



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Faculdade de Engenharia

# **Levantamento dos Recursos Hídricos da Bacia do Rio Chiloango em Cabinda**

**Bernardo Borry Binda Gomes**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Electromecânica**

(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor António Carlos Mendes  
Co-Orientador: Prof. Doutor Pedro F. L. Barbosa de Almeida

**Covilhã, Outubro de 2018**

# Enquadramento

O presente trabalho enquadra-se no âmbito do Mestrado em Engenharia Electromecânica, que é ministrado na Universidade da Beira Interior, uma instituição pública com Sede na cidade da Covilhã, Portugal. Constitui motivação para a realização deste trabalho a orientação das políticas empreendidas pelo Governo da Província de Cabinda, através da sua Secretaria Provincial de Energia e Água, de proporcionar uma solução técnica à problemática de produção da energia eléctrica para a população desta região de Angola. Esta dissertação pode assim constituir um elemento de base para o efeito.

Covilhã, Outubro de 2018.

# Agradecimentos

Através desta dissertação culmina um ciclo da minha vida, por isso importa-me agradecer todos aqueles que de alguma maneira contribuíram para atingir os objectivos.

Começo pelo meu orientador, o Professor Doutor António Carlos Mendes e o Co-orientador Prof. Doutor Pedro Gabriel de Faria Lapa Barbosa de Almeida; aos dois os meus sinceros e profundos agradecimentos pelo apoio, paciência na orientação e todos os conhecimentos que me transmitiram durante a elaboração desta dissertação.

À minha querida mãe de lá no firmamento, as suas lembranças em mim continuarão vivas como chama que nunca se apaga.

Ao meu pai, espelho para nossa luta e auto realização, muito obrigado pelos seus sábios conselhos, orientações e ajuda de todo tipo.

Ao meu pequeno Júlio E. da C. Gomes e a sua mãe Josefina S. M. Da Costa, espero que este sacrifício tenha valido a pena para vocês. Que não tivesse sido uma ausência em vão.

Ao Ex Vice-Governador Provincial para os Serviços Técnicos e Infra-estruturas, o Eng. Otiniel Niemba da Silva e o Ex Secretário Provincial da Energia e Água, Geologia e Minas, o Eng. André Massanga, os meus profundos agradecimentos por facultar os dados para a elaboração deste trabalho e ao Professor Doutor Alfredo Gabriel Buza, obrigado por se tornar um segundo pai para mim.

Ao Sr. António Morgado, assistente Técnico do laboratório de Mecânica dos Fluidos e turbomáquinas, obrigado pelo seu apoio moral. Ao MSc. Francisco Braga, obrigado pelo apoio técnico e as informações disponibilizadas. Ao *colega* Jesus R. Monteiro, Obrigado por tudo.

À direcção do Instituto Superior Politécnico da Universidade 11 de Novembro, ao corpo docente da UBI, à família, aos colegas e amigos, em particular o Pedro Chicuata, muito obrigado por estarem lá quando precisei.

A Deus, pelo conforto nos momentos de dificuldade e angústia, muito obrigado.

# Resumo

Neste trabalho é feita uma revisão bibliográfica sobre pequenas centrais hidroeléctricas, a caracterização geográfica da região em estudo e um levantamento hidrológico com vista ao projecto de uma central Mini-Hídrica na sub bacia do rio Chiloango. Para este efeito recorreremos a um sistema de informação geográfica, através do programa ARC-GIS 10.5.1, que permitiu delinear a sub bacia e gerar a cota no local do projecto. Foi por fim traçada a curva de ocorrência de caudais a partir dos caudais previamente determinados, estimada a potência disponível no ponto escolhido e determinado o tipo de aproveitamento. O nosso estudo culminou na escolha dois tipos de turbinas, consideradas adequadas para os objectivos propostos. Foi então proposta a utilização de uma turbina Hélice de 6 pás ou uma turbina Kaplan de 5 pás, ambas com eixo vertical.

## Palavras-chave

Rio Chiloango, Cabinda, Arc-GIS, potencial hidroeléctrica, Central Mini-hídrica.

# Abstract

In this work we conducted a bibliographical review about small hydroelectric power plants, a geographical characterization of the region in question and a hydrological study in order to facilitate the design of a small hydroelectric power plant, which is planned to be built at the sub basin of the Chiloango river. With this in mind, we used a geographical information system, via the ARC-GIS program 10.5.1, that allowed us to delineate the sub basin and generate the height profile of the project site. Finally, the flow-rate occurrence chart was plotted from the previously determined precipitation induced volume flow and the available power at the chosen site was calculated. With these parameters we were able to determine the most adequate application. Our study culminates in the selection of two types of turbines, considered appropriated for the proposed objectives. The use of a Propeller turbine, with 6 blades, or a Kaplan turbine, with 5 blades, was then proposed. Both of these are vertical axis turbines.

## Keywords

Chiloango river, Cabinda, Arc-GIS, Hydroelectric power, Small power plant.

# Índice geral

Lista de símbolos	VII
Lista de figuras	IX
Lista de tabelas	XI
Lista de anexos	XII
<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
1.1. Sistema electroprodutor de Angola	2
1.2. Ponto da situação em Cabinda	3
1.3. Legislação aplicável em vigor	4
1.4. Objectivos e estrutura do trabalho	5
<b>2. Pequenas centrais hidroeléctricas</b>	<b>7</b>
2.1. Considerações gerais	8
2.1.1. Classificação dos aproveitamentos hidroeléctricos	
2.1.2. Campos de aplicação	
2.1.3. Equipamento electromecânico	
2.2. Orientações para dimensionar o aproveitamento	10
2.2.1. Curva de duração de caudais	
2.2.2. Cálculo da potência a instalar	
2.2.3. Estimativa da produção de energia	
2.3. Estudos de viabilidade	13
2.3.1. Produção independente: legislação	
2.3.2. Custos associados	
<b>3. Caracterização geográfica da região em estudo</b>	<b>15</b>
3.1. A unidade hidrográfica de Cabinda	17
3.2. Bacia hidrográfica do rio Chiloango	22
<b>4. Análise energética da bacia do Chiloango</b>	<b>33</b>
4.1. Curva de ocorrência dos caudais	33
4.2. Potência disponível	40
4.3. Aproveitamentos possíveis	41
4.4. Estimativa da energia produzível	44
<b>5. Conclusão</b>	<b>46</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>49</b>
<b>Lista de websites consultados</b>	<b>51</b>
<b>Anexos</b>	<b>52</b>

# Lista de símbolos

Símbolo	Significados	
CEEAC	Comunidade Económica dos Estados de África Central	
CMH	Central Mini-Hídrica	
EUA	Estados Unidos da América	
IIL	Instituto de Direito Internacional (Institute of international law)	
ILC	Comissão Internacional de Direito (International Law Commission)	
INAMET	Instituto Nacional de Meteorologia	
MDE	Modelo Digital de Elevação	
MDT	Modelo Digital de Terreno	
MNEA	Ministério da Energia e Água	
OCDE	Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico	
SADC	Comunidade de Desenvolvimento da África Austral	
E	Energia produzível	[Wh]
$t_0$	Tempo ou período correspondente ao caudal de cheias	[dias]
$t_1$	Tempo ou período correspondente ao caudal mínimo de exploração por ano	[dias]
$t_2$	Tempo ou período correspondente ao caudal máximo de exploração por ano	[dias]
$\Delta_t$	Tempo útil de produção da energia	[horas]
Q	Caudal do rio	[ $m^3/s$ ]
$Q_{ma}$	Caudal médio mensal	[ $m^3/s$ ]
$Q_{min}$	Caudal mínimo	[ $m^3/s$ ]
$Q_{max}$	Caudal máximo	[ $m^3/s$ ]
$Q_{mod}$	Caudal modular	[ $m^3/s$ ]
$Q_{me}$	Caudal médio semestral	[ $m^3/s$ ]
$Q_N$	Caudal nominal	[ $m^3/s$ ]
$Q_t$	Caudal turbinado	[ $m^3/s$ ]
$Q_e$	Caudal ecológico	[ $m^3/s$ ]
$\alpha$	Coefficiente de caudal	

$\alpha_1$	Limite mínimo de exploração da turbina	
$\alpha_2$	Limite máximo de exploração da turbina	
$N_s$	Velocidade específica	[rpm]
$H_u$	Altura ou queda útil	[m]
$H_b$	Altura ou queda bruta	[m]
$h_p$	Perdas diversas no circuito hidráulico e equipamentos diversos	[m]
$H$	Escoamento superficial na bacia	[mm]
$A$	Área da bacia	[m <sup>2</sup> ]
$D_e$	Declive	[%]
$A_{min}$	Altura mínima na saída da água para restituição no leito	[m]
$A_{max}$	Altura máxima na tomada da água	[m]
$L$	Extensão do troço entre a tomada da água e a restituição no leito	[m]
$\rho$	Densidade da água	[kg/m <sup>3</sup> ]
$g$	Gravidade	[m/s <sup>2</sup> ]
$\eta_t$	Rendimento da turbina	
$\eta_T$	Rendimento total do circuito	
$P$	Potência	[W]
$P_d$	Potência disponível	[W]

## Lista de figuras

Figura 2.1: Edifício central [8].	8
Figura 3.1: Divisão Administrativa de Cabinda [Adaptado de A1].	16
Figura 3.2: Divisão linguística dos Povos de Cabinda [Adaptado de A1].	16
Figura 3.3: Diagrama de precipitações anuais médios [13].	19
Figura 3.4: Diagrama de precipitações médias [13].	20
Figura 3.5: Diagrama de escoamento médio mensal para a província de Cabinda [13].	21
Figura 3.6: Bacia hidrográfica do Rio Chiloango [7].	23
Figura 3.7: Modelo digital de elevação de Cabinda e áreas circunvizinhas.	24
Figura 3.8: Preenchimento de depressões.	25
Figura 3.9: Direcção de escoamento [17].	25
Figura 3.10: Direcção do escoamento das águas na bacia Chiloango.	26
Figura 3.11: Caudal acumulado e linhas de água na bacia do Chiloango.	27
Figura 3.12: Vectorização do Rio Chiloango com critério de Strahler.	28
Figura 3.13: Sub bacias da bacia do Chiloango e arredores.	28
Figura 3.14: Polígono sub bacia do Chiloango.	29
Figura 3.15: Clip MDT da sub Bacia do Chiloango.	30
Figura 3.16: Fotografia do local de estudo (Vemba Siala).	30
Figura 3.17: Ponto de Instalação com a província e a sub bacia sobrepostas.	31
Figura 3.18: Perfil do rio Chiloango.	31
Figura 3.19: Perfil do troço para projecto.	32
Figura 4.1: Caudais médios mensais na bacia do rio Chiloango.	34
Figura 4.2.: Caudais médios mensais para o ano húmido de 1970, na bacia hidrográfica do rio Chiloango.	35
Figura 4.3: Caudais médios mensais para o ano muito húmido de 1961, na bacia hidrográfica do rio Chiloango.	35

Figura 4.4: Caudais médios mensais para o ano seco de 1947/48, na bacia hidrográfica do rio Chiloango.	36
Figura 4.5: Caudais médios mensais para o ano muito seco de 1966, na bacia hidrográfica do rio Chiloango.	36
Figura 4.6: Curva de vazão para a bacia hidrográfica do rio Chiloango.	39
Figura 4.7: Diagrama de selecção da turbina [25].	41
Figura 4.8: Campo de aplicação de turbinas, de acordo com a queda de água e velocidade específica [24].	43

# Lista de Tabelas

Tabela 1.1 - Centrais hidroeléctricas de Angola [3].	3
Tabela 3.1: Análise de parâmetros estático da serie longa de precipitações [adaptado de 13].	18
Tabela 3.2: Precipitação anual e semestral característica para o ano seco ou húmido em Cabinda [adaptado de 13].	19
Tabela 3.3: Precipitação média mensal e anual na unidade hidrográfica de Cabinda (mm) [adaptado de 13].	19
Tabela 3.4: Escoamento anual na unidade hidrográfica de Cabinda [13]	21
Tabela 3.5: Valores do escoamento na unidade Hidrográfica de Cabinda [adaptado de 13].	22
Tabela 4.1: Caudais médios anuais para diferentes condições de escoamento.	37
Tabela 4.2: Caudais para a sub bacia do rio Chiloango.	38
Tabela 4.3: Fórmulas empíricas para determinar a velocidade específica de turbinas [adaptado de 23].	41
Tabela 4.4: Campo de aplicação de vários tipos de turbinas [23]	42
Tabela 4.5: Limites de exploração das turbinas [19].	44

# Lista de Anexos

Anexo 1: Coordenadas geográficas de Angola	50
Anexo 2: Valores de caudais e escoamento na unidade hidrográfica de Cabinda	51
Anexo 3: Precipitação mensal e anual na unidade hidrográfica de Cabinda	52
Anexo 4 Escoamento médio mensal e anual na unidade hidrográfica de Cabinda	53
Anexo 5: Distância e cota para pontos no troço do projecto	54

# Capítulo 1

## Introdução

Angola enfrenta vários desafios, nomeadamente o socioeconómico, o tecnológico e energético, a par do ecológico, entre outros. O sector energético é um dos que tem recebido maiores investimentos, muito embora os resultados palpáveis demorem a aparecer. Segundo o relatório sobre a competitividade mundial elaborado por Schwab, em 2014 [1], três dos sectores chave para o desenvolvimento sustentável de uma economia são a qualidade das intra-estruturas, o fornecimento ininterrupto de energia eléctrica e uma rede de telecomunicações eficaz. Em conformidade, o governo de Angola traçou uma estratégia bem definida, até 2025 [2], para honrar os compromissos internacionais das Nações Unidas sobre a energia sustentável para todos até 2030 e a adopção do Livro Branco da Comunidade Económica dos estados da África Central (CEEAC) sobre o acesso Universal a serviços energéticos modernos e desenvolvimento económico e social 2014-2030.

Apesar das enormes potencialidades do País nos sectores hidráulico, do petróleo, gás natural, eólico e também solar, o sector da energia eléctrica continua ainda deficitário em termos de geração e abastecimento. Concretamente em Cabinda, a situação é ainda mais limitativa, sobretudo quando avançamos para os municípios e comunas do interior. Nestas zonas, a oferta é fraca e por vezes inexistente, o que se converte numa preocupação recorrente das autoridades locais em virtude do atraso que daí advém no que toca ao desenvolvimento socioeconómico da Província.

A este propósito, o actual Governador da província de Cabinda proferiu em Novembro de 2017 uma declaração, a quando do Conselho de Ministros realizado na sede provincial, manifestando a necessidade de identificar recursos para construir centrais hidroeléctricas de média dimensão e também mini-hídricas tendo em vista remediar esta situação.

Para alcançar o desenvolvimento desejado é necessário fixar as populações, principalmente os jovens, nas zonas rurais. É destes jovens que devem partir os projectos de desenvolvimento inter-regional. Neste campo estão planificados a plantação de café, a

plantação de palmeiras de dendê, que é uma planta muito familiar ao clima tropical de Cabinda, além do cultivo mecanizado de jinguba (amendoim), muito praticado na zona mais ao norte da Província. No sector dos recursos minerais temos ainda a exploração de ouro, ao longo do rio Chiloango e afluentes.

Com objectivo de reduzir a taxa de desemprego está a ser implementado um projecto para construção de uma fábrica para transformação de dendê em óleo de palma, sabão e ração animal.

## 1.1. Sistema electroprodutor de Angola

No momento em que as grandes economias mundiais investem em energias limpas, a principal fonte de abastecimento de energia eléctrica em Angola tem origem em centrais termoeléctricas, queimando essencialmente derivados do crude. No entanto, a prioridade definida pelo governo central é neste momento a energia hídrica.

De acordo com [3], para além dos 4 GW das grandes hídricas previstas até 2017, o plano energético Nacional define até 100 projectos com uma potência total instalada de até 861 MW em centrais médias e mini-hídricas. Actualmente o País conta com uma potência instalada de 2726,6 MW produzidos em centrais hidroeléctricas, não estando ainda em funcionamento todas as turbinas de Laúca. À mais longo prazo, até 2025, está previsto atingir os 18 GW (incluindo fontes renováveis e grandes hídricas) distribuídos por 159 locais identificados em todo País.

Em 2014, a potência total instalada era de 2230 MW dos quais 1311 MW (60%) eram provenientes de fontes térmicas e 919 MW (40%) eram de origem em fontes hidroeléctricas [3]. Hoje em dia, com a construção e reabilitação de mais centrais hidroeléctricas, o país já conta com uma potência hidroeléctrica instalada de 2726,6 MW, conforme a tabela 1.1.

A tabela 1.1 mostra a capacidade produtiva actual da energia hidroeléctrica em Angola, incluindo o nome, a localização, o número de turbinas e a potência instalada.

Importa realçar que a central hidroeléctrica de Laúca foi projecta para 6 turbinas. Porém, destas, apenas três se encontram já em funcionamento. Do total de centrais hidroeléctricas apresentadas na tabela 1.1, duas correspondem a aproveitamentos mini-hídricos, nomeadamente o aproveitamento de Luaximo e Luquixe, o que equivale 10,4 MW de potência instalada.

Tabela 1.1 - Centrais hidroeléctricas de Angola [3].

Nº	Nome da central	Local	Rio	Ano Inauguração	Nº Turbinas	Potência instalada (MW)
1	Laúca*	Malanje	Kwanza	Ago-17	3	1030
2	Capanda	Cacuso, Malanje	Kwanza	2005	4	520
3	Cambambe II*	Macau, Dundo	Kwanza	2017	4	700
4	Cambambe I	Macau, Dundo, Kwanza Norte	Kwanza	1962/1973/2017	4	260
5	Gove	Caala, Huambo	Cunene	2012	3	60
6	Matala	Matala, Lubangu, Huila	Cunene	1955	3	40.8
7	Lomaum	Cubal, Benguela	Catumbela	1981/5-2017	4	50
8	Mabuba	Caxito, Bengo		Mai-12	4	25
9	Chicapa	Saurimo, Lunda-Sul	Chicapa	2008	4	16
10	Biopio	Catumbela, Benguela	Catumbela	1956	4	14,4
11	Luachimo	Lunda Norte	Luachimo	1957	4	8,4
12	Luquixe	---	---	---	2	2

Centrais em fase de arranque (experimentais)

## 1.2 Ponto da situação em Cabinda

Em Cabinda, está instalada uma potência eléctrica total de 147,7 MW [4]. Destes, só 375 KVA têm origem hídrica, o que corresponde a menos de 1%da potência total instalada. A maior parte da produção de electricidade é feita com recurso a centrais térmicas, cuja maior concentração é no Sul da província, entre a sua sede e a sede Municipal de Cacongo. Uma das centrais termoeléctricas conta com duas turbinas de ciclo combinado de 35 MW e uma de 25 MW, funcionando com gásóleo, e localizadas na Planície do Malembo na margem direita do Campo Petrolífero do Malongo. Existem ainda outras duas centrais térmicas a gásóleo, uma no

Chibodo com 18 grupos geradores de 1,7 MW cada e outra em Santa Catarina com 6 grupos, cada um com a mesma capacidade. Para além destes existem ainda outros grupos geradores a gasóleo situados em algumas Sedes municipais, sedes comunais e mais nalguns bairros e aldeias, que contabilizam 147,7 MW.

No sector hídrico contamos apenas com a Mini-Hídrica da Sanga Planície, no Miconje, constituída por duas turbinas acopladas a dois geradores de capacidade igual a 250 KVA e 125 KVA, respectivamente.

### 1.3 Legislação aplicável em vigor

Para a concretização da política e estratégia sobre Segurança Energética em Angola, foi assinado o decreto presidencial nº 256/11, de 29 de Setembro, que define as orientações estratégicas do sector da energia a longo prazo. Esta estratégia é baseada em 6 medidas:

- 1) O aumento da produção de energia eléctrica;
- 2) Investimento nas energias renováveis;
- 3) Expansão da rede eléctrica nacional;
- 4) Revisão das tarifas energéticas e da sustentabilidade económico-financeira;
- 5) Reestruturação e fortalecimento dos operadores do sector da energia;
- 6) Promoção do capital e *know-how* privados.

Neste contexto foram redigidas algumas leis que incentivam o investimento privado em projectos hidroeléctricos. Entre estas leis está a lei geral da electricidade Nº 27/15, de 14 de Dezembro de 2015, que altera a lei Nº 14-A/96, de 31 de Maio, onde se estabelece o regime jurídico do exercício das actividades de produção e distribuição de energia eléctrica [5]. É também importante referir a lei das parcerias público-privadas Nº02/2011, de 14 de Março, que define as regras do funcionamento global das parcerias entre o sector público e privado, desde a adjudicação do projecto até a sua implementação [6].

O rio Chiloango é um rio internacional, que delimita a fronteira entre a República Democrática do Congo e a República de Angola, numa grande e extensa distância. Actualmente ainda não existe nenhum tratado, convénio ou lei que governe a bacia hidrográfica do rio Chiloango. Assim sendo, a quando de um possível projecto, é mais conveniente consultar os convénios sobre a gestão de recursos de águas internacionais, de forma a evitar potenciais conflitos.

De acordo com [7], os principais tratados internacionais sobre a gestão de recursos hídricos são as recomendações e princípios de gestão internacional de água doce do Instituto de Direito Internacional (IIL), bem como as regras de 1966 sobre o uso das águas dos rios internacionais, redigidas pela Associação de Direito Internacional. Para além destas normas, é importante referir a legislação emitida pelas Nações Unidas em 1970 sobre o uso dos cursos de água internacionais para outros fins que não sejam a navegação, através da Comissão de Direito Internacional (ILC). Esta legislação foi actualizada em 1977.

As organizações regionais e multinacionais como, por exemplo, a Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), a União Europeia e a Comunidade de Desenvolvimento da África Austral (SADC) também criaram directrizes para incentivar a cooperação entre as nações com o objectivo de regular a exploração das bacias hidrográficas comuns.

## **1.4 Objectivos e estrutura do trabalho**

Face a este cenário do abastecimento hidroeléctrico da província de Cabinda, constatámos a necessidade de realizar um estudo com análise aprofundada sobre a melhor alternativa no abastecimento em energia eléctrica das áreas isoladas. Pelo que será determinada a real capacidade do rio Chiloango no ponto escolhido. Em concreto, será realizada uma análise hidrográfica para comprovar a viabilidade do projecto hidroeléctrico na produção da energia eléctrica e, conseqüentemente, permitirá obter a curva de duração dos caudais médios diários e outros cálculos subsequentes na estimação da energia produzida.

O conteúdo desta dissertação está dividido em 5 capítulos, além dos anexos. No capítulo 1 está apresentada a situação energética de Angola em geral e de Cabinda em particular. É ainda apresentada a capacidade produtiva do país e da província, o quadro legal a obedecer neste sector, os objectivos deste trabalho e a estrutura desta dissertação.

No capítulo 2 abordámos o estado da arte sobre as pequenas centrais hidroeléctricas, as características e constituição geral destas centrais, assim como as directrizes para determinar a sua viabilidade em diferentes aplicações.

No capítulo 3 foi feita uma caracterização geográfica da região em estudo. Foram ainda abordados alguns aspectos hidrológicos tais como as precipitações e o escoamento na região. Foi também realizada a análise hidrológica da bacia do rio Chiloango com o objectivo de delinear a sub bacia e gerar as cotas no local escolhido.

No capítulo 4 foram determinados os caudais modular, ecológico, turbinável e médio e traçadas, conseqüentemente, as curvas de ocorrência de caudais. Foi determinada em seguida a potência disponível para o local em estudo e escolhidos os tipos de turbinas mais apropriadas para o aproveitamento. Escolhidas as turbinas, é possível então estimar a energia produzida por cada máquina, em função da curva de ocorrência de caudais.

Por fim temos o capítulo 5 onde são apresentadas as conclusões, sugestões e desenvolvimentos futuros.

## Capítulo 2

### Pequenas centrais hidroeléctricas

Nos finais do século XIX foram construídas e instaladas, na Europa ocidental e nos EUA, muitas centrais hidroeléctricas com potências compreendidas entre as dezenas e alguns milhares de kiloWatt. É nesta gama que se incluem as pequenas centrais, mini e micro-hídricas. São exemplos as centrais do Lindoso, de Bode, de Belver, da Caniçada, do Cabril, de Picote e de Miranda. O século XX é o século dos grandes empreendimentos hidroeléctricos, impulsionados pela grande procura de energia associada ao desenvolvimento galopante dos países industrializados e aos avanços na transmissão de energia através da rede eléctrica. No período após a Segunda Grande Guerra, este esforço de produção de energia eléctrica estendeu-se a outros continentes, nomeadamente a África. É exemplo disto a grande barragem de Laúca, em Angola, com previsão de 2070 MW instalada.

Esta economia de escala permitiu reduzir significativamente o custo por kWh de energia produzida, o que levou ao progressivo abandono dos aproveitamentos hídricos de baixa potência.

Esta tendência só viria a ser contrariada com o surgimento da primeira crise petrolífera, em 1973. O custo da energia aumentou, por um lado, e a possibilidade de expansão e instalação de novos empreendimentos hidroeléctricos de elevada potência estavam, por outro lado, geograficamente limitados. A nova crise dos preços do petróleo, ocorrida em 1980, aliada aos avanços no sector do controlo remoto das centrais já existentes, permitiu uma notável redução nos custos de exploração, relançando assim o interesse pela produção de energia hidroeléctrica descentralizada.

## 2.1 Considerações gerais

A utilização de recursos energéticos endógenos, como é o caso das centrais mini-hídricas, requer o financiamento de projectos no sector das energias renováveis. Estas pequenas centrais podem ser utilizadas como fontes de abastecimento descentralizadas, ligadas a redes locais, por exemplo para abastecer uma unidade fabril de energia eléctrica, ou podem ser ligadas à rede eléctrica nacional, desde que tenham uma certa dimensão e regularidade na produção de energia.

### 2.1.1 Classificação dos aproveitamentos hidroeléctricos

A potência de referência que permite distinguir os pequenos dos grandes aproveitamentos hidroeléctricos são os 10 MW. As pequenas centrais hidroeléctricas, com potência até 10 MW portanto, têm um impacto ambiental pouco significativo, pelo que integram o conjunto das Energias Renováveis. Dentro das pequenas centrais é costume distinguir ainda as mini-hídricas, com potência inferior a 2 MW e as micro-hídricas, com potência abaixo dos 0,5 MW.

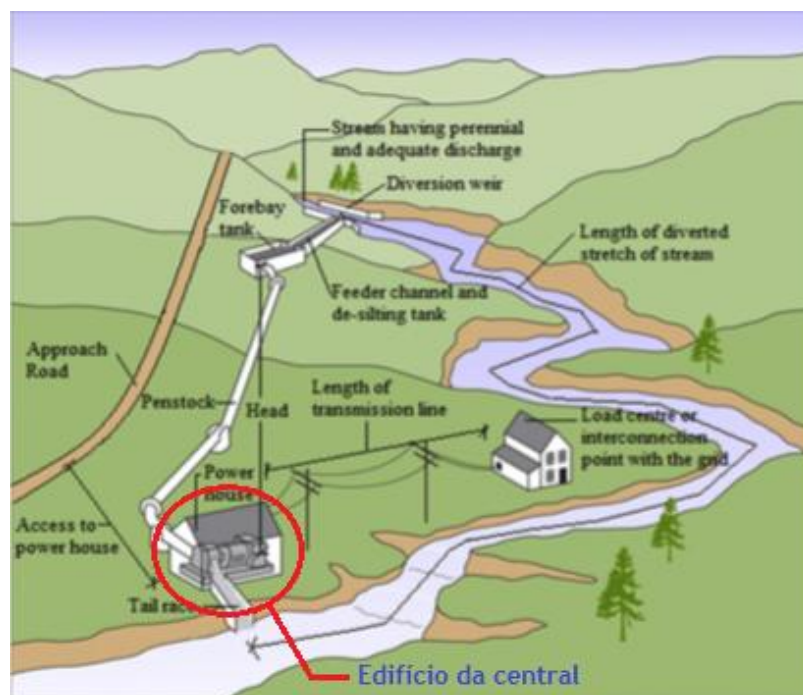


Figura 2.1 - Edifício da central [8].

As centrais hídricas podem também ser classificadas quanto à altura geométrica de queda. Assim temos centrais de queda baixa (2 a 20 m), de queda média (20 a 150 m) e de queda alta (superior a 150 m). As centrais mini-hídricas (CMH) têm normalmente uma queda média-baixa e são, regra geral, centrais de fio de água.

Os elementos constituintes de uma central hídrica de média dimensão não diferem muito dos elementos de uma central convencional: o açude, a tomada da água, o canal de aducção, a câmara de carga e, finalmente, a conduta forçada que leva a água directamente à turbina. A turbina e o equipamento de geração estão normalmente instalados no edifício da central (Figura 2.1).

### **2.1.2 Campos de aplicação**

A concepção e projecção das centrais mini-hídricas devem obedecer aos seguintes pressupostos: simplicidade, fiabilidade e baixos custos de operação e manutenção. As potências envolvidas são de um modo geral baixas e médias, pelo que os principais tipos de turbinas que são utilizadas em aproveitamento mini-hídrica são as turbinas de impulso (Pelton, Turgo e Cross-flow e turbinas de reacção axiais (Francis, Kaplan, Propeller), em particular do tipo Bolbo cujo o eixo é horizontal, serão provavelmente as máquinas mais adequadas. Este aspecto irá depender, em grande medida, da orografia do local de implementação da central.

### **2.1.3 Equipamento electromecânico**

A central utiliza determinado equipamento electromecânico para converter a energia hidráulica em energia eléctrica. Este equipamento divide-se em três categorias: turbina que vimos acima, alternador e sistemas de controlo e ligação à rede eléctrica.

Quanto aos geradores de energia eléctrica, contrariamente a maioria das centrais média e mini-hídricas que encontramos em Portugal, por razões características como robustez, fiabilidade e económicas, estes podem ser máquinas assíncronas que apesar da baixa queda induzindo baixa velocidade e compensado pelo seu acoplamento a um multiplicador de velocidade.

## **2.2 Orientações para dimensionar o aproveitamento**

Para avaliar a potência disponível num aproveitamento há que quantificar o caudal da água a turbinar e a altura de queda. O caudal médio dum rio ao longo do ano é variável de estação para estação, e sofre igualmente importantes variações ao longo dos anos. A estimativa da curva de variação de caudais é da esfera da Hidrologia, sendo certo que a estimativa desta variável aleatória só tem significado quando se baseia em medições de campo realizadas ao longo de várias décadas (30 a 40 anos). Ainda assim, o estudo do impacto das alterações climáticas sobre os caudais de água disponíveis em determinada região do globo é um assunto de necessidade premente.

### **2.2.1 Curva de duração de caudais**

A curva de duração de caudais estabelece previsões estatísticas do caudal médio diário em determinado trecho do curso de água, estimado ao longo do ano. Um estudo hidrológico cuidado da região é pois fundamental para avaliar a viabilidade do aproveitamento hídrico, a par do mapeamento cartográfico da região em estudo. Da série média cronológica de caudais médios diários podemos extrair uma série ordenada de duração de caudais, em que os valores de caudal médio são agrupados em função do tempo (365 dias do ano), por ordem decrescente. Esta curva fornece o caudal médio diário que, em ano médio, é igualado ou excedido no número de dias do ano. O estudo hidrológico da bacia hidrográfica do Rio Chiloango será efectuado no Capítulo 3, com base nos dados das precipitações e do escoamento disponível para a região e a análise hidrológico realizada com base no programa Arc-GIS.

### **2.2.2 Cálculo da potência a instalar**

O projecto de uma pequena central hidroeléctrica atravessa diferentes etapas e deve abordar diferentes aspectos. Um estudo preliminar das condições existentes no local de implementação permite avaliar a energia disponível e considerar as várias opções de projecto possíveis.

$$P = \rho g H_b Q_N \eta_t \quad 2.1$$

onde  $\rho$  é a massa volúmica da água,  $g$  é a aceleração da gravidade,  $H_b$  é a altura de energia através da máquina,  $Q_N$  é o caudal nominal e  $\eta_t$  o rendimento interno da turbina. Em conformidade com a análise do circuito hidráulico,

$$H_u = H_b - h_p \quad 2.2$$

onde  $H_b$  é a altura de queda geométrica e  $h_p$  as perdas na linha de alimentação da máquina. O gerador tem um rendimento elevado, pelo que pode ser considerado igual a 1 quando comparado com o rendimento da turbina. Entrando em consideração com os rendimentos do transformador e restante equipamento auxiliar, e tomando  $\eta_t$  como o rendimento total do aproveitamento, incluindo o rendimento da linha de alimentação, a equação 2.1 pode ser escrita:

$$P = 9,81 \times 10^3 Q_N H_b \times \eta_T \quad 2.3$$

O rendimento da turbina é cerca de  $\eta_t = 85 - 95\%$ , em condições de funcionamento nominais. Tomando em consideração o rendimento do transformador e do restante equipamento auxiliar, é prática usual assumir  $\eta_T = 0,7 - 0,8$ .

Na fase de anteprojecto, para aproveitamentos ligados à rede eléctrica, a potência e o número de grupos a instalar são determinados com recurso a cálculos simples, baseados muitas vezes na experiência acumulada. Parte-se normalmente da opção de instalar um único grupo turbina-gerador eléctrico.

Um cálculo preliminar permite dimensionar a máquina para turbinar um caudal nominal igual ao que é excedido em cerca de 55 dias a 145 dias (15-40%), em ano médio. O valor exacto depende da forma da curva de duração dos caudais e da experiência do engenheiro. É prática usual assumir um caudal nominal igual ao caudal médio anual. O valor estimado da potência a instalar deverá ainda ser compatibilizado com a gama de potências disponíveis no mercado, pelo que é conveniente fazer um cálculo de validação do caudal disponível no aproveitamento.

### 2.2.3 Estimativa da produção de energia

O projecto de uma central mini-hídrica consiste num processo iterativo que contabiliza as receitas e despesas para vários cenários de energia média disponível. A

primeira aproximação será a de utilizar um único grupo turbina-gerador em linha com os pressupostos já apresentados.

Em princípio, a turbina a instalar deve ser escolhida em função do caudal nominal e da altura de queda disponível no local de implantação da central. O critério de selecção, entre várias soluções possíveis deve ser, no entanto, o da robustez e baixo custo.

O caudal nominal verificar-se-á, no entanto, apenas durante um número de dias limitado, ao longo de um ano médio. Dado que a turbina é sintonizada para operar próximo do rendimento máximo numa faixa em torno do caudal nominal, são geralmente impostos limites de operação admissíveis em torno do caudal nominal. Fora destas condições de funcionamento a máquina deve ser desligada.

Para determinar a energia eléctrica produzida em ano médio é necessário consultar a curva de duração de caudais para a região em análise. Nesta curva iremos identificar o caudal mínimo de exploração e o caudal máximo de exploração.

Deve igualmente ser assinalado o caudal de cheia, acima do qual a altura de queda será insuficiente. Com base no tempo de produção  $\Delta t$  calculado, excluindo os tempos de paragem assinalados pelos limites de exploração, é possível obter o caudal turbinado em ano médio.

Admitindo então que a altura de queda se mantém constante e assumindo um valor conservador para o rendimento  $\eta_T = 0,7$ , podemos obter em definitivo a energia produzida pelo grupo.

Da Equação (2.3) tiramos:

$$E = \rho g Q_N H_b \times \eta_T \times \Delta t \quad 2.4$$

Considerando  $\Delta t$  o tempo correspondente ao número de horas úteis de funcionamento por ano e a energia produzida expressa em Watt-hora.

## 2.3 Estudos de viabilidade

Estima-se que em todo o mundo estejam instalados entre 50 e 60 GW de potência mini-hídrica, metade deste valor só na china. Em Angola, dos 2726,6 MW de potência

hidroelétrica instalada, cerca de 10,4 MW pertencem a pequenas centrais, o que corresponde a apenas 0,38% do total.

Entre as possíveis causas desta situação estará a dificuldade de obtenção de novos licenciamentos, procedimentos administrativos ligados à utilização da água, o regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional e regulamentação específica ligada ao sector da produção de energia independente.

Este sector necessita de ser aumentado substancialmente, de forma a atingir os padrões internacionais.

### **2.3.1 Produção independente: legislação**

Contrariamente ao panorama Português no que tange a produção, transporte e a distribuição da energia eléctrica em geral e hidroeléctrica em particular, fora das instituições ou empresas estatais, em Angola não existem produção independente para fins comerciais.

Quem é interessado em investir na produção da energia hidroeléctrica para fins comerciais deve associar-se a uma entidade estatal. Foi elaborado por esta razão a lei das parcerias público-privadas N°02/2011, de 14 de Março, que define as regras do funcionamento global das parcerias entre o sector público e privado, conforme referido acima.

### **2.3.2 Custos associados**

Os custos associados à construção, instalação e operação de pequenas centrais hidroeléctricas envolvem contribuições de diferente origem. O caudal disponível e a altura de queda, que determinam a potência instalada, são factores importantes. A possibilidade de ligação à rede eléctrica é igualmente determinante. Na Europa, o valor de referência do investimento unitário ronda os 3750 Euro/KW, para baixas quedas e potências inferiores a 500 KW. A economia de escala e o facto de cada central necessitar de um conjunto de equipamentos, cujo custo não varia de forma apreciável com a dimensão do empreendimento, determina que custo unitário será tanto menor quanto maior for a dimensão da central.

Quanto à produção anual, a experiência mostra que o número de horas na utilização da potência instalada varia entre as 1500 h (cenário seco) e as 3000 h (cenário húmido). Levando todos estes aspectos em consideração, a viabilidade do empreendimento estará assegurada desde que o investimento unitário se situe abaixo dos 1750 - 2000 Euro/MW. Este facto converte as centrais de muito baixa potência em instalações subsídio-dependentes. A sua realização pode ser uma opção estratégica municipal, por exemplo.

A utilização de elementos pré-fabricados nas obras hidráulicas é uma via possível para reduzir custos. Os elementos mecânicos devem ser reduzidos ao mínimo, de modo a obter uma instalação de fiabilidade elevada. Por último, a instalação de equipamento adequado à micro geração e de automação, que permita o controlo remoto da central, pode contribuir decisivamente para reduzir os custos de operação. A simplicidade da instalação pode também ser uma garantia de custos de manutenção reduzidos.

## Capítulo 3

# Caracterização Geográfica da Região em Estudo

Cabinda é uma das 18 províncias de Angola e está localizada na parte norte do país. Está situada entre os paralelos 4°25´ e 5°45´ de longitude no hemisfério sul e entre os meridianos 12° e 13° de latitude como se pode ver na carta anexo 1 [9]. A sua característica principal é a sua separação física com o resto do território nacional. Encravada entre a República do Congo, a República Democrática do Congo e o Oceano Atlântico. A sua superfície é de 7291 km<sup>2</sup>. Cabinda é a província mais pequena de Angola, em termos de área, e divide-se administrativamente por 4 municípios, nomeadamente: o município sede (Cabinda), Cacongo, Buco-Zau e Belize. Estes municípios, por sua vez, dividem-se em 3 comunas cada (incluindo as sedes), como ilustrada a figura 3.1.

Como podemos ver na figura 3.1, Cabinda divide-se em Cabinda, Malembo e Tando-Zinze, Cacongo divide-se em Cagongo, Massabi e Dinge, Buco-Zau divide-se em Buco-Zau, Inhúca e Necuto e, finalmente, Belize divide-se em Belize, Luali e Miconje. A província de Cabinda é ainda constituída por 426 localidades das quais 45 são urbanas e 381 são rurais [10] [11].

A população autóctone de Cabinda é do subgrupo étnico descendente do povo Kongo e constituído pelos Bauoio, Bacuacongo, Bakoxi, Bavili, Balinje, Baiombe, Basundi com a instalação predominante indicada na figura 3.2 [A1].

Segundo o resultado final do censo populacional realizado em 2014, Cabinda conta com uma população estimada a 716 076 habitantes, dos quais 355 765 são homens e 360 310 são mulheres.

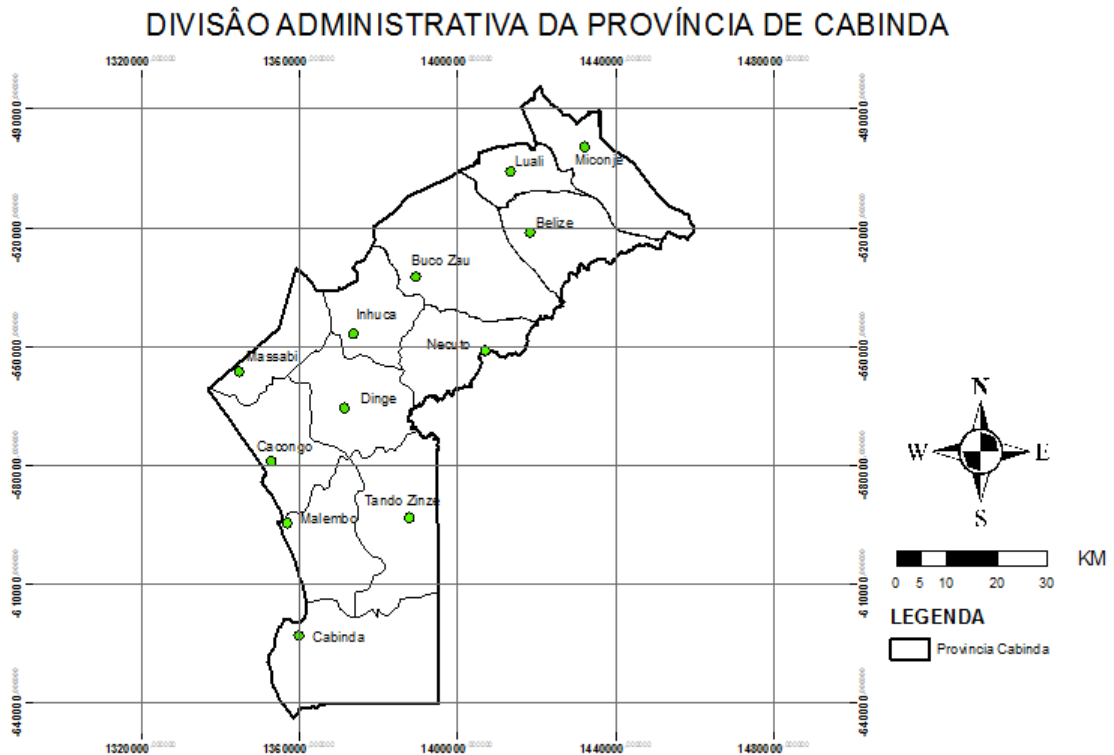


Figura 3.1 - Divisão Administrativa de Cabinda (Adaptado de A1).

A população está repartida de seguinte forma: Cabinda 622986 (87%) pessoas, Caonago 38668 (5,4%), Belize 19334 (2,7%) e o município de Buco-Zau, objecto do nosso estudo alberga 35087 (4,9%) habitantes [11].

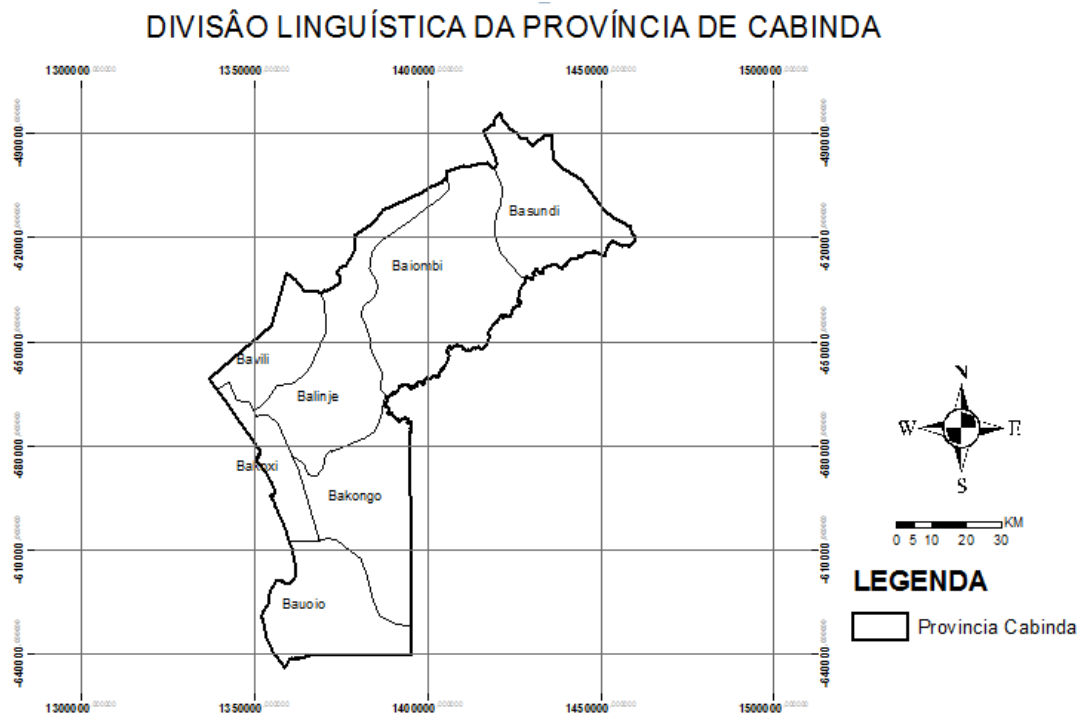


Figura 3.2 - Divisão linguística dos Povos de Cabinda [Adaptado de A1].

Em Cabinda, encontramos densas florestas tropicais desde o município de Buco-Zau até extremo norte da província, e uma diversidade de relevo, desde as zonas baixas junto as costas do Oceano Atlântico até 839 m de altitude no Morro de Sanga, no município de Belize [12].

Cabinda tal como o resto do país, é caracterizada por contrastes entre o clima de savana que abrange a área litoral baixa e o clima tropical húmido que abrange a área montanhosa e semi montanhosa a Nordeste da província. O clima seco e frio conhecido como Cacimbo, de Maio a Agosto, com baixas precipitações ao longo da costa, e o clima quente e húmido nos meses de Outubro a Abril, com precipitações mais abundantes no interior. Esta imagem reflecte directamente a realidade climática da bacia do rio Chiloango com duas estações ao longo do ano. Uma destas estações é chuvosa, durando quase seis meses no litoral (Novembro a Abril) e aproximadamente sete meses no interior (meados de Outubro a meados de Maio), e a outra é seca, abrangendo os restantes meses do ano. O período de transição entre estações ocorre nos meses de Maio e Outubro [12]. Os valores pluviométricos das precipitações e escoamentos são descritos nos pontos 3.1.

### **3.1 A unidade hidrográfica de Cabinda**

Em termos de vertente, a unidade hidrográfica de Cabinda não faz parte das 5 vertentes geralmente referidas na maioria da bibliografia sobre Angola [7]. Isto acontece porque as 5 vertentes são internas e Cabinda está separada fisicamente do resto do território nacional como referido no ponto anterior. Ainda assim, a unidade hidrográfica de Cabinda, faz parte das 11 regiões hidrográficas do país e uma das 22 unidades hidrográficas de Angola. É constituída por 4 bacias hidrográficas, das quais 3 são de pequenas dimensões e uma é de média dimensão que atravessa as fronteiras de Angola, a República do Congo e a República Democrática do Congo. Essas bacias hidrográficas são consideradas de exoreias pois drenam para o mar. O rio Lubindo não é endorreica, pós ele drena as suas águas para o mar através de um canal estreito, contrariamente a ideia veiculada localmente [7] [13]. As bacias acima referidas são constituídas de sedimentos quaternários e rochas sedimentares de origem marinha com grau de consolidação variado (areia, argila e latrite).

A água produzida nas rochas dos rios de Cabinda é muito pequena, numa média de 1 litro por segundo, podendo aumentar com a profundidade. A espessura de sedimentos quaternários não é conhecida e o aquífero terciário ou Cretácico subjacente pode causar o aumento da produção de água. O aumento médio não ultrapassa os 3 litros por segundo. Encontramos ainda ao longo do rio Chiloango sedimentos aluviais recentes de altas potencialidades em

águas subterrâneas. A ocorrência de depósito aluvial a sul do rio pode fornecer grandes quantidades de água subterrânea a jusante e provavelmente salgada [7].

Cabinda regista precipitações médias anuais superiores a 1100 mm e temperaturas anuais que variam entre 18° e 31°C. A temperatura em Cabinda atinge os valores médios anuais acima de 24°C, com um mínimo de 18°C. Em Março (no litoral) ou ainda no mês Abril (no interior) registam-se temperaturas mais elevadas a volta dos 27°C. Durante os meses de Julho e Agosto na estação seca, registam-se as temperaturas mais baixas, à volta de 21°C. A humidade relativa apresenta valores médios anuais de 86% no município de Cabinda e 88% no Buco Zau [13] [14].

A falta de uma rede hidrométrica, estações meteorológicas e udométricas suficientes, em Cabinda, justificou uso de dados elaborados em trabalhos anteriores por duas fontes principais: o Plano Nacional da Água do Ministério da Energia e Água (MEA) de Angola [13] e A Rapid Water Resources and Water Use Assessment for Angola [7]. A referência [13] foi a mais utilizada, neste contexto, por esta utilizar um espaço de tempo mais amplo do que a segunda, conferindo assim maior fiabilidade na obtenção da descarga específica da bacia em estudo. Logo a seguir temos os valores de precipitações e escoamentos médios mensais, anuais e semestrais da unidade hidrográfica da região em estudo.

O período de registo dos dados de precipitação explorados nesta dissertação é de 73 anos, vide tabela 3.1 e o diagrama representado na figura 3.3. Neste intervalo de tempo, não aconteceu interrupção no registo dos dados. Os dados obtidos provêm de 4 estações meteorológicas do INAMET em Cabinda, nomeadamente no Posto do aeroporto de Cabinda, no Posto de Belize, no Posto de Buco Zau e no Posto de Chiaca [7] [13]. Os parâmetros estatísticos das séries destes registos de precipitações em estações estão apresentados resumidamente na tabela 3.1 e consolidados no diagrama da figura 3.3.

Tabela 3.1 -Análise de parâmetros estáticos de série longa de precipitações [Adaptado de 13].

Período de Registo	1940/41-2013[mm]	Coeficiente de variação
Média Global	725,2	0,420
Média Antes 1973-1974	827,6	0,365
Média depois 1973-1974	635,9	0,442
Média entre 1944/45-1973/74	881,5	0,312
Relação média entre período de estudo e duração total	82,3%	---

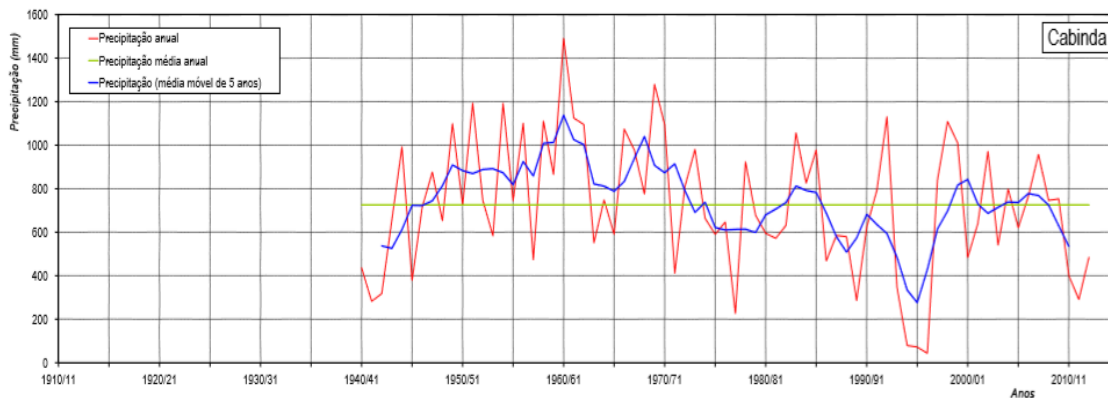


Figura 3.3 - Diagrama de precipitações anuais médias [13].

Destes registos, podemos ver que o ano 1961 é o ano de maior nível de precipitações e 2006 o ano de menor nível de precipitações. Os dados característicos do regime de precipitação anual da unidade hidrográfica de Cabinda encontram-se na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Precipitação anual e semestral característica para o ano seco ou húmido em Cabinda [adaptado de 13].

Unidade Hidrográfica	Precipitação Anual (mm)			
	Húmido	Médio	Seco	Muito seco
Cabinda	1340,2	1101,4	861,7	633,1

O valor médio anual de cada mês resultante dos registos encontra-se na tabela 3.3 e é representado no diagrama de precipitação média da figura 3.4.

Tabela 3.3 - Precipitação média mensal e anual na unidade hidrográfica de Cabinda (mm) [adaptado de 13]

Maio	Junho	Julho	Agost	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fever	Março	Abril
75,5	0,2	0,5	1,1	6,9	54,1	181,8	124,6	123,9	162,1	185,2	185,5
Semestre seco				Semestre Húmido				Ano			
138,4				963				1101,4			

Graficamente, os dados da tabela 3.3 estão apresentados pelo diagrama da figura 3.4. Podemos notar que durante os 6 meses do período chuvoso, as precipitações apresentam níveis acima dos 100 mm mensais, chegando até aos 185 mm. Durante os dois meses de transição, a precipitação situa-se entre 50 e 70 mm e valores nulos, ou quase nulos, no resto do tempo seco. Neste último período referido, verifica-se uma diminuição do nível de precipitações, assim como das temperaturas e da insolação directa. O aparecimento de nevoeiro é também muito comum neste período. Nos meses de Junho e Julho, as precipitações atingem apenas 0,2 mm e 0,5 mm, respectivamente. O período de transição, de 10 a 12 dias no litoral e 15 dias no interior, pode ter início durante os meses de Maio e Setembro (para o litoral) ou Outubro (para o interior) [12].

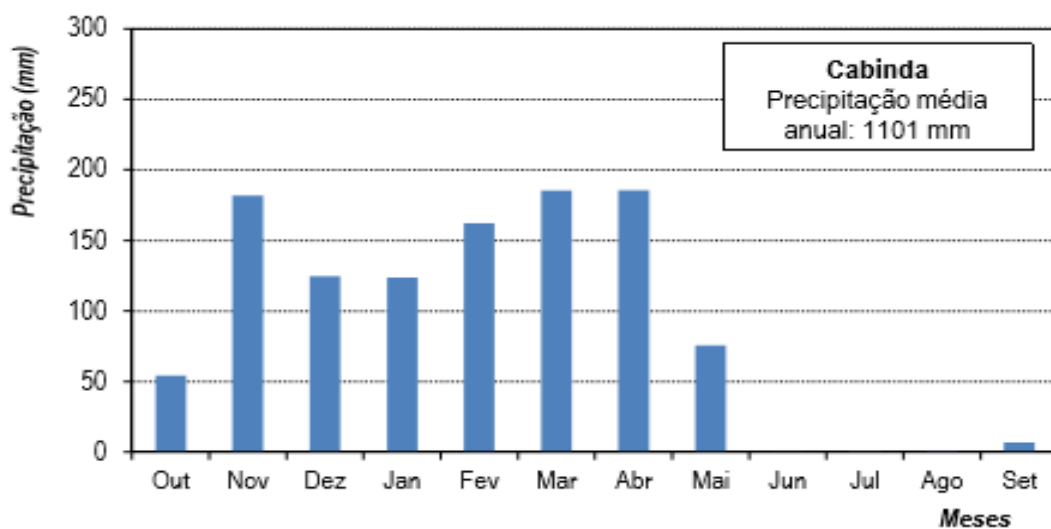


Figura 3.4 - Diagrama de precipitações médias [13].

Na parte litoral da província (baixa altitude), os valores da pluviosidade são de 791,3 mm, aumentando com a altitude no interior. Especificamente no município do Buco Zau, com altitudes de 350 metros, obtemos valores superiores a 1258 mm. Ainda no interior, em Belize, os valores de pluviosidade ultrapassam os 1580,5 mm. Cabinda apresenta valores médios da precipitação anual acima de 1100 mm, tal como no resto das regiões litorais e centrais de Angola [14].

Tal como na determinação da precipitação, a fim de garantir uma boa representatividade, os resultados do escoamento aqui explorado foram obtidos num horizonte temporal de 30 anos [13].

Os parâmetros característicos do escoamento na unidade hidrográfica de Cabinda encontram-se na tabela 3.4.

Tabela 3.4 - escoamento anual na unidade hidrográfica de Cabinda [13].

Unidade Hidrográfica	Escoamento (mm)				
	Anual				
	Húmido		Médio	Seco	
	Médio				Muito
Cabinda	323,7	303,7	266,7	209	192,8

Na tabela 3.4, temos valores anuais do escoamento da unidade hidrográfica de Cabinda quer sejam em período húmido, tal como seco. Constatamos que o escoamento médio é de 266,7 mm. Nas condições de extrema humidade, o escoamento é de 323,7 mm e por fim, em condições de extrema seca, o valor do escoamento é 192,5 mm. E por fim, as condições de escoamento dentro da unidade hidrográfica em ano seco ou meio húmido são respectivamente 209 mm e 303,7 mm respectivamente.

A distribuição espacial do escoamento mensal, semestral e anual da unidade Hidrográfica para um período de 30 anos entre 1944/45 a 1973/74 está representada de forma sintetizada na tabela 3.5 e no anexo 4 em maior pormenor.

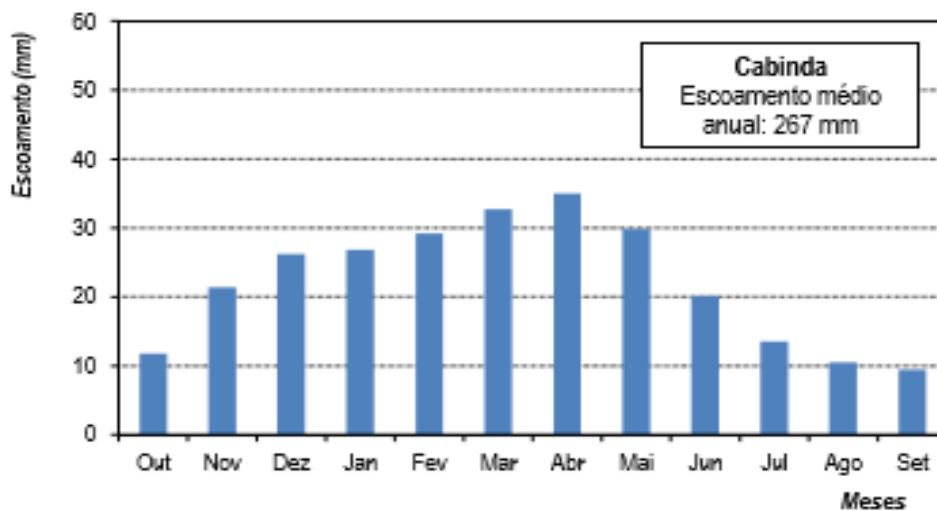


Figura 3.5 - Diagrama de escoamento médio mensal para a província de Cabinda [13].

Da observação dos dados da tabela 3.5, e a tendência da curva na figura 3.5, podemos constatar que contrariamente ao regime de precipitações nulo observado em alguns meses do ano na unidade hidrográfica de Cabinda, o regime de escoamento não se anula. Mesmo baixando fortemente, mantém-se a volta de 10 mm.

Tabela 3.5 - Valores do escoamento na unidade Hidrográfica de Cabinda [adaptado de 13].

Mês	Valor do escoamento		
	Máximo	Médio	Mínimo
Janeiro	43,5	26,8	11,7
Fevereiro	41,7	29,2	17,6
Março	44,6	32,7	17,4
Abril	48,3	35	17,9
Maio	47,6	29,9	16,2
Junho	33,5	20,1	11,9
Julho	19,6	13,5	9,7
Agosto	13,2	10,5	8,7
Setembro	10,8	9,4	8,3
Outubro	19,7	11,8	8,7
Novembro	40,9	21,4	10,9
Dezembro	40,3	26,2	10,9
Semestre Seco	134,9	95,3	66,4
Semestre Húmido	228,8	171,4	102,1
Ano	338,1	266,7	169,9

Observa-se unicamente uma redução do caudal neste período. Contrastando com a realidade na parte sul do país onde encontramos rios que secam por completo.

### 3.2 Bacia hidrográfica do rio Chiloango

A bacia hidrográfica do rio Chiloango na figura 3.6 é a maior bacia da unidade hidrográfica de Cabinda. Ela tem uma superfície total de 12 570,5 km<sup>2</sup>, um perímetro de 515 Km, uma elevação máxima de 880 m e uma altura média de 237 m. A bacia estende-se das zonas costeiras do oceano Atlântico em Cabinda, entra ligeiramente no território da República do Congo e de maneira mais significativa no território da República Democrática do Congo, através das sub bacias dos afluentes do rio Lukula. O escoamento médio anual da bacia do rio Chiloango é 266,7 mm por ano e um regime de precipitações média anual igual a 1101,4 mm [13]. Contribuindo para um caudal médio anual de 114, 9 m<sup>3</sup>/s [7] [15].

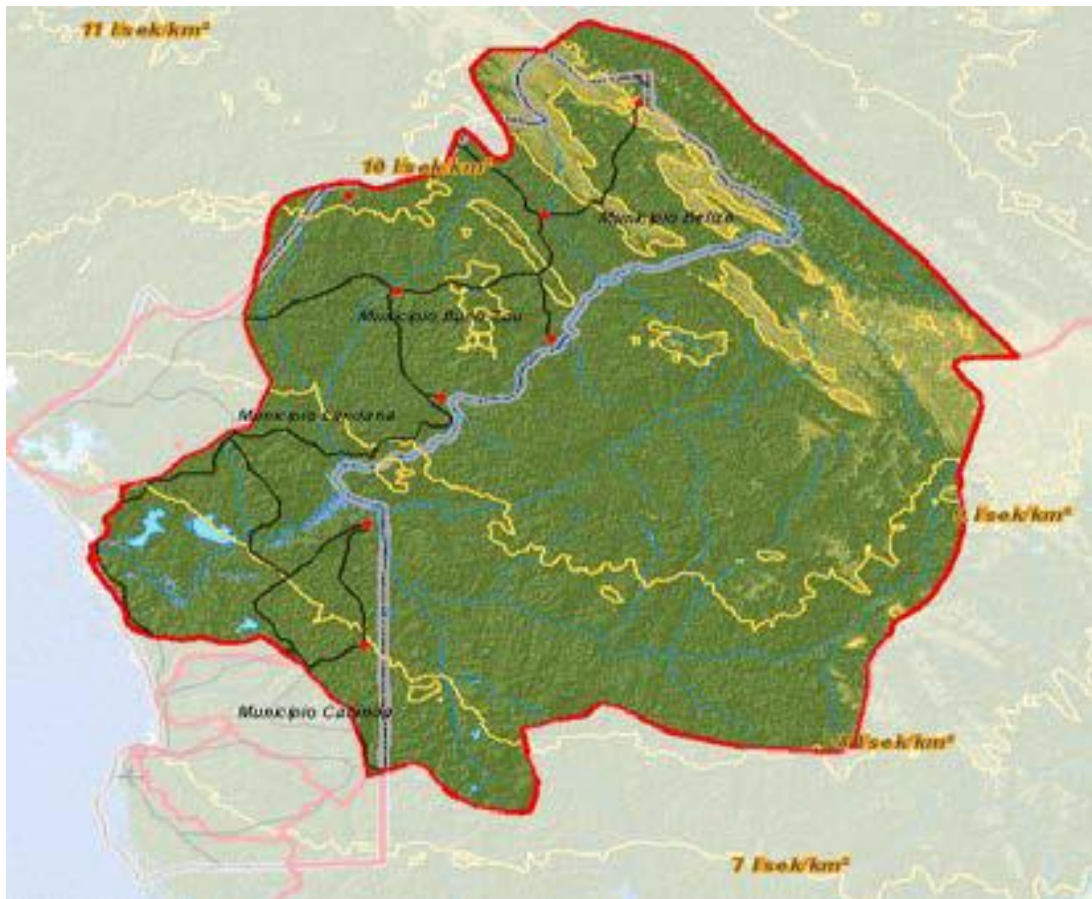


Figura 3.6 - Bacia hidrográfica do Rio Chiloango [7].

O desenvolvimento de programas computacionais veio revolucionar as técnicas de aquisição, armazenamento e análise de dados geográficos de diversas fontes (satélites, mapas, cartas climatológicas), permitindo assim realizar a caracterização geográfica de um determinado local, a partir do Sistema de Informação Geográfica. Pelo que, na falta de dados hidrométricos para o nosso ponto de estudo, recorreremos ao programa ARCGIS para delinear a área da bacia, que em combinação com os dados do escoamento permitem calcular o caudal e determinar a cota do local numa proporção mais realista.

Das várias aplicações contidas no ARCGIS, fizemos uso do ARCMAP e do ARCTOOLBOX para realizar a análise hidrológica, a análise do terreno e a elaboração de mapas através da análise espacial. A caracterização morfológica da bacia e da rede de drenagem a ela associada foi feita com base nas ferramentas *Spacial Analyst Tools*, contidas na ARCTOOLBOX. A partir do Modelo digital de elevação (MDE) ou do modelo digital de terreno (MDT), foi delimitada a rede de drenagem. Isto permitiu, conseqüentemente, delimitar a sub bacia em estudo, calcular a sua área, o seu perímetro, o seu declive, e modelar o seu escoamento superficial.

A figura 3.7 refere-se ao modelo digital de elevação da província de Cabinda e às áreas circunvizinhas.

### MDE CABINDA E MZINHANÇA

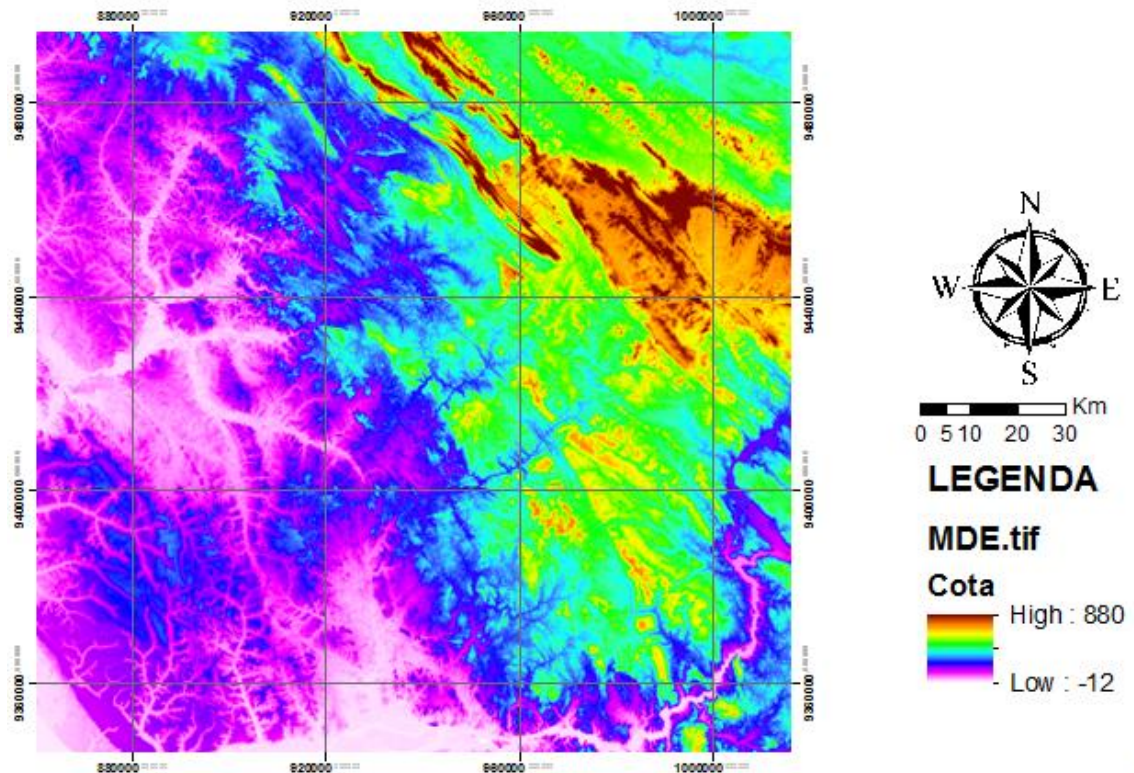


Figura 3.7 - Modelo digital de elevação de Cabinda e áreas circunvizinhas.

A análise hidrológica começa pela adição dos dados matriciais caracterizados por grelhas rectangulares de células associadas a um atributo, em valor numérico, correspondente a uma altitude num espaço tridimensional. Estes dados matriciais estão contidos num suporte numérico designado por modelo digital de elevação (MDE) ou modelo digital de terreno (MDT) (Figura 3.7) obtido por digitalização remota [16].

Para cobrir a província de Cabinda na sua totalidade e, em particular, o resto da bacia do rio Chiloango, foi necessário recorrer a vários MDT's, associados. Unimo-os para constituir uma imagem única (Figura 3.7).

Para evitar uma possível interrupção do escoamento na nossa rede hidrográfica, foi feita a remoção das depressões no MDT, resultando na figura 3.8, que constitui a correcção da altimetria ou cota mínima de -2 metros ao invés de -12 metros iniciais, do MDT.

Da correcção do MDT, passamos a verificar a direcção do fluxo de escoamento da água de acordo com as direcções do escoamento nas células que compõem o MDT preenchido desde os pontos mais altos (acima) aos pontos mais baixos.

### MDE CABINDA SEM DEPRESSÃO

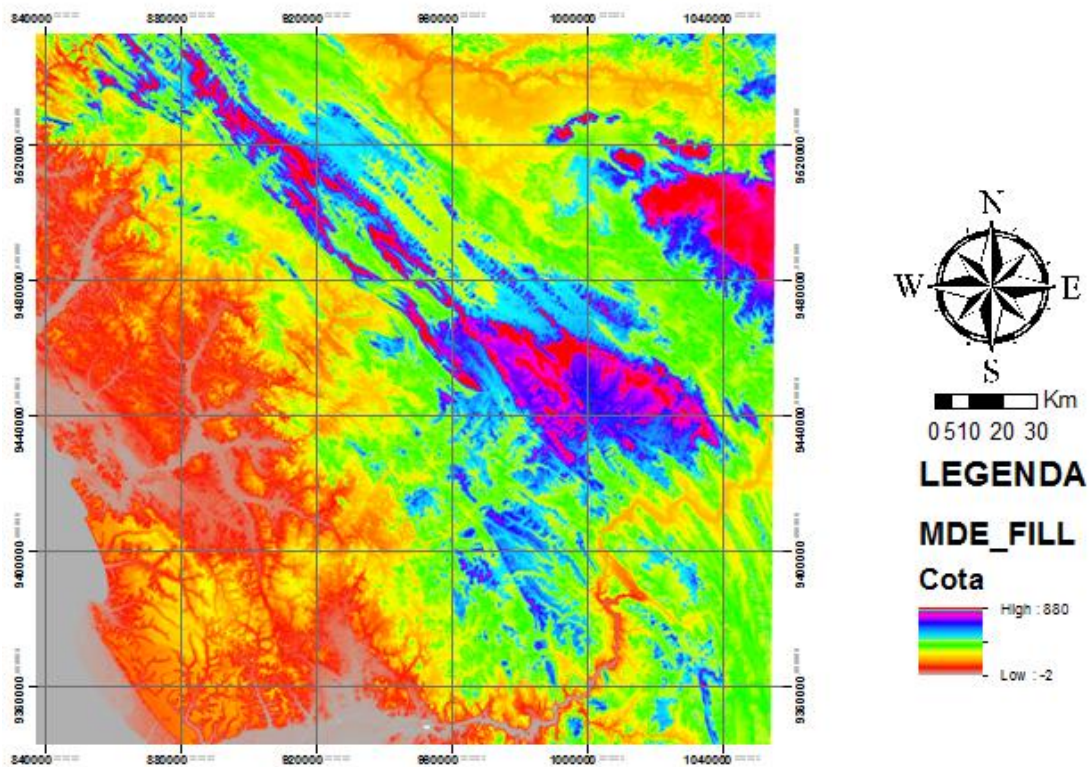


Figura 3.8 - Preenchimento de depressões.

A imagem matricial das direcções do fluxo representadas pelos códigos 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 é ilustrada pela figura 3.9. Esta figura representa as direcções de escoamento das águas na bacia hidrográfica.

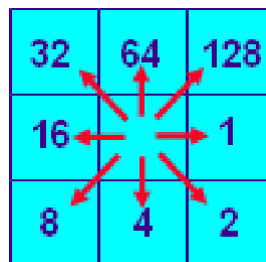


Figura 3.9 -Direcções de escoamento [17].

Na figura 3.10, vemos na legenda as direcções de escoamento da água do MDT representado pelos códigos acima referidos.

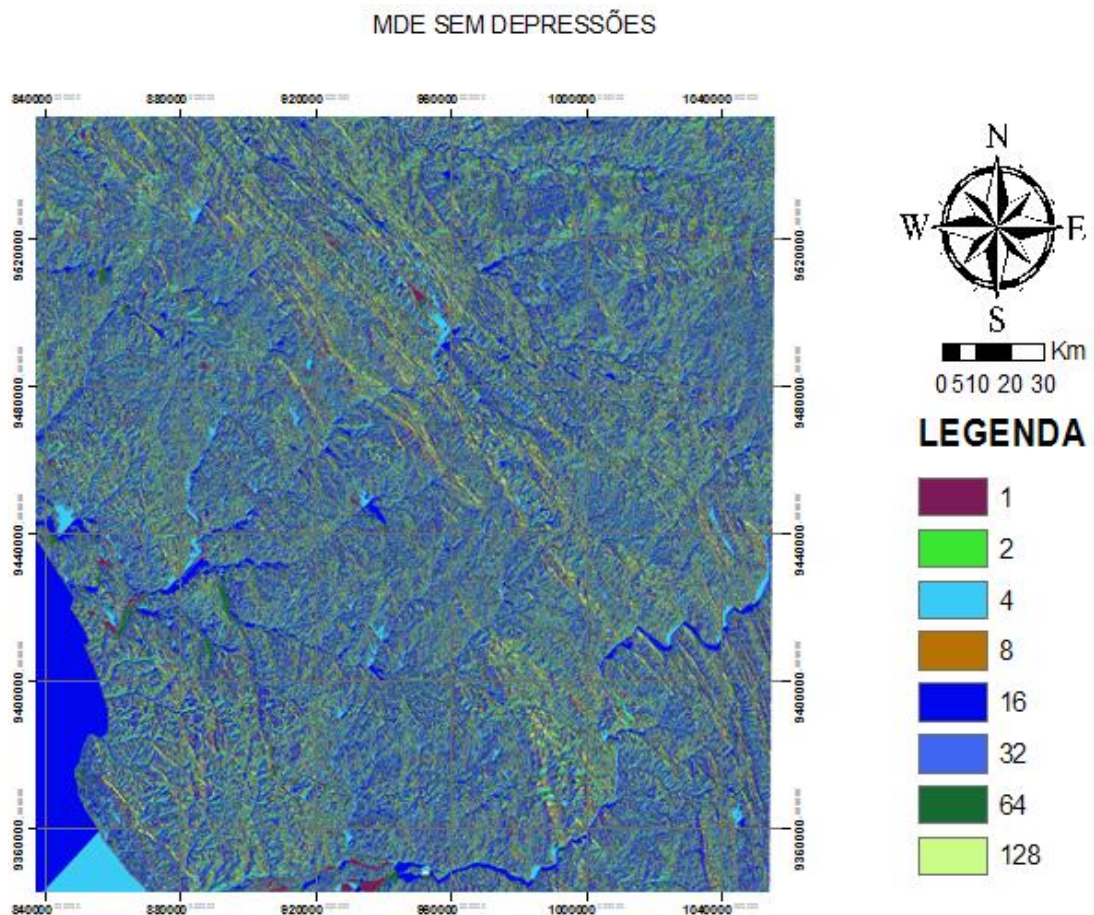


Figura 3.10 -Direcção do escoamento das águas na bacia Chiloango.

O escoamento de água acumulada depende das direcções indicadas na figura 3.9 e é apresentado na figura 3.10. A figura 3.11 representa a imagem matricial do escoamento da água acumulada na bacia. Esta imagem é constituída por  $1,250697 \times 10^6$  células.

Na figura 3.11, está representada a classe dos rios de maior caudal. Em seguida, foram classificados hierarquicamente os cursos da água por ordem de ramificação dentro da bacia pelo critério de HORTON, modificado por STRAHLER, segundo qual os afluentes que não se ramificam são de primeira ordem. O critério de STRAHLER modificado leva então o nome dos dois autores chamado da partir de aí por Critério de Horton-Strahler.

Os cursos de água onde desaguam afluentes não ramificados são ditos de segunda ordem. A bifurcação de afluentes de segunda ordem gera os de terceira ordem e assim sucessivamente [18].

Separando a Hidrografia da imagem matricial em troços separados, vemos que o curso da água na nossa bacia contém 1 250 697 afluentes.

### LINHAS DA ÁGUA DA ÁREA DE ESTUDO

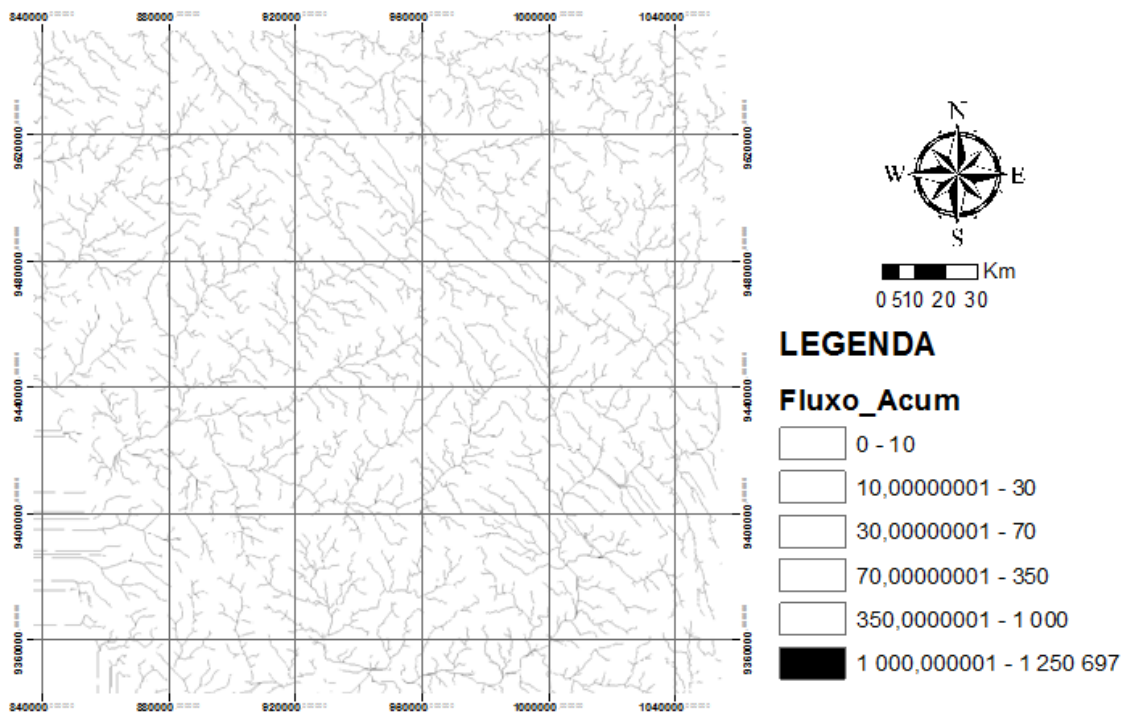


Figura 3.11 - Caudal acumulado e linhas de água na bacia do Chiloango.

A figura 3.12 ilustra as linhas da água e respectivas classes na bacia do rio Chiloango, conforme referido anteriormente.

Da imagem matricial dos segmentos do rio e da imagem matricial da direcção do escoamento, temos a classificação hierárquica dos afluentes e do rio principal (figura 3.12). Podemos constatar que a maior ordem de classificação dos cursos da água na nossa bacia é 5.

Transformando a imagem matricial da ordem dos afluentes, reclassificados em imagem vectorial de linhas da água, facilita a visualização e a rotulagem dos afluentes da rede hidrográfica.

Após classificação e vectorização, podemos criar uma *shapefile* de linha que corta a linha principal do curso da água do projecto a partir do ponto de interesse. Faz-se em seguida as delimitações das sub bacias hidrográficas da região, através da ferramenta *Basin* no Arctoolbox contido no ARCGIS. Das etapas supracitadas, resulta a figura abaixo 3.13.

Das sub bacias obtidas pela delimitação na figura 3.13, identificou-se a área de interesse. Procedeu-se à sua extracção do conjunto das sub bacias, criando um *shapefile* polígono da área em estudo, delimitada geograficamente como superfície de escoamento do fluido. A

região considerada é caracterizada por uma área igual a 3560070858,55 m<sup>2</sup> e um perímetro de 357032,2 m.

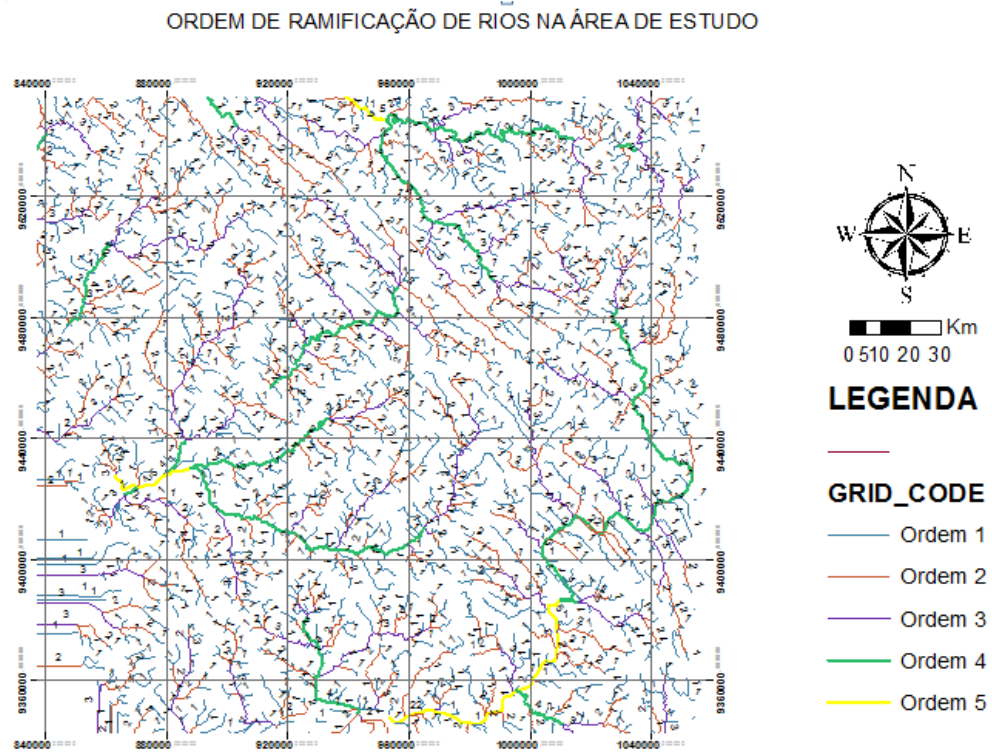


Figura 3.12 - Vectorização do Rio Chiloango com critério de Strahler.

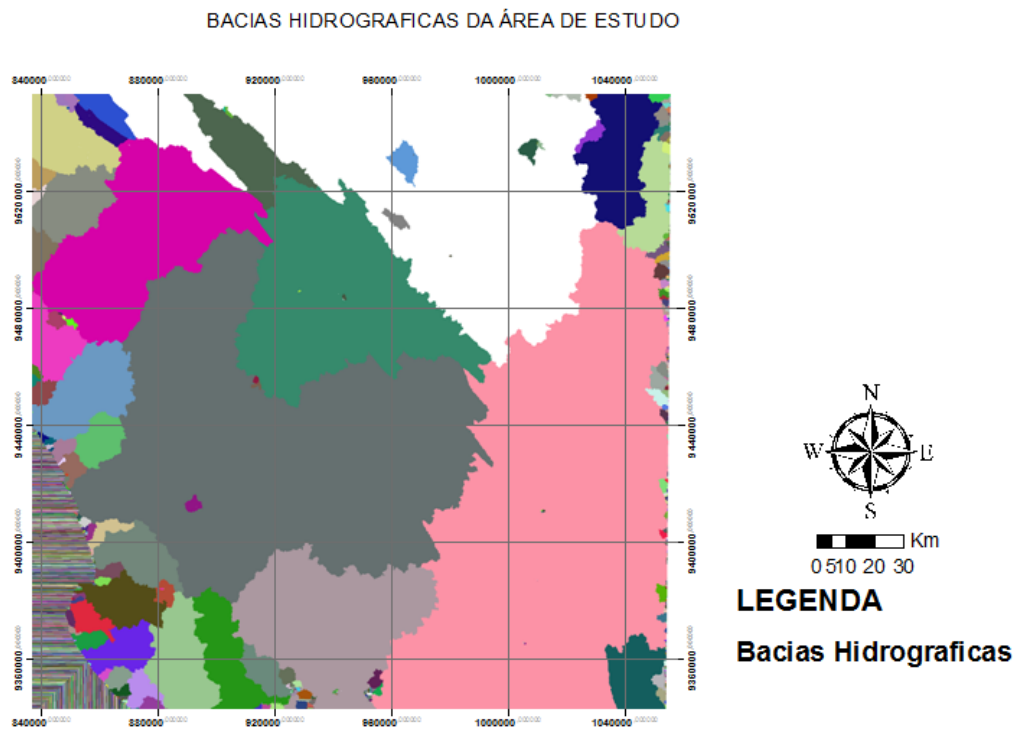


Figura 3.13 -Sub bacias da bacia do Chiloango e arredores

É de realçar que a imagem matricial contém erros de digitalização que faz com que apareçam falhas na imagem original. Contudo isso não afecta em nada a qualidade da análise aqui realizada.

A figura 3.14, mostra a sub bacia ou a zona de interesse em destaque, limitada exteriormente pelos divisores da água.

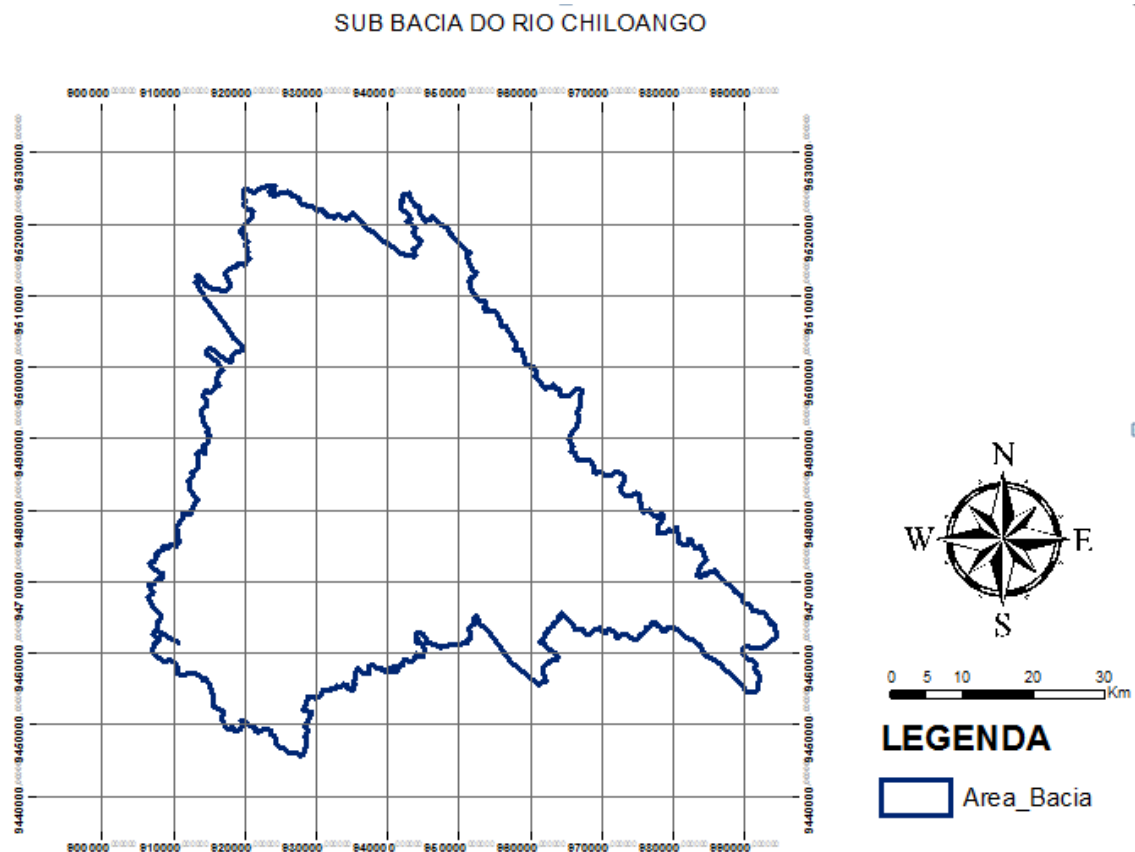


Figura 3.14 - Polígono da sub bacia do Chiloango.

A partir do polígono da figura 3.14 constituído pela área da sub bacia e a imagem matricial do Modelo digital de terreno da figura 3.8, fez-se o recorte da área na imagem matricial resultando na figura 3.15 com nomeadamente as seguintes características:

- Altitude mínima de 23 m acima do nível médio das águas do mar;
- Altitude máxima de 877 m acima do nível médio das águas do mar tal como podemos ver na figura 3.15.

## MDE SUB BACIA CHILOANGO

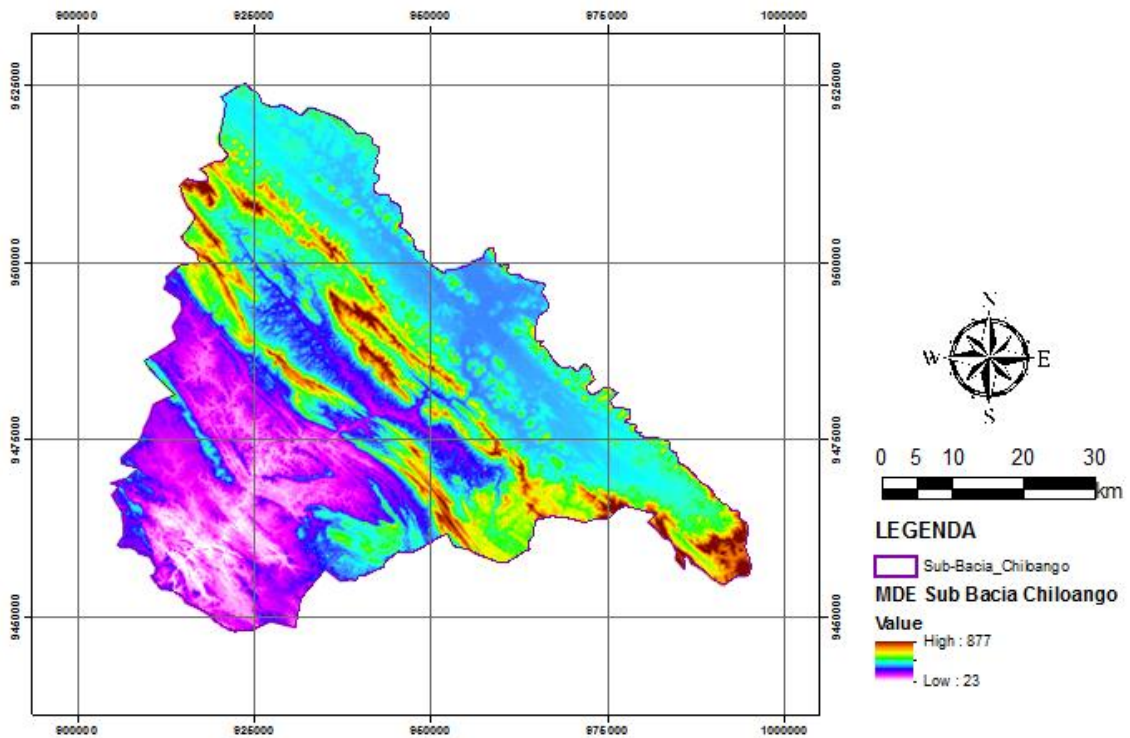


Figura 3.15 -Recorte MDT da Sub Bacia do Chiloango.

O local objecto do nosso estudo, ilustrado pela imagem fotográfica da figura 3.16 é uma área fronteiriça, situada ao longo do rio Chiloango, que serve de fronteira física entre a República Democrática do Congo e a República de Angola. Precisamente nos arredores da aldeia Vemba Siala, na comuna de Necuto, Município de Buco-Zau, Província de Cabinda, como mostra o ponto de intersecção em vermelho nas imagens sobrepostas da figura 3.17.



Figura 3.16 - Fotografia do local de estudo (Vemba Siala).

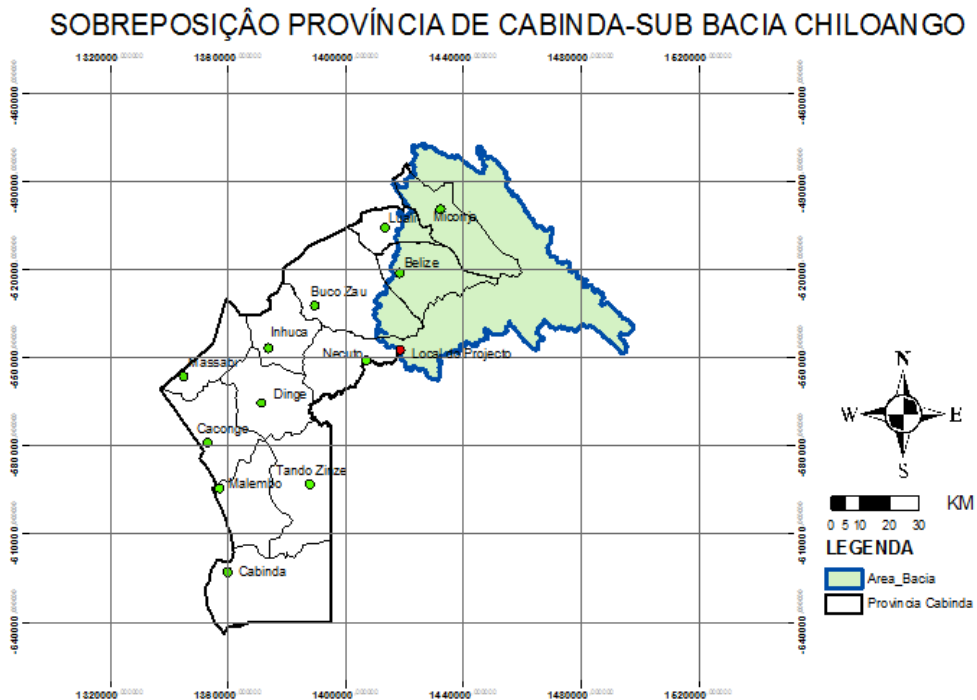


Figura 3.17 - Ponto de Instalação com a província e a sub bacia sobrepostas.

As curvas hipsométricas, de altitude média, da altura média, do perfil do rio, do declive do leito, do declive dos terrenos, do índice de declive da rocha, a curva hidrodinâmica, o coeficiente de massividade e o coeficiente orográfico servem para caracterizar o relevo. Pelo que, a partir do ARCGIS foi digitalizado o rio principal, desde a foz junto ao mar, até à parte mais extrema. Desta operação, obtivemos cotas em diferentes pontos do rio, apresentadas na figura 3.18. É de lembrar que este gráfico pode ser processado em ARCGIS, mas optamos pelo Excel por apresentar melhor definição e poder usar para cálculos mais específicos. Convém de igual modo, nesta parte, assinalar as saliências frutos da dificuldade do programa em digitalizar alguns pontos tal como rochas.

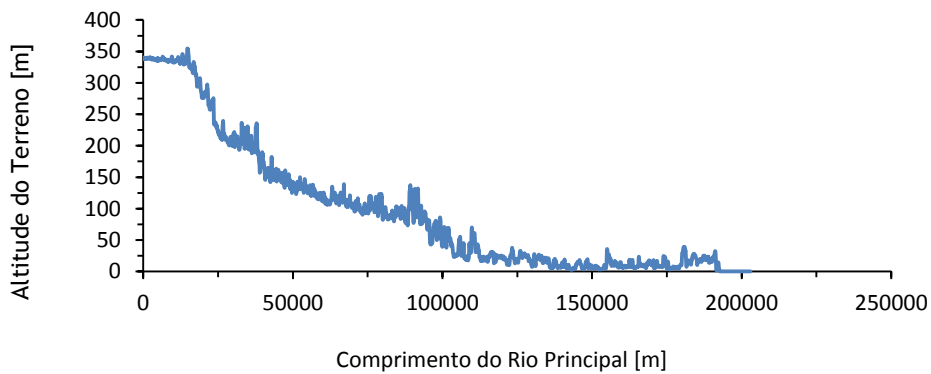


Figura 3.18 - Perfil do rio Chiloango.

De igual modo, fizemos a digitalização de um pequeno trecho entre a provável tomada da água e a sala de máquinas onde será realizado o aproveitamento hidroeléctrico. A Figura 3.19 mostra então o perfil do rio nesta região aproximada, cujos valores de altura em cada ponto do rio podem ser consultados no anexo 5.

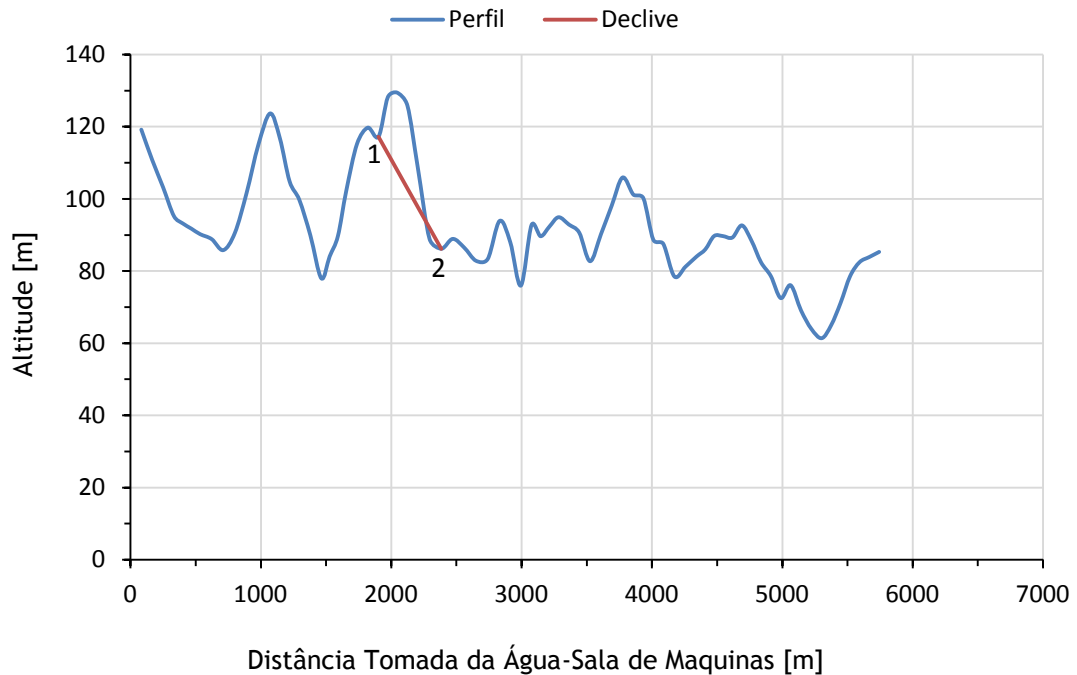


Figura 3.19 - Perfil do trecho para projecto.

Como podemos ver na figura 3.19, a distância entre a tomada de água (ponto 1) e o local de restituição das águas no rio (ponto 2) é aproximadamente 482 m. A diferença de cotas entre estes dois pontos é aproximadamente 31 m. Assim sendo, o declive entre os nossos dois pontos é obtido pela equação 3.1.

$$D_e = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{L} \times 100 \quad 3.1$$

Na equação 3.1,  $A_{\max}$  é a cota da tomada de água,  $A_{\min}$  é a cota do local de restituição das águas no rio e  $L$  é a distância horizontal entre os dois pontos anteriores.

$$D_e = \frac{117.2 - 86.16}{481.79} \times 100$$

$$D_e = 6,44\%$$

# Capítulo 4

## Análise Energética da Bacia do Chiloango

O rio Chiloango é um rio perene pois ele escoa durante todo ano e é alimentado continuamente por afluentes de diferentes regimes, precipitações ou ainda por aquíferos. As águas provenientes das precipitações não retidas superficialmente, não infiltradas e não evaporadas, são escoadas na superfície das linhas de cabeceira da bacia até as zonas profundas dos vales, constituindo assim os cursos da água deste rio.

### 4.1 Curva de ocorrência de caudais

O dimensionamento de uma CMH tem por base, além da diferença de cotas, o caudal que flui em determinada secção do rio. Para os recursos hídricos, o volume de água que atravessa uma determinada secção transversal, dado um intervalo de tempo, é chamado de caudal. A viabilidade do aproveitamento depende da determinação de vários caudais, nomeadamente o caudal modular, o caudal em ano seco, o caudal em ano húmido, o caudal de cheias, o caudal ecológico e o caudal turbinado [19].

O caudal de um rio depende do tamanho da sua bacia hidrográfica, da pluviosidade neste local, da permeabilidade dos solos da bacia, do tempo de escoamento. Estes factores determinam a quantidade de água que chega ao leito do rio. Existe portanto vários tipos de escoamentos [18], nomeadamente:

- O escoamento em canais com superfície livre;
- O escoamento sobre plano inclinado;
- O escoamento superficial para colectores;
- O escoamento superficial em bacias hidrográficas.

Para determinar o caudal de um rio numa bacia hidrográfica, deve-se definir primeiro um ano padrão no qual a distribuição da precipitação anual nesta área é igual à distribuição das precipitações médias, num período mais ou menos largo (entre 20 a 30 anos) [13]. É também necessário ter conhecimento da distribuição dos caudais em situações de carência ou excesso de precipitação durante o período considerado. Todos estes parâmetros permitem determinar os limites de funcionamento da CMH a ser projectada.

Por forma a conhecer o comportamento do rio Chiloango, em termos de caudais, ao longo dos vários meses do ano, foi também calculado o caudal médio mensal. Este é obtido através da relação entre a área da bacia hidrográfica e o valor médio do escoamento para cada mês, dentro da área considerada. Os valores mensais do escoamento, presentes na tabela do anexo 4 e na tabela 2.5, permitem então obter os caudais médios mensais através equação 4.1.

$$Q_{ma} = \frac{A \times H}{30 \times 24 \times 60 \times 60} \quad 4.1$$

Onde H é o escoamento superficial médio da bacia durante mês, em m de água e A é Área da bacia hidrográfica do rio Chiloango. O diagrama da figura 4.1 com os seus respectivos caudais mensais, resulta dos cálculos obtidos através da equação 4.1.

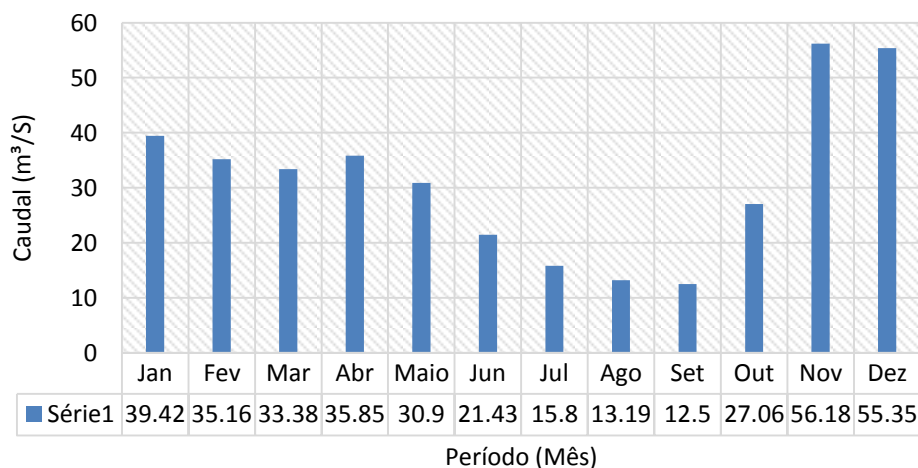


Figura 4.1 - Caudais médios mensais na bacia do rio Chiloango.

Para metade do ano, o caudal médio semestral escoado na área,  $Q_{me}$ , é obtido pela equação 4.2.

$$Q_{me} = \frac{H \times A}{6 \times 30 \times 24 \times 60 \times 60} \quad 4.2$$

Analogamente à expressão 4.2, temos o caudal médio modular  $Q_{mod}$  [18] determinado a partir da área da bacia e do escoamento médio anual no período de ocorrência de um ano. Este é obtido pela equação 4.3.

$$Q_{mod} = \frac{H \times A}{12 \times 30 \times 24 \times 60 \times 60} \quad 4.3$$

À semelhança do ponto anterior, o escoamento em ano húmido observado na tabela 3.4 é igual a 307,9 mm e corresponde ao ano 1970. Os caudais mensais para o ano húmido de 1970, obtidos pela equação 4.1, estão apresentados na figura 4.2.

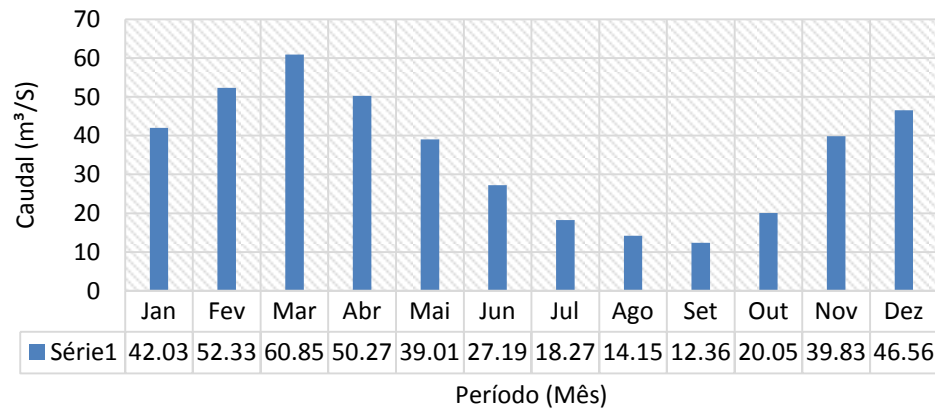


Figura 4.2 - Caudais médios mensais para o ano húmido de 1970, na bacia hidrográfica do rio Chiloango.

Partindo da tabela 3.4, sobre fortes condições de humidade, temos um escoamento de 326,2 mm, correspondente ao ano de 1961. Induzindo, a partir da relação 4.3, os valores de caudal mensal que se encontram na figura 4.3.

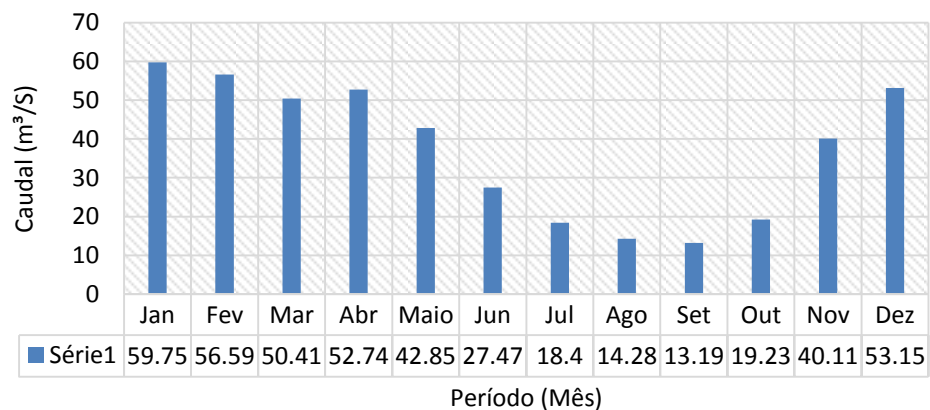


Figura 4.3- Caudais médios mensais para o ano muito húmido de 1961, na bacia hidrográfica do rio Chiloango.

O ano padrão seco resulta da distribuição dos escoamentos (anexo 4) que resultam nos segundos menores caudais médios anuais, comparativamente aos dados da tabela 3.4. Estes valores são representativos de períodos onde há carência de chuvas. Este caudal resulta de um escoamento anual de 233,8 mm, correspondente ao ano de 1947/48.

Os caudais médios mensais, obtidos da equação 4.1, são apresentados na figura 4.4. O seu valor anual correspondente pode ser consultado na tabela 4.1.

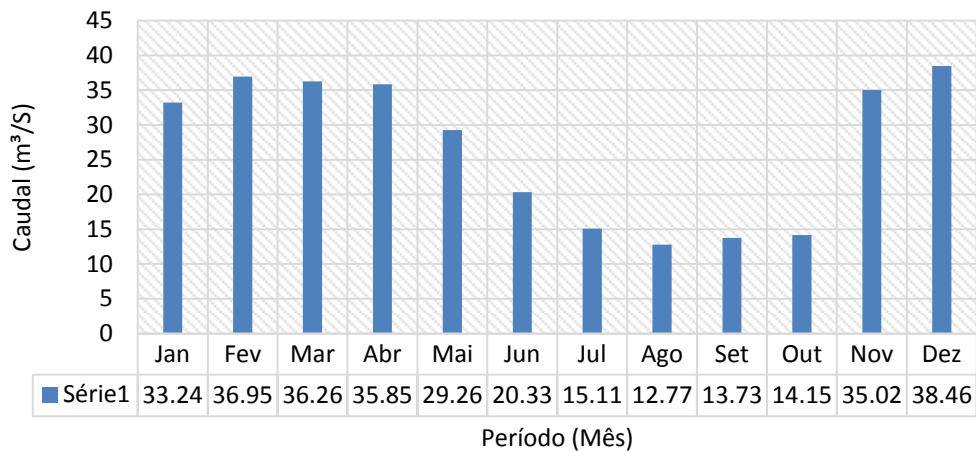


Figura 4.4 - Caudais médios mensais para o ano seco de 1947/48, na bacia hidrográfica do rio Chiloango.

De igual forma, aplicando os dados do anexo 4, para condições de seca extrema, temos um escoamento de 197,3 mm, correspondente ao ano de 1966. Utilizando novamente a equação 4.1, obtivemos os valores dos caudais médios mensais apresentados na figura 4.5.

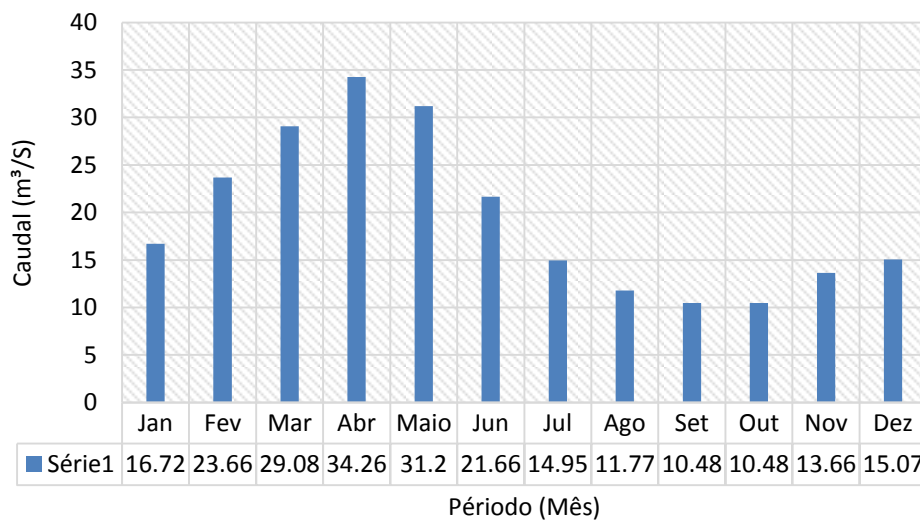


Figura 4.5 - Caudais médios mensais para o ano muito seco de 1966, na bacia hidrográfica do rio Chiloango.

Partindo da equação 4.3 foi possível determinar os valores dos caudais médios anuais para diferentes condições. Estes resultados são apresentados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Caudais médios anuais para diferentes condições de escoamento.

Área = 3560070858,55 m <sup>2</sup>		
Caudais	H [mm]	Q [m <sup>3</sup> /s]
Caudal médio modular	266,7	30,53
Caudal em ano seco	233,8	26,76
Caudal em ano muito seco	197,8	22,64
Caudal em ano Húmido	307,9	35,24
Caudal em ano muito húmido	326,2	37,34

A construção de uma central hidroeléctrica num rio altera o regime hidrológico do mesmo com efeito antropogénico no ambiente e impacto no seu ecossistema. Esta alteração é caracterizada pela tomada da água, pela modificação do regime de caudal, pela flutuação de caudais e pela alteração das características da bacia de drenagem. Para minimizar o impacto negativo das acções praticadas, é reservado um caudal mínimo que deve continuar a fluir normalmente no leito do rio. Esta quantidade é chamada de caudal ecológico.

O conceito de caudal ecológico adoptado neste trabalho é o que consta do plano nacional da água de Portugal [20]. Que o define como sendo o caudal mínimo a manter no curso de água para permitir a conservação e a manutenção dos ecossistemas aquáticos naturais, ripícolas, aspectos estéticos da paisagem e outros de interesses científicos ou culturais.

A definição qualitativa do bom estado ecológico de um rio deve satisfazer:

- As necessidades das espécies de fauna piscícola;
- Assegurar um caudal de limpeza para remover sedimentos finos e contenção da vegetação;
- Assegurar um caudal de manutenção da estrutura do leito e planícies de inundação;
- Assegurar o caudal de manutenção de zonas húmidas, estuários e deltas.

Para a estimação do caudal ecológico deve se ter em conta três componentes do hidrograma:

- A alimentação do rio a partir do aquífero em períodos de escassez de chuvas;
- As pequenas precipitações;
- As grandes cheias.

Actualmente existem muitos métodos para determinar os caudais ecológicos (caudais ambientais). Estes métodos são classificados em 4 grupos principais: os métodos hidrológicos, os métodos hidráulicos, os métodos de simulação do habitat e os métodos holísticos. Podemos

ainda proceder à atribuição de uma percentagem  $\alpha$  ao módulo do caudal [A2] e [21]. O caudal ecológico é deste modo obtido a partir da equação 4.4.

$$Q_e = \alpha Q_{\text{mod}} \quad 4.4$$

Na equação 4.4,  $Q_e$  é o caudal ecológico.

Na maioria dos casos  $3\% < \alpha < 5\%$  do caudal nominal ou modular do rio. Os documentos consultados indicam que em Angola,  $\alpha$  equivale a cerca de 20% do caudal modulado como caudal ecológico que deve fluir no leito do rio para garantir a manutenção de um ambiente biofísico saudável [A2] [15].

Visto que o caudal modular não pode ser turbinado na sua totalidade, pelas razões acima evocadas, é necessário determinar o caudal turbinável por forma a conseguir dimensionar os equipamentos. Este caudal deverá ser garantido durante mais ou menos 20% a 30% do ano. O mesmo é ainda de modo geral inferior ao caudal modular e pode ser obtido aplicando a equação 4.5.

$$Q_t = Q_{\text{mod}} - Q_e \quad 4.5$$

Nesta equação  $Q_t$  é o caudal turbinável.

Das equações 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 temos o respectivo caudal médio, modular, ecológico e turbinado. A tabela 4.2 reúne os resultados destes caudais.

Tabela 4.2 - Caudais para a bacia do rio Chiloango.

Caudais	Unidade [m <sup>3</sup> /s]
Modular	30,53
Médio	18
Turbinável	24,42
Ecológico	6,1

Os valores apresentados na tabela 4.2 constituem os principais caudais utilizados para o dimensionamento e projecto de centrais hidroeléctricas. Destes caudais, elaboramos a Curva de Duração Anual de Caudais resultante, representada na figura 4.6.

Observando a curva da figura 4.6 podemos constatar que temos um caudal ecológico de 6,1 m<sup>3</sup>/s, o que corresponde a quase metade do caudal mínimo mensal de 11,4 m<sup>3</sup>/s correspondentes ao mês mais seco (Setembro). O caudal médio semestral nesta fase de

anteprojecto, considerado também como caudal nominal [19], é garantido em 180 dias e foi estimado em 18 m<sup>3</sup>/s. O valor do Caudal turbinável, sem prejuízos de perturbações ecológicas, é de 24,42 m<sup>3</sup>/s e é garantido em 130 dias. O caudal de cheias, igual a 49 m<sup>3</sup>/s, é excedido durante 26 dias. O caudal mínimo turbinável é o limite inferior de exploração da turbina é garantido em 300 dias. Finalmente, o caudal modular de 30,53 m<sup>3</sup>/s é garantido em 90 dias

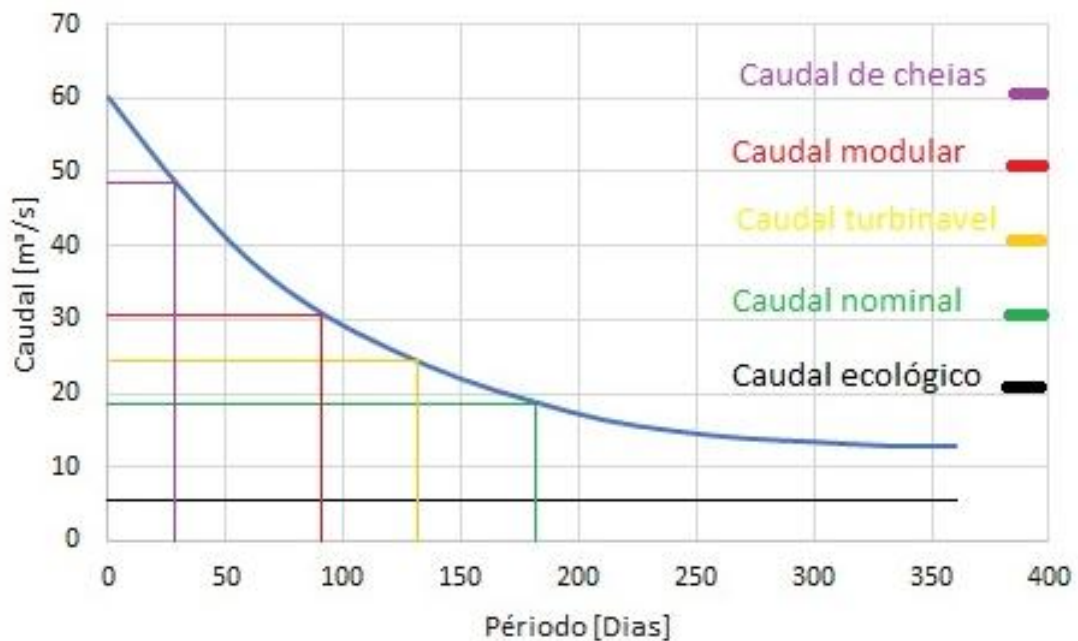


Figura 4.6 - Curva de vazão para a bacia hidrográfica do rio Chiloango.

## 4.2 Potência disponível

O aproveitamento da energia hídrica para geração de energia eléctrica é geralmente feito intercalando turbinas na trajectória do escoamento das águas. A força exercida pela água em movimento nas pás da turbina constitui a energia que faz girar o seu rotor, acoplado a um gerador eléctrico, induzindo-o a gerar energia eléctrica. O potencial hídrico é a energia potencial total de todas as partículas da água em movimento num determinado local. Na prática, só uma parte deste potencial pode ser explorada e considerada de potencial técnico. Geralmente, este potencial varia entre 15 a 40 % do potencial teórico e deve ser garantido durante 55 a 146 dias [19].

A satisfação dos consumidores é um dos critérios de base para erguer uma central hidroeléctrica no que concerne a qualidade e à quantidade da oferta energética [22]. A

avaliação da potência disponível ou teórica resultante da transformação da energia potencial de uma massa de água em energia cinética, na sua deslocação desde a cota superior a uma outra inferior, será feita com base em duas características básicas. Uma característica fixa, que é a altura de queda de água, e outra que pode ser variável, que é o caudal nominal [23]. A potência disponível  $P_d$  pode então ser encontrada aplicando a equação 2.3.

$$P_d = 9.81 \times 1000 \times 31,04 \times 18 = 5\,481\,043,2 \text{ W}$$

$$P_d = 5,48 \text{ MW}$$

Segundo Moura e Betânio, citados por Castro em [19], o valor mais realista para o rendimento global do aproveitamento, que engloba o rendimento do circuito hidráulico da turbina, do gerador e do transformador e ainda as perdas em equipamentos diversos, equivale a 81,6%. Mesmo assim, Castro considera este valor muito optimista, argumentando que o rendimento total mais plausível para um projecto corresponde a 70%, como referido no capítulo 2. Substituindo este novo rendimento na equação 2.3 resulta numa potência teórica disponível igual a:

$$P_d = 0,7 \times 9,81 \times 1000 \times 31,04 \times 18 = 3\,836\,730,24 \text{ W}$$

$$P_d = 3,8 \text{ MW}$$

### 4.3 Aproveitamentos possíveis

Cada tipo de aproveitamento está relacionado com o tipo de turbina utilizado. Para tal, deve ser feita uma escolha minuciosa da máquina. Existem 4 condições principais a levar em conta. As condições económicas, ambientais, técnicas e operacionais [19] [24]. Economicamente, a turbina pode constituir, em algumas ocasiões até 50% do investimento total do projecto. Assim sendo uma má escolha da turbina a utilizar é sinónima de prejuízos muito grandes. Tendo em conta as condições anteriormente referidas, existem ainda vários métodos para proceder à escolha da turbina, dependendo do fabricante. De entre todos, dois deles são os mais usuais. Um baseia-se no conhecimento do caudal, da altura de queda e da potência disponível. Outro baseia-se no conhecimento da velocidade específica da turbina, definida pelas relações de semelhança geométrica, cinemática e dinâmica. Para um caudal de  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ , uma altura da queda de 31,04 m e uma potência disponível de 3,8 MW, a consulta do diagrama da selecção da turbina da figura (4.7) oferece duas possibilidades, a escolha de uma turbina Kaplan ou de uma turbina Francis.

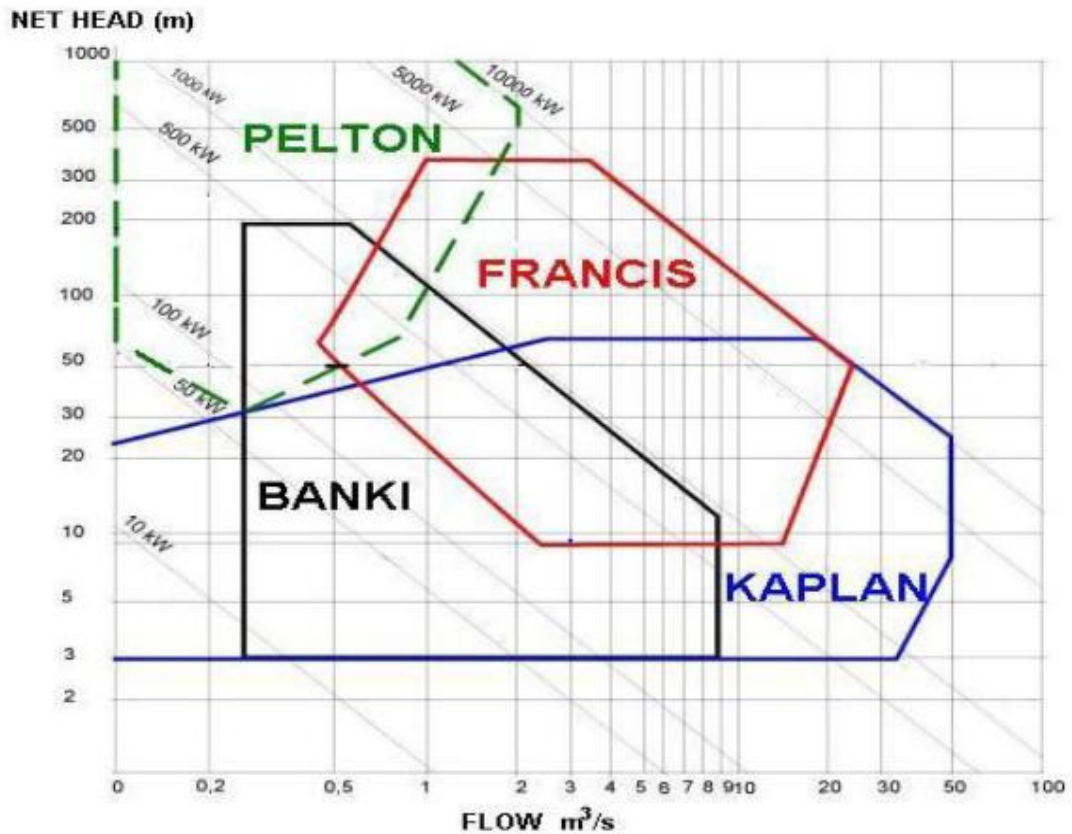


Figura 4.7 - Diagrama de selecção da turbina [25].

De forma mais aprofundada, com os dados completos sobre o projecto, a escolha da turbina baseia-se na altura útil e a potência útil. Nesta fase de anteprojecto, com a ausência de alguns dados como a queda útil por onde se obtém a potência útil, a velocidade específica será obtida pelas fórmulas empíricas  $N_s$  da tabela 4.3, baseadas somente na altura da queda bruta [23]. Este parâmetro permite determinar a geometria ideal da turbina, consultando a tabela 4.4. De acordo com os fabricantes, a turbina Kaplan foi tida como a mais viável economicamente em relação à turbina Francis, por ser a mais barata. Desta forma, será considerada apenas a turbina Kaplan.

Tabela 4.3: Fórmulas empíricas para determinar a velocidade específica de turbinas [adaptado de 23].

Tipo de turbina	Formula	Eficiência
Francis	$N_s = \frac{2300}{\sqrt{H_b}}$	94%
Kaplan	$N_s = \frac{3100}{\sqrt{H_b}}$	92%
Hélice	$N_s = \frac{2600}{\sqrt{H_b}}$	92%

De acordo com [23], as turbinas Hélice (pás fixas), Kaplan (pás de passo variável ou inclináveis), Bulbo e Straflo são consideradas da mesma classe. Isto significa que são indicadas para aproveitamentos do mesmo tipo, sujeitos a condições semelhantes. Assim sendo, e sabendo que a manutenção da turbina Kaplan requer mão-de-obra mais especializada do que a turbina Hélice, por exemplo, é conveniente considerar também esta turbina como uma possível escolha adequada aos nossos objectivos propostos. Com base nas equações da tabela 4.3, resulta então que a velocidade específica para as turbinas Kaplan e Hélice é  $N_s = 556,42$  rpm  $N_s = 466,7$  rpm, respectivamente.

Para determinar o número de pás a partir da velocidade específica acima obtida, consultamos a tabela 4.4 e verificamos o intervalo em que o valor está situado.

Tabela 4.4 - Campo de aplicação de vários tipos de turbinas [23].

Tipos de Turbinas		$N_s$ [rpm]	H [m]
Pelton	Jato1	18	800
	1	18-25	800-400
	1	26-35	400-100
	2	26-35	800-400
	2	36-50	400-100
	4	40-50	400-100
		51-71	500-200
	6	72-90	400-100
Francis	Muito lenta	55-70	600-200
	Lenta	71-120	200-100
	Normal	121-200	100-70
	Rápida (Deriaz)	201-300	70-25
	Extra rápida	301-450	25-15
Hélice	8 Pás	250-320	70-50
Kaplan	7	321-430	50-40
Bulbo	6	431-530	40-30
Tubular	5	534-620	30-20
Straflo	4	$\geq 624$ -	30

A partir da tabela 4.4, concluímos que a turbina a escolher deverá ter 5 pás, caso se escolha a turbina Kaplan, ou 6 pás, caso se escolha a turbina Hélice.

A figura 4.8 indica a posição do eixo de diferentes tipos de turbinas, em função da velocidade específica do rotor e da altura de queda de água.

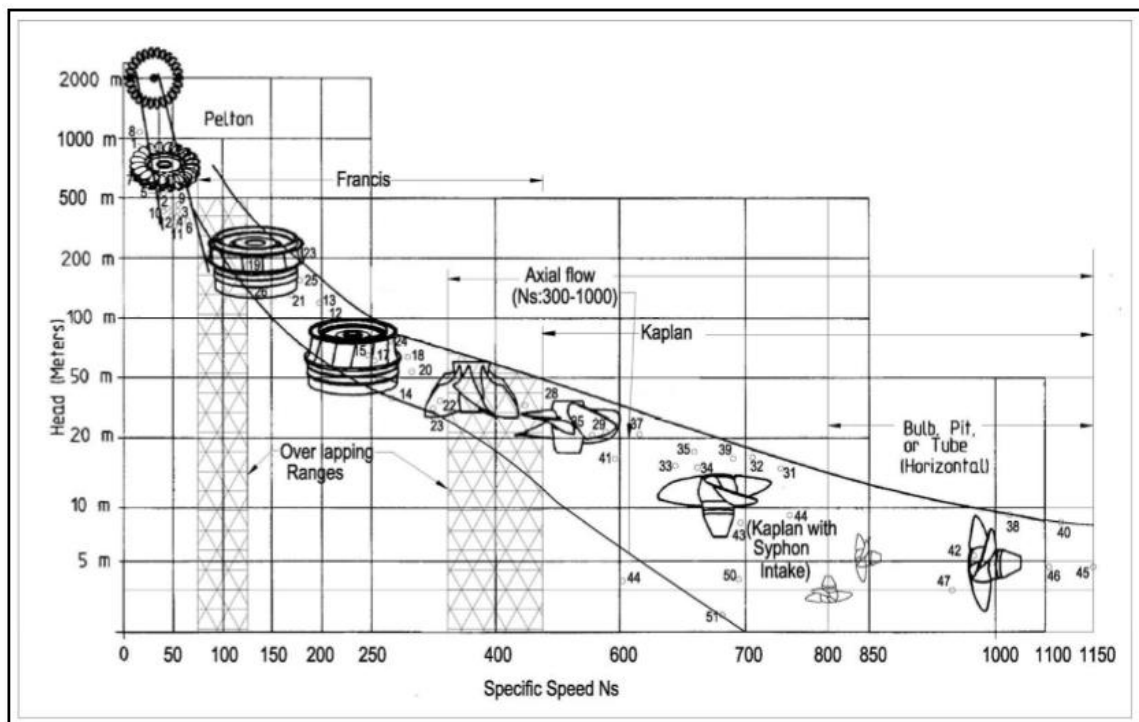


Figura 4.8 - Campos de aplicação de turbinas, de acordo com a queda de água e a velocidade específica [24].

Um olhar na figura 4.8 permite constatar que, para uma altura da queda igual a 31,04 m e para velocidades específicas de  $N_s = 556,42$  rpm e  $N_s = 466,7$  rpm, para as turbinas Kaplan e Hélice respectivamente, recomenda-se a utilização de eixo vertical para as duas turbinas.

#### 4.4 Estimativa da energia produzível

Como referido no capítulo 2 a energia produzível é calculada em função do caudal nominal, levando em conta os limites de exploração, para obter o rendimento desejado. Na tabela 4.5, os valores do limite de exploração para cada tipo de turbina são apresentados.

Na curva de duração de caudais (figura 4.6) marcamos os limites de exploração, tais como o caudal de cheias, o caudal mínimo de exploração e o caudal máximo de exploração, para definir o tempo de exploração excedido  $t_0$ ,  $t_1$  e  $t_2$ .

Tabela 4.5 - Limites de exploração das turbinas [19].

Turbina	$\alpha_1 = \frac{Q_{\min}}{Q_N}$	$\alpha_2 = \frac{Q_{\max}}{Q_N}$
Pelton	0,15	1,15
Francis	0,35	1,15
Kaplan com dupla regulação	0,25	1,25
Kaplan com rotor regulado	0,4	1
Hélice	0,75	1

Para a turbina Hélice temos um caudal mínimo de  $Q_{\min} = 13,5 \text{ m}^3/\text{s}$  e um caudal máximo  $Q_{\max} = 18 \text{ m}^3/\text{s}$ . Para a turbina Kaplan temos um caudal mínimo de  $Q_{\min} = 7,2 \text{ m}^3/\text{s}$  e um caudal máximo  $Q_{\max} = 18 \text{ m}^3/\text{s}$ . Relacionando os resultados obtidos com a curva de duração de caudais da figura 4.6, conclui-se que os limites de funcionamento para turbina Hélice são  $t_1 = 180$  dias,  $t_2 = 318$  dias, para condições nominais e mínimas respectivamente. Para turbina Kaplan, os limites de funcionamento são  $t_1 = 180$  dias,  $t_2 = 365$  dias, para condições nominais e mínimas respectivamente.

Para a turbina Hélice, o número de horas de utilização da potência instalada, reflectida na curva de duração de caudais, é de 6576 horas. Para a turbina Kaplan o número de horas de utilização da potência instalada, reflectida na curva de duração de caudais, é de 8136 horas. Estes valores estão situados dentro da margem expectável. A energia produzida, para as duas turbinas consideradas, é então expressa pela equação 2.4.

Para a turbina Hélice, a energia produzida é:

$$E_{\text{Hélice}} = \rho \times g \times Q_N \times H_b \times \eta_T \times (t_2 - t_0) \times 24$$

$$E_{\text{Hélice}} = 1000 \times 9,81 \times 18 \times 31,04 \times 0,70 \times (300 - 26) \times 24$$

$$E_{\text{Hélice}} = 25\,230\,338\,060 \text{ Wh}$$

$$E_{\text{Hélice}} = 25,23 \text{ GWh}$$

Para a turbina Kaplan, a energia produzida é:

$$E_{\text{Kaplan}} = \rho \times g \times Q_N \times H_b \times \eta_T \times (t_2 - t_0) \times 24$$

$$E_{\text{Kaplan}} = 1000 \times 9,81 \times 18 \times 31,04 \times 0,70 \times (365 - 26) \times 24$$

$$E_{\text{Kaplan}} = 31\,215\,637\,230 \text{ Wh}$$

$$E_{\text{Kaplan}} = 31,12 \text{ GWh}$$

Para a realização do projecto, a escolha final de uma das duas turbinas consideradas será baseada nas condições económicas e financeiras do investimento, na localização de projecto, assim como na disponibilidade de recursos materiais e humanos a quando da sua execução.

# Conclusão

Angola é um país que enfrenta várias dificuldades. Dentre elas o fornecimento da energia eléctrica que representa um dos três pilares para o desenvolvimento sustentável de um país. O governo Angolano traçou então diversas estratégias para reverter o quadro e honrar os compromissos internacionais nesta matéria. Foi realizado um estudo para identificar as potencialidades do país para cada fonte de energia, onde a energia hidroeléctrica assume o papel mais importante. Apesar disso, este estudo aparenta ser um pouco limitativo, pois dos locais identificados para aproveitamento hidroeléctrico, nenhum se encontra dentro do território da Província de Cabinda que, por sua vez, vive a mesma situação de carência de energia eléctrica que o resto do país. Neste sentido, as autoridades locais lançaram recentemente um apelo. Este trabalho vem como parte da resposta a este apelo, não só porque propõe uma resposta energética, mas também porque a resposta baseia-se num aproveitamento sustentável de energia renovável. Da análise feita, notou-se que o plano nacional prevê 18 GW de potência hidroeléctrica instalada, até 2025, exportando uma parte desta energia aos países vizinhos. No entanto, de acordo com [3], apenas 2,7 GW estão instalados. Destes, 10,4 MW correspondem a Centrais Mini-hídrica.

A nível provincial, temos uma capacidade instalada de 147,7 MW, fornecidos por 3 principais centrais termoeléctricas. A central de Malembo, com 95 MW divididos por 3 turbinas a ciclo combinado e as centrais de Chibodo e Santa Catarina, com 18 e 6 grupos geradores, de 1,7 MW cada, respectivamente. A sede comunal de Luali e arredores, no norte da província, são os únicos locais abastecidos por uma Micro Central Hidroeléctrica munida de dois geradores de 250 KW e 125 KW cada.

Para actuar neste sector com intuito de explorar a energia Hidroeléctrica em Angola, deve-se consultar a legislação em vigor, nomeadamente a lei geral da electricidade N° 27/15, de 14 de Dezembro de 2015, a lei das parcerias público-privadas N°02/2011, de 14 de Março e outros instrumentos jurídicos internacionais que regem as bacias partilhadas tanto na SADC como na OCDE.

Em conformidade com as orientações enunciadas ao longo do trabalho, é desejável seleccionar uma máquina que apresente uma curva de caudal que confere um alto

rendimento numa faixa alargada de caudais disponíveis, tendo em conta as alturas de queda existentes no local de projecto previamente identificado neste trabalho.

Angola está dividida em 18 províncias dos quais Cabinda faz parte. Esta por sua vez, está dividida em 4 municípios e 3 comunas. Cabinda tem uma superfície de 7291 km<sup>2</sup>. A média da precipitação anual nesta região é de 1100 mm, o escoamento é de 266,7 mm e a taxa de humidade é de 86 % no litoral e 88 % no interior. O mês de Abril é o mês mais húmido, com 185,5 mm de precipitação, e Julho é o mais seco, com 0,50 mm. Cabinda constitui uma das 11 regiões hidrográficas do país, subdivididas em 22 unidades hidrográficas. Esta unidade hidrográfica de Cabinda conta 4 bacias hidrográficas, nomeadamente Lucola, Lubindo, Lulondo e Chiloango. A bacia do rio Chiloango tem uma superfície total de 12 570,5 km<sup>2</sup> e um perímetro de 515 Km.

Com intuito de encontrar o caudal e sendo este estudo baseado numa parte da bacia do rio Chiloango, um dos elementos essenciais para a estimação da potência, foi graças ao programa Arc-GIS realizado uma análise hidrográfica por forma delinear a área da sub bacia, resultando numa área de 3 560 070 858,55 m<sup>2</sup> e um perímetro de 357 032,2 m. Em seguida foi feito o estudo do perfil do rio Chiloango, principalmente no ponto onde está centrado o estudo. Deste perfil, foi escolhida a aldeia de Vemba Siala como o local indicado para o projecto de uma central de aproveitamento Mini-Hídrico. Nesta zona a altura de queda de água é 31,04 m.

Da área gerada com o Arc-GIS e dos dados de escoamento médio anual foi calculado o caudal modular, nominal. Foi ainda estimado o caudal de cheias, o caudal ecológico e o caudal turbinável. Os resultados obtidos foram reportados na curva de duração de caudais com vista a obter o período de ocorrência de cada um destes caudais. Podemos constatar que temos um caudal ecológico de 6,1 m<sup>3</sup>/s. O Caudal médio anual ou nominal é 18 m<sup>3</sup>/s, sendo excedido durante 180 dias por ano. O caudal turbinável é de 24,42 m<sup>3</sup>/s, sendo excedido durante 130 dias por ano. O caudal de cheias é de 49 m<sup>3</sup>/s, sendo excedido durante 26 dias por ano. Da análise das condições existentes no local seleccionado, foram considerados adequados, num primeiro tempo, dois tipos de turbinas: a turbina Kaplan e a turbina Hélice ou Tubular.

Para a turbina Hélice, o caudal mínimo de exploração (turbinável) é 13 m<sup>3</sup>/s, sendo excedido durante 300 dias por ano. Já a turbina Kaplan, conta com um caudal mínimo de exploração de 7,2 m<sup>3</sup>/s, excedido durante todo o ano (365 dias). Finalmente, o caudal modular é 30,53 m<sup>3</sup>/s, estando disponível durante 90 dias por ano.

O potencial hídrico disponível no nosso local, considerando as perdas e evitando uma visão muito optimista do rendimento total, é de aproximadamente  $P_d = 3,8$  MW. Partindo do potencial hídrico disponível e tendo em conta as condições ambientais ou ecológicas, económicas, técnicas e operacionais considerámos que as turbinas Hélice e Kaplan, de eixo

vertical e de 6 e 5 pás respectivamente, seriam as mais adequadas para o nosso projecto. Para estas turbinas, o número de horas de utilização obtido a partir da curva de duração de caudais é de 6576 horas e 8136 horas, respectivamente para a turbina Hélice e Kaplan. Estes períodos de utilização traduzem-se, por sua vez, em 25.23 GWh e 31.13 GWh de energia produzida por ano, para as duas turbinas respectivamente.

Para dar continuidade ao estudo e facilitar futuros projectos sobre a produção da energia eléctrica na província de Cabinda é importante que o potencial real em termos das capacidades em energia solar, eólica, hídrica, geotérmica e das ondas seja identificado. A identificação de todos os rios e cursos de água com potencial para este tipo de aproveitamento hidroeléctrico é de igual importância. Finalmente, e acima das recomendações anteriores, é necessário elaborar políticas de incentivo para exploração das energias renováveis realistas e apropriadas, quer seja por entidades privadas como públicas, direccionadas para o uso privado ou comercial

# Bibliografia

1. K. Schwab, (2015): The Global Competitiveness Report 2014-2015. World Economic Forum, Geneva.
2. República de Angola, Ministério da Energia e Água (2015): Angola energia 2025: Visão a Longo prazo para sector Eléctrico. Gesto Energia S. A. Luanda.
3. MEA, Angola (2015): Uma Avaliação Rápida e Análise de Lacunas: Angola. PNUD, BAD, Luanda.
4. Governo da província de Cabinda (2015): Relatório de balanço: conselho consultivo do ministério da energia e água 2015. Cabinda.
5. República de Angola (2015): Diário da república, I serie - Nº 170.
6. República de Angola (2011): Diário da república, I série - Nº 9.
7. SWECO GRØER (2005): A rapid water resources and water use assessment for Angola, National water sector management project activity c: final report. Luanda.
8. D. Kumar, S. S. Katoch (2014): Small hydropower development in western Himalaya: Strategy for faster implementation. Renewable Energy. 571-578, Índia.
9. Luis. F. MENDES, at al. (2013): GAZETTEER OF THE ANGOLAN LOCALITIES, Boletim da sociedade portuguesa de entomologia (Nº228).
10. GOVERNO DA PROVÍNCIA DE CABINDA (2013): Plano de Desenvolvimento da Província de Cabinda 2013 - 2017. Cabinda.
11. CESO Development consultants. (2015): Estudo de Mercado sobre províncias de Angola. CESO.Luanda.
12. República de Angola, AIP (2007): Estudo de Mercado sobre a província de Cabinda. Luanda.
13. INRH: MEA, Angola (2014): Projecto para elaboração do plano nacional da Água de Angola: Plano Nacional da Água. Vol: I, Tomo: I, Ed. Coba, Luanda.
14. S. M. POMBO; R. P. OLIVEIRA. (2016): Curvas IDF para a Província de Cabinda. Congresso da água, IST, Lisboa
15. Secretária Provincial de energia e água Angola (2013): Abastecimento da água à Cidade de Cabinda: Projecto de Execução. Cabinda.

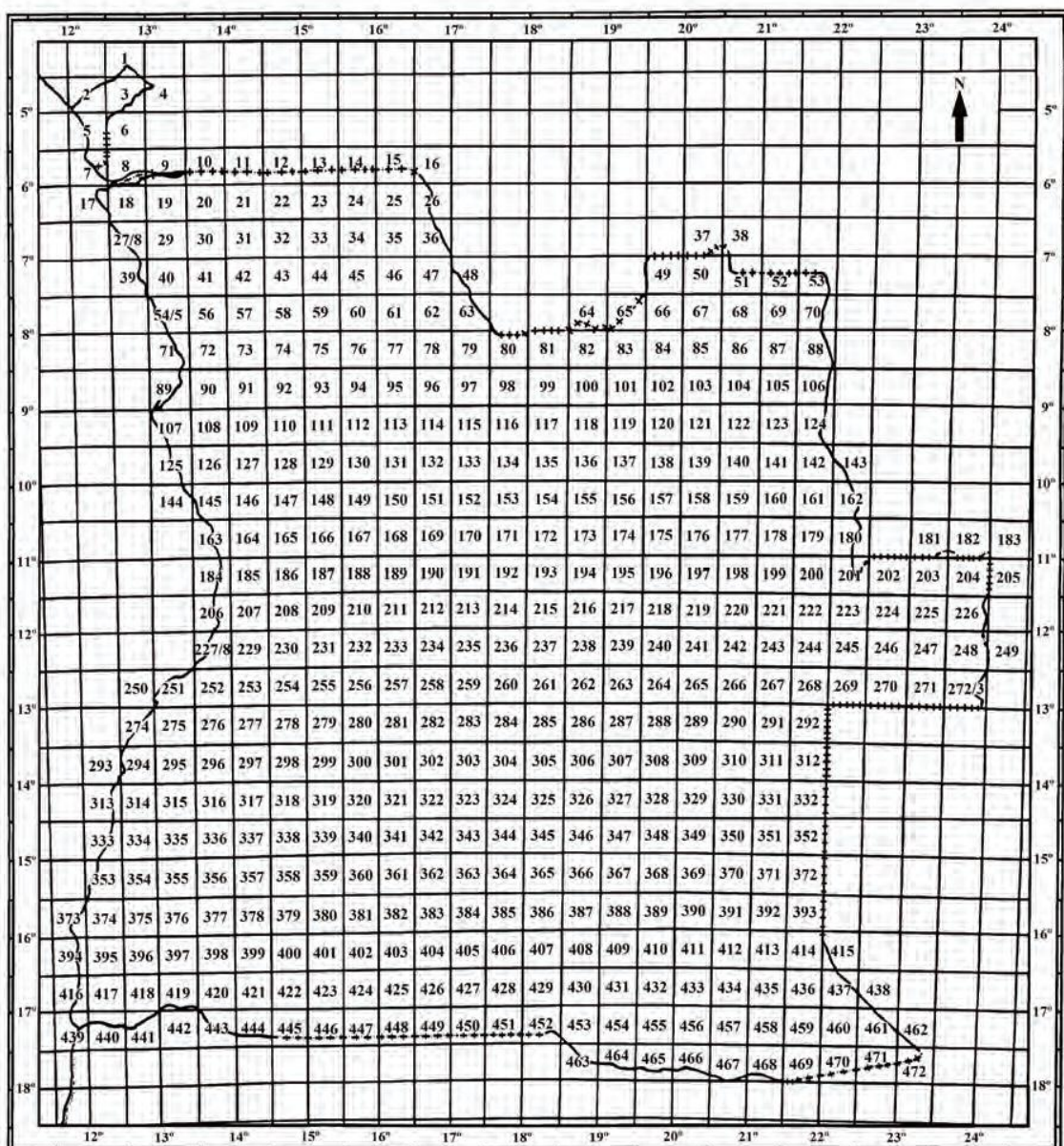
16. Sandra Caeiro (2013): Sistemas de Informação Geográfica. Universidade Aberta, Lisboa.
17. A. R. dos Santos, F. L. R. O. Louzada & F. C. Eugénio (2010): ARCGIS 9.3 total aplicação para dados especiais. 2ª Edição, Porto alegre.
18. J. R. Hipólito & A. C. Vaz (2013): Hidrologia e recursos hídricos, 2ª Edição. IST press, Lisboa.
19. Rui M. G. Castro (2012): Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Foto voltaica e Mini-hídrica. IST Press, 2ª edição, Lisboa.
20. Agência Portuguesa do Ambiente (2015): Plano Nacional da Água. República Portuguesa, Portugal.
21. Vera L. M. Marmelo (2007): Avaliação de caudais ecológicos em cursos de água do Centro e Norte de Portugal. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Eng. Civil, IST, Lisboa.
22. H. Ramos, at. Al. (2000): Guidelines for design and small hydropower plants. WREAN e DED, Belfast, North Ireland.
23. Archibald J. Macintyre (1983): Máquinas motrizes hidráulicas. Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro, Brasil.
24. Japan International Cooperation Agency (2009): Manual and guideline for Micro-Hydro Power Development in rural electrification. JICA design ltd: Japan.
25. I. A. Adejumobi, D. I. Shobayo (2015): Optimal selection of hydraulic turbine for small hydroelectric power generation: A case of study of Opeki River in South Western Nigeria. NIJOTECH. Nigeria.

## Lista de websites consultados

- A.1 <https://pt.slideshare.net/DevelopmentWorkshopAngola/curso-para-administradores-dos-munipios-urbanas-modulo-2>
- A.2 [http://www.kunene.riverawarenesskit.com/kunenerak\\_com/pt/gestao/water\\_demand/environmental\\_flows.htm](http://www.kunene.riverawarenesskit.com/kunenerak_com/pt/gestao/water_demand/environmental_flows.htm)

# Anexos

## Anexo1:Coordenadasgeográficas de Angola [9]



Anexo 2: Valores de Caudais e Escoamento na Unidade Hidrográfica de Cabinda

Área da Bacia	3527,1Km <sup>2</sup>					
	Escoamento Médio	Caudal Médio	Escoamento Máximo	Caudal Máximo	Escoamento Mínimo	Caudal Mínimo
	[mm]	[m <sup>3</sup> ]	[mm]	[m <sup>3</sup> ]	[mm]	[m <sup>3</sup> ]
Janeiro	26,8	35,29	43,5	57,28	11,7	15,4
Fevereiro	29,2	42,57	41,7	60,79	17,6	25,66
Março	32,7	43,06	44,6	58,73	17,4	22,9
Abril	35	47,63	48,3	65,7	17,9	24,35
Maio	29,9	39,37	47,6	62,68	16,2	21,33
Junho	20,1	27,35	33,5	45,58	11,9	16,19
Julho	13,5	17,77	19,6	25,8	9,7	12,77
Agosto	10,5	13,83	13,2	17,3	8,7	11,45
Setembro	9,4	12,79	10,8	14,69	8,3	11,29
Outubro	11,8	15,54	19,9	26,2	8,7	11,45
Novembro	21,4	29,12	40,9	55,65	10,9	14,8
Dezembro	26,2	34,5	40,3	53,1	10,9	14,35
Anual	266,7		338,1	37,8	169,9	19

Anexo 3: PRECIPITAÇÃO MENSAL E ANUAL NA UNIDADE HIDROGRÁFICA DE CABINDA (mm) [13]

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Anual	S. Seco	S. Húmido
1944/45	60,2	249,4	204,6	118,4	161,2	187,7	67,8	72,0	0,3	1,1	0,3	0,6	1123,7	134,6	989,1
1945/46	159,6	116,2	74,6	91,8	48,0	87,3	110,2	1,4	0,0	0,1	0,0	2,7	691,9	163,8	528,1
1946/47	18,2	71,1	63,8	145,1	134,0	143,2	298,5	197,5	0,0	0,0	0,3	8,0	1079,7	224,0	855,7
1947/48	19,4	285,5	69,9	90,9	159,3	93,3	125,6	26,1	0,9	0,0	0,3	27,6	898,8	74,3	824,5
1948/49	39,5	199,4	96,8	101,8	120,8	131,3	199,5	58,3	0,1	0,0	1,2	9,5	958,3	108,6	849,7
1949/50	77,5	149,5	60,7	125,2	373,2	204,5	257,7	131,4	0,3	0,0	3,5	8,4	1391,9	221,1	1170,8
1950/51	13,3	250,6	176,9	9,7	77,4	153,2	111,0	83,8	0,0	0,0	0,0	5,8	881,8	102,9	778,9
1951/52	48,8	185,6	198,5	39,7	243,9	276,7	306,6	219,8	0,1	0,0	3,4	3,0	1526,2	275,1	1251,0
1952/53	79,0	162,8	43,7	34,7	209,9	216,4	231,7	41,8	0,0	0,1	0,6	3,9	1024,7	125,4	899,2
1953/54	16,0	33,7	13,8	37,8	194,8	222,7	110,9	55,1	0,0	0,0	0,5	15,1	700,5	86,8	613,8
1954/55	110,9	223,0	167,4	187,6	11,9	203,9	365,3	144,0	0,2	0,0	1,3	17,0	1432,3	273,3	1159,0
1955/56	179,2	400,5	104,1	51,0	119,0	87,3	146,7	36,2	0,3	1,1	1,8	8,5	1135,7	227,1	908,6
1956/57	37,3	72,2	120,8	140,1	241,5	186,3	265,0	98,2	0,0	4,9	8,0	8,9	1183,2	157,4	1025,8
1957/58	31,4	253,6	218,7	34,3	4,3	79,7	91,6	7,1	0,6	0,2	0,8	11,6	734,0	51,7	682,2
1958/59	29,4	102,9	72,6	280,3	234,8	275,1	159,7	52,4	1,4	0,5	3,4	8,3	1220,8	95,4	1125,4
1959/60	67,9	215,3	179,6	90,9	141,7	268,2	269,1	65,4	2,1	1,8	0,0	15,2	1317,1	152,4	1164,7
1960/61	84,5	286,3	229,5	264,2	167,3	154,4	228,6	49,2	0,0	0,0	0,1	11,1	1475,3	144,9	1330,4
1961/62	160,3	222,2	171,8	201,3	268,5	209,2	266,9	47,3	0,1	0,0	0,4	2,5	1550,4	210,6	1339,8
1962/63	75,9	95,4	225,4	124,5	191,1	344,1	162,2	292,4	0,0	0,0	0,0	2,7	1513,7	371,0	1142,7
1963/64	8,8	134,4	50,3	206,4	94,0	96,6	118,8	3,2	0,0	0,2	0,2	0,7	713,4	13,0	700,4
1964/65	19,4	84,1	184,4	92,3	126,9	184,7	176,3	25,8	0,0	0,1	0,3	1,8	896,0	47,4	848,7
1965/66	10,2	53,7	32,0	56,4	138,0	129,4	175,3	68,5	0,0	0,0	0,2	0,8	664,6	79,7	584,9
1966/67	42,7	262,9	181,9	150,7	189,4	279,2	35,7	52,2	0,4	0,6	0,0	2,9	1198,6	98,8	1099,7
1967/68	47,5	157,3	75,0	265,0	221,0	165,4	185,1	151,4	0,0	0,0	0,0	1,1	1268,8	200,0	1068,8
1968/69	11,5	112,7	46,0	144,4	151,7	194,2	293,0	35,5	0,0	0,0	4,5	2,6	996,2	54,1	942,1
1969/70	41,0	235,9	221,4	112,7	196,3	187,3	310,1	52,2	0,2	5,4	0,2	15,4	1378,0	114,3	1263,6
1970/71	93,2	275,2	151,4	114,6	293,1	251,2	85,2	87,5	0,0	0,0	0,1	0,9	1352,4	181,6	1170,7
1971/72	15,8	116,3	41,1	33,3	98,3	72,8	50,1	55,4	0,1	0,0	0,0	1,5	484,8	72,8	411,9
1972/73	20,3	287,2	232,0	173,7	132,3	159,7	177,3	42,2	0,0	0,0	0,0	3,7	1228,4	66,2	1162,2
1973/74	4,9	158,1	29,8	197,0	120,4	310,1	183,0	12,5	0,0	0,0	0,1	5,8	1021,7	23,4	998,3
<b>Média</b>	54,1	181,8	124,6	123,9	162,1	185,2	185,5	75,5	0,2	0,5	1,1	6,9	1101,4	138,4	963,0
<b>Máx.</b>	179,2	400,5	232,0	280,3	373,2	344,1	365,3	292,4	2,1	5,4	8,0	27,6	1550,4	371,0	1339,8
<b>Min</b>	4,9	33,7	13,8	9,7	4,3	72,8	35,7	1,4	0,0	0,0	0,0	0,6	484,8	13,0	411,9

Anexo 4: ESCOAMENTO MÉDIO MENSAL E ANUAL NA UNIDADE HIDROGRÁFICA DE CABINDA (mm) [13]

	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Ano	S. Seco	S. Húmido
1944/45	12,6	25,8	34,7	32,7	31,7	34,0	29,0	23,6	17,1	12,2	9,8	8,8	272,0	84,1	187,9
1945/46	17,2	23,2	22,4	21,8	19,6	19,5	21,9	17,5	12,3	9,9	8,7	8,4	202,3	74,0	128,4
1946/47	9,1	12,9	15,8	21,4	25,7	27,9	38,0	41,3	28,9	17,5	12,3	10,3	261,3	119,5	141,8
1947/48	10,3	25,5	28,0	24,2	26,9	26,4	26,1	21,3	14,8	11,0	9,3	10,0	233,9	76,7	157,2
1948/49	11,8	22,0	25,4	24,4	25,2	26,6	31,4	27,7	18,6	12,8	10,1	9,4	245,5	90,5	155,1
1949/50	13,2	20,9	21,5	22,9	39,3	44,5	45,1	39,7	26,3	16,3	11,9	10,3	311,8	117,7	194,1
1950/51	9,9	23,2	32,0	24,5	20,2	24,3	26,0	24,1	17,7	12,3	9,9	9,1	233,2	82,9	150,2
1951/52	11,3	21,2	30,4	26,1	31,1	41,1	48,3	47,6	32,4	19,2	13,2	10,5	332,5	134,2	198,2
1952/53	13,6	21,9	21,4	17,2	24,9	33,9	39,0	31,2	19,8	13,3	10,4	9,2	255,7	97,4	158,3
1953/54	9,4	10,9	10,9	11,7	21,6	32,2	31,7	25,1	17,3	12,2	9,8	9,6	202,5	83,4	119,1
1954/55	15,3	26,9	32,4	34,5	26,1	28,1	43,5	42,8	28,1	17,1	12,2	10,8	317,7	126,2	191,4
1955/56	19,7	40,9	40,3	28,7	25,6	24,3	26,1	22,5	15,6	11,5	9,6	9,1	273,9	88,0	185,9
1956/57	10,7	14,3	19,6	24,6	33,1	36,8	41,4	36,4	23,8	15,4	11,9	10,4	278,4	108,7	169,8
1957/58	11,0	24,4	35,0	28,5	18,6	17,4	19,6	16,2	11,9	9,7	8,7	8,9	209,9	66,4	143,4
1958/59	10,3	15,5	18,4	30,5	39,5	44,6	41,6	30,9	20,0	13,5	10,6	9,6	285,0	94,9	190,0
1959/60	12,7	24,1	31,5	29,0	28,1	36,3	43,7	35,7	22,7	14,8	11,1	10,1	299,8	107,1	192,7
1960/61	14,0	29,2	38,7	43,5	41,2	36,7	38,4	31,2	20,0	13,4	10,4	9,6	326,2	98,6	227,6
1961/62	17,9	29,5	33,8	36,0	41,7	42,8	45,0	35,2	21,8	14,3	10,8	9,3	338,1	109,3	228,8
1962/63	12,8	17,6	27,7	30,4	32,5	44,0	43,4	45,3	33,5	19,6	13,2	10,4	330,6	134,9	195,7
1963/64	9,6	16,4	18,4	25,7	27,2	24,9	25,1	19,3	13,2	10,3	8,9	8,3	207,4	69,7	137,7
1964/65	9,1	13,7	23,3	25,4	25,7	30,0	33,2	26,0	16,9	12,0	9,7	8,8	233,8	82,6	151,2
1965/66	8,9	11,6	12,8	14,2	20,1	24,7	29,1	26,5	18,4	12,7	10,0	8,9	197,8	85,2	112,5
1966/67	10,7	25,1	33,5	33,3	34,5	41,2	33,2	23,5	16,5	11,9	9,7	8,8	281,9	81,0	200,9
1967/68	11,0	19,5	21,9	31,3	38,6	37,6	36,7	34,9	24,6	15,6	11,4	9,5	292,5	106,9	185,6
1968/69	9,2	15,1	17,0	21,4	26,7	31,8	40,9	33,4	20,6	13,7	10,8	9,4	250,0	97,2	152,9
1969/70	10,9	23,6	34,3	32,7	33,5	35,8	43,5	36,0	22,3	14,8	11,2	10,2	308,9	105,5	203,4
1970/71	14,6	29,0	33,9	30,6	38,1	44,3	36,6	28,4	19,8	13,3	10,3	9,0	308,0	95,5	212,5
1971/72	9,2	15,4	16,9	15,0	17,6	19,2	17,9	17,0	13,6	10,5	9,0	8,4	169,9	67,8	102,1
1972/73	9,2	25,2	37,0	37,7	34,0	32,6	33,8	27,2	18,0	12,5	9,9	9,0	286,1	85,8	200,3
1973/74	8,7	17,2	18,3	24,6	27,9	37,9	40,8	29,0	17,9	12,5	9,9	9,1	253,9	87,1	166,8
<b>Média</b>	11,8	21,4	26,2	26,8	29,2	32,7	35,0	29,9	20,1	13,5	10,5	9,4	266,7	95,3	171,4
<b>Máx</b>	19,7	40,9	40,3	43,5	41,7	44,6	48,3	47,6	33,5	19,6	13,2	10,8	338,1	134,9	228,8
<b>Min</b>	8,7	10,9	10,9	11,7	17,6	17,4	17,9	16,2	11,9	9,7	8,7	8,3	169,9	66,4	102,1

Anexo 5: Distância e cota para pontos do Troço do Projecto

Ponto	Distância X(original)	Cota Y(original)	X(invertido)				
1	0	85,2919	5742,293	0	Surface	0	Tentar_tif
2	83,43836	83,8754	5666,991	0	Surface	0	Tentar_tif
3	166,8767	82,4273	5591,689	0	Surface	0	Tentar_tif
4	250,3151	78,5447	5519,266	0	Surface	0	Tentar_tif
5	333,7534	71,1835	5446,843	0	Surface	0	Tentar_tif
6	400,6884	64,98	5374,42	0	Surface	0	Tentar_tif
7	467,6235	61,3689	5301,997	0	Surface	0	Tentar_tif
8	534,5585	63,9353	5222,445	0	Surface	0	Tentar_tif
9	623,2631	69,0875	5142,894	0	Surface	0	Tentar_tif
10	711,9678	76,0451	5063,343	0	Surface	0	Tentar_tif
11	800,6725	72,4806	4987,578	0	Surface	0	Tentar_tif
12	890,7865	78,5748	4911,812	0	Surface	0	Tentar_tif
13	980,9005	82,4351	4836,047	0	Surface	0	Tentar_tif
14	1071,015	88,4176	4762,867	0	Surface	0	Tentar_tif
15	1145,85	92,6382	4689,686	0	Surface	0	Tentar_tif
16	1220,686	89,2734	4616,506	0	Surface	0	Tentar_tif
17	1295,521	89,6831	4543,326	0	Surface	0	Tentar_tif
18	1379,898	89,6828	4476,391	0	Surface	0	Tentar_tif
19	1464,275	86,0103	4409,456	0	Surface	0	Tentar_tif
20	1527,775	84,0281	4342,521	0	Surface	0	Tentar_tif
21	1591,276	81,1931	4257,195	0	Surface	0	Tentar_tif
22	1654,776	78,4755	4171,869	0	Surface	0	Tentar_tif
23	1737,434	87,5302	4086,544	0	Surface	0	Tentar_tif
24	1820,093	88,6625	4010,226	0	Surface	0	Tentar_tif
25	1902,752	100,1792	3933,908	0	Surface	0	Tentar_tif
26	1973,747	101,1668	3857,591	0	Surface	0	Tentar_tif
27	2044,742	105,9214	3774,493	0	Surface	0	Tentar_tif
28	2124,117	98,1299	3691,395	0	Surface	0	Tentar_tif
29	2203,493	90,1564	3608,297	0	Surface	0	Tentar_tif
30	2293,994	82,7051	3525,199	0	Surface	0	Tentar_tif
31	2384,496	90,6342	3442,101	0	Surface	0	Tentar_tif
32	2472,168	92,8749	3362,726	0	Surface	0	Tentar_tif
33	2559,841	94,9045	3283,351	0	Surface	0	Tentar_tif

Ponto	Distância X (original)	Cota Y (original)	X (invertido)				
34	2650,317	92,3625	3214,356	0	Surface	0	Tentar_tif
35	2740,794	89,6394	3145,361	0	Surface	0	Tentar_tif
36	2831,27	92,756	3076,366	0	Surface	0	Tentar_tif
37	2912,968	75,9534	2994,667	0	Surface	0	Tentar_tif
38	2994,667	87,992	2912,968	0	Surface	0	Tentar_tif
39	3076,366	93,8757	2831,27	0	Surface	0	Tentar_tif
40	3145,361	83,3601	2740,794	0	Surface	0	Tentar_tif
41	3214,356	82,8303	2650,317	0	Surface	0	Tentar_tif
42	3283,351	86,4883	2559,841	0	Surface	0	Tentar_tif
43	3362,726	88,8948	2472,168	0	Surface	0	Tentar_tif
44	3442,101	86,1593	2384,496	0	Surface	0	Tentar_tif
45	3525,199	88,8908	2293,994	0	Surface	0	Tentar_tif
46	3608,297	108,7483	2203,493	0	Surface	0	Tentar_tif
47	3691,395	125,8622	2124,117	0	Surface	0	Tentar_tif
48	3774,493	129,458	2044,742	0	Surface	0	Tentar_tif
49	3857,591	128,1573	1973,747	0	Surface	0	Tentar_tif
50	3933,908	117,2291	1902,752	0	Surface	0	Tentar_tif
51	4010,226	119,7368	1820,093	0	Surface	0	Tentar_tif
52	4086,544	115,2128	1737,434	0	Surface	0	Tentar_tif
53	4171,869	102,1578	1654,776	0	Surface	0	Tentar_tif
54	4257,195	89,6886	1591,276	0	Surface	0	Tentar_tif
55	4342,521	84,0283	1527,775	0	Surface	0	Tentar_tif
56	4409,456	77,9503	1464,275	0	Surface	0	Tentar_tif
57	4476,391	89,88	1379,898	0	Surface	0	Tentar_tif
58	4543,326	99,6865	1295,521	0	Surface	0	Tentar_tif
59	4616,506	104,8358	1220,686	0	Surface	0	Tentar_tif
60	4689,686	116,8248	1145,85	0	Surface	0	Tentar_tif
61	4762,867	123,6727	1071,015	0	Surface	0	Tentar_tif
62	4836,047	114,9684	980,9005	0	Surface	0	Tentar_tif
63	4911,812	101,608	890,7865	0	Surface	0	Tentar_tif
64	4987,578	90,5294	800,6725	0	Surface	0	Tentar_tif
65	5063,343	85,7785	711,9678	0	Surface	0	Tentar_tif
66	5142,894	88,8262	623,2631	0	Surface	0	Tentar_tif
67	5222,445	90,2075	534,5585	0	Surface	0	Tentar_tif
68	5301,997	91,727	467,6235	0	Surface	0	Tentar_tif

Ponto	Distância X (original)	Cota Y (original)	X (invertido)				
69	5374,42	93,1923	400,6884	0	Surface	0	Tentar_tif
70	5446,843	95,1888	333,7534	0	Surface	0	Tentar_tif
71	5519,266	103,1978	250,3151	0	Surface	0	Tentar_tif
72	5591,689	110,7791	166,8767	0	Surface	0	Tentar_tif
73	5666,991	119,1851	83,43836	0	Surface	0	Tentar_tif
74	5742,293			0	Surface	0	Tentar_tif