,54                  | 65,28               | 65,28               | 25,00               | 30,89               |
| 17  | 469                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 75,03                  | 64,58               | 64,58               | 25,00               | 30,81               |
| 18  | 466                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 75,00                  | 63,18               | 63,18               | 25,00               | 30,64               |
| 19  | 502                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 83,57                  | 76,12               | 76,12               | 25,00               | 32,18               |
| 20  | 523                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 89,01                  | 83,47               | 83,47               | 25,00               | 33,06               |
| 21  | 534                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 91,85                  | 87,32               | 87,32               | 25,00               | 33,52               |
| 22  | 519                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 87,97                  | 82,07               | 82,07               | 25,00               | 32,89               |
| 23  | 504                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 84,09                  | 76,82               | 76,82               | 25,00               | 32,27               |
| 24  | 485                    | 25,00                 | 16,00                | 42,00                | 80,00                 | 46,00                | 79,17                  | 70,18               | 70,18               | 25,00               | 31,48               |
| <b>Custo Total = € 87,237,82</b>                              |                        |                       |                      |                      |                       |                      |                        |                     |                     |                     |                     |
| <b>Custo de produção por tecnologia hidráulica = € 0,00</b>   |                        |                       |                      |                      |                       |                      |                        |                     |                     |                     |                     |
| <b>Custo de produção por tecnologia térmica = € 87,237,82</b> |                        |                       |                      |                      |                       |                      |                        |                     |                     |                     |                     |

Este cenário G<sub>2</sub>, que é caracterizado por "época com disponibilidade hídrica", ao ser comparado com o cenário G<sub>1</sub>, conclui-se que a maior porção proveniente de grupos térmico que persiste, a sua redução não depende da disponibilidade do volume de água turbinada, sim deve-se pelo factor técnico mínimo imposto no funcionamento dos geradores térmicos.

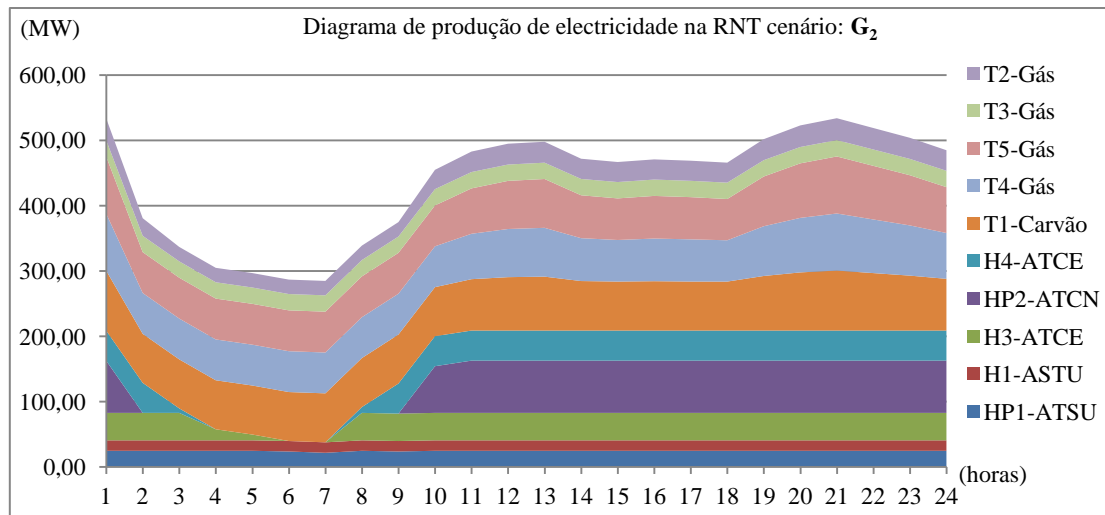


Figura 6.20: Curva característica de produção de energia eléctrica sobre cenário  $G_2$ .

O volume de água existente capaz de incrementar a produção de electricidade, terá efeito só em situação do aumento da procura, o que significa que, com aumento da carga, a configuração apresentada nos diagramas de produção 6.20 e 6.21 para cenário  $G_2$  terá o efeito inverso, isto é, tem maior produção proveniente de geradores hídricos, porque os grupos térmico encontram-se a funcionar a potência mínima que foi definida.

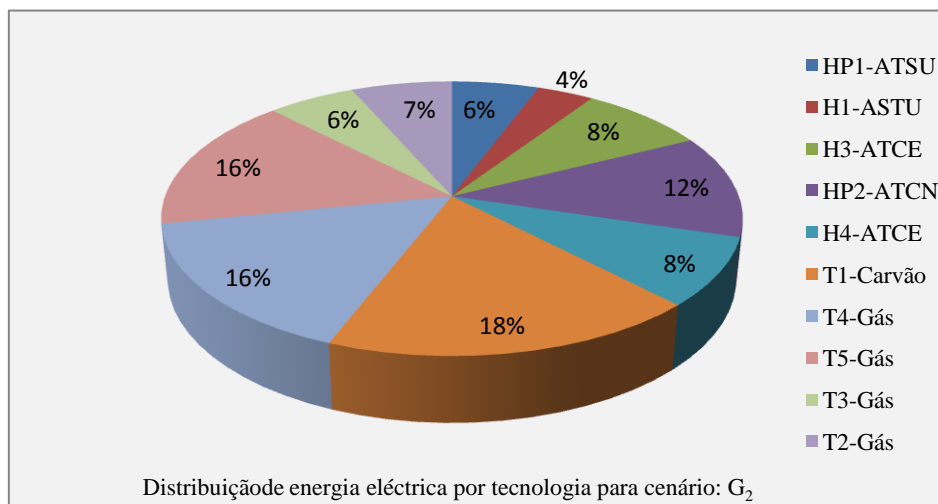


Figura 6.21: Distribuição de produção de electricidade por tecnologia no nivelamento do diagrama de carga para cenário  $G_2$ .

---

## Capítulo

### 7

---

## Conclusão e Recomendações

No presente capítulo sete apresenta-se a conclusão do trabalho e possíveis recomendações observadas na pesquisa, assim como a apresentação da referência bibliográfica.

## 7. Conclusão

No geral, o sistema electroproductor compreende um conjunto de actividades que podem ser divididas em três principais níveis, tais como, a conversão e ou produção de energia eléctrica, distribuição e consumo final, que inclui uma complexa rede de actividades com objectivo de extrair energia das fontes encontradas na natureza por forma a beneficiar o consumidor final.

O consumidor final de energia esta logicamente interessado na energia final (energia eléctrica), que provém de energia primaria e ou secundária que se encontram disponíveis em diversas formas na natureza, sem levar em atenção as externalidades<sup>5</sup> que estão por detrás do processo de transformação.

Considerando o crescimento económico rápido que pode influenciar o "fraco" planeamento na produção de energia eléctrica, conduz de certa forma a um nível de impactos ambientais, por exemplo, a poluição, a erosão de solos, a sedimentação das bacias dos rios, entre outros, que podem comprometer o desenvolvimento.

Devido a assimetria que cada tecnologia apresenta em termos característicos em função da intermitência dos recurso endógenos, extração mineira dos recurso, das diferenças naturais dos rios, tipo de barragem construída, queda de água, entre outros, a operação da coordenação hidrotérmica, envolve evidentemente, o planeamento no geral e previsão do volume de energia eléctrica que deve ser produzido.

O despacho económico constitui a resposta do problema ao ajuste de produção eléctrica em relação a procura, isto porque, permitir solucionar a tempo real o uso racional de energia primaria convertida em energia eléctrica.

O volume de energia eléctrica que deve ser produzido pode ser planeado a curto e longo período, o que significa que se deve prever a disponibilidade do caudal turbinado.

A constatação que resulta da análise efectuada no presenta trabalho, mostra que, as regiões ATCE e ATCN suprem completamente o nível do diagrama de carga das respectivas regiões na

---

<sup>5</sup> É um termo usado na perspectiva económica para se referir aos efeitos que resultam de determinada actividade económica, quando não é possível sua incorporação na forma de preços, uma vez que, dentro do processo de produção e conversão de energia eléctrica encontramos diversas externalidades que não são adequadamente reflectidas nos seus preços finais.

base de grupos instalados localmente, evidentemente em função do perfil da carga que as caracterizam.

A região ATNO e ATSU contrariamente ao que acontece em ATCE e ATCN, não possuem capacidade instalada suficiente para nivelar o perfil de carga de consumo máxima e nem mesmo para suprir o consumo mínimo, o que conduz como solução o recurso ao sistema de interligações entre regiões.

Entretanto, com a interligação nas regiões ATCE-ATCN-ATNO o fornecimento de energia eléctrica torna-se nivelado, o que significa que, o nível do diagrama de carga das tres regiões passa a ser assegurado na integra, colmatando a falta de abastecimento que se verifica quando a produção é regional.

Na interligação constata-se que, a segunda maior contribuição da produção de electricidade 45% é garantida por gerador I<sub>2</sub>, denominado por "interligação - I<sub>2</sub>" que deriva da região ATCN, proveniente da HCB como resultado do acordo com a EDM, que é superada por 54% proveniente da ATCE.

Uma nota importante por referir é relacionada com o facto de, no geral a energia eléctrica que é produzida no sistema electroprodução em Moçambique provém de fontes hídrica incluindo as centrais convencionais idealizadas no decorrer do trabalho, excepto em casos de emergência onde são localmente activados geradores térmicos a gásóleo de menor capacidade.

O incremento da potência a ser instalado nos pontos de produção de electricidade em virtude do alargamento do parque produtor (térmico e hídrico) projectado, justificado pelo aumento exponencial do nível de carga aliado a expansão da rede de distribuição eléctrica, que é impulsionado pelo crescimento da actividade económica condiciona a existência de uma linha de transporte de energia eléctrica que integra as quatro regiões.

Neste contexto, considera-se a operacionalidade da linha nacional de transporte que se encontra ligada ao sistema de produção das regiões ATSU, ATCE, ATCN e ATNO, que dum forma hipotética procurou-se neste ponto do capítulo encontrar a resposta de produção de energia eléctrica, levando em consideração que para este cenário são integrados todos os grupos geradores que se encontram em operação, assim como a integração de alguns grupos hídricos e térmicos novos.

Constatado que o sistema electroproductor em Moçambique apresenta no seu diagrama de produção de energia eléctrica potência activa proveniente de geradores hidroeléctricos, com um valor menor que 5% na rede nacional constitui a produção proveniente dos geradores térmicos.

Na base do resultado apresentado nos cenários  $G_1$  e  $G_2$ , conclui-se que com integração de novos grupos geradores térmicos (grupos projectados que gradualmente vão entrando em funcionamento no sistema electroproductor Moçambicano), deve haver uma monitorização técnica rigorosa, a qual especial atenção da-se ao factor limite mínimo técnico que deverá ser definido, por forma a que se preservem as condições termodinâmicas no funcionamento destes geradores.

Estes indicadores que justificam o incremento da potência a ser instalar, na qual os grupos térmicos fazem parte da matriz projectada no sistema electroprodutores em Moçambique que irá impor a viragem no que diz respeito a base do diagrama de produção de energia eléctrica, merece especial atenção na conclusão do presente trabalho e que pode ser salientado em forma de recomendação.

## **7.1. Recomendações**

Percebido que, alguns grupos térmicos são capazes de operar acompanhando a evolução da carga hora-hora, variando a sua produção de acordo com o nível da procura, então, num futuro próximo, o sistema electroproductor em Moçambique, com a integração de grupos geradores térmico tem a faculdade de redimensionar o seu diagrama de produção, isto porque alguns destes grupos térmicos são eficazmente adequados para aplicações de carga intermediária e de pico.

Paralelamente a este facto, sublinha-se que os grupos geradores térmicos com custos de operação mais baixos pese embora custo de investimento alto, são mais económicos devido ao seu longo tempo de operação, entretanto o sistema electroproductor pode implementa-los como geradores de carga de base.

E por outro lado, no possível redimensionamento do sistema electroproductor em Moçambique com a integração de geradores térmicos, podem ser usados como geradores de carga de pico grupos com custos de capital baixo, contrariamente ao que acontece com os de base, estes apresentam custos de operação elevado, porque possuem relativamente pouco tempo de funcionamento quando comparados com os que funcionam no nivelamento da carga hora-hora.

## **7.2. Dificuldades e Perspectivas Futuras**

Após aproximadamente 6 meses de trabalho árduo sobre a presente tese, o conhecimento retido como resposta da pesquisa se pode considerar positivo, a pesar de certas dificuldades na obtenção de informação relacionada com o caso de estudo, que por diversas vezes obrigou ter que alterar a abordagem inicialmente traçada.

Não obstante, é do interesse do pesquisador para futuros estudos prosseguir com o estudo do despacho económico de produção de energia eléctrica com abordagem de reserva girante, neste caso, com a integração de estudo do comportamento das linhas de transporte e os respectivos sistema de estrangimentos das linhas para o caso de estudo em Moçambique.

## Referências Bibliográficas

- [1] W. C.L., *Electrical Power Systems*, New Delhi, 2005.
- [2] Sousa, “Elementos de apoio à unidade curricular de Economia das Energias Renováveis,,” em “*Coordenação Hidro-térmica*”, FCT/UNL, 2011.
- [3] H. H. Happ, “Optimal power dispatch –A comprehensive survey,,” em *IEEE Trans. Power Apparatus Syst., PAS-96*, New York, 1977.
- [4] e. P. R. W. R. Barcelo, “ Dynamic economic dispatch using the extended security constrained economic dispatch algorithm,,” em *IEEE Trans. Power Systems.*, S.L, 1997.
- [5] A. e. B. F. W. J. Wood, *Power Generation, Operation and Control*, 2and ed ed., New York: Wiley-interscience Publication, 1996.
- [6] G. e. M. S. J. Dunca, *Power System Analysis and Design*, 3 th ed. ed., S.L: Thomson Learning, 2002.
- [7] North American Electric Reliability Corporation , “GENERATING AVAILABILITY REPORT,,” *GENERATING REPORT*, p. em: <http://www.nerc.com>, S.D acedido em Novembro 2012.
- [8] Ministério da Energia , “Base de Dados das Cntrais Hídricas,,” *Direção Nacional de Energia Eléctrica*, , p. em: <http://www.me.gov.mz/prt/>, S.D Novembro acedido em 2012.
- [9] H. Isoda, “On-line load dispatching method considering load variation characteristics and response capabilities of thermal units,,” em *IEEE Trans. Power Apparatus Syst*, S.L, 1982.
- [10] A. M.Geoffrion, “ Duality in Nonlinear Programming: A Simplified Applications-Oriented development,,” “*JSTOR*” (1971), p. <http://www.jstor.org/stable/10.2307/2028848>, S.D S.M acedido em 2012 em:.
- [11] J. A. Snyman, *Practical Mathematical Optimization: An Introduction to Basic Optimization Theory and Classical and New Gradient-Based Algorithms*, S.L : Springer Publishing, 2005.
- [12] Hidroeléctrica de Cahora Bassa, “Informação Hidrológicos,,” *Caudal turbinadao*, pp. acedido em 2013, em: <http://www.hcb.co.mz/>, S.D S.M acedido em 2012.
- [13] D. W. R. a. S. Kim, “Dynamic economic dispatch of generation,,” em *IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems*, S.L, 1980.
- [14] F. Barrero, *Sistemas de Energia Eléctrica*, Madrid: Thomson, 2004.
- [15] A. M. Elaiw, “Dynamic EconomicDispatch: A Review,,” em *The Online Journal on Electronics and Electrical Engineering (OJEEE)*, S.L, 2004.
- [16] H. W. K. e. A. W. Tucker, “Nonlinear programing,,” em *Proceedings of the second Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, S.L, 1951.
- [17] Fundo Nacional de Energia Eléctrica, “Relatórios do FUNAE,,” *Planos das Actividades e Relatórios Anuais*, p. em: <http://www.aquashare.org.mz/>, S.D S.M acedido em de 2013.
- [18] Electricidade de Moçambique, “Relatório Anual de Estatística,,” EDM,E.P, Moçambique, 2005 - 2010.
- [19] Electricidade de Moçambique, “Caracterização da Rede Nacional de Transporte,,” EDM,E.P, Moçambique, 2009..
- [20] Hidroeléctrica de Cahora Bassa, “Acordos de Contratos,,” *HCB*, pp. <http://www.hcb.co.mz/Empresa/Historial/A-Abertura-para-Novos-Clientes>, S.D S.M acedido em 2013.
- [21] CESUL, “Avaliação de Impacto Ambiental,,” EDM, E.P, Moçambique, 2010.
- [22] Electricidade de Moçambique, “ Qualidade Técnica de Serviço da Rede de Transporte,,” EDM, E.P, Moçambique, 2010.

- [23] Electricidade de Moçambique, “Relatório Anual,” EDM,E.P, Moçambique, 2010.
- [24] conselho Regulador do Uso da Água., “Relatório das bacias hídricas,” *Caudal turbinado*, p. [http://www.cra.org.mz/?\\_\\_target\\_\\_=links](http://www.cra.org.mz/?__target__=links), S.D S.M 2012.
- [25] Redes Energéticas Nacionais (REN), “Estatística diária,” *Informação Actualizada - SEN*, p. em: [www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/Estatistica](http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/InformacaoExploracao/Paginas/Estatistica), S.D S.M acedido em 2012.
- [26] Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), “Combustíveis,” *Preço de Combustíveis*, p. em: [www.dgeg.pt](http://www.dgeg.pt), S.D a novembro Acedido 2012,.
- [27] Electricidade de Moçambique - EDM, ““Distribuição e produção”,” *Electricidade de Moçambique (EDM), “Distribuição e produção,”* em:[http://www.edm.co.mz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=73&Itemid=14&lang=pt](http://www.edm.co.mz/index.php?option=com_content&view=article&id=73&Itemid=14&lang=pt), S.D S.M acedido em 2013.
- [28] J. A. M. d. Sousa, “Aplicação do GAMS,” *Tutorial*, p. [pwp.net.ipl.pt/deea.isel/jsousa](http://pwp.net.ipl.pt/deea.isel/jsousa), S.D S.M 2011.
- [29] B. McCarl, “McCarl GAMS , “User Guide,” *User Guide version 22.6-2008*, p. em: [www.gams.com/dd/docs/bigdocs/gams2002/mccarlgams\\_userguide.pdf](http://www.gams.com/dd/docs/bigdocs/gams2002/mccarlgams_userguide.pdf), S.D S.M Acedido desde 2011.
- [30] SAPP - South African Power Pool , “Mercados - South African Power Pool,” *South African Power Pool* , p. em: <http://www.sappmarket.com/>, S.D S.M 2013.
- [31] M. A. Matos, *Introdução ao Trânsito de Potências*, 1999.

## Anexos

### Anexo I:

- Taxa de câmbio das principais moedas usada no mercado de energia em relação ao Metical

Fonte: <http://www.bancomoc.mz>; <http://www.bimnet.co.mz>

| Moedas | 2013          |       |                     |       | 2010          |       |                     |       |
|--------|---------------|-------|---------------------|-------|---------------|-------|---------------------|-------|
|        | BIM –Milenium |       | Banco de Moçambique |       | BIM –Milenium |       | Banco de Moçambique |       |
|        | Compra        | Venda | Compra              | Venda | Compra        | Venda | Compra              | Venda |
| (€)    |               |       |                     |       |               |       |                     |       |
| EUR    | 39,20         | 39,45 | 39,17               | 39,43 | 42,74         | 43,59 | 43,52               | 43,78 |
| USD    | 29,98         | 30,22 | 29,98               | 30,18 | 32,15         | 32,79 | 32,79               | 32,99 |
| ZAR    | 3,37          | 3,40  | 3,35                | 3,37  | 4,93          | 5,03  | 4,95                | 4,98  |

### Anexo II:

- Diagrama de pontas máximas mensal nos sistemas electroproductora da EDM.

**Tab. 2.6.2 Pontas máximas nos sistemas interligados Centro-Norte & Tete**  
**Peak Demand in the Interconnected Systems (MW) - Central-North & Tete**

| DIA<br>DAY | JAN<br>JAN | FEV<br>FEB | MAR<br>MAR | APR<br>APR | MAI<br>MAY | JUN<br>JUN | JUL<br>JUL | AGOS<br>AUG | SET<br>SEP | OUT<br>OCT | NOV<br>NOV | DEZ<br>DEC |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 1          | 94         | 98         | 99         | 101        | 94         | 102        | 89         | 96          | 98         | 121        | 116        | 121        |
| 2          | 99         | 99         | 93         | 104        | 95         | 106        | 102        | 109         | 100        | 124        | 118        | 125        |
| 3          | 99         | 92         | 99         | 101        | 102        | 103        | 101        | 105         | 100        | 124        | 114        | 128        |
| 4          | 105        | 101        | 101        | 98         | 103        | 105        | 97         | 106         | 97         | 121        | 104        | 125        |
| 5          | 101        | 103        | 99         | 103        | 101        | 98         | 101        | 108         | 99         | 117        | 114        | 116        |
| 6          | 95         | 99         | 99         | 106        | 104        | 85         | 101        | 111         | 116        | 123        | 117        | 123        |
| 7          | 104        | 96         | 96         | 101        | 108        | 102        | 107        | 105         | 102        | 116        | 111        | 115        |
| 8          | 104        | 104        | 104        | 107        | 102        | 102        | 102        | 99          | 110        | 114        | 125        | 122        |
| 9          | 102        | 104        | 104        | 106        | 97         | 105        | 103        | 111         | 111        | 118        | 123        | 115        |
| 10         | 98         | 105        | 14         | 100        | 104        | 105        | 101        | 110         | 107        | 121        | 127        | 121        |
| 11         | 106        | 104        | 105        | 102        | 99         | 107        | 98         | 109         | 106        | 109        | 131        | 105        |
| 12         | 107        | 105        | 102        | 106        | 108        | 104        | 104        | 102         | 115        | 125        | 125        | 109        |
| 13         | 100        | 99         | 100        | 105        | 110        | 95         | 104        | 107         | 111        | 125        | 120        | 124        |
| 14         | 100        | 100        | 95         | 103        | 107        | 105        | 105        | 103         | 113        | 127        | 116        | 126        |
| 15         | 102        | 94         | 103        | 104        | 102        | 102        | 106        | 87          | 115        | 123        | 117        | 118        |
| 16         | 99         | 101        | 100        | 109        | 98         | 103        | 107        | 107         | 112        | 121        | 111        | 111        |
| 17         | 93         | 97         | 104        | 103        | 101        | 103        | 94         | 110         | 110        | 119        | 120        | 121        |
| 18         | 102        | 95         | 103        | 100        | 105        | 103        | 97         | 108         | 109        | 115        | 124        | 116        |
| 19         | 105        | 104        | 99         | 110        | 104        | 83         | 106        | 108         | 103        | 118        | 126        | 116        |
| 20         | 101        | 97         | 95         | 107        | 105        | 94         | 102        | 108         | 107        | 123        | 115        | 121        |
| 21         | 100        | 97         | 100        | 107        | 106        | 104        | 102        | 106         | 112        | 122        | 103        | 120        |
| 22         | 105        | 99         | 103        | 106        | 101        | 102        | 106        | 101         | 113        | 125        | 120        | 122        |
| 23         | 103        | 98         | 102        | 111        | 98         | 108        | 104        | 108         | 113        | 127        | 120        | 123        |
| 24         | 99         | 98         | 105        | 104        | 108        | 104        | 102        | 108         | 116        | 123        | 119        | 123        |
| 25         | 106        | 101        | 105        | 96         | 104        | 92         | 98         | 103         | 109        | 115        | 124        | 114        |
| 26         | 96         | 101        | 105        | 105        | 105        | 96         | 104        | 110         | 106        | 118        | 122        | 112        |
| 27         | 106        | 99         | 101        | 100        | 104        | 94         | 107        | 109         | 114        | 120        | 118        | 116        |
| 28         | 103        | 96         | 101        | 103        | 107        | 103        | 108        | 103         | 119        | 126        | 104        | 123        |
| 29         | 98         | 0          | 104        | 104        | 104        | 104        | 109        | 104         | 119        | 124        | 121        | 119        |
| 30         | 89         | 0          | 104        | 106        | 98         | 104        | 107        | 111         | 116        | 124        | 121        | 112        |
| 31         | 81         | 0          | 106        | 0          | 107        | 0          | 104        | 114         | 0          | 125        | 0          | 124        |
| P. MAX     | 107        | 105        | 106        | 111        | 110        | 108        | 109        | 114         | 119        | 127        | 131        | 128        |

**Tab. 2.6.3 Pontas máximas nos sistemas interligados Centro / Maximum Demand in the Interconnected Systems Central Region (MW) – (Mavuzi -Chicamba -Chibata)**

| DIA<br>DAY | JAN<br>JAN | FEV<br>FEB | MAR<br>MAR | APR<br>APR | MAI<br>MAY | JUN<br>JUN | JUL<br>JUL | AGOS<br>AUG | SET<br>SEP | OUT<br>OCT | NOV<br>NOV | DEZ<br>DEC |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 1          | 58         | 67         | 56         | 61         | 51         | 58         | 58         | 56          | 62         | 65         | 63         | 64         |
| 2          | 61         | 65         | 61         | 62         | 54         | 58         | 60         | 61          | 63         | 58         | 62         | 65         |
| 3          | 61         | 63         | 58         | 61         | 58         | 60         | 62         | 61          | 63         | 63         | 63         | 69         |
| 4          | 64         | 65         | 54         | 57         | 59         | 58         | 55         | 62          | 63         | 60         | 68         | 65         |
| 5          | 62         | 67         | 58         | 63         | 59         | 57         | 58         | 62          | 60         | 64         | 61         | 64         |
| 6          | 64         | 65         | 57         | 66         | 61         | 55         | 59         | 58          | 64         | 65         | 68         | 57         |
| 7          | 63         | 61         | 52         | 60         | 61         | 57         | 59         | 58          | 60         | 67         | 65         | 59         |
| 8          | 66         | 66         | 57         | 64         | 60         | 60         | 61         | 55          | 62         | 65         | 67         | 63         |
| 9          | 60         | 65         | 60         | 66         | 56         | 63         | 60         | 62          | 62         | 63         | 66         | 64         |
| 10         | 57         | 67         | 62         | 62         | 58         | 61         | 59         | 56          | 54         | 67         | 64         | 62         |
| 11         | 66         | 64         | 61         | 57         | 61         | 57         | 64         | 60          | 60         | 68         | 69         | 59         |
| 12         | 63         | 69         | 62         | 66         | 63         | 60         | 43         | 60          | 57         | 69         | 67         | 61         |
| 13         | 63         | 66         | 59         | 68         | 61         | 56         | 60         | 59          | 60         | 70         | 68         | 64         |
| 14         | 62         | 65         | 63         | 63         | 60         | 61         | 59         | 58          | 62         | 68         | 66         | 66         |
| 15         | 66         | 62         | 61         | 63         | 61         | 61         | 59         | 53          | 60         | 68         | 66         | 73         |
| 16         | 65         | 67         | 60         | 65         | 57         | 60         | 62         | 63          | 63         | 62         | 69         | 62         |
| 17         | 60         | 69         | 60         | 64         | 59         | 60         | 58         | 59          | 64         | 66         | 64         | 68         |
| 18         | 65         | 64         | 60         | 61         | 59         | 57         | 56         | 59          | 63         | 61         | 68         | 65         |
| 19         | 65         | 60         | 59         | 64         | 60         | 59         | 58         | 60          | 59         | 64         | 67         | 64         |
| 20         | 67         | 58         | 59         | 60         | 61         | 55         | 58         | 58          | 62         | 64         | 68         | 67         |
| 21         | 65         | 57         | 58         | 59         | 60         | 60         | 60         | 57          | 63         | 68         | 63         | 68         |
| 22         | 65         | 60         | 62         | 68         | 58         | 59         | 63         | 55          | 65         | 69         | 67         | 68         |
| 23         | 66         | 61         | 62         | 59         | 53         | 62         | 62         | 60          | 65         | 64         | 66         | 69         |
| 24         | 65         | 58         | 64         | 66         | 59         | 62         | 60         | 61          | 67         | 67         | 67         | 68         |
| 25         | 66         | 59         | 61         | 50         | 58         | 55         | 56         | 53          | 61         | 64         | 67         | 66         |
| 26         | 65         | 56         | 63         | 55         | 57         | 57         | 59         | 62          | 62         | 70         | 64         | 61         |
| 27         | 67         | 56         | 63         | 54         | 57         | 55         | 60         | 49          | 64         | 68         | 60         | 70         |
| 28         | 63         | 54         | 58         | 56         | 62         | 60         | 60         | 51          | 67         | 64         | 62         | 71         |
| 29         | 63         | 0          | 63         | 59         | 61         | 60         | 62         | 62          | 67         | 67         | 67         | 69         |
| 30         | 57         | 0          | 65         | 60         | 54         | 60         | 59         | 63          | 61         | 54         | 67         | 69         |
| 31         | 61         | 0          | 62         | 0          | 59         | 0          | 54         | 55          | 0          | 43         | 0          | 67         |
| P. MAX     | 67         | 69         | 65         | 68         | 63         | 63         | 64         | 63          | 67         | 70         | 69         | 73         |

**Tab. 2.6.4 Pontas máximas no sistema Sul (Eskom & Corumana) / Maximum Demand in the Southern Systems (Eskom & Corumana), MW.**

| DIA<br>DAY | JAN<br>JAN | FEV<br>FEB | MAR<br>MAR | APR<br>APR | MAI<br>MAY | JUN<br>JUN | JUL<br>JUL | AGOS<br>AUG | SET<br>SEP | OUT<br>OCT | NOV<br>NOV | DEZ<br>DEC |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 1          | 270        | 309        | 315        | 308        | 276        | 292        | 305        | 292         | 288        | 325        | 329        | 334        |
| 2          | 291        | 299        | 325        | 296        | 273        | 305        | 309        | 311         | 270        | 303        | 328        | 329        |
| 3          | 280        | 303        | 307        | 299        | 299        | 306        | 243        | 313         | 293        | 293        | 336        | 329        |
| 4          | 281        | 314        | 309        | 291        | 315        | 297        | 287        | 312         | 298        | 300        | 339        | 303        |
| 5          | 282        | 305        | 302        | 298        | 319        | 291        | 324        | 322         | 295        | 307        | 303        | 293        |
| 6          | 297        | 304        | 301        | 302        | 314        | 280        | 319        | 307         | 321        | 315        | 299        | 319        |
| 7          | 301        | 296        | 291        | 294        | 312        | 310        | 312        | 291         | 297        | 311        | 297        | 300        |
| 8          | 307        | 315        | 310        | 302        | 293        | 300        | 313        | 285         | 315        | 313        | 328        | 311        |
| 9          | 295        | 318        | 315        | 312        | 287        | 306        | 312        | 317         | 317        | 297        | 285        | 325        |
| 10         | 290        | 321        | 319        | 285        | 315        | 305        | 295        | 315         | 311        | 298        | 284        | 293        |
| 11         | 314        | 323        | 314        | 279        | 321        | 306        | 293        | 295         | 291        | 328        | 320        | 303        |
| 12         | 312        | 310        | 314        | 303        | 314        | 290        | 310        | 316         | 297        | 307        | 295        | 305        |
| 13         | 299        | 306        | 294        | 311        | 319        | 263        | 308        | 312         | 319        | 290        | 302        | 318        |
| 14         | 297        | 295        | 269        | 315        | 308        | 310        | 315        | 300         | 322        | 310        | 291        | 322        |
| 15         | 304        | 314        | 305        | 319        | 291        | 285        | 313        | 291         | 320        | 301        | 324        | 318        |
| 16         | 299        | 322        | 312        | 316        | 283        | 295        | 314        | 313         | 323        | 293        | 332        | 316        |
| 17         | 289        | 304        | 250        | 300        | 309        | 295        | 302        | 309         | 316        | 300        | 305        | 325        |
| 18         | 312        | 306        | 302        | 251        | 314        | 309        | 290        | 309         | 308        | 319        | 315        | 306        |
| 19         | 322        | 305        | 308        | 296        | 298        | 301        | 322        | 310         | 301        | 316        | 308        | 299        |
| 20         | 303        | 292        | 305        | 304        | 310        | 294        | 316        | 303         | 325        | 318        | 303        | 328        |
| 21         | 314        | 293        | 295        | 299        | 310        | 315        | 313        | 296         | 322        | 316        | 302        | 317        |
| 22         | 323        | 317        | 310        | 302        | 293        | 311        | 318        | 283         | 323        | 317        | 337        | 319        |
| 23         | 306        | 320        | 322        | 302        | 281        | 314        | 312        | 312         | 320        | 315        | 306        | 336        |
| 24         | 295        | 318        | 311        | 286        | 309        | 307        | 296        | 306         | 322        | 308        | 322        | 324        |
| 25         | 315        | 325        | 332        | 277        | 297        | 286        | 290        | 317         | 302        | 287        | 323        | 271        |
| 26         | 321        | 281        | 324        | 299        | 303        | 283        | 303        | 312         | 305        | 304        | 321        | 299        |
| 27         | 312        | 288        | 307        | 301        | 309        | 287        | 315        | 309         | 310        | 317        | 310        | 340        |
| 28         | 301        | 288        | 289        | 311        | 301        | 302        | 310        | 293         | 316        | 306        | 307        | 340        |
| 29         | 284        | 247        | 323        | 313        | 287        | 320        | 309        | 294         | 326        | 323        | 305        | 345        |
| 30         | 281        | -          | 332        | 300        | 277        | 313        | 311        | 312         | 330        | 302        | 319        | 329        |
| 31         | 292        | -          | 302        | -          | 303        | 0          | 295        | 316         | 0          | 294        | 0          | 333        |
| P. MAX     | 323        | 325        | 332        | 319        | 321        | 320        | 324        | 322         | 330        | 328        | 339        | 345        |

**Tab. 2.6.1 Pontas máximas nos sistemas interligados - Sul, Centro-Norte e Centro**  
**Maximum Demand in the Interconnected Systems - South, Central-North & Central (MW)**

| DIA<br>DAY | JAN<br>JAN | FEV<br>FEB | MAR<br>MAR | APR<br>APR | MAI<br>MAY | JUN<br>JUN | JUL<br>JUL | AGOS<br>AUG | SET<br>SEP | OUT<br>OCT | NOV<br>NOV | DEZ<br>DEC |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 1          | 422        | 475        | 469        | 466        | 415        | 452        | 454        | 436         | 445        | 512        | 510        | 520        |
| 2          | 451        | 460        | 479        | 462        | 422        | 470        | 471        | 480         | 432        | 481        | 504        | 519        |
| 3          | 437        | 458        | 466        | 450        | 459        | 471        | 395        | 476         | 454        | 479        | 514        | 521        |
| 4          | 450        | 478        | 454        | 439        | 477        | 461        | 437        | 480         | 456        | 483        | 508        | 493        |
| 5          | 444        | 475        | 459        | 461        | 470        | 443        | 484        | 488         | 453        | 489        | 463        | 464        |
| 6          | 451        | 465        | 455        | 474        | 480        | 420        | 467        | 470         | 497        | 495        | 478        | 498        |
| 7          | 468        | 454        | 439        | 452        | 483        | 472        | 467        | 447         | 456        | 496        | 471        | 475        |
| 8          | 471        | 486        | 472        | 474        | 453        | 463        | 467        | 432         | 481        | 495        | 521        | 497        |
| 9          | 456        | 487        | 481        | 485        | 441        | 475        | 466        | 491         | 488        | 478        | 470        | 503        |
| 10         | 446        | 494        | 395        | 444        | 474        | 471        | 444        | 480         | 455        | 480        | 476        | 477        |
| 11         | 482        | 490        | 479        | 438        | 473        | 470        | 448        | 463         | 458        | 485        | 504        | 466        |
| 12         | 480        | 486        | 478        | 472        | 480        | 453        | 450        | 481         | 455        | 488        | 483        | 474        |
| 13         | 461        | 470        | 455        | 482        | 492        | 414        | 461        | 476         | 491        | 482        | 451        | 507        |
| 14         | 455        | 456        | 421        | 483        | 476        | 478        | 485        | 459         | 498        | 506        | 459        | 515        |
| 15         | 467        | 471        | 469        | 486        | 457        | 449        | 472        | 428         | 495        | 485        | 509        | 494        |
| 16         | 460        | 490        | 460        | 487        | 437        | 459        | 478        | 483         | 499        | 478        | 513        | 490        |
| 17         | 438        | 470        | 415        | 467        | 468        | 459        | 443        | 475         | 491        | 475        | 489        | 506        |
| 18         | 475        | 467        | 464        | 404        | 477        | 465        | 436        | 473         | 481        | 496        | 507        | 487        |
| 19         | 490        | 470        | 467        | 469        | 460        | 442        | 480        | 474         | 463        | 499        | 503        | 479        |
| 20         | 471        | 449        | 453        | 461        | 474        | 443        | 475        | 466         | 496        | 506        | 488        | 510        |
| 21         | 479        | 444        | 454        | 463        | 477        | 480        | 476        | 456         | 496        | 506        | 471        | 505        |
| 22         | 491        | 477        | 476        | 472        | 449        | 474        | 486        | 438         | 501        | 511        | 523        | 507        |
| 23         | 474        | 479        | 487        | 472        | 431        | 482        | 478        | 478         | 500        | 508        | 491        | 523        |
| 24         | 457        | 473        | 481        | 447        | 476        | 471        | 459        | 474         | 506        | 493        | 507        | 514        |
| 25         | 488        | 486        | 494        | 422        | 458        | 432        | 444        | 460         | 473        | 468        | 514        | 441        |
| 26         | 480        | 439        | 491        | 459        | 465        | 437        | 466        | 451         | 473        | 492        | 508        | 471        |
| 27         | 475        | 441        | 472        | 453        | 469        | 435        | 481        | 454         | 485        | 505        | 489        | 525        |
| 28         | 467        | 439        | 449        | 470        | 469        | 465        | 478        | 440         | 503        | 496        | 472        | 532        |
| 29         | 441        | 349        | 489        | 477        | 453        | 483        | 479        | 460         | 511        | 512        | 493        | 534        |
| 30         | 428        | -          | 501        | 467        | 430        | 473        | 477        | 472         | 509        | 480        | 508        | 511        |
| 31         | 431        | -          | 470        | -          | 471        | -          | 453        | 464         | -          | 452        | -          | 525        |
| P. MAX     | 491        | 494        | 501        | 487        | 492        | 483        | 486        | 491         | 511        | 512        | 523        | 534        |