

GT-53

Francisco Pronto Isaiás Tauacale

**Determinação do padrão do caudal ecológico da
bacia do rio Umbelúzi**

(Uma contribuição para discussão sobre a gestão sustentável dos rios)



Universidade Eduardo Mondlane
Faculdade de Letras
Departamento de Geografia

Supervisora: **dr^a. Joanne Heyink Leestemaker**

Co-supervisor: **Eng^o. José Rodrigues Matola**

Maputo, 17 de Maio de 1999

GT-53

Francisco Pronto Isaiás Tauacale

**Determinação do padrão do caudal ecológico da
bacia do rio Umbelúzi**

(Uma contribuição para a discussão sobre a gestão sustentável dos rios)

**"Dissertação apresentada em cumprimento parcial dos requisitos exigidos para a
obtenção do grau de Licenciatura na Universidade Eduardo Mondlane"**

Universidade Eduardo Mondlane
Faculdade de Letras
Departamento de Geografia

Supervisora: **dr^a. Joanne Heyink Leestemaker**

Co-supervisor :**Eng^o. José Rodrigues Matola**

Maputo, 17 de Maio de 1999

04

F. LETRAS U.E.M.	
R. E.	27104
DATA	16/fever/00
AQUISIÇÃO	M. Ortiga
COTA	GT-53

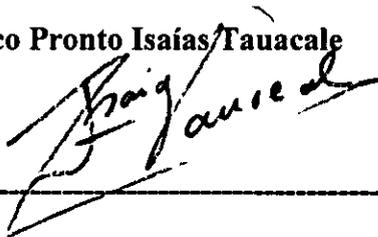
DEDICATÓRIA

Ao meu falecido pai Júlio Isaías Tauacale que tanto dedicou atenção aos meus estudos e a minha mãe Gracinda que foi sempre carinhosa.

DECLARAÇÃO

" Declaro que esta dissertação nunca foi apresentada, na sua essência, para a obtenção de qualquer grau e que ela constitui o resultado da minha investigação pessoal, estando indicadas no texto e na bibliografia as fontes que utilizei".

Francisco Pronto Isaiás Tauacale



F. LETRAS U. E. M.	
R. E.	_____
DATA	____/____/____
AQUISIÇÃO	_____
COTA	_____

AGRADECIMENTOS

A minha supervisora dr^a. Joanne Heyink Leestemaker, pela paciência e disponibilidade de tempo em acompanhar a execução deste trabalho, não só através das relações de orientador e orientado mas pelos conhecimentos auferidos no contacto cotidiano com a sua vasta experiência no campo das Águas.

Na Direcção Nacional de Águas, gostaria de agradecer ao meu Co-supervisor, Eng^o. José Rodrigues Matola pelo suporte técnico e científico transmitido durante o processo de realização do trabalho; em especial pelo fornecimento de dados para o estudo.

Agradeço aos dr. Paulo Beirão, Dimas da Conceição Maroa pelas correcções e críticas efetuadas ao trabalho.

Os meus maiores agradecimento dirijo a BASIS pela ajuda financeira para a realização desta tese.

Estendo o meu agradecimento especial ao meu colega e amigo Rosaque Guale pela ajuda na bibliografia e todo o trabalho de campo. Aos meus amigo Magid Sabune, Ruivo, Arão Balate e António Adriano que sempre me deram ajuda e forças na realização deste trabalho.

Aos meus familiares, em especial a Dona Isabel Omar, Ivan e Maira que sempre dispuseram todo seu esforço e moral de que necessitava.

Aos meus colegas e amigos que contribuíram directa ou indirectamente para a efectivação deste trabalho.

RESUMO

A bacia do rio Umbelúzi tem actualmente um caudal perturbado pelas barragens nela existentes. Esta situação faz com que a jusante de Pequenos Libombos, nos meses de Junho, Julho, Agosto Setembro e Outubro, o caudal ecológico requerido não é satisfeito em 68%, uma vez que o necessário é de $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ contra $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ actuais. Esta situação é devido as regras de operação definidas para a Barragem dos Pequenos Libombos. A montante, o caudal ecológico requerido é satisfeito em 100% durante todo ano.

No futuro, a ARA-SUL entidade responsável para gestão das águas, deve-se organizar para ajustar o caudal mínimo actual a um caudal ecológico necessário.

O resultado acima apresentado é produto do presente estudo, no qual tinha o objectivo de determinar o padrão do "caudal ecológico" na bacia do rio Umbelúzi, na escala do território Moçambicano; a partir de três pontos seleccionados na bacia: Goba, Pequenos Libombos e Boane.

Partindo do problema de: falta dum caudal ecológico para manter a reprodução dos ecossistemas,
a mudanças da dinâmica do equilíbrio entre a parte fluvial e o sistema oceânico e a progressão
da intrusão salina. E com base em teorias, aplicação de metodologias de cálculo do caudal ecológico, uso do modelo de simulação "River Basin System WAFLEX" e trabalho de campo, determinou-se na área de estudo a situação actual do caudal ecológico.

LISTA DE MAPAS

NO TEXTO

Mapa 1- Localização geográfica da área de estudo

NO ANEXO I

Mapa 2 - Bacia do Umbelúzi Isoietas e Isotérmicas.

Mapa 3- Bacia do Umbelúzi Evapotranspiração potencial (Método de Thornthwaite).

Mapa 4 - Bacia do Umbelúzi Carta Hipsométrica e Carta Geológica.

Mapa 5 - Bacia do Umbelúzi Carta de solos e Carta de Vegetação.

Carta Geomorfológica do Umbelúzi.

LISTA DE FIGURAS

NO TEXTO

Fig. 1 Lognormal da Estação de Boane26

Fig. 2. Caudal ecológico requerido em cada estação do Umbelúzi.30

Fig. 3 Caudal natural e o caudal ecológico na bacia do Umbelúzi33

Fig. 5. Probabilidade de não ocorrência do caudal ecológico (Boane).....35

NO ANEXO -II

Fig. II - 1a : Distribuição lognormal da estação de Goba

- Fig. II - 1b: Distribuição lognormal da estação de Pequenos Libombos
- Fig. II - 2a : Linha de tendência (Goba)
- Fig. II - 2b: Verificação da linha de tendência (Pequenos Libombos)
- Fig. II - 2c: Verificação da linha de tendência (Boane)
- Fig. II - 3a: Escoamento anual médio do Umbelúzi- natural (1964-1994)
- Fig. II - 4a : Caudal natural e ecológico (Goba)
- Fig. II - 4b: Caudal natural e ecológico (Pequenos Libombos)
- Fig. II - 4c: Caudal natural e ecológico (Boane)
- Fig. II - 4: Caudal médio natural e ecológico mensal (bacia do Umbelúzi)
- Fig. II - 5a: Probabilidade de não ocorrência do caudal ecológico (Goba))
- Fig. II - 5b: Probabilidade de não ocorrência do caudal ecológico (Pequenos Libombos)
- Fig. II - 6a: Sedimentos do rio Umbelúzi
- Fig. II - 6b: Características da água do Umbelúzi
- Fig. II - 7a : Curva de duração do caudal (Goba - 64/79)
- Fig. II - 7b : Curva de duração do caudal (Goba - 79/94)
- Fig. II - 8a : Curva de duração do caudal (Pequenos Libombos - 64/79)
- Fig. II - 8b : Curva de duração do caudal (Pequenos Libombos - 79/87)
- Fig. II - 8c : Curva de duração do caudal (Pequenos Libombos - 87/94)
- Fig. II - 9a : Curva de duração do caudal (Boane - 64/79)
- Fig. II - 9b : Curva de duração do caudal (Boane -79/87)
- Fig. II - 9c : Curva de duração do caudal (Boane - 87/94)
- Fig. II -10a : Caudal actual e ecológico requerido (Goba)
- Fig. II -10b : Caudal actual e ecológico requerido (Boane)

Fig. II -10c : Caudal actual e ecológico requerido (Pequenos Libombos)

Fig. II -11a: Esquema geral das regras de operações BPL

Fig. II -11b: Regime de fornecimento de água para a rega

Fig. II -11c: Regime de fornecimento de água para a cidade de Maputo

Fig. II -11d: Regime de fornecimento de água para caudal ecológico e perdas

ANEXO IV

Fig. 1. Perfil transversal Goba

Fig. 2. Perfil transversa Boane

LISTA DE TABELAS

NO TEXTO

Tabela 1. Categorias de percentagem do escoamento anual médio (AAF) para o método de Montana	11
Tabela 2 : Distribuição dos valores de precipitação.....	22
Tabela 3: Variáveis estatísticas do caudal annual.....	27
Tabela 4: Escoamentos mensais (1964-1994).....	29
Tabela 5: Distribuição dos caudais ao longo do ano.....	32
Tabela 6: Caudal ecológico mensal requerido.....	33
Tabela 7: Comparação entre os caudais naturais e o actual.....	37
Tabela 8: Utilização da água da barragem dos Pequenos Libombos.....	50

ANEXO III

Tabela 1

Tabela 2

LISTA DE FOTOS:

NO ANEXO IV

Foto 1 - O rio Umbelúzi em Goba controlado pela litologia

Foto: Francisco Tauacale. (Goba, 03/03/99)

Foto 1a - Litologia predominante em Goba

Foto: Francisco Tauacale. (Goba, 03/03/99)

Foto 2 - Goba - Ilhas arenosas colonizadas por vegetação

Foto: Francisco Tauacale. (Goba, 03/03/99)

Foto 3 - Pequenos Libombos: o Umbelúzi corre em
canais encaixados nas rochas do complexo vulcanico

Foto: Francisco Tauacale. (Pequenos Libombos, 04/03/99)

Foto 4 - Goba-Pequenos Libombos : Vegetação ribeirinha
sem problemas de água

Foto: Francisco Tauacale. (Pequenos Libombos, 04/03/99)

Foto 5 - Crocodilo- uma das espécies de animais
existente no rio do Umbelúzi

Foto: Francisco Tauacale. (Goba, 03/03/99)

ABREVIATURAS

ARA-SUL- Administração Regional de Águas do Sul

BBM - Building Block Methodology

DNA- Direcção Nacional de Águas

DWAF - Department of Water Affairs and Forestry

GTDH- Grupo de Trabalho para o Decénio Hidrológico Internacional

INIA- Instituto Nacional de Investigação Agronomica

UEM - Universidade Eduardo Mondlane

PLB- Pequenos Libombos

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PROBLEMA	1
1.2. OBJECTIVO GERAL	4
1.2.1. <i>Objectivos específicos</i>	4
1.3. PRESSUPOSTOS	4
1.4. RELEVÂNCIA DO TEMA.....	5
1.5. QUADRO TEÓRICO.....	6
1.5.1. <i>Antecedentes do estudo do caudal ecológico</i>	7
1.5.2. <i>A apresentação teórica dos Métodos de cálculo do padrão caudal ecológico</i>	9
1.5.3. <i>Modelo River Basin System WAFLEX</i>	13
1.6. METODOLOGIA	14
1.6.1. <i>Procedimentos</i>	14
1.7. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	18
II	
2. FACTORES CLIMATICOS GERAIS	18
2.1. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS GERAIS DA ÁREA DA BACIA'	19
2.2. DISTRIBUIÇÃO NO ESPAÇO DA PRECIPITAÇÃO, TEMPERATURA, EVAPORAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO	21
2.2.1. <i>Precipitação</i>	21
2.2.2. <i>Temperatura</i>	22
2.2.3. <i>Evaporação</i>	22
III	
RESULTADOS	
3. ESTUDO DO REGIME DOS CAUDAIS	23
3.1. OCUPAÇÃO HIDROLÓGICA DE NÍVEIS DE CAUDAIS DO CURSO PRINCIPAL	24
3.2. ESTUDO DO CAUDAL.....	24
3.2.1. <i>Caudal anual natural</i>	27
3.2.2. <i>Caudal ecológico</i>	29
3.3. CAUDAL MENSAL NATURAL	31
3.3.1. <i>Probabilidade de ocorrência do caudal ecológico</i>	34
3.4. CAUDAL ACTUAL (MODIFICADO).....	35
3.5. ANÁLISE DA CURVA DE DURAÇÃO DO CAUDAL.....	37
3.6. ESTUDO DO REGIME DE CAUDAIS SÓLIDOS.....	40
IV	
4. DISCUSÃO DOS RESULTADOS	41
4.1. GEOMORFOLOGIA E O CAUDAL ECOLÓGICO.....	41
4.2. VEGETAÇÃO, INVERTEBRADOS E O CAUDAL ECOLÓGICO.....	45
4.2. CAUDAL ECOLÓGICO E A QUALIDADE DE ÁGUA.....	49
4.4. CAUDAL MÍNIMO VERSUS CAUDAL ECOLÓGICO.....	50
4.5. SITUAÇÃO ACTUAL NA BPL E O PADRÃO DO CAUDAL ECOLÓGICO.....	53
V	
5. CONCLUSÕES	55
5.2. BIBLIOGRAFIA.....	57
ANEXOS	
ANEXO I	
ANEXO II	
ANEXO II	

1. INTRODUÇÃO

1.1. Problema

A água é um recurso escasso. A sua distribuição deve ser de forma racional e sustentável, requer uma gestão integrada de modo a maximizar os benefícios da comunidade, quer no presente, ou no futuro. A participação dos utilizadores da água na gestão dos recursos hídricos é necessária de forma a balancear os investimentos, benefícios e a protecção do meio ambiente (DNA, 1995:1-2).

A crescente competição entre a agricultura, a indústria e as cidades por um abastecimento limitado de água já é um esforço obrigatório para o desenvolvimento de muitos países. Com a expansão da população e o crescimento económico, leva os países a intensificar a limitação do abastecimento de água, levando ao surgimento de conflitos no uso de água (FAO,1995:75).

É neste quadro de esforços dos países que Moçambique também é obrigado a prestar atenção no problema da escassez da água, uma vez que 15 dos principais rios de Moçambique são internacionais e a captação da água nos países a montante, reduz a sua disponibilidade para o futuro desenvolvimento económico do país. A África do Sul, Swazilândia e Zimbabwe estão captando 40-60% do caudal fronteiro. Nas províncias semi-áridas do sul, apenas 10% do caudal hídrico é produzido dentro de Moçambique, como consequência deste consumo por parte dos países vizinhos, os rios internacionais perenes encontram-se secos durante muitos meses do ano. Estes rios constituem a fonte de água para a cidade de Maputo e para importantes áreas irrigadas nas bacias dos rios Umbelúzi, Incomati e Limpopo (DNA, 1995:7-12).

Em 1967, os Governos de Portugal e da República da África do Sul (RSA), assinaram um acordo para a melhor utilização conjunta dos rios com interesses comuns de forma a disponibilizar os recursos hídricos, para se atingir benefícios óptimos dos países envolvidos. A Swazilândia também aderiu a este acordo um pouco mais tarde, no mesmo ano. Um acordo formal relativo à partilha da água só foi alcançado em 1979, para a garantia de caudais para a barragem dos Pequenos Libombos, abastecimento à cidade de Maputo e irrigação dos sistemas do Umbelúzi (Consultec, 1992:2-3).

Embora o Umbelúzi tenha um acordo formal (acordo de 1979) sobre a partilha da água, e várias iniciativas actuais para a criação de uma comissão bilateral (Moçambique - Swazilândia) que se vai ocupar de questões de gestão e desenvolvimento da bacia do Umbelúzi (Jornal Notícias, 30/04/1999: p.6). A parte Moçambicana da bacia ressentem-se com a falta de caudais disponíveis, nos diversos locais em que é necessário executar obras destinadas a utilização da água ou manutenção das condições ecológicas óptimas, daí que as mudanças do regime hidrológico do rio para um novo de baixos caudais, tanto a montante como a jusante da barragem dos Pequenos Libombos, tem criado a falta de um caudal ecológico disponível, conseqüentemente sérios problemas ecológicos tais como :

- Falta de caudal ecológico para manter a reprodução dos ecossistemas existentes;
- Mudanças ecológicas na área do estuário, que outrora era conhecido como rico em nutrientes, atraindo para o local muitas espécies de peixe no seu estágio reprodutivo, deixaram de existir. A falta de deposição de sedimentos, obrigou a migração das espécies e o desaparecimento de peixe (Chonguiça, 1995:166).

- O controle dos caudais pela barragem dos Pequenos Libombos criou, na área do estuário, impactos relativos a mudança da dinâmica do equilíbrio entre a parte fluvial e o sistema oceânico; como consequência as terras húmidas e lagoas abandonaram o canal do rio que as ligava ao sistema do estuário (Chonguiça, 1995:166).
- A falta de descarga do caudal ecológico, traz problemas como a progressão da intrusão salina, conseqüentemente, a perda de terras produtivas. Este aumento de solos salinos e propensos à salinidade são inadequadas ao sistema de irrigação, assim são observadas nas zonas de planície da bacia espécies de plantas relativas a solos salinos (*Salycornia*) (Chonguiça, 1995:166).

Estes problemas associados a questão do abaixamento dos caudais fronteirços sob argumento dos países vizinhos é que nos leva a determinar o caudal ecológico para a bacia do rio Umbelúzi.

Motivação

O interesse pelo estudo do caudal ecológico do rio Umbelúzi deveu-se a dois factores que consideramos essenciais:

Primeiro, as características do problema acima apresentado.

Em Segundo lugar, do contacto feito com a dr.^a Joanne, no seu programa de pesquisa com a "BASIS" sobre acesso de água na África Austral, inclui esta pesquisa como uma das três diferentes teóricas sobre melhor acesso de água no Umbelúzi; assim o trabalho aparece como resultado dum treinamento do estudante e assistentes nos assuntos de água e política de água (BASIS,1998).

Outro motivo crucial na escolha desta área de estudo, resultou do facto de a área possuir dados que possam contribuir para o bom sucesso desta tese.

1.2. Objectivo Geral

O alcance deste estudo é desenvolver conhecimentos científicos no domínio da gestão dos recursos hídricos, concretamente na determinação do caudal ecológico óptimo da bacia do Umbelúzi, através da aplicação de métodos geográficos, e procurar contribuir na definição de estratégias que permitam uma partilha de águas dos rios internacionais tendo em conta a preservação do meio ambiente;

1.2.1. Objectivos específicos:

- Recolher teorias e práticas para formular o padrão do caudal ecológico do Umbelúzi
- Identificar os diversos factores do caudal ecológico na bacia.
- Determinar na área de estudo a situação actual dos caudais ecológicos em Goba, Pequenos Libombos e Boane.
- Contribuir para a produção de informação relevante para a formulação de melhores planos de uso da água e estratégias de conservação, preservação e utilização sustentável da água.

1.3. Pressupostos

Para o presente trabalho pressupõe-se que:

A (Co)existência de duas diferentes políticas de gestão de águas com necessidades e interesses por vezes contraditórios, nomeadamente: A política de gestão dos países a montante por um lado, e a política dos países a jusante por outro; ligados a práticas e atitudes de gestão de recursos há muito estabelecidos (sem a componente ambiental), e aliados a crescente actividade económica que necessita de água, levam a não preservação ou manutenção do padrão caudal ecológico da bacia do rio Umbelúzi.

O acordo assinado em 1967 entre os países a montante e os a jusante para a melhor utilização conjunta dos rios com interesses comuns, não está acompanhando o desenvolvimento socio-económico de Moçambique, o que leva a crescente degradação do meio ambiente a jusante ou mesmo a possível existência, no futuro de áreas assoladas pela seca.

1.4. Relevância do Tema

Vários autores escreveram sobre problemas e perspectivas para o melhoramento da gestão dos recursos hídricos na África Austral, fundamentalmente na partilha das águas dos rios internacionais. O problema da água na África Austral é discutido numa base regional e nacional (UNEP,1995; UNESCO,1995; UNEP,1991). Em Moçambique, existem estudos sobre políticas de água (VAZ,1996:1-7). A nível local já foram feitos alguns que tratam sobre impactos ambientais na construção de barragens, bem como, as quantidades de água disponíveis (BASIS,1998; Chonguiça,1995; Leestemaker,1998; Matola,1998).

Um estudo de caso sobre a determinação do padrão do caudal ecológico é benéfico para a produção de informação mais detalhada e que auxilie os decisores na definição de estratégias de gestão das bacias hidrográficas com problemas de partilha de águas, bem como, na elaboração de planos mais realistas e com larga aplicação, através da extensão dos resultados deste estudo à outras áreas com características físico-naturais e económico-sociais semelhantes ou a inclusão de estudos deste género nos projectos de avaliação de impactos ambientais, pois, a determinação do padrão do caudal ecológico é

um pré-requisito para um saudável plano de execução de qualquer obra destinada a utilização da água ou a defesa contra os seus efeitos (Hidrotecnica P,1975:23).

As medidas de preservação do padrão do caudal ecológico a serem apontadas, poderão ajudar as instituições de direito (DNA e ARMA-SUL) a definir formas de gestão da barragem dos Pequenos Libombos, as formas de uso e aproveitamento de água nos diversos locais da bacia, devido ao grande risco de problemas ecológicos. E a reduzir a perda de ecossistemas existente a jusante da bacia.

1.5. Quadro Teórico

Antes de entrarmos na questão sobre a determinação do caudal ecológico, torna-se necessário, a priori, discutir os conceitos importantes para o estudo, dentre eles destacam-se os de caudal e padrão do caudal ecológico requerido.

Contudo, Davies & Day,(1998:396) define caudal(Q) de um rio como " o volume de água que circula num segundo num ponto determinado do seu leito". Este depende do carácter e comportamento de alimentação do rio (chuvas, neve, gelo); da extensão da bacia hidrográfica; do curso do rio em que se junte (UEM, 1982:73).

Em geral, para calcular o caudal, mede-se a altura do nível da água em relação ao leito do fundo fluvial. Quanto maior for esse nível , tanto maior será o caudal, este expressa-se em metros cúbicos por segundo (m^3/s), e obtém-se multiplicando a velocidade média das águas (v) pela área da respectiva secção (s), isto é, a equação $Q = VS$ (ibid).

Uma das variáveis que diferenciam o comportamento de um rio do outro é o seu regime, definido como a relação das variações do caudal durante um ano (UEM,1982:74). Assim, o rio alcança o seu nível mínimo em certas épocas em que as águas "estão baixas", isto é, o caudal é baixo ou nulo. Este momento recebe o nome de "estiagem" que em geral se inicia lentamente para terminar bruscamente.(ibid.). Este regime natural dos rios é necessário ser mantido, uma vez que ela sustenta na sua bacia uma diversidade de ecossistemas.

Para responder a esta necessidade, King (1993:2) da "Freshwater Research Unit" da Universidade de Cape Town, apresenta a definição do caudal ecológico requerido como a "quantidade de água em termos de magnitude , momento, duração e frequência de diferentes escoamentos, que deve ser mantido para responder as necessidades do rio."

1.5.1. Antecedentes do estudo do caudal ecológico

Tharme (1996: 1-7) fazendo um comentário sobre o conceito de caudal ecológico adianta que este teve a sua "origem no Este dos Estados Unidos de América em 1973, para responder a necessidade de manutenção de água para determinadas espécies de peixes (salmonete) que viviam na zona do estuário". Nessa altura, o caudal ecológico era avaliado como caudal mínimo (10-12%); na qual, todos os caudais acima deste valor mínimo eram considerados disponíveis para ser usado no período seco.

Com a crescente deterioração das condições dos rios e o aumento da necessidade de água, passou a ter maior interesse a sua determinação.

Na África Austral, precisamente na África do Sul, introduz-se pela primeira vez o conceito de caudal ecológico requerido, em 1987, em dois grandes " Workshops " sobre avaliação do caudal requerido para os rios. Mais tarde, em 1991, o "Department of Water Affairs and Forestry (DWAF) - South África (1996)", introduziu na sua política nacional de águas, como condição necessária de manutenção do caudal ecológico em todos os rios (King, 1993:I-2).

Inicialmente, o caudal ecológico era determinado para proteger a manutenção de espécies aquáticas específicas. Actualmente, com o reconhecimento mundial da necessidade de se estabilizar a extensão do regime dos caudais dos rios; o padrão do caudal ecológico é determinado para manter a integridade dos ecossistemas, ou um nível aceitável de degradação dos ecossistemas do rio, a sustentabilidade do sistema do rio, bem como os outros propósitos, como: a recreação (Tharme, 1996:4).

De 1970 à 1980, regista-se um rápido desenvolvimento de metodologias com objectivo de determinar e avaliar o caudal ecológico. Estes métodos tentavam relacionar a qualidade de água, à degradação dos habitats dos peixes, a descarga e a necessidade do caudal ecológico (Ibid.).

Embora existirem tantos métodos, ainda confunde-se a determinação do caudal mínimo e o padrão do caudal ecológico, uma vez que, o seu conhecimento, e as técnicas para a sua determinação exigem metodologias sofisticadas (Ibid.).

As investigações analíticas, bem como as técnicas de determinação do caudal ecológico, necessitam de técnicas modernas de análise porque o risco que o rio corre pode ser



irreversivelmente degradável, em eventos que se estendem desde as condições naturais totalmente perdidas, até a incapacidade do rio fornecer sustentabilidade de água (Tharme, 1996:2).

O único estudo sobre o caudal ecológico que esta disponível, é o do "Department of Water Affairs and Forestry - South África (1996) " referente ao rio Sabie, usando o método "Building Block Methodology" (BBM); contudo, Matola (1998:14) na sua tese de Mestrado "Water Resources Planning Approach For the Umbelúzi River Basin" adianta alguns valores de caudais que deviam ser ecológicos, e ele sugeré continuar investigar o assunto.

O caudal ecológico, bem como a sua determinação tem vários métodos e vários propósitos. Porque o conceito de caudal ecológico é amplo e geral, na sua determinação ele deve ser tratado em função do que se pretende investigar.

Assumindo que o nosso estudo centra-se numa bacia hidrográfica onde se pretende determinar o padrão do caudal ecológico, tendo em conta a sustentabilidade do ecossistema, no subcapítulo seguinte, a nossa concentração será em explicar alguns dos métodos usados para determinar o padrão do caudal ecológico requerido.

1.5.2 A apresentação teórica dos Métodos de cálculo do padrão caudal ecológico.

Tharme(1996:4) citando Tennant, explica que "na determinação do caudal ecológico, as variáveis físicas do habitat são consideradas crucias, uma vez que eles determinam o

bem estar dos organismos aquáticos. Estes são a largura da humidade, a profundidade e a velocidade da água.

Os diferentes métodos usados para determinar o caudal ecológico são:

1. Escoamento Mínimo (até 1973 usado nos EUA)
2. Hidrológico
 - 2.a) Método de Montana
 - 2.b) Método baseado na análise da curva de duração do caudal
3. Habitat e descarga - (Habitat rating- Hydraulic rating)

Estes métodos caracterizam-se em:

2) O hidrológico:

- Usa registos históricos de caudais, nos seguintes submetidos:
 - a) Fixação de percentagem dos caudais mínimos (método de montana)
- Os procedimentos incluem variáveis de : - Bacia
 - Hidráulico
 - Critérios geomorfológicos
 - Base de dados hidrológicos

2.a) Método de Montana (de Tennant,1976)

Usa a percentagem do escoamento médio anual para formular o regime básico do caudal (escoamento básico), para satisfazer o caudal ecológico requerido.

A correlação entre o escoamento médio anual e as áreas húmidas do habitat, forma o conceito básico do método, e permite categorizar as condições do rio para ser determinado.

Tharme (1996:4) citando Tennant estabelece a fixação da percentagem dos escoamentos mínimos recomendáveis para o regime do escoamento-base; donde a base de avaliação recomenda 10% de escoamento anual médio como mínimo instantâneo escoamento para suster o curto-tempo a sobrevivência do habitat, para a maior parte da biótica aquática. Trinta 30% para suster a boa condição de sobrevivência e 60% excelente para o habitat (vide tabela 1 abaixo).

Tennant (1979:9) argumenta que os 10% do caudal acima citados significam "o mínimo caudal instantaneo para a sobrevivência do habitat da vida aquatica."

Tabela 1. Categorias de percentagem do escoamento anual médio (AAF) para o método de Montana¹

Descrição dos fluxos	Recomendações do regime do escoamento-base (% de AAF)	
	Outubro-Março	Abril-Setembro
Máximo	200%	200%
Intervalo óptimo	60 – 100%	60 – 100%
Excepcional	60%	40%
Excelente	50%	30%
Bom	40%	20%
Considerável ou degradavel	30%	10%
Pobre ou mínimo	10%	10%
Severamente em degradação	10% - 0 fluxo	10% - 0 fluxo

Fonte: Adaptado de Tharme (1996:12), para as condições climáticas de Moçambique

O método avalia:

¹ usado para recomendar o regime do caudal ecológico para Peixes, plantas e animais, recreação e relativo aos recursos ambientais (modificado de Tennant, 1976)

- Mudanças em percentagem do substrato que a água abrange (perímetro húmido inundado pelas descargas).
- Mudanças da velocidade, profundidade e sustentabilidade física do habitat

2.b) Método baseado na análise da curva de duração do caudal (Analysis of flow duration curves – FDCs)

É um dos métodos mais aplicados. A linha metodológica, baseia-se na determinação da curva de duração do escoamento (FDCs), e estabelece-se a relação entre escoamento e a percentagem de tempo que excede o caudal mínimo. Assim se define 40% a 80% como a percentagem de tempo para o caudal ecológico (Tharme,1996:7-11).

3.) Método habitat-descarga, (*Habitat rating- Hiraulic rating*)

Este método faz a correlação entre o escoamento, as áreas inundadas e o nível de incremento das mudanças do habitat que formam o conceito básico do método. Os procedimentos de análise incluem variáveis da bacia, hidráulica, critérios geomorfológicos e uma base de dados hidrológica (Tharme,1996:17).

O método conduz-nos a analisar a relação habitat físico e as descargas, e a avaliar os efeitos do incremento das mudanças dos caudais na estrutura da bacia, na qualidade de água , na temperatura e a disponibilidade apropriada da microhabitat das espécies aquáticas (Tharme,1996:16-17).

No método '*hydraulic rating*' são usados parâmetros físicos do rio para avaliar as mudanças no abiótico aquático alvo, examinando sítios específicos de fluxos irregulares e as mudanças morfológicas (ibid).

Tharme (1996:20) considera o método '*habitat rating*' como o caminho que nos conduz a "quantificar o potencial usável do fluxo em diferentes descargas." O mesmo autor explica que este método usa procedimentos combinados para avaliação das condições do macrohabitat físico e as flutuações de descargas. E tem como meta, determinar a manutenção do caudal para a retaguarda da biótica.

1.5.3. Modelo River Basin System WAFLEX

O modelo River Basin foi construído na base do modelo WAFLEX desenvolvido por Savenije em 1990. O Waflex é extensivo ao modelo de simulação construído numa rede em cadeia usando células, onde cada célula calcula o balanço hídrico pretendido. Para cada etapa no tempo (mês), o escoamento é calculado em cada célula adicionando o crescimento dos escoamentos. Os rios tributários são representados na rede da cadeia. A rede de cadeia consiste em dois módulos: de abastecimento de água e de necessidades (Matola, 1998:31).

Existem diversos métodos e modelos de simulação propostos para a determinação do caudal ecológico, mas neste estudo, escolhemos dois métodos e um modelo de simulação: Método de Montana , método de análise da curva de duração do caudal e o modelo de simulação "River Basin System WAFLEX".

As razões que nos levaram a escolher estes métodos são as seguintes:

- Os dois métodos por si só complementam-se.
- São métodos rápidos, fácil de aplicar, de fácil ajuste para recomendações do fluxo no ano seco e húmido, e manter fluxos apropriados para porções do mês.

Os critérios definidos para a escolha destes métodos e o modelo são os seguintes:

- ◆ A capacidade que têm para definir o regime básico do caudal ecológico;
- ◆ Indicar mudanças do substrato pela descargas;
- ◆ Indicar mudanças e sustentabilidade física dos habitats.

1.6. Metodologia

Como forma de dar resposta aos objectivos e os pressupostos acima definidos seleccionaram-se alguns procedimentos, técnicas e as fontes que serviram de base para a análise do objecto de estudo.

1.6.1. Procedimentos

Para a realização deste trabalho foi seguida a seguinte linha metodológica:

Primeira fase - Pesquisa bibliográfica

Segunda fase - trabalho de campo

Terceira fase - análise dos resultados

Quarta - elaboração do relatório final.

i) Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi feita para obter as bases teóricas conceptuais e para avaliar o grau da informação existente sobre o assunto. Nesta fase fez-se uma análise crítica da metodologia a usar na determinação do caudal ecológico.

ii) Trabalho de campo

Na preparação do trabalho de campo, bem como na descrição das características físico geográficas da área de estudo, foram usados e interpretados os mapas existentes:

Carta 1:50.000 da bacia e dos terrenos irrigados;

Carta 1 : 5.000 do local da barragem;

Carta de Precipitações.

O trabalho de campo, consistiu na recolha de amostras de água, para análise laboratorial, bem como a medição de vários indicadores, tais como: Profundidade do canal, largura do rio, a velocidade da água, a temperatura, observação directa e análise dos habitats existentes, medição do raio das áreas de inundação, medição do raio das áreas húmidas no momento, observação directa do padrão da distribuição da vegetação (plantas ribeirinhas), espécies de animais existentes (invertebrados, peixes, passarinhos, insectos, etc.) caracterização dos substratos: Bedrock², aluviões e locais de depósito; e o levantamento do perfil transversal (actual).

O trabalho de campo durou 10 dias e foi realizado em três locais previamente seleccionados (Goba-E10, Pequenos Libombos-ponte, Boane- ponte de caminhos de Ferro).

² A rocha do fundo do leito abaixo do qual a erosão linear não se efectua (Lopes,1979:38; Ferrão,1992:40).

No campo, a partir dos contactos estabelecidos com a população local, foi possível localizar os locais habituais onde se faz regularmente os registos dos indicadores acima citados, nestes locais, foram feitas as seguintes medições:

Em primeiro lugar mediu-se a largura do rio com ajuda de um fio graduado, seguindo-se a medição da profundidade (três medições em cada local) a partir da distância de 10 em 10 metros na horizontal. Nos Pequenos Libombos a medição da profundidade foi feita na ponte dos Pequenos Libombos, logo após a barragem., mas devido a forte corrente de água não foi possível mergulhar na água, sendo assim, para medição da profundidade usou-se uma corda graduada com um chumbo de 5 kg., assim foi possível medir a profundidade do rio em cada 10 metros na horizontal.

Com uma Molinete, instrumento que permitiu medir a velocidade superficial da água foram feitas medições nas duas margens do rio e no meio(em cada local as medições foram executadas 3 vezes).

- A temperatura da água foi medida em três locais da secção do rio, nas margens e no leito central.
- O raio da área de inundação do rio foi medido nas margens do rio. No caso de Goba foi considerado a parte da margem do rio sem água, mas com depósitos sedimentares.
- Para o cálculo do caudal foi tirado a altura da água em três períodos as 12 horas as 17 e no dia seguinte às 7 horas.

- Foram observadas e anotadas as características dos padrões de distribuição da vegetação ribeirinha ao longo das duas margens do rio, simultaneamente com a observação dos animais existentes no local. No terreno conseguimos obter alguns insectos, crocodilos e sapos.

Todo o trabalho foi concluído com o levantamento do perfil transversal actual e posteriormente a recolha de amostra de água para análise laboratorial.

As amostras foram entregues ao Laboratório do INIA (Maputo) para análise e determinação de sedimentos, PH, CE e Alcalinidade.

Ao longo do trabalho foram tiradas fotografias documentais.

No trabalho foram usados alguns métodos importantes para análise geográfica como o método cartográfico, comparativo geográfico.

iii) Análise dos resultados.

Para análise dos dados dos caudais usou-se o método estatístico para se determinar o tipo de distribuição a que se ajusta a série, o teste de significância e a probabilidade.

Feito a análise estatística dos dados, aplicaram-se os dois métodos acima citados, de determinação do caudal ecológico requerido: Método de Montana, Método de análise da curva de duração do caudal.

Na análise profunda dos dados do caudal natural e do caudal actual (perturbado) foi usado o modelo "River Basin System WAFLEX" para simular três cenários : o caudal natural, o caudal perturbado depois da construção da barragem de M'njoli da

Swazilândia,(1979), o caudal perturbado depois da construção da barragem dos Pequenos Libombos (1987), incluindo todos os consumos de irrigação e abastecimento de água à cidade de Maputo.

1.7. Localização da área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Umbelúzi tem uma área total de 5460 Km², dos quais 58% (3320 Km²) estão localizados na Swazilândia, 41% (2300 Km²) em território moçambicano e uma pequena porção na África do Sul. De 1% (80Km²) (Matola,1998:14).

Em termos astronómicos a bacia localiza-se na zona subtropical entre as latitudes de 25 ° 30' e 26° 30' S e entre as longitudes de 31° 00' e 32° 30' E (Hidroprojecto,1974:5).

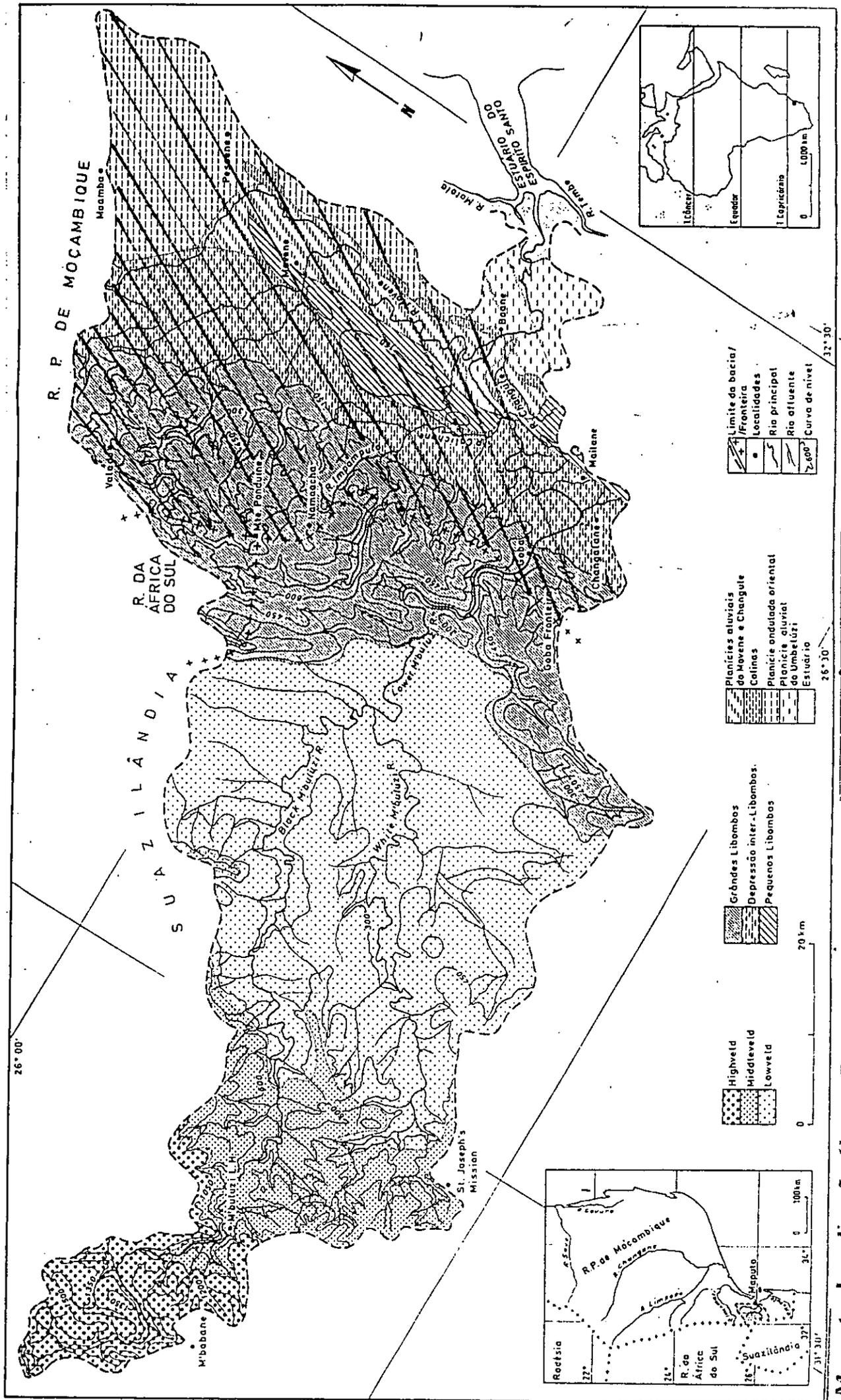
Neste trabalho, a área de estudo será a parte da bacia localizada no território Moçambicano, concretamente situada entre as latitudes de 25° 30' e 26° 30' S e as longitudes de 32° 10' e 32° 30' E. Vide o mapa 1.

Entretanto, neste estudo a colecção e análise dos dados foi restrita a três locais: Goba, Pequenos Libombos e Boane onde, segundo DNA(1991:3) "os dados hidrológicos são registados desde 1951".

II

2.FACTORES CLIMATICOS GERAIS

O caudal de um rio é afectados por vários factores: clima (precipitação, temperatura, humidade), escoamentos (expressa pelo volume de água que passa num ponto do rio (Mm³), da existência da vegetação e de lagos reguladores, da construção de barragens e

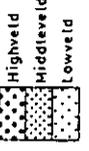
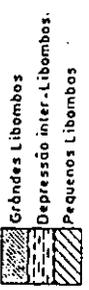
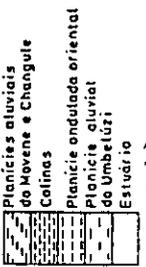
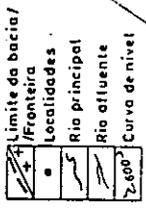
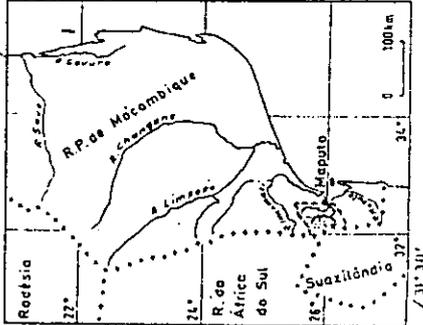
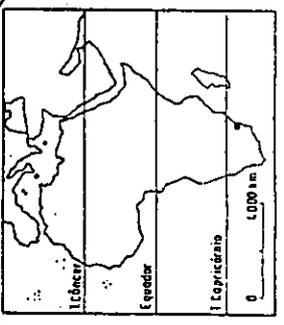


26° 00'

32° 30'

26° 30'

31° 30'



Fonte: LOPES, M.E.A. (1979)

Mapa 1. Localização Geografica da área de Estudo: Bacia do Umbeluzi

os níveis da necessidade de água. A importância destes aspectos variam no tempo, espaço e escala da análise.

Com objectivo de servir de base à caracterização das diversas variáveis hidrológicas intervenientes neste estudo, apresentamos aqui a caracterização dos factores climáticos e no anexo IA a geologia, geomorfologia e vegetação da bacia do rio Umbelúzi.

2.1. Características climáticas gerais da área da bacia

Segundo Jessen, (1994:14) citando Faria " o clima de uma região é o conjunto de condições meteorológicas predominante nessa região, durante determinado intervalo de tempo".

O clima de Moçambique é fortemente influenciado pelos ventos alísios e pelas correntes marítimas do oceano Índico, dada a sua extensão em latitude (Hidrotécnica: 1980:3-17).

Azevedo (1947:2) divide Moçambique em duas zonas de região meteorológicas diferentes : " Uma, ao Norte, sujeita ao regime de monções; outra, ao Sul caracterizada por regime Anticiclónico e de depressões das latitudes médias".

A bacia do Umbelúzi integra-se na zona Sul, sofrendo a influência dum regime Anticiclónico e de depressões das latitudes médias, isto é, uma zona de altas pressões e de depressão de origem térmica.

A conjugação da acção do anticiclone do Índico situado à latitude de 38° 00' S e da depressão de origem térmica centrada na plataforma continental, toda região é invadida por massas de ar tropical marítimo neutro (Hidroprojecto :1974:12). Esta situação faz

com que nas regiões mais montanhosas do interior a nebulosidade se mantenha durante todo dia e devido à instabilidade convectiva da massa de ar ocorrem fenómenos de precipitação muito intensa do tipo orográficas acompanhadas de trovoadas. Esta situação ocorre durante a estação húmida, de Setembro a Abril, e com grande frequência entre Novembro e Março (ibid.).

Na estação seca (de Maio a Setembro), a acção do Anticiclone do Índico situado à latitude de 30°00' S e do anticiclone que se forma sobre a África Meridional, centrado na plataforma continental, provoca a invasão em toda a região de massas de ar tropical continental. Esta situação faz com que a região fique com o céu pouco nublado, consequentemente ausência de precipitações (FARIA:1964: 2).

Da acção do vale depressionário cavado entre os anticiclones do Atlântico Sul e do Índico, resulta o movimento para Norte da superfície frontal polar. Na estação seca tem aparecido superfícies frontal, denominada de temperada, duas outras, respectivamente a subantártica e a antártica. A região abrangida fica submetida à acção alternada de massas de ar tropical marítimo e polar marítimo que no seu movimento para Norte devido às modificações tem criado intensas precipitações sob a forma de chuva contínua moderada a forte. (Hidroprojecto, 1974 : 13).

A bacia do rio Umbelúzi apresenta, assim , um clima tropical de savana, caracterizado por duas estações bem diferenciadas: estação quente e chuvosa, que se estende em geral entre Novembro e Abril, com as maiores precipitações concentradas nos meses de Dezembro a Março; e a estação seca , menos quente e quase sem precipitação, nos restantes meses (Azevedo, 1947: 1-2).

2.2. Distribuição no espaço da precipitação, temperatura, evaporação e evapotranspiração

2.2.1. Precipitação

Com base nos dados das estações de Maputo, Boane, Goba e Moamba obtidos por Kassam(1981:22), e considerando o período de caracterização média 1960-1990 e o ano hidrológico de 1 de Outubro à 30 de Setembro, dos anos acima referidos, verifica-se que as linhas de igual precipitação sobre a bacia do rio Umbelúzi tem uma configuração geral bastante semelhante em ano médio, em ano húmido e em ano seco. Mantendo o núcleo de altas precipitações junto à confluência do White Umbelúzi³ com o Black Umbelúzi⁴ inferior a 600 mm.

Verifica-se que no espaço, a precipitação cresce progressivamente do litoral para o interior (onde toma valores da ordem dos 550 m), atingindo um máximo sensivelmente ao longo do meridiano dos 32° 00' E. e decrescendo depois até ao meridiano que passa pela confluência do White Umbelúzi com o Black Umbelúzi, voltando a crescer até ao meridiano que passa por Mbabane, para o interior.(vide tabela 2 abaixo emapa 2 no anexo I).

A distribuição da precipitação no espaço e dentro da escala da bacia do Umbelúzi é facilmente explicável pela morfologia da bacia, uma vez que nas encostas viradas a Leste se verifica valores mais altos de precipitação, devido à influência das massas de ar marítimo, e por outro lado nas regiões montanhosas, os valores de precipitação são mais elevados devido a influência da chuva de tipo orográficas (Hidroprojecto, 1974:14).

³ É o nome do rio Umbelúzi no seu curso principal situado na Swazilândia

⁴ É o nome dum afluentes do rio Umbelúzi situado na Swazilândia

Dados de Kassan (1981:22) e Hidroprojecto (1974:14) apresentados na tabela 2 abaixo, indicam que a precipitação na escala da bacia distribui-se da seguinte forma: Em Mbabane (Swazilândia) encontramos altas precipitações e em Moamba e Boane (Moçambique) baixas precipitações (vide mapa 2 no anexo I).

Tabela 2 Distribuição dos valores de precipitação

Estação	Evapotranspiração potencial (mm)	Precipitação media(19960-1990)		
		Média anual (mm)	Máxima mensal (mm)	Mínima mensal (mm)
Umbelúzi(Boane)	1140	680	113	9
Moamba	1250	650	121	5.5
Namaacha	960	980	152	16
Siteki (Suazilândia)	860	860	140	17
Mbabane(Suazilândia)	760	1400	254	20

Fonte: Elaborado pelo Auto com base em Kassan (1981) e Hidroprojecto (1974).

2.2.2 Temperatura

A partir dos dados de Hidroprojecto (1974:75), as isotérmicas anuais médias da bacia correspondentes ao período 1931/60, verifica-se que a temperatura decresce do litoral para o interior, onde a temperatura média no litoral é da ordem dos 24° C, e para o interior aproxima-se a 19°C (vide mapa 2 no anexo I).

2.2.3 Evaporação

O valor da evapotranspiração potencial anual média, calculada pela fórmula de Thornthwaite, varia entre 757,7 mm em Mbabane até 1246,9 mm em Moamba (Hidroprojecto, 1974:17-18) (vide tabela 2 acima).

Estabelecendo a relação entre a precipitação e a evapotranspiração potencial, no espaço e dentro da escala da bacia, podemos notar que Boane, a parte a jusante da bacia, apresenta elevada evapotranspiração potencial e baixa precipitação, conseqüentemente, grande déficit hídrico; por outro lado, Mbabane apresenta baixa evapotranspiração potencial e elevada precipitação, conseqüentemente, sem déficit hídrico.

Miambo (1996:27) explica que "Boane, apresenta um grande déficit hídrico resultante da elevada evapotranspiração que ocorre ao longo de todo o ano. Essa evapotranspiração, supera em grande medida a precipitação que também é irregular e abundante apenas no verão". Em termos numéricos, o mesmo autor apresenta que Boane tem um déficit hídrico de 555.6 mm por ano; sendo a perda diária por evaporação de 3.46mm.

Estes dados leva-nos a concluir que em termos de balanço hídrico a parte a jusante menor contribui para o caudal da bacia, por outro lado, é o lado da bacia com maior perda de água, conseqüentemente, maior risco de seca e maior necessidade de caudal ecológico. Na parte da montante da bacia não tem escassez de água.

III

RESULTADOS

3 ESTUDO DO REGIME DOS CAUDAIS

No presente capítulo desenvolve-se o estudo dos caudais do rio Umbelúzi com vista à determinação do caudal ecológico.

Na sequência deste capítulo, estuda-se a distribuição dos valores do caudal anual, mensal, analisa-se a estrutura da sucessão de valores do caudal mensal e procede-se a

determinação do caudal ecológico, bem como, a simulação dos vários cenários para obtenção do caudal actual para posterior discussão.

3.1 Ocupação hidrológica de níveis de caudais do curso principal

Goba, Pequenos Libombos e Boane, são as três estações em Moçambique onde os caudais são registados desde 1951/52 (GTDH, 1969 e Kranendonk, 1991).

3.2 Estudo do caudal

No presente trabalho o estudo dos caudais com vista a determinar o caudal ecológico será feito com base nos dados apresentados por Matola (1998) no seu trabalho de tese de mestrado "Water Resources Planning Approach for the Umbelúzi River Basin".

Estes dados são de trinta anos, no período de 1964-94, e são apresentados para as três estações acima citadas, em que cada uma delas possuem as seguintes áreas: Goba 3100 km², Pequenos Libombos 3900 km² e Boane 5200 km² (GTDH: 1969:6).

Segundo Carvalho (1971:18) "o estudo de qualquer caudal começa pela determinação da respectiva lei de distribuição. As leis de distribuição traduzem-se algebricamente por expressões em que figuram os parâmetros característicos do caudal, dos quais as amostras nos fornecem estimativas".

O mesmo autor considera que algumas distribuições teóricas mais frequentemente usados são três:

- Distribuição normal ou de LAPLACE
- Distribuição binomial ou de BERNOULLI

- Distribuição de POISSON

Neste trabalho, aplicamos somente duas, a distribuição normal e a binomial, isto porque a primeira tem particular interesse em hidrologia; e segundo esta lei se distribuem as variáveis referentes a medições de caudais. A distribuição normal é definida por dois parâmetros (a média e o desvio padrão). No caso da distribuição binomial interessa porque refere-se especialmente a "atributos"⁵. Sempre que o problema estatístico envolver a avaliação da proporção de caudais que passem ou não determinadas características (Carvalho: 1971:33).

Estudos feitos pela Hidroprojecto (1974:31) com finalidade de determinar o ajustamento da distribuição do caudal anual no Umbelúzi, indicam que as " séries de valores de caudais em Goba e Pequenos Libombos são independentes no tempo, e seguem muito aproximadamente a uma lei normal".

Para Matola (1998:15) o teste de ajustamento da distribuição estatística das séries de escoamentos anuais do Umbelúzi na estação de Goba(E10) " se ajusta a uma distribuição lognormal.

Entretanto, o teste de ajustamento da distribuição feita para as séries de escoamento anuais das estações de Goba, Pequenos Libombos e Boane, se ajustam a uma distribuição lognormal, o que vem a concordar com Matola. (vide Fig. 1 abaixo, II-1a e II-1b no anexo II).

⁵ Os atributos são condições usados para testar o nível de significancia entre as variáveis observadas e a teóricas, bem como a determinação de probabilidade.(Savenije,1996:24-56)

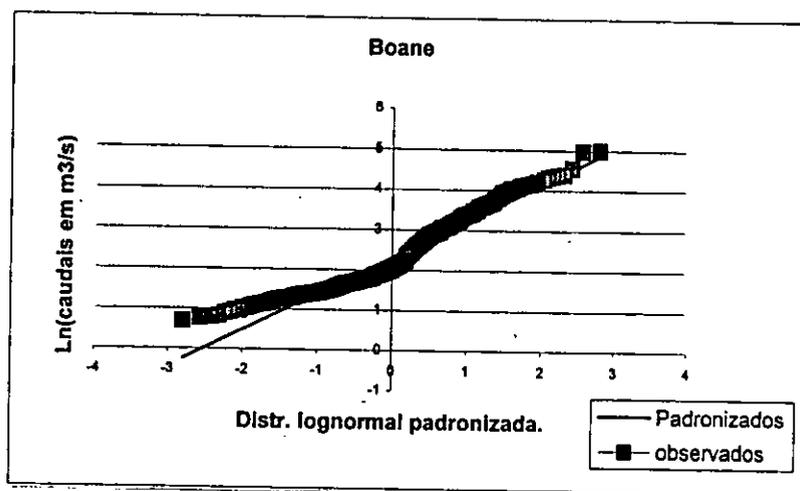


Fig. 1 Lognormal da Estação de Boane

A distribuição lognormal indica que o rio Umbelúzi tem caudais altos que tendem a ser momentâneos e caudais baixos que tendem a ser mais frequentes. Daí que surge a mudança da posição da mediana perante a média (média maior que a mediana) (Shahim, 1993:35).

A relação que se estabelece entre os caudais estimados pela expressão lognormal e os observados, é expressa pelas suas equações (vide Fig. II-2a, II-2b e II-2c no anexo II) que nos indica uma tendência cíclica a longo prazo, e podem ou não seguir exactamente padrões análogos (Spiegel, 1985:358).

Perante tal resultado, com base nos dados presentes na tabela 1 no anexo III, e uma vez que se pretende formular uma ideia acerca das quantidades máximas e mínimas de água que podem correr na bacia do Umbelúzi, nas suas condições naturais; começaremos por calcular os parâmetros característicos da distribuição normal dos caudais, por forma a verificar o comportamento do escoamento em termos de médias anuais, os desvios prováveis dos escoamentos médios anuais em relação ao valor da média.

A partir das expressões 3.1, 3.2 e 3.3 calcularam-se as estimativas da média, do desvio padrão e do coeficiente de variação.

$$(3.1) \quad \bar{x} = \frac{\sum s(x)}{N}$$

$$(3.2) \quad S = \sqrt{\frac{S(X^2) - \bar{X}S(X)}{N-1}}$$

$$(3.3) \quad C = 100 \frac{S}{\bar{X}}$$

Em que X designa os escoamento anual ou caudais anuais, e N o seu número.

Tabela 3: Variáveis estatísticas do caudal anual

Estações	Caudal anual		
	Média (m ³ /s) X	Desvio padrão (m ³ /s) S	Coeficiente de variação (%) C
Goba	11.4	12	105
P.Libombs	13.5	14.6	108
Boane	16	18.7	117

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.1. Caudal anual natural

Segundo resultados obtidos (tabela 3) é de assinalar que entre 1964-/94 (em 30 anos), o rio Umbelúzi nas condições naturais, apresentou um caudal médio anual de 11.4 m³/s em Goba, 13.5 m³/s nos Pequenos Libombos e 16 m³/s em Boane.

Os coeficientes de variação são elevados; embora se apresentam valores próximos uns dos outros (105% a 108%), por outro lado, ela se comporta duma forma crescente, da montante para a jusante.

Embora, o período de observação seja de 30 anos para todas estações, a variação do escoamento do Umbelúzi ronda nos 100%, o que quer dizer que podemos encontrar altos escoamentos e ao mesmo tempo escoamentos muito baixos.

Este comportamento pode ser visto no espaço, bem como nas variáveis em análise, onde a medida que nos deslocamos para a jusante, a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação dos escoamentos de cada local tornam-se elevados, isto indica que a partir de Goba os caudais tornam-se cada vez mais variados, daí que anualmente, a jusante tem sofrido momentos de altos caudais (cheias) e momentos de baixos caudais acentuados (seca).

Estudos feitos por Barroso (1979:4), sobre o regime do rio Umbelúzi, nas condições naturais, explicam que, "o rio Umbelúzi apresenta o escoamentos elevados em Boane, por existirem afluentes mais importantes depois de Goba tais como, Calichane e Movene. Estes rios drenam nas áreas dos Libombos, que são acidentados e de baixa permeabilidade. Nas épocas pluviais tem enxurradas violentas, mas pouco tempo depois deixam de correr "

Barracoso(1973:7) explica que "a variabilidade elevada tem haver com a geomorfologia e a diferença de regimes entre a montante e a jusante; na montante encontrámos um regime de transição de tipo torrencial para regular e a jusante o curso é perene".

Em Boane observamos alguns afluentes, que influenciam a alteração constante do seu escoamento. Por outro lado, é preciso tomar atenção que a jusante tem sofrido momentos

extremos de seca; por influência de outros factores, tais como a evapotranspiração potencial elevada (Miambo, 1997:27).

Segundo dados constantes na tabela 1 no anexo III e na tabela 4 abaixo, o escoamento máximo ocorrido no Umbelúzi entre 1964-1994 foi de 385,81 Mm³ em Boane e o mínimo de 3,5 Mm³ nos Pequenos Libombos. O ano de menor escoamento foi o de 1983. Verificando-se que esse ano, o escoamento nos Pequenos Libombos (3,5 Mm³) foi menor que em Goba (3,6 Mm³), embora esteja mais a jusante.

Observando a regularidade dos caudais ao longo dos trinta (30) anos podemos verificar que a partir de 1977, os caudais do rio Umbelúzi baixaram em todas as estações, isto é, houve uma ruptura do sistema. (vide Fig II-3a no anexo II), daí que os grandes picos atingidos nos anos 1975 e 76 não existem.

Tabela nº 4 Escoamentos mensais (1964-1994)

Estações	Escoamento Mínimo 1983 (Mm3)	Escoamento Máximo 1976 (Mm3)
Goba	3.6	157.8
P.Libombos	3.5	180.9
Boane	4.9	385.8

Fonte: Elaborado pelo autor

3.2.2.. Caudal ecológico

Considerando a necessidade do caudal ecológico, segundo critérios definidos pelo método de Montana na qual propõe 10% do escoamento anual médio, como caudal pode ser mantido para satisfazer as necessidades ecológicas do rio (vida das plantas e dos animais), significa que nas condições naturais acima apresentadas, o caudal ecológico médio anual a ser mantido no Umbelúzi seria de 1,36 m³/s. Só que este caudal varia no espaço, da montante para a jusante.

Assim podemos ver, em Goba um caudal ecológico mínimo de 1,14 m³/s e o máximo em Boane de 1,6 m³/s. A variação do caudal ecológico médio anual ao longo das três estações em estudo varia na ordem dos 8,4% (vide Fig 2 abaixo).

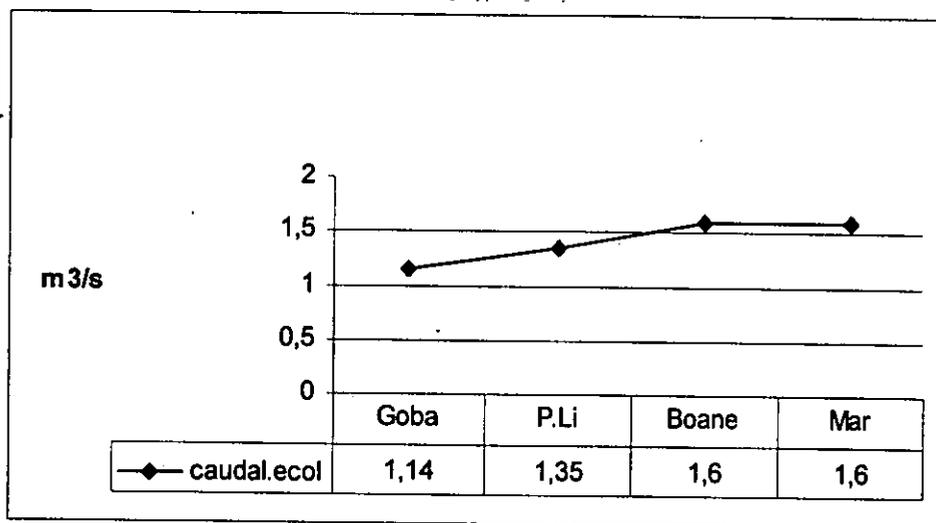


Fig.2 Caudal ecológico requerido em cada estação do Umbelúzi

Estudos feitos por Matola (1998:50) adiantam que "o escoamento médio anual, nas condições naturais, de toda a bacia (até ao mar) é de 500 Mm³/s" correspondente a 16 m³/s, isto vem confirmar que o caudal ecológico médio anual necessário a ser mantido até ao mar é de 1.6 m³/s.

Sobre o caudal que entra em Goba, Chonguiça (1995:74-76), explica que "antes da construção da barragem de M'njoli na Suazilândia os caudais em Goba eram de 12,1 m³/s". Calculando o caudal ecológico a partir deste valor, observamos que este se aproxima aos obtidos por Matola (1998), mas com uma pequena diferença, explicadas pelas diferenças das séries usadas; uma vez que Chonguiça usou séries com registos diários e Matola séries mensais.

3.3.Caudal mensal natural

A determinação do escoamento anual médio está longe de proporcionar uma informação completa sobre o regime dos caudais (Mayer, 1941:33).

Não só os escoamentos anuais variam de ano para ano, assim como a média não é mais que um valor em termo do qual os caudais se colocam (Carvalho, 1974: 15). Entretanto, interessa ainda conhecer a distribuição ao longo do ano da quantidades de água que escoam, pois a mesmo caudal anual, distribuindo-se uniformemente ao longo do ano, não tem o mesmo significado para a vida do rio, isto é, as plantas ribeirinhas e os animais que lá vivem.

Face a isto, convém estudar o modo como os caudais se distribuem ao longo do ano.

Na tabela 2, no anexo III encontramos os caudais mensais médios de cada estação. Um rápido exame dela, revela-nos a existência de duas épocas distintas, uma seca, outra húmida, na seca observamos caudais abaixo de $5.8\text{m}^3/\text{s}$ em Goba e $7\text{ m}^3/\text{s}$ em Boane (vide Fig. II-4a e II-4b no anexo II).

O período húmido é constituído por um semestre (Novembro - Abril), em que os caudais mensais são sempre superiores a $10\text{m}^3/\text{s}$. O semestre húmido está perfeitamente definido, sendo a transição muito nítida (os mês de Outubro e Maio). O mês de maior caudal é Fevereiro para todas as estações.

O mês de estiagem severa para todas as estações é Setembro, em que se pode observar caudais abaixo de $4,7\text{m}^3/\text{s}$ (vide tabela 2 anexo III, Fig. II-4a, II-4b e II-4c no anexo II).

Esta divisão do ano em períodos homogéneos sob ponto de vista de distribuição de caudais revela-se dum extraordinário interesse porque indica-nos como o caudal se comporta.

Estabelecendo a relação entre o caudal médio anual e os períodos húmidos e secos observamos que no período húmido em Boane escoa cerca de 77.7% do caudal médio anual; nos Pequenos Libombos 77,3% e Goba 75,3%. Quanto ao período seco Goba possui maiores caudais representando cerca de 24,6 % do caudal médio anual; Pequenos Libombos e Boane com 22,3% (vide tabela 5 abaixo).

Podemos concluir que a escala do curso principal do Umbelúzi(em Moçambique), durante todo ano, a maior parte do escoamentos (77%) ocorre no período húmido, e no período seco os maiores escoamentos ocorrem em Goba. Sendo assim, o comportamento do caudal ecológico se assemelha a distribuição no espaço do caudal natural.

Tabela 5: distribuição dos caudais ao longo do ano

Estações	Período	
	Húmido	Seco
Goba	75,3	24,7
Pequenos Libombos	77,3	22,7
Boane	77,7	22,3

Fonte: Elaborado pelo autor

Quanto ao caudal ecológico mensal requerido podemos observar na tabela 6 que o mínimo requerido encontramos em Goba ($0,36 \text{ m}^3/\text{s}$) no mês de Setembro, e o máximo em Boane ($3,56 \text{ m}^3/\text{s}$) no mês de Fevereiro.

Tabela 6 Caudal ecológico mensal requerido

Estações	Meses											
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Goba	0.59	0.9	1.32	1.85	2.3	2.25	1.61	1.02	0.56	0.42	0.39	0.36
P.Libom	0.72	1.57	2.17	2.22	2.49	2.37	1.67	1.06	0.61	0.44	0.44	0.39
Boane	0.85	1.72	2.45	2.59	3.56	2.72	1.86	1.20	0.70	0.53	0.51	0.47

Fonte: Elaborado pelo autor

O padrão do caudal ecológico requerido, ao longo do ano varia no espaço e no tempo, da montante para jusante e do período seco para o húmido, sendo mínima em Goba (a montante) no período seco e máxima em Boane (a Jusante) no período húmido (vide Fig. 3 abaixo).

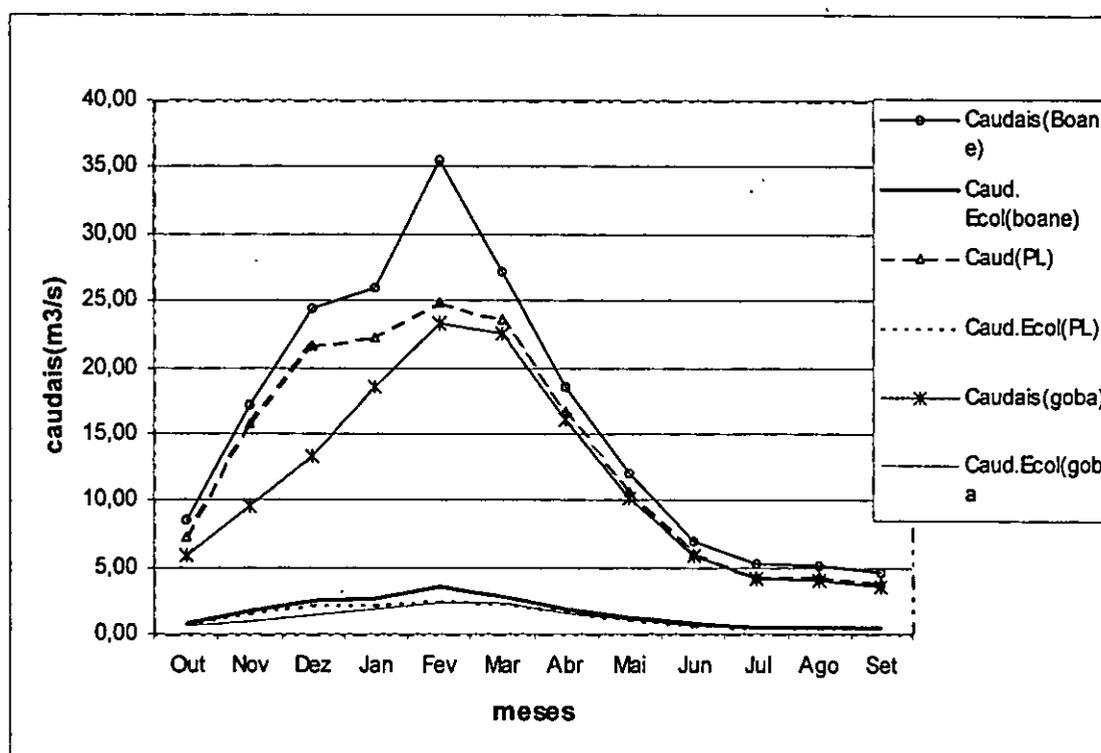


Fig. 3 Caudal natural e o caudal ecológico na bacia do Umbelúzi

Em termos médios ao longo de toda bacia (Goba-Boane) temos um caudal ecológico médio mensal de $1,36 \text{ m}^3/\text{s}$ (vide tabela 2 no anexo III e Fig. 4 no anexo II).

3.3.1. Probabilidade de ocorrência do caudal ecológico

Com base nos dados de escoamentos registados nas três estações, no período de trinta anos (1964-1994), (ver tabela I anexo III) e o número de ocorrência calcularam-se as probabilidades de ocorrência do caudal ecológico anual e mensal com a fórmula de Justim (1945) de cálculo de probabilidade.

$$P = n/(m+1)$$

P= probabilidade.

n- soma de número de ocorrência.

m- total da soma de ocorrências.

Esta probabilidade permite-nos verificar a frequência provável de ocorrência do caudal ecológico em anos secos e húmidos, bem como o mês.

Segundo cálculos efectuados e resultados obtidos, o caudal ecológico médio anual, no ano seco, em Goba (1.14 m³/s), tem a probabilidade de ocorrência de 97%. Em Boane onde o caudal ecológico requerido é alto (1,6 m³/s) tem a probabilidade de ocorrência de 98% e Pequenos Libombos 97,6%. Em geral, a probabilidade de ocorrência do caudal ecológico na bacia do Umbelúzi, em ano seco é 97% (vide Fig. 5 abaixo, II-5a e II-5b no anexo II).

Para o caso de não ocorrência, a probabilidade em Goba é de 2% o que significa um período de retorno de 50 anos. Para os outros locais, Pequenos Libombos e Boane a situação é semelhante.

É evidente, que no ano húmido o caudal ecológico sempre existira, uma vez que o nível de excelência é maior.

Para o caudal ecológico médio mensal de $1.36 \text{ m}^3/\text{s}$ ele tem a probabilidade de ocorrer em 97% ao longo de todos os meses do ano. E, tem a probabilidade de não ocorrência de 3% o que significa um período de retorno de 33 anos.

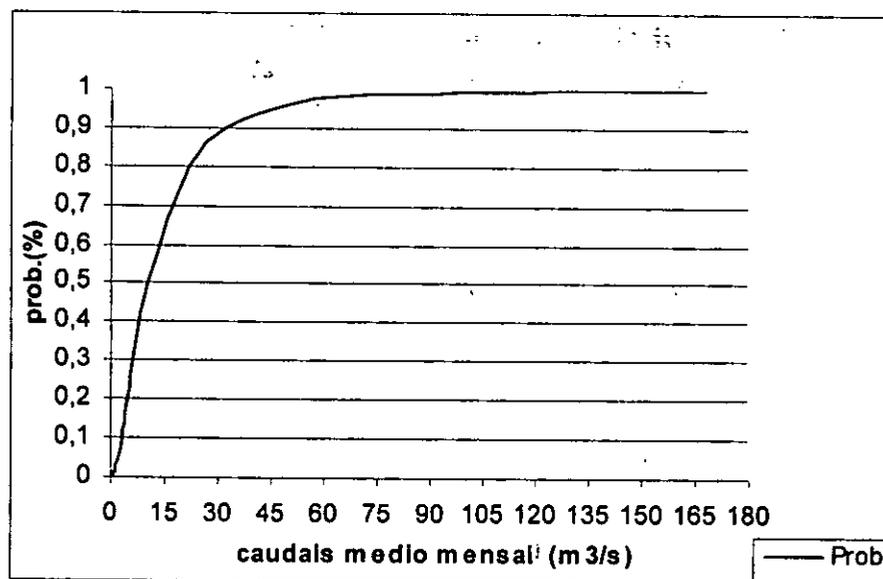


Fig. 5 Probabilidade de não ocorrência do caudal ecológico (Boane).

3.4. Caudal actual (modificado)

O caudal actual ou não natural foi obtido a partir de simulações realizadas com o modelo "River basin model", considerando três cenários:

1º - Caudal natural removendo todas as infra-estruturas (1964-1994).

2º- "caudal natural, antes da construção da barragem dos Pequenos Libombos(1964-1987), mas depois da barragem de M'njoli na Suazilândia (1977-79),

3º O caudal natural (1964 -1979) mais a barragem de M'njoli na Suazilândia (1977-79), mais dos Pequenos Libombos (1987-1994) e explorações agrícolas(irrigações). Isto é, com todas infra-estruturas a funcionar actualmente.

Resultados obtidos:

Desde a presença só do caudal natural, a construção da barragem de M'njoli(1977-1979) até a instalação da barragem dos Pequenos Libombos (1987-1994) e as outros infra-estruturas, ao longo do tempo, o rio Umbelúzi sofreu duas rupturas. A primeira em 1980 com a construção da barragem de M'njoli na Suazilândia. Segundo Chonguiça (1995:75-76).. "...os caudais médios diários em Goba baixaram de 12.1 m³/s (medidos em 28 anos) para 11.2 m³/s (medidos em 13 anos)." Isto significa que houve uma queda dos caudais na ordem de 7,4%.

Mas segundo o primeiro cenário simulado no modelo acima citado os resultados obtidos assemelham-se aos naturais. No segundo cenário o caudal natural em Goba sofreu uma ruptura média mensal de 23,5% equivalente a um caudal médio mensal de 2,7 m³/s. Dai que ele baixa de 11,4 m³/s médio mensal para 8,9 m³/s.

Quanto as outras estações a jusante, Pequenos Libombos e Boane, a ruptura foi maior, equivalente a 26% para cada estação. Sendo nos Pequenos Libombos uma ruptura de 3,5 m³/s e Boane de 4,1m³/s. Para o valor médio mensal do déficit de caudais no

Umbelúzi foi de 3,4 m³/s , equivalente a 25,1%(vide tabela 7 abaixo).

Este déficit afectou também o caudal ecológico requerido em todas as estações.

Tabela 7: comparação entre os caudais naturais e o actual

Estações	Goba (m ³ /s)	PLb ⁶ (m ³ /s)	Boane (m ³ /s)	Média (m ³ /s)
Caudal(natural)	11,4	13,50	16,00	13,60
Caudal(actual)	8,7	10,00	11,8	10,20
Caud.ecol(natural) ⁷	1,1	1,35	1,60	1,36
Caud.ecol(actual) ⁸	0,9	1,00	1,18	1,02
Diferenças ⁹	2,7	3,50	4,10	3,4
Défice(%)	24%	26%	26%	25%

Fonte: Elaborado pelo autor

Com a construção da barragem dos Pequenos Libombos, a parte a jusante sofreu uma ruptura de caudais na ordem de 4,1 m³/s (128 Mm³/ano), correspondente a um abaixamento de caudais disponíveis na ordem de 26%.

3.5. Análise da curva de duração do caudal

Analisando a curva de duração dos caudais de Goba, Pequenos Libombos e Boane e considerando a necessidade do caudal ecológico, segundo critérios definidos pelo método de análise de curva de caudal (FDCs)Tharme(1998:10) na qual propõe que os caudais com 40% a 80% de tempo devem ser considerados óptimos para satisfazer as necessidades ecológicas do rio (vida das plantas e dos animais), constatamos o seguinte:

⁶ Significa Pequenos Libombos

⁷ Significa caudal ecológico (nas condições naturais)

⁸ significa caudal ecológico (nas condições não naturais)

⁹ Significa a diferença entre o caudal natural e o não natural

a) Goba

Em Goba, antes da regulação do Black Mbuluzi pela construção da barragem de M'njoli, Swazilândia, o caudal ecológico com uma percentagem de duração de 80% era de 2,4 m³/s (medido em 15 anos). Chonguiça (1995:74) adianta que " antes da construção da barragem de M'njoli a estação 10 (Goba) tinha um caudal médio diário de 12,1 m³/s e a sua mediana de 6,6 m³/s" Esta mediana, segundo o mesmo autor indicava um tempo de duração de 50%.

Confrontando com os dados obtidos confirma-se que o caudal ecológico requerido rondava nos valores acima referidos, uma vez que os 80% de tempo requeridos estimam um caudal aproximado de 2,3 m³/s.

Com a construção da barragem de M'njoli e conseqüentemente, a regulação dos caudais, o caudal ecológico de 2,4 m³/s saiu fora dos padrões (40-80%) do caudal ecológico por ter baixado o seu tempo de duração para 30%. Entretanto, o caudal ecológico passa a ter o seu máximo 1,9 m³/s e o seu mínimo 0,5 m³/s . Este intervalo corresponde a uma percentagem de duração de 40 a 80% (vide Fig.II-7a e II-7b no anexo II).

Entre 1980 e 1994 os caudais com uma percentagem de tempo de 50% não excediam os 3,7 m³/s. Esta mudança de padrão entre os dois períodos em análise foi observada por Chonguiça (1995:76-77), e adianta que " a mudança do padrão do caudal é consequência da barragem de M'njoli.

b) Pequenos Libombos:

Neste local a curva de duração do caudal apresenta três cenários: antes da construção da barragem de M'njoli na Swazilândia, depois da construção da mesma, e com a construção da barragem dos Pequenos Libombos.

O caudal ecológico requerido segundo o tempo de duração exigido de 40-80% é de 3,2 m³/s. Este caudal teve pouca flutuação nos três períodos, embora a curva de duração mostre uma redução drástica dos caudais. Mas, uma vez que as descargas da barragem tendem a ser constantes, o caudal ecológico pouco flutua (vide Fig. II-8a, II-8b e II-8c no anexo II).

C) Boane:

A situação do caudal ecológico requerido em Boane também apresenta os três cenários referidos nos Pequenos Libombos, mas os caudais apresentam tempo de duração extremamente variado: no primeiro cenário, o caudal com o tempo de duração de 80% é de 3,9 m³/s, para o segundo cenário e terceiro, o caudal acima indicado (3,9) baixa o seu tempo de duração para 41% e depois para 14,7%. Os dois últimos cenários mostram que o padrão de 40-80% de tempo de duração do caudal ecológico passou a ter um caudal com intervalo de 1,7 m³/s a 1,2 m³/s. (vide Fig. II-9a, II-9b e II-9c no anexo II).

Os resultados apresentados por este método leva-nos a concluir que além dos resultados obtidos tenderem a aproximar aos resultados do anterior método de montana, também leva-nos a compreender as mudanças ocorridas ao longo do tempo.

Estas mudanças podem ser vista a partir da progressiva mudança da curva de duração do padrão do caudal, que de certa maneira também afecta o caudal ecológico.

3.6. Estudo do regime de caudais sólidos

O regime de caudais sólidos tem uma relação estreita com o regime de caudais líquidos. A concentração de sedimentos na água corresponde a um determinado caudal., isto é , um intervalo de descarga alto, corresponde a alta concentração de sedimentos. Medições feitas em Goba (E10) apresentadas por Chonguiça(1995:80) indicam que uma concentração de 1 867mg/l em um dia corresponde a um caudal médio de 21.6m³/s.

Para o caso concreto do caudal ecológico requerido, em Goba, de 1,1 m³/s teremos pelo menos uma concentração de sedimentos na ordem de 94.875 mg/l, esta concentração serviria para dar nutrientes as plantas ribeirinhas e os animais que lá vivem.

Dados obtidos no trabalho de campo, em Goba, num período húmido, indicam a existência de uma concentração de 30 mg/l correspondente 40% do requerido (vide Fig.II-6a no anexo II).

Quanto a Pequenos Libombos o regime de caudais sólidos é relativamente baixo pela retenção da mesma na barragem dos Pequenos Libombos. A barragem tem um armazenamento médio anual de 60 500 toneladas. Esta retenção de sedimentos foi confirmada nos trabalhos de campo por nós realizados no local , no qual , a concentração ronda nos 26 mg/l correspondente a 23% do requerido, uma vez que o requerido e de 112 mg/l.

Em Boane a situação é quase a mesma, com a prevalência de caudais sólidos baixos, apesar de o requerido ser de 138mg/l, segundo os dados do campo e a relação caudal sedimentos apresentados acima por Chonguiça(1995:84).

A concentração de sedimentos em Boane, segundo dados de campo corresponde a 18% do requerido (vide Fig. II-6a no anexo II).

IV

4. DISCUSÃO DOS RESULTADOS

A análise e discussão dos resultados que se segue baseia-se nos dados apresentados e pré-analizados no capítulo anterior. Pretende-se com esta discussão relacionar o caudal ecológico e os diversos factores que o afectam.

4.1. Geomorfologia e o caudal ecológico

A relação entre o caudal ecológico e a geomorfologia tem dois objectivos: 1) maximizar a extensão e diversidade dos caudais baixos para o habitat, acompanhando a actividade do canal, em termos de caudais baixos, rápidos e sua distribuição nos canais. 2) manutenção do macro-canal em termos de forma e providências de caudais suficientes e variáveis para a inundação do macro-canal (DWAF,1996:14).

O primeiro objectivo é importante para a fauna e a flora áquatca e dos animais que dependem significamente da água, o hipopótamo e os elefante; o segundo objectivo é importante para a vegetação ribeirinha (ibid).

Para responder a estes objectivos e os definidos no trabalho, perante o caudal ecológico do Umbelúzi, passamos a discutir esta relação nos três locais seleccionados para o estudo:

i) **Goba**

O percurso do rio Umbelúzi, entre a fronteira Swazi-Moçambicana e a foz, representa apenas a parte terminal do seu curso inferior já desenvolvido a partir do lowveld (Lower M'buluzi). (Lopes, 1979:70). A concavidade acentuada do curso superior (Black M'bulúzi), é interseptada, nos planatos do Highveld, (High M'buluzi), pela concavidade mais aberta dos cursos médios e inferior; e este último, com declive muito fraco, ou seja, rectilíneo no sector moçambicano.

Em Goba são frequentes pequenos rápidos sobre as rochas do complexo vulcânico. Nos riolitos dos grandes Libombos estão relacionados com fracturas e têm geralmente, a forma de degrau, alguns rápidos correspondem a afloramentos de tufos silicificados. Nestes rápidos atinge-se o gradiente de 2,5 m/Km, que é suficiente para perturbar o escoamento laminar da água (Lopes, 1979: 70),

A irregularidade dos perfis longitudinais deste rio dentro dos libombos e o forte gradiente (60m/km) em relação ao da planície (3m/km), retrata uma rede jovem, afectada pelo levantamento recente do substracto, compartimentos em blocos. Indica, além disso, escassez de escoamento líquido, ou falta de carga abrasiva, consequentemente menor caudal ecológico requerido neste espaço. (ibid).

Por outro lado, as formas dos canais de escoamento também dependem da litologia. Desde Goba-fronteira até à confluência com rio Movene, o Umbeluúzi corre num canal encaixado nas rochas do complexo vulcânico. Em virtude do encaixe, o leito maior não é muito largo. O leito menor apresenta uma faixa estreita com cerca de 22-30m de largura (Lopes, 1979:74) (vide Fig.1 e foto 1 no anexo IV).

Estas características determinam o valor do caudal ecológico requerido, uma vez que, a razão entre a largura do leito maior e a profundidade de talvegue traduz a capacidade de profundidade do canal. É mínima sobre as rochas duras dos grandes Libombos, onde o rio é muito pouco profundo, e máxima sobre o depósito do glacis de Goba (DAAF, 1996:14-18; Lopes,1979:74).

O caudal ecológico requerido tem uma função importante no leito menor onde é mais estreito; e que nos anos secos, quando o rio se divide em canais, o caudal ecológico só pode coincidir com o canal principal, ou de estiagem, marcado por um pequeno degrau nas aluviões arenosas (ibid).

Uma vez que o Umbelúzi em Goba corre por canais anastomosados, onde nos sectores de fundo rochoso este é escavado em marmitas, noutros existem ilhas arenosas(vide foto 2) colonizadas por vegetação hidrófila (*Phragmites*). Durante a estação seca o caudal ecológico joga um papel muito importante, uma vez que há apenas um ou dois canais com escoamento superficial; então as marmitas dos canais secos, ou com água estagnada, são colmatadas pelas areias marginais do terraço baixo, trazidas pelo vento (Lopes,1979:74).

A existência do caudal ecológico permite que os sedimentos retenham humidade consequentemente a possibilidade de desenvolvimento da vegetação hidrófila que acaba por fixá-los, formando ilhas de formas biconvexas. Quando os anos secos se sucedem, as ilhas juntam-se aos bancos marginais. No entanto, o caudal ecológico é crítico, mais tem a função de criar a estabilidade para que o leito se mantenha, porque mesmo nas cheias anuais as pequenas ilhas são transferidas para as margens ou levadas pela corrente, e os canais principais retomados pela água (cf Carta geomorfológica folha Sul: 1:500 no anexo I).

Na depressão inter-libombos, nos troços rectilínios do leito há apenas um canal, de fundo rochoso (basáltico) com bancos marginais e manchas de material grosseiro (areias, calhaus e blocos) caídos do terraço médio que o rio entalha. Neste canal, pouca água se perde consequentemente, o valor do caudal ecológico é menor (ibid).

Podemos concluir que entre Goba e Pequenos Libombos o escoamento é extremamente controlado pela estrutura litológica, o que traduz um valor de caudal ecológico requerido menor. Por outro lado, o caudal ecológico sendo produto do escoamento superficial, das características geomorfológicas, do clima; ele, joga o papel de estabilizar o canal, reduzir a erosão e controlar a vida no rio.

b) Pequenos Libombos

Observações feitas no terreno, retratam que entre Pequenos libombos e a confluência com o rio Movene, o Umbelúzi ainda corre num canal encaixado nas rochas do complexo vulcânico. Entre este ponto e Boane, a margem esquerda do canal é esculpido

ainda em basalto, enquanto o fundo e a margem direita estão recortadas nos aluviões antigos (vide foto 3 no anexo IV).

Pelas características geomorfológicas e pelo gradiente de escoamento, o caudal ecológico requerido é incrementado, uma vez que, temos um aumento de escoamento e uma largura maior do canal (vide Fig 2 no anexo IV).

C) Boane

A partir de Boane o canal torna-se um pouco mais largo (370 m na ponte de caminho de Ferro de Boane), mas conserva a forma de faixa até ao canal do estuário (cf Carta Geomorfológico folha 1: 500 no anexo I). Segundo Lopes (1979:74) "durante as cheias excepcionais forma-se duas planícies de inundação, ligadas, uma ao rio principal e pântanos da Serra (na margem direita) e outra à drenagem de norte e nordeste, canalizada para o pântano das ribeiras afluentes da margem esquerda."

Devido a extensão da área de drenagem, o caudal ecológico requerido em Boane é maior, não só como produto do aumento do escoamento, mas também como resultado das características geomorfológicas. Estes dois factores actuam como motor do funcionamento do caudal ecológico requerido.

Sendo o caudal ecológico mais requerido neste local, tem maior importância.

4.2. . Vegetação, invertebrados e o caudal ecológico

De acordo com os resultados obtidos o caudal ecológico da bacia do Umbelúzi, a escala do território nacional, determina a distribuição espacial e temporal da vegetação e dos animais que dela depende.

Contudo, a água tem sido normalmente apontada como o melhor indicador da existência da vida, precisamente das plantas e dos animais, porque ela participa em todas reacções orgânicas e inorgânica, é um veículo de transporte de substâncias, contribui para a manutenção da temperatura corpórea em níveis compatíveis com a vida (Paulino,1993:22-25).

Isto compreende-se porque a falta dum caudal ecológico nos rios para alimentar o balanceamento hídrico, isto é, para a capacidade de ganho total de água seja igual à perda, envolve necessariamente inúmeras adaptações morfofisiológicas que até podem levar ao desaparecimento da espécie. (ibid).

O padrão de distribuição do caudal ecológico ao longo da bacia é também acompanhado pelo padrão da vegetação ribeirinha e dos animais que é definido pelas condições de escoamento, geomorfologia e clima.

a) Goba - Pequenos Libombos

i) Vegetação

Na Zona Libombiana, compreendendo as encostas e escarpados dos grandes e Pequenos Libombos, encontramos matas cerradas, densas de *Androstachys johnsoni*¹⁰, ocupando as encostas mais sombrias de ravinas profundas em V, em solos avermelhados, argilosos, delgados mas ricos em materia orgânica (CICA, 1955:119).

¹⁰ vegetação conhecida como o "Libombo ironwood" e na região local como "cimbirre" ou "pau-ferro" (Hatton e Couto,1997).

Estas características geomorfológicas difenem um caudal ecológico requerido baixo (1.14 m³/s) porque o escoamento está confinado a um padrão de menor perda de água e a própria vegetação ribeirinha é alimentada sem grande perturbação. Por outro lado, as condições no local permitem que o balanceamento hídrico não exija mudanças morfofisiológicas significativas (vide foto 4 e fig.1 no anexo IV).

ii) Fauna

Nesta unidade fisiográfica pouca informação existe sobre as espécies existentes. Contudo Hatton e Couto (1997:9) adiantam algumas espécies de animais que vivem neste local e dependem da água do rio , tais como: " crocodilos e cudu" (vide foto 5 no anexo IV).

b) Pequenos Libombos - Boane

i) vegetação

Ao longo do rio ocorre a vegetação arbóreo-arbustiva (vegetação de galeria), que acompanha os aluviões deste rio. Nos aluviões compactos podemos encontrar: *Hibiscus tiliaceus* L., *Barringtonia racenosa* L., *Syzygium guineense* (wild)DC, *Adina microcephala* (Del) hiern, e caniçais como o *Phragmietetum* nos aluviões arenosos (DNA,1991:34) .

Em zonas periodicamente encharcados podemos encontrar gramíneas hidrófilas (*Echnochola* spp e *Eriochola* spp). Nestes locais também encontramos comunidades aquáticas de hidrófitas e helóficas (*Typha* e *Cyperaceae.*); Associados a comunidades anfíbias com predominância de *Cyperas papyrus* (ibid).

Estas plantas aquáticas devem estar parcialmente submersas nas margens do rio, lagoas e charcos e dos pântanos, em terras submersas, periodicamente alagadas, ou muito húmidas.

Esta vegetação ribeirinha precisa dum caudal ecológico alto ($1.6 \text{ m}^3/\text{s}$). Daí que a redução dos caudais com a entrada em funcionamento da Barragem dos Pequenos Libombos levou o desaparecimento das ligações entre o canal do estuário e as lagoas (Chonguiça, 1995:166).

Conjugando o tamanho da área de inundação, o valor do caudal ecológico requerido, a regulação dos caudais por parte da barragem dos Pequenos Libombos, a vegetação ribeirinha que precisa dum caudal de $1-2,2 \text{ m}^3/\text{s}^{11}$, e a falta de nutrientes que é trazida pelos sedimentos, chegamos a conclusão que a vegetação é seriamente afectada em termos de falta dum balanceamento hídrico que lhes possibilite a ter uma capacidade de ganho total de água, que seja igual à perda. Isto significa que a escala local, a vegetação ribeirinha reduziu-se a um fio junto ao leito menor; uma vez que o caudal ecológico actual possui um defice de 26% em relação ao requerido (vide tabela 7 no subcapitulo 3.4).

Paulino (1993:25) e DWAF (1996: 12) explicam que "a situação das plantas é mais critica, porque elas vivem num ambiente de stress hídrico permanente" ou melhor a "mudanças morfofisiológicas radicais" perante um intervalo de tolerância acima do seu óptimo.

¹¹ Caudal definido pelo DWAF (1996:10) para alimentar as espécies acima citadas, em canais dominados de aluviões

ii) Fauna

Sendo uma área da bacia onde outrora era alagada, é regular encontrar pássaros aquáticos e cudu. Estes animais para a sua sobrevivência precisam de água, isto é, um caudal ecológico que chegue.

4.3. Caudal ecológico e a qualidade de água

A discussão neste subcapítulo, da relação entre a qualidade de água e o caudal ecológico deve ser vista a partir da análise dos parâmetros químicos minerais. Embora a avaliação da qualidade de água de uma fonte só pode ser considerada completa depois de ser confirmada por várias inspeções e por vários parâmetros (INHAA, 1997: apêndice II)

Miambo (1996:59) na discussão e conclusão dos seus resultados sobre a qualidade de água (1988-1995) em Boane, adianta que "a qualidade da água mudou devido ao aumento da concentração de (...) compostos químicos, como nitratos, nitritos e fosfatos provenientes dos fertilizantes e pesticidas que são aplicados na agricultura. Para além deste aspecto, a intrusão marinha elevou a quantidade de sais dissolvidos na água da área à jusante da barragem devido a redução do caudal de água doce"

Com a falta do caudal ecológico, a partir de 1987 há um aumento gradual da intrusão marinha como resposta à redução do caudal na foz do rio e também pela intrusão de sais provenientes de compostos químicos contidos em fertilizantes bem como pela irregularidade da precipitação. Isto quer dizer que apesar de haver um caudal mínimo para reduzir a

intrusão salina, o mesmo apresenta-se insuficiente para impedir esta situação (Miambo,1996:55).

Embora há falta dum caudal ecológico para responder a esta situação; Nilsson (1998:D) admite que "a água do rio Umbelúzi apresenta qualidades aceitavel para fins de irrigação".

4.4.Caudal Mínimo versus Caudal Ecológico

Para confrontação e discussão neste subcapítulo, foi analisado com especial atenção o estudo feito pelo projecto "Flow Control in the Umbelúzi River" (referido na bibliografia por DOKW, 1988) porque este representa o trabalho mais global sobre regras de operação da Barragem de Pequenos Libombos.

Contudo, o estudo , ao definir as regras para as utilizações de água apresenta seis alternativas designadas por I, II, III, IV, V e VI, tendo em conta as prioridades para a sua múltipla utilização (vide tabela nº 8).

Tabela: nº 8 Utilização da água da barragem dos Pequenos Libombos

Alternativas de utilização	Abastecimento a Maputo	Irrigação	Intrusão salina
I	1.9	0.27	0.5
II	2.2	0.65	0.5
III	2.5	1.58	0.5
IV	2.8	2.39	0.5
V	2.8	3.36	0.5
VI	2.8	4.45	0.5

Fonte: Alves e Saranga,(1991:12)

No que se refere ao caudal mínimo para jusante da Barragem, Alves e Saranga (1991:12) confrontando DOKW adiantam que o "estudo optou por um caudal de 0.5 m³/s, sem ter

sido feito qualquer análise ou estudo do assunto." O mesmo autor adianta que "este caudal têm por função diminuir a intrusão salina e aumentar o volume de água no rio na época seca, permitindo assim reduzir os riscos de poluição da água."

Dando em conta o caudal ecológico calculado para a parte a jusante de Pequenos Libombos, que é de $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$, significa que o caudal actual designado por mínimo não corresponde ao caudal ecológico, e por outro lado, tem um deficit em relação caudal ecológico requerido na ordem de 68%

Este deficit observado dentro do padrão do caudal ecológico ao longo do ano e a situação do caudal actual notamos que o ecológico de Boane não é satisfeito nos meses de junho, julho, agosto, setembro e outubro (vide Fig. II-10b no anexo II).

Considerando que o valor do caudal mínimo para redução da intrusão salina não tem a componente ambiental, o caudal ecológico na parte a jusante, nos meses acima citados não existe, a pesar da Barragem dos Pequenos Libombos nas suas descargas admita um determinado volume de perdas ao longo do percurso de $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (DORW, 1988:30).

i) Caudal Mínimo e perdas

Alves e Saranga (1991:35) admitem que o designado "caudal mínimo e perdas totalize $1 \text{ m}^3/\text{s}$ ". Mas, mesmo considerando este caudal, o valor não satisfaz o caudal ecológico requerido, o que indica que logo após a construção da Barragem dos Pequenos Libombos e se definiram as regras de operação, a parte a jusante vive numa situação de stress hídrico

permanente, agravada pelas condições climáticas desfavoráveis, em termos de maior perda de água por evapotranspiração potencial.

Regras de operação contidas no estudo feito por Alves e Saranga (1991:40) indicam que os volumes de água atribuídos para os caudais mínimos e perdas, obedecem as seguintes regras:

- Entre a cota de 31 m e a cota de 47 m, não existe qualquer restrição de utilização de água.
- Para cotas inferiores a 31 m e até à cota de 27 m, devem ser reduzidos os volumes em 50%.
- Para cotas inferiores a 27 m, os volumes de água de água devem ser reduzidos em 75% (vide Fig.II-11a, II-11b, II-11c e II-11d no anexo II).

Todas estas regras tentam definir que o volume abaixo dos 24 m devem possibilitar a manutenção de volumes mínimo de sobrevivência que se admite respectivamente:

- 5% do volume atribuído à rega.
- 25% do volume atribuído ao fornecimento a Maputo.
- 50% do volume atribuído a perda e caudal mínimo (vide Fig.II-11a no anexo II).

Analisando todas as regras de operação definidas bem como os valores atribuídos ao caudal mínimo e perdas, indica-nos que elas não enquadram as condições climáticas a escala do distrito, bem como o lado ambiental.

4.5. Situação actual na BPL e o padrão do caudal ecológico

A análise e discussão da situação actual em relação ao caudal ecológico requerido é feita a partir dos resultados obtidos da simulação efetuada para a parte a jusante da Barragem dos Pequenos Libombos.

Supondo que estamos num ano seco com uma probabilidade de não excedência de 0.02% de um período de retorno de 50 anos. E considerando que em condições normais a Barragem dos Pequenos Libombos tem uma capacidade de armazenamento de 360 Mm³/ano (Matola,1998:15) e supondo que ela não recebe água, mas se atribui ao consumo uma média de 78 Mm³/ano. Nestas condições teríamos um tempo de duração de armazenamento de 4.6 anos.

Supondo o mesmo raciocínio para o valor do caudal ecológico requerido de 1.6 m³/s (54 Mm³/ano) teríamos um tempo de armazenamento de 6.7 anos.

Associando o consumo e o padrão do caudal ecológico ao longo do ano teríamos um tempo de armazenamento de 3 anos. Esta situação representa para a albufeira um valor de 33% do seu armazenamento.

Quanto a relação caudal ecológico e a albufeira representa 15% do seu armazenamento.

Estas relações são para mostrar o que é que representa o caudal ecológico requerido em relação ao armazenamento e o tempo que este armazenamento levaria.

Com base nestas relações podemos dizer que actualmente o caudal ecológico representa um encargo uma vez que ele representa 45% de todos os consumos que actualmente a Barragem atribui.

De tudo quanto foi abordado neste subcapítulo concluir-se o seguinte:

O caudal ecológico varia no espaço, no tempo e em escala. O seu requerimento depende das condições geomorfológicas, climáticas, do escoamento e das regras definidas pelas barragens.

A falta do caudal ecológico a jusante da Barragem dos Pequenos Libombos deve-se a definição de regras de operação que não incluem a componente ambiental, agravado pelas condições climáticas a escala local.

O padrão do caudal ecológico representa para a Barragem uma redução dos seus níveis de armazenamento bem como redução do seu tempo de suporte em caso de anos sucessivos de seca.

5. CONCLUSÕES

NA bacia do Umbelúzi, a escala nacional, o caudal ecológico requerido em Goba (montante) e Pequenos Libombos é menor que o actual em todo ano. Em Boane (a jusante) o caudal requerido é maior nos meses de Junho, Julho, Agosto, Setembro e Outubro. Daí conclui-se que a jusante de Boane a bacia do rio Umbelúzi está a secar desde o início do funcionamento da Barragem dos Pequenos Libombos em 1987.

O padrão deste caudal depende das condições geomorfológicas, climáticas e de escoamento, que pode agravar ou minimizar o seu requerimento. Assim estes factores são mais salientes em Goba e Boane, onde pelas condições geomorfológicas e de escoamento em Goba é pouco requerido, mais em contrapartida em Boane o clima e as condições geomorfológicas agravam o seu requerimento.

A situação actual e o caudal ecológico requerido indica que, embora o caudal actual esteja perturbado pelas obras efectuadas na bacia (barragens), a maior parte do percurso do rio Umbelúzi, o caudal ecológico requerido é satisfeito (Goba e Pequenos Libombos). Nos locais onde se ressentem a falta (Boane) é devido as regras de operação definidas para a Barragem dos Pequenos Libombos.

A situação da falta dum caudal ecológico a jusante leva com que as plantas ribeirinhas estejam numa situação de *stress hídrico* permanente, onde se observa o risco de uma mudança de readaptação, uma vez que a capacidade de ganho total de água, não seja igual à perda.

Manter o caudal ecológico calculado representa manter a vida ambiental, mas também exigir melhor gestão dos recursos hídricos tendo em conta o uso sustentável dos recursos. Isto significa ajustar o caudal mínimo actual a um padrão de caudal ecológico.

5.2. Bibliografia

Alves, A. e Saranga, S. (1991). *Regras de Operação da Barragem dos Pequenos Libombos*. DNA- Unpublished internal report. Maputo. 50 p.p

Azevedo, Ário L., (1947). *O Clima de Moçambique e Agricultura*. Série Climatológica. Lourenço Marques. 264 pp.

Barroso, (1979) *Esquema do Umbelúzi*. Vol. I e II. DNA. Maputo.

Barrocoso, (1973) *Estudo Geomorfologia do Umbelúzi - Detalhada da área da nova estação de Capt. De água-campona*. 2ª parte. Lourenço Marques.

BASIS (1998) *Termos de referência de programas de pesquisa sobre o uso dos recursos hídricos na África Austral*. Harare.

Carvalho, M. (1971) *A estatística e a experimentação*. Instituto de investigação científica de Moçambique. 3ª Ed. Lourenço Marques. 263 pp.

Carvalho, J.D. (1974) *Monografia da bacia do Umbelúzi* in: *Colectania de Estudos Hidrológicos*, Direcção Geral de Obras Públicas e Comunicações. Lisboa. 289 pp.

Chonguiça, E., (1995) *Environmental Impact Assessment of the Pequenos Libombos Dam in Southern Mozambique*. PhD Thesis. Uppsala University. Sweden.

- CICA, (1955) *Esboço do Reconhecimento Ecológico-Agrícola de Moçambique*. Vol.II. Lourenço Marques. 235 pp.
- Consultec, (1992). *Monografia da Bacia Hidrografica do Rio Umbelúzi*. DNA. Maputo. 30pp.
- Davies, B & J. Day (1998) *Vanishing Waters*, University of Cape Town Press, Cape Town, 487 pp.
- DNA, (1988) *Carta Geomorfológica*, folha Sul 1:500. Maputo
- DNA, (1991) *Estudos gerais do Umbelúzi*. Vol I. Maputo.
- DNA, (1991) *Contribuição para a elaboração da monografia da bacia do rio Umbeluzi*. 2ª fase Maputo.
- DNA, (1995) *Política Nacional de Águas*. Revista Trimestral nº 3. DNA, Maputo.
- DOKW, (1988). *Flow Control in the Umbelúzi River* . DOKW. Vol I,II,III. Viena. Austria. 555pp.
- DWAF, (1996) *Sabie Sand IFR Workshop*, Proceedings, South África.
- FAO, (1995) *Water sector policy review and strategy formulation - A general framework*. Rome. Italy.200 pp.

- Faria, J.M.R.(1964) *Condições climáticas de Moçambique*. Boletim da Sociedade de Estados de Moçambique. Lourenço Marques.
- Ferrão, J.E.M. (1992) Formas de degradação dos solos. In Ferrão (1992) *Agricultura e Desertificação*. Barbosa e Xavier, Lda. Lisboa. 201pp.
- GTDE, (1969) *Monografia da bacia do Umbelulúzi*. Lourenço Marques. 30 pp
- Hatton e Couto, J.M (1997) *Plano de controle ambiental da barragem dos Pequenos Libombos*. Vol 1. Condições ecológicas relatório parcial - vegetação e fauna. Maputo.
- Hidroprojecto, (1974). *Barragem dos Pequenos Libombos. Revisão do estudo hidrológico*. Vol. 9. Lisboa. 77 p.p.
- Hidrotécnica, (1980) *Bacia do Rio Lúrio - Avaliação do potencial de desenvolvimento e inventariação dos Recursos hidráulicos*. Vol. Síntese. DNA. Maputo. 36 pp.
- Jessen, M (1994) *Avaliação dos recursos naturais do distrito do Chinde*. Tese de Licenciatura. ISP. Maputo.
- Jornal Notícias de 30 de Abril de 1999, pag. 6- Sociedade. Maputo.
- LNHAA, (1997) Normais de padrões de qualidade de água. MISAU. Maputo.

Leestemaker, J.H (1998) *Segunda reunião de planificação de programas de pesquisa sobre o uso dos recursos hídricos em Moçambique, Malawi e Zimbabwe Promovido pela BASIS, África Austral. Realizada nos Dias 7, 8 e 9 de Setembro de 1998 Harare-Zimbabwe.-Relatório. UEM. 12pp.*

LOPES, M.E.A. (1979). *A Bacia do Rio Umbelúzi: Estudo geomorfológico. Tese de PhD, Lisboa. 337 pp.*

Kassam, A.et.al, (1981) *Assessment of land resource evolution for rainfed crop production in Mozambique, Climatic data bank and length of growing period analysis .* INIA. Maputo.

King, J.M. & R.E. Tharme (1993) *Assessment of the instream flow incremental methodology and initial development of alternative instream flow methodologies for South Africa, University of Cape Town. 589 pp.*

King, J.M. (1996) *Instream flow Assessment for regular Rivers in South Africa using the building block methodology. University of Cape Town. Unpublished documents. 71pp.*

Kranendonk, L.(1991) *Monografia de cheias bacia hidrografica do rio Umbelúzi.- Mapa de inundação. DNA. Relatório nº 22/91. Maputo 10 pp.*

- Mayer, R (1941) *Noções de hidráulica Floretal* . Direcção Geral dos Serviços Florestais e Aquícolas. Lisboa. 30 pp.
- Matola, J.R. (1998) *Water Resources Planning Approach for the Umbelúzi River*. Msc Thesis. IHE. Delft. The Netherlands. 82 pp.
- Miambo, A.A.(1996) *Imapcto da Barragem dos Pequenos Libombos nos recursos naturais do distrito de Boane*. Tese de Licenciatura. UEM. Maputo. 69 pp.
- Nilsson, G. (1998). *The Salts of lower Umbelúzi basin, Southern Mozambique*. Uppsala University. Uppsala. 32 pp.
- Paulino, W.R. (1993) *Ecologia Actual*. 3ª ed. Editora Ática S.A. São Paulo. 176 pp.
- Santos, Teresa e Mangué, Tomás, Estimativas das necessidades de água de rega na bacia hidrográfica do rio Umbelúzi. UNDP/PROJ MOZ 020/86/DNA, Relatório nº 14/91. Maputo.
- Shahim, (1993). *Statistical Analysis in Water Resources Engineering*. Balkema/Rotterdam/Brookfied.. 394 pp.
- Spiegel, M.R. (1985) *Estatística*. 2ª ed. McGraw-Hill do Brasil. São Paulo. 453 pp.
- Sanenije, H.H.G. (1996) *Hydrological Exercises in Data Screening, Completion and Analysis*. IHE - Delft. The Netherlands. 35 pp.

Tennant, D.L. (1976) *Instream flow regimens for Fish, Wildlife, Recreation and Related environmental resources*. Fisheries . vol 1. N° 4., s/l. 6-10 pp.

Tharme, R. (1996) *Review of international methodologies for the quantification of instream flow requirements of rivers*, University of Cape Town. 116 pp.

UNEP, (1991) *Freshwater pollution*. UNEP/GEMS Environment Library n ° 6. Nairobi.

UNEP (1995) *The Niger Delta Environmental Survey*. Lagos Nigeria. 7 pp.

UNESCO (1997) *Voices, values and development reinventing África*. Priority África Department. 7, Place de Fontenoy. Paris 07 SP France.

UEM, (1982). *Geografia : manual da 10ª classe*. Maputo. 87 pp.

Vaz, C (1996) *Antiprojecto da Política Nacional de Águas*, DNA. Maputo 30 pp.

Anexos

Anexo- IA

1. Características físico geográfica da bacia do Umbelúzi

1.1. Geologia e geomorfologia

A configuração geral da bacia do rio Umbelúzi, apresenta-se de forma alongada, aproximando-se de um rectângulo com o eixo maior no Sudeste e Nordeste (Santos, 1991:2)

Esta bacia., tem o seu rio principal o Umbelúzi que nasce na Swazilândia, perto de Forbes Reef, a cerca de 1800 metros de altitude; e atravessa o território Moçambicano em direcção à Foz. (Boléo, 1950: 90).

Em Moçambique, após entrar pela vila fronteiriça de Goba, atravessa a zona montanhosa dos montes Libombos constituída por rochas vulcánicas onde predominam os riolitos até atingir a Barragem dos Pequenos Libombos, onde recebe um dos seus afluentes, o rio Calichane. (Lopes, 1979: 14) (vide mapa 4 no anexo I)

Após atravessar a barragem , entra no seu curso médio inferior onde recebe o seu segundo maior afluente em Moçambique, o rio Movene junto a sede distrital de Boan, e passa a ser um rio de planície.

O curso médio inferior do rio em território Moçambicano é na zona de planície sedimentares formadas a partir da deposição de aluviões durante as inundações que se registaram nos anos que antecedem a entrada em funcionamento da barragem.

Segundo Hotton e Couto (1997:23) "estas planícies são muito aproveitadas para actividade agrícola por serem bastante fértes e próximas do rio"

Santos (1991:2) diz que " a planície e as colinas são unidades geomorfológicas que ocupam a superfície compreendida entre o vale do rio Moveve e o oceano, englobando superfícies planas e pequenas elevações." Estas características planas contribuem com que a bacia do Umbelúzi tenha área de inundação grandes.

Área que se estende até 12 km para montante , a partir da foz, forma uma área comum com troços terminais dos rios Tembe e Matola, os quais desaguam no estuário do Espírito Santo. Nesta área notam-se as características de alternância da acção das cheias e das inundações salinas (Santos, 1991:2)

1.2. - Vegetação

Segundo Hatton e Couto, (1997: 7) "a distribuição espacial da vegetação na bacia do rio Umbelúzi, dentro do território Moçambicano pode ser observada em quatro unidades fisiográficas:"

a) Os grandes Libombos:

É a unidade fiográfica mais extensa ocupando 1248 km². Nela encontramos espécies arbóreas mais típicas incluindo: *Acacia nigrescens*, *Acacia tortilis*, *Ficus sycomorus*, *Kigelia africana*.

A vertente oriental da cadeia dos Grandes Libombos apresenta matas com árvores de altura média onde são incluídas as espécies: *Combretum sp*, *Dichrostachis cinerea*, *Spirostachis africana*.

Nos sopés e ravinas ao longo das montanhas encontramos matas mono-específicas de *Androstachys jonhsonii*.(ibid)

b) zona inter-libombos:

A depressão inter-libombos (800 km²) é a segunda unidade fiográfica em termos de superfície. Em geral encontramos regiões pouco acessíveis onde ainda se pode encontrar matas baixas abertas de : *Bolusanthus speciosus*, *peltophorum africana*, *Acacia nigrescens*.

Neste unidade o estrato gramíneo é rico, com predominância de *thameda trindra*.(vide mapa 5)

c) , Os Pequenos Libombos

É uma unidade com solos superficiais, vermelhos e argilosos, derivados dos riolitos. A vegetação desta região é geralmente secundária e inclui espécies como: *Pterocarpus rotundifolia*, *bauthinia galpinii* e *Terminalia sericea*.

Nas áreas planas de relevo ondulado, a níveis inferiores a 100 metros ocorrem sobretudo exemplares de : *Sclerocaya birrea*, *Acácia nigrescens* e *Lonchocarpus capassa*.

Nesta unidades o estrato gramíneo é dominante. Em encostas escarpadas dos Pequenos Libombos ocorrem matas cerradas de *Androstachis johnsonii* (conhecido como o "Libombo ironwood " e na região local "pau-ferro."

d) Planície litoral

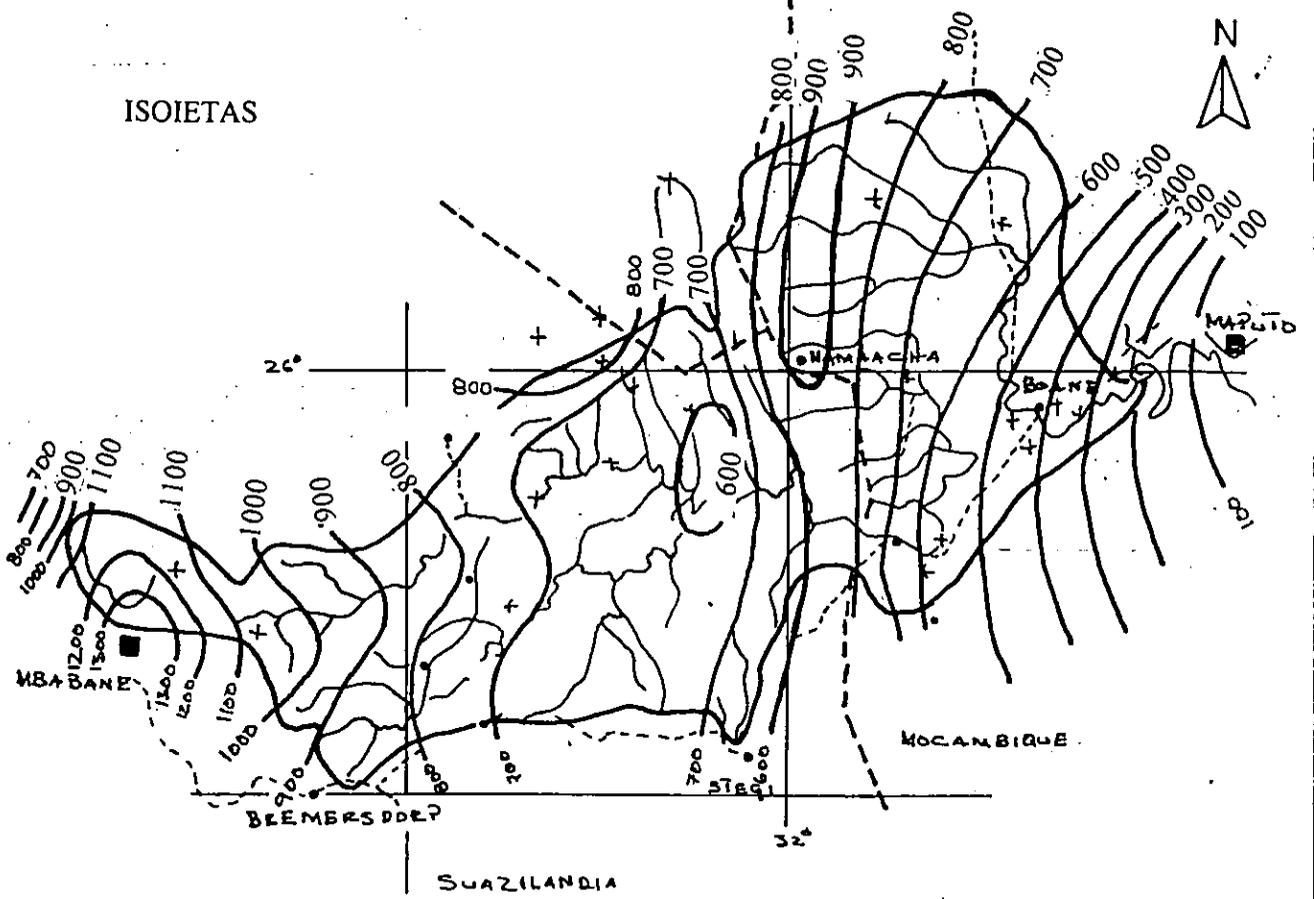
Nesta unidade de planície pouco resta de vegetação ribeirinha original que incluem espécies como *Syzygium cordatum*, *Trichilia emetica*, *acácia Xanthophloea*. Toda região esta profundamente perturbada sendo o uso dominante da terra a agricultura e a plantação de citrinos (Hotton e Couto, 1997:10)

Nas margens dos rios. ocorrem a vegetação arbóreo-arbustiva (vegetação de galeria), que acompanha os aluviões deste rio. Nos aluviões compactos podemos encontrar: *Hibiscus teliaceus* L., *Barringtonia racenosa* L., *Syzygium guineense* e caniçais como o *Phragmietetum* nos aluviões arenosos. (DNA, 1991:10)

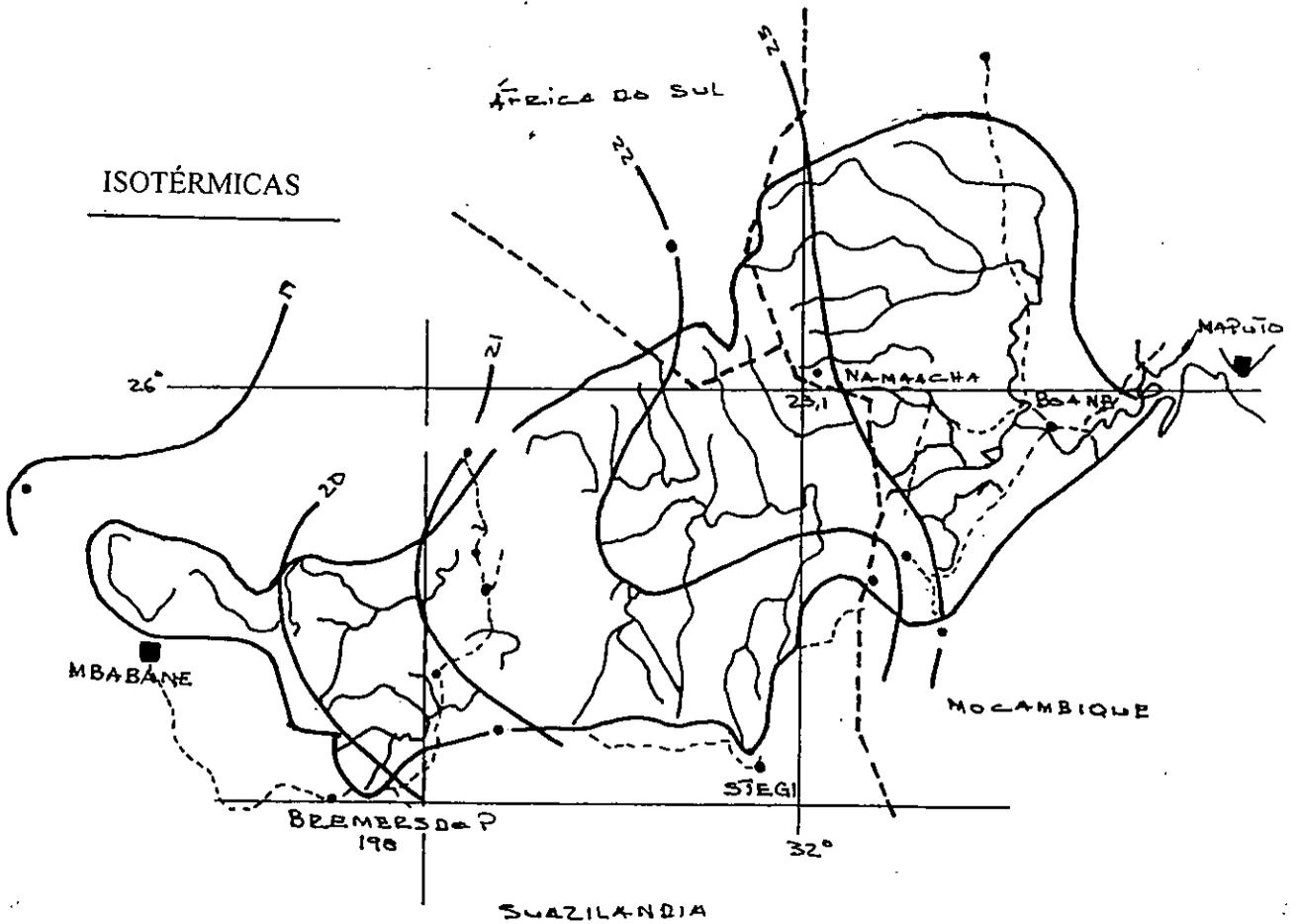
Nas zonas do estuário ocorrem pequenas formações de mangal até onde a influência periódica das marés se faz sentir. Espécies como *Avicena marina*, *ceriops tagal* e *Rizophora mucronata*.(ibid)

Anexo- I

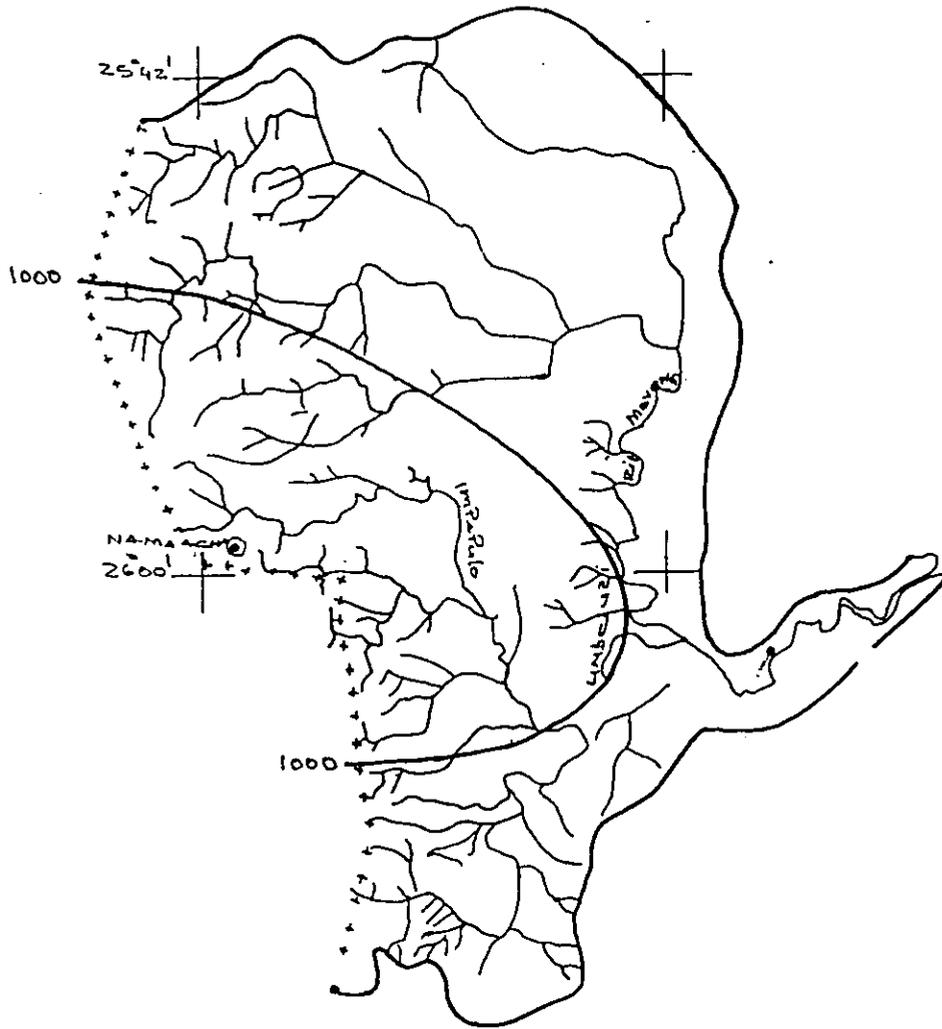
ISOIETAS



ISOTÉRMICAS



Mapa 2	Bacia do Umbeluzi
Escala: 1: 1000 000	Isoietas
Fonte: Carvalho (1969)	Isotérmicas

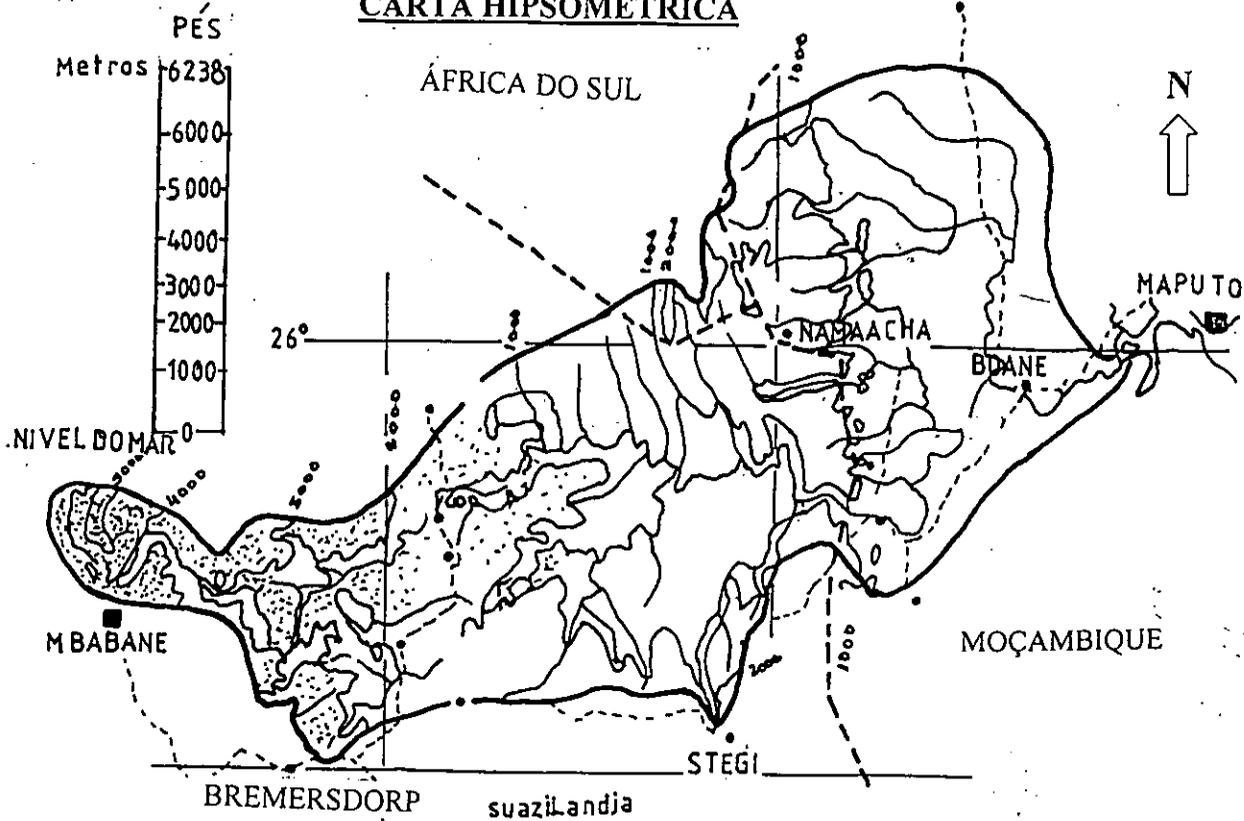


26° 18' S
32° 00' E

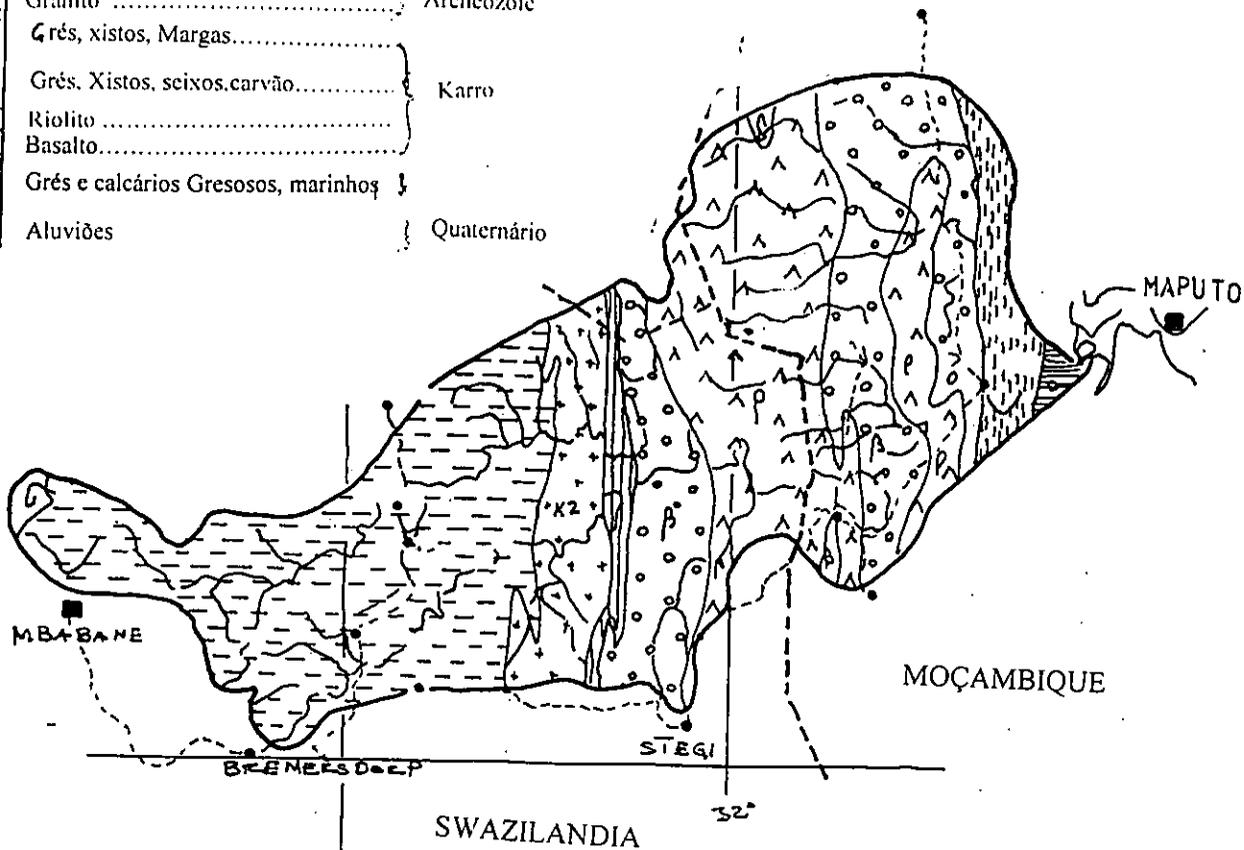
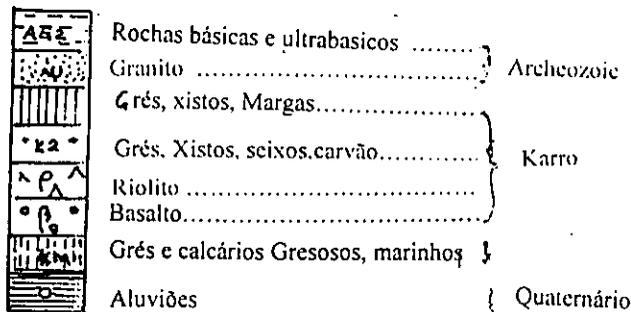
32° 08' E

Mapa 3	Bacia do Umbelúzi
Escala: 1: 500 000	Evapotranspiração
Fonte: Carvalho (1969)	Potencial (Método de Thornthwaite)

CARTA HIPSOMÉTRICA



Carta Geológica

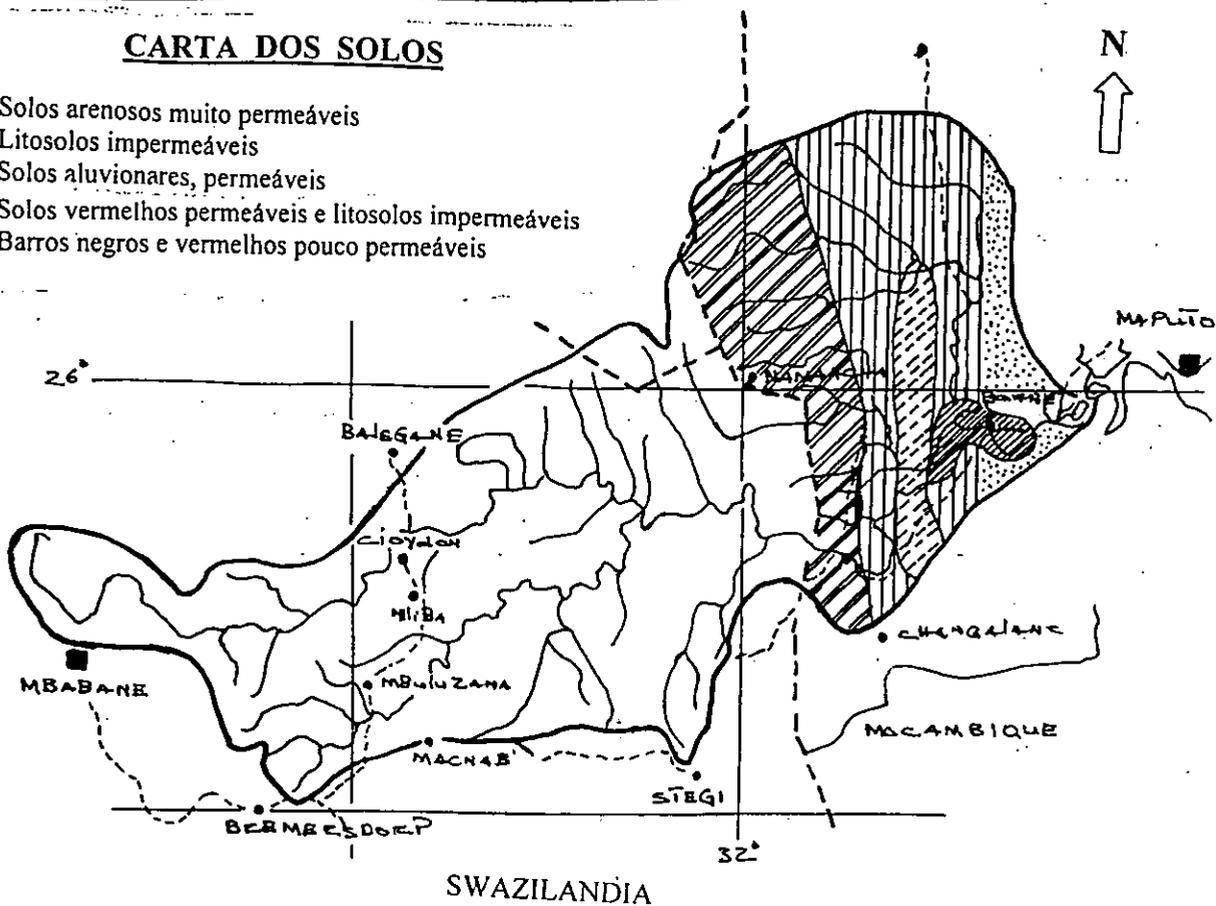


Mapa 4	Bacia do Umbeluzi Carta Hipsométrica Carta Geológica
Escala: 1: 1000 000	
Fonte: Carvalho (1969)	

CARTA DOS SOLOS



- Solos arenosos muito permeáveis
- Litosolos impermeáveis
- Solos aluvionares, permeáveis
- Solos vermelhos permeáveis e litosolos impermeáveis
- Barros negros e vermelhos pouco permeáveis



CARTA DE VEGETAÇÃO



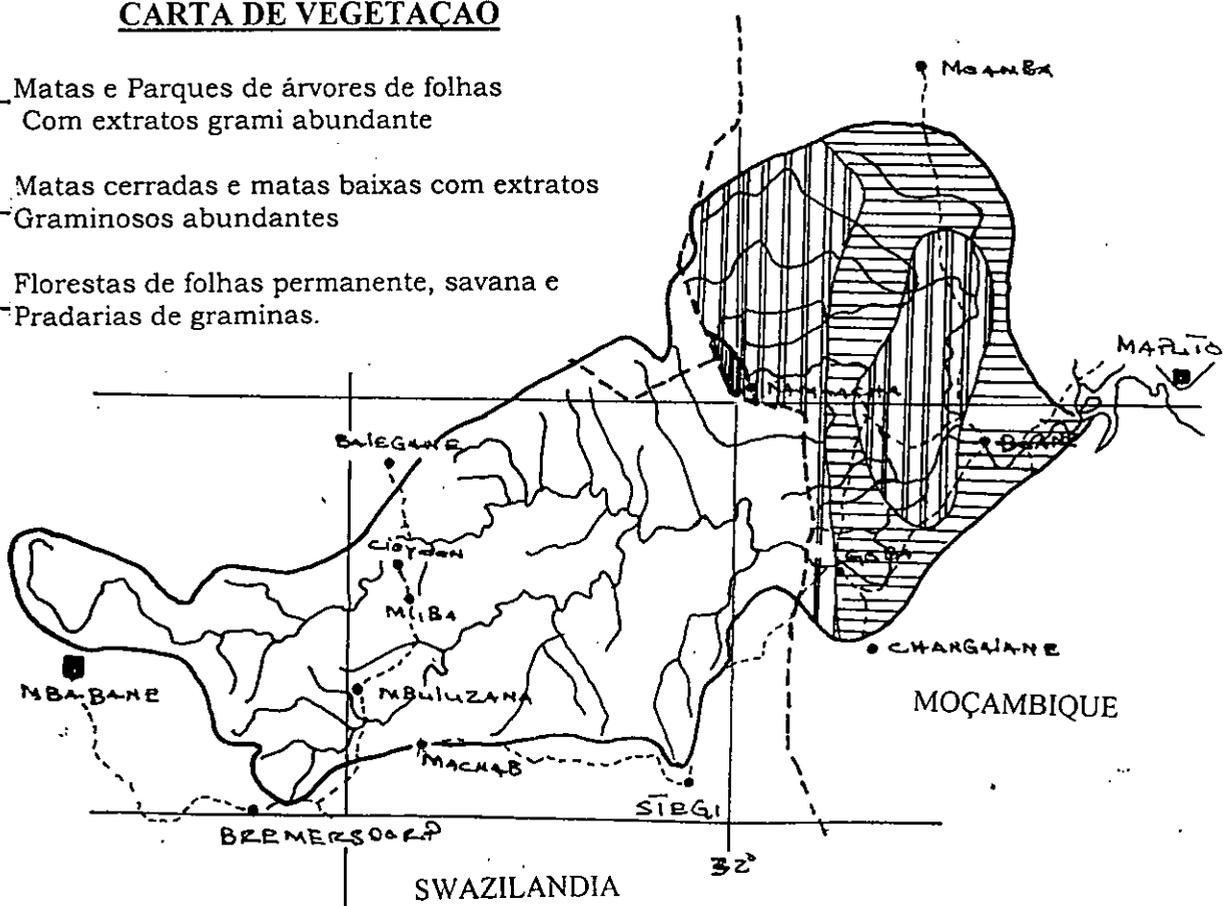
Matas e Parques de árvores de folhas
Com extratos grami abundante



Matas cerradas e matas baixas com extratos
Graminosos abundantes



Florestas de folhas permanente, savana e
Pradarias de graminas.



Mapa 5	Bacia do Umbeluzi
Escala: 1: 1000 000	Carta de solos
Fonte: Carvalho (1969)	Carta de vegetação

Anexo- II

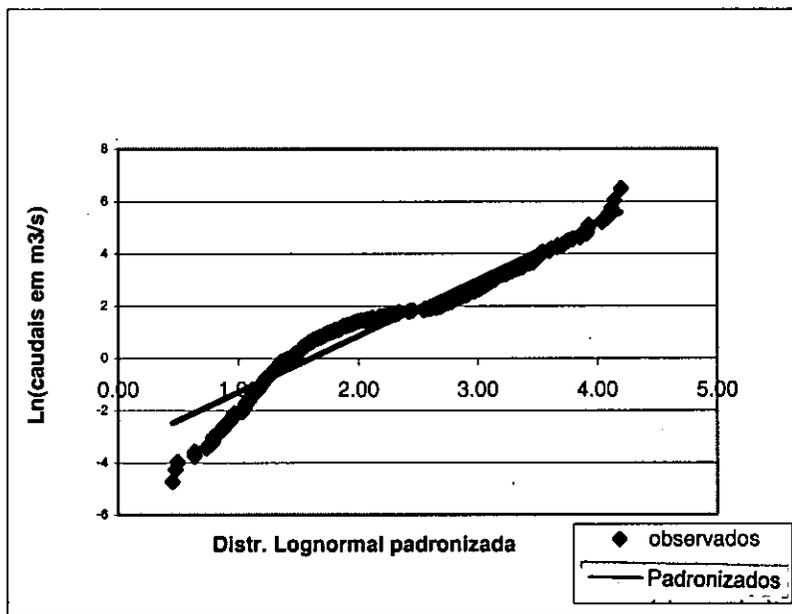


Fig. II-1a: Distribuição lognormal da estação de Goba

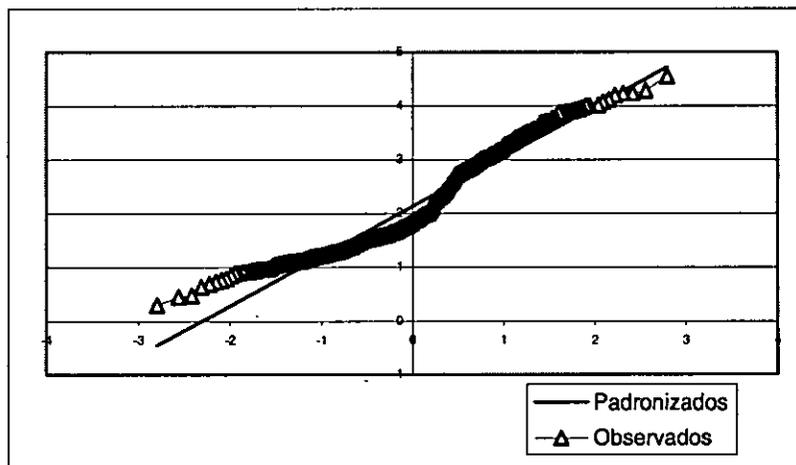


Fig. II-1b: Distribuição lognormal da estação de Pequenos Libombos

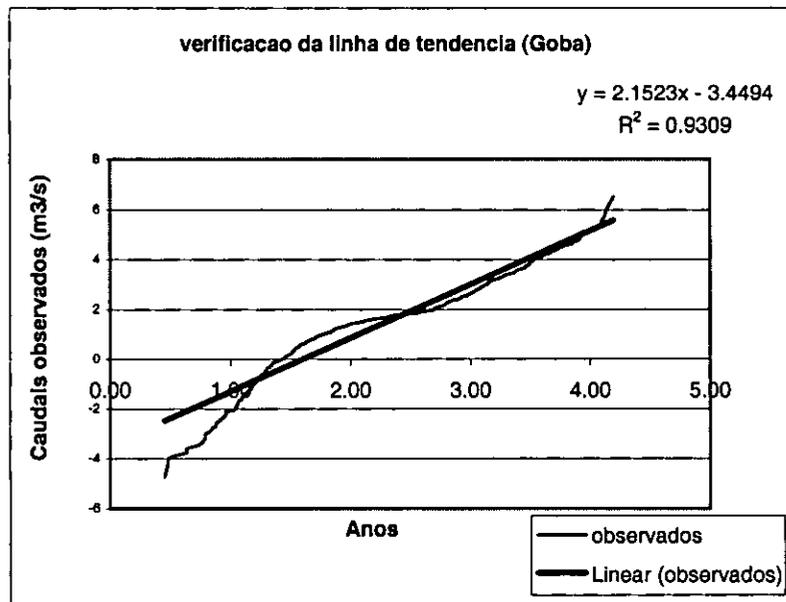


Fig. II-2a: Linha de tendencia (Goba)

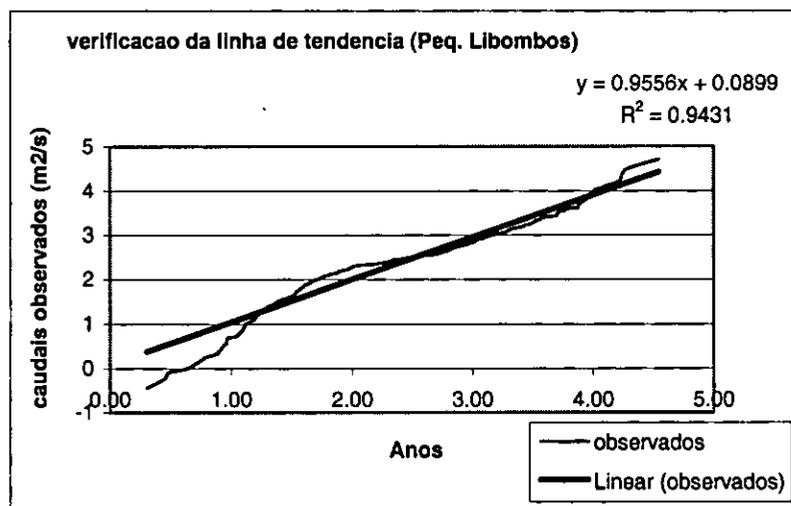


Fig. II-2b: verificacao da linha de tendencia (Pequenos Libombos)

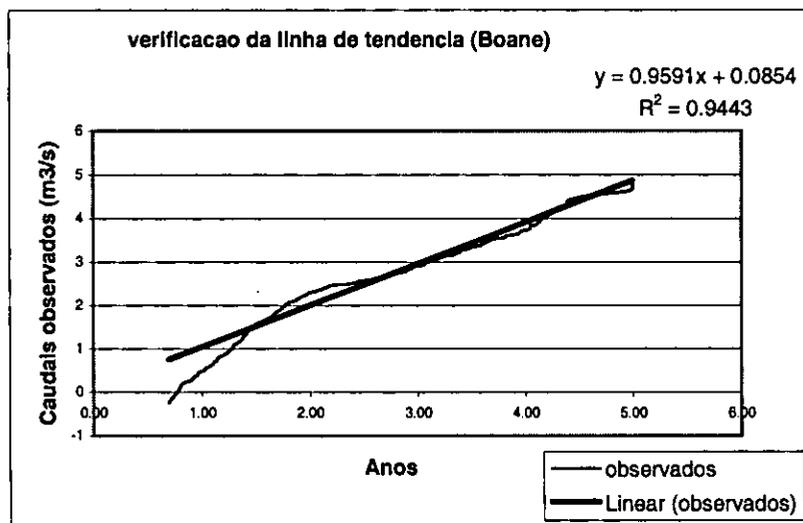


Fig. II-2c: verificacao da linha de tendencia (Boane)

Fig II-3a:

Escoamento anual medio do Umbeluzi -natural (1964-1994)

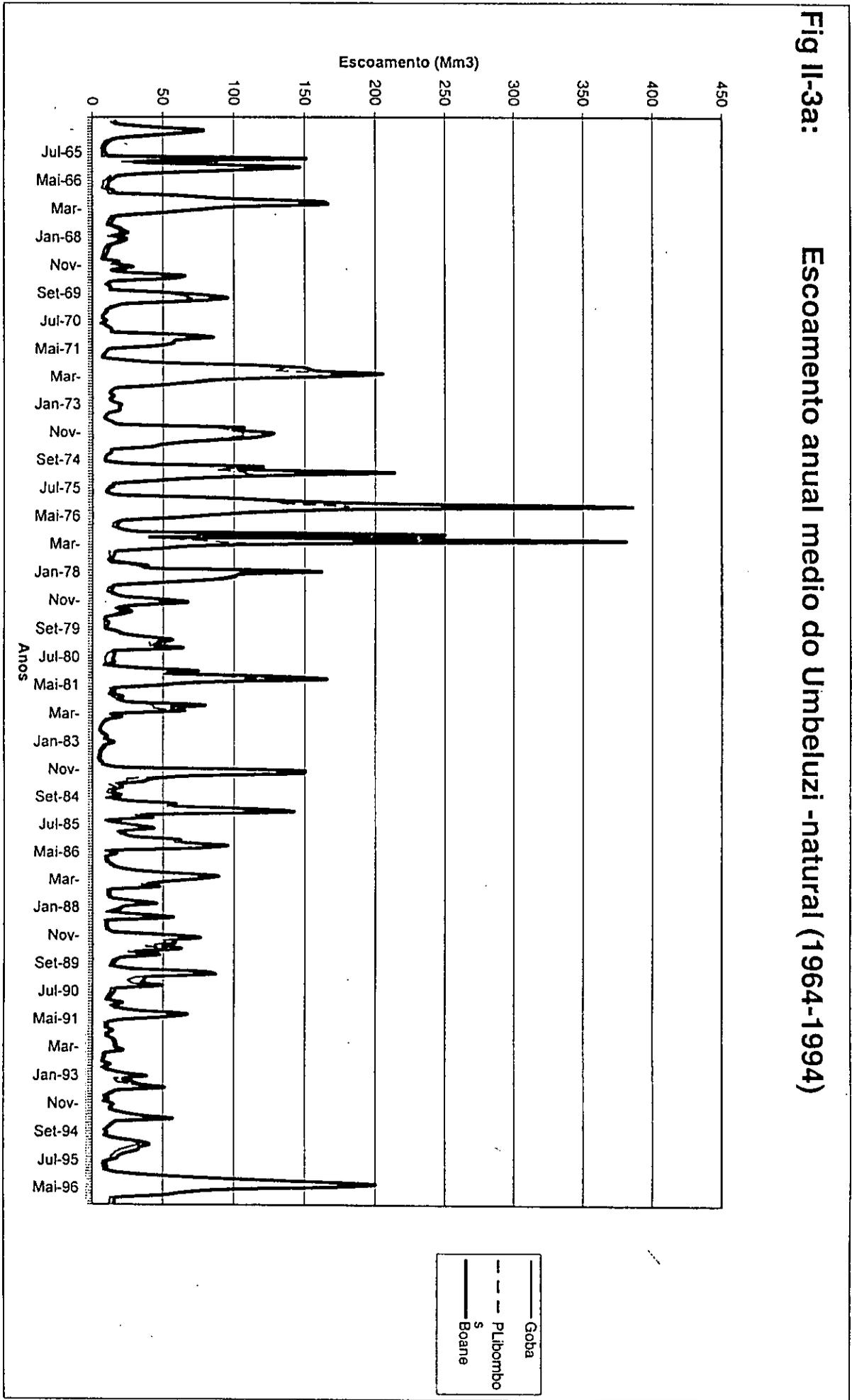


Fig. II-4a:

caudal Natural e Ecologico (Goba)

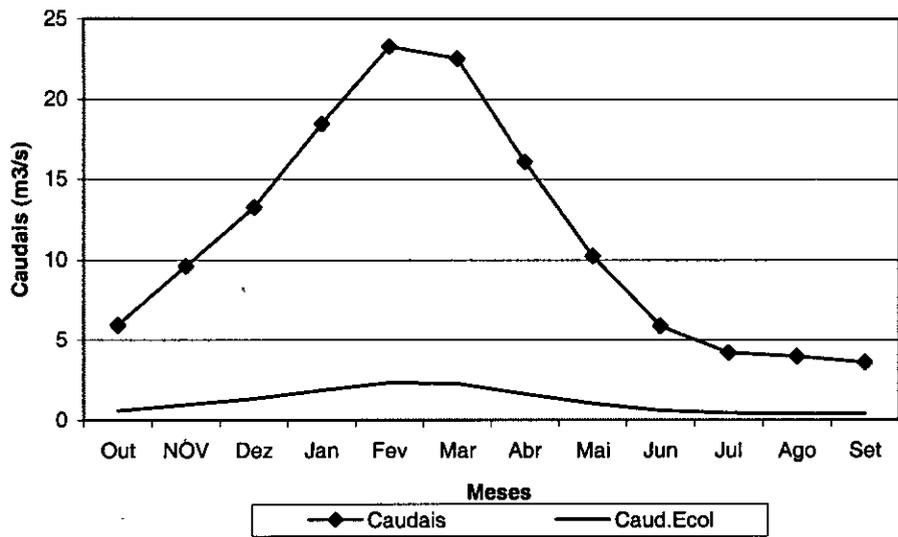


Fig. II-4b:

Caudal Natural e Ecologico (P.Libombos)

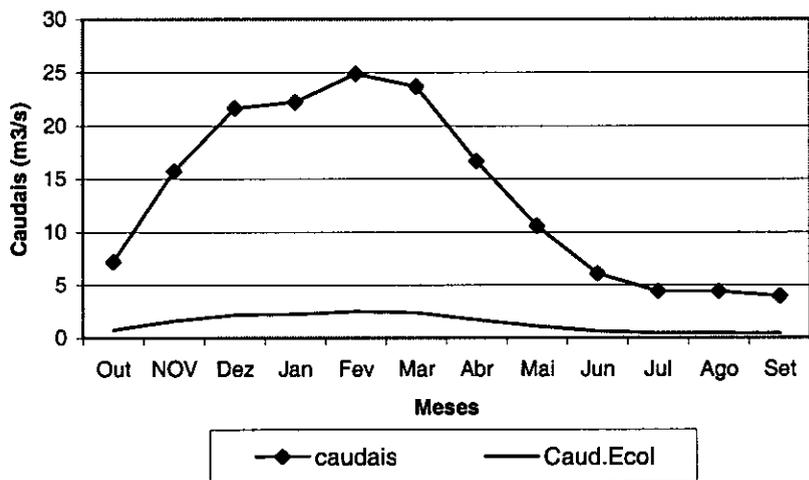


Fig. II-4c:

Caudal Natural e Ecologico (Boane)

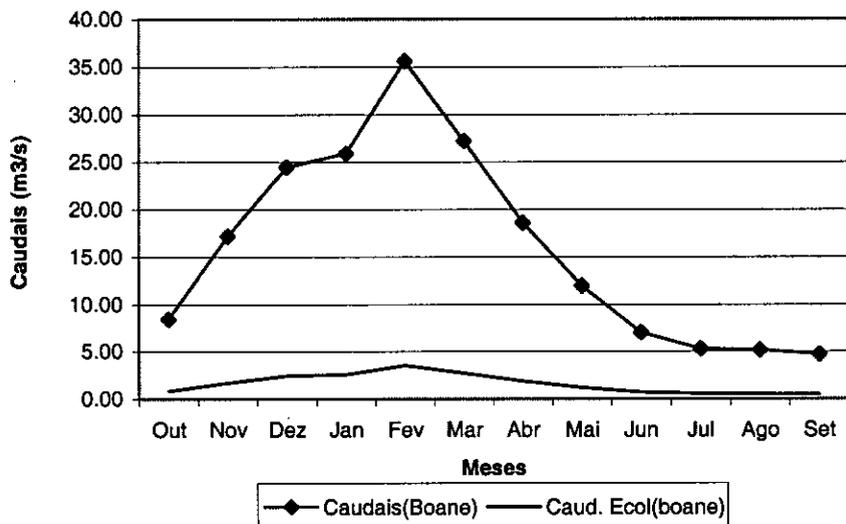


Fig. 4: Caudais medios natural e ecologico mensal (bacia do Umbeluzi)

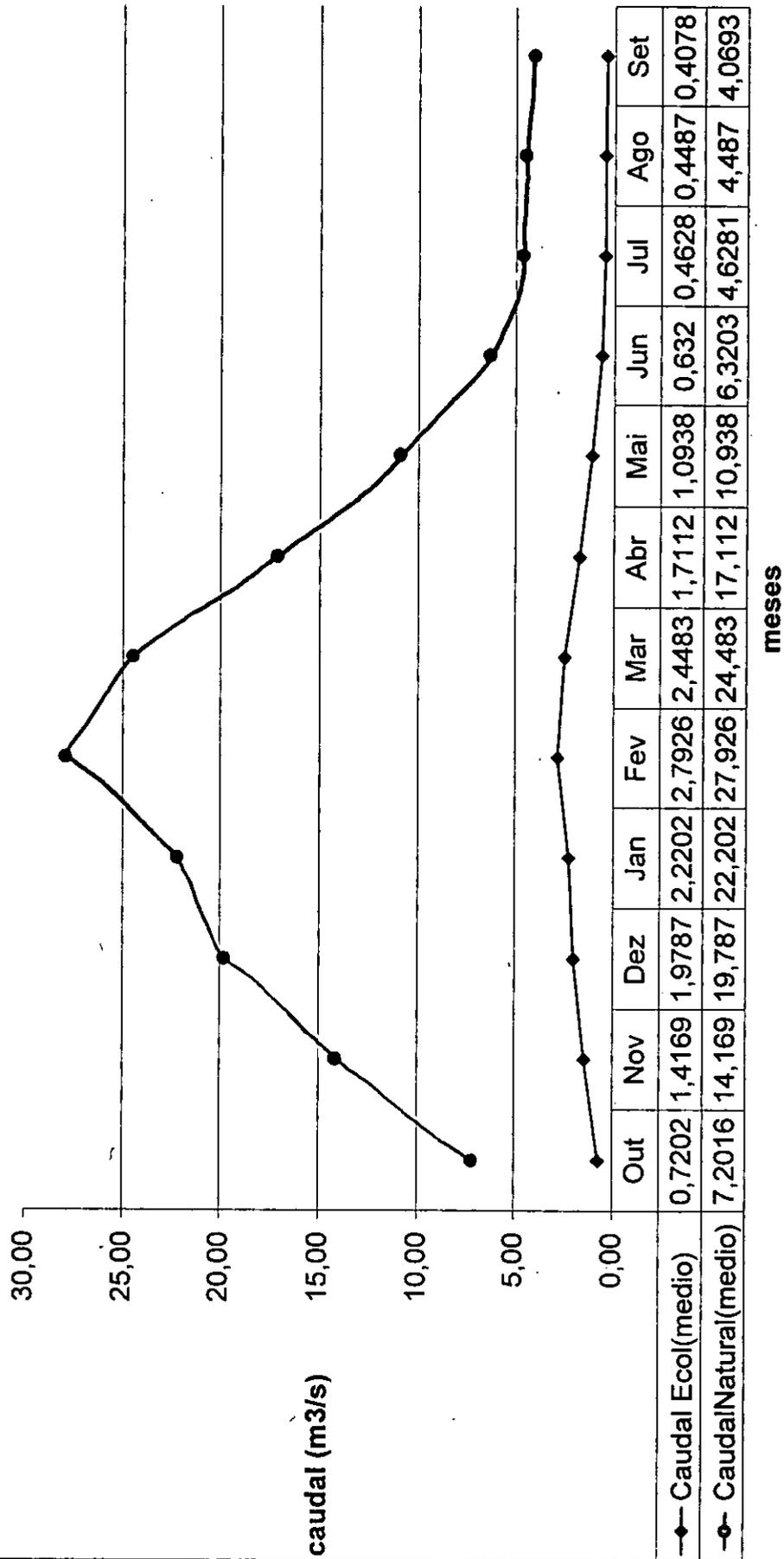


Fig. II-5a: Probab. de nao ocorrencia do caudal ecologico (Goba)

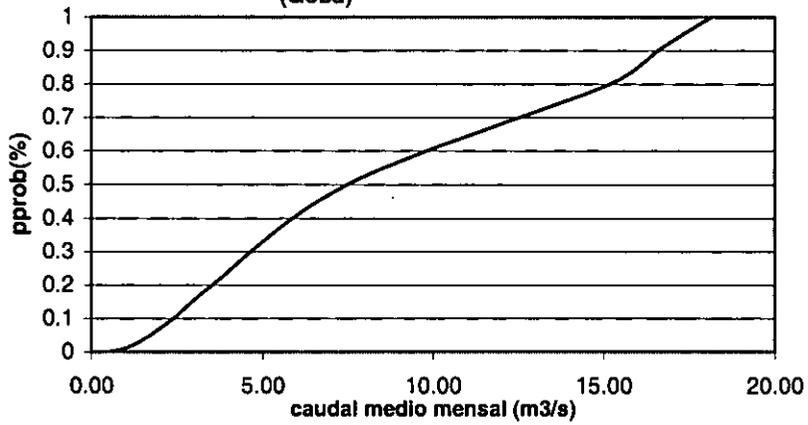
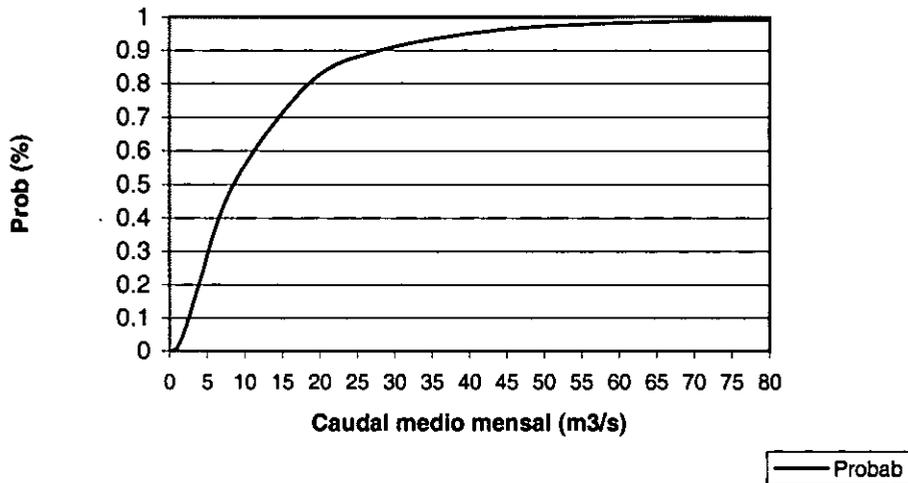
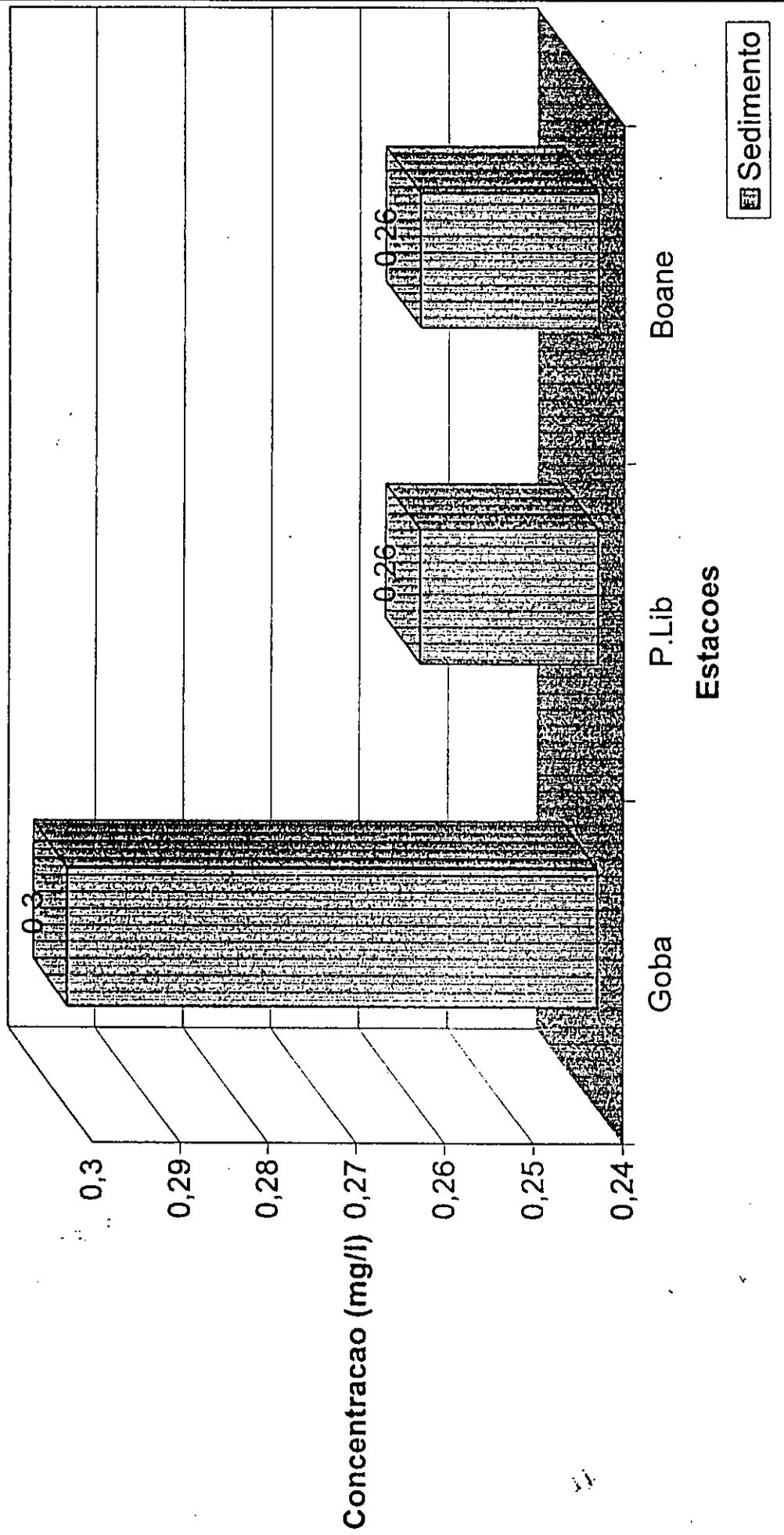


Fig. II-5b: Probab. de nao ocorrencia do caudal ecologico (Peq. Libombos)



Sedimentos do rio Umbeluzi

Fig. II- 6a



Características da água do Umbeluzi

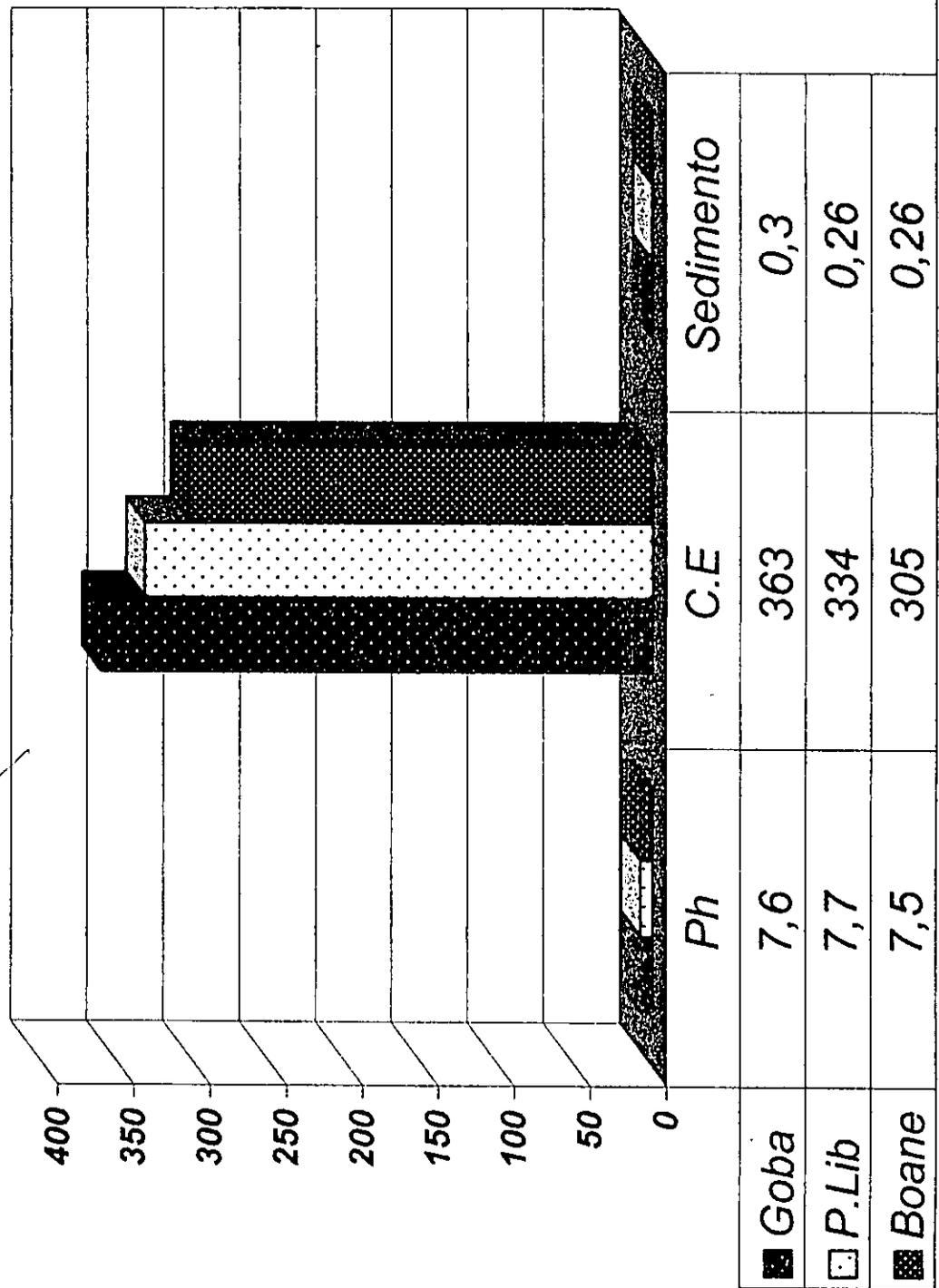


Fig. II- 6

Fig. II-7a: Curva de duracao de caudal (Goba-64/79)

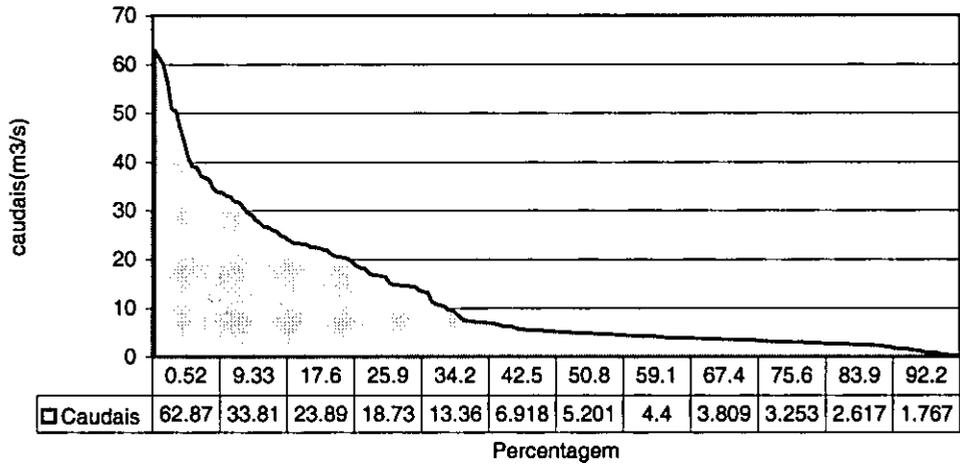


Fig.II-7b: Curva de duracao do caudal(Goba-79/94)

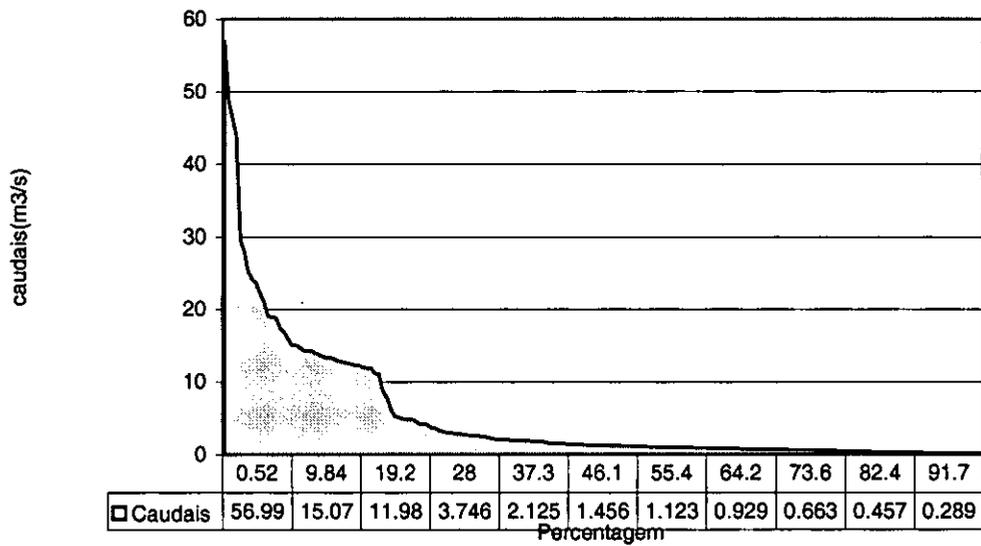


Fig. II-8a: curva de duracao do caudal (Peq. Libmobos-64/79)

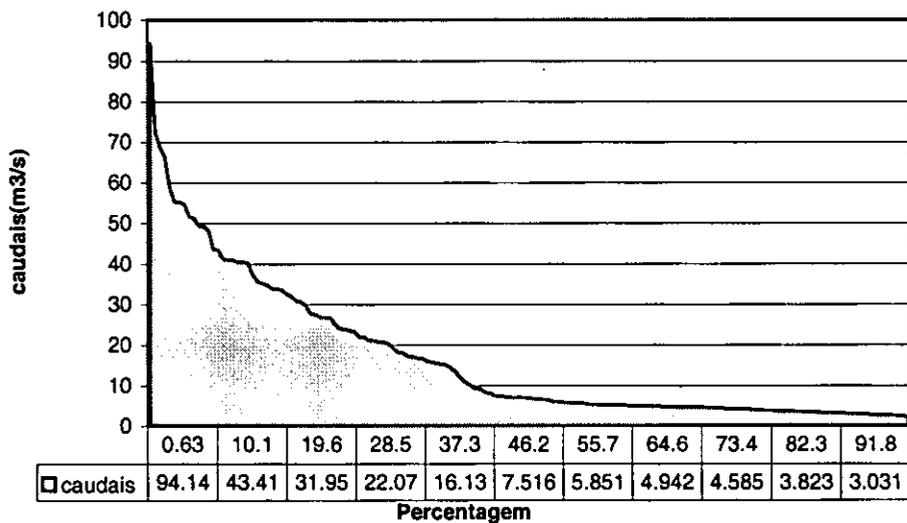


Fig. II-8b: Curva de duracao da caudal (Peq. Libombos-79/87)

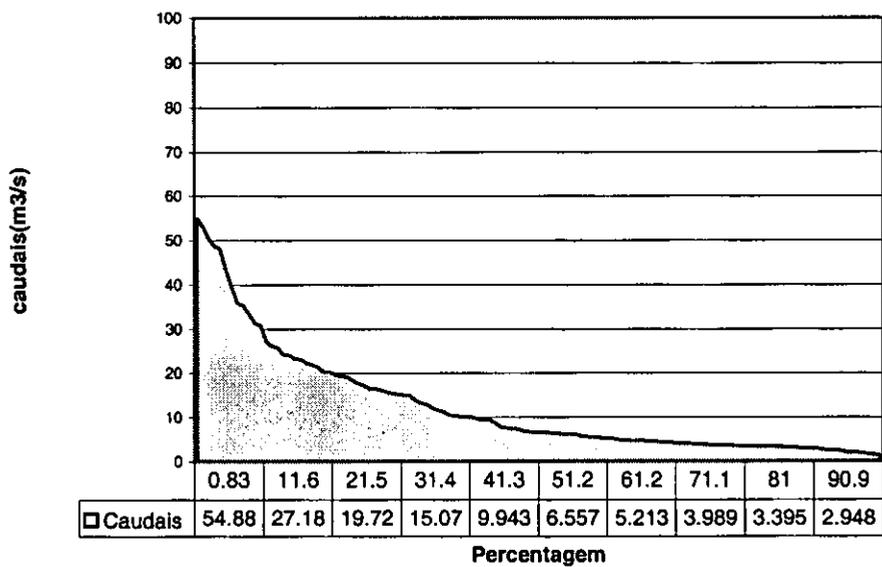


Fig. II-8c: curva de duracao de caudal (Peq. Libombos 87/94)

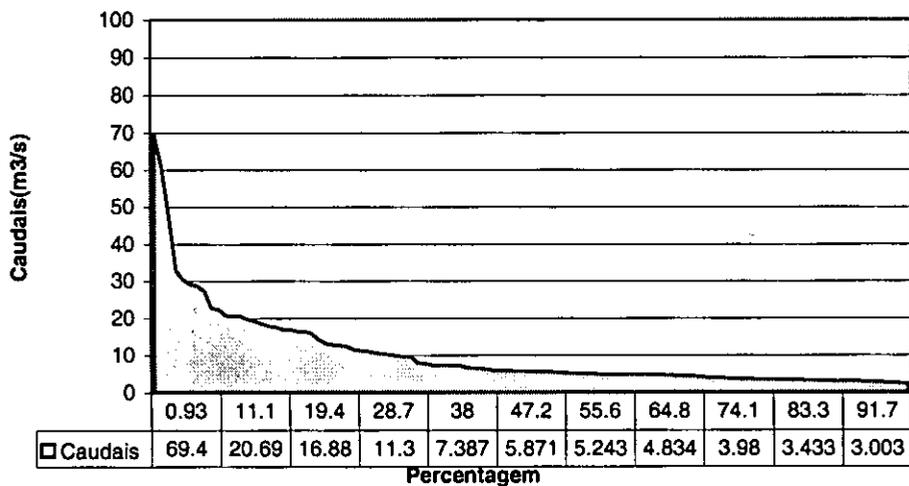


Fig. II-9a: Curva de duracao do caudal (Boane-64/79)

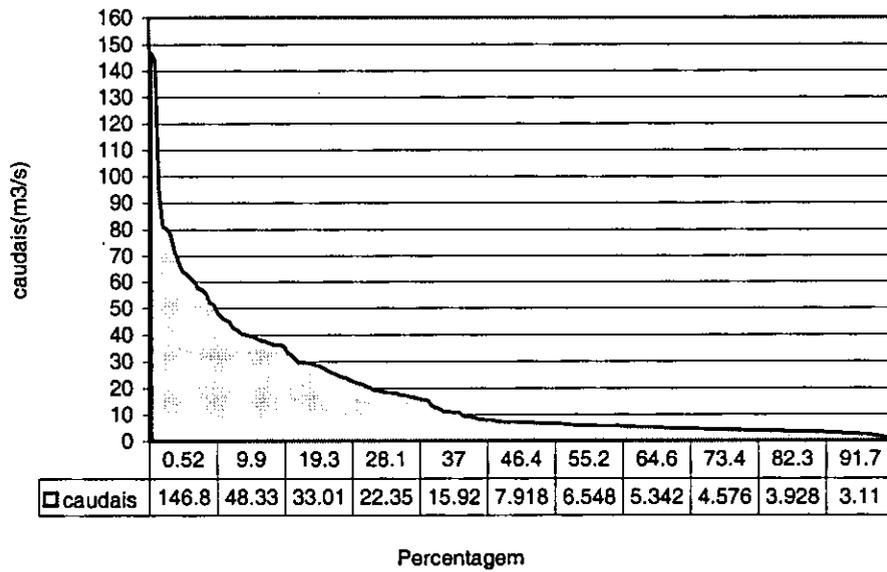


Fig. II-9b: Curva de duracao do caudal (Boane-79/87)

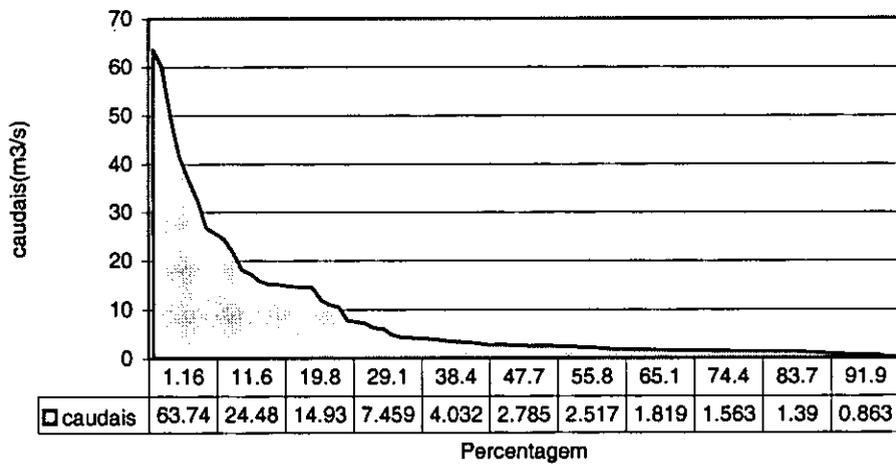


Fig. II-9c: curva de duracao de caudal (Boane-87/94)

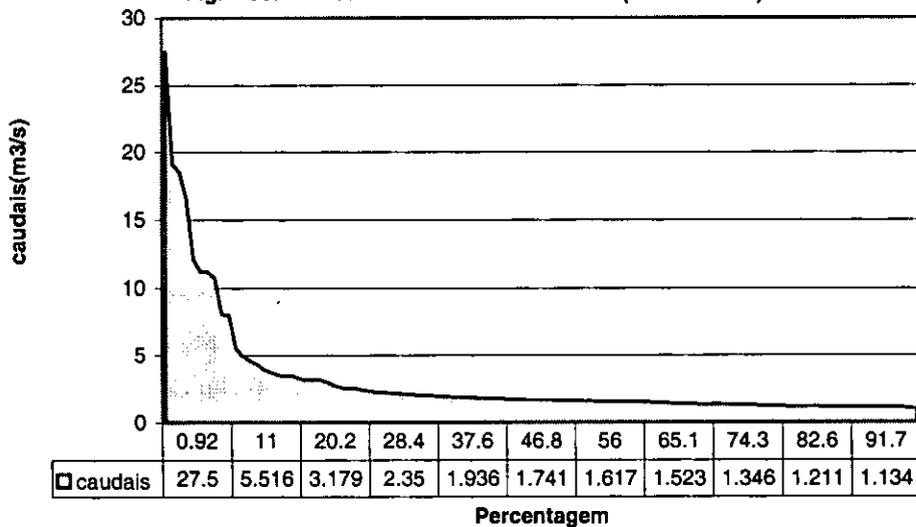


Fig. II-10a: Caudal actual e o ecologico requerido (Goba)

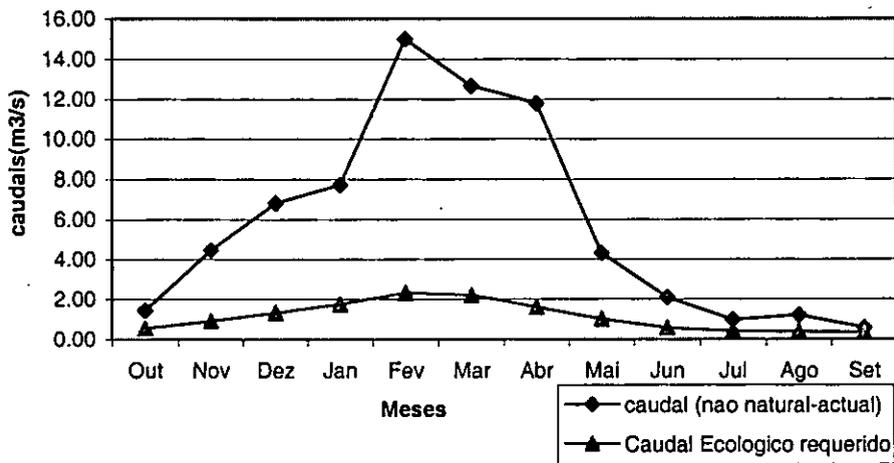


Fig.II-10b: Caudal actual e caudal ecologico requerido (Boane)

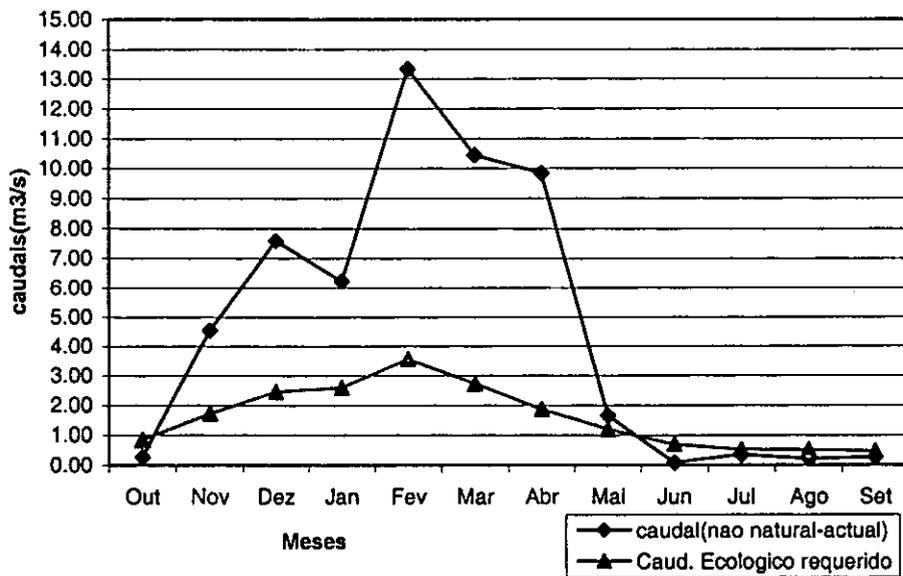
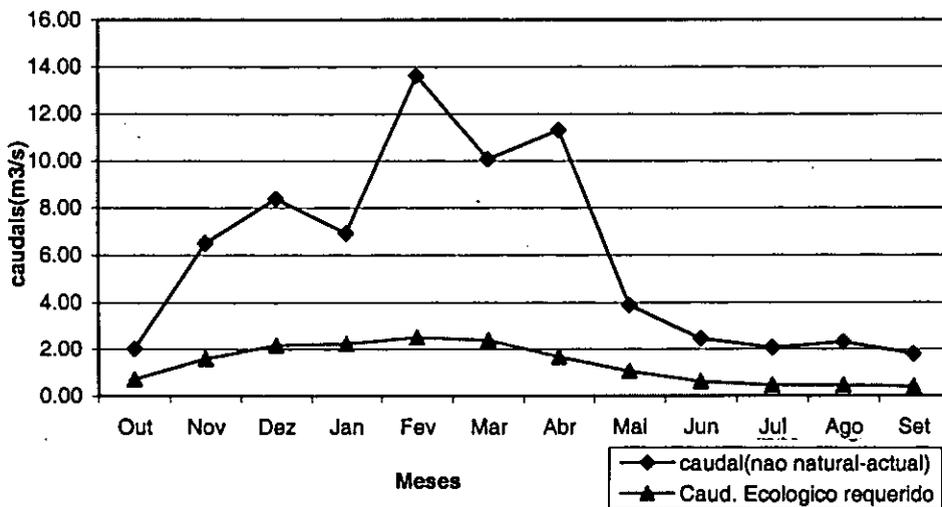


Fig. II-10c: Caudal actual e o ecologico requerido (Pequenos Libombos)



Anexo- III

Tabela 1 **Escoamento mensal**

Condições naturais	Goba	PLibombos	Boane	Mm3/mes
Out-64	1		13,82	16,56
Nov-64	2	15,6	15,91	19,07
Dez-64	3	37,9	37,93	42,78
Jan-65	4	72,4	72,49	77,86
Fev-65	5	57,9	57,94	66,78
Mar-65	6	35,1	35,13	40,93
Abr-65	7	13,9	13,87	17,64
Mai-65	8	9,0	8,98	12,03
Jun-65	9	8,0	7,98	10,43
Jul-65	10	6,7	6,70	9,01
Ago-65	11	6,5	6,55	8,73
Set-65	12	7,5	7,49	9,66
Out-65	13	6,9	6,87	11,80
Nov-65	14	13,8	145,27	151,22
Dez-65	15	10,7	21,80	31,93
Jan-66	16	61,0	66,23	77,62
Fev-66	17	124,1	126,54	146,44
Mar-66	18	87,0	88,64	101,09
Abr-66	19	40,0	41,27	48,73
Mai-66	20	11,8	12,91	18,59
Jun-66	21	10,1	10,77	14,99
Jul-66	22	7,8	8,13	12,01
Ago-66	23	7,5	7,91	11,48
Set-66	24	6,8	7,01	10,54
Out-66	25	10,2	10,54	14,92
Nov-66	26	9,4	11,96	17,21
Dez-66	27	27,2	54,60	63,40
Jan-67	28	59,4	85,63	95,51
Fev-67	29	133,7	145,28	162,39
Mar-67	30	148,8	155,01	165,79
Abr-67	31	88,9	92,42	98,95
Mai-67	32	68,5	70,42	75,44
Jun-67	33	43,5	44,43	48,20
Jul-67	34	13,3	13,93	17,41
Ago-67	35	11,2	12,19	15,41
Set-67	36	8,9	10,85	14,04
Out-67	37	9,3	10,06	12,87
Nov-67	38	14,7	15,57	19,04
Dez-67	39	13,7	18,78	21,91
Jan-68	40	16,5	21,62	24,99
Fev-68	41	10,1	11,32	15,33
Mar-68	42	19,1	19,43	24,09
Abr-68	43	16,5	17,19	20,81
Mai-68	44	10,5	10,90	13,93

Jun-68	45	8,9	9,29	12,20
Jul-68	46	8,2	8,32	11,13
Ago-68	47	7,8	7,82	10,54
Set-68	48	6,6	6,86	9,39
Out-68	49	6,3	6,40	7,29
Nov-68	50	14,5	15,97	18,74
Dez-68	51	13,5	13,91	17,43
Jan-69	52	23,0	24,10	28,68
Fev-69	53	11,1	12,99	13,98
Mar-69	54	25,5	28,54	28,54
Abr-69	55	53,1	53,73	64,82
Mai-69	56	48,0	48,20	56,63
Jun-69	57	11,7	11,80	15,13
Jul-69	58	9,4	9,43	10,78
Ago-69	59	7,8	13,12	13,12
Set-69	60	9,5	12,11	12,81
Out-69	61	38,8	42,38	50,34
Nov-69	62	61,5	62,09	80,41
Dez-69	63	70,1	70,27	95,34
Jan-70	64	62,8	63,07	67,89
Fev-70	65	19,4	19,36	23,14
Mar-70	66	12,2	12,18	15,51
Abr-70	67	9,5	9,50	10,64
Mai-70	68	8,8	8,79	10,24
Jun-70	69	7,6	7,57	7,86
Jul-70	70	6,9	6,88	6,88
Ago-70	71	8,0	7,97	10,11
Set-70	72	5,8	5,77	7,74
Out-70	73	9,6	9,64	11,06
Nov-70	74	12,8	12,98	13,73
Dez-70	75	12,7	12,78	13,77
Jan-71	76	54,4	54,71	62,67
Fev-71	77	83,5	83,98	85,19
Mar-71	78	57,7	58,01	58,74
Abr-71	79	55,5	55,57	57,49
Mai-71	80	44,1	44,09	44,09
Jun-71	81	12,3	12,31	12,31
Jul-71	82	10,0	10,05	10,05
Ago-71	83	8,2	8,17	8,17
Set-71	84	7,3	7,33	7,33
Out-71	85	18,6	24,12	24,12
Nov-71	86	20,8	47,52	49,44
Dez-71	87	48,0	107,64	111,26
Jan-72	88	80,9	135,68	149,90
Fev-72	89	116,3	129,71	157,68
Mar-72	90	161,8	190,56	205,02

Abr-72	91	132,8	143,74	168,08
Mai-72	92	76,8	81,18	97,33
Jun-72	93	60,7	63,16	72,80
Jul-72	94	44,1	45,29	47,62
Ago-72	95	15,1	17,35	17,62
Set-72	96	12,6	13,71	13,71
Out-72	97	11,6	12,55	12,55
Nov-72	98	14,8	15,38	15,38
Dez-72	99	12,1	12,46	12,46
Jan-73	100	14,6	14,97	14,97
Fev-73	101	19,5	19,75	20,33
Mar-73	102	18,4	18,66	18,76
Abr-73	103	17,8	18,03	19,14
Mai-73	104	11,4	11,53	11,53
Jun-73	105	9,5	9,61	9,61
Jul-73	106	7,9	9,01	9,01
Ago-73	107	8,4	13,85	13,85
Set-73	108	13,3	18,82	18,82
Out-73	109	35,8	88,30	106,38
Nov-73	110	69,9	98,66	99,87
Dez-73	111	83,7	106,30	127,03
Jan-74	112	97,7	106,39	122,54
Fev-74	113	86,5	91,44	105,66
Mar-74	114	67,7	70,40	70,40
Abr-74	115	49,2	50,55	50,55
Mai-74	116	38,9	40,47	40,47
Jun-74	117	12,9	13,72	13,72
Jul-74	118	13,1	13,53	13,53
Ago-74	119	10,0	10,21	10,21
Set-74	120	8,5	9,16	9,16
Out-74	121	9,1	9,45029763	9,5467158
Nov-74	122	25,0	26,5918115	29,4602522
Dez-74	123	59,2	114,577183	119,479865
Jan-75	124	61,3	88,9846398	103,929457
Fev-75	125	90,7	106,244668	213,509887
Mar-75	126	107,5	114,102498	134,832405
Abr-75	127	74,0	77,7865652	77,7865652
Mai-75	128	43,3	45,6222015	45,6222015
Jun-75	129	14,0	15,131009	15,131009
Jul-75	130	11,1	12,0513013	15,0131327
Ago-75	131	10,3	10,8943193	10,8943193
Set-75	132	9,9	10,3233374	10,3233374
Out-75	133	11,1	18,285175	18,285175
Nov-75	134	18,2	93,6440108	93,9091608
Dez-75	135	45,2	129,492609	136,723972
Jan-76	136	96,8	134,439528	211,333021

Fev-76	137	157,8	180,924419	385,813038
Mar-76	138	165,2	174,851424	188,507941
Abr-76	139	103,0	108,19317	118,073032
Mai-76	140	77,5	80,4230524	86,7513587
Jun-76	141	53,8	55,5197063	60,1972894
Jul-76	142	16,4	17,4466252	21,4989343
Ago-76	143	14,5	15,1358975	18,7330072
Set-76	144	12,7	14,2104951	17,3474032
Out-76	145	17,3	18,5983016	20,8323141
Nov-76	146	29,9	31,3649746	35,3672618
Dez-76	147	51,3	247,414381	250,25616
Jan-77	148	18,8	41,8447356	41,8447356
Fev-77	149	64,6	73,0513375	379,17904
Mar-77	150	102,4	107,720562	178,105829
Abr-77	151	58,9	61,5902799	74,6067334
Mai-77	152	38,6	39,8087073	47,6667884
Jun-77	153	11,2	12,0970108	17,1348604
Jul-77	154	9,9	12,0904384	15,5855972
Ago-77	155	9,3	12,6424529	14,7877572
Set-77	156	11,4	11,7179384	11,7179384
Out-77	157	12,3	12,8543268	23,0264441
Nov-77	158	16,1	31,8836847	38,7534796
Dez-77	159	26,7	36,4915714	41,1919574
Jan-78	160	78,5	127,881466	160,4226
Fev-78	161	95,8	103,890365	103,890365
Mar-78	162	89,1	94,4311536	100,698335
Abr-78	163	77,9	80,8685813	84,9663537
Mai-78	164	44,9	46,4093829	50,627678
Jun-78	165	13,3	14,19895	15,307759
Jul-78	166	10,7	11,3105552	14,7334004
Ago-78	167	10,0	10,4534976	13,4183564
Set-78	168	11,0	13,7014033	15,8467076
Out-78	169	16,8	19,207977	22,9923903
Nov-78	170	30,6	45,3280418	52,8004503
Dez-78	171	51,3	51,8222145	66,525986
Jan-79	172	21,9	22,6587101	30,6614185
Fev-79	173	15,8	16,4478409	17,8459044
Mar-79	174	19,9	20,2556907	27,5593674
Abr-79	175	15,9	16,188627	20,7443857
Mai-79	176	9,6	9,90601802	9,90601802
Jun-79	177	8,6	8,81701486	8,81701486
Jul-79	178	8,1	8,27659281	11,5307062
Ago-79	179	8,2	8,43553298	10,6772555
Set-79	180	8,6	8,69683016	9,51638463
Out-79	181	16,6	16,6527083	17,7615173
Nov-79	182	18,5	19,1166341	22,660002

Dez-79	183	27,0	34,1478586	37,667122
Jan-80	184	51,0	53,3640776	56,1602046
Fev-80	185	39,6	40,1648618	50,2887701
Mar-80	186	40,3	40,568865	44,0881284
Abr-80	187	63,0	63,3121753	63,3121753
Mai-80	188	13,6	13,8671848	14,5903211
Jun-80	189	10,8	11,0117845	15,8809023
Jul-80	190	9,2	9,43984119	15,2490362
Ago-80	191	8,9	8,94534195	14,2965506
Set-80	192	9,6	9,64698219	15,6008044
Out-80	193	7,6	7,97132066	10,8397613
Nov-80	194	17,1	26,1324012	32,5683143
Dez-80	195	39,0	63,6613085	74,2673076
Jan-81	196	48,7	50,9168602	54,9664235
Fev-81	197	89,3	92,9602202	133,937944
Mar-81	198	124,1	126,379368	163,982455
Abr-81	199	67,1	67,7522203	79,3224012
Mai-81	200	39,0	39,6039187	46,7629681
Jun-81	201	12,1	12,4970585	15,1003492
Jul-81	202	10,6	13,2088914	16,2701685
Ago-81	203	9,2	11,3411601	13,9685553
Set-81	204	11,8	14,290095	21,5455626
Out-81	205	11,9	17,2324648	18,3171693
Nov-81	206	26,4	26,374539	27,3146162
Dez-81	207	41,2	42,6492987	78,806114
Jan-82	208	42,9	43,4345767	55,9689393
Fev-82	209	55,0	60,7418317	64,2413987
Mar-82	210	11,3	12,2260134	14,0498462
Abr-82	211	15,2	17,4984796	20,7504381
Mai-82	212	8,9	9,29527961	11,4442549
Jun-82	213	7,6	8,02439462	8,02439462
Jul-82	214	6,3	6,62026455	6,62026455
Ago-82	215	5,6	5,62268736	5,62268736
Set-82	216	4,9	5,24454535	5,24454535
Out-82	217	6,4	6,39909115	8,18540752
Nov-82	218	8,5	8,81065651	10,5019312
Dez-82	219	7,9	7,89330718	9,52455561
Jan-83	220	12,2	12,4940422	15,3733374
Fev-83	221	7,7	7,74801063	9,48430509
Mar-83	222	6,7	6,72883286	8,49013828
Abr-83	223	5,0	4,95610989	6,47480901
Mai-83	224	4,2	4,23435652	6,00816741
Jun-83	225	4,1	4,12426745	5,83054876
Jul-83	226	3,6	3,5538537	4,98501447
Ago-83	227	5,5	5,46346547	6,87461747
Set-83	228	4,3	6,93749309	8,31112865

Out-83	229	16,9	17,2405898	21,9239309
Nov-83	230	48,8	144,246905	149,886482
Dez-83	231	85,4	139,591769	149,129407
Jan-84	232	56,4	61,0612321	71,7753659
Fev-84	233	21,8	24,7102152	43,3639248
Mar-84	234	20,8	24,4129781	36,1206615
Abr-84	235	10,0	12,2846211	19,326712
Mai-84	236	13,3	16,1194766	21,5030752
Jun-84	237	10,0	11,9122759	15,9340536
Jul-84	238	9,7	10,4301784	14,1275738
Ago-84	239	16,9	17,0932965	20,5089066
Set-84	240	9,6	9,77788767	13,1542943
Out-84	241	24,1	24,8740151	27,3280118
Nov-84	242	53,2	56,2106145	59,0042395
Dez-84	243	49,3	53,2965688	57,4746761
Jan-85	244	112,0	113,767229	118,363195
Fev-85	245	131,2	132,008152	139,424033
Mar-85	246	30,0	30,5205135	35,4693603
Abr-85	247	39,3	39,5720959	42,8638546
Mai-85	248	8,7	8,92290038	11,6256089
Jun-85	249	15,8	15,9342232	18,153251
Jul-85	250	29,5	29,5510902	31,6549065
Ago-85	251	41,0	41,254695	43,258429
Set-85	252	17,6	17,8642795	19,8540895
Out-85	253	18,8	19,7873729	22,3093668
Nov-85	254	23,2	27,0664612	29,9468906
Dez-85	255	52,1	57,3779886	61,7195669
Jan-86	256	56,2	58,5613722	63,3439482
Fev-86	257	86,6	87,658127	95,4167732
Mar-86	258	70,7	71,4396428	76,5946409
Abr-86	259	8,5	8,85469997	12,2608476
Mai-86	260	14,2	14,4991603	17,2836387
Jun-86	261	8,5	8,65667525	10,9306888
Jul-86	262	8,6	8,760458	10,9128801
Ago-86	263	8,9	9,52597754	11,5727752
Set-86	264	11,5	12,129334	14,1614366
Out-86	265	12,6	14,9524439	17,8880981
Nov-86	266	16,9	26,4214683	29,829971
Dez-86	267	37,6	50,4862579	55,8223102
Jan-87	268	76,6	82,4065248	88,3243418
Fev-87	269	66,4	68,8761636	78,7200162
Mar-87	270	46,6	48,4321716	54,8412882
Abr-87	271	33,9	34,7940956	38,8961265
Mai-87	272	42,7	43,4151693	46,6970933
Jun-87	273	10,1	10,4843918	13,09291
Jul-87	274	9,9	10,1870035	12,6351173

Ago-87	275	10,1	10,1455608	12,4543347
Set-87	276	11,9	11,8630164	14,1524047
Out-87	277	27,3	27,2885105	29,0912644
Nov-87	278	43,1	43,2106606	45,1729176
Dez-87	279	20,4	20,5230616	23,1355268
Jan-88	280	16,9	16,9365247	19,7452329
Fev-88	281	9,7	9,76561319	13,8986665
Mar-88	282	34,7	34,6774983	37,6519336
Abr-88	283	54,1	54,0743305	56,270531
Mai-88	284	8,4	8,45309692	10,3726559
Jun-88	285	9,1	9,10297937	10,7953825
Jul-88	286	8,6	8,63426718	10,2725622
Ago-88	287	8,8	9,75228475	11,3435771
Set-88	288	11,7	12,7044014	14,2891545
Out-88	289	40,9	44,6753186	48,032228
Nov-88	290	56,8	72,0605673	76,0068391
Dez-88	291	30,0	50,7027195	57,0515047
Jan-89	292	42,6	51,8451189	58,9190204
Fev-89	293	33,5	37,5741803	49,5415247
Mar-89	294	51,5	54,3774997	62,0637611
Abr-89	295	23,8	25,3076871	30,118378
Mai-89	296	42,2	43,3018248	47,0903279
Jun-89	297	16,8	17,3544013	20,3035657
Jul-89	298	13,9	14,4165488	17,1657839
Ago-89	299	12,1	12,998584	15,5741448
Set-89	300	11,1	12,1022867	14,653685
Out-89	301	23,2	26,6696875	29,9468864
Nov-89	302	61,4	75,5123421	79,3568563
Dez-89	303	60,8	79,9697822	86,1269363
Jan-90	304	21,5	30,1619198	37,017065
Fev-90	305	21,6	25,2997361	36,8652697
Mar-90	306	24,7	27,4089687	34,8535666
Abr-90	307	43,0	44,356056	49,032653
Mai-90	308	12,1	13,1399759	16,8326231
Jun-90	309	12,4	12,8795266	15,7642334
Jul-90	310	11,3	11,7744703	14,4667267
Ago-90	311	10,2	10,4313967	12,9564756
Set-90	312	8,8	9,02299317	11,5248135
Out-90	313	17,9	18,8749079	21,4077322
Nov-90	314	8,8	12,8731125	15,7673678
Dez-90	315	9,6	15,1013367	19,4689521
Jan-91	316	27,2	29,708749	34,5210476
Fev-91	317	57,7	58,8022689	66,6155095
Mar-91	318	48,0	48,8003839	53,988217
Abr-91	319	18,9	19,2897597	22,7141267
Mai-91	320	8,3	8,6484525	11,4459549

Figura:II-11b-Regime de fornecimento de agua para a rega

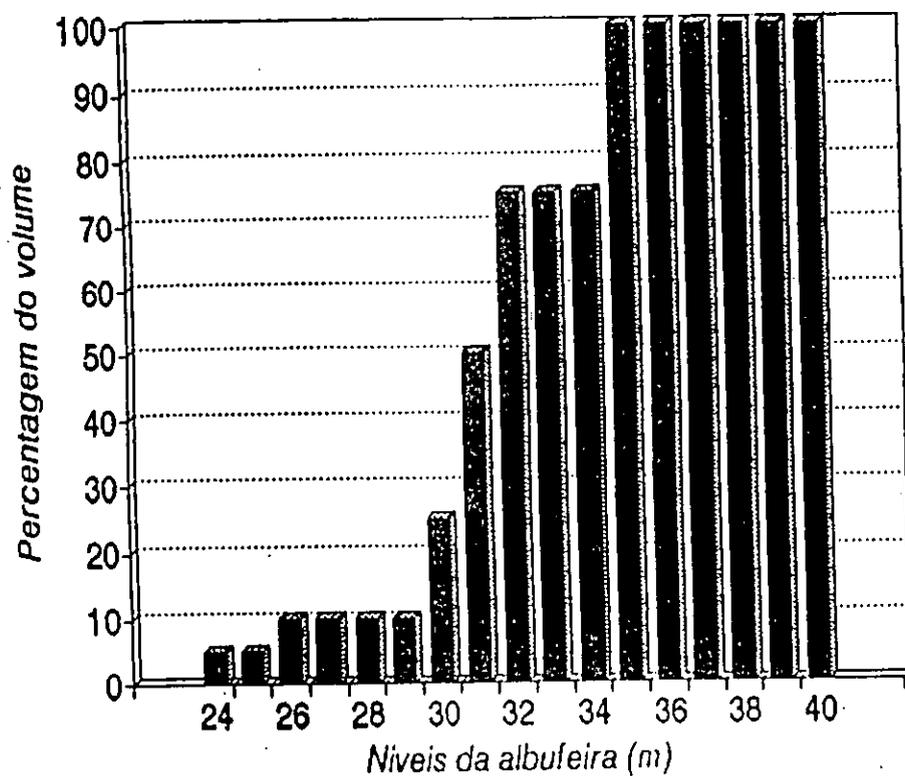
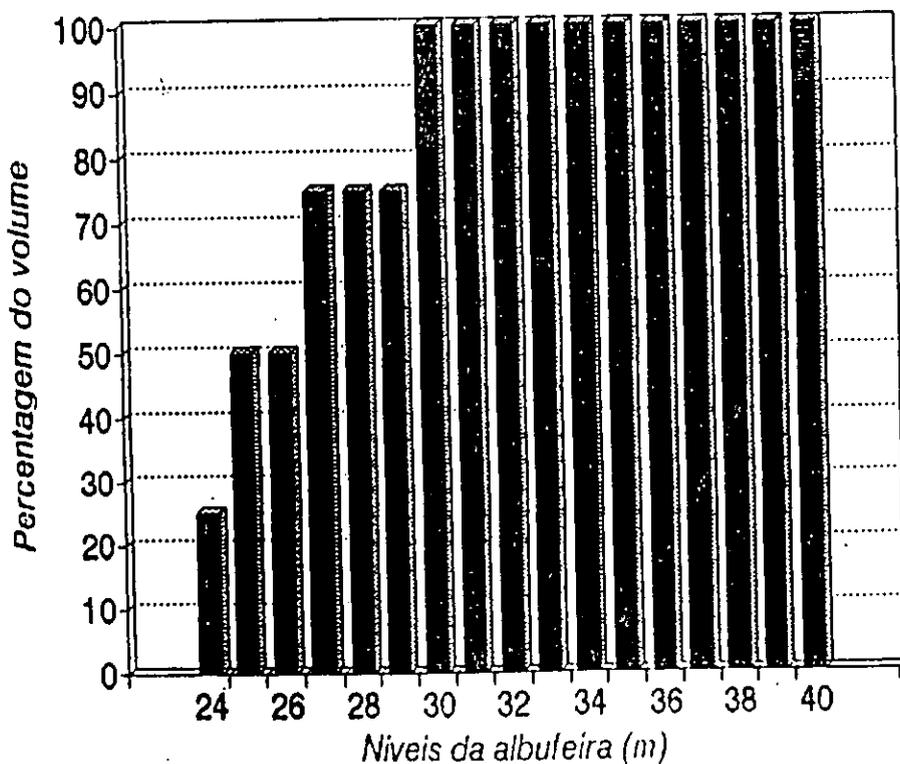


Figura:II-11c-Regime de fornecimento de agua a cidade de Maputo



Jun-91	321	8,4	8,57522534	10,8579968
Jul-91	322	8,6	8,75956695	10,9197302
Ago-91	323	9,6	12,4326886	14,4863447
Set-91	324	9,4	9,42200912	11,4608474
Out-91	325	9,4	9,45293243	10,9504897
Nov-91	326	13,1	13,2102294	14,7828763
Dez-91	327	14,7	14,7768976	16,6556444
Jan-92	328	14,9	14,9800079	16,9511405
Fev-92	329	15,4	15,4318022	18,0263995
Mar-92	330	19,4	19,4164187	21,4655709
Abr-92	331	7,5	7,46164082	9,14442175
Mai-92	332	7,6	7,62423633	9,17678213
Jun-92	333	6,9	6,85689113	8,30249829
Jul-92	334	6,1	6,13093317	7,55106771
Ago-92	335	5,9	11,4526558	12,8506628
Set-92	336	5,8	6,55373243	7,94866094
Out-92	337	7,4	10,2430489	13,3196271
Nov-92	338	8,0	19,4054717	22,9938762
Dez-92	339	17,3	32,7531651	38,4280106
Jan-93	340	8,8	15,7853557	22,0899218
Fev-93	341	14,5	17,5339774	28,0882095
Mar-93	342	25,8	27,9598913	34,7962559
Abr-93	343	45,3	46,3617889	50,7008904
Mai-93	344	14,4	15,2669703	18,7183621
Jun-93	345	10,8	11,2454632	13,967939
Jul-93	346	7,5	7,89636729	10,4452163
Ago-93	347	9,2	9,18209219	11,5801153
Set-93	348	7,6	7,62747492	10,0045144
Out-93	349	13,5	13,4842193	15,0234486
Nov-93	350	11,8	11,9097856	13,5356304
Dez-93	351	12,3	12,3481282	14,3270581
Jan-94	352	20,9	20,9715902	23,0570867
Fev-94	353	33,8	33,7963342	36,6009948
Mar-94	354	54,2	54,2484875	56,4239794
Abr-94	355	15,3	15,3521932	17,1050773
Mai-94	356	12,7	12,7545298	14,3571882
Jun-94	357	10,5	10,459724	11,9390291
Jul-94	358	7,9	7,89275871	9,34268124
Ago-94	359	8,2	9,31736952	10,741768
Set-94	360	6,8	8,04282652	9,46367399
Out-94	361	9,7	14,1394234	17,7008898
Nov-94	362	11,1	29,1017828	33,3091893
Dez-94	363	8,9	33,3515281	40,1920855
Jan-95	364	15,0	25,9492545	33,5845381
Fev-95	365	14,3	19,0466802	32,0451691
Mar-95	366	12,7	16,154135	24,460564

Abr-95	367	12,0	13,779532	18,9343405
Mai-95	368	11,9	13,258194	17,2926863
Jun-95	369	7,4	8,02500868	11,1395872
Jul-95	370	6,3	6,88219755	9,77765393
Ago-95	371	6,1	7,84647398	10,5515836
Set-95	372	5,8	7,73111963	10,4097472
Out-95	373	7,5	14,6700036	19,0411052
Nov-95	374	12,9	41,8828341	47,1238103
Dez-95	375	37,4	76,7415098	85,5284979
Jan-96	376	109,6	127,298803	137,156033
Fev-96	377	174,7	182,411762	199,491514
Mar-96	378	155,6	161,174233	171,935281
Abr-96	379	83,7	86,5404726	93,0572962
Mai-96	380	57,4	59,6279672	64,6360833
Jun-96	381	46,0	47,0507612	50,8200477
Jul-96	382	12,1	12,9654664	16,4396655
Ago-96	383	12,6	12,6015954	15,8194582
Set-96	384	12,2	12,1837484	15,3659484

30,0 35,37 41,94

11,4 13,5 16,0

Tabela 2

Dados do caudal Natural e ecologico do Umbeluzi

	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	c.Ec(me
Caudais(Boane)	8,46	17,17	24,46	25,90	35,59	27,23	18,59	11,97	7,02	5,29	5,14	4,70	
Caud. Ecol(boane)	0,85	1,72	2,45	2,59	3,56	2,72	1,86	1,20	0,70	0,53	0,51	0,47	1,60
Caud(PL)	7,23	15,74	21,66	22,24	24,89	23,69	16,67	10,60	6,07	4,39	4,38	3,93	
Caud.Ecol(PL)	0,72	1,57	2,17	2,22	2,49	2,37	1,67	1,06	0,61	0,44	0,44	0,39	1,35
Caudais(goba)	5,92	9,60	13,25	18,47	23,30	22,53	16,08	10,24	5,87	4,20	3,95	3,58	
Caud.Ecol(goba)	0,59	0,96	1,32	1,85	2,33	2,25	1,61	1,02	0,59	0,42	0,39	0,36	1,14
	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	
Caudal Ecol(medio)	0,72	1,42	1,98	2,22	2,79	2,45	1,71	1,09	0,63	0,46	0,45	0,41	1,36
CaudalNatural(medio)	7,20	14,17	19,79	22,20	27,93	24,48	17,11	10,94	6,32	4,63	4,49	4,07	

Anexo- IV

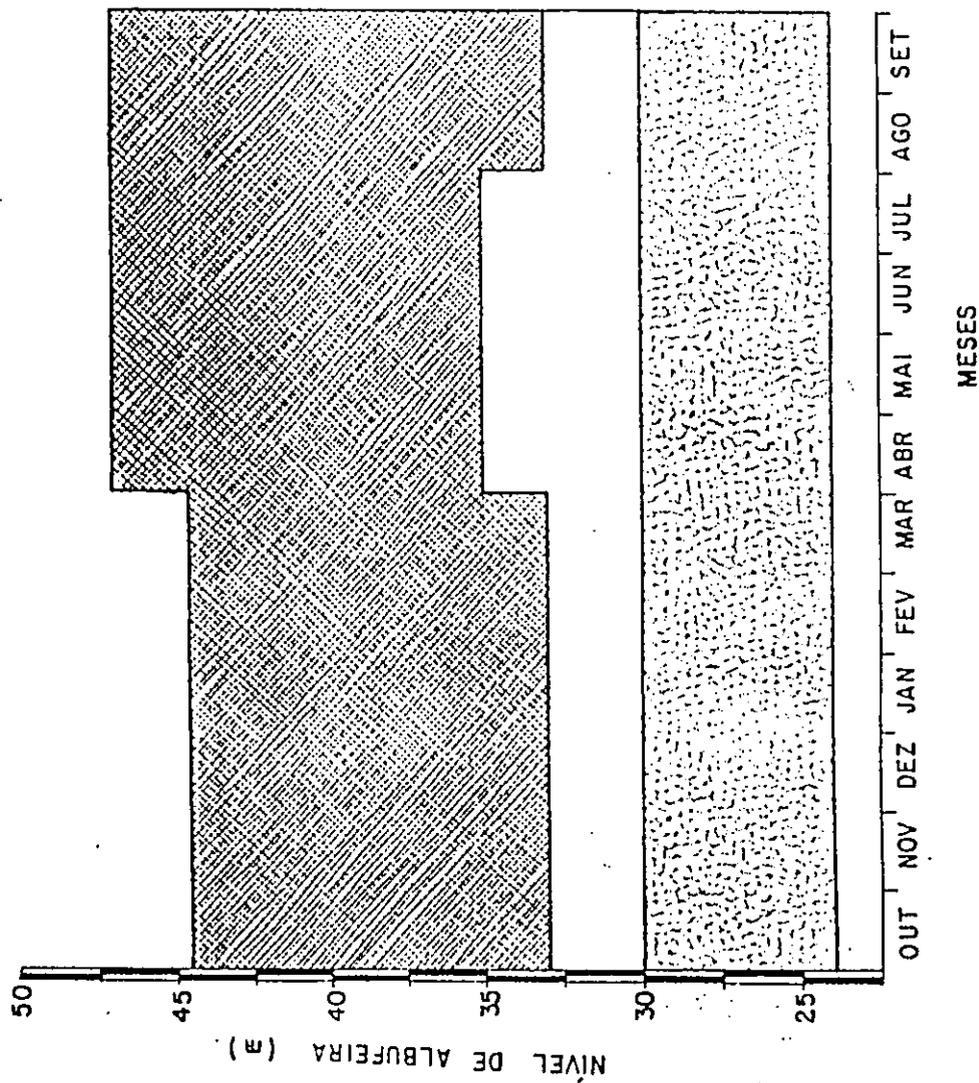


FIG. II-11a. ESQUEMA GERAL DAS REGAS DE OPERAÇÕES BPL

FONTE: Alves, A. e Saranga, S. (1991).

7.11/91

ACOSSA/91