



MINISTÉRIO DA ADMINISTRAÇÃO ESTATAL  
DIRECÇÃO NACIONAL DE PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO RURAL

**CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO VIC  
(VARIABLE INFILTRATION CAPACITY) E  
ELABORAÇÃO DA BASE DE DADOS DIF  
(DYNAMIC INFORMATION FRAMEWORK)**



**RELATÓRIO PRELIMINAR**

OUTUBRO 2012





# CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO VIC (VARIABLE INFILTRATION CAPACITY) E ELABORAÇÃO DA BASE DE DADOS DIF (DYNAMIC INFORMATION FRAMEWORK)

## RELATÓRIO PRELIMINAR

### ÍNDICE

	Pág.
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1-1</b>
<b>2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>2-1</b>
2.1 GENERALIDADES.....	2-1
2.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ZAMBEZE E DOS RIOS CHIRE E CUÁCUA.....	2-1
2.3 DISTRITOS NA ÁREA DE ESTUDO .....	2-2
2.4 SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS CONSIDERADAS.....	2-5
<b>3 DESCRIÇÃO DO MODELO VIC .....</b>	<b>3-1</b>
3.1 INTRODUÇÃO .....	3-1
3.2 MODELO VIC.....	3-1
3.3 MODELO ROUTING .....	3-6
3.4 CALIBRAÇÃO DO MODELO .....	3-9
<b>4 ESQUEMATIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO PARA APLICAR O MODELO VIC.....</b>	<b>4-1</b>
4.1 MODELO VIC.....	4-1
4.2 MODELO ROUTING .....	4-3
<b>5 RECOLHA E PROCESSAMENTO DE DADOS.....</b>	<b>5-1</b>
5.1 MODELO DIGITAL DO TERRENO.....	5-1
5.2 DADOS CLIMÁTICOS.....	5-4
5.2.1 Recolha e análise dos dados da rede udométrica.....	5-4
5.2.2 Recolha e análise dos dados da rede climatológica.....	5-10
5.2.3 Recolha e análise dos dados de precipitação obtidos por satélite.....	5-11
5.2.4 Recolha e análise de outros dados climáticos obtidos por satélite .....	5-15
5.2.5 Conclusões.....	5-17
5.3 SOLOS.....	5-18
5.3.1 Generalidades .....	5-18
5.3.2 Metodologia para a determinação dos parâmetros-solo .....	5-18
5.3.3 Inventariação dos estudos dos recursos em solos.....	5-18
5.3.4 Identificação e distribuição dos tipos de solos.....	5-20
5.3.5 Perfis típicos por unidade-solo .....	5-29
5.4 COBERTO VEGETAL E USO DA TERRA.....	5-30
5.4.1 Bases e fonte de dados .....	5-30
5.4.2 Análise da actividade agrícola e das áreas cultivadas .....	5-36

5.4.3	Classificação do coberto vegetal e do uso da terra .....	5-42
5.4.4	Adequação da classificação do coberto vegetal e do uso da terra ao modelo VIC .....	5-47
5.4.5	Cenários de uso e cobertura da terra .....	5-50
5.5	CAUDAIS .....	5-51
5.5.1	Inventário dos dados associados às estações hidrométricas .....	5-51
5.5.2	Estações hidrométricas a utilizar na calibração do modelo .....	5-55
5.5.3	Análise das medições de caudais e das curvas de vazão .....	5-55
<b>6</b>	<b>ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO ZAMBEZEDIF .....</b>	<b>6-1</b>
<b>7</b>	<b>TREINO .....</b>	<b>7-1</b>
7.1	FORMAÇÃO NO ÂMBITO DO ZAMBEZEVIC.....	7-1
7.2	FORMAÇÃO NO ÂMBITO DO ZAMBEZEDIF.....	7-1
<b>8</b>	<b>RESUMO E DESAFIOS .....</b>	<b>8-1</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>9-1</b>

## ANEXO: Manual de Utilização do Modelo ZambezeVIC

### ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1	– Área e população residente nos distritos da área de estudo.....	2-2
Quadro 2.2	– Sub-bacias hidrográficas da área de estudo .....	2-6
Quadro 2.3	– Segmentos de bacia na área de estudo .....	2-6
Quadro 5.1	- Satélites de recolha de dados para estimar a precipitação.....	5-13
Quadro 5.2	– Fontes de obtenção de dados de precipitação via satélite.....	5-13
Quadro 5.3	- Tipo dos estudos de reconhecimento de solos .....	5-19
Quadro 5.4	- Símbolos e designações dos agrupamentos de solos .....	5-21
Quadro 5.5	- Designação e critérios de diagnóstico das fases de solo.....	5-22
Quadro 5.6	– Estrutura das unidades cartográficas .....	5-24
Quadro 5.7	– Área e composição das unidades cartográficas .....	5-27
Quadro 5.8	– Áreas e composição das classes de uso e cobertura da terra segundo classificação da UMD.....	5-31
Quadro 5.9	– Áreas e composição das classes de uso e cobertura da terra segundo o Inventário Florestal Nacional.....	5-32
Quadro 5.10	- Áreas e composição das classes de uso e cobertura da terra segundo classificação da flora zambeziaca.....	5-34
Quadro 5.11	- Áreas e composição das classes de uso e cobertura da terra segundo o baseline.....	5-35
Quadro 5.12	– Inventário das áreas cultivadas nos distritos da área de estudo .....	5-36
Quadro 5.13	– Áreas cultivadas (em ha e % da superfície total) nos distritos da área de estudo .....	5-37
Quadro 5.14	– Potencial de terra arável (Fonte: JVA Cencarta – IGN France International, 1999).....	5-37

Quadro 5.15 – Produção média das culturas (ano 2002-2003) .....	5-41
Quadro 5.16 – Produção agrícola no distrito de Maringué - período 2008 a 2011 .....	5-41
Quadro 5.17 – Produção agrícola no distrito de Morrumbala - período 2006 a 2011 .....	5-42
Quadro 5.18 – Áreas e composição das classes de uso e cobertura da terra a utilizar .....	5-42
Quadro 5.19 - Relação entre as classes de uso e cobertura da terra.....	5-47
Quadro 5.20 - Parâmetros requeridos pelo arquivo de vegetação (“veglib”) .....	5-48
Quadro 5.21 - Descrição de parâmetros requeridos pelo arquivo de vegetação (“veglib”).....	5-48
Quadro 5.22 - Intervalos e valores a serem usados para diferentes classes de uso e cobertura da terra .....	5-50
Quadro 5.23 – Dados recolhidos de medições de caudal e curvas de vazão .....	5-56
Quadro 5.24 – Curvas de vazão na E101 - Derre.....	5-57
Quadro 5.25 – Curvas de vazão na E480 - Campo .....	5-58
Quadro 5.26 – Curvas de vazão na E403 - Mopeia.....	5-59
Quadro 5.27 – Curvas de vazão na E442 - Mopeia.....	5-60

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Área de estudo, distritos e bacias hidrográficas envolvidas .....	2-3
Figura 3.1 – Representação esquemática da modelação hidrológica de uma célula do modelo VIC .....	3-2
Figura 3.2 - Esquema do balanço de água no copado .....	3-4
Figura 3.3 - Resistência aerodinâmica e de superfície .....	3-5
Figura 3.4 – Representação esquemática da propagação do escoamento nas células e nos canais.....	3-7
Figura 4.1 – Esquema da rede hidrográfica da área de estudo .....	4-1
Figura 4.2 – Grelha de células aplicada à área de estudo.....	4-2
Figura 4.3 – Rede de drenagem da área de estudo .....	4-4
Figura 5.1 – Área do modelo digital do terreno .....	5-1
Figura 5.2 – Matriz de escoamento.....	5-2
Figura 5.3 – Linhas de máxima acumulação.....	5-2
Figura 5.4 – Rede hidrográfica da área de estudo.....	5-2
Figura 5.5 – Bacias hidrográficas da área de estudo.....	5-3
Figura 5.6 – Inventário dos registos de precipitação diária das estações identificadas na área de estudo.....	5-5
Figura 5.7 – Inventário dos registos de precipitação diária das estações em funcionamento na área de estudo .....	5-7
Figura 5.8 - Localização das estações udométricas .....	5-9
Figura 5.9 – Distribuição espacial da precipitação média anual na área de estudo .....	5-10

Figura 5.10 – Estações climatológicas do INAM identificadas na área de estudo .....	5-11
Figura 5.11 – Estações da WMO na bacia do Zambeze. ....	5-15
Figura 5.12 – Temperatura em K medida a 2 metros da superfície no dia 01 de Janeiro de 2012 (ERA Interim).....	5-16
Figura 5.13 – Velocidade do vento medida a 10 metros da superfície no dia 01 de Janeiro de 2012 .....	5-17
Figura 5.14 – Publicações de reconhecimento de estudo de solos .....	5-19
Figura 5.15 - Esquema da constituição e simbologia atribuída à unidade-solo .....	5-21
Figura 5.16 - Carta de solos .....	5-25
Figura 5.17 – Esquema de organização dos dados de perfis típicos .....	5-30
Figura 5.18 – Mapa de cobertura vegetal obtido através do satélite AVHRR .....	5-31
Figura 5.19 - Mapa da cobertura vegetal segundo o Inventário Florestal Nacional .....	5-32
Figura 5.20 – Distribuição da flora Zambesiaca .....	5-34
Figura 5.21 – Carta de classificação da vegetação a partir de imagens de satélite MODIS (baseline) .....	5-35
Figura 5.22 – Evolução da área cultivada .....	5-38
Figura 5.23 – Ocupação cultural em 2002-2003 .....	5-39
Figura 5.24 – Ocupação cultural em 2010-2011 .....	5-39
Figura 5.25 – Principais culturas na área de estudo .....	5-40
Figura 5.26 - Mapa de uso e cobertura da terra .....	5-45
Figura 5.27 - Localização das estações hidrométricas na área de estudo.....	5-53
Figura 5.28 – Inventário dos registos de alturas hidrométricas registadas nas estações existentes na área de estudo .....	5-55
Figura 5.29 – Curvas de vazão e medições de caudal na E101-Derre .....	5-57
Figura 5.30 – Curvas de vazão e medições de caudal na E480 - Campo.....	5-58
Figura 5.31 – Medições de caudal realizadas em 2012 na E480 - EN1.....	5-59
Figura 5.32 – Curvas de vazão e medições de caudal na E403 - Mopeia .....	5-59
Figura 5.33 – Curvas de vazão e medições de caudal na E442 - Mopeia .....	5-60
Figura 6.1 – Estrutura preliminar da organização da informação do ZambezeDif.....	6-2

## ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 2.1- Rio Cuácua junto a Mopeia (Fonte: Coba, Nov.2004) .....	2-2
Fotografia 2.2 - Rio Zambeze na garganta de Lupata.....	2-5
Fotografia 2.3 - Rio Zambeze perto de Mopeia .....	2-5

# **CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO VIC (VARIABLE INFILTRATION CAPACITY) E ELABORAÇÃO DA BASE DE DADOS DIF (DYNAMIC INFORMATION FRAMEWORK)**

## **RELATÓRIO PRELIMINAR**

### **1 INTRODUÇÃO**

Em cumprimento do estipulado no contrato para a prestação de serviços relativos ao Estudo de Calibração do Modelo Hidrológico VIC (Variable Infiltration Capacity) e Elaboração da Base de Dados DIF (Dynamic Information Framework), assinado entre a Direcção Nacional de Promoção do Desenvolvimento Rural (DNPDR), e o Consórcio formado pelas empresas Coba e Salomon, apresenta-se de seguida o Relatório Preliminar na sua versão definitiva, que integra os comentários elaborados sob coordenação da DNPDR, após análise e apreciação das várias entidades responsáveis pelo acompanhamento do estudo.

O Relatório Preliminar sistematiza o trabalho realizado desde a entrega do Relatório Inicial, procurando criar condições para a calibração e exploração do modelo VIC a ser efectuado na Fase 3 dos trabalhos.

O presente Relatório é constituído por 9 Capítulos. Para além deste capítulo introdutório, o relatório compreende ainda mais sete capítulos designados por:

- Descrição da área de estudo;
- Descrição do modelo VIC;
- Esquematização da área de estudo para aplicar o modelo VIC;
- Recolha e processamentos de dados;
- Estrutura e organização do ZambezeDif;
- Treino;
- Resumo e Desafios.

No último capítulo descrevem-se as referências bibliográficas consultadas.





## **2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **2.1 GENERALIDADES**

A área de estudo proposta pelos Termos de Referência incluía os distritos de Chemba, Maringué e Caia da província de Sofala, o distrito de Mutarara da província de Tete e os distritos de Mopeia e Morrumbala da província da Zâmbia, cujos limites administrativos se apresentam na Figura 3.1 – Representação esquemática da modelação hidrológica de uma célula do modelo VIC (Figura 3.1).

Como o objectivo do estudo é a calibração e exploração de um modelo hidrológico aplicado aos seis distritos em causa, a área de estudo pré-definida terá de ser adaptada aos limites das bacias hidrográficas que drenam os distritos. Foi assim definida uma nova área de estudo que engloba para além dos distritos, as áreas das bacias hidrográficas dos rios que drenam os distritos em causa.

A área de estudo irá igualmente enquadrar-se no contexto mais amplo da bacia hidrográfica do rio Zambeze, dando particular atenção aos rios Chire e Cuácua, que se localizam na área de estudo.

### **2.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ZAMBEZE E DOS RIOS CHIRE E CUÁCUA**

A bacia hidrográfica do rio Zambeze tem uma área total de 1 380 000 km<sup>2</sup> repartindo-se por oito países da África Austral: Zâmbia; Angola; Namíbia; Botswana; Zimbabwe; Malawi; Tanzânia e Moçambique.

O rio Zambeze nasce nas montanhas de Kalene no extremo noroeste da Zâmbia, à altitude de 1 450 m e desagua em Moçambique no Delta do Zambeze, após percorrer 2 700 km. Depois de sair das montanhas de Kalene, o rio atravessa o Noroeste de Angola e o Oeste da Zâmbia, forma a fronteira Norte da Namíbia (na faixa de Caprivi) e a fronteira entre a Zâmbia e o Zimbabué e entra em Moçambique próximo da localidade do Zumbo à altitude de 330 m.

A maior parte da bacia do Zambeze (42%), localiza-se na Zâmbia, no entanto o Malawi tem quase a totalidade do seu território (93%) no interior da bacia do Zambeze, sendo drenado pela bacia hidrográfica do rio Chire. Botswana, Namíbia e Tanzânia são os países com pequenas áreas da bacia no seu interior (inferiores a 3%).

Ao longo dos 260 km do rio Zambeze entre Zumbo e Cahora Bassa, desenvolve-se a albufeira de Cahora Bassa. A barragem foi construída numa garganta de margens íngremes e cerca de 600 m de altura. O rio Zambeze continua encaixado para jusante, formando um desfiladeiro que se alarga próximo do local da futura barragem de Mphanda Nkuwa, a partir do qual o rio entra numa península. Cerca de 80 km a jusante de Tete, encontra-se a garganta de Lupata, onde o Zambeze atravessa a última formação rochosa a uma altitude de 95 m, entrando nos 350 km finais da planície, antes de desaguar no Oceano Índico. Neste troço final o rio tem entre 3 a 5 km de largura, por vezes mais, com braços e meandros e margens nem sempre bem definidas. O delta do Zambeze começa em Mopeia, aproximadamente a 150 km da costa. A influência da maré é evidente nos últimos 80 km.

O rio Chire é o principal afluente do rio Zambeze em Moçambique e drena o Lago Niassa, que é o terceiro maior lago de África, depois dos lagos Vitória e Tanganica. A sua bacia compreende quase todo o Malawi e uma pequena área na Tanzânia. O rio Chire sofre um grande efeito de regulação, primeiro devido ao próprio Lago Niassa e depois pelo atravessamento numa extensa zona de pântanos, antes de entrar em Moçambique. A bacia hidrográfica tem uma área total de 158 000 km<sup>2</sup>, desaguando o rio Chire no rio Zambeze junto à vila de Caia. O rio Chire faz de limite fronteiriço com

Malawi e separa a província de Tete da província de Zambézia, servindo igualmente de limite aos distritos de Mutarara, Morrumbala e Mopeia.

O rio Cuácua, constitui o canal Norte do Delta do Zambeze, tem o seu início na margem esquerda do rio Zambeze, cerca de 8 km a jusante da vila de Caia e vai desaguar no Oceano Índico, na Baía dos Bons Sinais, junto à cidade de Quelimane. O rio Cuácua drena os distritos de Morrumbala e Mopeia, através de vários afluentes de regime quase permanente que estão integrados na área de estudo e serão alvo de estudos detalhados. A Fotografia 2.1 tirada em Novembro de 2004, mostra o rio Cuácua junto a Mopeia, numa situação de cheia no Zambeze, que provoca caudais elevados no rio Cuácua.



**Fotografia 2.1- Rio Cuácua junto a Mopeia (Fonte: Coba, Nov.2004)**

### 2.3 DISTRITOS NA ÁREA DE ESTUDO

No contexto no projecto mais amplo que está neste momento a decorrer, a área de estudo inclui os seis distritos: Chemba, Maringué e Caia, Mutarara, Mopeia e Morrumbala, cujos limites administrativos se apresentam na Figura 2.1. No Quadro 2.1 apresentam-se as áreas dos distritos e a respectiva população residente de acordo com o Censo de 2007.

**Quadro 2.1 – Área e população residente nos distritos da área de estudo**

Província	Distrito	Área	População Residente (2007)	Densidade Demográfica
		(km <sup>2</sup> )	(hab.)	(hab./km <sup>2</sup> )
Tete	Mutarara	6 367	207 010	32.5
Sofala	Chemba	3 977	63 981	16.1
	Maringué	6 149	75 135	12.2
	Caia	3 585	115 612	32.2
Zambézia	Mopeia	7 671	115 291	15.0
	Morrumbala	12 800	358 913	18.0
<b>Total</b>		<b>40 549</b>	<b>935 942</b>	<b>23.1</b>

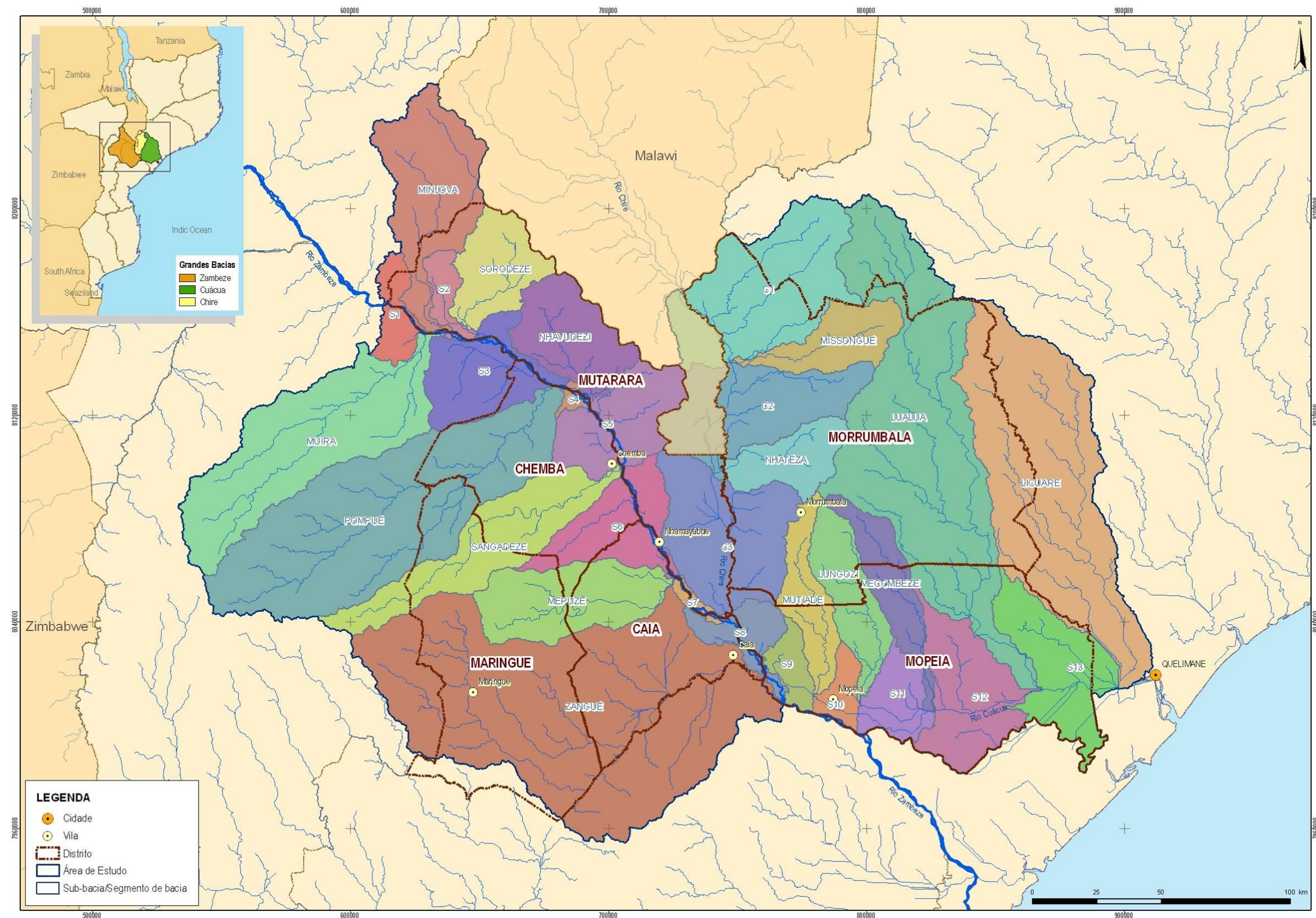


Figura 2.1 – Área de estudo, distritos e bacias hidrográficas envolvidas



Como se pode observar os seis distritos têm uma área total de cerca de 40 500 km<sup>2</sup> e uma população residente em 2007 de cerca de 940 000 habitantes, que é cerca de 4,5% da população total do País. Estes distritos localizam ao longo do rio Zambeze, na região do Baixo Zambeze entre a garganta de Lupata (Fotografia 2.2) e o distrito de Mopeia (Fotografia 2.3), numa extensão de cerca de 275 km.



*Fotografia 2.2 - Rio Zambeze na garganta de Lupata*



*Fotografia 2.3 - Rio Zambeze perto de Mopeia*

## **2.4 SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS CONSIDERADAS**

Conforme se referiu atrás, a área de estudo para além de incluir os seis distritos, deverá ser expandida para incluir as sub-bacias dos rios Zambeze, Chire e Cuácua, que drenam os distritos. No Quadro 2.2 e Quadro 2.3 apresentam-se algumas características das principais sub-bacias hidrográficas e dos segmentos de bacia. Os segmentos de bacia, são pequenas sub-bacias hidrográficas, que se organizam em troços de bacia localizados entre duas confluências consecutivas de sub-bacias hidrográficas. A estruturação da área de estudo em sub-bacias e segmentos de bacia permite dar coerência hidrológica à área de estudo e apoiar a aplicação do modelo de propagação de caudais.

**Quadro 2.2 – Sub-bacias hidrográficas da área de estudo**

Sub-bacia	Distrito	Rio Principal	Área (km <sup>2</sup> )
Muira	-	Zambeze (Margem Direita)	3 598
Pompuè	Chemba/Maringué	Zambeze (Marg. Direita)	5 727
Sangadeze	Chemba/Maringé	Zambeze (Marg. Direita)	2 097
Mepuze	Chemba/Maringé/Caia	Zambeze (Marg. Direita)	1 802
Zangué	Maringé/Caia	Zambeze (Marg. Direita)	9 182
Minjova	Mutarara	Zambeze (Marg. Esquerda)	2 217
Soródezi	Mutarara	Zambeze (Marg. Esquerda)	1 139
Nhavudezi	Mutarara	Zambeze (Marg. Esquerda)	1 392
Missongué	Morrumbala	Chire (Marg. Esquerda)	979
Nhatéza	Morrumbala	Chire (Marg. Esquerda)	903
Mutiade	Morrumbala/Mopeia	Cuácua (Marg. Esquerda)	901
Lungozi	Morrumbala/Mopeia	Cuácua (Marg. Esquerda)	1 111
Mecombeze	Morrumbala/Mopeia	Cuácua (Marg. Esquerda)	976
Lualua	Morrumbala/Mopeia	Cuácua (Marg. Esquerda)	6 401
Licuire	Morrumbala/Mopeia	Cuácua (Marg. Esquerda)	5 134

**Quadro 2.3 – Segmentos de bacia na área de estudo**

Segmento bacia	Distrito	Rio Principal	Área (km <sup>2</sup> )
C1	Morrumbala/Malawi	Chire	2 926
C2	Morrumbala/Malawi/Mutarara	Chire	2 050
C3	Morrumbala/Mutarara/Mopeia	Chire	2 302
S1	Mutarara	Zambeze	515
S2	Mutarara	Zambeze	349
S3	Mutarara/Chemba	Zambeze	1 409
S4	Mutarara/Chemba	Zambeze	99
S5	Mutarara/Chemba	Zambeze	1 436
S6	Maringué/Chemba/Caia/Mutarara	Zambeze	1 378
S7	Mutarara/Caia	Zambeze	128
S8	Mutarara/Mopeia	Zambeze	612
S9	Mopeia	Cuácua	400
S10	Mopeia	Cuácua	360
S11	Mopeia	Cuácua	713
S12	Mopeia	Cuácua	1 700
S13	Mopeia	Cuácua	1 656

As 15 sub-bacias hidrográficas e os 16 segmentos de bacia constituem a área de estudo, totalizando uma área de 61 800 km<sup>2</sup>. É de referir que a área dos seis distritos totaliza 40 500 km<sup>2</sup>.

### 3 DESCRIÇÃO DO MODELO VIC

#### 3.1 INTRODUÇÃO

O chamado modelo VIC (Variable Infiltration Capacity), inclui efectivamente dois modelos que correm separadamente: O modelo VIC propriamente dito e o modelo Routing.

O Modelo VIC é um modelo hidrológico semi-distribuído de macro-escala, que simula separadamente em cada célula a transformação da precipitação ocorrida na célula em escoamento.

O modelo Routing, faz a propagação do escoamento ao longo de cada célula e entre as várias células até a uma secção terminal, onde é calculado o escoamento total gerado na totalidade da área a montante.

Face à sua independência estes dois modelos são descritos de modo separado. A calibração do modelo é feita com base nos resultados finais do modelo Routing, comparando com valores observados na respectiva secção terminal da área em estudo com os valores obtidos da simulação.

#### 3.2 MODELO VIC

O modelo VIC (Variable Infiltration Capacity) desenvolvido por Liang *et al.* (1994, 1996) é um modelo hidrológico de macro-escala semi-distribuído que permite simular o balanço da água e o balanço energético. A parametrização da variabilidade espacial da infiltração e a conceptualização do escoamento de base são as principais características que distinguem o modelo VIC doutros modelos hidrológicos<sup>1</sup>.

A superfície da bacia é representada como uma grelha de células (de dimensão > 1 km) planas e uniformes. O modelo VIC-3L caracteriza o solo como um prisma constituído por 3 camadas (Figura 3.1). A ocupação/uso da terra é descrita por N+1 tipos/classes de vegetação, sendo que a n-ésima classe representa o solo nu. As várias coberturas e tipos de uso da terra são tratados pelo modelo ao nível das células através de distribuições estatísticas.

Para ter em conta a variabilidade espacial dos parâmetros hidráulicos e hidrológicos ao nível das células da grelha que definem a bacia, o modelo VIC-3L adopta o esquema da capacidade de infiltração variável (Figura 3.1) baseado no modelo Xinanjiang (Zhao *et al.*, 1980).

---

<sup>1</sup> O modelo permite também modelar a queda de neve, a definição de bandas de neve, o congelamento da água no solo. Estas características do modelo não são analisadas no manual do Modelo VIC, apresentado em anexo, uma vez que para o caso de estudo, aqueles processos não tem aplicabilidade.

### Capacidade de Infiltração Variável (VIC) Modelo Hidrológico de macro-escala

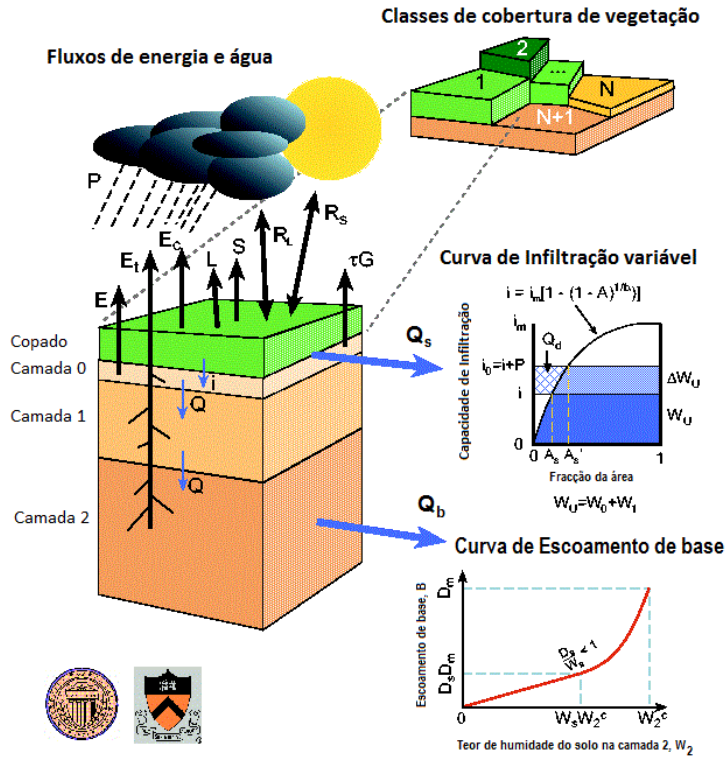


Figura 3.1 – Representação esquemática da modelação hidrológica de uma célula do modelo VIC

O modelo assume que o escoamento superficial é gerado a partir das duas camadas superiores do solo na fracção da área da célula, para a qual a precipitação efectiva quando adicionada ao teor de humidade no fim do passo de tempo anterior excede o teor de humidade do solo em condições de saturação natural.

O escoamento superficial é calculado como:

$$Q_s = \begin{cases} P_e - (W_m - W_o), & PE + i_o \geq i_m \\ P_e - (W_m - W_o) + W_m \left(1 - \frac{PE + i_o}{i_m}\right)^{1+b}, & PE + i_o < i_m \end{cases}$$

sendo a variabilidade espacial da infiltração expressa por:

$$i = i_m (1 - (1 - A)^{1/b})$$

$$i_m = (1 + b_i) \times \theta_s \times |z|$$

Onde:

$P_e$  é a precipitação efectiva, definida como precipitação – evapotranspiração potencial;

$W_o$  é o teor de humidade inicial do solo,



$W_m$  é o teor de humidade máximo das duas camadas superiores do solo,

$i$  é a capacidade de armazenamento do solo,

$i_m$  é a capacidade máxima de armazenamento

$A_s$  é a fracção da área da célula que se encontra saturada;

$b$  é o parâmetro de forma da curva de infiltração variável (define o grau de variabilidade espacial);

$\theta_s$  é a porosidade do solo; e

$z$  é a profundidade do solo.

No modelo proposto, a função de distribuição da infiltração tem dois parâmetros;  $i_m$  e  $b$ . Para  $b$  igual a 1, a capacidade de infiltração é uniformemente distribuída.

Como resultado da variação da capacidade de infiltração na célula, o teor de humidade, o escoamento superficial, o escoamento de base e a evapotranspiração também variam espacialmente (Liang *et al.* 1994).

A camada inferior do solo é recarregada pelo fluxo de água proveniente das camadas superiores e perde água de acordo com a função do escoamento de base. O modelo VIC assume que o movimento da água no solo das camadas superiores para a camada inferior é governado exclusivamente pela gravidade, recorrendo à equação empírica proposta por Brooks e Corey (1964) para estimar a condutividade hidráulica:

$$K(\theta) = K_s \left( \frac{W_o - \theta_r}{W_m - \theta_r} \right)^{\frac{2}{B_p} + 3}$$

onde:  $K_s$  é a condutividade hidráulica do solo,  $K(\theta)$  é a condutividade hidráulica,  $\theta_r$  é o teor de humidade residual do solo e o parâmetro  $B_p$  é designado de índice de distribuição dos poros.

A formulação do escoamento de base segue o modelo conceptual de Arno (Franchini e Pacciani, 1991; Todini, 1996):

$$q = \begin{cases} d_1 \times W_2 & : W_2 \leq W_S \times W_2^{max} \\ d_1 \times W_2 + d_2 \times (W_2 - W_S \times W_2^{max})^{d_3} & : W_2 > W_S \times W_2^{max} \end{cases}$$

onde:

$W_2$  é o teor de humidade da camada inferior do solo (camada 2 – vide Figura 3.1);

$W_2^{max}$  é o teor de humidade máximo da camada inferior do solo;

$d_1$  e  $d_2$  são constantes e

$d_3$  é factor de forma da zona não linear do escoamento de base.

De acordo com este modelo, a função do escoamento de base é linear quando a quantidade de água no solo é inferior a  $W_S \times W_2^{max}$ , sendo directamente proporcional a  $W_2$ , mas torna-se não linear quando a quantidade de água no solo é superior a  $W_S \times W_2^{max}$ . Esta aproximação implica a parametrização da velocidade de escoamento horizontal na camada inferior do solo.

No modelo VIC, a infiltração, a distribuição da água no solo, o escoamento superficial e o escoamento de base são calculados para cada uma das  $N+1$  classes de cobertura vegetal.

Em função do conjunto de dados meteorológicos disponíveis, o modelo VIC poderá ser executado para modelar o balanço de água e os fluxos de energia entre a superfície terrestre e atmosfera, ou para modelar o balanço de água, calculando a evapotranspiração de acordo com a equação de Penman-Monteith em função da quantidade de energia disponível e do déficit de pressão de vapor.

A precipitação, a temperatura máxima e mínima do ar e a velocidade do vento constitui o conjunto mínimo de dados meteorológicos que é necessário fornecer ao modelo (podem ser fornecidos dados diários ou sub-diários).

O copado da vegetação corresponde a um reservatório (Figura 3.2) em que a precipitação (P) é a entrada e as saídas são a evaporação, ( $E_c$ ), e o gotejo para o solo ( $P_t$ ) (quando o reservatório está cheio e transborda). Cada copado tem uma capacidade máxima de armazenamento ( $W_{cop}$ ).

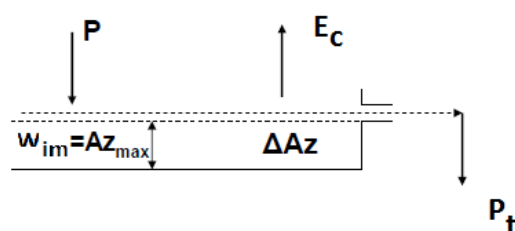


Figura 3.2 - Esquema do balanço de água no copado

## Evapotranspiração

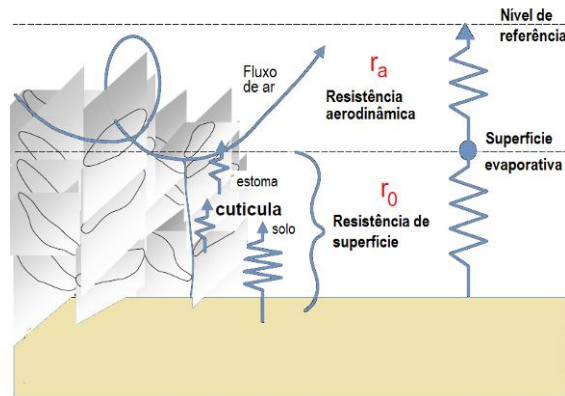
No modelo VIC são considerados três tipos de evaporação: a evaporação a partir do copado,  $E_c$ , e a transpiração,  $E_t$ , de cada uma das classes de vegetação e a evaporação a partir do solo nu,  $E_1$ . A evapotranspiração total sobre cada uma das células da grelha é calculada como o somatório dos três parâmetros, ponderados de acordo com a percentagem da área total de cada uma das classes de vegetação:

$$E = \sum_{n=1}^N C_n \times (E_{c,n} + E_{t,n}) + C_{n+1} \times E_1$$

Onde  $C_n$  é a percentagem da área ocupada com n-ésima classe de vegetação

Quando a água interceptada pelas copas da vegetação é suficiente para satisfazer a procura da atmosfera, a evaporação a partir do copado corresponde ao seu valor máximo,  $E_c^*$ .

O valor de  $E_c^*$  é função da quantidade máxima de água que o copado pode interceptar ( $W_{im}$ ) da quantidade de água interceptada pelo copado ( $W_{cop}$ ) da evapotranspiração potencial ( $E_p$ ) da resistência da superfície e da arquitectura, ( $r_0$ ) e da resistência aerodinâmica ( $r_w$ ) (Figura 3.3).



**Figura 3.3 - Resistência aerodinâmica e de superfície**

O valor de  $W_{im}$  é calculado em função do LAI ( $0,2 \times LAI$ , segundo Dickinson, 1984). Os valores de  $r_0$  são fornecidos para cada classe de cobertura vegetal. A resistência aerodinâmica é simulada segundo a aproximação proposta por Monteith e Unsworth (1990) sendo função da velocidade do vento  $u_z$  ( $m\ s^{-1}$ ) medido à altitude  $z$  e do coeficiente de transferência para a água  $C_w$ , calculado pelo algoritmo proposto por Louis (1979).

A evapotranspiração potencial expressa como densidade de fluxo de calor latente ( $\lambda_v E_p$ ) é calculada a partir da equação de Penman-Monteith, onde  $\lambda_v$  representa o calor latente necessário à vaporização de uma unidade de água. A equação de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) inclui todos os parâmetros que governam a troca de energia e o correspondente fluxo de calor latente (evapotranspiração):

$$\lambda_v E_p = \frac{\Delta(R_n - G) + \frac{\rho_a c_p (e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma}$$

Onde:

$R_n - G$  é a energia disponível ( $W\ m^{-2}$ ) no copado, composta pelos fluxos de radiação líquida ( $R_n$ ) e de calor de (para) o solo ( $G$ );

$r_a$  é a resistência aerodinâmica ( $s\ m^{-1}$ );

$(e_s - e_a)$  representa o déficit de pressão de vapor (Pa) aos níveis da superfície evaporativa e de referência, respectivamente;

$\rho_a$  e a densidade do ar ( $kg\ m^{-3}$ );

$c_p$  é o calor específico do ar húmido ( $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$ );

$\Delta$  representa o declive da curva de pressão de vapor ( $Pa\ K^{-1}$ ) à temperatura  $T_a$ ; e

$\gamma$  é a constante psicrométrica ( $\approx 66\ Pa\ K^{-1}$ ).

A transpiração da vegetação,  $E_t$  (mm), é estimada por (Blondin, 1991; Ducoudre *et al.*, 1993):

$$E_t = \left( 1 - \left( \frac{W_i}{W_{im}} \right)^{2/3} \right) E_p \frac{r_w}{r_w + r_o + r_c}$$

Onde:  $r_c$  ( $m s^{-1}$ ) é a resistência do copado calculada em função da resistência mínima do copado ( $r_{0c}$ ) dos factores temperatura, défice de pressão de vapor, do fluxo de radiação fotossintética activa (PAR) e teor de humidade e do índice de área foliar.

A evaporação a partir do solo nu ( $E_1$ ) ocorre apenas ao nível da primeira camada do solo. A formulação de Arno proposta por Franchini e Pacciani (1991) é utilizada para calcular o valor de  $E_1$  quando a superfície do solo não se encontra saturada. Em condições de saturação a taxa de evaporação é dada pela taxa de evaporação potencial.

### Escoamento Total

O escoamento total é expresso:

$$Q = \sum_{n=1}^{N+1} C_n (Q_{d,n} + Q_{b,n})$$

Onde  $Q_{s,n}$  (mm) é o escoamento superficial e  $Q_{b,n}$  (mm) é o escoamento de base, estimados para a  $n$ -ésima classe de vegetação.

O modelo VIC assume que não existe escoamento lateral nas duas primeiras camadas do solo. Assim o movimento da água no solo pode ser caracterizado pela equação unidimensional de Richards.

### 3.3 MODELO ROUTING

A geração dos hidrogramas de caudais requer que o escoamento gerado em cada célula pelo modelo VIC seja propagado ao longo da bacia em direcção à secção de saída. A propagação do escoamento superficial e do escoamento de base é feita através do modelo ROUTING, descrito em detalhe em Lohmann *et al.* (1996, 1998a, 1998b).

Este modelo calcula o tempo necessário para que o escoamento gerado numa célula chegue à secção de saída e modela também a propagação do escoamento em canais. A Figura 3.4 apresenta o esquema de cálculo da propagação de escoamento utilizado pelo modelo Routing. O modelo assume que todo o escoamento horizontal dentro duma célula da grelha atinge a rede de canais dentro da célula antes de cruzar a fronteira com outra célula vizinha. O escoamento pode sair de uma célula em oito direcções possíveis, mas todo o escoamento tem de sair numa única direcção. Uma célula pode também receber o escoamento gerado a montante.

Ambos os processos (propagação no interior da célula e propagação em canais) são modelados pelo modelo ROUTING, adoptando modelos lineares, causais e invariantes no tempo. Além disso, as funções de resposta a um determinado impulso (excitação) são sempre positivas.

Os modelos de transferência linear agregam as propriedades do escoamento horizontal e assumem que este é independente do teor de humidade do solo. O modelo ROUTING estende a aproximação FDTF-ERUHDIT (First Differenced Transfer Function-Excess Rainfall and Unit Hydrograph by a Deconvolution Iterative Technique) proposta por (Duband *et al.*, 1993) com uma separação das escalas de tempo e um modelo linear de propagação do escoamento em canais.

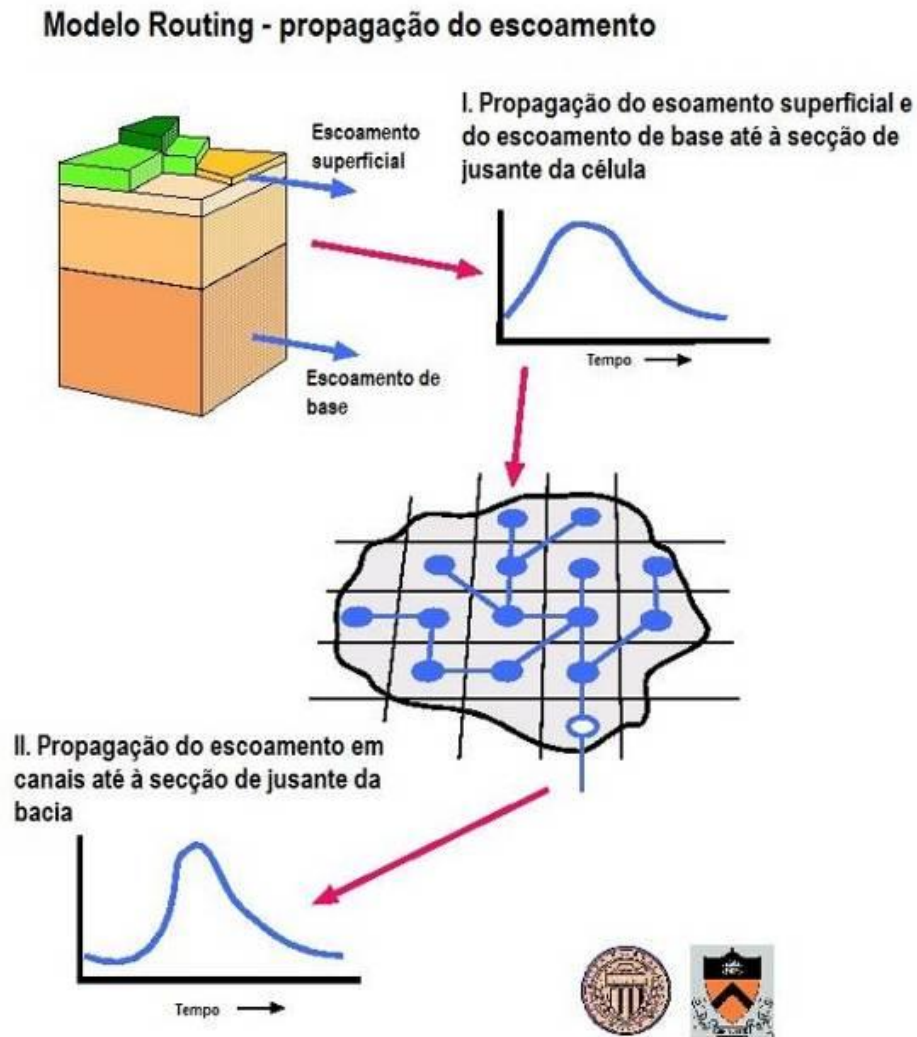
Como a resposta do escoamento a um evento de precipitação pode envolver uma escala de tempo muito grande, o modelo trata separadamente a componente do escoamento lento do escoamento rápido, conforme proposto no modelo linear de Rodriguez (1989):

$$\frac{dQ^S(t)}{dt} = -k \times Q^S(t) + b'Q^F(t)$$

Onde:  $Q^S(t)$  é o escoamento lento e  $Q^F(t)$  é o escoamento rápido e

$$Q(t) = Q^S(t) + Q^F(t)$$

é o escoamento total medido. O modelo assume que os parâmetros  $k$  e  $b'$  são constantes.



Fonte: <http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/>.

**Figura 3.4 – Representação esquemática da propagação do escoamento nas células e nos canais**

Esta separação do escoamento total em componente rápida e lenta tem correspondência com o escoamento superficial e o escoamento de base mas a correspondência não é de 1 para 1. As duas componentes do escoamento, rápida e lenta, relacionam-se analiticamente da seguinte forma:

$$Q^S(t) = b' \int_0^t \exp(-k(t - \tau)) Q^F(\tau) d\tau + Q^S(0) \exp(-kt)$$

Esta equação mostra que a condição inicial  $Q^S(0)$  decai a  $\exp(-kt)$ . Discretizando a equação tem-se:

$$Q^S(t) = \frac{\exp(-k \times \Delta t)}{1 + b' \times \Delta t} Q^S(t - \Delta t) + \frac{b' \times \Delta t}{1 + b' \times \Delta t} Q(t)$$

Assumindo que existe uma relação linear entre o escoamento e a precipitação eficaz,  $P^{eff}$ , é suficiente encontrar uma função de resposta ao impulso que permite estabelecer a relação entre a componente do escoamento rápido e a precipitação efectiva. A função de resposta pode ser obtida iterativamente através da seguinte equação:

$$Q^F(t) = \int_0^{tmax} UH^F(\tau) P^{eff}(t - \tau) d\tau$$

Onde  $UH^F(\tau)$  é a função de resposta ao impulso (também designada hidrograma unitário) da componente rápida do escoamento e  $tmax$  é o tempo após o qual a componente rápida do escoamento deverá ter decaído.

A propagação do escoamento em canais é descrito pelas equações de Saint Venant que constituem um sistema não linear de equações diferenciais quasi-lineares de primeira ordem às derivadas parciais. A forma linear da equação de Saint Venant é adoptada pelo ROUTING (Mesa e Miffin, 1986; Fread, 1993):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} - C \frac{\partial Q}{\partial x}$$

Onde  $C$  é a celeridade da onda e  $D$  a difusividade (ou coeficiente de difusão). Estes parâmetros podem ser estimados a partir das características geométricas da rede fluvial da bacia. A equação anterior é resolvida através do integral de convolução:

$$Q(x, t) = \int_0^t U(t - s) h(x, s) ds$$

onde:

$$h(x, t) = \frac{x}{2t\sqrt{\pi t D}} \exp\left(-\frac{(Ct - x)^2}{4Dt}\right)$$

é a função de Green ou a função de resposta ao impulso, com as seguintes condições de fronteira:  $h(x, t) = 0$  para  $x > 0$  e  $h(0, t) = \delta(t)$  para

Devido à linearidade do modelo e à estabilidade numérica da solução, a influência de barragens, descarregadores e utilizações da água nos caudais pode ser facilmente implementada na rede em todas as células da bacia (Lohmann *et al.*, 1996).

### 3.4 CALIBRAÇÃO DO MODELO

Embora alguns dos parâmetros requeridos para a modelação hidrológica com os modelos VIC e ROUTING sejam obtidos com base em observações de satélite e levantamentos de campo, alguns desses parâmetros são bastante variáveis no espaço e as avaliações *in situ* não são suficientes para se obter valores representativos de grandes áreas (> 1 km). Por outro lado, algumas variáveis têm um significado mais conceptual (como sejam as profundidades das camadas do solo) do que significado físico. Para estes parâmetros, é necessário fazer suposições sobre os seus valores ou calibrá-los

O processo de calibração é, na maioria dos casos de estudo, feito apenas para o modelo VIC. Esta simplificação deve-se ao facto dos modelos VIC e ROUTING serem utilizados fundamentalmente para estimar caudais mensais de grandes bacias hidrográficas, não sendo por isso necessário uma precisão muito grande nos parâmetros requeridos pelo modelo de propagação.

Parâmetros como a direcção de escoamento e fracção da célula dentro da bacia são determinados a partir do modelo digital do terreno, existindo ferramentas de cálculo automático desenvolvidas para o efeito. Para os outros parâmetros como sejam a velocidade de escoamento, difusividade e o hidrograma unitário, é aconselhável a adopção de valores físicos razoáveis, sem recurso à calibração.

Lohmann *et al.* (1996) na modelação efectuada para a bacia Wese (na Alemanha) refere valores da velocidade de escoamento entre 1 e 3 m s<sup>-1</sup> e valores da difusividade no intervalo entre 200 e 4000 m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>.

Nijssen *et al.* (1997) refere valores de velocidade de escoamento entre 0,5 e 2,0 m s<sup>-1</sup> na bacia Columbia e de 1,0 m s<sup>-1</sup> para a bacia Delaware.

Quando a modelação hidrológica é efectuada para se obterem caudais mensais, considera-se aceitável adoptar para a difusividade um valor constante de 800 m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> e para a velocidade um valor constante de 1,5 m s<sup>-1</sup>.

Apenas quando se quer obter caudais diários é necessário a calibração dos parâmetros requerer a calibração da velocidade de escoamento, difusividade e o hidrograma unitário, para a qual deverá ser seguida a metodologia proposta em Lohmann *et al.* (1996, 1998a, 1998b).

De um modo geral, a calibração dos modelos hidrológicos é efectuada com registos de caudais. Para tal é necessário executar o modelo ROUTING (recorrendo a estimativas adequadas dos parâmetros requeridos por este modelo) para converter o escoamento superficial e de base simulados pelo modelo VIC em caudais. A série de registos das vazões observadas deverá ser dividida em duas partes independentes, sendo uma utilizada para a calibração e a outra para o processo de validação.

Os parâmetros do modelo VIC podem também ser calibrados utilizando observações *in situ* do teor de humidade do solo, da altura da camada de neve, da evapotranspiração. Neste caso, o modelo VIC é calibrado sem ser necessário executar o modelo ROUTING: As imagens de satélite poderão também ser utilizadas para se obterem os valores dos parâmetros com os quais serão comparados os valores simulados durante o processo de calibração do modelo VIC.

O modelo de VIC tem muitos parâmetros, a escolha dos parâmetros a calibrar é complexa, tendo sido considerado mais apropriado ajustar apenas alguns parâmetros durante o processo de calibração. Muitas vezes, a distinção baseia-se na medida em que os valores dos parâmetros podem ser realmente medidos ou observados. Os parâmetros que são mais comumente ajustados durante a calibração do modelo VIC são:

- **b\_infil** [ $>0$  a  $\sim 0.4$ ] - este parâmetro descreve a forma da curva variável de infiltração, isto é descreve a capacidade de armazenamento da célula em função da fracção da área da célula que se encontra saturada. Um valor mais alto de **b\_infil** traduz-se numa menor capacidade de armazenamento da célula em função da área saturada e consequentemente conduz a valores de escoamento mais elevados;
- **Ds** [ $>0$  a  $1$ ] – representa a fracção de **Dsmax** para a qual se inicia o escoamento de base não linear (aumentando rapidamente). Quanto maior o valor de **Ds**, maior será o escoamento de base para valores baixos do teor de humidade da última camada do solo;
- **Ws** [ $>0$  a  $1$ ] – é a fracção do teor máximo de água da camada inferior do solo, a partir da qual se inicia o escoamento de base não linear. Um valor alto de **Ws** traduz-se num aumento do teor de humidade do solo a partir do qual o escoamento de base aumenta rapidamente, retardando o pico do escoamento.
- **Dsmax** [ $>0$  a  $\sim 30$ ], representa o fluxo máximo de base (expresso em  $\text{mm dia}^{-1}$ ) que pode ocorrer a partir da camada inferior do solo, depende sobretudo da condutividade hidráulica do solo]; e
- **profundidade do solo** (de cada uma das camadas) [normalmente entre  $0.1$  a  $1.5$  m] - a profundidade das camadas do solo influencia muitas variáveis do modelo. De um modo geral, e para efeitos de escoamento, os solos profundos tendem a amortecer os caudais máximos (o escoamento de base é dominante) e a aumentar as perdas por evapotranspiração.

A escolha da melhor calibração do modelo é baseada no uso de uma função-objectivo específica para avaliar a qualidade de representatividade do modelo. A função-objectivo traduz um problema de optimização dos resultados da simulação em comparação com os dados observados.

A avaliação da eficiência dos modelos é feita comparando os resultados da simulação com os valores observados por exemplo através da estimação do somatório do quadrado dos erros (SQE) que reflecte o erro do ajustamento global obtido no modelo. O critério de eficiência de Nash e Sutcliffe é uma das funções mais usadas em hidrologia para avaliar a qualidade do ajustamento dos modelos hidrológicos e pode ser escrita da seguinte forma:

$$NS = 1 - \frac{\sum (Q_{obs} - Q_{med})^2}{N \times S_{obs}^2}$$

Quando a simulação for perfeita, o erro quadrático médio é nulo e a eficiência é 1. Existem no entanto outras funções objectivo que podem ser igualmente consideradas na avaliação da qualidade do modelo que serão estudadas quanto a sua adequabilidade para o caso do modelo VIC e da bacia do Zambeze.

Dado existir um grande número de conjuntos de combinações de parâmetros que podem resultar em soluções “óptimas” da transformação chuva-escoamento, recorre-se a um processo de validação da solução obtida na calibração. A validação do modelo, consiste na corrida do modelo com outra série de dados que não tenha sido parte do processo que levou a escolha dos parâmetros do modelo. A validação é por isso uma actividade importante na modelação hidrológica. A experiência mostra que deve ser feita uma divisão na proporção de 2/3 de dados na calibração contra 1/3 de dados para a validação.

A escolha dos períodos de calibração e validação obedece a critérios que são função da disponibilidade de dados e características do fenómeno em estudo. Por exemplo no caso do modelo hidrológico que pretende gerar caudais diários será importante encontrar uma boa repartição da série de dados de calibração e validação de tal forma que em ambas parcelas de dados ocorram os extremos, mínimos e máximos, que caracterizam a hidrologia do local.



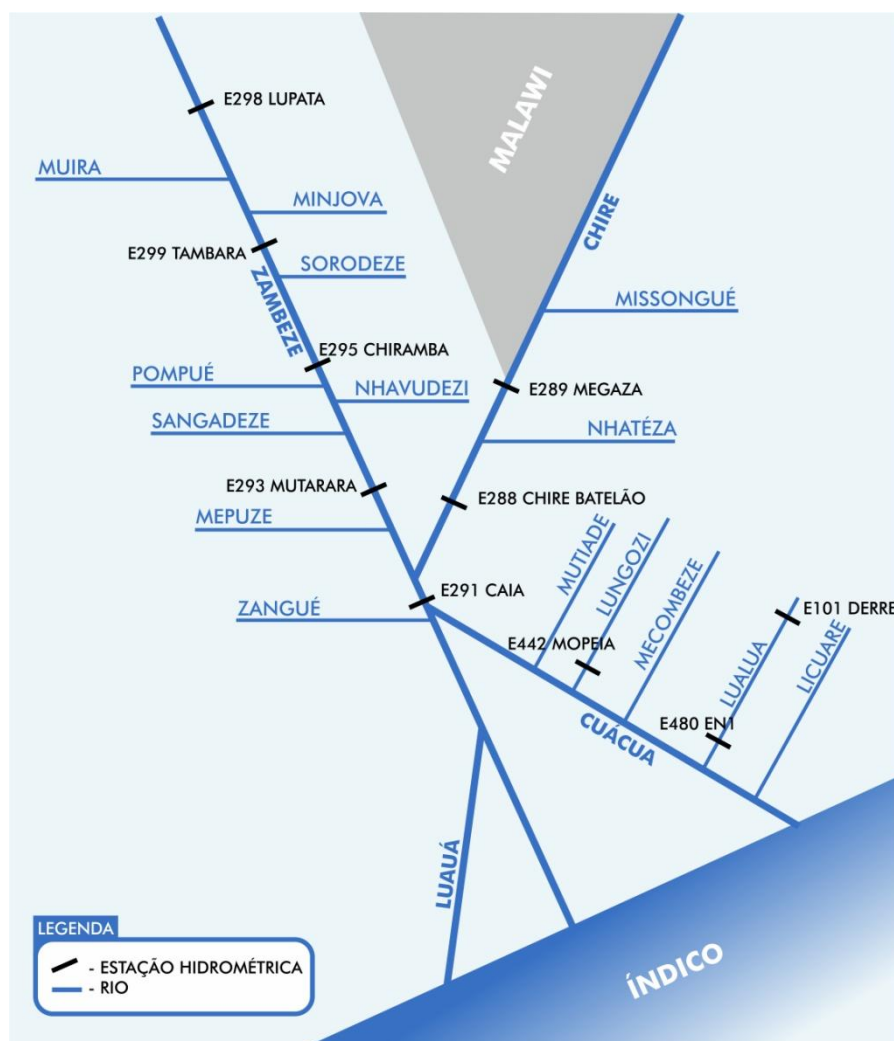
## 4 ESQUEMATIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO PARA APLICAR O MODELO VIC

### 4.1 MODELO VIC

O Modelo VIC será aplicado à área de estudo constituindo o chamado ZambezeVIC. Este modelo irá abranger a totalidade da área de estudo, considerando a área da bacia hidrográfica do Zambeze entre Lupata (condição de fronteira a montante) e a confluência do rio Zangué, junto à vila de Caia. No Rio Chire, a área de estudo inicia-se na secção de Chilomo na fronteira com Malawi. Inclui igualmente o rio Cuácua que drena a maior parte dos distritos de Morrumbala e Mopeia, e constitui o braço Norte do Delta do Zambeze.

A área de estudo foi estabelecida a partir da área dos distritos em estudo: Chemba, Maringue e Caia na margem direita do Zambeze e Mutarara, Morrumbala e Mopeia na margem esquerda e envolvendo a totalidade das sub-bacias hidrográficas que drenam os seis distritos. Assim a área dos seis distritos é de 40549 km<sup>2</sup> e a área de estudo foi expandida para 61 800 km<sup>2</sup>, para integrar a totalidades das sub-bacias em estudo.

A Figura 4.1 apresenta a esquematização da rede hidrográfica que drena a área de estudo, incluindo as principais sub-bacias hidrográficas referidas e que se representaram na Figura 2.1, bem como as estações hidrométricas actualmente operacionais.

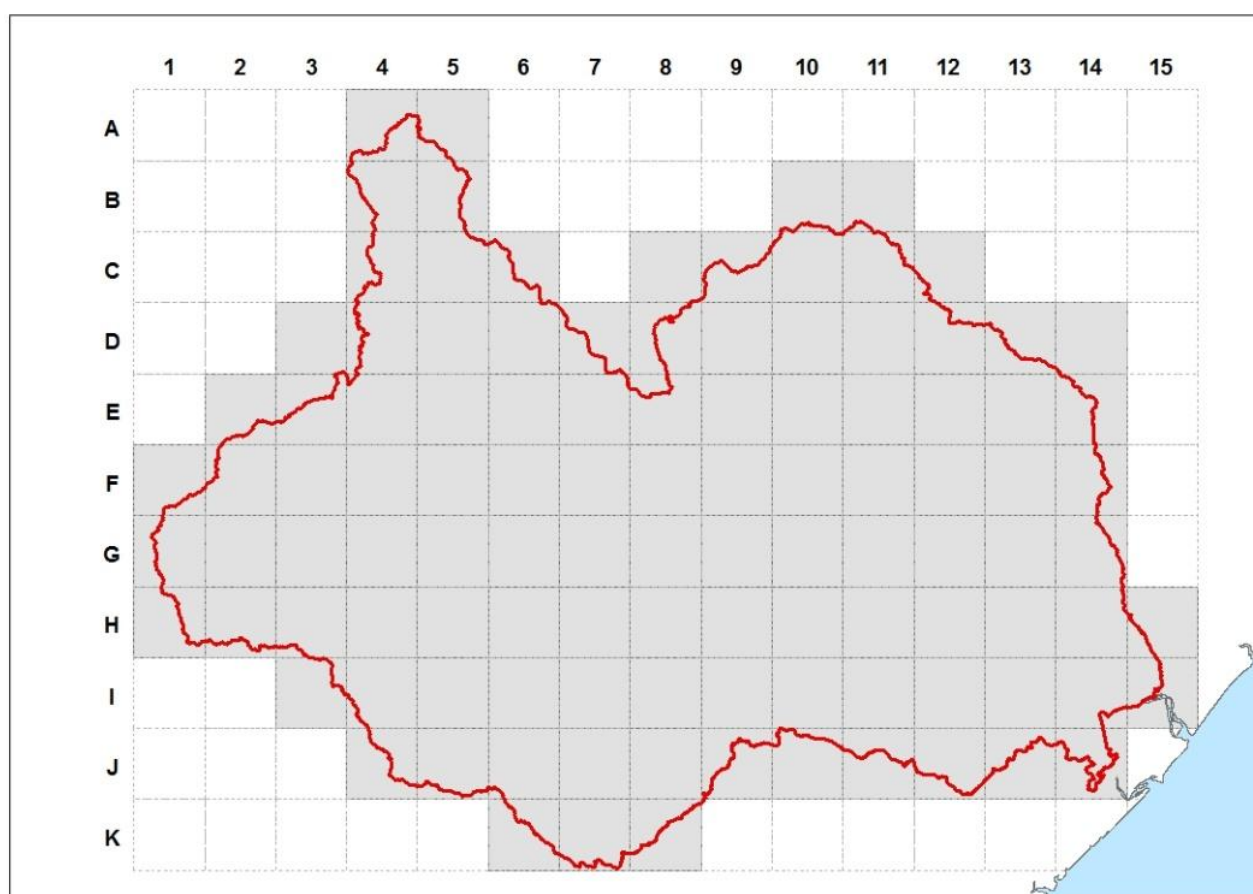


**Figura 4.1 – Esquema da rede hidrográfica da área de estudo**

Na área de estudo destacam-se três linhas de água principais (Zambeze, Chire e Cuácua), a que se associam as seguintes sub-bacias hidrográficas:

- Rio Zambeze, com as sub-bacias dos rios Muira, Pompué, Sangadeze, Mepuze e Zangué na margem direita e as sub-bacias de Minjova, Sorodeze, Nhavudezi e Chire na margem esquerda;
- Rio Chire, com várias pequenas sub-bacias, das quais se destacam as sub-bacias de Missongue e Nhatéza;
- Rio Cuácua, que constitui uma das linhas de água do delta do rio Zambeze e que drena as sub-bacias dos rios Mutiade, Lungozi, Mecombeze, Lualua e Licuare, esta última já fora da nossa área de estudo.

Para aplicar o modelo VIC à área de estudo foi definida grelha de célula com dimensão de  $0,25^\circ$  ( $15'$  de arco) que se apresenta na Figura 4.2. A dimensão da célula foi escolhida tendo em conta as características dos dados de entrada do modelo VIC, disponibilizados pela agências internacionais e baseados em imagens de satélite e a dimensão da área de estudo. As células são identificadas (linhas/colunas) conforme se apresenta na figura.



**Figura 4.2 – Grelha de células aplicada à área de estudo**

O processo de aplicação do modelo VIC passa inicialmente pela calibração e validação do modelo. Face às características da área em estudo e aos dados de caudais existentes a calibração do modelo será realizada para as bacias hidrográficas dos rios Lualua e Lungozi. No rio Lualua, a calibração do modelo terá por base os dados de caudal observados nas estações E101 – Derre e E480 – EN1 e no rio Lungozi pelos caudais da estação E442 – Mopeia.

Após a calibração e validação do modelo nestes locais será feita a generalização dos parâmetros de calibração para a totalidade da área de estudo. Será dada particular atenção, às condições de fronteira no rio Zambeze em Lupata e no rio Chire em Chilomo, bem como às características hidrológicas das sub-bacias da margem direita do rio Zambeze.

Enquanto a estação de Lupata não estiver em funcionamento, os caudais do rio Zambeze nesta secção serão avaliados por métodos simplificados, com base nos registos de estações hidrométricas existentes noutros locais. Os caudais do Zambeze em Lupata deverão ser obtidos a partir dos caudais efluentes da barragem de Cahora Bassa, dos caudais observados em Tete e das contribuições dos vários afluentes com destaque para os rios Revubué e Luenha. Os caudais no rio Chire serão estimados a partir das estações E288–V. Bocage e E289–Megaza actualmente em funcionamento.

## **4.2 MODELO ROUTING**

Após a aplicação do modelo VIC à área de estudo e geração do escoamento em cada célula, será aplicado o modelo Routing para propagação do escoamento dentro da célula e entre células, para utilizar este modelo a área de estudo deverá ser esquematizada, definindo uma rede de escoamento entre células, conforme se mostra na Figura 4.3.

Como se pode observar existem dois pontos terminais de agregação do escoamento (saída de caudal): no rio Zambeze junto a Caia (J11) e no rio Cuácua a jusante da confluência do rio Licuar (I15). Face às características da área de estudo foram definidas como condições de fronteira a montante a entrada de caudais em Lupata no rio Zambeze (célula D3) e a entrada de caudais no rio Chire em Chilomo (célula C8).

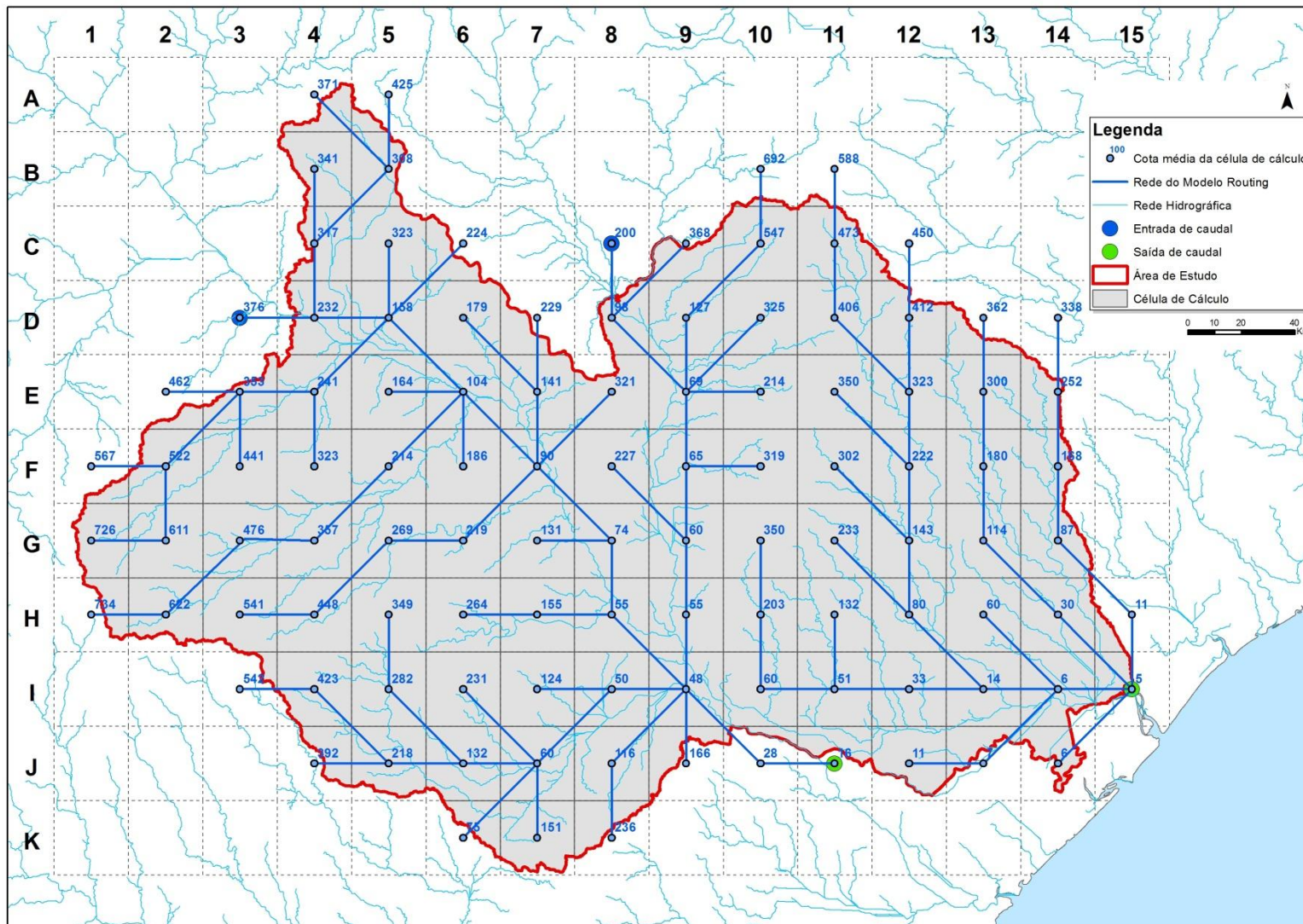


Figura 4.3 – Rede de drenagem da área de estudo

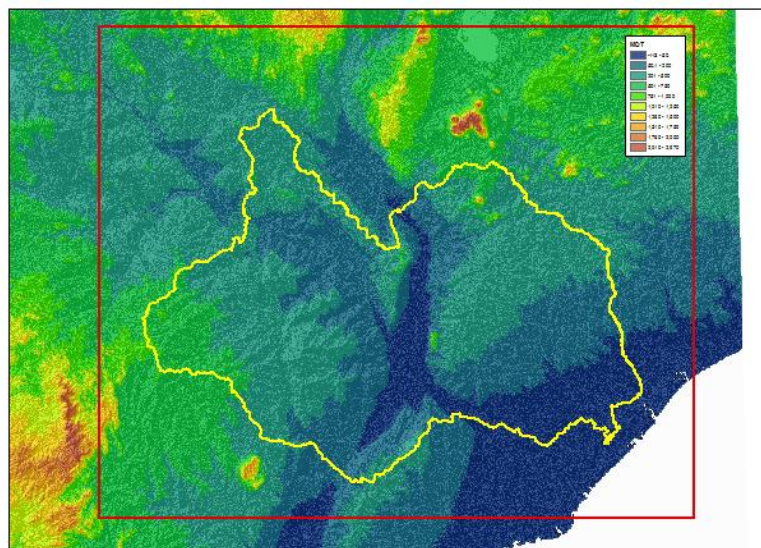
## 5 RECOLHA E PROCESSAMENTO DE DADOS

### 5.1 MODELO DIGITAL DO TERRENO

No relatório inicial tinha sido referida a existência de duas soluções possíveis como informação de base para a criação do modelo digital do terreno, que irá servir de base aos estudos de calibração e exploração do modelo VIC.

Após vários testes de análise da coerência e integridade dos dados, optou-se por utilizar o modelo digital do terreno disponibilizado pela missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), com a resolução espacial de 3" arcos de segundo, que representam cerca de 90 m. Uma das razões essenciais desta escolha prende-se com o comportamento do modelo digital em zonas muito planas, como é o caso da maior parte da área de estudo. Nestas zonas, houve várias situações em que não foi possível, através de um dos modelos analisados (ASTER), obter uma solução que se aproximasse da realidade conhecida, devido aos problemas sistemáticos no cálculo das linhas de maior acumulação de água.

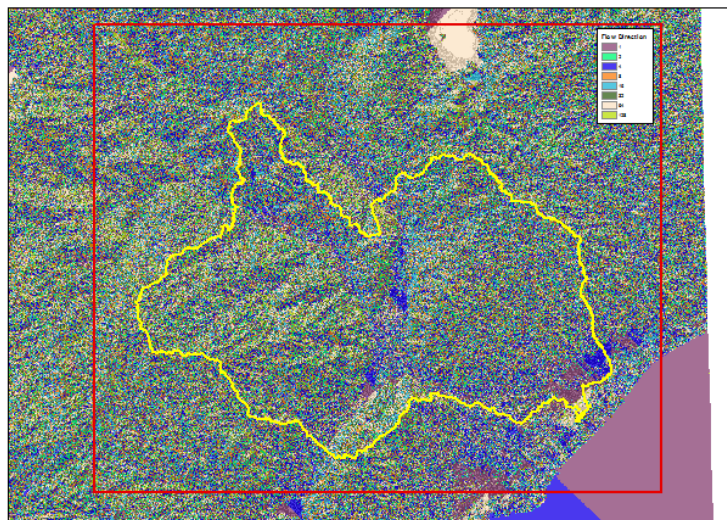
O modelo foi submetido a processos para verificar a incoerência e lacuna de informação em células que tornariam a matriz incongruente. De modo a garantir a coerência na matriz na vizinhança de toda a área de estudo foi tratada uma área consideravelmente superior, que se apresenta na Figura 5.1.



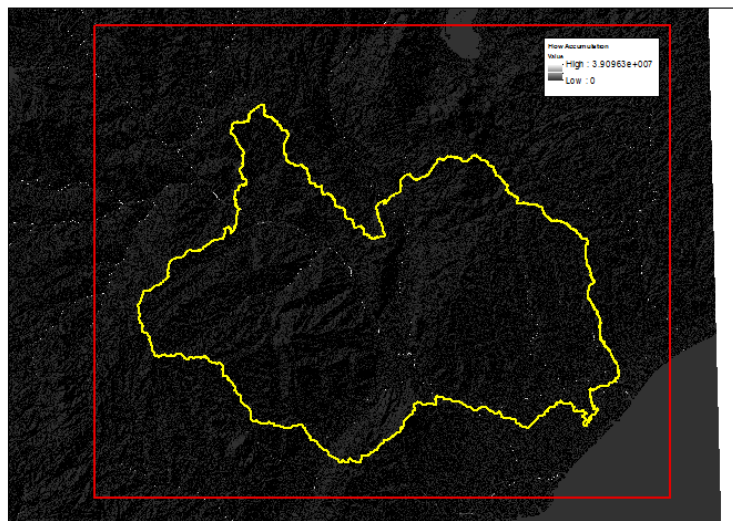
**Figura 5.1 – Área do modelo digital do terreno**

Para esta área, foi calculada a matriz de escoamento (Figura 5.2) e a matriz das linhas de máxima acumulação (Figura 5.3), o que permitiu determinar o traçado das linhas de água na área de estudo (Figura 5.4).

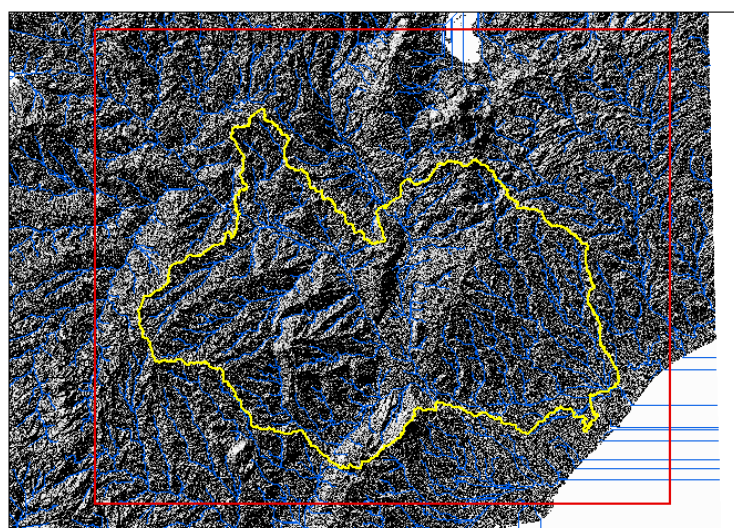
Com base nos elementos descritos anteriormente, foram delimitadas as bacias hidrográficas. Foram calculadas as áreas de drenagem das águas para uma determinada secção, de acordo com o número mínimo de células que se indica fazerem parte de um curso de água. As bacias foram revistas, agregadas e desagregadas, de acordo com o objectivo do trabalho, tendo terminado com a definição das bacias que se apresentam na Figura 5.5.



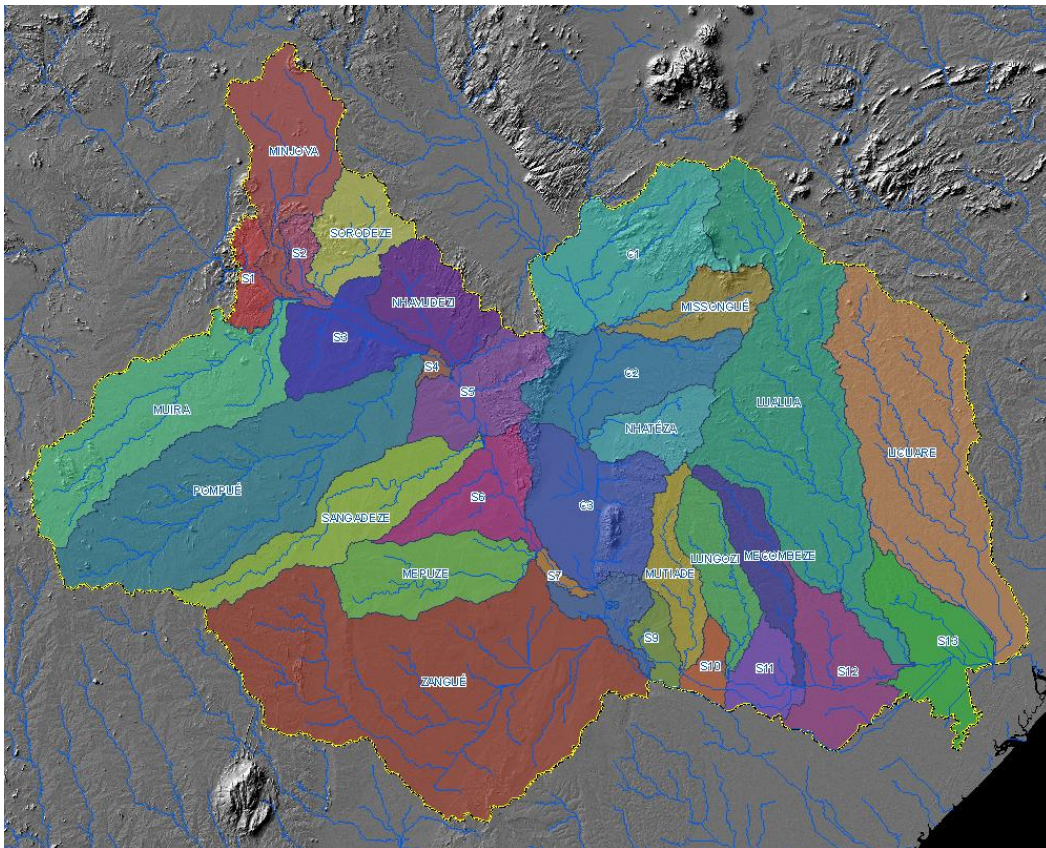
**Figura 5.2 – Matriz de escoamento**



**Figura 5.3 – Linhas de máxima acumulação**



**Figura 5.4 – Rede hidrográfica da área de estudo**



**Figura 5.5 – Bacias hidrográficas da área de estudo**

Na sequência do trabalho desenvolvido, e para que a informação utilizada e a utilizar, sofra o menor número possível de transformações, fez-se uma alteração de metodologia ao que estava previsto inicialmente e optou-se por utilizar o sistema de coordenadas geográficas (latitude/longitude), com o datum planimétrico WGS84, como o sistema de apresentação de toda a informação. Esta alteração prende-se com o facto dos elementos a introduzir no modelo VIC, utilizarem este sistema, evitando-se assim transformações desnecessárias e sendo mais intuitiva a visualização da informação produzida.

De forma a apresentar um resultado coerente, todos os dados que possam vir a ser integrados e que não estejam de acordo com este sistema de coordenadas, serão transformados. Uma parte significativa dos dados já se encontra em coordenadas geográficas, datum WGS84. De um modo geral, estima-se que os outros se possam encontrar no datum Tete, utilizado na cartografia mais antiga. Os que se encontrarem neste Datum sofrerão uma transformação de coordenadas, mediante o modelo de Bursa-Wolf, na qual serão usados os parâmetros seguintes, em vigor para esta área geográfica do território de Moçambique, de acordo com informação disponível:

Parâmetro	Valor	Unidade
dX	-73.472	m
dY	-51.66	m
dZ	-112.482	m
Rotação em X	-0.95259	["]
Rotação em Y	-4.60029	["]
Rotação em Z	2.368262	["]
Escala	0.585646	[ppm]

## 5.2 DADOS CLIMÁTICOS

### 5.2.1 Recolha e análise dos dados da rede udométrica

Os dados de climáticos, com destaque para a precipitação, são os dados forçantes fundamentais para o funcionamento do modelo VIC, pelo que desenvolvimento um trabalho detalhado para a sua recolha e análise.

Na fase inicial foram identificadas 79 estações udométricas na área em estudo, número que aumentou para 96 durante a fase seguinte de inventariação e recolha de dados. Três fontes de dados foram identificadas: arquivo próprio do Consultor, arquivo da DNA e arquivo da ARA-Zambeze. O arquivo da ARA-Zambeze serviu para actualizar os dados obtidos a partir da base de dados do Consultor e da DNA. Toda informação histórica foi recolhida. O inventário dos dados foi feito a partir do ano hidrológico de 1950/1951 até ao ano hidrológico de 2011/2012, mesmo que incompleto.

Neste processo, constatou-se que cerca de 30% das estações previamente identificadas não possuem informação, ou seja, apenas 64 estações possuem pelo menos um ano hidrológico completo, com a maioria dos dados a registarem-se de 1950 a 1980.

Durante o período da guerra civil no país, o processo de recolha de dados teve um vazio muito grande, retomando a actividade principalmente a partir do ano 2000. Há também que realçar a existência de muitas falhas na recolha de dados, em particular nos dados mais recentes, com poucos anos completos. Na Figura 5.6 apresenta-se o inventário dos dados de todas as estações que existiram ou existem na zona de influência da nossa área de estudo, apresentando-se na Figura 5.7 o inventário de dados para as estações actualmente em operação e que irão ser usadas no nosso estudo. Como se pode observar existem apenas 23 estações em operação, mas com muitas falhas de dados. Na Figura 5.8 apresentam-se a localização destas estações na área de estudo.

Os dados de precipitação foram organizados por ano hidrológico em Excel, a partir do qual foram extraídas as estatísticas descritivas. A precipitação média anual foi calculada para cada estação para o período de 1950/51 até ao presente, sem preenchimento de falhas. A espacialização da informação na área de estudo foi efectuada através do método de geo-espacialização *kriging* no SIG (Figura 5.9).

A precipitação na área de estudo cresce do interior para o litoral, variando de aproximadamente 500 mm até 1600 mm por ano (Figura 5.9).

Tal como o resto do país, em Outubro ocorrem as primeiras chuvas atingindo um pico em Dezembro e Janeiro, e parando no mês de Abril quando inicia a época seca que vai até ao mês de Setembro.











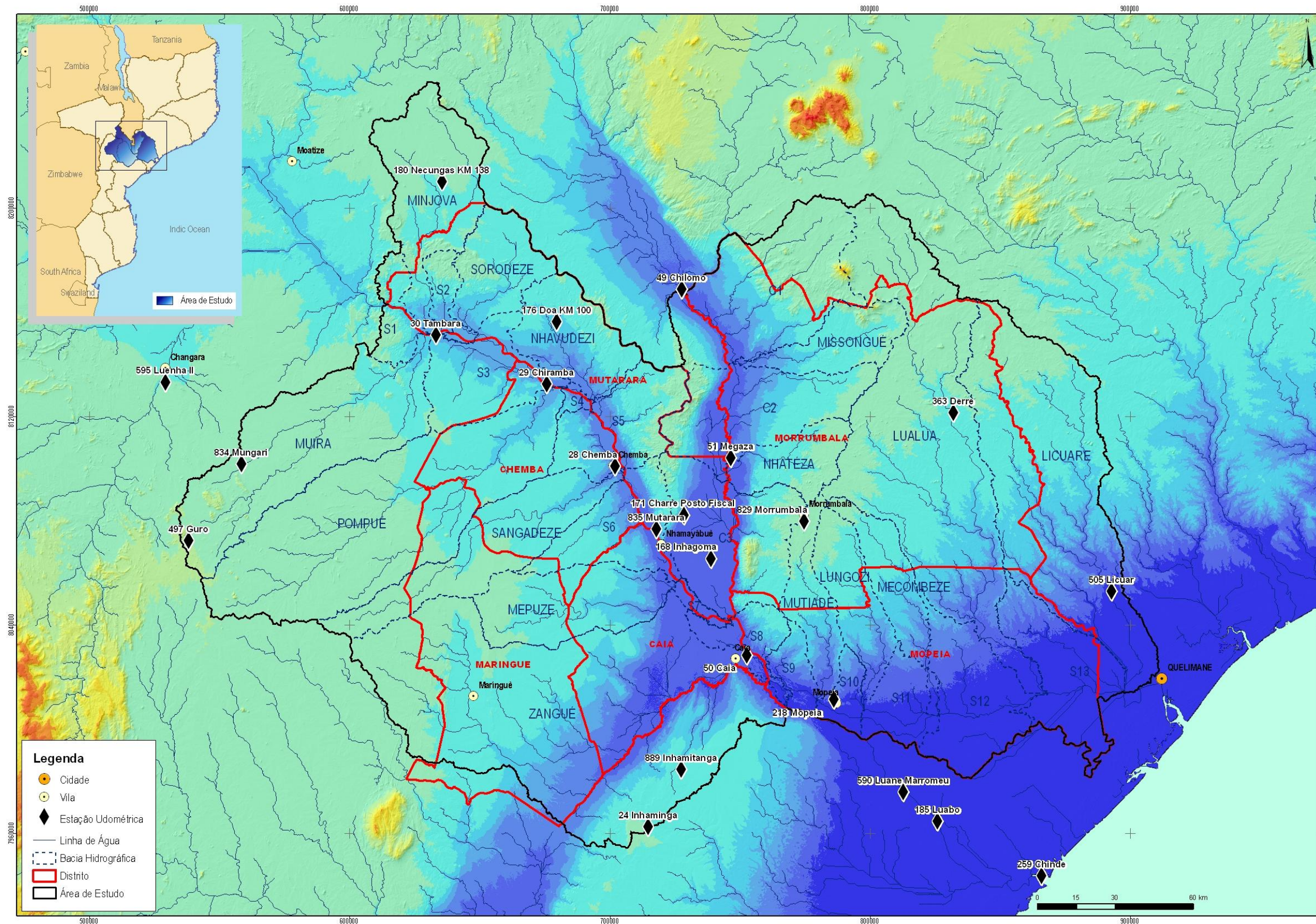
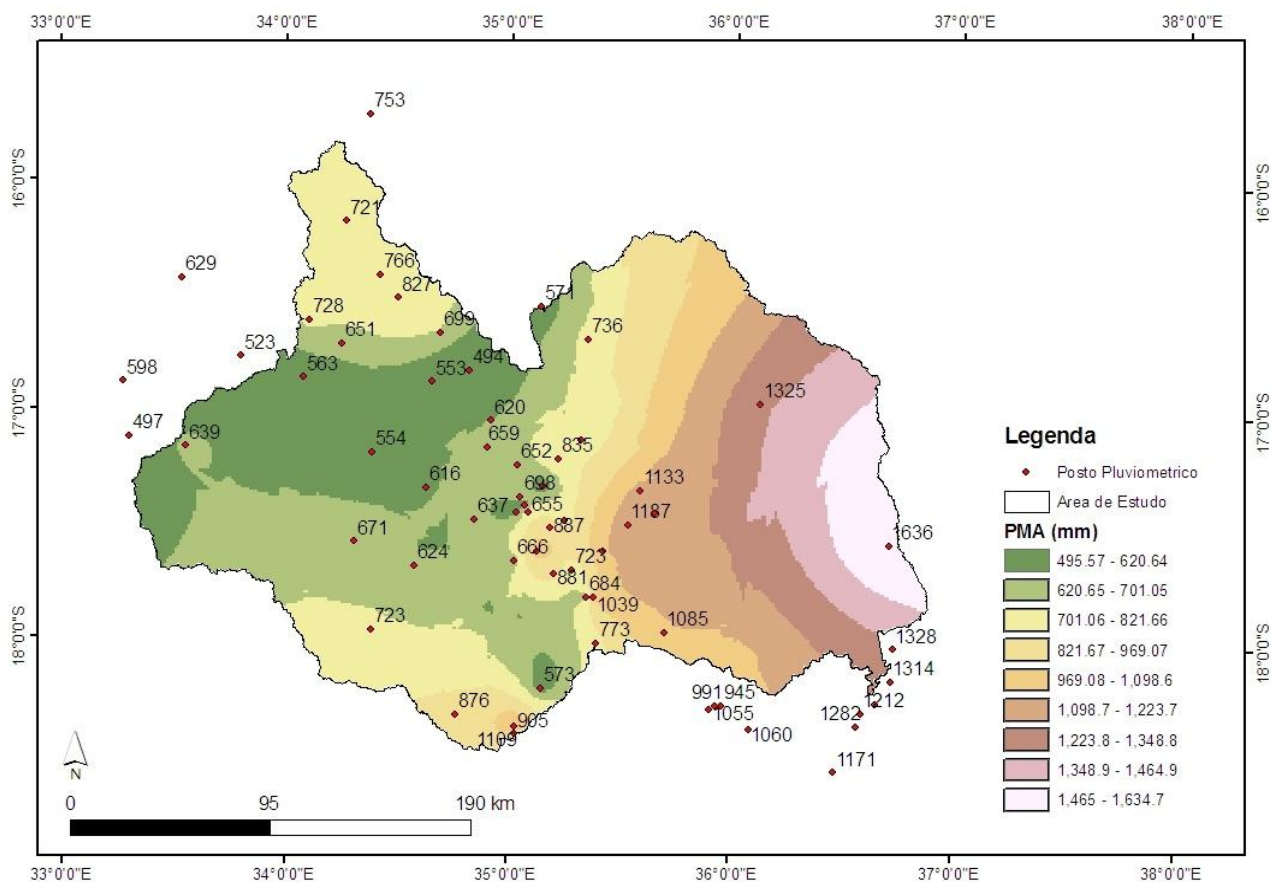


Figura 5.8 - Localização das estações udométricas



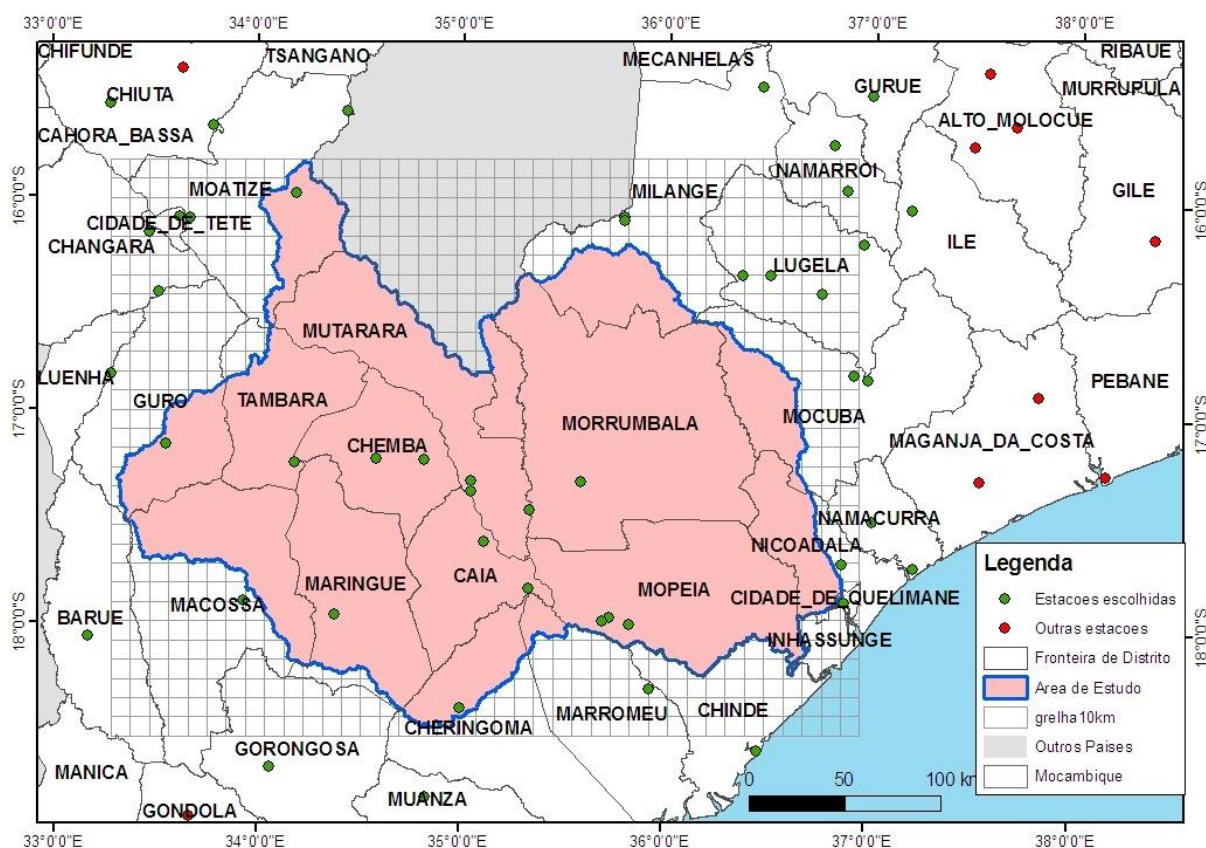
**Figura 5.9 – Distribuição espacial da precipitação média anual na área de estudo**

Como se pode observar nesta figura, é clara a distinção os valores de precipitação entre a margem direita e a margem esquerda do rio Zambeze, com valores entre 500 e 600 mm na margem direita e 800 a 1000 mm na outra margem, que se reflecte no regime de caudais. A sua distribuição ao longo do ano é igualmente muito nítida.

A rede udométrica existente na área em estudo tem algumas deficiências na sua distribuição espacial, tornado difícil obter uma razoável distribuição espacial da precipitação, por isso, irá seguir-se a mesma metodologia utilizada na maioria dos estudos de aplicação do modelo VIC noutras partes do mundo, que passa pela utilização das imagens de satélites, cujos sensores e o tratamento de dados permite obter uma boa distribuição espacial da precipitação.

### 5.2.2 Recolha e análise dos dados da rede climatológica

Para além da precipitação, o modelo VIC necessita de outras variáveis climáticas que impulsionam o modelo, como temperatura do ar (máxima e mínima) e velocidade do vento, todas com passo de tempo diário e resolução espacial igual à utilizada no modelo. Outros dados como radiação solar e humidade relativa do ar podem ser fornecidos, mas também podem ser gerados pelo modelo usando tabulações globais usadas com boa fiabilidade. O inventário de dados registados na rede climatológica e meteorológica foi obtido no Instituto Nacional de Meteorologia de Moçambique (INAM – Moçambique). Da lista das estações meteorológicas sob tutela do INAM foram seleccionadas 50 estações que se localizam na área de estudo ou na zona envolvente até 40 km dos limites da área de estudo (Figura 5.10).



**Figura 5.10 – Estações climatológicas do INAM identificadas na área de estudo**

Existiram muitas estações, mas a grande maioria não está operacional actualmente e não há condições para fornecerem dados em tempo real, fundamental para aplicar o modelo VIC, por isso de modo idêntico ao observado no caso dos dados de precipitação, a disponibilidade de dados de temperatura e ventos é muito deficitária na região do estudo.

Para além disso, os dados do INAM apresentam duas limitações para seu uso no desenvolvimento do projecto. A primeira limitação diz respeito ao volume de dados disponíveis ao longo do período de interesse para o estudo, tanto do ponto de vista de cobertura espacial para satisfazer a condicionante criada pelo tamanho da grelha de análise bem como no que diz respeito a sua continuidade no tempo por terem sido afectados pelos eventos associados a guerra no país e outros de ordem económico-financeira que reduziram a capacidade humana e material de realização de leituras em alguns locais. A segunda limitação também importante para o modelo tem a ver com o custo elevado associado a obtenção dos dados climatológicos do INAM que são cobrados por registo o que para o caso em apreço e tratando-se de séries longas seria proibitivo para o final beneficiário do modelo.

### 5.2.3 Recolha e análise dos dados de precipitação obtidos por satélite

O modelo VIC a ser aplicado no presente estudo é um modelo inicialmente desenvolvido para ser integrado com os Modelos Climáticos de Circulação Global no estudo das implicações dos cenários de alterações climáticas na parte terrestre do ciclo hidrológico. O VIC é um modelo semi-distribuído de macro-escala que pode ser configurado para correr em células com uma resolução até 1 x 1 km<sup>2</sup>. Esta refinação do modelo acrescenta o nível de demanda do modelo em

dados meteorológicos que formam a principal entrada de dados para se correr o modelo. Assim é necessário ter dados de precipitação, temperatura e vento que possam ser distribuídos a uma escala compatível com o tamanho escolhido das células do modelo.

Tal como acontece em grande parte das bacias do território moçambicano e da região africana no geral, a disponibilidade de dados hidroclimatológicos numa densidade elevada é muito limitada. A Figura 5.8 mostra a distribuição das estações udométricas na região de estudo. Os dados disponíveis na ARA-Zambeze cobrem o período de 1950/51 até ao presente no caso das estações operacionais.

Esta limitação é ainda maior no que concerne aos dados de temperatura que são apenas medidos nas estações da rede climatológica.

Para alimentar o modelo VIC seria necessário espacializar a informação existente nos postos udométricos e climatológicos e distribuí-la por todas as células do modelo. Esta operação apresenta dois desafios o primeiro relacionado com a qualidade dos próprios dados que apresentam períodos de falhas por vezes longos e alguns problemas de qualidade por falta de supervisão do trabalho de leitores em grande parte da rede; o segundo desafio está relacionado com o facto de o modelo VIC operar numa escala de tempo diária (e se necessário de 3 horas) o que implicaria a geração de um número muito elevado de mapas de distribuição de temperatura na base dos dados que existem. Deve acrescentar-se a este último ponto o facto de serem poucas as estações de chuva e de medição de temperatura com dados numa base inferior a um dia. Esta situação só se verifica nas estações sinópticas onde estão instalados udógrafos.

Na base da explicação acima pode inferir-se que o uso de informação climatológica obtida da rede de monitorização terrena é uma actividade laboriosa para além de ter limitações referentes a disponibilidade de dados numa rede de densidade adequada para permitir uma regionalização fiável e uma resolução temporal compatível com a escala do modelo. Neste contexto, como estratégia, o Consórcio opta em aproveitar o máximo possível da informação disponível junto do INAM e das ARA's (Zambeze, Centro e Centro-Norte) para gerar dados de controlo e alimentação do modelo sempre que viável do ponto de vista de qualidade dos dados e cobertura da zona de estudo.

Relativamente ao modelo VIC e tomando a vantagem dos fundamentos para a sua criação, foram desenvolvidas formas alternativas de alimentação do modelo na ausência de dados climatológicos obtidos de redes terrenas de recolha de dados. É assim que o modelo VIC tem sido aplicado em diversas partes do mundo usando como dados de entrada informação climatológica obtida via sensoramento remoto. Por exemplo nesta fase a NASA mantém uma base de dados para o modelo VIC a uma escala de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  de todo o mundo com um compasso de tempo de 3 horas ou mensal (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/hydrology/data-holdings>). Estes dados disponíveis podem ser directamente introduzidos no modelo VIC para analisar os impactos do clima na hidrologia regional. A escala em que os dados são apresentados ainda não é adequada para o nível de desagregação pretendido para o modelo deste projecto. A estimativa de dados climatológicos com base em informação obtida via satélite, apesar de ser uma técnica recente, tem cativado a atenção e interesse de meteorologistas de várias partes do mundo. Os vários estudos comparativos realizados têm permitido aprimorar a qualidade de dados gerados com base nesta ferramenta o que contribui para se ultrapassar os problemas relacionados com a falta de dados de observação no terreno. Esta informação é gerada com escalas de tempo e espaço cada vez reduzidas o que permite ultrapassar rapidamente os problemas relacionados com a necessidade de regionalização de dados para estudos com os que são conduzidos com a aplicação do modelo VIC. A maior parte da informação climatológica obtida por esta via é grátis e pode ser baixada na internet por qualquer interessado sem custos para além dos custos associados a ligação a internet e computação.



Os dados de detecção remota provêm de dois tipos de satélite: Geoestacionário que permite uma leitura “permanente” de informação na área coberta e outro que orbita a volta da terra a baixa altitude. Os algoritmos de cálculo de precipitação usam tipicamente informação de dois tipos sensores o passivo de Micro-ondas (PM) e o Infravermelho Visível e de Radiação (VIS/IR) informação mais detalhada sobre esta matéria pode ser obtida do sítio <http://www.isac.cnr.it/~ipwg/>. O Quadro 5.1 apresenta os satélites mais usuais para recolha de dados associados ao cálculo da precipitação.

**Quadro 5.1 - Satélites de recolha de dados para estimar a precipitação**

Satélite de baixa órbita a volta da terra				
Satélite	Sensor	Imagem espectral	Canal	Resolução
NOAA 10/11/12	AVHRR	Vis & IR	5	1.1 km
	AMSU A & B	PMW	15/5	50 km (melhor)
	TOVS (HIRS/MSU/SSU)	Receptor acústico		
DMSP F-13/14/15/16	SSM/I & SSM/IS	PMW	7 &	
TRMM	TMI	PMW	9	5-50 km
	PR	Radar	1	4.3 km
Satélite Geoestacionários				
Satélite	Sensor	Imagem espectral	Cana	Resolução
GOES E/W	GOES I-M Imager	Vis & IR	5	1 & 4 km
Meteosat 5,7,8	MVIRI & SEVIRI	Vis & IR	3 & 12	1 & 4 km
MTSAT		Vis & IR	5	1 & 4 km

A informação obtida pelos sensores acima indicados é processada usando algoritmos apropriados para gerar dados de precipitação a escala temporal e espacial diferente. O Quadro 5.2 sumariza as principais fontes de dados que podem ser acedidas neste momento e as suas características.

**Quadro 5.2 – Fontes de obtenção de dados de precipitação via satélite**

Base de dados (fontes)	Cobertura	Resolução espacial	Resolução temporal	Cobertura no tempo	Formato do ficheiro
CMAP	Global	2,5°x2,5°	Mensal	de 1979-presente	netCDF
GPCC	Global	1°x1° e 2,5°x2,5°	Mensal	de 1951-presente	ASCII
GPCP V2	Global	2,5°x2,5°	Mensal	de 1979-2009	ASCII
GPCP V4	Global	0,5°x0,5°	Mensal	de 1901-2007	ASCII
GSOD Versão 7	Sinóptico		Diário para controle de qualidade	1929 - presente	ASCII
MSU	Global	2,5°x2,5°	Mensal, diária	de 1979-1996	netCDF
U. of Delaware	Global	0,5°x0,5°	Mensal	de 1950-1999	netCDF
TRMM Versão 6	Global	0,25°x0,25°	Mensal e de 3 em 3 horas	de 1998-presente	netCDF
FEWS RFE2.0	Global	0,1°x0,1°	Diário	de 2002-presente	netCDF
CMORPH	Global	0,25°x0,25°	3 em 3 horas	de 2003-presente	netCDF
WorldClim	Global	1 km x 1 km	um valor de média mensal	de 1950-2000	Raster

## Breve descrição da forma de obtenção dos dados

### CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP)

A precipitação é estimada com base em leituras feitas por sensores alojados em satélite usando vários algoritmos que convertem a informação obtida da radiancia e canal visível infravermelho e sensor passivo de micro-ondas.

### GPCC (Global Precipitation Climatology Center)

Este centro foi criado no ano de 1989, a pedido da Organização Meteorológica Mundial (OMM). É operado pela Deutscher Wetterdienst (DWD, Serviço Meteorológico Nacional da Alemanha) como uma contribuição alemã para o World Climate Research Programme (WCRP). Os dados de precipitação são obtidos por interpolação a partir das diversas fontes disponíveis, processamento, avaliação da qualidade dos dados, a selecção e a comparação com as diversas fontes. As informações básicas sobre os métodos utilizados são publicadas por Rudolf *et al.* (1994) e Rudolf e Schneider (2005).

### GPCP (Global Precipitation Climatology Project)

Foi criado pelo WCRP (World Climate Research Program) para resolver o problema da quantificação da distribuição da precipitação em todo o mundo durante muitos anos. Os dados foram obtidos combinando as informações disponíveis de precipitação de cada uma das várias fontes resultando em um produto final que aproveita os pontos fortes de cada tipo de dado.

### TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission)

Está a ser monitorada pela NASA, e Agência Nacional de Aeronáutica e Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA Japão) para melhorar o conhecimento quantitativo da distribuição 3-dimensional da precipitação nos trópicos. Os dados de precipitação foram obtidos pelo algoritmo de estimativa de precipitação descrito por Huffman *et al.* (2007).

### WorldClim

Os dados de precipitação foram obtidos por interpolação a partir de dados de várias estações climatológicas usando um algoritmo que toma a latitude, longitude e elevação como variáveis independentes de entrada.

A qualidade dos dados gerados por esta via de observação indirecta tem sido objecto de escrutínio contínuo dos meteorologistas de todo o mundo com o objectivo de melhorar a sua fiabilidade. No caso da bacia do Zambeze o estudo mais recente sobre a fiabilidade de dados obtidos via satélite é apresentado por Cohen Leichti *et al.* (2012). Nesse trabalho e tomando como referência outros estudos similares feitos no continente africano foram seleccionadas 3 fontes de dados, a base dessa escolha foi a alta resolução que estes produtos possuíam (dados diários ou abaixo disso) e resolução espacial menor que 0.25 graus. Neste contexto foram analisados os produtos da TRMM 3B42, FEWS REF 2.0 e CMORPH comparando-os com informação registada em estações terenas no período de Janeiro de 2003 a Dezembro de 2009. O estudo comparativo das 3 principais fontes indicadas mostra que os dados do TRMM 3B42 são uma boa base a ser considerada no modelo VIC do Zambeze. No estudo de base implementado neste projecto foram usados dados do European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) ERA 40. Este produto foi posterior actualizado para ERA Interim e contém dados desde o ano de 1979 usando um algoritmo superior de geração de dados. Esta base de dados fornece valores estimados diários de precipitação.

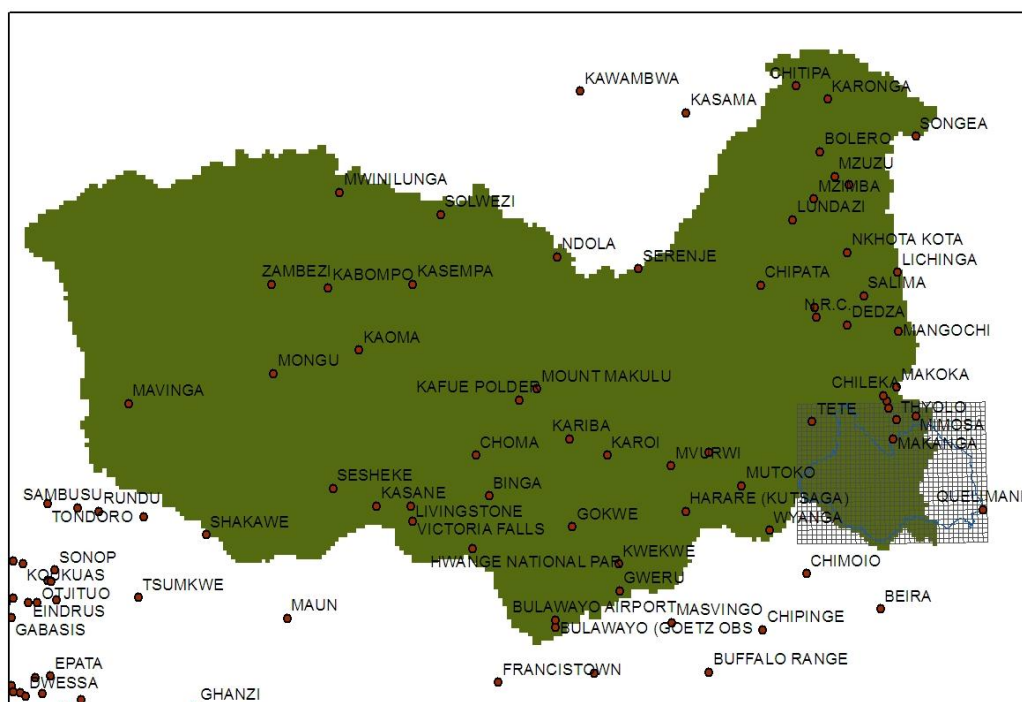
O uso de dados do ECMWF embora vantajoso do ponto de vista de optimização do processo de recolha dos dados que impulsionam o modelo (precipitação, vento e temperatura) a sua aplicação para a região de estudo tem mostrados

resultados mistos o que leva o consultor a considerar a utilização de dados do TRMM como sugerido no estudo apresentado por Cohen e Leichti *et al.* (2012).

#### 5.2.4 Recolha e análise de outros dados climáticos obtidos por satélite

Para contornar as deficiências relacionadas com a disponibilidade de dados para o modelo foi adoptada a mesma estratégia seguida para os dados de precipitação. Foram avaliadas duas bases de dados globais de dados: dados registados pela organização mundial de meteorologia (WMO) e o produto de reanálises diárias (ERA Interim), do *European Centre for Medium Range Weather Forecast* (ECMRF).

A WMO apresenta um conjunto de 134 estações dentro da bacia do Zambeze no geral (World Bank, 2006). Relativamente a área do estudo a situação e cobertura não é melhor que a descrita no que diz respeito aos dados do INAM, até porque esta base de dados global é alimentada pelos registos nacionais das instituições que fazem parte da rede global de monitoria de variáveis climatológicas globais. Em todo caso os dados foram obtidos a partir do <http://www1.ncdc.noaa.gov/pub/data/ghcn/daily/> e estão em processo distribuição pelas células do modelo. A Figura 5.11 mostra a distribuição das estações constantes da base de dados da WMO em referência neste estudo.



**Figura 5.11 – Estações da WMO na bacia do Zambeze.**

Os dados das estações climatológicas serão redistribuídos pelas células do modelo tendo em conta a variação da altitude no espaço em relação aos locais de observação. Este processo de reespecialização é comum na implementação de modelos hidrológicos alimentados por modelos globais de circulação global.

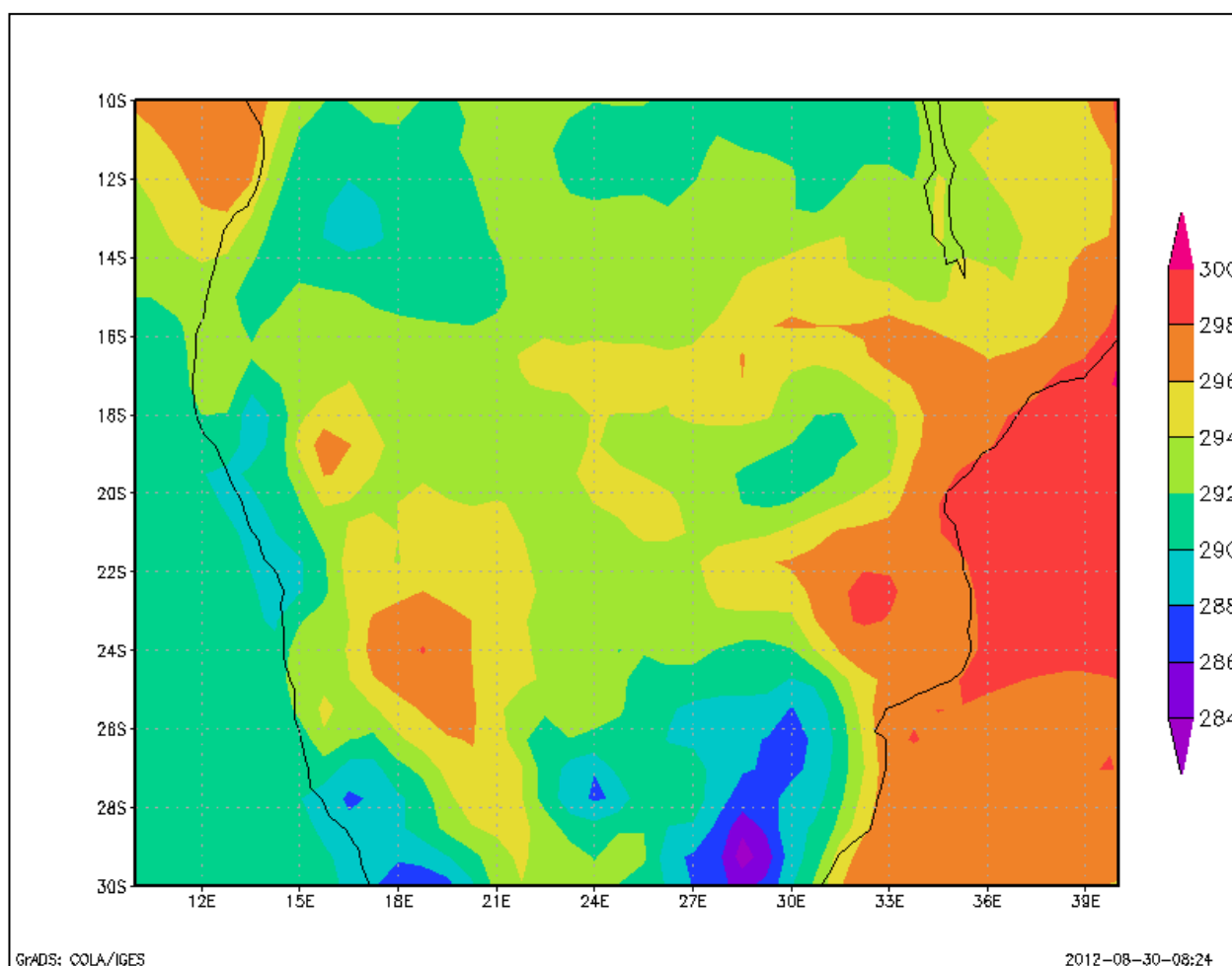
O segundo conjunto de dados globais disponíveis para o clima é fornecido pelo produto ERA Interim conforme indicado acima. O ERA-Interim é a continuação dum projecto inicial da agência espacial europeia na observação do clima. O produto anterior ERA 40 cobriu um período de análise de 45 anos (1957 e 2002). Posteriormente foi identificada a necessidade de melhorar a capacidade de previsão das variáveis climatológicas usando um outro algoritmo, facto conseguido e ainda em contínuo aprimoramento através da introdução da reanálise. O ERA Interim portanto é baseado

nesse novo algoritmo de última geração e inicialmente tinha o início de dado em 1989, em 2011 este produto foi estendido por mais 10 anos para iniciar em 1979, portanto neste momento contém dados desde 1979 até ao presente usando um algoritmo melhorado.

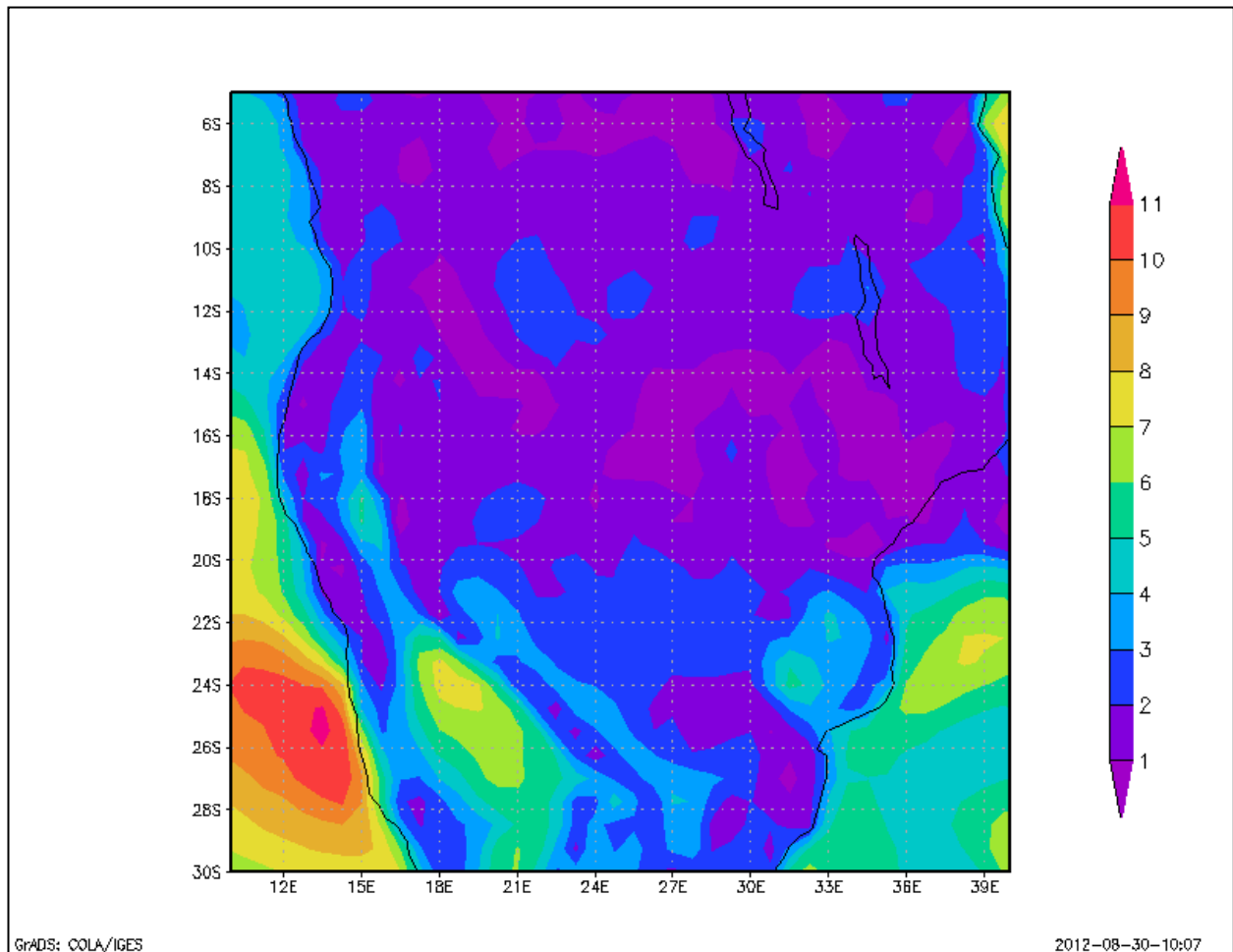
O ERA Interim é um produto mais consistente quando comparado com a informação disponível na base de dados da WMO permitindo uma cobertura mais estável da superfície global. O ERA Interim possui diversos dados sendo de interesse para estudo de precipitação acumulada, temperatura do ar média e ventos) numa resolução de 0,75 graus, cca de 79 km e uma frequência que pode ir até 3 horas. A temperatura máxima e mínima é determinada por comparação com dados pre-processados existentes na base de dados. Os dados obtidos do ERA Interim precisam igualmente duma respcialização para corresponder a malha mais fina usada no modelo VIC.

Uma comparação entre os dados obtidos da WMO e do ERA40 tinha mostrado a superioridade dos dados deste último produto sobre o primeiro. Neste sentido o consórcio pretende continuar a implantação do modelo recorrendo aos dados do ERA-Interim que é ainda superior ao ERA40.

As Figura 5.12 e Figura 5.13 mostram o mapeamento dos dados dos principais parâmetros climatológicos para impulsionar o modelo. Os dados mostrados são do ERA-Interim e foram registados no dia 01 de Janeiro de 2012. Os dados do ERA-Interim são calculados a cada 6 horas.



**Figura 5.12 – Temperatura em K medida a 2 metros da superfície no dia 01 de Janeiro de 2012 (ERA Interim)**



**Figura 5.13 – Velocidade do vento medida a 10 metros da superfície no dia 01 de Janeiro de 2012**

### 5.2.5 Conclusões

Conforme indicado atrás o modelo VIC é um modelo criado para ser integrado nos modelos de circulação global, com o objectivo de tratar a parte terrestre da modelação do ciclo hidrológico. Nesta perspectiva existe a partida uma condicionante indirecta no que diz respeito às fontes de dados do modelo. Alguns países com uma melhor organização das suas bases de dados climáticos tem feito esforços no sentido de gradualmente aumentar a utilização de dados observados pelas agências de monitorização climática, no entanto no caso da bacia do Zambeze, existem poucos dados dados recentes para caracterização do clima, em particular da rede climática, pelo que a utilização de dados de satélite parece ser a solução mais adequada. No entanto irá ser feita uma avaliação detalhada da qualidade da representatividade dos dados de satélite em relação aos dados registados nas estações terrenas.

Gostaríamos ainda de reiterar que o recurso a dados climáticos obtidos via satélite é uma das características inerentes à utilização do modelo escolhido, pois existem vários outros modelos hidrológicos onde esta condicionante não se coloca.

## 5.3 SOLOS

### 5.3.1 Generalidades

O solo constitui uma das principais componentes do modelo VIC. O modelo possibilita a utilização de diversas camadas de solo, mas normalmente utilizam-se apenas 3 camadas (Liang e Lettenmaier, 1994, Nijssen *et al.*, 1997). A espessura das camadas pode variar de célula para célula, com excepção da camada superficial que normalmente se adopta como tendo 5 a 10 cm de espessura.

O ficheiro dos parâmetros do solo utilizado pelo VIC descreve para cada célula, características únicas do solo. A lista completa desses parâmetros encontra-se em:

<http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/Documentation/SoilParam.shtml>.

No mesmo sítio, referem-se os intervalos de valores considerados como razoavelmente aceitáveis. Entre os parâmetros, incluem-se a porosidade  $\theta_s$  ( $m^3 m^{-3}$ ), o potencial do solo saturado  $\psi_s$  (m), a condutividade hidráulica em solo saturado  $k_{sat}$  ( $m s^{-1}$ ), o expoente B para o fluxo em condições não saturadas, a espessura de cada camada de solo  $d_i$ , o expoente da curva da capacidade de infiltração variável  $b_i$ , e os três parâmetros da curva do escoamento de base:  $D_m$ ,  $D_s$  e  $W_s$ .

### 5.3.2 Metodologia para a determinação dos parâmetros-solo

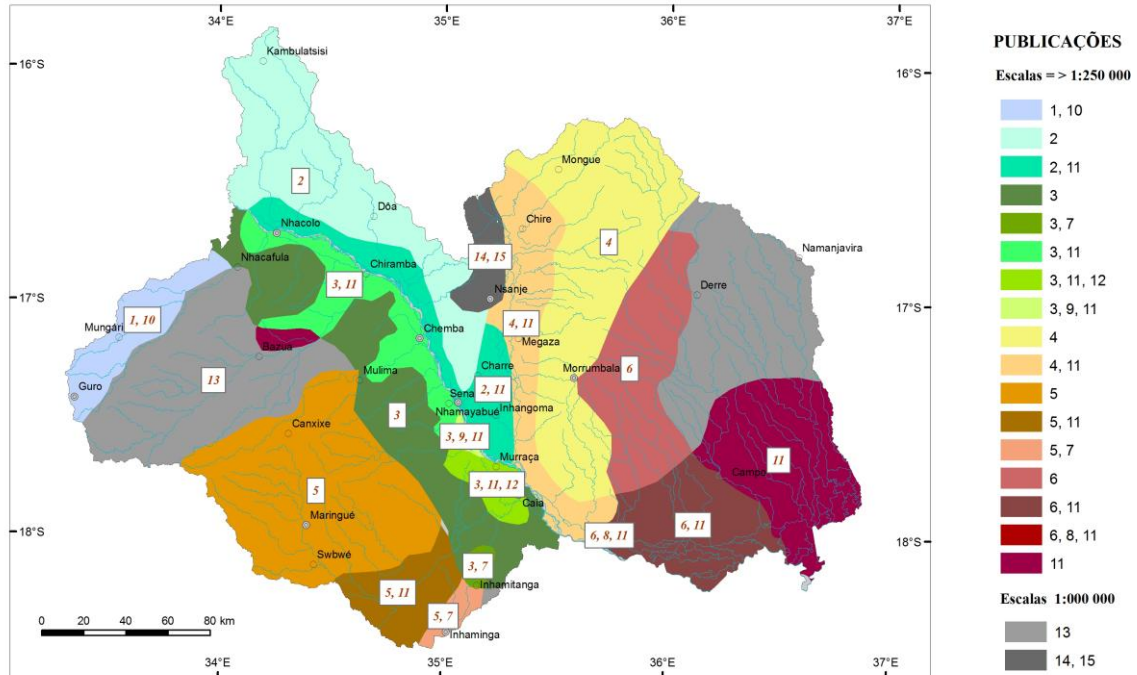
Para a identificação dos parâmetros-solo, será necessário identificar os tipos de solos existentes e quantificar as características que possam ser utilizadas na obtenção directa ou indirecta dos referidos parâmetros. O reconhecimento local e a consulta das publicações, resultantes dos estudos de reconhecimento de campo, constituem, no quadro dos termos contratuais, os meios mais adequados para obter a informação necessária à determinação desses parâmetros. Os valores desses parâmetros podem resultar de medições directas no terreno, mas normalmente são deduzidos com base na diferenciação pedogenética, estrutura, composição granulométrica e outras características morfo-físico-químicas de cada uma das unidades-solo.

A identificação dos parâmetros-solo pressupõe assim o desenvolvimento das seguintes actividades:

- Inventariação dos estudos de reconhecimento de solos;
- Identificação e distribuição das Unidades-solo;
- Compilação de dados morfológicos e analíticos de perfis típicos de Unidades-solo;
- Determinação dos parâmetros médios, por Unidade-solo, a utilizar na modelação VIC.

### 5.3.3 Inventariação dos estudos dos recursos em solos

Na Figura 5.14 apresenta-se uma carta com o inventário das publicações resultantes de estudos de reconhecimento de solos na área em estudo. Os polígonos correspondem às áreas abrangidas por um mais estudos, sendo as publicações identificadas por um número que remete para o Quadro 5.3 onde constam as respectivas referências bibliográficas e as escalas de publicação das cartas. Da análise desse mapa, deduz-se que cerca de menos 80% da área, foi objecto estudos de reconhecimento de solos, de nível baixo a elevada intensidade (escalas 1:20 000 a 1:250 000), Para o restante área o conhecimento que se dispõe assenta em estudos de reconhecimento de nível exploratório, e encontra-se expresso nas Cartas Nacionais de Solos e respectivos documentos associados.



**Figura 5.14 – Publicações de reconhecimento de estudo de solos**

**Quadro 5.3- Tipo dos estudos de reconhecimento de solos**

Número	Publicação	Escala
1	BEERNAERT, F & ROCHETTE, L. 1990, First evaluation on natural resources and agriculture systems of aldeias comunais in district of Guro, ANEXO: FAO/AGOA/MOZ/75/011. FIELD DOCUMENT N°20 DTA-BIBL	1:250 000
2	E.T.L.A.L./LOXTON HUNTING, 1972/3, Recursos agrários e planeamento do uso da terra, Bacia do Rio Zambeze. Relatório sobre os solos do bloco 4 (Relatório n° 1A/4), Gabinete do Plano do Zambeze.	1:50000 e 1: 100 000
3	E.T.L.A.L./LOXTON HUNTING, 1972/3, Recursos agrários e planeamento do uso da terra, Bacia do Rio Zambeze. Relatório sobre os solos do bloco 5 (Relatório n° 1A/5), Gabinete do Plano do Zambeze.	1:50000 e 1: 100 000
4	E.T.L.A.L./LOXTON HUNTING, 1973, Recursos agrários e planeamento do uso da terra, Bacia do Rio Zambeze. Relatório sobre os solos do bloco 9 (Relatório n° 1/6), Gabinete do Plano do Zambeze; Lourenço Marques	1:50 000 e 1:100 000
5	E.T.L.A.L./LOXTON HUNTING, 1974, Recursos agrários e planeamento do uso da terra, Bacia do Rio Zambeze. Relatório sobre os solos do bloco 9 (Relatório n° 1/9), Gabinete do Plano do Zambeze, Lourenço Marques.	1:50 000 e 1:100 000
6	E.T.L.A.L./LOXTON HUNTING, 1974, Recursos agrários e planeamento do uso da terra, Bacia do Rio Zambeze. Relatório sobre os solos do bloco 11 (Relatório n° 1/11), Gabinete do Plano do Zambeze; Lourenço Marques	1:50 000 e 1:100 000
7	FERNANDES, J.F., 1968, OS SOLOS DO PARQUE NACIONAL DA GORONGOSA, Instituto de Investigação Agronómica Moçambique, Comunicações 19	1:200 000

Número	Publicação	Escala
8	FRIEDRICH, J.L. ET AL., 1980, Mopeia State Farm Rice Complex Province of Zambezia, Mozambique, 1:25.000, FAO/MOZ/75/011 Field Report 15	1:25 000
9	HIDROTÉCNICA PORTUGUESA, 1960, Vale do Zambeze. Elementos de estudo. Cartas Agrológicas, Urema-Zángoé, Junta Provincial de Povoamento/Missão de Fomento e Povoamento do Zambeze,	1:20000
10	LAAN, F.B. VAN DER & ROCHETTE, 1980, Natural Zones, Present Landuse and Infrastructure Manica Province, Central Part, ANEXO, FAO/MOZ/75/011	1:250 000
11	Missão de Fomento e Povoamento do Zambeze, 1960, Bacia do Zambeze, Elementos Agronómicos e Silvícolas, Relatório de Agronomia de 1958-1960	1:100000
12	SOUSA, M.C.M., 1971, Beneficiamento Hidro-agrícola do colonato algodoeiro de Murraco, Cooperativa Agrícola de CAIA, Direcção Provincial de Agricultura e Floresta	1:50 000
13	INIA/DTA, (1995), Legenda da Carta Nacional de Solos, Com. 73, Sér. Terra e Água, Maputo	1:1 000 000
14	Lowole, M.W., 1965, Soil Map of Malawi; Department of Agricultural Research, Lilongwe.	1:1 000000
15	SADCC, 1991, Soil Map. Draft. Malawi. (Revised legend FAO-Unesco 1988)	1:1000 000

Dos estudos de reconhecimento de baixa a elevada intensidade, resultaram diversas publicações (Quadro 5.3), contendo cartas de classificação de solos e valiosa informação descritiva com dados morfológicos, analíticos e mineralógicos de perfis típicos de Unidades-solo agrupadas, por vezes em sistemas diversos de classificação.

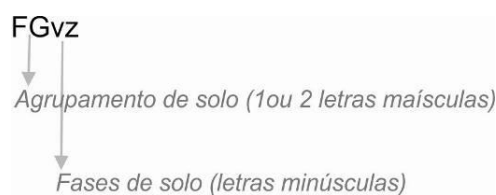
As Carta Nacional de Solos, à escala 1:1 000 000, reúnem a vantagem de se encontrarem a um único sistema de classificação. A Carta Nacional de Solos de Moçambique é acompanhada de um legenda descritiva que contém, para cada Agrupamento de Solo, informação sobre as características dominantes, geomorfologia/geologia, unidades de paisagem; declive; textura, profundidade, condições de drenagem, teor da camada superficial em matéria orgânica, salinidade, sodicidade, classificação FAO (1988) e USDA (1982), tipos de vegetação, limitações e aptidão da terra para sequeiro e regadio (INIA/DTA, 1995). Complementarmente, em 1998, foi publicada a “*Extended Explanatory Note of the National Soil Map of Mozambique* (escala 1:1 000 000) com informação descritiva e analítica de perfis típicos. Já no que respeita a área do Malawi, apenas se reuniram as cartas de solos (escala 1:1 000 000), sem qualquer documento descritivo.

Já no que respeita à área do Malawi, apenas se reuniram duas cartas de solos (escala 1:1 000 000), sem qualquer documento descritivo. Uma encontra-se referida ao Sistema de Classificação de Solos do Malawi e a segunda ao Sistema FAO-Unesco (Revised Legend, 1988).

#### 5.3.4 Identificação e distribuição dos tipos de solos

A Carta Nacional de Solos de Moçambique, considera-se com um documento-base para a identificação e distribuição das Unidades-solo. Na Carta Nacional, as Unidades-solo são normalmente constituídas por um Agrupamento de solo (letras maiúsculas) e, eventualmente, uma ou mais fases de solo (Figura 5.15). No Quadro 5.4 indica-se o significado dos símbolos de cada Agrupamentos de Solo e Quadro 5.5 os símbolos e os critérios utilizados para as fases de solo.





**Figura 5.15 - Esquema da constituição e simbologia atribuída à unidade-solo**

As unidades cartográficas constantes na Carta Nacional de Solos podem incluir apenas uma Unidade-solo ou uma Unidade-solo dominante e uma ou mais associadas. No Quadro 5.6 apresenta-se a estrutura de constituição das unidades cartográficas, com as adaptações introduzidas neste estudo.

**Quadro 5.4 - Símbolos e designações dos agrupamentos de solos**

Símbolo	Designação
A	Solos arenosos
AA	Solos arenosos amarelados
B	Solos basálticos
BP	Solos basálticos pretos
BV	Solos basálticos vermelhos
C	Solos de coluviões
CA	Solos de coluviões arenosos
CG	Solos de coluviões argilosos
CM	Solos de coluviões de textura média
DC	Solos de dunas costeiras
FE	Solos de sedimentos marinhos
FG	Solos de aluviões argilosos
FS	Solos de aluviões estratificados de textura grosseira ou média
G	Solos derivados de grés vermelho
KA	Solos arenosos castanho-cinzentos
KG	Solos argilosos castanho-cinzentos
KM	Solos castanhos de textura média
L	Solos líticos
M	Solos de Mananga
MA	Solos de Mananga com cobertura arenosa de espessura variável
MC	Solos de coluviões argilosos de Mananga
MM	Solos de Mananga com cobertura arenosa de espessura variável
PA	Solos de Post-Mananga de textura grosseira
PM	Solos de Post-Mananga, de textura média
R	Solos riolíticos
S	Solos sobre seixos rolados
VA	Solos arenosos avermelhados
VG	Solos argilosos vermelhos
VM	Solos vermelhos de textura média
WK	Solos pouco profundos sobre rocha calcária
WM	Solos de textura média derivados de rochas sedimentares

Símbolo	Designação
WP	Solos pouco profundos sobre rocha não calcária
WV	Solos argilosos vermelhos derivados de rochas calcárias

Fonte: INIA/DTA (1995), com ligeiras modificações.

#### Quadro 5.5 - Designação e critérios de diagnóstico das fases de solo

Fase de solo		Critério de diagnóstico
Símbolo	Designação	
g	Manchada	Manchas em, pelo menos, 15% da área exposta de uma camada com mais de 20 cm de espessura, dentro dos 100 cm de profundidade.
h	Hidromórfica	Presença da toalha freática, a menos de 50 cm de profundidade, pelo menos, durante algum período do ano na maior parte dos anos. Aplica-se também aos solos objecto de alagamento, pelo menos, durante um período do ano e aos solos cuja superfície se encontra coberta por água estagnada, pelo menos, durante uma semana do ano.
l	Lítica	Presença de rocha contínua ou em mais de 80% de fragmentos de rocha e/ou nódulos ou de uma camada permanentemente endurecida, pelo menos, numa camada com 25 cm de espessura, com início dentro dos 50 cm de profundidade.
m	Moderadamente profunda	Presença de rocha contínua ou em mais de 80% de fragmentos de rocha e/ou nódulos ou de uma camada permanentemente endurecida, pelo menos, numa camada com 25 cm de espessura, dentro dos 50 a 100 cm de profundidade.
o	Óxica	CTCE (Capacidade de troca catiónica efectiva) inferior a 16 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> argila, pelo menos, em alguma camada, entre 50 a 100 cm de profundidade, ou, para menores espessuras, entre 50 cm e o contacto com a rocha ou camada endurecida.
p	Dístrica	Grau de saturação inferior a 50% em alguma parte entre 50 a 100 cm de profundidade ou, para menores espessuras, entre 50 cm e o contacto com a rocha/camada endurecida.
s	Sódica	Percentagem de sódio de troca superior a 6 % e teor de Na de troca igual ou superior a 1 cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> solo.
v	Vértica	Solos argilosos que em algum período da maior parte dos anos apresentam fendas, superfícies polidas e agregados estruturais paralelepípedicos ou em forma de cunha, devido às propriedades de expansibilidade e de contracção dos minerais de argila.
x	Pedregosa	Com 15 % ou mais (em volume) de elementos grosseiros endurecidos, em pelo menos uma camada com 25 cm de espessura, dentro dos 50 cm superficiais de solo.
z	Salina	Condutividade eléctrica do extracto de saturação (EC <sub>es</sub> ), superior a 4 dS m <sup>-1</sup> a 25 °C em alguma camada dentro dos 100 cm de profundidade.

Em consonância com os critérios de classificação utilizados na Legenda da Carta Nacional de Solos, os solos identificados poderão agrupar-se por 4 grandes unidades geomorfológicas: Zonas Aluviais e Fluviais-marinhas, Bacia sedimentar, Zonas Vulcânicas e Soco Precâmbrico.

#### a) Solos das Zonas Aluviais e Fluviais-marinhas

Nas Zonas Aluviais e Fluviais-marinhas ocorrem os solos formados a partir de deposição de sedimentos como consequência da acção, isolada ou conjugada, dos rios e do mar. Diferenciaram-se os seguintes Agrupamentos de Solos:

- Solos aluvionais formados a partir de depósitos marinhos em áreas submersas por água salgada ou atingidas pelas marés (FE);
- Solos aluvionais formados a partir de sedimentos argilosos, que predominantemente apresentam, pelo menos entre 50 e 100 cm de profundidade, texturas argilo-arenosa, argilo-limosa ou argilosa (FG);
- Solos aluvionais de textura média ou mais grosseira, que, em geral, apresentam estratificação e, entre 50 e 100 cm de profundidade, texturas franco-argilo-arenosa ou mais grosseira (FS).

#### b) Solos da Bacia Sedimentar

Na área correspondente à Bacia Sedimentar encontram-se os solos derivados de rochas sedimentares, rochas sedimentares metamorfas e depósitos superficiais eólicos, conforme se segue:

- Solos formados em coberturas arenosas do Plistocénico (A, AA);
- Solos formados em dunas costeiras do Holocénico (DC);
- Solos formados em materiais de grés e areias vermelhas do Terciário (G);
- Solos derivados de sedimentos de Mananga<sup>2</sup>, incluindo sedimentos coluviais; Abrangem:
  - Solos não especificados (M);
  - Solos com cobertura arenosa entre 50 e 100 cm de profundidade (MA);
  - Solos formados em materiais coluviais derivados de Mananga (MC);
  - Solos com cobertura arenosa a menos de 50 cm de profundidade (MM);
- Solos formados em sedimentos do Post-Mananga, ocupando presentemente as encostas dos vales. Apresentam texturas argilo-arenosa a arenoso-franca e manchas de cores laranja a pardo-avermelhadas (Wijnhoud, 1998). Subdividem – se pelos seguintes agrupamentos:
  - Solos de textura grosseira (PA);
  - Solos de textura média a fina (PM).
- Solos em plataformas de seixos rolados na base de Mananga (S, fase lítica). Solos formados sobre uma plataforma de seixos rolados, localizada a menos de 50 cm de profundidade.
- Solos derivados de rochas sedimentares do Karroo, Cretácio ou Terciário. Incluem os seguintes agrupamentos:
  - Solos pouco profundos, de cores pardacentas a negras, derivados de rochas calcárias (WK);
  - Solos argilosos avermelhados, derivados de rochas calcárias (WV);
  - Solos derivados de rochas sedimentares não calcárias, tendo predominantemente texturas franca ou mais grosseira entre 50 a 100 cm de profundidade, ou para solos com menor espessura, na camada directamente acima da rocha-mãe (WM);
  - Solos derivados de rochas sedimentares não calcárias, tendo predominantemente texturas franco-argilo-arenosa ou mais fina entre 50 a 100 cm de profundidade ou, para solos com menor espessura, na camada directamente acima da rocha-mãe (WP).

### c) Solos das Zonas de Rochas Vulcânicas

Solos formados a partir de materiais provenientes da alteração de rochas vulcânicas, designadamente:

- Solos formados em materiais provenientes da meteorização de riolitos (R);
- Solos formados em materiais provenientes da alteração de rochas basálticas. Estes subdividem-se pelos seguintes agrupamentos:
  - Solos basálticos, não especificadas (B);
  - Solos basálticos pretos (BP);
  - Solos basálticos vermelhos (BV).

---

<sup>2</sup> Mananga constitui um manto espesso de sedimentos do Plistocénico, pardo-amarelados, no geral, sódico-salinos, em áreas relativamente planas, designadamente planícies e fundos de vale (Beernaert, 1987, citado em Wijnhoud, 1998). Os sedimentos de Mananga são normalmente bastante duros e mais ou menos impermeáveis (Dijkshoorn, 1993).

#### d) Solos das áreas do Soco Precâmbrico

Solos formados sobre materiais provenientes da meteorização de rochas Precambrianas. Abrangem:

- Solos derivados de materiais coluvionares em base de vertente, com os seguintes agrupamentos:
  - Solos coluviais, não especificados (C);
  - Solos coluviais de textura grosseira (CA);
  - Solos coluviais de textura média (CM)
  - Solos coluviais de textura fina (CG);
- Solos com espessura inferior a 30 cm, típicos das zonas rochosas, fortemente escarpadas (L);
- Solos castanhos que predominantemente apresentam matiz Munsell de 7,5 YR ou mais amarelo, pelo menos entre 50 e 100 cm de profundidade, ou para menores profundidades, na camada imediatamente acima do contacto lítico, com os seguintes agrupamentos:
  - Solos castanhos de textura grosseira (KA)
  - Solos castanhos de textura fina (KG),
  - Solos castanhos de textura média KM)
- Solos vermelhos ou avermelhados, tendo predominantemente matiz Munsell de 5 YR ou mais vermelho, pelo menos entre 50 e 100 cm de profundidade, ou para menores profundidades, na camada imediatamente acima do contacto lítico. Incluem os seguintes agrupamentos:
  - Solos vermelhos de textura grosseira (VA);
  - Solos vermelhos de textura fina (VG);
  - Solos vermelhos de textura média (VM).

A distribuição geográfica dos tipos de solos, encontra-se representada na Figura 5.16. Para melhor facilidade de leitura, apresenta-se no Quadro 5.6 um exemplo esquemático da estrutura e da simbologia adoptada na expressão das unidades cartográficas.

**Quadro 5.6 – Estrutura das unidades cartográficas**

Código	Unidade	Tipo das Unidades-solo			Área (%)		
	Cartográfica	D	A1	A2	D	A1	A2
FG1	FG	FG			100		
FG2	FG+FGvg	FG	FGvg		60	40	
FG3	FG+FS	FG	FS		60	40	
FG4	FG+MC+MM	FG	MC	MM	50	40	10

D - Dominante; A1- Associada mais representativa; A2 – Associada menos representativa;

Fonte: Adaptado de INIA/DTA (1995) e Wijnhoud (1998).

A área e a composição de cada uma das unidades cartográficas referem-se Quadro 5.7.

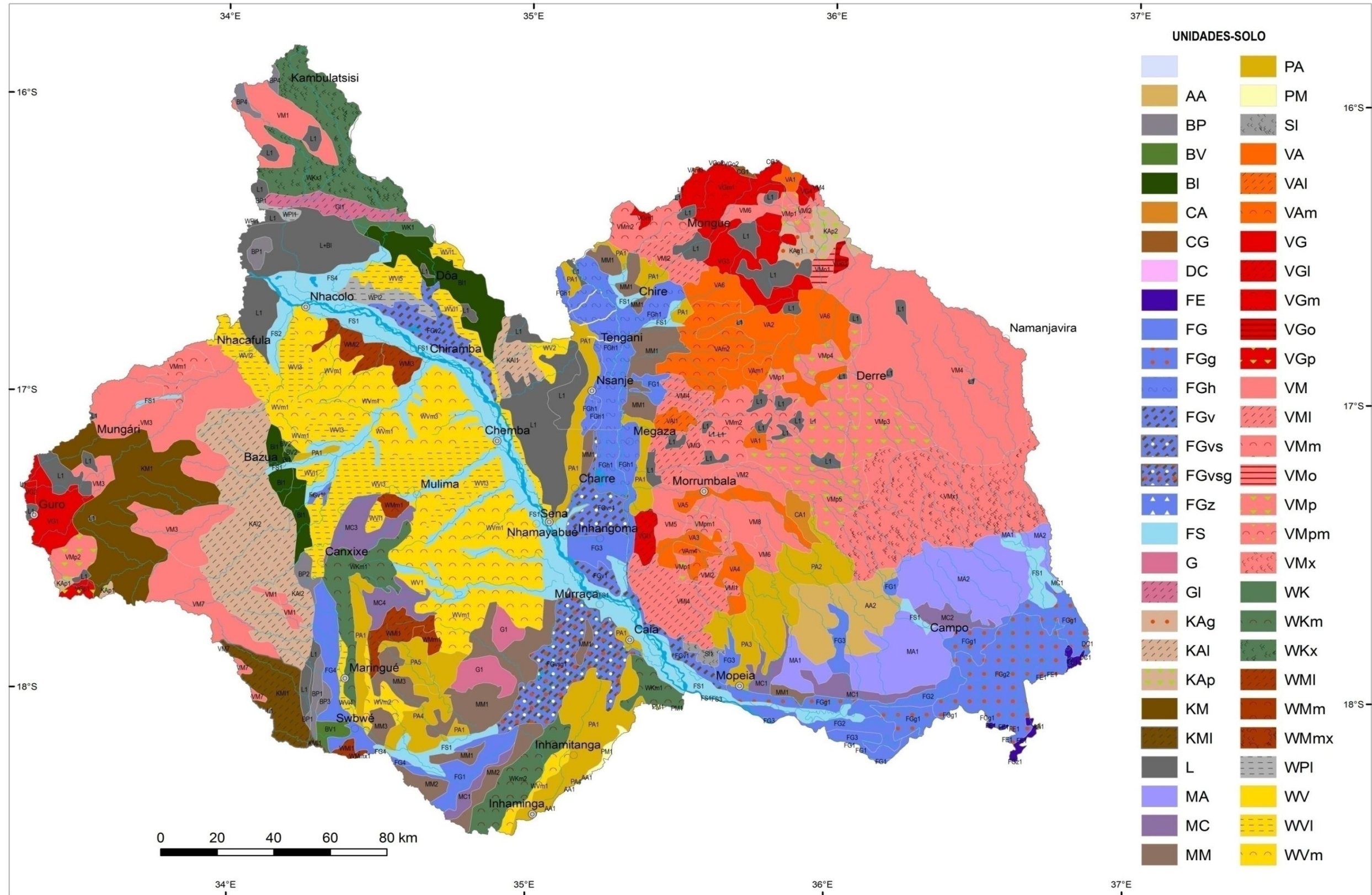


Figura 5.16 - Carta de solos



**Quadro 5.7 – Área e composição das unidades cartográficas**

Unidade Cartográfica	Área (ha)	Unidades-solo		
		D	A1	A2
AA1	325.0	AA		
AA2	81990.3	AA	MA	MC
BI1	95346.8	BI		
BP1	16490.2	BP		
BP2	8495.0	BP	BI	
BP3	3721.9	BP	BV	
BP4	8027.3	BP	BV	BI
BV1	8249.8	BV		
BV2	2254.4	BV	BP	
CA1	11494.5	CA	VG	
CG1	1799.2	CG	CM	
DC1	168.6	DC	Ah	
FE1	8507.5	FE		
FG1	45055.2	FG		
FG2	43977.6	FG	FGvg	
FG3	58827.2	FG	FS	
FG4	44238.2	FG	MC	MM
FGg1	78535.4	FGg		
FGg2	108532.8	FGg	FGh	
FGh1	149029.0	FGh		
FGv1	32794.0	FGv		
FGv2	41842.2	FGv	FGvz	
FGvs1	35303.3	FGvs		
FGvsg1	102492.1	FGvsg	FGvsz	
FGz1	21.8	FGz		
FS1	349377.1	FS		
FS2	12626.0	FS	FG	
FS3	0.1	FS	FGh	
FS4	18069.4	FS	FGvs	
G1	32401.0	G		
GI1	27123.9	GI		
L1	265745.3	L		
L2	79552.1	L	BI	
KAg1	12742.1	KAg	CG	
KAI1	24620.7	KAI		
KAI2	221465.0	KAI	KMI	
KAp1	3897.6	KAp		
KAp2	19076.2	KAp	VAp	
KM1	173222.9	KM	KAp	
KMI1	53065.7	KMI	KAI	
L1	1728.2	L		
MA1	97561.2	MA		

Unidade Cartográfica	Área (ha)	Unidades-solo		
		D	A1	A2
MA2	119935.9	MA	AA	MC
MC1	42397.9	MC		
MC2	14691.1	MC	M	
MC3	33928.9	MC	PA	WVm
MC4	22044.0	MC	WVm	PA
MM1	157152.5	MM		
MM2	31256.4	MM	AA	
MM3	28756.9	MM	WP	
PA1	190824.8	PA		
PA2	84578.2	PA	AA	
PA3	29714.7	PA	MA	
PA4	43764.0	PA	PM	
PA5	18931.6	PA	WVm	MC
PM1	4420.7	PM	PA	
SI1	6818.5	SI		
VA1	10511.3	VA		
VA2	41563.6	VA	VAI	VMp
VA3	15081.0	VA	VAm	
VA4	18155.3	VA	VAm	VAp
VA5	22192.1	VA	VM	
VA6	84118.4	VA	VMp	
VAI1	10466.7	VAI	VAm	
VAm1	6867.2	VAm	VAI	
VAm2	63040.4	VAm	VAI	VMm
VAm3	321.5	VAm	VMo	
VAm4	9858.6	VAm	VMpm	
VG1	38603.1	VG	KGv	KAm
VG2	3247.3	VG	KM	KAm
VG3	52811.0	VG	VGm	
VG4	5188.0	VG	VGo	
VGI1	13763.0	VGI	L	
VGm1	56802.9	VGm	VMm	VGI
VGo1	4181.4	VGo		
VGo2	197.6	VGo	VMo	CA
VGp1	5974.7	VGp	VMp	
VM1	56540.7	VM		
VM2	23814.2	VM	CG	VMm
VM3	191312.1	VM	KAI	
VM4	314504.1	VM	KM	C
VM5	29272.9	VM	I	
VM6	22047.4	VM	VA	
VM7	59807.9	VM	VG	
VM8	39317.7	VM	VMm	VG



Unidade	Área (ha)	Unidades-solo		
		D	A1	A2
VMI1	2790.1	VMI		
VMI2	40464.8	VMI	L	
VMI3	31046.3	VMI	VA	L
VMI4	83269.4	VMI	VMm	
VMm1	20071.3	VMm	VAm	
VMm2	85257.7	VMm	VMI	
VMo1	7810.8	VMo		
VMp1	19441.8	VMp		
VMp2	19899.1	VMp	KAp	
VMp3	53112.6	VMp	KM	L
VMp4	21032.1	VMp	VMm	
VMp5	112270.9	VMp	VMpm	
VMpm1	11433.7	VMpm	VMI	
VMx1	231049.1	VMx		
WK1	12274.8	WK		
WKm1	77083.8	WKm		
WKm2	49745.3	WKm	WKI	
WKx1	121634.8	WKx		
WMI1	25669.3	WMI		
WMI2	21445.3	WMI	WV	PA
WMI3	13192.2	WMI	WVm	PA
WMm1	12628.4	WMm		
WMmx1	809.2	WMmx		
WPI1	4213.8	WPI	RI	
WPI2	18641.6	WPI	WPm	
WV1	7424.3	WV		
WV2	10672.1	WV	WVI	
WVI1	45266.8	WVI		
WVI2	28392.2	WVI	BI	
WVI3	154690.5	WVI	L	
WVI4	7618.0	WVI	MC	PA
WVI5	21751.5	WVI	WV	
WVm1	325070.9	WVm		
WVm2	16303.5	WVm	PA	MC
WVm3	59414.6	WVm	WVI	
	6181464.8			

### 5.3.5 Perfis típicos por unidade-solo

A *Extend Explanatory Note on the National Soil Map of Mozambique* (Wijnhoud, 1988) disponibiliza a descrição e caracterização de um número reduzido de perfis típicos. Nesta medida, para o aumento da amostra e maior fiabilidade dos dados, procedeu-se uma compilação dos dados de perfis típicos, descritos e classificados no âmbito dos estudos de baixa a elevada a intensidade. No entanto, esses estudos que, globalmente incluem a descrição e caracterização de mais de

500 perfis típicos, foram desenvolvidos segundo diversos sistemas de classificação pelo que será necessário proceder à sua reclassificação e harmonização com o sistema adoptado pela Carta Nacional de Solos de Moçambique.

A compilação contempla a inclusão em base de dados (*Microsoft Office Access*) de toda informação descritiva e analítica, considerada relevante, para efeitos de classificação e aplicação ao modelo VIC. Conforme a Quadro 5.15 elucida, na tabela *Perfis\_informação geral*, inclui-se a informação respeitante à localização ambiental e classificação do perfil. Cada registo desta tabela encontra-se directamente relacionada, através de um identificador único (*Código do Perfil*), com os registos de outras duas tabelas onde consta a descrição e caracterização de cada um dos perfis por horizontes/camadas, em termos de dados morfológicos (tabela: *Perfis\_informação morfológica*) e analíticos (tabela: *Perfis\_informação analítica*).

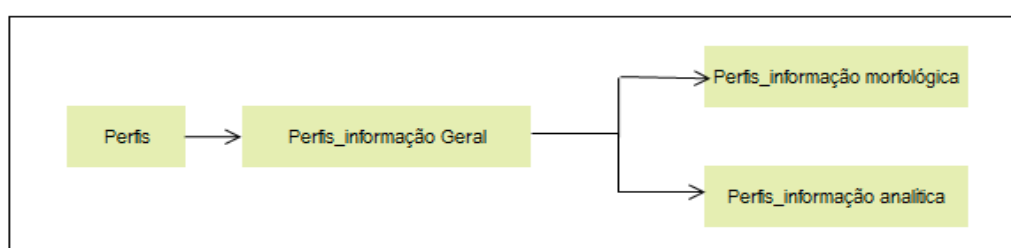


Figura 5.17 – Esquema de organização dos dados de perfis típicos

Esta actividade encontra-se em fase de conclusão. Seguir-se-á a reclassificação das Unidades-solo e a determinação da média dos parâmetros de cada unidade-solo para processamento no modelo VIC.

## 5.4 COBERTO VEGETAL E USO DA TERRA

### 5.4.1 Bases e fonte de dados

No âmbito do estudo da componente do uso e cobertura da terra, a ser integrado na modelação, várias fontes de informação foram usadas, nomeadamente.

Fonte	Descrição	Formato	Extensão	Escala
Universidade de Maryland – Global Land Cover Facility ( <a href="http://www.glc.f.umd.edu/data/">http://www.glc.f.umd.edu/data/</a> ) Hansen et al. (2000)	Classificação global da cobertura da terra da Universidade de Maryland (UMD)	Raster	Todo globo	1 km
Marzoli (2007)	Avaliação Integrada das Florestas em Moçambique: Inventário Florestal Nacional	Shapefile	Moçambique	1:1 000 000
ANE (2008)	Rede rodoviária nacional	Shapefile	Moçambique	1:250 000
Wild e Barbosa (1967)	Mapa de vegetação da flora Zambesiaca	Imagem georreferenciada	África Sub-sahariana	1:2 500 000
Classificação do Baseline	Classificação de uso e cobertura da terra baseado na imagem do satélite MODIS	Imagem classificada	Imagem classificada	Bacia do Zambeze

### Classificação de uso e cobertura da terra da GLCF-UMD

Resultado de um esforço de vários anos, a Universidade de Maryland (UMD) produziu um mapa global de uso e cobertura da terra para todo o globo numa resolução de 1km. Esta classificação foi produzida usando dados de 1992-1993 do satélite AVHRR. Os detalhes desta fonte de dados podem ser encontrados em Hansen et al. 2000. Segundo esta fonte de dados, a área de estudo apresenta seis classes de uso e cobertura da terra, sendo marcadamente dominada por floresta madeireira (71%) e pastagens arbustivas (25%), como se pode observar na Figura 5.18 e no Quadro 5.8.

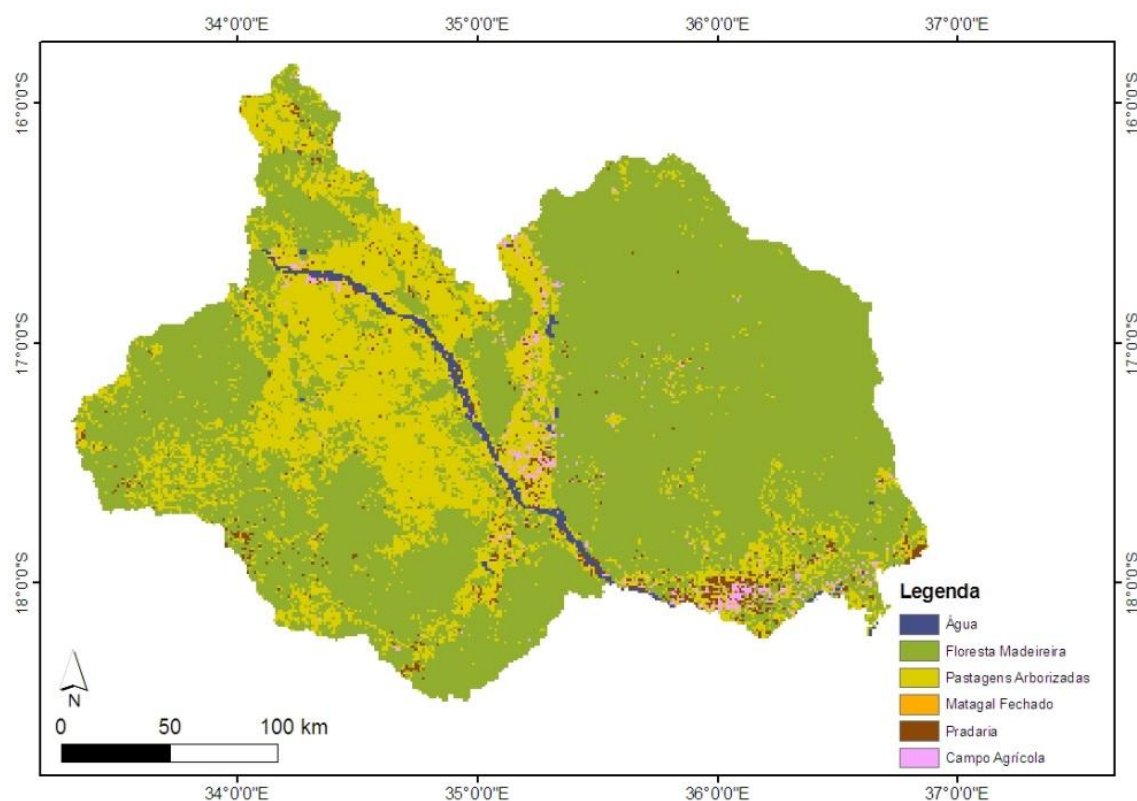


Figura 5.18 – Mapa de cobertura vegetal obtido através do satélite AVHRR

Quadro 5.8 - Áreas e composição das classes de uso e cobertura da terra segundo classificação da UMD

Classe de uso e cobertura da terra	Descrição	Área (hectares)	%	Rank
0	Água	72767	1.2	4
6	Floresta madeireira	4392630	71.1	1
7	Pastagens arborizadas	1545786	25.0	2
8	Matagal fechado	2695	0.0	6
10	Pradaria	102961	1.7	3
11	Campo agrícola	62639	1.0	5
Total		6179478	100	

### Inventário Florestal Nacional

O mapa de cobertura da terra é um dos produtos mais importantes do Inventário Florestal Nacional. Foi baseado na interpretação de imagens de satélite LANDSAT 5 TM dos anos 2004 e 2005. O mapa de cobertura vegetal adoptou os padrões internacionais de classificação dos tipos de vegetação (FAO, Land Cover Classification System – LCCS), modificados para as necessidades nacionais. Foi digitalizado para todo país numa escala de 1:1.000.000. Esta classificação foi validada através de levantamentos de campo e uso de imagens de alta resolução (ASTER).

O mapa de cobertura vegetal disponível no inventário nacional não cobre parte da área de estudo que recai no vizinho Malawi. De acordo com o mesmo, a área de estudo é dominada por floresta decídua (classe 2FD) ocupando cerca de 29%. Esta comunidade vegetal ocupa quase toda a parte direita da margem direita do Rio Zambeze. Do centro a esquerda da área de estudo é dominada pela segunda classe de ocupação da terra, floresta aberta (semi) decídua (2WD) ocupando aproximadamente de 27% da área. Estas duas classes em conjunto totalizam mais da metade da ocupação da área, significando que terão impacto significativo sobre o escoamento superficial da área, conforme se pode observar na Figura 5.19 e no Quadro 5.9.

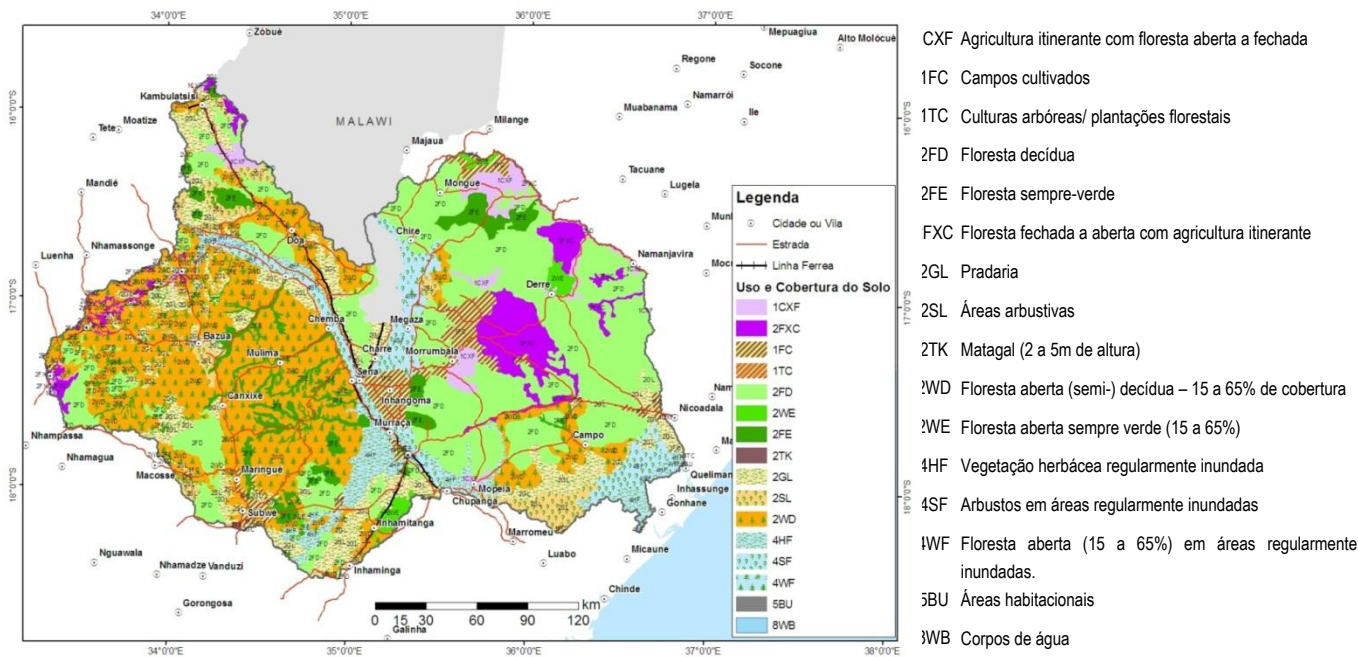


Figura 5.19 - Mapa da cobertura vegetal segundo o Inventário Florestal Nacional

Quadro 5.9 - Áreas e composição das classes de uso e cobertura da terra segundo o Inventário Florestal Nacional

Classe de uso/ cobertura da terra	Descrição	Área (hectares)	%	Rank
1CXF	Agricultura itinerante com floresta aberta a fechada	181382	2.93	10
1FC	Campos cultivados	249069	4.03	8
1TC	Culturas arbóreas/ plantações florestais	217	0.00	22
2FD	Floresta decídua	1813698	29.33	1
2FE	Floresta sempre-verde	364841	5.90	4
2FXC	Floresta fechada a aberta com agricultura itinerante	305127	4.93	5
2GL	Pradaria	641129	10.37	3

Classe de uso/ cobertura da terra	Descrição	Área (hectares)	%	Rank
2SL	Áreas arbustivas	200075	3.24	9
2TK	Matagal (2 a 5m de altura)	2085	0.03	15
2WD	Floresta aberta (semi-) decídua – 15 a 65% de cobertura	1638464	26.50	2
2WE	Floresta aberta sempre verde (15 a 65%)	63923	1.03	13
4HF	Vegetação herbácea regularmente inundada	288458	4.67	6
4SF	Arbustos em áreas regularmente inundadas	250445	4.05	7
4WF	Floresta aberta (15 a 65%) em áreas regularmente inundadas.	70382	1.14	12
5BU	Áreas habitacionais	1042	0.02	16
8WB	Corpos de água	4789	0.08	14
Estrada Primária		286	0.00	21
Estrada Secundária		425	0.01	18
Estrada Terciária		626	0.01	17
Estrada Vicinal		422	0.01	19
Estrada Não Classificada		403	0.01	20
Linha férrea		156	0.00	23
Área não classificada (recai em MALAWI)		105881	1.71	11
<b>TOTAL</b>		<b>6183324</b>	<b>100</b>	

### **Mapa de vegetação da flora zambeziaca**

Flora Zambesiaca é um projecto que se iniciou em 1960 com objectivo de catalogar as espécies de plantas que ocorrem na África Central e Austral, abrangendo o Botswana, Faixa do Caprivi, o Malawi, Moçambique, Zâmbia e o Zimbabwe. De acordo com esta fonte, a área de estudo é dominada por savana arborizada, ou seja, mata de miombo, sendo as unidades 51 (savana arborizada) e 24 (floresta a savana arborizada). As espécies dominantes são *Diplorhynchus* spp. *Pterocarpus brenanii* para a primeira unidade e *Brachystegia spiciformis* para a última. A mata de mopane é pouco presente na área de estudo, ao contrário das matas indiferenciadas com diversas espécies compõem as outras unidades. O mapa de vegetação da Flora Zambesiaca foi digitalizado na escala de 1:2.500.000. A Figura 5.20 e Quadro 5.10 apresentam a distribuição das unidades de vegetação da Flora Zambesiaca na área de estudo.

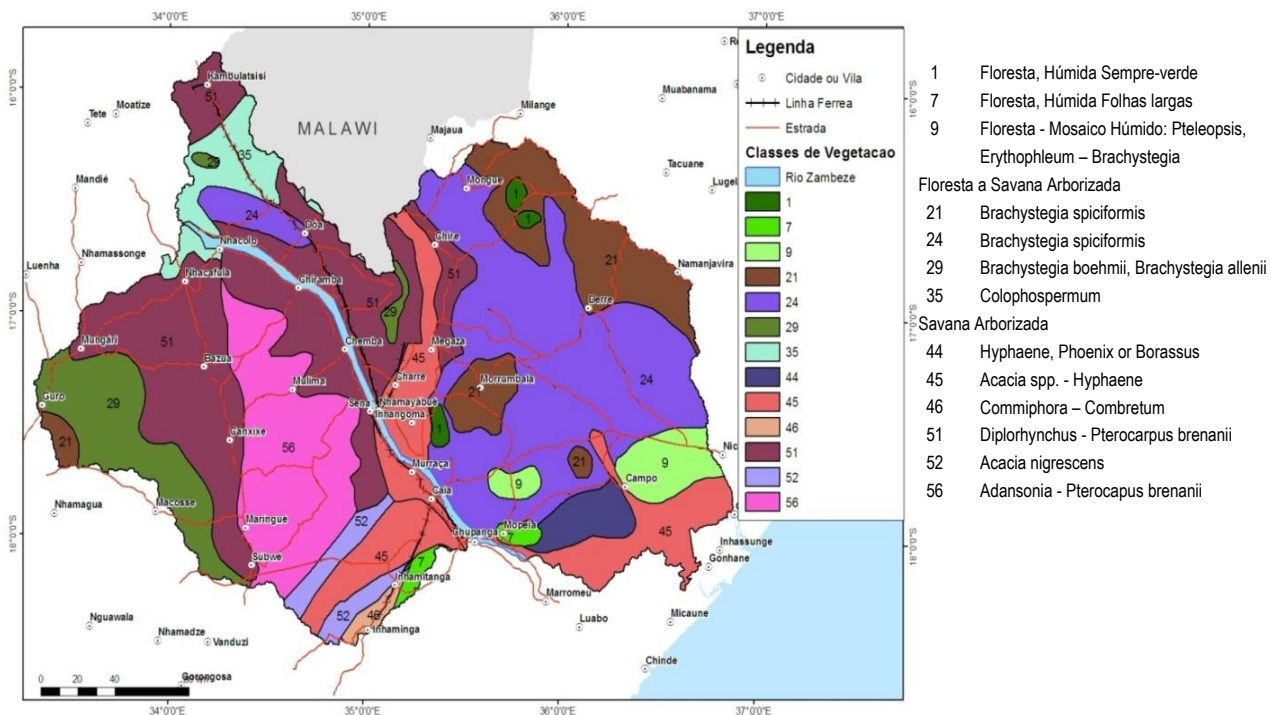


Figura 5.20 – Distribuição da flora Zambesiaca

Quadro 5.10 - Áreas e composição das classes de uso e cobertura da terra segundo classificação da flora zambesiaca

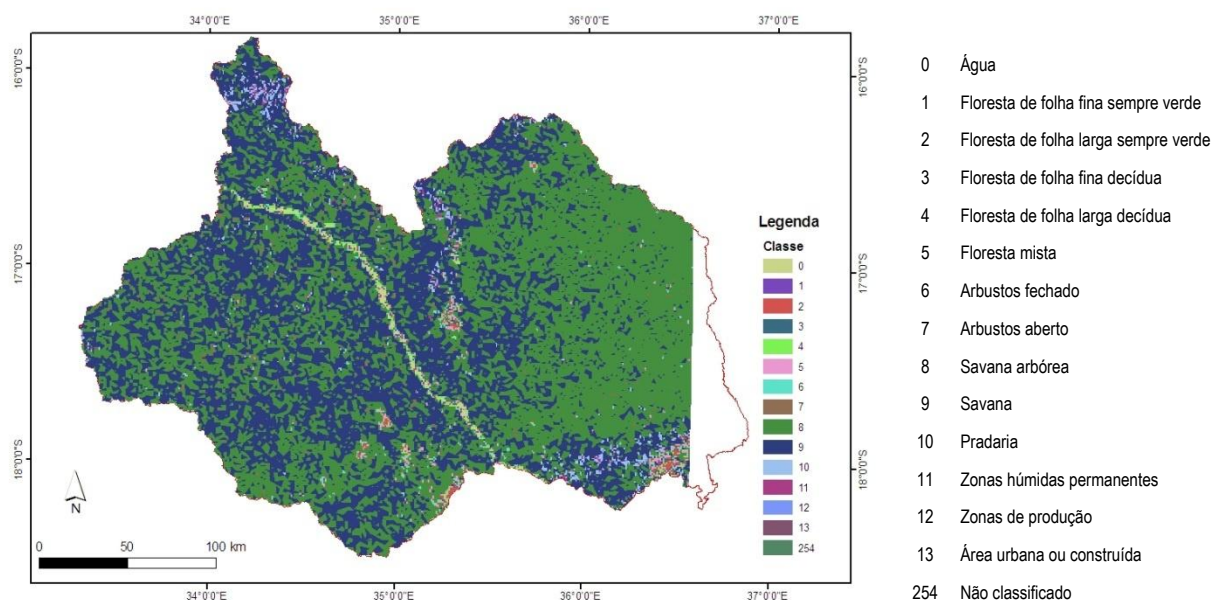
Classe de uso/ cobertura da terra	Descrição	Área (hectares)	%	Rank
1	Floresta húmida sempre-verde (a baixa e media altitudes) Maranthes polyandra - Alphloia - Macaranga	39160	0.63	13
7	Floresta húmida folhas largas (Montane) Pittosporum - Ilex-Rapanae	49991	0.81	12
9	Floresta, mosaico, húmido (zonas baixas) Pteleopsis, Erythrophleum – Brachystegia	183828	2.97	8
21	Floresta a savana arborizada, Brachystegia spiciformis (zona de precipitação elevada)	573453	9.27	5
24	Floresta a savana arborizada, Brachystegia spiciformis (baixa Zambezia)	1436505	23.23	2
29	Floresta a savana arborizada, Brachystegia boehmii, Brachystegia allenii	435121	7.04	6
35	Floresta a Savana arborizada, Colophospermum	209724	3.39	7
44	Savana arborizada, Hyphaene, Phoenix or Borassus	116646	1.89	10
45	Savana arborizada, Acacia spp. - Hyphaene (baixa Gorongosa)	709507	11.47	3
46	Savana arborizada, Commiphora - Combretum	37534	0.61	14
51	Savana arborizada, Diplorhynchus - Pterocarpus brenanii	1495623	24.19	1
52	Savana arborizada, Acacia nigrescens	126596	2.05	9
56	Savana arborizada, Adansonia - Pterocarpus brenanii	668299	10.81	4
	Rio Zambeze	98950	1.60	11
	Estrada primária	286	0.00	19
	Estrada secundária	425	0.01	16
	Estrada terciária	626	0.01	15
	Estrada vicinal	422	0.01	17
	Estrada não classificada	403	0.01	18
	Linha férrea	156	0.00	20
<b>Totl</b>		<b>6183255</b>	<b>100</b>	

### Uso e Cobertura da Terra segundo Baseline

O baseline usou duas fontes de informação para uso e cobertura da terra. Nomeadamente imagens Landsat e imagens do satélite MODIS.

O baseline produziu uma classificação da vegetação que cobre boa parte da área de estudo mas não a sua totalidade. Cerca de 3.8% da área de estudo não foi classificada durante o baseline. A classificação foi feita com base em imagens do satélite MODIS com uma resolução espacial de 1km x 1km. A figura e a tabela abaixo descrevem estes dados.

Segundo o mapa de uso e cobertura da terra do baseline, a área de estudo é maioritariamente dominada pelas classes savana arbórea e savana. Estas duas classes ocupam cerca de 94% da área de estudo, conforme se pode observar na Figura 5.21 e no Quadro 5.11.



**Figura 5.21 – Carta de classificação da vegetação a partir de imagens de satélite MODIS (baseline)**

**Quadro 5.11 - Áreas e composição das classes de uso e cobertura da terra segundo o baseline**

Classe de uso/ cobertura da terra	Descrição	Área (hectares)	%	Rank
0	Água	23385	0.39	8
1	Floresta de folha fina sempre-verde	5082	0.09	12
2	Floresta de folha larga sempre-verde	17690	0.30	10
3	Floresta de folha fina decídua	13388	0.23	11
4	Floresta de folha larga decídua	30804	0.52	7
5	Floresta mista	36947	0.62	5
6	Arbustos fechado	33022	0.56	6
7	Arbustos aberto	92326	1.55	3
8	Savana arbórea	3210661	54.00	1
9	Savana	2387489	40.15	2

Classe de uso/ cobertura da terra	Descrição	Área (hectares)	%	Rank
10	Pradaria	70314	1.18	4
11	Zonas húmidas permanentes	20171	0.34	9
12	Zonas de produção	3405	0.06	13
13	Área urbana ou construída	246	0.004	15
254	Não classificado	1112	0.02	14
	Sub-total da área classificada	5946042		
	Não coberto pela classificação	237282	3.84	
<b>Total</b>		<b>6183324</b>	<b>100</b>	

#### 5.4.2 Análise da actividade agrícola e das áreas cultivadas

A agricultura é a actividade dominante em todos os distritos (Chemba, Maringué, Caia, Mutarara, Morrumbala e Mopeia) da área de estudo. A importância desta actividade reflecte-se nos vários estudos que têm sido desenvolvidos em torno da agricultura (Mungambe *et al.*, 2009), entre os quais se inclui o “Projecto de Desenvolvimento de Pequenos Produtores Orientados para o Mercado no Vale do Zambeze”, também designado por “Projecto Smallholders”, do qual faz parte o presente estudo.

Para a caracterização da actividade agrícola foi solicitado os dados existentes nos distritos relativamente às áreas cultivadas e produtividades das principais culturas para o período de 2006-2011. Contudo só foi possível obter esta informação para os distritos de Maringué e Morrumbala (Quadro 5.12). Para os restantes distritos apenas se dispõe de informação para o período de 2000 a 2003.

**Quadro 5.12 – Inventário das áreas cultivadas nos distritos da área de estudo**

	Distrito	00/01	01-02	02-03	03-04	04-05	05/06	06/07	07/08	08/09	09/10	10/11
<b>Margem direita do Zambeze</b>	Chemba											
	Maringué											
	Caia											
<b>Margem Esquerda do Zambeze</b>	Mutarara											
	Morrumbala											
	Mopeia											

 Com dados  
 Sem dados

No período em análise (2000 a 2011) verificou-se um aumento significativo da área cultivada nos distritos de Maringué e Morrumbala para os quais se dispõem de dados recentes (Quadro 5.13 e Figura 5.22).



**Quadro 5.13 – Áreas cultivadas (em ha e % da superfície total) nos distritos da área de estudo**

	2000-2001		2001-2002		2002-2003		2006-2007		2007-2008		2008-2009		2009-2010		2010-2011	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Chemba	14 694	3.7	22 647	5.7	24 668	6.2										
Maringué	26 204	4.3	27 212	4.4	28 108	4.6					42 294	6.9	35 420	5.8	49 791	8.1
Caia	7901	2.2	26 332	7.3	20 661	5.8										
Mutarara	22 744	3.6	27 101	4.3	75 613	11.9										
Morrumbala	61 027	4.8	70 597	5.5	72 600	5.7	158 345	12.4	189 781	14.8	197 833	15.5	185 941	14.5	194 031	15.2
Mopeia	14 364	1.9	18 174	2.4	20 513	2.7										

No Distrito de Morrumbala a área cultivada passou de 72 600 ha (5.7% da área da província) em 2002-2003 para 194 031 ha (15,2% da área da província) em 2010-2011, representando um aumento de cerca de 267%.

No Distrito de Maringué, o crescimento da área cultivada foi menor, mas ainda assim muito significativo, tendo aumentado de 28 108 ha em 2002-2003 para 49 791 ha em 2010-2011, representando um crescimento de cerca de 177%.

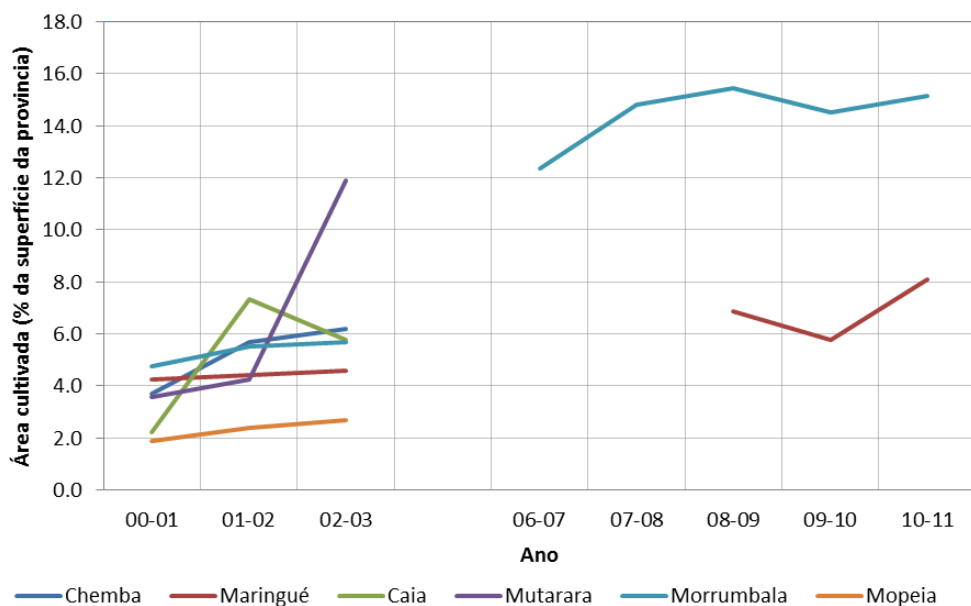
A Figura 5.22 evidencia ainda um crescimento da área cultivada no distrito de Mutarara no ano de 2002-2003 comparativamente com o período 2000 a 2002. De facto, a área cultivada passou de 27 101 ha em 2001-2002 para 75 613 ha em 2002-2003, o que representa um aumento de 279%. Este aumento tão elevado é também resultado da recuperação das infra-estruturas destruídas pelas cheias de 2000-2001 que restringiram actividade agrícola nas campanhas de 2000-2001 e 2001-2002.

Os dados disponíveis levam a crer que nos distritos de Chemba, Caia e Mopeia se tenha verificado uma evolução idêntica quanto à área cultivada.

As áreas actualmente cultivadas são ainda significativamente inferiores ao potencial de terra arável de cada um dos distritos (Quadro 5.14).

**Quadro 5.14 – Potencial de terra arável (Fonte: JVA Cencarta – IGN France International, 1999).**

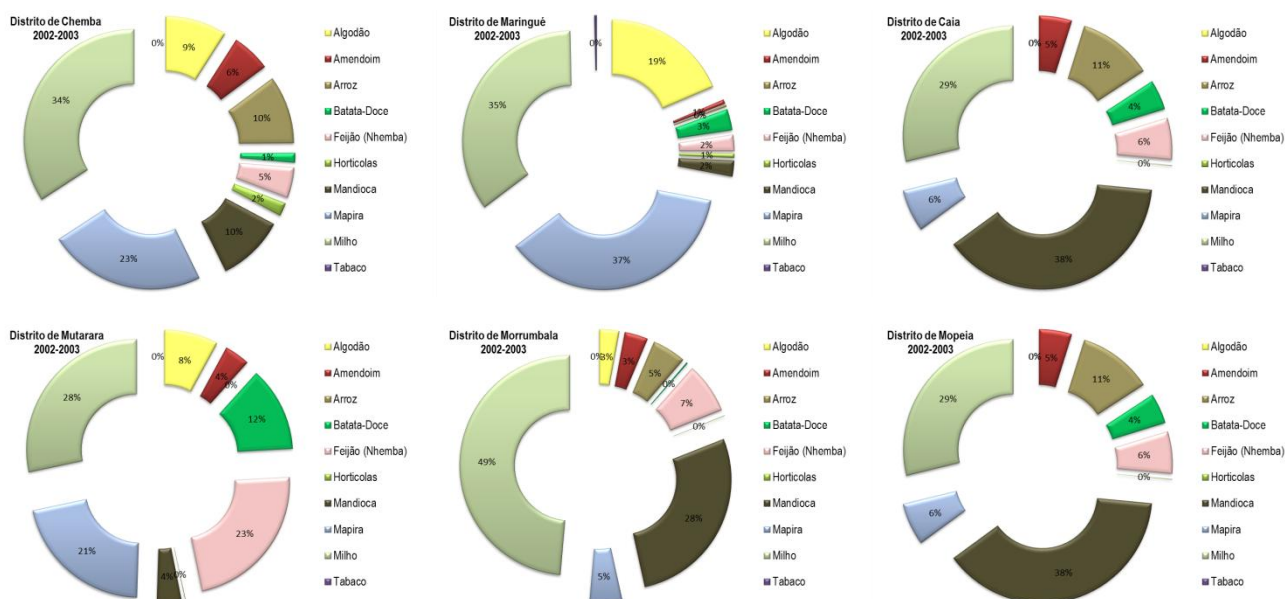
Distrito	Potencial de terra arável (ha)
Chemba	200 000
Maringué	120 000
Caia	135 000
Mutarara	300 000
Morrumbala	---
Mopeia	---



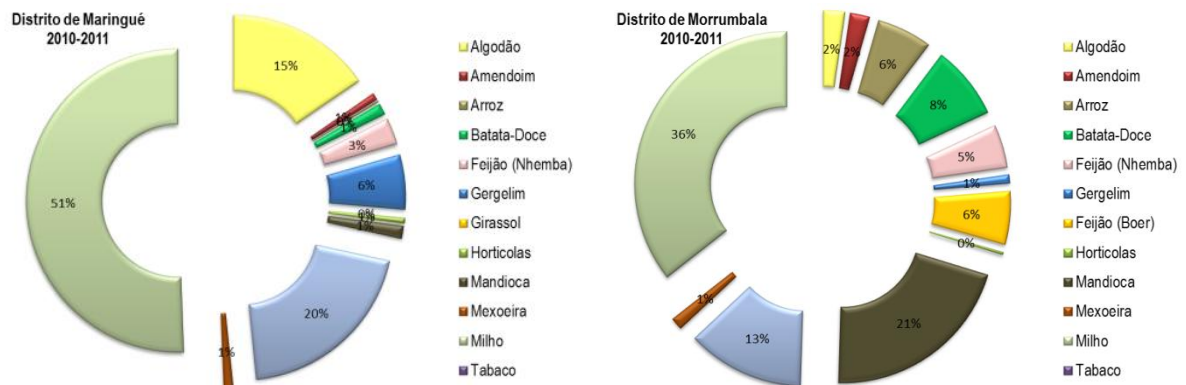
**Figura 5.22 – Evolução da área cultivada**

De um modo geral a agricultura é praticada sem recurso ao uso de maquinaria agrícola e em pequenas explorações familiares em regime de consociação de culturas e com base em variedades locais. As principais culturas alimentares do sector familiar são: milho, mapira, batata-doce, feijão e mandioca. O tabaco e amendoim também são cultivados, estas duas últimas como culturas de rendimento.

Na Figura 5.23 apresenta-se a ocupação cultural em 2002-2003 para todos os distritos da área de estudo. Na Figura 5.24 apresenta-se a ocupação cultural em 2010-2011, apenas para os distritos de Maringué e Morrumbala, que revela uma maior diversificação nas culturas comparativamente com a ocupação cultural de 2002-2003. O milho é a cultura principal nos distritos de Chemba, Mutarara e Morrumbala. Nos distritos do Caia e de Mopeia o tabaco é cultura com maior peso, enquanto no distrito de Maringué é a cultura de Mapira.



**Figura 5.23 – Ocupação cultural em 2002-2003**



**Figura 5.24 – Ocupação cultural em 2010-2011**

Normalmente, cultiva-se o milho e o algodão em monocultura, podendo por vezes, ser consociados com feijão nhemba. Na Figura 5.25 mostram-se algumas das principais culturas produzidas na área de estudo.



Cultura do Milho em consociação com o amendoim, Casa Branca – Distrito de Morrumbala (2012)



Cultura da Mandioca, Casa Branca – Distrito de Morrumbala (2012)



Cultura do Arroz, Regadio de Mopeia (2012)



Cultura do Arroz, junto ao cruzamento do rio LuaLua com a Estrada Nacional – Distrito de Mopeia (2012)



Monocultura do milho, próximo do rio Zangue – Distrito do Caia (2012)



Cultura do algodão, próximo de Subwé – Distrito de Maringué (2012)

**Figura 5.25 – Principais culturas na área de estudo**

No distrito de Morrumbala para além das culturas alimentares e de rendimento, o distrito tem um apreciável número de fruteiras, coqueiros e cajueiros.

Em todos os distritos, a produção agrícola é feita predominantemente em condições de sequeiro. Na área de estudo existem alguns regadios que, com excepção do regadio de Mopeia recentemente reabilitado, se encontram inoperacionais.

O distrito de Chemba possui cerca de 200 ha de regadio (Lambane) não operacionais devido ao estado de degradação das suas infra-estruturas. Neste distrito, a agricultura irrigada é possível ao longo do rio Zambeze com recursos a pequenos sistemas elevatórios. No interior do distrito, existem algumas terras onde é possível instalar pequenos sistemas de rega desde que sejam feitos investimentos em infra-estruturas de armazenamento de água (Perfil Distrital, 2005).

O distrito do Caia possui cerca de 2 300 ha de regadio (ex-complexo do Caia) não operacionais devido ao estado de degradação das infra-estruturas. Na faixa do distrito ao longo do rio Zambeze é possível fazer agricultura de regadio com recursos a pequenos sistemas elevatórios.

O distrito de Mopeia possui também um perímetro de rega (regadio de Mopeia), cujo projecto de reabilitação foi desenvolvido durante o período de 2004 a 2006. De acordo com as instruções oficiais, a beneficiação do perímetro de rega foi dividido em duas fases. Presentemente, encontra-se concluída a primeira fase que permite beneficiar uma área de cerca de 217 ha. A conclusão da 2ª fase do projecto permitirá regar uma área de cerca de 400 ha.

No Quadro 5.15 indicam-se para todos os distritos da área de estudo, os níveis de produção das principais culturas relativos à campanha de 2002-2003. No Quadro 5.16 e Quadro 5.17 indicam-se os níveis de produção das principais culturas nos distritos de Maringué (período 2008 a 2011) e Morrumbala (período 2006 a 2011).

**Quadro 5.15 – Produção média das culturas (ano 2002-2003)**

	Chemba		Maringué		Caia		Mutarara		Morrumbala		Mopeia	
	Produção (t)	Produtividade (t/ha)	Produção (t)	Produtividade (t/ha)	Produção (t)	Produtividade (t/ha)	Produção (t)	Produtividade (t/ha)	Produção (t)	Produtividade (t/ha)	Produção (t)	Produtividade (t/ha)
Milho	8 254	0.9	19 660	2.0	7 097	0.8	10 110	0.5	32 069	0.9	6 844	1.2
Arroz	2 150	0.8	40	0.5	2150	0.8	---	---	3 240	0.9	2 704	1.2
Gergelim	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Hortícolas	1 350	2.5	819	4.5	1 430	2.7	300	6.0	100	2.0	32	2.0
Algodão	---	---	5 152	1.0	860	0.8	3 000	0.5	1 550	0.7	---	---
Amendoim	703	0.5	72	0.4	195	0.4	565	0.2	1 250	0.5	731	0.7
Mexoeira	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Mapira	3 763	0.6	18 565	1.8	4 080	0.8	6 261	0.4	8 100	2.3	723	0.6
Batata-Reno	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Batata-Doce	1 875	5.0	2 300	2.6	---	---	65 891	7.0	375	2.5	3 572	3.9
Mandioca	16 163	6.0	3 000	4.6	2 586	1.4	2 000	0.7	86 500	4.3	31 758	4.0
Feijões	551	0.4	2 079	3.2	---	---	5 611	0.3	3 240	0.6	727	0.6
Tabaco			17	0.2								

**Quadro 5.16 – Produção agrícola no distrito de Maringué - período 2008 a 2011**

	2008-2009		2009-2010		2010-2011	
	Produção (t)	Produtividade (t/ha)	Produção (t)	Produtividade (t/ha)	Produção (t)	Produtividade (t/ha)
Milho	27055	1.3	12346	0.8	30623	1.2
Arroz	29	0.4	18	0.8	85	0.9
Gergelim	5854	0.9	220	0.8	2334	0.8
Hortícolas	4827	7.7	11921	6.9	3295	11.3
Algodão	---	---	4220	0.9	8058	1.0
Amendoim	260	0.8	401	1.2	574	1.5
Mexoeira	536	1.5	175	0.9	693	1.4
Mapira	6743	0.8	8656	0.9	7127	0.7
Batata-reno	59	9.8	39	5.3	32	6.6
Batata-Doce	1591	1.8	2061	1.8	2520	4.1
Mandioca	4568	8.0	2468	4.2	3108	4.5
Feijões	998	0.7	1014	0.8	1173	0.8
Girassol	1	0.4	9	0.5	6	0.3
Tabaco	5	0.9	2	0.4	6	0.5
Inhame	---	---	16	3.5	25	3.9
Taro	18	3.5	---	---	---	---
Madumbe	27	4.5	---	---	---	---

**Quadro 5.17 – Produção agrícola no distrito de Morrumbala - período 2006 a 2011**

	2006-2007		2007-2008		2008-2009		2009-2010		2010-2011	
	Produção (t)	Produtividade (t/ha)	Produção (t)	Produtividade (t/ha)	Produção (t)	Produtividade (t/ha)	Produção (t)	Produtividade (t/ha)	Produção (t)	Produtividade (t/ha)
Milho	78 477	1.5	93 480	1.5	97 725	1.5	71 924	0.9	103 630	1.5
Arroz	4 298	0.5	4 984	0.5	5 515	0.5	4 633	0.4	5 700	0.5
Gergelim	210	0.5	254	0.5	300	0.5	500	0.5	950	0.5
Hortícolas	290	2.0	350	2.0	400	2.0	1 596	3.0	1 450	2.3
Algodão	6 690	0.5	11 800	0.6	12 000	0.6	1 080	0.7	2 780	0.6
Amendoim	2 412	0.6	2 786	0.6	3 000	0.6	1 092	0.3	1 135	0.3
Mexoeira	630	0.3	743	0.3	743	0.3	480	0.3	779	0.3
Mapira	9 531	0.5	11 238	0.5	11 615	0.5	5 072	0.4	8 600	0.4
Batata-Reno	---	---	---	---	40	8.0	---	---	---	---
Batata-Doce	21 000	2.0	24 796	2.0	26 200	2.0	47 265	3.0	45 050	3.0
Mandioca	132 416	4.0	153 468	4.0	154 500	4.0	161 700	4.0	155 100	3.8
Feijão-Nhemba	1 290	0.3	1 523	0.3	3 023	0.4	3 571	0.4	3 919	0.4
Feijão-Boer	5 200	0.5	6 060	0.5	5 044	0.4	4 568	0.4	5 520	0.5

Os dados do Quadro 5.15 ao Quadro 5.17 mostram que as produtividades são muito baixas. De acordo com o perfil dos distritos de 2005, na produção de culturas alimentares, os factores limitantes são falta de sementes (40%), cheias (33%), falta de alfaia (13%), ocorrência de infestantes, aridez dos solos e falta de sistemas de irrigação. Não há muito investimento externo na agricultura e, as famílias usam métodos naturais e/ou tradicionais para aumentar a fertilidade dos solos.

### 5.4.3 Classificação do coberto vegetal e do uso da terra

Das cinco fontes de dados identificados, incluindo a classificação do uso e cobertura da terra feita no âmbito do baseline, considerou-se que a classificação da cobertura vegetal do inventário florestal nacional é a informação oficial mais recente ao nível do país, pelo que será considerada como documento-base para a identificação e distribuição das classes de uso/cobertura da terra. Esta carta (Figura 5.19) foi digitalizada a partir de imagens Landsat TM com resolução de 30 m. Reuniu toda informação anteriormente produzida ao nível provincial e nacional. Foi validada com recolhas de campo. O Quadro 5.18 apresenta as classes de uso e cobertura da terra dentro da área de estudo. O Quadro 5.18 apresenta as classes de uso e cobertura da terra na área de estudo.

**Quadro 5.18 – Áreas e composição das classes de uso e cobertura da terra a utilizar**

Classe de uso/ cobertura da terra	Descrição	Área (ha)	%	Ordem
1CXF	Agricultura itinerante com floresta aberta a fechada	181 382	2.93	10
1FC	Campos cultivados	249 069	4.03	8
1TC	Culturas arbóreas/ plantações florestais	217	0.00	22
<b>2FD</b>	<b>Floresta decídua</b>	<b>1 813 698</b>	<b>29.33</b>	<b>1</b>
2FE	Floresta sempre-verde	364 841	5.90	4
2FXC	Floresta fechada a aberta com agricultura itinerante	305 127	4.93	5
2GL	Pradaria	641 129	10.37	3

Classe de uso/ cobertura da terra	Descrição	Área (ha)	%	Ordem
2SL	Áreas arbustivas	200 075	3.24	9
2TK	Matagal (2 a 5m de altura)	2 085	0.03	15
<b>2WD</b>	<b>Floresta aberta (semi-) decídua – 15 a 65% de cobertura</b>	<b>1 638 464</b>	<b>26.50</b>	<b>2</b>
2WE	Floresta aberta sempre verde (15 a 65%)	63 923	1.03	13
4HF	Vegetação herbácea regularmente inundada	288 458	4.67	6
4SF	Arbustos em áreas regularmente inundadas	250 445	4.05	7
4WF	Floresta aberta (15 a 65%) em áreas regularmente inundadas.	70 382	1.14	12
5BU	Áreas habitacionais	1 042	0.02	16
8WB	Corpos de água	4 789	0.08	14
Estrada Primária		286	0.00	21
Estrada Secundária		425	0.01	18
Estrada Terciária		626	0.01	17
Estrada Vicinal		422	0.01	19
Estrada Não Classificada		403	0.01	20
Linha férrea		156	0.00	23
Área não classificada (recai em MALAWI)		105 881	1.71	11
<b>TOTAL</b>		<b>6 183 323</b>	<b>100</b>	<b>-</b>

A área de estudo é dominada por floresta decídua (classe 2FD) ocupando cerca de 29%. Esta comunidade vegetal ocupa quase toda a parte direita da margem esquerda do Rio Zambeze. A margem direita do Zambeze é dominada pela segunda classe de uso da terra, floresta aberta (semi) decídua (2WD) ocupando aproximadamente de 27% da área. Estas duas classes em conjunto totalizam mais da metade da ocupação da área, o que lhe confere impacto significativo sobre o escoamento superficial da área (ver Quadro 5.18 e Figura 5.19).

O mapa de vegetação do inventário florestal nacional será usado para calibrar o modelo VIC, sendo que a parte que recai sobre o Malawi será complementada com a classificação da AVHRR. As razões para a escolha da base de dados nacional como fonte de informação para a caracterização do coberto vegetal da área são as que se seguem: (i) foi produzida em 2007 ao contrário da classificação da AVHRR que resulta de um trabalho para todo mundo entre os anos 1994-1998, (ii) é de reconhecimento nacional, (iii) apresenta maior estratificação de classes, e por conseguinte, espelha melhor a diversidade local. O mapa de uso e cobertura final a ser usado para calibração do modelo é apresentado abaixo e suas respectivas composições





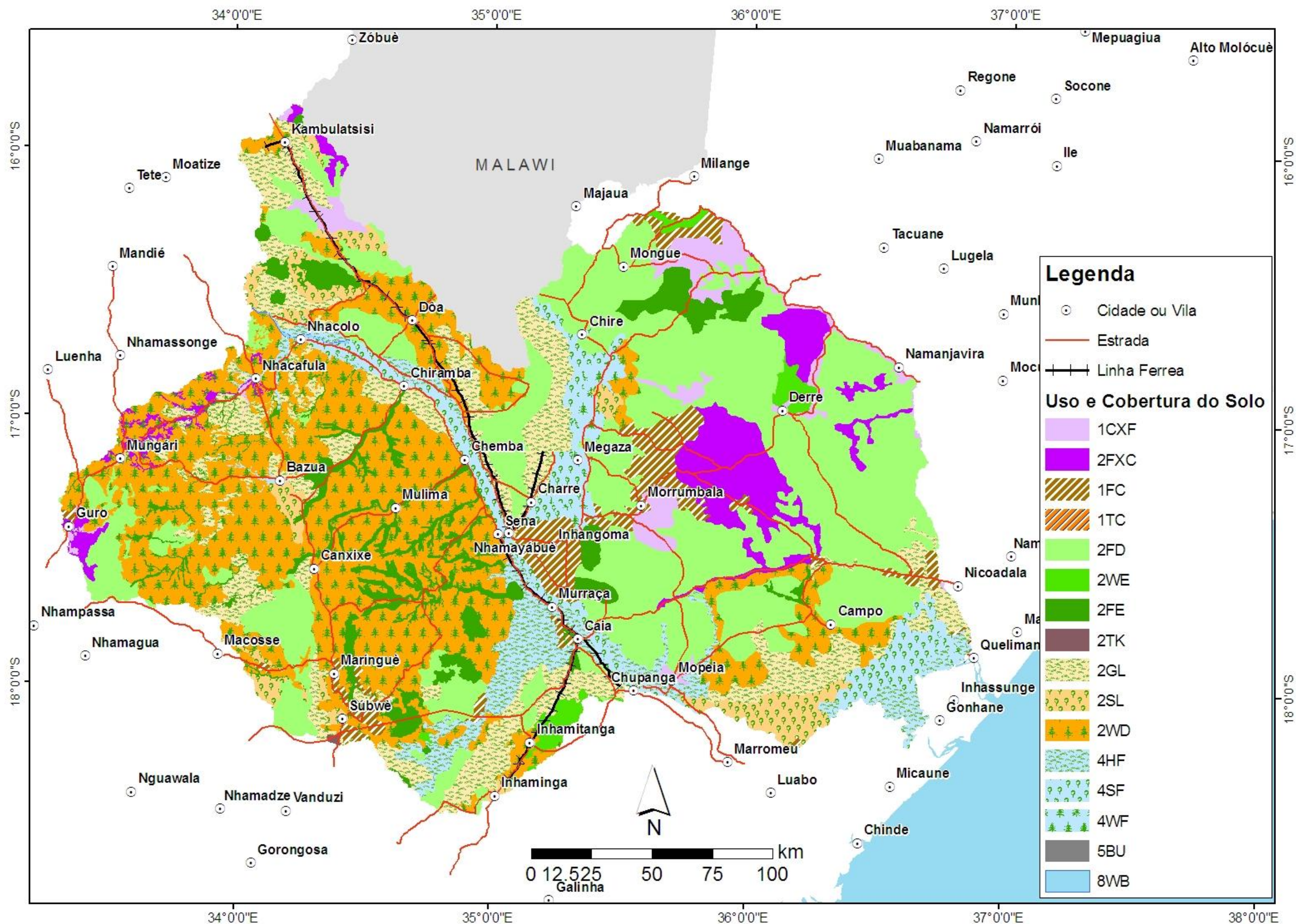


Figura 5.26 - Mapa de uso e cobertura da terra



#### 5.4.4 Adequação da classificação do coberto vegetal e do uso da terra ao modelo VIC

O mapa acima apresentado Figura 5.19 será dividido em células quadráticas de 1 km nas quais a informação sobre cada classe de vegetação dentro da célula será calculada. O mapa será transportado em formato *grid* contendo o cabeçalho com as mesmas referências do arquivo de solos.

Os parâmetros da vegetação foram estudados, tendo por base a classificação global da UMD, que se descreve em: (<http://ldas.gsfc.nasa.gov/nldas/NLDASmapveg.php>). Para usá-los no caso específico da área de estudo foi feita uma correspondência das classes de acordo com o Quadro 5.19.

**Quadro 5.19 - Relação entre as classes de uso e cobertura da terra**

<b>Classes do inventário florestal nacional</b>	<b>Classes da UMD</b>
Agricultura itinerante com floresta fechada a aberta	Mistura de cobertura
Campo agrícola	Campo agrícola
Culturas arbóreas/Plantações Florestais	Campo agrícola
Floresta decídua	Floresta de folhas finas/larga decídua
Floresta sempre-verde	Floresta de folhas finas/largas sempre-verde
Floresta fechada a aberta com agricultura itinerante	Mistura de cobertura
Pradaria	Pradaria
Arbustos	Arbustos fechados/abertos
Matagal	Arbustos abertos
Floresta aberta (semi-)decídua – 15 a 65%	Floresta de folhas finas decídua
Floresta sempre-verde (15 a 65%)	Floresta de folhas finas/largas sempre-verde
Vegetação herbácea regularmente inundada	Pradaria
Arbustos em áreas regularmente inundadas	Arbustos fechados/abertos
Floresta aberta (15 a 65%) em áreas regularmente inundadas	Pastagens arborizadas
Áreas habitacionais	Zona urbanizada ou construída
Corpos de água	Água
Linha férrea	Zona urbanizada ou construída
Estrada	Zona urbanizada ou construída

No modelo VIC, os dados sobre o uso e cobertura da terra são organizados em dois ficheiros, nomeadamente o arquivo da vegetação e a biblioteca. O arquivo da vegetação descreve a composição da vegetação em cada célula da grelha, e usa a mesma enumeração da grelha do ficheiro dos solos (latitudes, longitudes não são incluídos no ficheiro). Este ficheiro cruza as referências de qualquer tipo de vegetação (de qualquer sistema de classificação) às classes listadas na biblioteca da vegetação. Os parâmetros requeridos pelo arquivo de vegetação são apresentados no Quadro 5.15.

**Quadro 5.20 - Parâmetros requeridos pelo arquivo de vegetação (“veglib”)**

Nome da Variável	Descrição	Unidade
vegetat_type_num	Número de tipos de vegetação na célula	-
Repete para cada tipo de vegetação na célula:		
Nome da variável	Descrição	Unidade
Class	Número de identificação da classe de vegetação (índice de referência para a biblioteca da vegetação)	-
Cv	Fracção da célula da grelha coberta pelo tipo de vegetação	Fracção
Repete para cada zona radicular definida, dentro do tipo de vegetação:		
Nome da variável	Descrição	Unidade
root_depth	Espessura da zona radicular (igual a profundidade total de penetração das raízes)	m
root_fract	Fracção da raiz na zona radicular	Fracção
OPTIMAL (incluir se BLOWING SNOW = TRUE no arquivo global de parâmetros) – incluir para cada tipo de vegetação		
Nome da variável	Descrição	Unidade
Sigma_slope	Desvio padrão da declividade do terreno para cada classe de vegetação	-
lag_one	Auto-correlação do gradiente da declividade	-
Fetch	Média do comprimento para cada classe de vegetação	m
OPTIMAL (incluir se GLOBAL_LAI=TRUE no arquivo global dos parâmetros) – incluir para cada classe de vegetação		
Nome da variável	Descrição	Unidade
GLOBAL_LAI	Índice de área foliar, uma vez por mês	-

Os parâmetros acima apresentados são organizados mensalmente em forma de biblioteca de acordo com o Quadro 5.17 abaixo.

**Quadro 5.21 - Descrição de parâmetros requeridos pelo arquivo de vegetação (“veglib”)**

Coluna	Nome da Variável	Descrição	Unidade
1	veg_class	Número de identificação da classe de uso/cobertura da terra	-
2	OvrStry	Bandeira para indicar se a classe de uso/cobertura da terra possui uma copa (TRUE, para copa presente [ex: árvores], FALSE, para ausência de copa [ex: gramado])	-
3	Rarc	Resistência da arquitectura do tipo de cobertura (~ 2 s/m)	s/m
4	Rmin	Resistência estomatal mínima do tipo de cobertura (~100 s/m)	s/m
5	JAN-LAI	Índice de área foliar no mês de Janeiro	-
6	FEB-LAI	Índice de área foliar no mês de Fevereiro	-
7	MAR-LAI	Índice de área foliar no mês de Março	-
8	APR-LAI	Índice de área foliar no mês de Abril	-
9	MAY-LAI	Índice de área foliar no mês de Maio	-
10	JUN-LAI	Índice de área foliar no mês de Junho	-
11	JUL-LAI	Índice de área foliar no mês de Julho	-
12	AUG-LAI	Índice de área foliar no mês de Agosto	-
13	SEP-LAI	Índice de área foliar no mês de Setembro	-
14	OCT-LAI	Índice de área foliar no mês de Outubro	-
15	NOV-LAI	Índice de área foliar no mês de Novembro	-
16	DEC-LAI	Índice de área foliar no mês de Dezembro	-
17	JAN-ALB	Albedo no mês de Janeiro	Fracção

Coluna	Nome da Variável	Descrição	Unidade
18	FEB-ALB	Albedo no mês de Fevereiro	Fracção
19	MAR-ALB	Albedo no mês de Março	Fracção
20	APR-ALB	Albedo no mês de Abril	Fracção
21	MAY-ALB	Albedo no mês de Maio	Fracção
22	JUN-ALB	Albedo no mês de Junho	Fracção
23	JUL-ALB	Albedo no mês de Julho	Fracção
24	AUG-ALB	Albedo no mês de Agosto	Fracção
25	SEP-ALB	Albedo no mês de Setembro	Fracção
26	OCT-ALB	Albedo no mês de Outubro	Fracção
27	NOV-ALB	Albedo no mês de Novembro	Fracção
28	DEC-ALB	Albedo no mês de Dezembro	Fracção
29	JAN-ROU	Comprimento da rugosidade no mês de Janeiro	m
30	FEB-ROU	Comprimento da rugosidade no mês de Fevereiro	m
31	MAR-ROU	Comprimento da rugosidade no mês de Março	m
32	APR-ROU	Comprimento da rugosidade no mês de Abril	m
33	MAY-ROU	Comprimento da rugosidade no mês de Maio	m
34	JUN-ROU	Comprimento da rugosidade no mês de Junho	m
35	JUL-ROU	Comprimento da rugosidade no mês de Julho	m
36	AUG-ROU	Comprimento da rugosidade no mês de Agosto	m
37	SEP-ROU	Comprimento da rugosidade no mês de Setembro	m
38	OCT-ROU	Comprimento da rugosidade no mês de Outubro	m
39	NOV-ROU	Comprimento da rugosidade no mês de Novembro	m
40	DEC-ROU	Comprimento da rugosidade no mês de Dezembro	m
41	JAN-DIS	Altura do deslocamento do plano zero no mês de Janeiro	m
42	FEB-DIS	Altura do deslocamento do plano zero no mês de Fevereiro	m
43	MAR-DIS	Altura do deslocamento do plano zero no mês de Março	m
44	APR-DIS	Altura do deslocamento do plano zero no mês de Abril	m
45	MAY-DIS	Altura do deslocamento do plano zero no mês de Maio	m
46	JUN-DIS	Altura do deslocamento do plano zero no mês de Junho	m
47	JUL-DIS	Altura do deslocamento do plano zero no mês de Julho	m
48	AUG-DIS	Altura do deslocamento do plano zero no mês de Agosto	m
49	SEP-DIS	Altura do deslocamento do plano zero no mês de Setembro	m
50	OCT-DIS	Altura do deslocamento do plano zero no mês de Outubro	m
51	NOV-DIS	Altura do deslocamento do plano zero no mês de Novembro	m
52	DEC-DIS	Altura do deslocamento do plano zero no mês de Dezembro	m
53	WIND_H	Altura que foi medida a velocidade do vento	m
54	RGL	Radiação de onda curta mínima para ocorrer a transpiração	W/m <sup>2</sup>
55	SolAtn	Factor de atenuação da radiação	Fracção
56	WndAtn	Factor de atenuação da velocidade do vento	Fracção
57	Trunk	Taxa total da árvore que é tronco	Fracção
58	COMMENT	Tipo de cobertura	-

Para o preenchimento da biblioteca da vegetação para a área de estudo, os parâmetros de vegetação desenvolvidos pela LDAS (Land Data Assimilation System) será usado ([ftp://ftp.hydro.washington.edu/pub/HYDRO/models/VIC/Veg/veg\\_lib](ftp://ftp.hydro.washington.edu/pub/HYDRO/models/VIC/Veg/veg_lib)). Outros parâmetros como profundidade radicular, fracção da raiz na profundidade radicular estão disponíveis em Sellers et al. (1996).

Para o preenchimento da biblioteca da vegetação para a área de estudo, os parâmetros de vegetação desenvolvidos pela LDAS (Land Data Assimilation System) será usado ([ftp://ftp.hydro.washington.edu/pub/HYDRO/models/VIC/Veg/veg\\_lib](ftp://ftp.hydro.washington.edu/pub/HYDRO/models/VIC/Veg/veg_lib)). A maioria dos parâmetros a serem usados para preenchimento da biblioteca serão obtidos através da fonte anterior; outros parâmetros serão obtidos através várias fontes como Calder (1993) – rugosidade e deslocamento do plano zero, Ducoudré et al. (1993) – resistência arquitectónica, Defries e Townshend (1994) – resistência estomatal mínima e Sellers et al. (1996) - profundidade radicular, fracção da raiz na profundidade radicular, tal como sugerem Gao et al. (2009). A consulta de todas fontes anteriormente mencionadas resultou no Quadro abaixo com os intervalos e valores a serem adoptados para as diferentes classes de uso e cobertura do solo.

**Quadro 5.22 - Intervalos e valores a serem usados para diferentes classes de uso e cobertura da terra**

Classe de uso/cobertura da terra		Parâmetro de vegetação							
		Overstory <sup>(1)</sup>	$r_{arc}$ (s/m)	$r_{min}$ (s/m)	LAI	$\alpha$ (m)	$z_0$ (m)	$d_0$ (m)	$r_{GL}$
0	Água	0							
1	Floresta de folhas finas sempre-verde	1	25-60	120-250	3.40-4.40	0.10-0.20	1.4760	8.040	30
2	Floresta de folhas largas sempre-verde	1	25-60	120-250	3.40-4.40	0.10-0.20	1.4760	8.040	30
3	Floresta de folhas finas decídua	1	25-60	120-250	1.52-5.00	0.10-0.20	1.2300	6.700	30
4	Floresta de folhas largas decídua	1	25-60	120-250	1.52-5.00	0.10-0.20	1.2300	6.700	30
5	Mistura de cobertura	1	25-60	120-250	1.52-5.00	0.10-0.20	1.2300	6.700	50
6	Floresta madeireira	1	25-60	120-250	1.52-5.00	0.10-0.20	1.2300	6.700	50
7	Pastagens arborizadas	1	25-60	120-250	2.20-3.85	0.10-0.20	0.4950	1.000	75
8	Arbustos fechado	1	25-60	120-250	2.20-3.85	0.10-0.20	0.4950	1.000	75
9	Arbustos aberto	1	25-60	120-250	2.20-3.85	0.10-0.20	0.4950	1.000	75
10	Pradaria/graminal	0	25-60	120-250	2.20-3.85	0.10-0.20	0.0738	0.402	100
11	Campo agrícola	0	25-60	120-250	0.02-5.00	0.10-0.20	0.0060	1.005	100
12	Solo descoberto	0							
13	Zona urbanizada	1							

Overstory - Sinaleta para indicar se a classe de uso/cobertura da terra possui uma copa (1, para copa presente [ex: árvores], 0, para ausência de copa [ex: gramado]),  $r_{arc}$  – resistência arquitectónica,  $r_{min}$  – resistência estomatal mínima,  $\alpha$  – albedo,  $z_0$  – rugosidade,  $d_0$  – deslocamento do plano zero,  $r_{GL}$  – radiação mínima para que ocorra transpiração.

#### 5.4.5 Cenários de uso e cobertura da terra

Um dos objectivos primários do presente estudo é prever o impacto de diferentes opções de aproveitamento do uso da terra sobre o escoamento. Os cenários serão baseados com base nos planos distritais de uso e aproveitamento de terras em curso no âmbito do mesmo projecto em que se insere o presente estudo. Está previsto que estes documentos estejam prontos até Fevereiro de 2013, altura em que o modelo VIC estará calibrado para o efeito.

## 5.5 CAUDAIS

### 5.5.1 Inventário dos dados associados às estações hidrométricas

A existência de dados de caudais em quantidade e qualidade são a base para a realização de uma boa calibração para qualquer modelo hidrológico, por sua vez a não existência de caudais impede a sua calibração.

No âmbito do processo de aplicação do modelo VIC, foi feita durante a Fase Inicial o inventário das estações hidrométricas existentes e uma recolha dos vários dados associados às estações hidrométricas. Esta recolha foi aprofundada no período após a entrega desse relatório, que passou pela inventariação e recolha de todos os dados de caudais, alturas hidrométricas, medições de caudal e curvas de vazão existentes nas estações hidrométricas que irão ser utilizadas na calibração e na exploração do modelo VIC.

A Figura 5.27 apresenta a localização das estações hidrométricas existentes na área de estudo, actualmente em operação e que serão utilizadas neste estudo. A Figura 5.28 mostra o inventário dos dados de alturas hidrométricas das estações referidas, nomeadamente no rio Zambeze (E298 Lupata; E299 Tambara; E295 Chiramba, E293 Mutarara e E291 Caia) e nos afluentes do rio Zambeze (E289 Megaza e E288 Chire Batelão no rio Chire; E101 Derre e E480 EN1 no rio Lualua; E403 Mopeia no rio Cuácua e E442 Mopeia no rio Lungozi).

Como se pode observar, nos últimos anos, existem muitas falhas nas leituras das escalas hidrométricas, sendo por isso muito o reduzido o número de anos com dados completos de leituras de alturas hidrométricas. Para as 11 estações seleccionadas e para o período de 1998/90 a 2010/2011 (13 anos) apenas existem 20 anos com registos de altura em contínuo, o que dá em média apenas um ano por estação num período de 13 anos.

Da análise da distribuição geográfica das estações hidrométricas, verifica-se que na área de estudo existem cinco estações no rio Zambeze e 6 estações na margem esquerda do rio Zambeze e nenhuma estação na margem direita. A pesquisa feita em arquivos históricos mostra, que na margem direita do rio Zambeze entre Lupata e Caia nunca existiram estações hidrométricas no passado, nem existem actualmente, devido principalmente às características extremamente torrenciais do regime de caudais destes afluentes, com caudais superficiais a ocorrerem em pequenos períodos do ano e apenas em resposta a fortes chuvadas, o que dificulta a realização de medições de caudal em tempo útil e por consequência a obtenção de caudais.

Por isso a calibração do modelo VIC será realizada fundamentalmente para a margem esquerda do Zambeze, utilizando as estações existentes no Rio Lualua E101 - Derre e E480 - EN1 e reinstalando uma nova estação no rio Lungozi, perto de Mopeia, a ser localizada no local da antiga estação E442 – Mopeia.





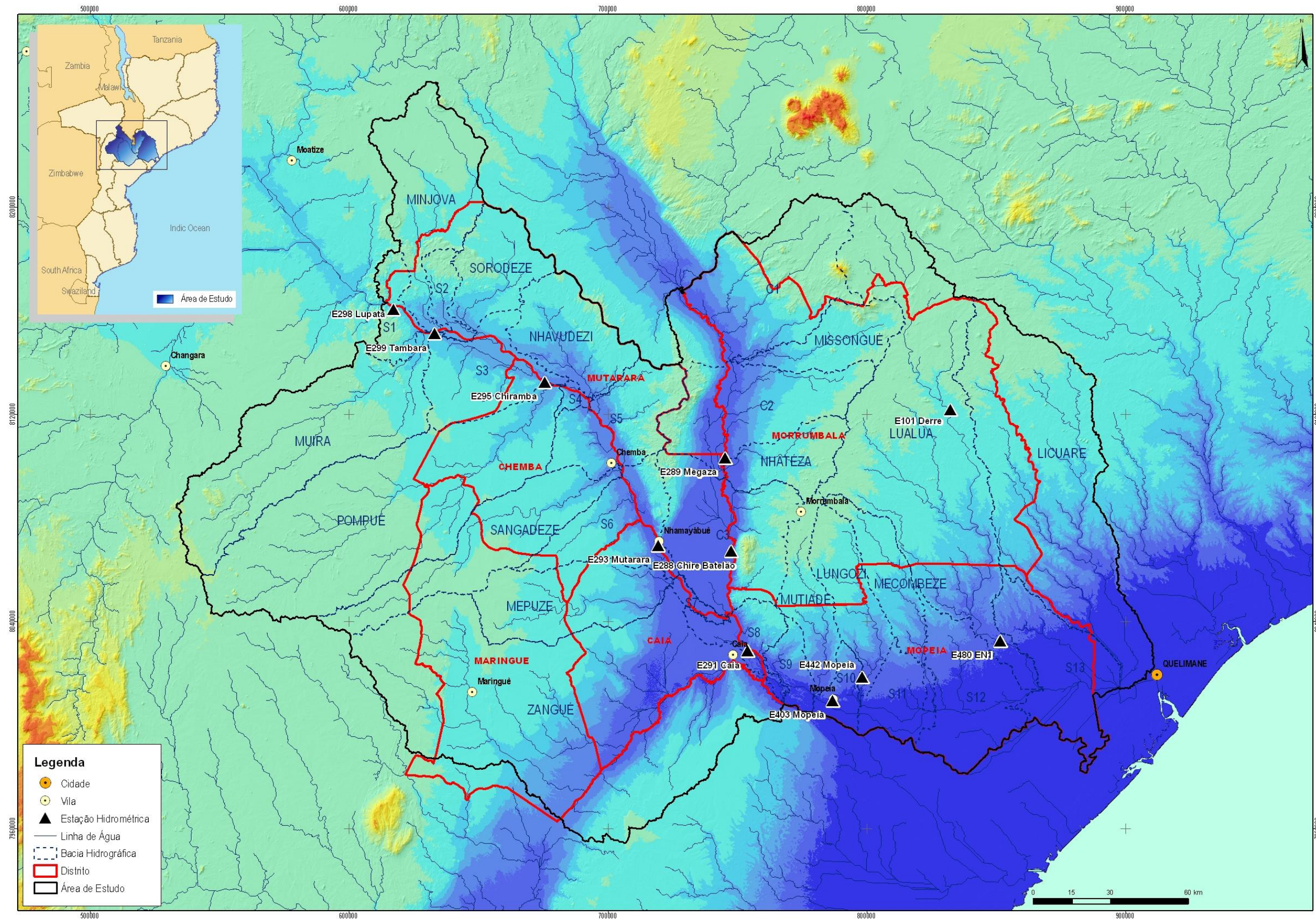


Figura 5.27 - Localização das estações hidrométricas na área de estudo





Os caudais numa estação hidrométrica são calculados através da aplicação de equações de uma curva de vazão, tendo como dado de entrada as alturas hidrométricas medidas no campo. Para calcular as curvas de vazão (equação que relaciona os caudais com as alturas hidrométricas) é necessário realizar medições de caudal nos locais onde se quer ter curvas de vazão.

Após a elaboração do Relatório Inicial, foi aprofundada a recolha de dados com a obtenção dos dados de medições de caudal e de curvas de vazão históricas e promovida a realização de novas medições de caudal. No Quadro 5.23 apresenta-se um resumo dos dados recolhidos e das medições realizadas até ao momento.

**Quadro 5.23 – Dados recolhidos de medições de caudal e curvas de vazão**

Estação Hidrométrica	Número de medições caudal		N.º Curvas de Vazão
	Histórica	Actual	
E101 - Derre	137	1	9
E403 - Mopeia	62	1	6
E442 - Mopeia	50	2	5
E480 - Campo/EN1	53	1	7

Com base nos dados recolhidos foram analisadas as medições e as curvas de vazão históricas existentes para cada estação, que se descrevem de seguida.

#### **E101 – Derre no rio Lualua**

Conforme se pode ver no Quadro 5.23, nesta estação foram efectuadas 137 medições de caudal entre 24 de Junho de 1958 e 17 de Maio de 1985 e estabelecidas 9 curvas de vazão que são válidas em determinados períodos e cujos principais parâmetros se apresentam no Quadro 5.24 – Curvas de vazão na E101 - Derre Quadro 5.24.

As curvas de vazão podem ter mais de um tramo (equações diferentes para gama de alturas diferentes) e seguem uma equação do tipo:

$$Q = a (h - h_0)^b$$

Onde:

Q - caudal

a, b: parâmetros da equação

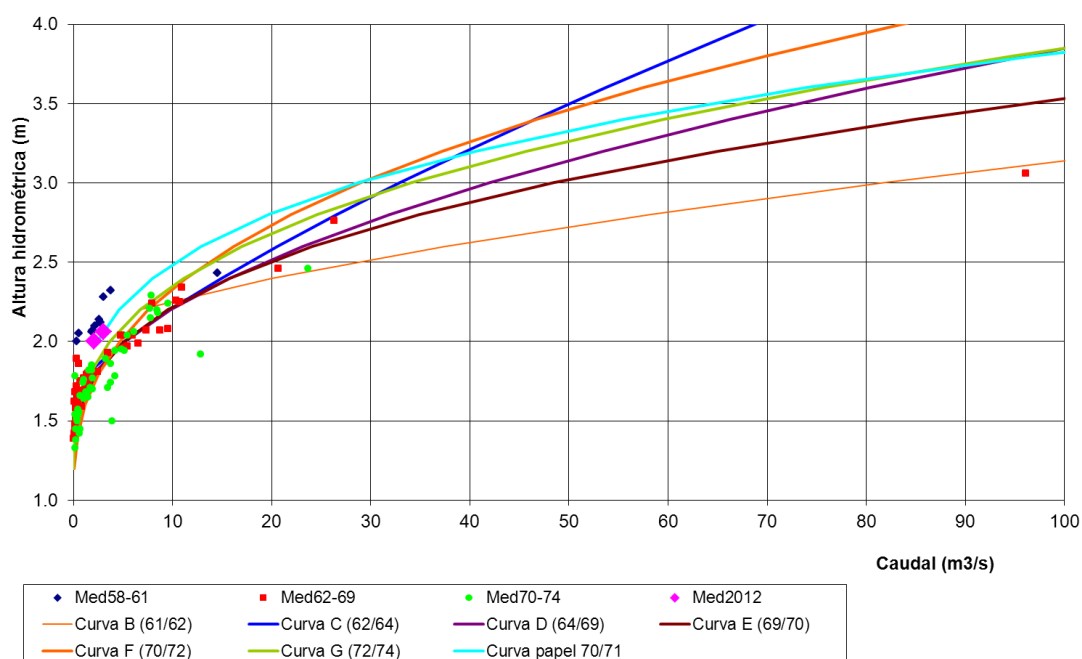
h: altura de cálculo,  $h_0$ : altura mínima de referência,

É de referir as equações das curvas de vazão no Quadro 5.24 e nos quadros para as outras estações, aparecem de forma crescente de datas e o período de validade de cada curva é dado entre a data indicada e a data da curva seguinte. O parâmetro  $h_{max}$  corresponde à altura máxima de validade da curva, não foi encontrada uma razão ou base para a determinação deste valor. O mesmo deve ter sido automaticamente indicado, pois não tem qualquer referência às máximas alturas das medições de caudal.

**Quadro 5.24 – Curvas de vazão na E101 - Derre**

Curva	Data	a	ho	b	hmax
A	24jun1958	5.818	1.617	1.300	10
B	3ago1961	83.841	2.016	1.497	10
C	16jul1963	23.081	1.685	1.300	10
D	9jan1965	18.551	1.480	1.952	10
E	27out1969	9.210	1.190	2.800	10
F	21out1970	5.006	1.027	2.584	10
G	15nov1972	6.402	1.183	2.800	10
H	29out1974	0.092	-0.400	1.300	10
I	8out1975	0.734	0.941	1.300	10

A Figura 5.29 apresenta as curvas de vazão atrás referidas e as medições de caudais antigas e recentes. Foram eliminadas as medições realizadas a partir de 28 Agosto de 1975 por contradições com os resultados anteriores, o que faz prever a existência de erros nas medições, talvez devido à má calibração dos micromolinetes. As curvas A, G e H foram igualmente eliminadas da Figura 5.29, por se afastarem radicalmente das restantes curvas de vazão.



**Figura 5.29 – Curvas de vazão e medições de caudal na E101-Derre**

Como se pode observar nesta figura existe uma boa coerência entre várias curvas apresentadas e as medições de caudal realizadas ao longo dos anos, com excepção das medições realizadas antes de 1961, que apresentam alturas cerca de 40 cm acima das restantes para os mesmos caudais. Estas diferenças podem ser devido a mudanças do leito do rio Lualua na secção da estação ou a obras no rio que tenham sido realizadas na zona envolvendo a secção da estação.

As medições antigas podem apoiar o estabelecimento da nova curva de vazão, principalmente nos caudais altos, no entanto as medições de caudal efectuadas recentemente são insuficientes para apoiar o estabelecimento de uma nova curva de vazão para os dias de hoje, sendo por isso necessário efectuar mais medições de caudal, em particular para os caudais elevados e ou de média dimensão.

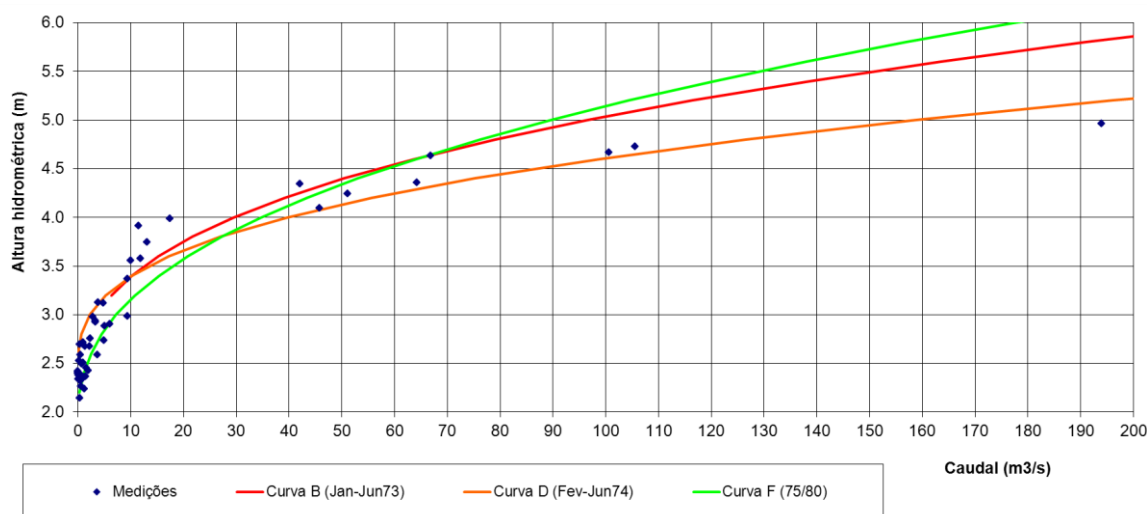
## E480 – Campo no rio Lualua

Conforme se pode ver no Quadro 5.23 nesta estação foram efectuadas 53 medições de caudal entre 6 de Julho de 1972 e 12 de Abril de 2000 e estabelecidas 7 curvas de vazão, cujos principais parâmetros se apresentam no Quadro 5.25.

**Quadro 5.25 – Curvas de vazão na E480 - Campo**

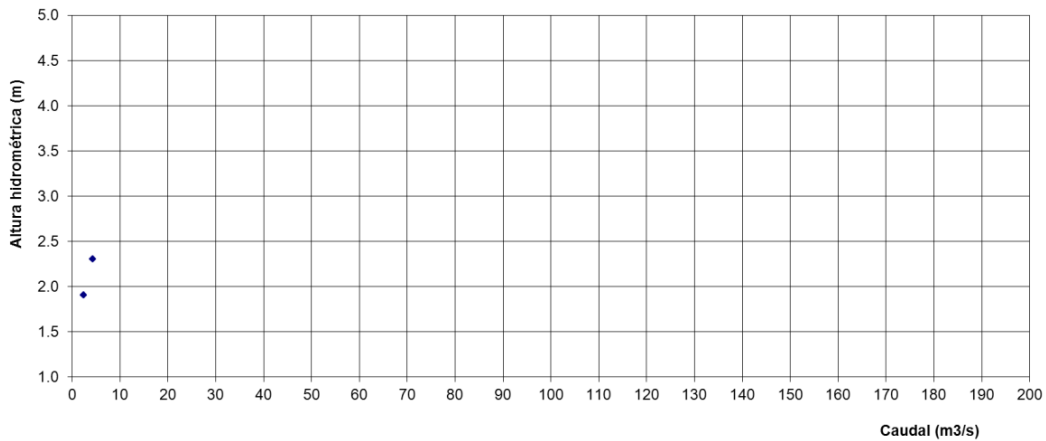
Curva	Data	a	ho	b	hmax
A	6jul1972	2.877	2.367	1.382	10
B	30jan1973	4.897	2.100	2.800	10
C	4jul1973	8.287	2.272	1.908	10
D	14jan1974	11.432	2.441	2.800	10
E	22ago1974	0.951	1.305	2.800	10
F	26mar1976	5.509	1.881	2.452	10
G	8mai1980	4.232	1.808	2.648	10

A Figura 5.30 apresenta a representação gráfica das várias curvas de vazão da estação E480 – Campo e as medições de caudais realizadas. Foram eliminadas as duas medições realizadas em Março e Abril de 2000. É de referir que a estação E480 foi mudada de localização e que estas medições devem já corresponder à nova localização na Estrada Nacional N.º 1 (EN1). As curvas A, C, E e G foram igualmente eliminadas da Figura 5.29, por se afastarem radicalmente das restantes curvas de vazão.



**Figura 5.30 – Curvas de vazão e medições de caudal na E480 - Campo**

Como se referiu atrás, a estação hidrométrica E480 – Campo foi reinstalada em 2000 num novo local (na ponte sobre o rio Lualua na EN1), passando a designar-se por E480 – EN1. Por isso, estas curvas de vazão apenas se podem usar para o período anterior a 1982, sendo necessário efectuar uma nova curva de vazão, que não poderá ser apoiada pelas medições antigas. Na Figura 5.31 representam-se as medições de caudal realizadas em 2012. É de referir que a gama de valores de caudal prevista para o Rio Lualua na EN1 deverá variar entre 0 e 200 m<sup>3</sup>/s, o que permite constatar da importância de obter medições para caudais mais elevados.



**Figura 5.31 – Medições de caudal realizadas em 2012 na E480 - EN1**

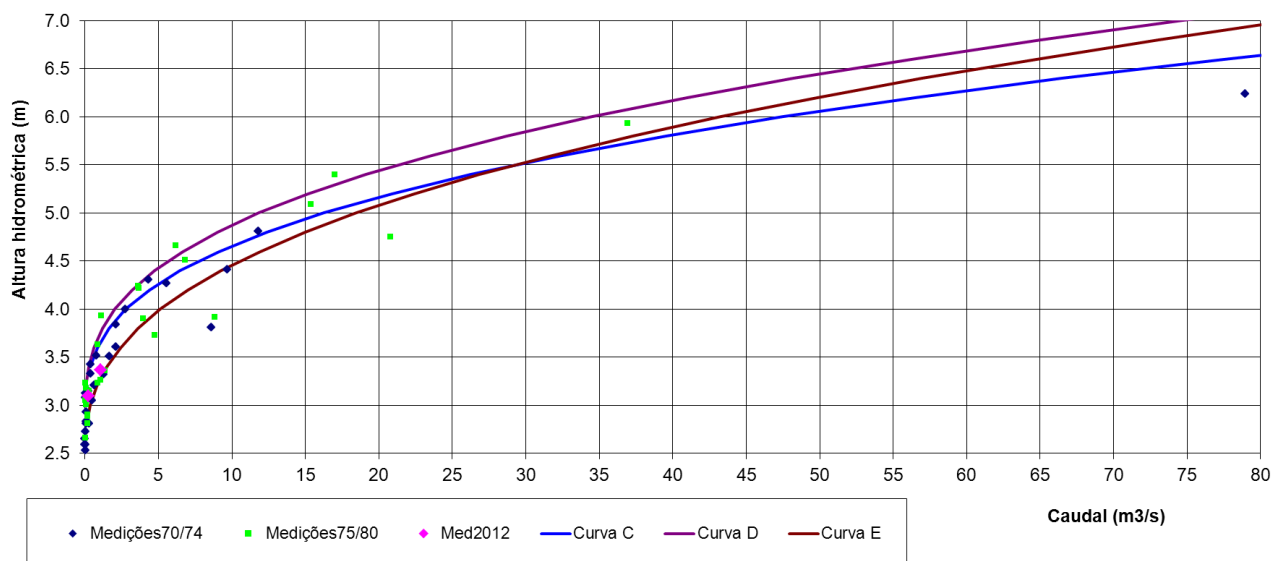
### E403 – Mopeia no rio Cuácuá

Conforme se pode ver no Quadro 5.23 nesta estação foram efectuadas 62 medições de caudal entre 29 de Setembro de 1970 e 16 de Outubro de 1982 e estabelecidas 6 curvas de vazão, cujas datas de validade e principais parâmetros se apresentam no Quadro 5.26.

**Quadro 5.26 – Curvas de vazão na E403 - Mopeia**

Curva	Data	a	ho	b	Hmax
A	27nov1970	1.234	2.374	2.437	10
B	28jun1972	0.554	2.628	1.377	10
C	22mai1974	1.925	2.858	2.800	10
D	27mar1975	1.389	2.851	2.800	10
E	7jan1981	1.577	2.423	2.598	10
F	16jun1982	6.316	2.803	2.800	10

A Figura 5.32 apresenta as curvas de vazão atrás referidas e as medições de caudais antigas e recentes. Foram eliminadas as curvas A, B e F por se afastarem radicalmente das restantes curvas de vazão.



**Figura 5.32 – Curvas de vazão e medições de caudal na E403 - Mopeia**

A escala hidrométrica instalada em 2000 tem o zero da escala 1,20 m abaixo do zero da escala hidrométrica que estava instalada anteriormente, pelo que para compatibilizar as medições antigas com as recentes, deve-se somar 1,2 m às leituras actuais (o que foi feito na Figura 5.33) ou diminuir 3 m aos dados das alturas antigas. É de referir que o zero da escala deverá ser verificado com um levantamento topográfico.

Como se pode observar existe uma boa coerência entre várias curvas apresentadas e as medições de caudal realizadas ao longo dos anos. Existem poucas medições de caudal realizadas recentemente e apenas para caudais baixos, sendo por isso necessário efectuar mais medições de caudal, em particular para caudais elevados ou de média dimensão.

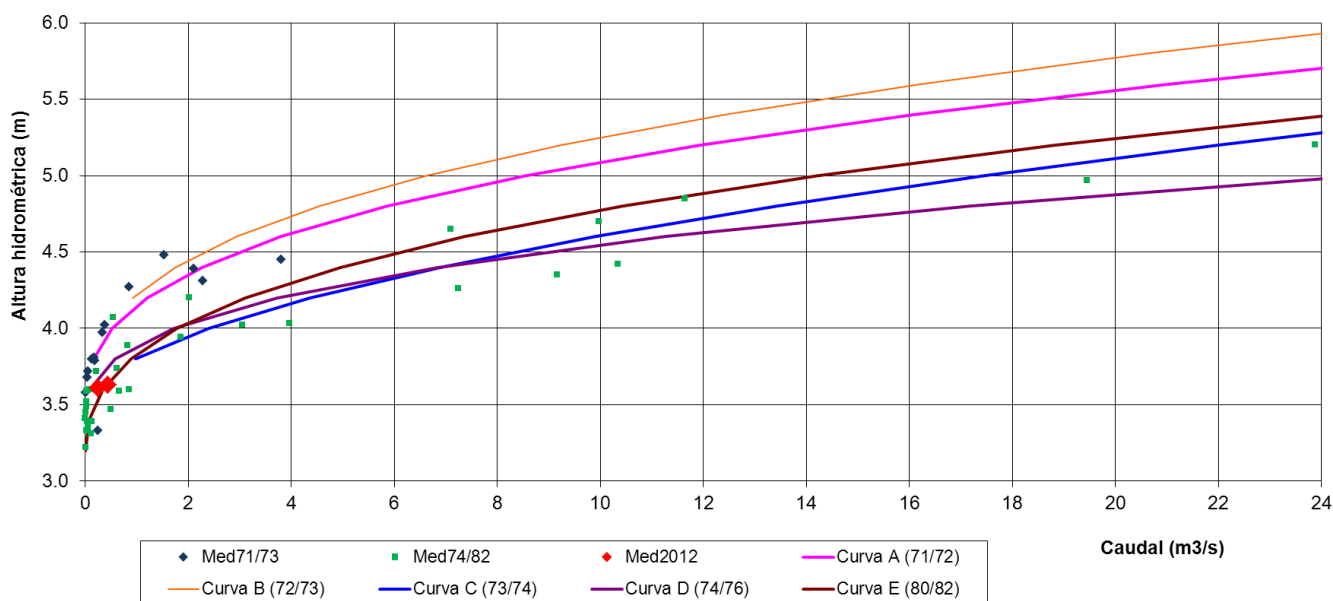
#### E442 – Mopeia no rio Lungozi

Conforme se pode ver no Quadro 5.23 nesta estação foram efectuadas 50 medições de caudal entre 16 de Junho de 1972 e 16 de Outubro de 1982 e estabelecidas 5 curvas de vazão validas para os referidos períodos e cujos principais parâmetros se apresentam no Quadro 5.27.

**Quadro 5.27 – Curvas de vazão na E442 - Mopeia**

Curva	Data	a	ho	b	hmax
A	16jun1971	2.349	3.413	2.800	10
B	30jan1973	1.930	3.435	2.754	10
C	14jan1974	7.985	3.477	1.861	10
D	24set1974	6.353	3.373	2.800	10
E	7nov1980	2.332	3.092	2.800	10

A Figura 5.33 apresenta as curvas de vazão atrás referidas e as medições de caudais antigas e recentes. Não foram eliminadas quaisquer curvas, mas curvas A e B de 1971/72 e 1972/73 tem cerca alturas hidrométricas 50 cm acima das restantes curvas, o que pode denotar algum problema ou a alteração da configuração do leito do rio na secção da estação ao longo do tempo.



**Figura 5.33 – Curvas de vazão e medições de caudal na E442 - Mopeia**



A escala hidrométrica instalada em Maio de 2012 é constituída por troço de 0 a 2 m, enquanto a escala histórica existente era constituída pelos troços de 3 a 5 m. Neste sentido para compatibilizar as medições antigas com as recentes, deve-se somar 3 m às leituras actuais (o que foi feito na Figura 5.33) ou diminuir 1,2 m aos dados das alturas antigas. É de referir que o zero da escala deverá ser verificado através dum levantamento topográfico.

Existem poucas medições de caudal realizadas recentemente e que são insuficientes para apoiar a definição da curva de vazão para os dias de hoje, sendo por isso necessário efectuar mais medições de caudal, em particular para os caudais elevados e ou de média dimensão.

### **Restantes estações hidrométricas**

Para as restantes estações hidrométricas referidas na Figura 5.28 foi feita a recolha de dados de caudal, que irá permitir estabelecer as condições de montante do modelo, nomeadamente os caudais afluentes ao modelo no rio Zambeze em Lupata e no rio Chire em Chilomo.



## 6 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DO ZAMBEZEDIF

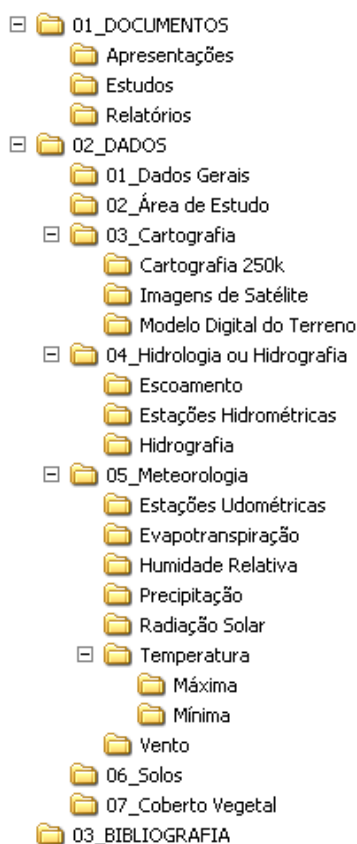
Geralmente as informações são úteis apenas quando são partilhadas pelos intervenientes nos projectos pluridisciplinares, como é o caso do actual. A partilha do conhecimento geográfico sob a forma numérica é uma das maiores vantagens da evolução tecnológica dos últimos anos.

Neste momento, existe um vasto conjunto de dados que foram recolhidos, tratados e armazenados de modo a garantir a existência de informação adequada para fundamentar os estudos necessários para a calibração e exploração do modelo VIC. Esta informação geográfica em formato digital tem vindo a ser organizada numa estrutura de acordo com as necessidades das diferentes especialidades envolvidas, mas procurando satisfazer igualmente um público mais geral.

A informação produzida será estruturada em 3 grandes grupos como seguidamente se apresenta:

- **Documentos** – Onde serão organizados todos os documentos que façam parte do projecto e que sejam apresentados ou utilizados durante o mesmo, nomeadamente apresentações feitas pelo consórcio, estudos intermédios necessários à execução de um dado factor, os relatórios finais entregues;
- **Dados** – Onde serão organizados todos os elementos em formato vectorial, raster, ascii, texto, que tenham tido uma influência directa no cálculo de parâmetros para o modelo VIC, bem como os cenários previstos e os resultados de utilização do modelo;
  - Dados Gerais – Onde se incluirão os limites administrativos, rede viária, toponímia, aglomerados urbanos;
  - Área de Estudo – com a apresentação do limite da área de estudo, grelha de células usadas no cálculo, para além de informação sobre as bacias hidrográficas e a rede hidrográfica;
  - Cartografia - Onde serão organizadas os dados referentes à cartografia 250k, às imagens de satélite existentes e aos dados de superfície, nomeadamente Modelo Digital do Terreno;
  - Hidrologia – Onde se apresentarão as estações hidrométricas, a rede hidrográfica e os dados sobre caudais;
  - Meteorologia – Onde se organizará a informação relativa a dados meteorológicos, como são: precipitação, temperatura máxima, temperatura mínima, ventos, radiação solar, bem como identificação as estações udométricas, climatológicas e meteorológicas;
  - Solos – Onde se apresentarão e organizarão os elementos gráficos e alfanuméricos do estudo dos solos;
  - Coberto Vegetal – Neste conjunto irão ser apresentadas as plantas com as várias classes de coberto vegetal e uso da terra, bem como outros dados correlacionados.
- **Bibliografia** – Toda a bibliografia utilizada será recolhida e apresentada neste capítulo.

Apresenta-se de seguida uma sugestão da estrutura a adoptar para a organização final dos elementos e para a estruturação do ZambezeDif:



**Figura 6.1 – Estrutura preliminar da organização da informação do ZambezeDif**

A solução apresentada será uma solução escalável ao longo da vida do projecto, tendo em conta que irá permitir a integração contínua dos elementos que forem sendo recolhidos e tratados à medida que o projecto evoluir e forem sendo criados dados cada vez mais actuais.

A consulta dos dados finais na internet obedecerá a critérios exigentes de disponibilização de dados *worldwide* e pretenderá ser uma plataforma de rápido processamento e fácil manuseamento, não só do ponto de vista do utilizador como do ponto de vista do responsável pela sua manutenção. Em Outubro será instalado uma primeira versão de um site na internet para divulgação do trabalho do Projecto e dos principais resultados obtidos.

## 7 TREINO

### 7.1 FORMAÇÃO NO ÂMBITO DO ZAMBEZEVIC

Para além do curso sobre o Modelo VIC, a realizar em Fevereiro de 2012, conforme previsto no Plano de Trabalhos, será organizada uma secção de treino e formação preliminar sobre o modelo VIC e sobre a recolha e tratamento dos dados de entrada do modelo na próxima estadia em Tete, prevista para Outubro. Nesta sessão será feita uma breve descrição dos procedimentos gerais de modelação hidrológica e a apresentação do modelo VIC e das suas principais componentes, com destaque para o tratamento e preparação de dados. Será igualmente analisadas as condições para efectuar o próximo curso previsto para Fevereiro de 2012.

O curso de treinamento sobre o modelo VIC, propriamente dito, contará com uma base de dados pré-estabelecida e um manual de instruções a ser disponibilizado a todos participantes. O treinamento terá duas partes distintas: uma teórica e outra prática. Na primeira, as bases teóricas de funcionamento do modelo serão administradas. Inclui-se na teoria a fonte de obtenção do modelo, dos dados, a operacionalização do modelo e a sua calibração, visualização e interpretação dos resultados.

Os cursantes terão a oportunidade de aplicar na prática o modelo com auxílio dos técnicos e tirar as suas dúvidas. A parte prática é fundamental no processo de treinamento, estando previsto a aplicação do modelo em exemplos simples.

Os principais objectivos do curso de treinamento em utilização do ZambezeVIC são:

- Permitir que os técnicos tenham contacto com as metodologias de modelação hidrológica. Isto permitirá aos participantes adquirirem conhecimentos complementares à sua formação académica e profissional;
- Permitir que os técnicos explorem o modelo usado no estudo, dando-lhes conhecimentos específicos sobre o mesmo e sobre as componentes envolvidas no projecto;
- Assegurar a transmissão de conhecimentos, que será fundamental para efectuar as tarefas futuras.

O desenvolvimento do treino será efectuado de acordo com o planeado no Plano de Trabalhos do Relatório Inicial.

### 7.2 FORMAÇÃO NO ÂMBITO DO ZAMBEZEDIF

Com a estrutura de organização dos dados finais, começa a antever-se a quantidade de informação que virá a ser filtrada para os ajustamentos do modelo e ainda as necessidades que existirão de manutenção futura da informação. Por tal razão, é importante reforçar, neste momento, as preocupações do consórcio relativamente à formação e conhecimentos de base dos técnicos que virão a integrar a formação proposta no âmbito do ZambezeDIF.

O ZambezeDIF deverá ser encarado como um instrumento de acção e gestão cuja configuração final se pretende clara e tecnicamente sustentada, enquadrando e armazenando as grandes variáveis dos estudos.

Deste modo, é indispensável que os profissionais adquiriam um nível de conhecimento que será fundamental na sua vida profissional, com uma componente sólida, tanto teórica como prática, que trará inevitavelmente uma capacidade de exploração das potencialidades que as tecnologias de tratamento e análise da informação têm vindo a desenvolver. Ser-lhes-á assim possível desenvolver e beneficiar das mais-valias em termos de qualidade, rentabilidade e eficácia na gestão e realização das suas tarefas diárias.

Pelo conhecimento que se adquiriu noutras acções de formação em contexto semelhante e fundamentalmente pela avaliação das necessidades que se entendem expectáveis aos técnicos que virão a fazer parte da equipa que fará a gestão dos dados finais e que naturalmente terá a missão de incorporar nova informação, o consórcio entende que é relevante referir e definir os conhecimentos de base que os formandos deverão possuir.

Deste modo, tendo em conta os itens abordados e a sua dependência das tecnologias da informação é fundamental que os técnicos que venham a ser designados para frequentar os cursos estejam, no mínimo, familiarizados com a utilização de:

- Informática na óptica do utilizador;
- ferramentas de desenho CAD (Computer Aided Design);
- noções de programação numa das linguagens mais comuns (Fortran, C++ ou Matlab)
- já tenham estado envolvidos em projectos de informação geográfica em formato digital.

Deverão fazer parte do grupo de formação os técnicos que venham a ser responsáveis pela actualização e manutenção dos dados geográficos que serão entregues no âmbito do estudo.

Considerando o objectivo da formação, entre os técnicos escolhidos deverão encontrar-se os que desempenharão as seguintes funções:

- Responsável pela Manipulação e Manutenção do Sistema de Informação Geográfica;
- Responsável pela introdução de novos dados no sistema;
- Responsável pela validação/análise dos novos dados;
- Responsável pela gestão do ZambeziDIF.

O programa, no âmbito dos objectivos fixados pela formação, manterá um grau elevado de flexibilidade para adaptar-se aos conhecimentos dos técnicos e um esforço específico será estendido sobre aos pontos mais fracos da sua formação ou experiência, no entanto não será possível cumprir o calendário se os técnicos não respeitarem as condições básicas de formação referidas.

## 8 RESUMO E DESAFIOS

### Trabalho desenvolvido

No período desde a elaboração do Relatório Inicial, foram desenvolvidas as diversas tarefas previstas no Plano de trabalhos publicado no Relatório Inicial para esta fase de trabalho: Fase 2 - Recolha, Organização dos Dados e Treino no Trabalho.

No âmbito do trabalho desenvolvido, destaca-se a recolha e análise de dados necessários para aplicar o modelo VIC, nomeadamente, os dados climáticos, dados de solos e dados do coberto vegetal e de uso da terra, bem como os dados para a sua calibração.

Os dados climáticos foram recolhidos na DNA e INAM a partir dos registos das estações udométricas e climatológicas e em bases de dados globais que mantêm arquivos de dados obtidos a partir do tratamento de imagens de satélite. Os dados climáticos terão de continuar a ser recolhidos, pois o modelo VIC será aplicado a um período recente, devendo incluir a maior parte da época húmida do ano hidrológico de 2012/13. O período de estudo deve assim decorrer entre 2007/08 a 2012-13, pois os dados mais completos registam-se nos últimos anos e as medições de caudais só agora estão a ser efectuadas, como parte da implementação do presente estudo. É de referir igualmente, conforme destacado no estudo de base deste programa, que um período inicial (2 a 3 anos) é necessário para estabilizar as condições hidrológicas do modelo VIC, período também designado por inicialização do modelo.

Os dados sobre solos foram exaustivamente recolhidos em Moçambique e em Portugal, bem como diversos perfis tipo de solo e estão ainda em fase de processamento para a sua adequação ao cálculo dos parâmetros de entrada do modelo VIC.

Os dados de coberto vegetal foram intensamente analisados, tentando ter a caracterização da situação actual, que irá servir de referência à calibração do modelo e à sua exploração para a situação actual e para os diferentes cenários de uso da terra a definir. Estes dados tiveram como fonte primária o inventário nacional efectuado para as florestas e bases de dados globais de dados que são usualmente usadas na implementação do modelo VIC.

A calibração do modelo exige a existência de dados de caudais, e conseqüentemente a existência de leituras de alturas hidrométricas e de curvas de vazão para calcular os respectivos caudais. As alturas hidrométricas foram recolhidas e tratadas, foi instalada a estação E-442 Mopeia no rio Lungozi e revisto o funcionamento das estações E101 – Derre e E480 EN1 no rio Lualua e a estação E403 Mopeia no rio Cuácuá.

Foi aprofundado o conhecimento do Modelo VIC e feita a sua esquematização para aplicação à área de estudo. Foram desenvolvidas ferramentas informáticas para a transferência dos dados climáticos gerados a partir de satélite e adaptação destes dados à área de estudo e aos ficheiros do modelo VIC. O Manual de Utilização do Modelo ZambezeVIC é apresentada em Anexo e deverá ser revisto com o desenvolvimento do trabalho de calibração e exploração do modelo para os cenários a estabelecer de uso e cobertura da terra.

Foram analisados os dados a processar e integrar no ZambezeDif e a sua estruturação num site da Web.

Durante as visitas de Fevereiro e Maio de 2012, houve a preocupação de integrar os técnicos mais próximos da utilização do modelo VIC, nos aspectos de recolha e tratamento de dados. Estes aspectos serão reforçados na estadia dos técnicos do Consórcio em Outubro de 2012, estando prevista a realização de uma sessão mais formal de indução sobre a obtenção e tratamento dos dados, bem como sobre o modelo VIC, como preparação para o curso previsto para Fevereiro de 2013.

## Desafios

Os principais desafios que se colocam para a Fase 3 – Calibração do Modelo ZambezeVIC e Desenvolvimento do ZambezeDIF, estão ligados directamente à designação da fase, nomeadamente os aspectos referentes à calibração do modelo e em particular à qualidade dos dados de caudais e dos dados climáticos.

O processamento dos dados climáticos e a sua adequação à área de estudo e às necessidades do modelo VIC será um dos grandes desafios na Fase 3 e ao mesmo tempo um factor determinante para a boa qualidade da modelação dos recursos hídricos.

Outro grande desafio será a transferência de conhecimento para a ARA-Zambeze e para outras entidades interessadas, no que se refere ao modelo VIC e ao processamento de dados de entrada e de saída do modelo VIC e do modelo Routing.

O modelo VIC é um modelo complexo e que está a ser aplicado no âmbito das novas tecnologias de geração de dados climáticos e da aplicação de modelos globais. Estes modelos começaram a ter uma maior projecção com os estudos de alterações climáticas e vêm na sequência da aplicação para fins civis das técnicas de detecção remota e a instalação nos satélites de sensores adequados à quantificação das variáveis climáticas. No entanto, estes modelos terão de ser calibrados para representarem com maior veracidade a realidade de determinada região ou bacia hidrográfica, o que é o principal objectivo deste Estudo. Embora o modelo tenha uma grande ligação à questão dos dados obtidos via satélite, deve ressaltar-se que o objecto principal de interesse nessa abordagem é o clima global pelo que os dados ainda são apresentados em malhas de dimensões sensivelmente grandes variando entre 25km até 100 km de dimensão. Estas dimensões ainda se mostram grandes para a modelação em bacias pequenas como é o caso do presente estudo e que pode exigir a respacialização da informação para malhas mais finas. Este processo de respacialização de dados normalmente é melhor sucedido quando existem informação de referência que possa ser usada para avaliar a qualidade da informação obtida por comparação com observações reais locais.

Para além da calibração do Modelo VIC, irá ser efectuada a sua exploração abrangendo a totalidade da área de estudo e tendo por base a situação actual, considerada como situação de referência e para três cenários alternativos de coberto vegetal e de uso da terra.

Os cenários alternativos serão identificados através de uma análise conjunta com os técnicos do Projecto de Desenvolvimento de Pequenos Produtores Orientados para o Mercado. Particular destaque será dado aos Planos Distritais de Uso da Terra (PDUT) actualmente em elaboração para os distritos de Mopeia, Morrumbala, Mutarara, Chemba e Maringué. Serão pelo menos três cenários alternativos (curto, médio e longo prazo).

Através da simulação hidrológica do ZambezeVic, será verificada a influência das diferentes alternativas do coberto vegetal e uso da terra no escoamento superficial na área de estudo. Os resultados serão tratados para a área total, mas também por distrito e por bacias hidrográfica.



## 9 BIBLIOGRAFIA

A.O.C Technical Services, Hidrotécnica Portuguesa, R. F. LOXTON, HUNTING & associates, Empresa Técnica de Levantamentos aéreos, (1974), Recursos agrários e planeamento do uso da terra, Bacia do Rio Zambeze. Relatório sobre os solos do bloco 9 (Relatório nº 1A/9), Gabinete do Plano do Zambeze, Lourenço Marques.

A.O.C Technical Services, Hidrotécnica Portuguesa, R. F. LOXTON, HUNTING & associates, Empresa Técnica de Levantamentos aéreos (1975), Recursos agrários e planeamento do uso da terra, Bacia do Rio Zambeze. Relatório sobre os solos do bloco 11 (Relatório nº 1A/11), Gabinete do Plano do Zambeze; Lourenço Marques.

Allen R.G., *et al.*, (1998), Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO: Irrigation and Drainage Paper, 56, Rome, 300p.

Beernaert F. e L. Rochette, (1990), First evaluation on natural resources and agriculture systems of aldeias comunais in district of Guro, FAO/AGOA/MOZ/75/011. FIELD DOCUMENT N° 20 DTA-BIBL.

Beernaert F., (1987), Geomorphological-pedological investigation of the Manangas in Southern Mozambique, Ph.D. Faculty of Sciences, State University of Ghent, Belgium.

Blondin C., (1991), Parameterization of land-surface processes in numerical weather prediction, in Land Surface Evaporation: Measurements and Parameterization, edited by T. J. Schmugge and J. C. Andre, pp. 31-54, Springer-Verlag, New York.

Dickinson R.E., (1984), Modeling evapotranspiration for three-dimensional global climate models. Climate Processes and Climate Sensitivity, *Geophys. Monogr.*, No. 29, Amer. Geophys. Union, 58-72.

Dijkshoorn J.A., *et al.*, (1993), Os Solos das Províncias de Maputo e Gaza. Nota Explicativa dos Mapas de Solos, Escalas 1:50 000 e 1:250 000 (versão preliminar). Com. 76, INIA/DTA, Maputo. Duband, D., *et al.* (1993), Unit-hydrograph revised - an alternate iterative approach to UH and effective precipitation identification, *Journal of Hydrology*, 150(1), 115-149.

Duband D., C. Obled e J. Rodriguez, (1993), Unit hydrograph revisited: an alternate iterative approach to UH and effective precipitation identification. *J. Hydrology*. 150, 115–149.

Ducoudre, N. I., K. Laval e A. Perrier, (1993), SECHIBA, a New Set of Parameterizations of the Hydrologic Exchanges at the Land Atmosphere Interface within the Lmd Atmospheric General-Circulation Model, *J. Clim.*, 6(2), 248-273.

Empresa Técnica de Levantamentos aéreos, R. F. Loxton, Hunting & Associates, (1973), Recursos agrários e planeamento do uso da terra, Bacia do Rio Zambeze. Relatório sobre os solos do bloco 4 (Relatório nº 1A/4), Gabinete do Plano do Zambeze.

Empresa Técnica de Levantamentos aéreos, R. F. Loxton, Hunting & Associates, (1973), Recursos agrários e planeamento do uso da terra, Bacia do Rio Zambeze. Relatório sobre os solos do bloco 5 (Relatório nº 1A/5), Gabinete do Plano do Zambeze.

Empresa Técnica de Levantamentos aéreos, R. F. Loxton, Hunting & Associates, (1973), Recursos agrários e planeamento do uso da terra, Bacia do Rio Zambeze. Relatório sobre os solos do bloco 6 (Relatório nº 1A/6), Gabinete do Plano do Zambeze; Lourenço Marques.

FAO, (2001), Lectures notes on the major soils of the World (with CD-Rom), by P. Driessen, J. Deckers, O. Spaargaren & F. Nachtergaele, eds. World Soil Resources Report, 94, Rome

- FAO/ISRIC, (2003), Soil and Terrain Database for Southern Africa, 1:2 million scale, Rome
- FERNANDES J.F., (1968), Os solos do Parque Nacional da Gorongosa, Instituto de Investigação Agronómica de Moçambique, Comunicações 19.
- Franchini M. e M. Pacciani, (1991), Comparative-analysis of several conceptual rainfall runoff models, *Journal of Hydrology*, 122(1-4), 161-219.
- Friedrich J.L. et al., (1980), Mopeia State Farm Rice Complex Province of Zambezia, Mozambique, FAO/MOZ/75/011 Field Report 15.
- Gao H., et al., (2010), Water Budget Record from Variable Infiltration Capacity (VIC) Model. In: *Algorithm Theoretical Basis Document for Terrestrial Water Cycle Data Records* (in review).
- Hidrotécnica Portuguesa, (1960), Vale do Zambeze. Elementos de estudo. Cartas Agrológicas, Urema-Zángoé, Junta Provincial de Povoamento/Missão de Fomento e Povoamento do Zambeze.
- INIA/DTA, (1995), Legenda da Carta Nacional de Solos, Escala 1:1 000 000. Com. 73, Sér. Terra e Água, Maputo.
- Laan F.B. Van Der e Rochette, (1980), Natural zones, present land use and infrastructure Manica Province, Central Part, FAO/MOZ/75/011.
- Landon J.R. et al., (1991), Booker Tropical soil Manual; a handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the Tropics and Subtropics, Longman Scientific & Technical.
- Liang X., E.F. Wood, e D.P. Lettenmaier, (1996), Surface soil moisture parameterization of the VIC-2L model: Evaluation and modification, *Global Planet Change*, 13(1-4), 195-206.
- Liang X., Lettenmaier D.P., (1994), A simple hydrologically based model of land-surface water and energy fluxes for general-circulation models, *J. Geophys. Res.*, 99(D7), 14415-14428.
- Liechti T. C., et al., (2012), Comparison and evaluation of satellite derived precipitation products for hydrological modeling of the Zambezi River Basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 489–500.
- Lohmann D., et al., (1996), A large scale horizontal routing model to be coupled to land surface parameterization schemes, *Tellus* (48A), 708-721.
- Lohmann D., et al., (1998a), Regional scale hydrology: I. Formulation of the VIC-2L model coupled to a routing model, *Hydrol. Sci. J.-J. Sci. Hydrol.*, 43(1), 131-141.
- Lowole M.W., (1965), Soil Map of Malawi; Department of Agricultural Research, Lilongwe. Nijssen, B., et al. (1996), Streamflow simulation for continental-scale river basins. *Water Resour. Res.* 1996.
- Nijssen B., Lettenmaier, D.P. Liang, X., Wetzel, S.W., e Wood, E.F., (1997), Streamflow simulation for continental-scale river basins. *Water Resour. Res.*, 33, 711-724.
- SADCC, (1991), *Soil Map. Draft. Malawi.* (Revised legend FAO-Unesco 1988)
- Sousa M.C.M., (1971), *Beneficiamento Hidroagrícola do colonato algodoeiro de Murraco*, Cooperativa Agrícola de CAIA, Direcção Provincial de Agricultura e Floresta.
- Todini E., (1996), The ARNO rainfall-runoff model, *Journal of Hydrology*, 175, 339-382.

Wihjnhould J.D., (1998), Extended Explanatory Note on the National Soil Map of Mozambique, Scale 1:1 000 000, Part I; Main Report and Annexes, Com. 94a, *Série Terra e Água*, INIA, Maputo.

Wihjnhould J.D., (1998), Extended Explanatory Note on the National Soil Map of Mozambique, Scale 1:1 000 000, Part II. Typifying pedons and Soil analytical data, Com. 96b, *Série Terra e Água*, INIA, Maputo.

World Bank, (2006), *Baseline data on landuse, biodiversity, and hydrology*. GEF - Zambezi Valley Market Led Smallholder Development Project.

Zhao R.J., *et al.*, (1980), The Xinanjiang model. *Hydrological Forecasting (Proceedings Oxford Symposium)*, IASH 129, 351-356.



---

## **ANEXO**

### **Manual de Utilização do Modelo ZambezeVIC**



# CALIBRAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO VIC (VARIABLE INFILTRATION CAPACITY) E ELABORAÇÃO DA BASE DE DADOS DIF (DYNAMIC INFORMATION FRAMEWORK)

## MANUAL DO MODELO VIC

### ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b>	<b>1</b>
2.1	MODELO VIC	1
2.2	MODELO ROUTING	6
<b>3</b>	<b>MODELO VIC</b>	<b>9</b>
3.1	CONFIGURAÇÃO DAS OPÇÕES E MODOS DE SIMULAÇÃO DO MODELO VIC	9
3.1.1	Modos de simulação	9
3.1.2	Passo de tempo	11
3.2	FICHEIROS DE ENTRADA DO MODELO VIC	11
3.2.1	Organização dos ficheiros de entrada	11
3.2.2	Ficheiro “Global Parameter”	11
3.2.3	Ficheiro “user_def.h”	22
3.2.4	Ficheiro dos dados meteorológicos (“Meteorological Forcing Files”)	25
3.2.5	Ficheiro dos parâmetros dos solos	27
3.2.6	Ficheiros dos tipos de vegetação (“Vegetation library file”)	32
3.2.7	Ficheiros dos parâmetros da vegetação (“Vegetation parameter file”)	33
3.3	RESULTADOS DO MODELO VIC	34
3.3.1	Ficheiros de saída do modelo VIC	34
3.3.2	Ficheiros de saída “padrão”	38
3.3.3	Informação enviada para o ecrã	39
3.4	PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS DE SAÍDA DO MODELO VIC	39
<b>4</b>	<b>MODELO ROUTING</b>	<b>39</b>
4.1	FICHEIROS DE ENTRADA DO MODELO ROUTING	39
4.1.1	Ficheiro de entrada “SETUP”	39
4.1.2	Ficheiro da direcção de escoamento (“Flow Direction File”)	40
4.1.3	Ficheiro da velocidade de escoamento (“Flow Velocity File”)	42
4.1.4	Ficheiro dos coeficientes de difusão do escoamento (“Flow Diffusion File”) – ficheiro opcional	42
4.1.5	Ficheiro Xmask – ficheiro opcional	43
4.1.6	Ficheiro fracção (“Fraction File”) – ficheiro opcional	44
4.1.7	Ficheiro dos pontos de controlo (“Station Location File”)	45
4.1.8	Ficheiro hidrograma unitário (“UH File”)	46
4.1.9	Os ficheiros das séries temporais de escoamento gerados pelo modelo VIC	46

4.2	RESULTADOS DO MODELO ROUTING .....	47
4.2.1	Ficheiros de saída do modelo ROUTING .....	47
4.2.2	Informação enviada para o ecrã .....	47
<b>5</b>	<b>APRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS.....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>CALIBRAÇÃO .....</b>	<b>48</b>
6.1	NOTAS GERAIS .....	48
6.2	CALIBRAÇÃO DO MODELO VIC.....	49
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>50</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Em cumprimento do estipulado no contrato para a prestação de serviços relativos ao Estudo de Calibração do Modelo Hidrológico VIC (Variable Infiltration Capacity) e Elaboração da Base de Dados DIF (Dynamic Information Framework), assinado entre a Direcção Nacional de Promoção do Desenvolvimento Rural (DNPDR), e o Consórcio formado pelas empresas Coba e Salomon, apresenta-se de seguida o Manual de Utilização do modelo VIC.

Este manual integra-se dentro do plano de treinamento dos técnicos da ARA-Zambeze e de outras instituições no uso do modelo.

O Manual aqui apresentado é constituído por 7 Capítulos. Para além deste capítulo introdutório, o relatório compreende ainda mais seis capítulos designados por:

- Fundamentos teóricos;
- Modelo VIC;
- Modelo ROUTING;
- Apresentação gráfica dos resultados;
- Calibração; e
- Referências Bibliográfica.

## 2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 MODELO VIC

O modelo VIC (Variable Infiltration Capacity) desenvolvido por Liang *et al.* (1994, 1996) é um modelo hidrológico de macro-escala semi-distribuído que permite simular o balanço da água e o balanço energético. A parametrização da variabilidade espacial da infiltração e a conceptualização do escoamento de base são as principais características que distinguem o modelo VIC doutros modelos hidrológicos<sup>1</sup>.

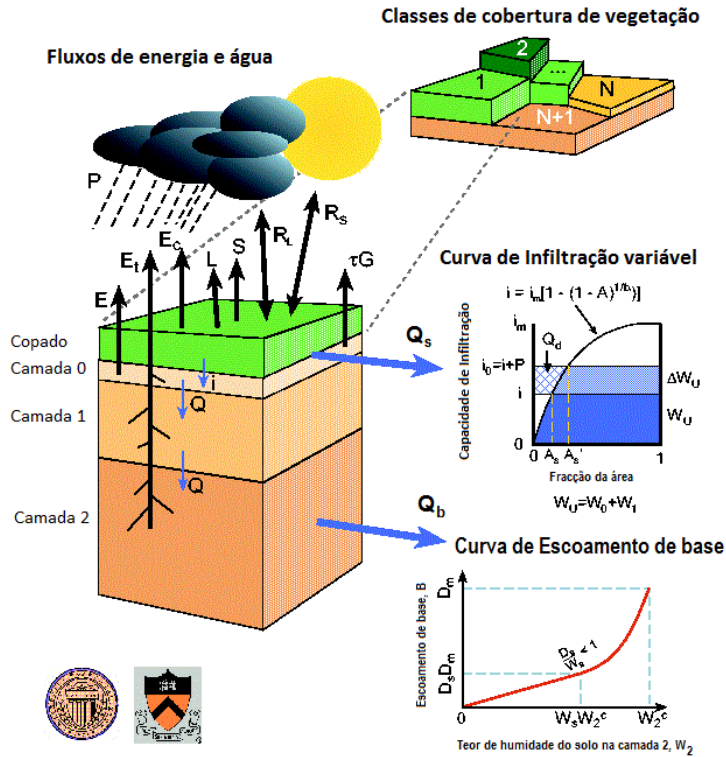
A superfície da bacia é representada como uma grelha de células (de dimensão > 1 km) planas e uniformes. O modelo VIC-3L caracteriza o solo como um prisma constituído por 3 camadas (Figura 2.1). A ocupação/uso do solo é descrita por N+1 tipos/classes de vegetação, sendo que a n-ésima classe representa o solo nu. As várias coberturas e tipos de uso da terra são tratados pelo modelo ao nível das células através de distribuições estatísticas.

Para ter em conta a variabilidade espacial dos parâmetros hidráulicos e hidrológicos ao nível das células da grelha que definem a bacia, o modelo VIC-3L adopta o esquema da capacidade de infiltração variável (Figura 2.1) baseado no modelo Xinanjiang (Zhao *et al.*, 1980).

---

<sup>1</sup> O modelo permite também modelar a queda de neve, a definição de bandas de neve, o congelamento da água no solo. Estas características do modelo não são analisadas neste manual, uma vez que para o caso de estudo, aqueles processos não tem aplicabilidade.

### Capacidade de Infiltração Variável (VIC) Modelo Hidrológico de macro-escala



Fonte: <http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/>.

**Figura 2.1 – Representação esquemática da modelação hidrológica de uma célula do modelo VIC**

O modelo assume que o escoamento superficial é gerado a partir das duas camadas superiores do solo na fracção da área da célula, para a qual a precipitação efectiva quando adicionada ao teor de humidade no fim do passo de tempo anterior excede o teor de humidade do solo em condições de saturação natural.

O escoamento superficial é calculado como:

$$Q_s = \begin{cases} P_e - (W_m - W_o), & PE + i_o \geq i_m \\ P_e - (W_m - W_o) + W_m \left(1 - \frac{PE + i_o}{i_m}\right)^{1+b}, & PE + i_o < i_m \end{cases}$$

sendo a variabilidade espacial da infiltração expressa por:

$$i = i_m (1 - (1 - A)^{1/b})$$

$$i_m = (1 + b_i) \times \theta_s \times |z|$$

Onde:

P<sub>e</sub> é a precipitação efectiva, definida como precipitação – evapotranspiração potencial;

W<sub>o</sub> é o teor de humidade inicial do solo,

$W_m$  é o teor de humidade máximo das duas camadas superiores do solo,

$i$  é a capacidade de armazenamento do solo,

$i_m$  é a capacidade máxima de armazenamento

$A_s$  é a fracção da área da célula que se encontra saturada;

$b$  é o parâmetro de forma da curva de infiltração variável (define o grau de variabilidade espacial);

$\theta_s$  é a porosidade do solo; e

$z$  é a profundidade do solo.

No modelo proposto, a função de distribuição da infiltração tem dois parâmetros;  $i_m$  e  $b$ . Para  $b$  igual a 1, a capacidade de infiltração é uniformemente distribuída.

Como resultado da variação da capacidade de infiltração na célula, o teor de humidade, o escoamento superficial, o escoamento de base e a evapotranspiração também variam espacialmente (Liang *et al.* 1994).

A camada inferior do solo é recarregada pelo fluxo de água proveniente das camadas superiores e perde água de acordo com a função do escoamento de base. O modelo VIC assume que o movimento da água no solo das camadas superiores para a camada inferior é governado exclusivamente pela gravidade, recorrendo à equação empírica proposta por Brooks e Corey (1964) para estimar a condutividade hidráulica:

$$K(\theta) = K_s \left( \frac{W_o - \theta_r}{W_m - \theta_r} \right)^{\frac{2}{B_p} + 3}$$

onde:  $K_s$  é a condutividade hidráulica do solo,  $K(\theta)$  é a condutividade hidráulica,  $\theta_r$  é o teor de humidade residual do solo e o parâmetro  $B_p$  é designado de índice de distribuição dos poros.

A formulação do escoamento de base segue o modelo conceptual de Arno (Franchini e Pacciani, 1991; Todini, 1996):

$$q = \begin{cases} d_1 \times W_2 & : W_2 \leq W_S \times W_2^{max} \\ d_1 \times W_2 + d_2 \times (W_2 - W_S \times W_2^{max})^{d_3} & : W_2 > W_S \times W_2^{max} \end{cases}$$

onde:

$W_2$  é o teor de humidade da camada inferior do solo (camada 2 – vide Figura 2.1);

$W_2^{max}$  é o teor de humidade máximo da camada inferior do solo;

$d_1$  e  $d_2$  são constantes; e

$d_3$  é factor de forma da zona não linear do escoamento de base.

De acordo com este modelo, a função do escoamento de base é linear quando a quantidade de água no solo é inferior a  $W_S \times W_2^{max}$ , sendo directamente proporcional a  $W_2$ , mas torna-se não linear quando a quantidade de água no solo é superior a  $W_S \times W_2^{max}$ . Esta aproximação implica a parametrização da velocidade de escoamento horizontal na camada inferior do solo.

No modelo VIC, a infiltração, a distribuição da água no solo, o escoamento superficial e o escoamento de base são calculados para cada uma das  $N+1$  classes de cobertura vegetal.

Em função do conjunto de dados meteorológicos disponíveis, o modelo VIC poderá ser executado para modelar o balanço de água e os fluxos de energia entre a superfície terrestre e atmosfera, ou para modelar o balanço de água, calculando a evapotranspiração de acordo com a equação de Penman-Monteith em função da quantidade de energia disponível e do déficit de pressão de vapor.

A precipitação, a temperatura máxima e mínima do ar e a velocidade do vento constitui o conjunto mínimo de dados meteorológicos que é necessário fornecer ao modelo (podem ser fornecidos dados diários ou sub-diários).

O copado da vegetação corresponde a um reservatório (Figura 2.2) em que a precipitação (P) é a entrada e as saídas são a evaporação, ( $E_c$ ), e o gotejo para o solo ( $P_t$ ) (quando o reservatório está cheio e transborda). Cada copado tem uma capacidade máxima de armazenamento ( $W_{cop}$ ).

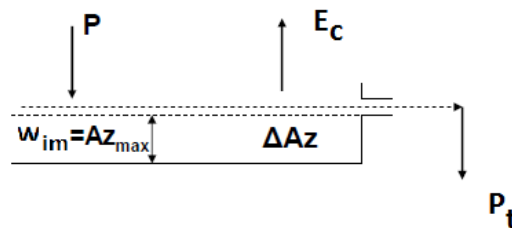


Figura 2.2 - Esquema do balanço de água no copado

### Evapotranspiração

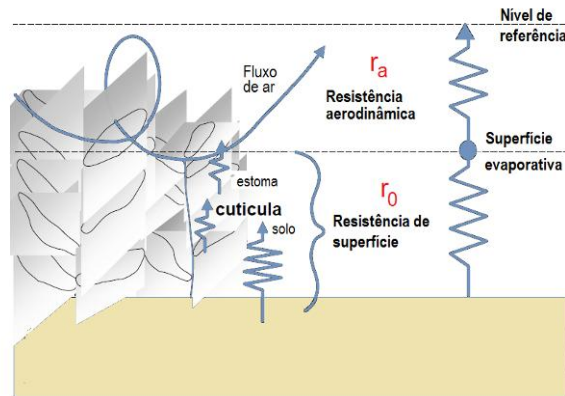
No modelo VIC são considerados três tipos de evaporação: a evaporação a partir do copado,  $E_c$ , e a transpiração,  $E_t$ , de cada uma das classes de vegetação e a evaporação a partir do solo nu,  $E_1$ . A evapotranspiração total sobre cada uma das células da grelha é calculada como o somatório dos três parâmetros, ponderados de acordo com a percentagem da área total de cada uma das classes de vegetação:

$$E = \sum_{n=1}^N C_n \times (E_{c,n} + E_{t,n}) + C_{n+1} \times E_1$$

Onde  $C_n$  é a percentagem da área ocupada com n-ésima classe de vegetação

Quando a água interceptada pelas copas da vegetação é suficiente para satisfazer a procura da atmosfera, a evaporação a partir do copado corresponde ao seu valor máximo,  $E_c^*$ .

O valor de  $E_c^*$  é função da quantidade máxima de água que o copado pode interceptar ( $W_{im}$ ) da quantidade de água interceptada pelo copado ( $W_{cop}$ ) da evapotranspiração potencial ( $E_p$ ) da resistência da superfície e da arquitetura, ( $r_0$ ) e da resistência aerodinâmica ( $r_w$ ) (Figura 2.3).



**Figura 2.3 - Resistência aerodinâmica e de superfície**

O valor de  $W_{im}$  é calculado em função do LAI ( $0,2 \times LAI$ , segundo Dickinson, 1984). Os valores de  $r_0$  são fornecidos para cada classe de cobertura vegetal. A resistência aerodinâmica é simulada segundo a aproximação proposta por Monteith e Unsworth (1990) sendo função da velocidade do vento  $u_z$  ( $m\ s^{-1}$ ) medido à altitude  $z$  e do coeficiente de transferência para a água  $C_w$ , calculado pelo algoritmo proposto por Louis (1979).

A evapotranspiração potencial expressa como densidade de fluxo de calor latente ( $\lambda_v E_p$ ) é calculada a partir da equação de Penman-Monteith, onde  $\lambda_v$  representa o calor latente necessário à vaporização de uma unidade de água. A equação de Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998) inclui todos os parâmetros que governam a troca de energia e o correspondente fluxo de calor latente (evapotranspiração):

$$\lambda_v E_p = \frac{\Delta(R_n - G) + \frac{\rho_a c_p (e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma}$$

Onde:

$R_n - G$  é a energia disponível ( $W\ m^{-2}$ ) no copado, composta pelos fluxos de radiação líquida ( $R_n$ ) e de calor de (para) o solo ( $G$ );

$r_a$  é a resistência aerodinâmica ( $s\ m^{-1}$ );

$(e_s - e_a)$  representa o déficit de pressão de vapor (Pa) aos níveis da superfície evaporativa e de referência, respectivamente;

$\rho_a$  e a densidade do ar ( $kg\ m^{-3}$ );

$c_p$  é o calor específico do ar húmido ( $J\ kg^{-1}\ K^{-1}$ );

$\Delta$  representa o declive da curva de pressão de vapor ( $Pa\ K^{-1}$ ) à temperatura  $T_a$ ; e

$\gamma$  é a constante psicrométrica ( $\approx 66\ Pa\ K^{-1}$ ).

A transpiração da vegetação,  $E_t$  (mm), é estimada por (Blondin, 1991; Ducoudre *et al.*, 1993):

$$E_t = \left( 1 - \left( \frac{W_i}{W_{im}} \right)^{2/3} \right) E_p \frac{r_w}{r_w + r_o + r_c}$$

Onde:  $r_c$  ( $m s^{-1}$ ) é a resistência do copado calculada em função da resistência mínima do copado ( $r_{0c}$ ) dos factores temperatura, défice de pressão de vapor, do fluxo de radiação fotossintética activa (PAR) e teor de humidade e do índice de área foliar.

A evaporação a partir do solo nu ( $E_1$ ) ocorre apenas ao nível da primeira camada do solo. A formulação de Arno proposta por Franchini e Pacciani (1991) é utilizada para calcular o valor de  $E_1$  quando a superfície do solo não se encontra saturada. Em condições de saturação a taxa de evaporação é dada pela taxa de evaporação potencial.

### Escoamento Total

O escoamento total é expresso:

$$Q = \sum_{n=1}^{N+1} C_n (Q_{d,n} + Q_{b,n})$$

Onde  $Q_{s,n}$  (mm) é o escoamento superficial e  $Q_{b,n}$  (mm) é o escoamento de base, estimados para a  $n$ -ésima classe de vegetação.

O modelo VIC assume que não existe escoamento lateral nas duas primeiras camadas do solo. Assim o movimento da água no solo pode ser caracterizado pela equação unidimensional de Richards.

## 2.2 MODELO ROUTING

A geração dos hidrogramas de caudais requer que o escoamento gerado em cada célula pelo modelo VIC seja propagado ao longo da bacia em direcção à secção de saída. A propagação do escoamento superficial e do escoamento de base é feita através do modelo ROUTING, descrito em detalhe em Lohmann *et al.* (1996, 1998a, 1998b).

Este modelo calcula o tempo necessário para que o escoamento gerado numa célula chegue à secção de saída e modela também a propagação do escoamento em canais. A Figura 2.4 apresenta o esquema de cálculo da propagação de escoamento utilizado pelo modelo Routing. O modelo assume que todo o escoamento horizontal dentro duma célula da grelha atinge a rede de canais dentro da célula antes de cruzar a fronteira com outra célula vizinha. O escoamento pode sair de uma célula em oito direcções possíveis, mas todo o escoamento tem de sair numa única direcção. Uma célula pode também receber o escoamento gerado a montante.

Ambos os processos (propagação no interior da célula e propagação em canais) são modelados pelo modelo ROUTING, adoptando modelos lineares, invariantes no tempo e causais. Além disso, as funções de resposta a um determinado impulso (excitação) são sempre positivas.

Os modelos de transferência linear agregam as propriedades do escoamento horizontal e assumem que este é independente do teor de humidade do solo. O modelo ROUTING estende a aproximação FDTF-ERUHDIT (First Differenced Transfer Function-Excess Rainfall and Unit Hydrograph by a Deconvolution Iterative Technique) proposta por (Duband *et al.*, 1993) com uma separação das escalas de tempo e um modelo linear de propagação do escoamento em canais.

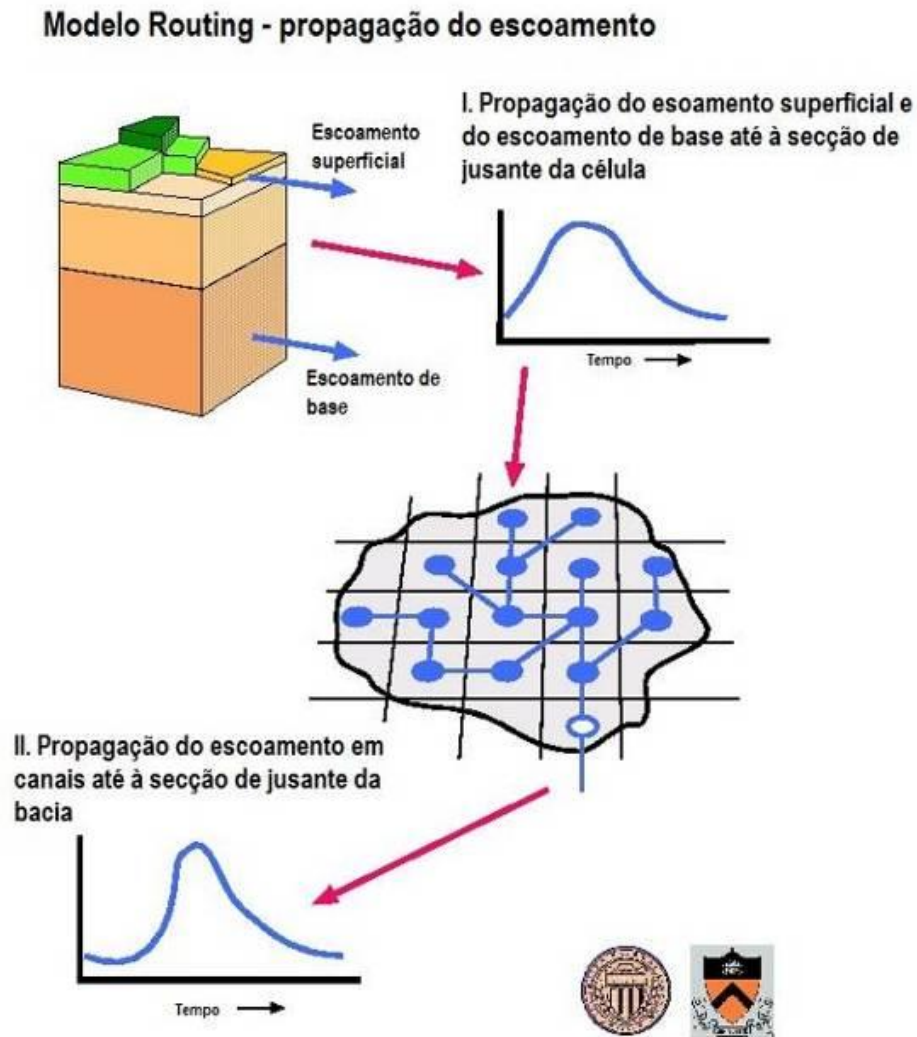
Como a resposta do escoamento a um evento de precipitação pode envolver uma escala de tempo muito grande, o modelo trata separadamente a componente do escoamento lento do escoamento rápido, conforme proposto no modelo linear de Rodriguez (1989):

$$\frac{dQ^S(t)}{dt} = -k \times Q^S(t) + b'Q^F(t)$$

Onde:  $Q^S(t)$  é o escoamento lento e  $Q^F(t)$  é o escoamento rápido e

$$Q(t) = Q^S(t) + Q^F(t)$$

é o escoamento total medido. O modelo assume que os parâmetros  $k$  e  $b'$  são constantes.



**Figura 2.4 – Representação esquemática da propagação do escoamento nas células e nos canais**

Esta separação do escoamento total em componente rápida e lenta tem correspondência com o escoamento superficial e o escoamento de base mas a correspondência não de 1 para 1. As duas componentes do escoamento, rápida e lenta, relacionam-se analiticamente da seguinte forma:

$$Q^S(t) = b' \int_0^t \exp(-k(t - \tau)) Q^F(\tau) d\tau + Q^S(0) \exp(-kt)$$

Esta equação mostra que a condição inicial  $Q^S(0)$  decai a  $\exp(-kt)$ . Discretizando a equação tem-se:

$$Q^S(t) = \frac{\exp(-k \times \Delta t)}{1 + b' \times \Delta t} Q^S(t - \Delta t) + \frac{b' \times \Delta t}{1 + b' \times \Delta t} Q(t)$$

Assumindo que existe uma relação linear entre o escoamento e a precipitação eficaz,  $P^{eff}$ , é suficiente encontrar uma função de resposta ao impulso que permite estabelecer a relação entre a componente do escoamento rápido e a precipitação efectiva. A função de resposta pode ser obtida iterativamente através da seguinte equação:

$$Q^F(t) = \int_0^{tmax} UH^F(\tau) P^{eff}(t - \tau) d\tau$$

Onde  $UH^F(\tau)$  é a função de resposta ao impulso (também designada hidrograma unitário) da componente rápida do escoamento e  $tmax$  é o tempo após o qual a componente rápida do escoamento deverá ter decaído.

A propagação do escoamento em canais é descrito pelas equações de Saint Venant que constituem um sistema não linear de equações diferenciais quasi-lineares de primeira ordem às derivadas parciais. A forma linear da equação de Saint Venant é adoptada pelo ROUTING (Mesa e Miffin, 1986; Fread, 1993):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} - C \frac{\partial Q}{\partial x}$$

Onde  $C$  é a celeridade da onda e  $D$  a difusividade (ou coeficiente de difusão). Estes parâmetros podem ser estimados a partir das características geométricas da rede fluvial da bacia. A equação anterior é resolvida através do integral de convolução:

$$Q(x, t) = \int_0^t U(t - s) h(x, s) ds$$

onde:

$$h(x, t) = \frac{x}{2t\sqrt{\pi t D}} \exp\left(-\frac{(Ct - x)^2}{4Dt}\right)$$

é a função de Green ou a função de resposta ao impulso, com as seguintes condições de fronteira:  $h(x, t) = 0$  para  $x > 0$  e  $h(0, t) = \delta(t)$  para

Devido à linearidade do modelo e à estabilidade numérica da solução, a influência de barragens, descarregadores e utilizações da água nos caudais pode ser facilmente implementada na rede em todas as células da bacia (Lohmann *et al.*, 1996).



### 3 MODELO VIC

#### 3.1 CONFIGURAÇÃO DAS OPÇÕES E MODOS DE SIMULAÇÃO DO MODELO VIC

##### 3.1.1 Modos de simulação

###### 3.1.1.1 Introdução

O modelo VIC permite a simulação do processo hidrológico de vários modos (introduzidas desde a versão VIC 4.0.0). Alguns destes modos são definidos no ficheiro "Global parameter", enquanto outros requerem as opções do pré-processador sejam definidas antes da compilação do modelo.

Os modos de simulação possíveis são:

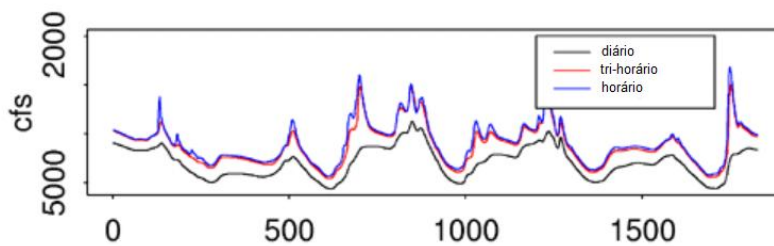
- Balanço da água
- Balanço de energia
  - Fluxo rápido
  - Diferenças finitas
    - Caudal nulo na condição de fronteira
- Processo de congelamento do solo
  - Congelamento rápido
  - Fluxo nulo na condição de fronteira
- Casos particulares
  - Baixa resolução das condições de humidade
  - Optimização dos resultados
  - Estado do modelo
  - Código de depuramento de erros (debug)
- Tempo de Simulação

###### 3.1.1.2 Balanço da água

No modo de simulação do balanço da água, o modelo VIC não resolve o balanço energético da superfície, assumindo que a temperatura da superfície do solo é igual à temperatura do ar. A eliminação da solução do fluxo de calor à superfície, assim como dos processos de cálculo iterativos necessários para fechar o balanço energético, tornam a simulação do balanço de água significativamente mais rápida do que os outros modos de simulação.

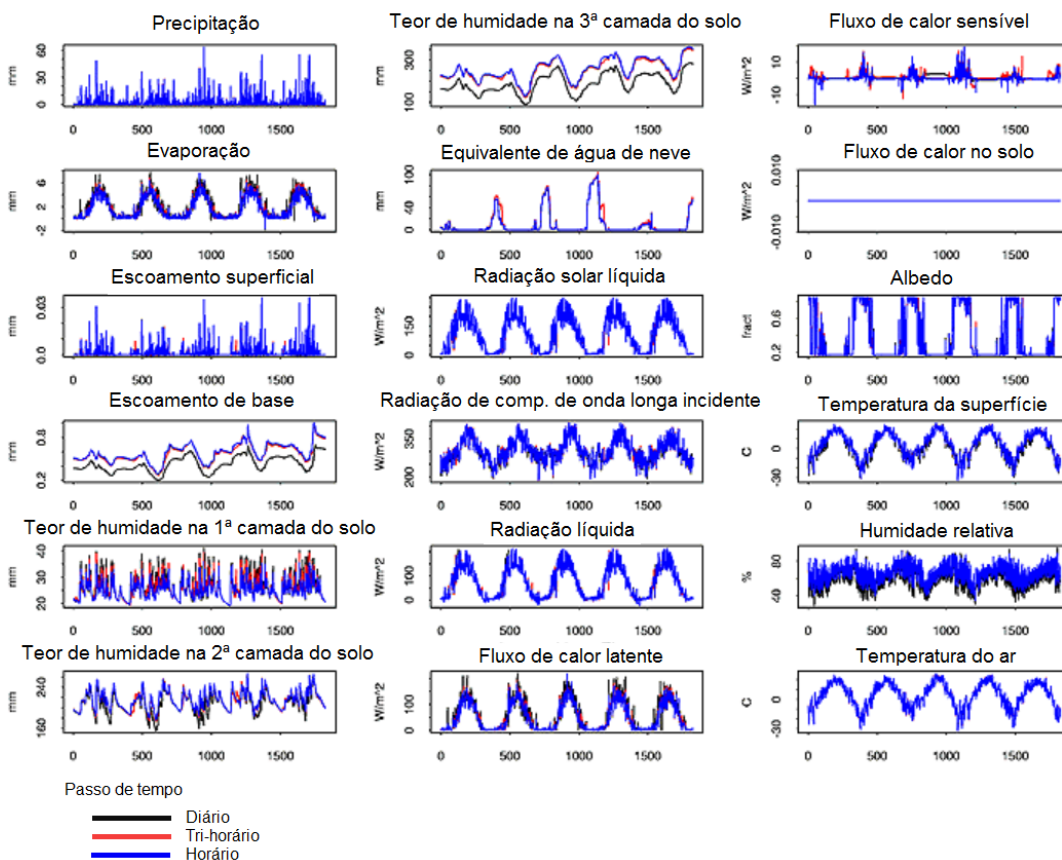
O balanço da água pode ser simulado com passo tempo diário ou sub-diário. Se bem que a solução do balanço diário seja significativamente mais rápida do que a solução do balanço para passos de tempo sub-diários, deve ser notado que tratam-se fundamentalmente de modelos diferentes. A parametrização requerida para o passo de tempo diário é diferente da usada para os passos de tempo sub-diários.

Assim, os parâmetros de calibração obtidos para o passo de tempo diário não podem ser estendidos às simulações com passo de tempo sub-diário. A Figura 3.1 compara os caudais simulados a partir de simulações diárias, horárias e 3-horas da bacia do rio Chippewa, usando o modelo VIC no modo do balanço da água. Esta Figura mostra que os caudais simulados para o passo de tempo diário diferem muito dos simulados para o passo de tempo sub-diário. Na Figura 3.2 mostram-se os fluxos de água e de energia simulados ao nível de uma célula e para os três passos de tempo. As séries apresentadas mostram claramente que no modo de simulação do balanço de água com o passo de tempo diário, a evaporação calculada é significativamente superior, o que conduz a teores de humidade no solo inferiores assim como a um menor escoamento de base. São estas diferenças ao nível da célula que conduzem às diferenças nos caudais simulados (Figura 3.1).



Fonte: <http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/>

**Figura 3.1 – Caudais simulados através da solução do balanço da água diário e sub-diários. Bacia de rio Chippewa**



Fonte: <http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/>

**Figura 3.2 – Fluxos de energia e balanço de água ao nível da célula da grelha simulados com o modelo VIC no modo balanço de água, para vários passos de tempo. Bacia de rio Chippewa**

### 3.1.2 Passo de tempo

A selecção do passo de tempo da simulação é questão fundamental que deverá ser devidamente ponderada antes de se dar início ao processo de modelação e calibração do modelo de macro-escala VIC. A simulação com o passo de tempo diário diminui significativamente o tempo necessário para correr o modelo, mas simultaneamente reduz a precisão da representação dos processos sub-diários (3.1.1.2).

## 3.2 FICHEIROS DE ENTRADA DO MODELO VIC

### 3.2.1 Organização dos ficheiros de entrada

Os dados de base do modelo VIC estão organizados num conjunto de ficheiros:

- Ficheiro “*Global Parameter*”
- Ficheiro “*user\_def.h*”
- Ficheiro dos Dados Meteorológicos (“*Meteorological Forcing Files*”)
- Ficheiro dos Parâmetros dos Solos
- Ficheiro dos Tipos de Vegetação (“*Vegetation Library File*”)
- Ficheiro dos Parâmetros da Vegetação (“*Vegetation Parameter File*”)

Nos capítulos seguintes ver-se-á em pormenor a estrutura de cada um dos ficheiros e como se processa a simulação do processo hidrológico.

### 3.2.2 Ficheiro “Global Parameter”

O ficheiro “*global parameter*” tem dois propósitos principais:

1. Fornecer ao modelo VIC os nomes, as pastas e formatos dos principais ficheiros de entrada e saída; e
2. Definir alguns parâmetros globais da simulação (conhecidos como “*run-time options*”).

A estrutura do ficheiro divide-se em várias secções:

- Principais parâmetros de simulação
- Parâmetros de simulação que raramente são alterados:
  - Parâmetros da temperatura do solo
  - Parâmetros da precipitação
  - Parâmetros do fluxo turbulento
  - Parâmetros de desagregação dos dados meteorológicos
  - Parâmetros diversos
- Ficheiros de estado e parâmetros
- Ficheiros dos dados meteorológicos (“*Meteorological Forcing Files*”)
- Ficheiros dos parâmetros dos solos e da vegetação

- Ficheiros dos parâmetros dos reservatórios (“*Lake parameters*”)
- Ficheiros de saída

### 3.2.2.1 Principais parâmetros de simulação

Nesta secção, são definidas as variáveis que determinam as principais características da simulação, nomeadamente o passo de tempo da simulação, o início e o fim do período da simulação, uso ou não da opção do balanço energético:

**Quadro 3.1 – Principais parâmetros de simulação (Ficheiro “*Global Parameter*”)**

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
NLAYER	Integer	---	---	Número de camadas do solo. Normalmente 3.
NODES	Integer	---	---	Número de nós na coluna do solo que serão utilizados na resolução explícita dos fluxos térmicos <sup>2</sup> . Um número mínimo de cinco nós é recomendado.
TIME_STEP	Integer	Horas	---	Passo de tempo utilizado na modelação (igual a 24 quando apenas se considera o balanço da água: FULL_ENERGY = FALSE)
SNOW_STEP	Integer	Horas	---	Passo de tempo para resolução do modelo da neve (quando TIME_STEP = 24, deve-se dividir as 24 horas em intervalos iguais; quando TIME_STEP < 24, SNOW_STEP = TIME_STEP) (sem interesse para área de estudo)
STARTYEAR	Integer	Ano	---	Ano inicial do período temporal da simulação
STARTMONTH	Integer	Mês	---	Primeiro mês inicial do período temporal da simulação
STARTDAY	Integer	Dia	---	Primeiro dia do período temporal da simulação
STARTHOUR	Integer	Hora	---	Hora inicial do período temporal da simulação
ENDYEAR	Integer	Ano	---	Ano final do período temporal da simulação
ENDMONTH	Integer	Mês	---	Último mês do período temporal da simulação
ENDDAY	Integer	Dia	---	Último dia do período temporal da simulação
FULL_ENERGY	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	FALSE ⇒ modela apenas o balanço de massa (é admitido que a temperatura da superfície é igual à temperatura do ar) TRUE ⇒ modela o balanço energético completo
FROZEN_SOIL	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	FALSE ⇒ é admitido que a água no solo está sempre no estado líquido TRUE ⇒ as alterações de estado da água (sólido/líquido) no solo são modeladas

### 3.2.2.2 Parâmetros de simulação que raramente tem de ser alterados

Esta secção do ficheiro *Global Parameter* define os valores por defeito (*Default*) mais recomendados para alguns dos parâmetros de determinados processos de cálculo do modelo VIC. Estes valores podem, eventualmente, ser alterados pelo utilizador, mas com muita precaução.

Os parâmetros que são definidos nesta secção do ficheiro “*Global Parameter*” dividem-se em:

- Parâmetros da temperatura do solo - Quadro 3.2;
- Parâmetros da precipitação (chuva e neve) - Quadro 3.3;

<sup>2</sup> A solução explícita dos fluxos térmicos do solo ocorre apenas quando o modelo é executado com o algoritmo do processo de congelamento do solo.

- Parâmetros do fluxo turbulento - Quadro 3.4;
- Parâmetros para desagregação dos dados meteorológicos - Quadro 3.5;
- Parâmetros diversos - Quadro 3.6.

**Quadro 3.2 - Parâmetros da temperatura do solo (Ficheiro "Global Parameter")**

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
QUICK_FLUX	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>Opção do método de cálculo do perfil vertical da temperatura do solo</p> <p>TRUE ⇒ o método descrito por Liang <i>et al.</i> (1999) é usado para calcular as temperaturas do solo e o fluxo de calor da superfície (este método ignora as mudanças de fases líquido/sólido da água)</p> <p>FALSE ⇒ o método do elemento finito descrito em Cherkauer e Lettenmaier (1999) é utilizado para calcular as temperaturas do solo e o fluxo de calor da superfície (este método é o mais adequado quando é conveniente considerar as mudanças de fase líquida/sólida da água)</p> <p>Default = FALSE</p>
IMPLICIT	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>TRUE ⇒ o modelo recorrerá à solução implícita da equação de fluxo de calor proposta por Cherkauer e Lettenmaier (1999), caso contrário será utilizada a solução explícita.</p> <p>Quando a variável QUICK_FLUX = TRUE, a solução implícita não tem qualquer efeito.</p> <p>Default = TRUE</p>
QUICK_SOLVE	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>Esta opção corresponde a considerar que a variável QUICK_FLUX é simultaneamente TRUE e FALSE.</p> <p>TRUE ⇒ o método proposto por Liang <i>et al.</i> (1999) é utilizado para calcular o fluxo de calor da superfície durante as iterações do balanço de energia, utilizando o método proposto por Cherkauer e Lettenmaier (1999) no último passo do cálculo.</p> <p>Default = FALSE</p>
NOFLUX	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>TRUE ⇒ o modelo admite uma condição de fronteira inferior sem fluxo na solução por diferenças finitas do fluxo de calor no solo (i.e. QUICK_FLUX = FALSE ou FULL_ENERGY = TRUE ou FROZEN_SOIL = TRUE).</p> <p>Default = FALSE (i.e., utiliza uma temperatura constante na condição de fronteira inferior)</p>
EXP_TRANS	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>TRUE ⇒ os nós térmicos no algoritmo de diferenças finitas de Cherkauer e Lettenmaier (1999) são distribuídos exponencialmente, caso contrário será utilizada uma distribuição linear</p> <p>(Esta opção é apenas utilizada quando a variável FROZEN_SOIL = TRUE, isto é quando é necessário modelar as mudanças de estado da água no solo).</p> <p>Default = FALSE</p>
GRND_FLUX_TYPE	String	---		<p>Opções relativas ao fluxo de calor da superfície:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ GF_406 = utiliza as fórmulas (menos corretas) da versão VIC 4.0.6 na modelação do fluxo de calor da superfície</li> <li>▪ GF_410 = utiliza as fórmulas da versão VIC 4.1.0</li> </ul> <p>Esta opção existe para compatibilidade com versões anteriores e provavelmente será removida das próximas versões.</p> <p>Default = GF_410</p>
TFALLBACK	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	

**Quadro 3.3 - Parâmetros da precipitação (chuva e neve) (Ficheiro “Global Parameter”)**

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
SNOW_ALBEDO	String	---	---	Opções para o cálculo do albedo da neve. (sem interesse para área de estudo) Default = USACE
SNOW_DENSITY	String	---	---	Opções para o cálculo da densidade da neve. (sem interesse para área de estudo) Default = DENS_BRAS.
BLOWING	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	TRUE ⇒ os fluxos de evaporação são calculados nas situações de queda de neve acompanhadas de vento (sem interesse para área de estudo) Default = FALSE
COMPUTE_TREELINE	String ou Integer	---	FALSE (Falso) ou veg class id	Opções de abordagem relativamente à linha de árvores
DIST_PRCP	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	TRUE ⇒ o modelo distribui a precipitação ao nível das células da grelha da bacia. Default = FALSE
PREC_EXPT	Float	---	---	Expoente para determinar a fracção da área da célula que recebe precipitação. É utilizado unicamente quando a variável: DIST_PREC = TRUE. Default = 0.6
CORRPREC	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	TRUE ⇒ corrige a precipitação quando existem perdas no processo de medição da precipitação NOTA: Esta opção não é suportada quando são utilizadas as bandas de neve/elevação. Default = FALSE
MAX_SNOW_TEMP	Float	°C	---	Temperatura máxima do ar, para a qual poderá ocorrer neve: Default = 0.5 °C
MIN_RAIN_TEMP	Float	°C	---	Temperatura mínima do ar, para a qual poderá ocorrer chuva: Default = -0.5 °C

**Quadro 3.4 - Parâmetros do fluxo turbulento (Ficheiro “Global Parameter”)**

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
MIN_WIND_SPEED	Float	m s <sup>-1</sup>	---	Velocidade mínima do vento (permitida) Default = 0.1 m s <sup>-1</sup>
AERO_RESIST_CANSNOW	String	---	---	Opções para o cálculo da resistência aerodinâmica em copados cobertos com neve (sem interesse para área de estudo) Default = AR_406_FULL.

**Quadro 3.5 - Parâmetros para desagregação dos dados meteorológicos (Ficheiro “Global Parameter”)**

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
PLAPSE	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	Opções para o cálculo do valor médio da pressão atmosférica (e densidade) quando esta variável não é explicitamente fornecida nos dados meteorológicos: TRUE ⇒ admite um valor constante para a pressão atmosférica de 95,5 kPa em todas as células da grelha (como nas versões anteriores). FALSE ⇒ considera o gradiente de pressão atmosférica (e da densidade) desde o nível do mar até à altitude média da célula

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
				<p>NOTA: esta opção apenas afecta o cálculo do calor sensível, uma vez que no cálculo do calor latente o gradiente de pressão é sempre considerado.</p> <p>Default = TRUE</p> <p>Precipitação mínima diária acima da qual a radiação de curto comprimento de onda recebida é diminuída em 25%. Esta correcção é feita quando a radiação de curto comprimento de onda não é fornecida, sendo estimada a partir da variação da temperatura diária.</p> <p>O propósito desta opção é evitar diminuições erradas da radiação de curto comprimento de onda quando as variáveis meteorológicas fornecidas nos dados de entrada foram previamente agregadas ou redimensionadas a partir duma resolução diferente. O redimensionamento pode por vezes produzir pequenas quantidades de precipitação a partir de células vizinhas que inicialmente não tinham precipitação. O valor adequado para esta variável deverá ser encontrado através da análise dos dados meteorológicos.</p> <p>Default = 0 mm (qualquer precipitação causa diminuição da radiação de curto comprimento de onda)</p>
SW_PREC_THRESH	Float	mm	---	
MTCLIM_SWE_CORR	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>Esta variável define a aproximação no cálculo da radiação de comprimento de onda curto (quando esta variável não fornecida ao modelo) na presença de neve.</p> <p>TRUE ⇒ ajusta a radiação de curto comprimento de onda ao efeito do albedo da neve;</p> <p>FALSE ⇒ não é feito qualquer ajustamento (como nas versões anteriores)</p> <p>(sem interesse para área de estudo)</p> <p>Default = TRUE.</p> <p>Esta variável controla a interação entre as estimativas da pressão de vapor e da radiação de comprimento de onda curto:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>VP_ITER_NEVER = não há interação, as estimativas dos dois parâmetros são feitas separadamente;</li> <li>VP_ITER_ALWAYS = Considera sempre interação entre os dois parâmetros (como nas versões anteriores);</li> <li>VP_ITER_ANNUAL = Considera apenas interação nos climas áridos e nunca nos climas húmidos. A classificação do clima é feita com base na razão entre a precipitação e a evapotranspiração potencial anual.</li> <li>VP_ITER_CONVERGE = Considera apenas interação até se verificar que os valores da pressão de vapor e da radiação de curto comprimento.</li> </ul> <p>Default = VP_ITER_ALWAYS.</p>
VP_ITER	String	---	---	
VP_INTERP	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>Esta variável controla a estimativa sub-diária da humidade relativa:</p> <p>TRUE ⇒ Interpolação linear das estimativas diárias da pressão de vapor entre o nascer do sol de um dia e do próximo dia</p> <p>FALSE ⇒ Considera a pressão de vapor constante durante todo o dia (como nas versões anteriores).</p> <p>Default = TRUE</p>
LW_TYPE	String	---	---	Define o algoritmo que será utilizado no cálculo da radiação

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
				de comprimento de onda longo em dias claros: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ LW_TVA = Algoritmo de Valley Authority (1972) (usado nas versões anteriores)</li> <li>▪ LW_ANDERSON = Algoritmo de Anderson (1964)</li> <li>▪ LW_BRUTSAERT = Algoritmo de Brutsaert (1975)</li> <li>▪ LW_SATTERLUND = Algoritmo de Satterlund (1979)</li> <li>▪ LW_IDSO = Algoritmo de Idso (1981)</li> <li>▪ LW_PRATA = Algoritmo de Prata (1996)</li> </ul> Default = LW_TVA
LW_CLOUD	String	---	---	Define o algoritmo que será utilizado no cálculo da radiação de comprimento de onda longo em dias encobertos (com nuvens): <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ LW_CLOUD_BRAS = Aproximação proposta por Bras (1990) (usada nas versões anteriores)</li> <li>▪ LW_CLOUD_DEARDORFF = Algoritmo de Deardorff (1978)</li> </ul> Default = LW_CLOUD_DEARDORFF.

**Quadro 3.6 - Parâmetros diversos (Ficheiro "Global Parameter")**

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
CONTINUEONERROR	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	Opções do modelo caso ocorram erros fatais durante a simulação: TRUE ⇒ quando numa qualquer célula grelha ocorre um erro fatal, o processo de cálculo passa para a célula seguinte FALSE ⇒ o processo de simulação é interrompido Default = TRUE

### 3.2.2.3 Definição do Ficheiro de Estado e Respective Parâmetros

As opções seguintes controlam os ficheiros de estado de entrada e saída do modelo:

**Quadro 3.7 – Opções dos ficheiros de estado de entrada e saída do modelo**

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição/Observações
INIT_STATE (Directoria/Nome do Ficheiro)	String	---		Se a Directoria/Nome do ficheiro não forem especificados, o modelo VIC atribui o teor de humidade inicial do solo a partir do ficheiro dos parâmetros do solo e define todas as outras variáveis de estado com valores de estado padrão.
STATENAME (Directoria/Nome do Ficheiro)	String	---		Directoria e prefixo do ficheiro de estado que será criado pelo modelo para a data especificada pelo utilizador. A data (dentro do período de simulação) para a qual o estado será guardado é adicionada ao prefixo do ficheiro, obtendo-se o nome completo do ficheiro.
STATEYEAR	Integer			Ano para o qual guardado o estado de simulação
STATEMONTH	Integer			Mês para o qual guardado o estado de simulação
STATEDAY	Integer			Dia para o qual guardado o estado de simulação
BINARY_STATE_FILE	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	FALSE ⇒ os ficheiros de estado de entrada e saída são em formato ASCII



Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição/Observações
				TRUE ⇒ os ficheiros de estado de entrada e saída são em formato Binário

### 3.2.2.4 Definição do Ficheiros dos Dados Meteorológicos (“Meteorological Forcing Files”)

Os dados meteorológicos são guardados como séries temporais individualizadas para cada uma das células da grelha. Os ficheiros meteorológicos têm os dados estruturados em colunas em formato ASCII ou Binário. A ordem das colunas é obrigatoriamente a definida no ficheiro *Global Parameter*:

**Quadro 3.8 - Definição do Ficheiros dos Dados Meteorológicos (“Meteorological Forcing Files”)**

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
FORCING1 <sup>3</sup>	String	---		Directoria/Nome do primeiro ficheiro dos dados meteorológicos É indicado o prefixo do nome dos ficheiros dos dados meteorológicos
FORCING2 <sup>3</sup>				Directoria/Nome do segundo ficheiro dos dados meteorológicos, ou “FALSE” quando apenas um ficheiro é usado É indicado o prefixo do nome dos ficheiros dos dados meteorológicos
FORCE_FORMAT	String	---		Define o formato dos ficheiros meteorológicos: BINARY ou ASCII
FORCE_ENDIAN	String	---		Identifica a arquitectura da máquina utilizada na criação dos ficheiros meteorológicos no formato binário: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ BIG</li> <li>▪ LITTLE</li> </ul> O modelo VIC identifica a extremidade (ordenação) utilizada pelo computador onde será executado o programa. Esta variável é apenas necessária para os ficheiros em formato Binário
N_TYPES	Integer	---		Número de colunas
FORCE_TYPE:				
VarName	String			Define quais as variáveis meteorológicas que serão lidas e a sua ordem no ficheiro de entrada. No Formato ASCII apenas é necessário definir o nome das variáveis (VarName).
un(signed)	String			
multiplier	Float			
FORCE_DT	Integer	horas		Passo de tempo dos dados meteorológicos de entrada em horas
FORCEYEAR	Integer			Primeiro ano das séries temporais das variáveis meteorológicas
FORCEMONTH	Integer			Primeiro mês das séries temporais das variáveis meteorológicas
FORCEDAY	Integer			Primeiro dia das séries temporais das variáveis meteorológicas
FORCEHOUR	Integer			Primeira hora das séries temporais das variáveis meteorológicas
GRID-DECIMAL	Integer			Número de casas decimais que serão usadas nas extensões dos nomes dos ficheiros de arquivo de cada célula da grelha
WIND_H	Float	metros		Altura do anemómetro (acima da superfície de solo nu) A leitura da altura da medição da velocidade do vento acima do coberto vegetal é feita no ficheiro dos tipos de cobertos
MEASURE_H	Float	metros		Altura de medição da humidade relativa do ar
ALMA_INPUT			TRUE (Verdade)	Sistema de unidades dos dados de entrada:

ou FALSE (Falso) FALSE  $\Rightarrow$  são adoptadas as unidades padrão do modelo VIC. Os fluxos de água são expressos em mm e a temperatura em graus C; TRUE  $\Rightarrow$  o modelo adopta a convenção de ALMA<sup>4</sup>. Os fluxos de água são expressos por unidade de tempo: mm/s (kg/m<sup>2</sup>s). A temperatura é expressa em graus K.

A variável Force\_type define quais são as variáveis meteorológicas que são fornecidas ao modelo e a sua ordem no ficheiro de entrada. As variáveis meteorológicas que poderão ser fornecidas ao modelo são:

**Quadro 3.9 – Principais variáveis meteorológicas**

Variável	Unidades	Descrição
AIR_TEMP	°C	Temperatura do ar sub-diária
ALBEDO		Albedo da superfície (fracção)
DENSITY	kg m <sup>-3</sup>	Densidade atmosférica
PREC	mm	Precipitação
PRESSURE	kPa	Pressão atmosférica
SHORT WAVE	W m <sup>-2</sup>	Radiação de curto comprimento de onda
TMAX	°C	Temperatura máxima diária
TMIN	°C	Temperatura mínima diária
VP	kPa	Pressão de vapor atmosférica
WIND	m s <sup>-1</sup>	Velocidade do vento
SKIP	---	Variável usada para indicar uma coluna de dados que não será lida pelo modelo

Quando se utiliza um único ficheiro, definem-se todos os parâmetros do ficheiro FORCING1 e para variável FORCING 2 é definida como “FALSE” (Figura 3.3). Quando as variáveis meteorológicas são guardadas em dois ficheiros, no primeiro definem-se os parâmetros para ficheiro FORCING1 e depois para o ficheiro FORCING2, como se mostra na Figura 3.4. Todos os parâmetros precisam ser definidos para os dois ficheiros forçando quando um segundo ficheiro é usado.

FORCING1	FORCING_DATA/LDAS_ONE_DEGREE/data_	FORCING1	FORCING_DATA/LDAS_ONE_DEGREE/data_
N_TYPES	4	N_TYPES	4
FORCE_TYPE	PREC	FORCE_TYPE	PREC UNSIGNED 40
FORCE_TYPE	TMAX	FORCE_TYPE	TMAX SIGNED 100
FORCE_TYPE	TMIN	FORCE_TYPE	TMIN SIGNED 100
FORCE_TYPE	WIND	FORCE_TYPE	WIND SIGNED 100
FORCE_FORMAT	ASCII	FORCE_FORMAT	BINARY
FORCE_DT	24	FORCE_ENDIAN	LITTLE
FORCEYEAR	1950	FORCE_DT	24
FORCEMONTH	1	FORCEYEAR	1950
FORCEDAY	1	FORCEMONTH	1
FORCEHOUR	0	FORCEDAY	1
FORCING2	FALSE	FORCEHOUR	0
		FORCING2	FALSE

**Figura 3.3 – Exemplo das instruções quando um único ficheiros de dados meteorológicos é usado**

<sup>4</sup> ALMA – Assistance for Land-Surface Modelling

```

FORCING1      FORCING_DATA/LDAS_ONE_DEGREE/data_
N_TYPES      4
FORCE_TYPE    PREC
FORCE_TYPE    TMAX
FORCE_TYPE    TMIN
FORCE_TYPE    SKIP
FORCE_FORMAT  ASCII
FORCE_DT      24
FORCEYEAR     1950
FORCEMONTH    1
FORCEDAY      1
FORCEHOUR     0
FORCING2      FORCING_DATA/LDAS_ONE_DEGREE/data_
N_TYPES      2
FORCE_TYPE    SKIP
FORCE_TYPE    WIND
FORCE_FORMAT  ASCII
FORCE_DT      1
FORCEYEAR     1950
FORCEMONTH    1
FORCEDAY      1
FORCEHOUR     0
  
```

**Figura 3.4 – Exemplo das instruções para a definição de dois ficheiros de entrada dos dados meteorológicos**

### 3.2.2.5 Definição dos Ficheiros dos parâmetros - solos e vegetação (“Parameter Files”)

A estrutura dos ficheiros e os parâmetros dos solos e do coberto a fornecer ao modelo são definidos pelo conjunto de opções que se apresentam no Quadro 3.10 e que são definidas no ficheiro “Global Parameter”.

**Quadro 3.10 - Definição dos Ficheiros dos parâmetros - solos e vegetação (“Parameter Files”)**

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
SOIL	String	---		Directoria/Nome do Ficheiro dos parâmetros do solo ou lista dos nomes dos ficheiros de ARC/INFO
ARC_SOIL	String		TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	Os dados/parâmetros dos solos podem ser fornecidos ao modelo em dois formatos:  FALSE ⇒ Os dados dos solos são fornecidos num único ficheiro em formato ASCII file, onde cada linha corresponde a uma célula da grelha que representa a bacia e onde cada coluna corresponde a um parâmetro;  TRUE ⇒ são fornecidos ao modelo um conjunto de ficheiros (grid) em ASCII gerados em Arc/Info. Cada ficheiro contém um mapa de valores de um único parâmetro para todas as células da grelha.  Default = FALSE
SOIL_DIR	String	---		Directoria onde estão guardados os ficheiros Arc/Info em ASCII Apenas é necessário quando: ARC_SOIL = TRUE
BASEFLOW	String	---		Esta opção indica ao modelo como é os dados relativos ao escoamento de base são fornecidos:  <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ARNO = os campos (colunas) 5 a 8 do ficheiro dos parâmetros do solo são os normalmente utilizados no modelo VIC</li> <li>▪ NIJSSEN2001 = os campos (colunas) 5 a 8 do ficheiro dos parâmetros do solo são parâmetros propostos por Nijssen <i>et al.</i> (2001)</li> </ul> Default = ARNO

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
JULY_TAVG_SUPPLIED	String		TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	TRUE ⇒ o modelo VIC irá procurar na última coluna do ficheiro dos parâmetros dos solos o valor da temperatura média do mês de Julho.  Default = FALSE
ORGANIC_FRACT	String		TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	TRUE ⇒ o ficheiro dos parâmetros dos solos terá 3 colunas extras com informação sobre a fracção de matéria orgânica, densidade aparente da matéria orgânica e densidade das partículas da matéria orgânica, para cada uma das três camadas que compõem o solo.  FALSE = O ficheiros dos parâmetros dos solos não contêm qualquer informação relativamente ao teor de matéria orgânica. O modelo assume que a fracção de matéria orgânica é igual a zero.  Default = FALSE.
VEGLIB	String	---		Directoria/Nome do Ficheiro dos tipos/classes de vegetação ("Vegetation library file")
VEGPARAM	String	---		Directoria/Nome do Ficheiro dos parâmetros dos tipos de vegetação ("Vegetation parameter file")
ROOT_ZONES	Integer	---		Número de camadas com raízes que serão utilizadas pelo modelo para fazer a distribuição das raízes
VEGPARAM_LAI	String			TRUE ⇒ o ficheiros dos parâmetros da vegetação tem uma linha extra com os valores mensais do índice de área foliar (IAF/LAI) para cada tipo de vegetação de cada célula da grelha (Figura 3.7) Default = FALSE
LAI_SRC	String			Esta opção diz ao modelo onde deverá procurar/ler os valores do índice de área foliar(IAF/LAI): <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ LAI_FROM_VEGLIB = são utilizados os valores do IAF fornecidos no ficheiro dos tipos de vegetação;</li> <li>▪ LAI_FROM_VEGPARAM = são utilizados os valores do IAF fornecidos no ficheiro dos parâmetros da vegetação. Esta opção requer que a variável VEGPARAM_LAI = TRUE.</li> </ul> Default = LAI_FROM_VEGLIB.
SNOW_BAND	Integer String	---		Número máximo de bandas de neve que serão utilizadas e Directoria/Nome do Ficheiro com os dados.  (sem interesse para área de estudo)

### 3.2.2.6 Definição dos Ficheiros dos parâmetros dos reservatórios

As opções desta secção só importam quando o modelo dos reservatórios (lake model) é executado.

### 3.2.2.7 Definição dos Ficheiros de saída

As opções quanto à estrutura dos ficheiros de saída (nomeadamente passo de tempo, variáveis, unidades, etc.) que serão produzidos pelo modelo são também definidas no ficheiro "Ficheiro Parameter":

**Quadro 3.11- Definição dos Ficheiros de saída**

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
RESULT_DIR	String			Directoria onde serão guardados os ficheiros de resultados do modelo VIC
OUT_STEP	Integer	horas		Passo de tempo dos resultados
SKIPYEAR	Integer	anos		Número de anos que não serão transpostos para o ficheiro de resultados. Esta variável tem como objectivo reduzir a dimensão dos ficheiros de resultados, não incluindo neles o número de anos do início do período de simulação necessários para os resultados do modelo estabilizarem (spin-up) devido às condições iniciais de humidade do solo impostas ao modelo.
COMPRESS	String		TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	TRUE ⇒ os ficheiros de entrada e dos resultados são comprimidos (o formato gzip é utilizado).
BINARY_OUTPUT	String		TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	TRUE ⇒ os ficheiros dos resultados são escritos em formato binário.
ALMA_OUTPUT	String		TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	Sistema de unidades dos resultados do modelo: FALSE ⇒ são adoptadas as unidades padrão do modelo VIC. Os fluxos de água são expressos em mm e a temperatura em graus C; TRUE ⇒ o modelo adopta a convenção de ALMA. Os fluxos de água são expressos por unidade de tempo: mm/s (kg/m <sup>2</sup> s). A temperatura é expressa em graus K.
MOISTFRACT	String	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)		Define as unidades a utilizar pelo modelo para o teor de humidade do solo FALSE ⇒ são adoptadas as unidades padrão do modelo VIC. O teor de humidade do solo é expresso em mm; TRUE ⇒ O teor de humidade do solo é expresso é fracção de volume. Default = FALSE
PRT_HEADER	String	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)		Opções para o cabeçalho (header) dos ficheiros dos resultados. FALSE ⇒ os ficheiros de resultados não tem cabeçalhos; TRUE ⇒ são introduzidos cabeçalhos no início de cada ficheiro de resultados, dando informação quanto ao nome das variáveis de cada campo nos caso dos ficheiros em formato ASCII e/ou do tipo de variáveis, no caso do formato Binário. Default = FALSE
PRT_SNOW_BAND	String	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)		Permite ordenar ao modelo que escreva as variáveis da neve de cada banda num arquivo/ficheiro separado (snow_band_*). (sem interesse para área de estudo)
N_OUTFILES <sup>5</sup>	Integer	---		Número de ficheiros de saída por cada célula da grelha
OUTFILE <sup>5</sup>	String Integer	prefixo		In formação sobre o ficheiro de saída: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Prefixo do ficheiro de saída;</li> <li>▪ Número de variáveis no ficheiro de saída;</li> </ul> Esta informação é especificada uma vez para cada ficheiro de saída
OUTVAR <sup>5</sup> :				Informação sobre a variável de saída:
Nome	String			1. Nome (deverá corresponder dos nomes da lista do vicNI_def.h)
Formato	String			2. Formato do ficheiro de saída (C printf-style format code)

<sup>5</sup> As variáveis N\_OUTFILES, OUTFILE, e OUTVAR são opcionais. Sempre que estas variáveis são omissas o modelo VIC produz os ficheiros de saída convencionais

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
Tipo	String			3. Tipo de dados. Uma das seguintes opções: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ OUT_TYPE_DEFAULT;</li> <li>▪ OUT_TYPE_CHAR;</li> <li>▪ OUT_TYPE_SINT;</li> <li>▪ OUT_TYPE_USINT;</li> <li>▪ OUT_TYPE_INT;</li> <li>▪ OUT_TYPE_FLOAT;</li> <li>▪ OUT_TYPE_DOUBLE.</li> </ul>
Multiplicador	Integer			
				4. Multiplicador – número para multiplicar os dados com o fim de recuperar os valores originais (só é válido quando BINARY_OUTPUT=TRUE)
Estes quatro parâmetros da variável OUTVAR têm de ser definidos para cada uma das variáveis do ficheiro de resultados.				

### 3.2.3 Ficheiro “user\_def.h”

O ficheiro “user\_def.h” não é propriamente um ficheiro de entrada de dados (trata-se de um ficheiro de cabeçalho no código fonte do modelo), sendo aqui incluído uma vez que algumas opções importantes de simulação são definidas neste ficheiro.

Quando o ficheiro “user\_def.h” é alterado é necessário recompilar o modelo, para que as alterações sejam consideradas.

#### 3.2.3.1 Definição de opções de simulação

As seguintes opções determinam o tipo de simulação que será realizada:

**Quadro 3.12 – Opções de simulação (ficheiro “user\_def.h”)**

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
VERBOSE	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	Esta opção controla as mensagens enviadas para o ecrã: FALSE ⇒ é enviado o mínimo de informação para o ecrã: erros, etc.; TRUE ⇒ a informação enviada para o ecrã inclui mensagens de abertura/fecho de ficheiros, avisos (“warnings”), erros, etc..
CLOSE_ENERGY	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	Opção para a definição do modo como os fluxos de energia são tratados entre as várias componentes da superfície terrestre (copado, camada de neve e solo): FALSE ⇒ o balanço de energia de cada uma das componentes é resolvido individualmente, considerando os fluxos de entrada provenientes dos outros componentes calculados no passo de tempo anterior; TRUE ⇒ considera as interações entre os diversos componentes adoptando um processo iterativo: inicialmente cada uma das componentes é calculada individualmente e os fluxos de saída de cada uma delas são actualizados. No passo seguinte cada uma das componentes é recalculada individualmente com os valores de fluxo actualizados. O cálculo termina quando se obtêm valores sucessivos tão próximos quanto se deseja Nota: ambas as aproximações dão resultados similares, mas enquanto a opção CLOSE_ENERGY = FALSE diminui o tempo de

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
QUICK_FS	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>cálculo, os erros no balanço de energia são maiores.</p> <p>Opção para acelerar cálculos na modelação do processo de congelamento do solo:</p> <p>FALSE ⇒ usa as equações completas para estimar a quantidade máxima de água no estado líquido no solo;</p> <p>TRUE ⇒ utiliza a versão linear das equação da quantidade de água no estado líquido, definidas em global.h. Esta aproximação aumenta significativamente a velocidade de processamento quando é simulado o processo de congelamento do solo.</p> <p>NOTA: Este método de cálculo não se encontra totalmente testado</p>
QUICK_FS_TEMPS	Integer	---		<p>Número de termos que serão usados nas equações linearizadas para o cálculo da quantidade de água no estado líquido.</p> <p>Esta opção é apenas utilizada quando QUICK_FS = TRUE; caso contrário é ignorada.</p>
LOW_RES_MOIST	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>Opção quanto á aproximação que será usada no cálculo do teor de humidade do solo e do fluxo de drenagem</p> <p>FALSE ⇒ o modelo assume um potencial mátrico uniforme dentro de cada camada do solo (esta opção conduz normalmente a uma drenagem do solo excessivamente rápida quando usada num solo representado com 2-4 camadas).</p> <p>TRUE ⇒ o modelo recorre a uma interpolação linear do logaritmo do potencial mátrico entre duas camadas adjacentes para estimar o fluxo de drenagem através da camada fronteira (Boone e Wetzel, 1996). Esta aproximação permite, que num solo representado com poucas camadas (2 a 4), simular uma maior retenção da água no topo da coluna do solo, tal como acontece num com muitas camadas.</p> <p>NOTA: Este método de cálculo não se encontra totalmente testado</p>
NO_REWIND	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>Opção para controlo de leitura dos ficheiros dos parâmetros (solos e vegetação):</p> <p>FALSE ⇒ Retrocede (volta ao início) dos ficheiros dos parâmetros antes de ler os dados de cada célula</p> <p>TRUE ⇒ Não retrocede na leitura dos ficheiros dos parâmetros, antes de ler os dados de cada célula. Esta opção permite economizar tempo, mas exige que a ordem das células da grelha seja a mesma em todos ficheiros.</p> <p>Opção para desagregação dos dados meteorológicos:</p> <p>FALSE ⇒ Executa a simulação completa do processo hidrológico, incluindo a desagregação dos dados meteorológicos.</p> <p>TRUE ⇒ Apenas o processo de desagregação dos dados meteorológicos é processado. Esta opção permite que o modelo VIC seja utilizado como um modelo de desagregação de dados meteorológicos.</p>
OUTPUT_FORCE	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>Neste modo de operação o modelo VIC deve ser executado da mesma forma, deverá ser preparado o ficheiro "Global Parameter" que fornecerá as instruções da pasta onde se encontram os ficheiros das variáveis meteorológicas e dos parâmetros do solo, assim como a definição dos passos de tempo dos ficheiros dos dados meteorológicos (FORCING1 e/ou FORCING2), o passo de tempo do ficheiro dos resultados (normalmente igual ao passo de tempo da simulação), o início e fim do período da simulação.</p>
OUTPUT_FORCE_STATS	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>Opção de cálculo de estatísticas dos dados meteorológicos:</p> <p>FALSE ⇒ Executa a simulação completa do processo hidrológico, incluindo a desagregação dos dados meteorológicos.</p> <p>TRUE ⇒ Não executada a simulação do processo hidrológico, o modelo apenas irá calcular a média, o desvio padrão e os valores</p>

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
SPATIAL_FROST	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>mínimos e máximos das variáveis meteorológicas e escrevê-los no ficheiro <b>stdout</b>.</p> <p>Opção quanto à heterogeneidade espacial da temperatura do solo:            FALSE ⇒ Assume que a temperatura do solo não varia na horizontal (apenas varia em profundidade).            TRUE ⇒ O modelo assume, que para cada profundidade, as temperaturas do solo apresentam uma distribuição uniforme (linear) na horizontal. Deste modo, mesmo quando a temperatura média do solo é inferior a zero para uma dada profundidade, existe uma parte da área da célula em que se verifica uma temperatura acima de zero para essa profundidade.</p> <p>Esta opção requer a especificação no ficheiro dos parâmetros do solo da variável <code>frost_slope</code> (Declive da distribuição uniforme da temperatura do solo) num campo extra, a partir da qual e do valor médio da temperatura do solo serão calculadas as temperaturas máximas e mínimas.</p>
FROST_SUBAREAS	Integer			<p>Número de valores discretos da distribuição da temperatura do solo. Esta variável só é necessária quando SPATIAL_FROST = TRUE, caso contrário será ignorada.</p>
SPATIAL_SNOW	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>Opção quanto à heterogeneidade espacial da altura equivalente de água de neve (considerando uma cobertura parcial da camada de neve) quando a camada de neve se encontra em processo de fusão ou degelo:            FALSE ⇒ O modelo assume que a altura equivalente de água de neve é constante em toda a área da célula.            TRUE ⇒ O modelo assume que altura equivalente de água de neve é variável no espaço (na célula), sendo descrita por uma distribuição uniforme, e admitindo que existe uma fracção da célula onde a altura de neve é zero.</p> <p>Esta opção requer a especificação no ficheiro dos parâmetros do solo da variável <code>max_snow_distrib_slope</code> (Declive máximo da distribuição uniforme da camada de neve) num campo extra.            (sem interesse para área de estudo)</p>
EXCESS_ICE	String	---	TRUE (Verdade) ou FALSE (Falso)	<p>Opção de cálculo quanto ao comportamento dos solos do tipo permafrost ou pergelissolo:            FALSE ⇒ O modelo assume que não há excesso de gelo no solo. Neste caso os parâmetros do solo (porosidade, densidade, etc.) correspondem aos valores introduzidos no ficheiro parâmetros dos solos, sem qualquer tipo de correcção.            TRUE ⇒ O modelo assume a ocorrência de excesso de gelo no solo. Esta opção requer que o utilizador especifique a quantidade inicial de gelo no solo (<code>initial_ice_content</code>) num campo extra do ficheiro parâmetros do solo. O modelo VIC calcula a porosidade efectiva, as densidades do solo, etc., tendo em consideração o excesso de gelo no solo. à medida que ocorre o processo de fusão do gelo, a porosidade efectiva e a densidade do solo aproximam-se dos valores sem gelo (introduzido no ficheiro dos parâmetros dos solos). O excesso de água no solo resultante do degelo irá contribuir para o escoamento superficial ou para o escoamento de base.</p> <p>(sem interesse para área de estudo)</p>
MAXIT_FE	Integer			<p>Número máximo de iterações admitidas na solução do balanço de energia da superfície.            (sem interesse para área de estudo)</p>
LAI_WATER_FACTOR	Float			<p>Valor do coeficiente utilizado no cálculo da capacidade de armazenamento do copado em função do índice de área foliar.</p>



Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
LWAVE_COR	Float			Factor de correcção da radiação longo de comprimento de onda incidente estimada pelo modelo (na ausência de registos da radiação de longo comprimento de onda para calibração, deverá ser usado o valor 1).

### 3.2.3.2 Definição das dimensões dos dados de entrada

Sempre que necessário, poderão ser alteradas, no ficheiro “user\_def.h”, as dimensões das variáveis indicadas no Quadro 3.13.

**Quadro 3.13 – Dimensões de alguns dados de entrada**

Variável	Tipo	Unidades	Domínio	Descrição
MAX_VEG	Integer			O número máximo de classes/tipos de vegetação que podem ser definidos dentro de uma célula da grade (igual ao número de classes de vegetação que são definidas no ficheiro dos tipos de vegetação – “Vegetation library file”).
MAX_LAYERS	Integer			Número máximo de camadas de solo.
MAX_NODES	Integer			Número máximo de nós que podem ser considerados na coluna do solo.
MAX_BANDS	Integer			Número máximo de bandas de elevação neve que podem ser definidas por célula. (sem interesse para área de estudo)
MAX_FRONTS	Integer			Número máximo de frentes de congelamento/degelado do solo que podem ser definidas por célula. (sem interesse para área de estudo)
MAX_LAKE_NODES	Integer			Número máximo de nós que podem ser considerados na solução do modelo dos reservatórios/lagos. (sem interesse para área de estudo)

### 3.2.4 Ficheiro dos dados meteorológicos (“Meteorological Forcing Files”)

O modelo permite a introdução de um conjunto muito vasto de variáveis meteorológicas (Quadro 3.14) para a modelação do balanço de água ou do balanço de energia. Sendo que o conjunto mínimo de variáveis meteorológicas requerido pelo modelo VIC é constituído por dados diários:

- da precipitação total (chuva e/ou neve);
- das temperaturas máxima e mínima; e
- da velocidade média do vento.

**Quadro 3.14 - Variáveis meteorológicas que podem ser fornecidas ao modelo VIC**

Variável	Definição	Unidades	
		Default	ALMA
AIR_TEMP	Temperatura do ar	°C	
CHANNEL_IN	Entrada de caudal (versão 4.1.2 ou posterior)	m <sup>3</sup>	

Variável	Definição	Unidades	
		Default	ALMA
ALBEDO	Albedo da superfície	---	---
CRAINF	Chuva do tipo convectiva	mm	mm s <sup>-1</sup>
CSNOWF	Neve do tipo convectiva	mm	mm s <sup>-1</sup>
DENSITY	Densidade atmosférica	kg m <sup>-3</sup>	
LONGWAVE	Radiação incidente de longo comprimento de onda	W m <sup>-2</sup>	
LSRAINF	Chuva do tipo estratiforme	mm	mm s <sup>-1</sup>
LSSNOWF	Neve do tipo estratiforme	mm	mm s <sup>-1</sup>
PREC	Precipitação	mm	mm s <sup>-1</sup>
PRESSURE	Pressão atmosférica	kPa	Pa
QAIR	Humidade específica	kg kg <sup>-1</sup>	
RAINF	Chuva	mm	mm s <sup>-1</sup>
REL_HUMID	Humidade relativa	---	
SHORTWAVE	Radiação incidente de curto comprimento de onda (radiação solar global)	W m <sup>-2</sup>	
SNOWF	Neve	mm	mm s <sup>-1</sup>
TMAX	Temperatura máxima diária	°C	K
TMIN	Temperatura mínima diária	°C	K
TSKC	Nebulosidade	---	---
VP	Pressão de vapor atmosférica	kPa	Pa
WIND	Velocidade do vento	m s <sup>-1</sup>	
WIND_E	Componente zonal da velocidade do vento	m s <sup>-1</sup>	
WIND_N	Componente meridional da velocidade do vento	m s <sup>-1</sup>	
SKIP	Variável usada para indicar uma coluna de dados que não será lida pelo modelo	---	

Quando a humidade relativa e a radiação não são fornecidas nos dados de entrada, o modelo VIC usa os algoritmos MTCLIM (Kimball *et al.*, 1997; Thornton e Running, 1999) para estimar a humidade relativa e o algoritmo de Tennessee Vale Authority (Bras, 1990) para estimar a radiação de longo comprimento de onda, a partir dos dados diários da temperatura máxima e mínima do ar. O modelo VIC também calcula a pressão de vapor atmosférica e a densidade atmosférica a partir da altura de elevação das células da grelha que representa a bacia e da taxa média global de diminuição da pressão com a altitude.

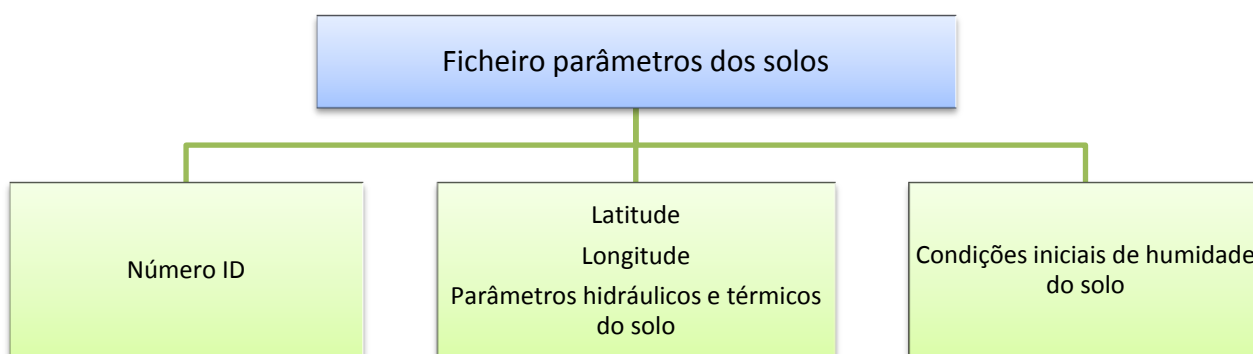
Por último, quando o passo de tempo da simulação é sub-diário, o modelo VIC converte os valores diários em sub-diários de acordo com a seguinte aproximação:

- Assumindo algumas hipótese quanto às alturas do dia em que ocorrem as temperaturas máxima e mínima do ar;
- Interpolando as series da temperatura máxima e mínima do ar com uma spline;
- Distribuindo a radiação (solar) de comprimento de onda curto ao longo do dia de acordo com o ângulo de zénite solar;
- Assumindo que a pressão de vapor atmosférica, a pressão atmosférica, a densidade atmosférica e a velocidade do vento são constantes ao longo do dia;
- Calculando os valores sub-diários da radiação de comprimento de onda longo a partir dos valores sub-diários da temperatura do ar e do valor constante da pressão de vapor atmosférica;

- Calculando os valores sub-diários do déficit de pressão como a diferença entre os valor sub-diários da pressão de saturação e da pressão de vapor de vapor;
- Repartindo a precipitação total em quantidades iguais pelos intervalos sub-diários.

### 3.2.5 Ficheiro dos parâmetros dos solos

O ficheiro dos parâmetros dos solos tem como principais objectivos fornecer ao modelo os dados dos parâmetros dos solos e as condições iniciais de humidade para cada uma das células da grelha, que são identificadas pelo modelo através do número ID.



O número ID funciona como uma chave primária, permitindo estabelecer a ligação entre a célula da grelha e os seus parâmetros fornecidos em cada um dos ficheiros de entrada.

O ficheiro parâmetros dos solos pode ser escrito em dois formatos alternativos:

- um único ficheiro em formato ASCII, com uma linha por cada célula da grelha, onde cada coluna (campo) corresponde a um parâmetro do solo (Figura 3.5).
- um conjunto de ficheiros em formato ASCII Arc/Info. Cada um dos ficheiros corresponde a um mapa de valores de um único parâmetro para todas as células.

Example Soil Parameter File: VIC 4.0.5/4.0.6 Water Balance

#RUN	GRID	LAT	LNG	INFILT	Ds	Ds_MAX	Ws	C	EXPT_1	EXPT_2	EXPT_3	Ksat_1	Ksat_2	Ksat_3...	RESM1	RESM2	RESM3	FS_ACTIV	JULY_TAVG
1	7	43.739	-92.4.0	0.010	1.e-4	3.05	0.93	2	4.0	4.0	4.0	250.0	250.0	250.0	0.02	0.02	0.02	1	18.665

**Figura 3.5 – Exemplo dum ficheiro dos parâmetros do solo em formato ASCII com estrutura colunar**

Os parâmetros hidráulicos e térmicos do solo requeridos pelo modelo VIC estão identificados no Quadro abaixo. Todas as colunas do ficheiro de entrada devem ser preenchidas, mas certos parâmetros só são necessários quando se procede à simulação do balanço energético completo ou quando se modela o congelamento da água no solo.

No caso particular do caso de estudo, ambos os processos não simulados.

O utilizador pode adicionar linhas de cabeçalho, colocando no início de cada uma das linhas o carácter '#'.

**Quadro 3.15 – Parâmetros e estrutura do ficheiro de solos**

Coluna	Variável	Unidades	Nº Valores	Descrição
1	run_cell	---	1	1 = É executada a simulação 0 = Não é executada a simulação
2	gridcel	---	1	Número de identificação da célula (Número ID)
3	lat	graus	1	Latitude da célula da grelha
4	lon	graus	1	Longitude da célula da grelha
5	infiltr	---	1	infiltr (b_infiltr) descreve a Curva Variável de Infiltração.  O Valor deste parâmetro é frequentemente ajustado durante o processo de calibração do modelo VIC. Normalmente, assume um valor dentro do intervalo $[10^{-5} ; 0.4]$ . O incremento do valor do b_infiltr produz mais escoamento. O valor 0.2 é frequentemente usado como valor inicial.
6	Ds	---	1	Ds representa a fracção de Dsmax para a qual se inicia o escoamento de base não linear.  O valor deste parâmetro é, normalmente, ajustado durante o processo a calibração do modelo VIC. Um valor inicial de 0.001 pode ser usado. Normalmente, este parâmetro toma valores pequenos (menores que 1).
7	Dsmax	mm dia <sup>-1</sup>	1	Dsmax é a velocidade máxima do escoamento de base (caudal máximo por unidade de área do escoamento de base).  O valor deste parâmetro pode ser estimado a partir da condutividade hidráulica saturada, Ksat, e do declive da célula ( $Dsmax = Ksat \times \text{declive}$ ). O termo "Declive" deve ser interpretado como a relação entre o escoamento de base e o teor de água no solo. Se se considerar a Lei de Darcy, o termo declive corresponderá efectivamente ao declive da célula. De acordo com a metodologia proposta pela Universidade de Washington o valor de Dsmax deverá ser sempre obtido mediante através de calibração. Um valor inicial para Dsmax poderá ser obtido a partir da análise de hidrogramas de escoamento observados e estimando a curva de esgotamento.
8	Ws	---	1	Ws é a fracção do teor máximo de água no solo, para a qual ocorre escoamento de base não linear.  Similarmente ao parâmetro Ds, o valor do parâmetro Ws é normalmente ajustado durante o processo de calibração do modelo VIC. Geralmente, o parâmetro Ws toma valores maiores que 0.5. Um valor inicial de 0.9 pode ser utilizado.
9	c	---	1	c é o expoente da curva do escoamento de base, normalmente é fixado em 2
10: (Ncamada+9)	Expt		= Nº camadas	Exponent n – parâmetro da equação de Brooks-Corey, definido como: $n = 3 + 2/\lambda$ , onde $\lambda$ é o índice de distribuição dos poros. Os valores devem ser $> 3.0$ .  Por defeito, a equação de Brooks-Corey é utilizada para modelar o escoamento em meio poroso não saturado.
(Ncamada+10): (2xNcamada+9)	Ksat	mm dia <sup>-1</sup>	= Nº camadas	Ksat é a condutividade hidráulica saturada do solo para cada uma das camadas definidas para representar o solo  Os valores de Ksat são estimados de forma aproximada para cada

Coluna	Variável	Unidades	Nº Valores	Descrição
(2xNcamada+10): (3xNcamada+9)	phi_s	mm mm <sup>-1</sup>	= N° camadas	uma das camadas a partir dos dados de textura existentes para bacia em estudo. phi_s é o coeficiente de difusão da água
(3xNcamada+10): (4xNcamada+9)	init_moist	mm	= N° camadas	Este parâmetro foi previsto nos dados de entrada de modo a incluir, futuramente, as equações de transporte de água no modelo. A actual versão do modelo, não inclui estas equações, pelo que o valor -999 pode ser introduzido em lugar do parâmetro. init_moist é o teor de humidade inicial do solo de cada uma das camadas
(4xNcamada+10) (4xNcamada+11): (5xNcamada+10)	elev depth	m m	1 = N° camadas	Deverá ser atribuído um valor razoável ao teor de humidade do solo. Uma aproximação possível é usar uma fracção do teor de humidade do solo (expressa como uma fracção do teor de humidade máximo = porosidade x profundidade da camada) num ponto crítico, Wcr, a qual poderá ser calculada para cada uma das camadas como uma altura em mm, multiplicando Wcr pela profundidade da camada expressa em m, e depois multiplicar por 1000. Altura de elevação média da célula depth é a profundidade em m de cada uma das camadas do solo
(5xNcamada+11)	avg_T	° C	1	Este parâmetro poder ser alterado no processo de calibração. Avg_T é a temperatura média do solo, usada com condição fronteira inferior na modelação dos fluxos de calor no solo.
(5xNcamada+12)	dp	M	1	Esta variável é a temperatura do solo na profundidade de amortecimento, definida como a profundidade do solo na qual a temperatura permanece praticamente constante ao longo de todo o ano. Normalmente assume-se que é igual à média da temperatura anual do ar. Esta temperatura é usada como condição de fronteira inferior nos cálculos dos fluxos de calor ao longo do perfil do solo. (Esta variável só é necessária para o modo de simulação do balanço de energia) dp é a profundidade de amortecimento (profundidade do solo na qual a temperatura permanece praticamente constante ao longo de todo o ano, ~4 m)
(5xNcamada+13): (6xNcamada+12)	bubble	Cm	= N° camadas	(Esta variável só é necessária para o modo de simulação do balanço de energia) Pressão à qual o ar entra no solo (bubbling pressure)
(6xNcamada+13): (7xNcamada+12)	quartz	---	= N° camadas	(Esta variável só é necessária para o modo de simulação do balanço de energia e do congelamento do solo) Quantidade de Quartzo no solo
(7xNcamada+13): (8xNcamada+12)	bulk_density	kg m <sup>-3</sup>	= N° camadas	(Esta variável só é necessária para o modo de simulação do balanço de energia) Densidade aparente
(8xNcamada+13): (9xNcamada+12)	soil_density	kg m <sup>-3</sup>	= N° camadas	Densidade de partículas do solo, normalmente 2 685 kg m <sup>-3</sup> .

Coluna	Variável	Unidades	Nº Valores	Descrição
(Opcional)	organic	---	= Nº camadas	Fracção da camada do solo que é matéria orgânica  Esta variável só é definida quando ORGANIC_FRACT = TRUE no ficheiro "global parameter" (versão 4.1.2 ou posterior)
(Opcional)	bulk_dens_org	kg m <sup>-3</sup>	= Nº camadas	Densidade aparente do solo correspondente à fracção da matéria orgânica  Esta variável só é definida quando ORGANIC_FRACT = TRUE no ficheiro "global parameter" (versão 4.1.2 ou posterior)
(Opcional)	soil_dens_org	kg m <sup>-3</sup>	= Nº camadas	Densidade de partículas do solo correspondentes à fracção da matéria orgânica, normalmente 1 300 kg m <sup>-3</sup>  Esta variável só é definida quando ORGANIC_FRACT = TRUE no ficheiro "global parameter" (versão 4.1.2 ou posterior)
(9xNcamada+13)	off_gmt	horas	1	Fuso horário contabilizado a partir do meridiano de Greenwich – GMT. Este parâmetro determina o modo como o modelo VIC interpreta os passos de tempo sub-diários relativamente à data e hora indicadas para o início da simulação: <ul style="list-style-type: none"> <li>off_gmt = 0 indica ao modelo que a data/hora do período de simulação corresponde à Hora Média de Greenwich</li> <li>off_gmt = grid_cell_longitude*24/360, indica que a data/hora do início do período da simulação é relativo à hora local.</li> </ul> <p>Os resultados sub-diários apresentados nos ficheiros de saída são referenciados à data/hora de início do período de simulação e ao parâmetro off_gmt. Assim, quando off_gmt = 0, os resultados correspondem à hora de Greenwich, e quando off_gmt = grid_cell_longitude (* 24/360) os resultados são referenciados para a hora local.</p> <p>O modelo assume que os dados meteorológicos diários reportam-se ao período de 24 horas medido a partir da meia-noite da hora local. Quando o modelo VIC desagrega os dados diários em dados sub-diários, o parâmetro off_gmt será usado para determinar o tempo de atraso entre o início do ciclo diurno dos dados meteorológicos e o início do período da simulação</p> <p>Quando são fornecidos dados meteorológicos sub-diários, o modelo assume que correspondem ao fuso horário indicado pelo parâmetro off_gmt. Neste casos os resultados de saída sub-diários correspondem aos mesmos instantes dos dados meteorológicos de entrada.</p> <p>Quando são fornecidos nos dados de entrada meteorológicos diários e sub-diários, é importante garantir que todos os dados sub-diários de entrada reportam-se ao fuso horário dado pelo parâmetro off_gmt.</p>
(9xNcamada+14): (10xNcamada+13)	Wcr_FRACT	---	= Nº camadas	TWcr_Fract é a fracção do teor de água no solo (expressa como a quantidade máxima de água no solo = porosidade x profundidade da camada) correspondente ao ponto crítico (≈ 70% do teor de humidade do solo à capacidade de campo).

Coluna	Variável	Unidades	Nº Valores	Descrição
(10xNcamada+14): (11xNcamadas+13)	Wpwp_FRACT	---	= N° camadas	A capacidade de campo é definida no modelo como o teor de água à tensão de -33 kPa. Wpwp_FRACT é a fracção do teor de água no solo (expressa como a quantidade máxima de água no solo = porosidade x profundidade da camada) correspondente ao coeficiente de emurchecimento.
(11xNcamada+14)	rough	m		O coeficiente de emurchecimento do solo é definido como o teor de água retido pelo solo contra uma sucção de 1500 kPa. Rugosidade da superfície do solo nu, expresso em metros.
(11xNcamada+15)	snow_rough	m		O valor de 0,001 m pode ser inicialmente atribuído a este parâmetro. Devendo posteriormente ser ajustado com dados locais. Rugosidade da camada de neve, expressa em metros.
(11xNcamada+16)	annual_prec	mm		O valor de 0,0005 m pode ser inicialmente atribuído a este parâmetro. Devendo posteriormente ser ajustado com dados locais. Precipitação média anual
(11xNcamada+17): (12xNcamada+16)	resid_moist	---		A regressão proposta por Kimball <i>et al.</i> (1997) é utilizada pelo modelo VIC para melhorar a estimativa temperatura do ponto de orvalho nas regiões áridas. Sendo necessário fornecer os valores da precipitação média anual em mm para célula da grelha. Teor de humidade residual expresso como fracção
(12*Ncamada+17)	fs_active	---	0 ou 1	O teor de humidade residual é definido com a quantidade de água no solo que não pode ser removida nem pela drenagem nem pela evapotranspiração. Quando se considera que o teor de humidade residual do solo é nulo (resid_moist = 0 mm/mm), a condutividade hidráulica não saturada é estimada pelo modelo de Campbell (1974), caso contrário é adoptado o modelo de Brooks e Corey (1966). Se fs_active =1, então o processo de congelamento do solo é simulado para a célula em causa. Caso contrário (fs_active =0), o processo de congelamento do solo não é simulado, mesmo que as temperaturas do solo caiam abaixo do 0 °C.
(Opcional)	frost_slope	° C	1	Declive da distribuição uniforme da temperatura do solo (quando a variável SPATIAL_FROST = TRUE no ficheiro user_def.h).
(Opcional)	max_snow_distrib_slope			Declive máximo da distribuição da camada de neve (quando a variável SPATIAL_SNOW = TRUE no ficheiro user_def.h ).
(Opcional)	initial_ice_content			(sem interesse para a área de estudo) Quantidade inicial de gelo no solo (quando a variável EXCESS_ICE = TRUE no ficheiro user_def.h ).
(Opcional)	July_Tavg			(sem interesse para a área de estudo) Valor médio da temperatura do ar do mês de Julho, utilizado para calcular a linha de árvores (quando JULY_TAVG_SUPPLIED = TRUE no ficheiro "global parameter").

### 3.2.6 Ficheiros dos tipos de vegetação (“Vegetation library file”)

Os parâmetros necessários para cada tipo de vegetação usado no modelo VIC são fornecidos num ficheiro em formato ASCII com uma estrutura colunar (Figura 3.6), como descrita neste manual. Os parâmetros são fornecidos para cada um dos tipos de vegetação referenciados no ficheiro parâmetros da vegetação (fornece informação quanto ao número de classes de vegetação e usos presentes em cada umas das células e respectivas frequências relativas).

Um cabeçalho e linhas com notas/observações podem ser adicionados ao ficheiro desde que se coloque no início o carácter '#.'

```
Vegetation parameters for agricultural region:
#Class  OvrStry  Rarc    Rmin   JAN-LAI  FEB-LAI  MAR-LAI  APR-LAI  MAY-LAI  JUN-LAI  JUL-LAI  AUG-LAI  SEP-LAI  OCT-LAI  NOV-LF  ...  wind_atten  truck_ratio  COMMENT
2       0       25.0   220.   0.000   0.000   0.000   0.000   1.000   2.500   4.000   4.500   0.500   0.000   0.000  ...   0.5         0.2          Corn Field
3       0       25.0   220.   0.000   0.000   0.000   0.000   1.000   3.000   5.000   6.000   3.000   0.000   0.000  ...   0.5         0.2          Soy Field
```

Figura 3.6 – Exemplo dum ficheiro dos tipos de vegetação em formato ASCII com estrutura colunar

Quadro 3.16 – Parâmetros e estrutura do ficheiro dos tipos de vegetação

Coluna	Variável	Unidades	Nº Valores	Descrição
1	veg_class	---	1	Número de identificação do tipo/classe de vegetação/uso da terra
2	overstory	---	1	Variável (“flag”) que indica se a classe de vegetação/uso do solo possui um copado que fecha ou não TRUE ⇒ quando existe um copado que fecha (ex.: árvores) FALSE ⇒ quando existem abertas (ex.: gramado)
3	rarc	s/m	1	Resistência da arquitectura do tipo de vegetação (~2 s/m)
4	rmin	s/m	1	Resistência estomática mínima do tipo de vegetação (~100 s/m)
5 : 16	LAI	---	12	Índice de área foliar do tipo de vegetação São fornecidos os valores mensais de Janeiro a Dezembro
17 : 28	Albedo	adim.	12	Albedo do tipo de vegetação São fornecidos os valores mensais de Janeiro a Dezembro
29 : 40	rough	m	12	Comprimento da rugosidade da vegetação. Normalmente assume-se que esta variável é igual a 0.123 x altura da média da vegetação São fornecidos os valores mensais de Janeiro a Dezembro
41 : 52	displacement	m	12	Altura do deslocamento do plano zero Normalmente assume-se que esta variável é igual a 0.67 x altura da média da vegetação São fornecidos os valores mensais de Janeiro a Dezembro
53	wind_h	m	1	Altura a que a velocidade do vento é medida
54	RGL	W/m <sup>2</sup>	1	Valor mínimo da radiação de curto comprimento de onda para a qual ocorrerá transpiração
55	rad_atten	---	1	Factor de atenuação da radiação. Normalmente considera-se igual a 0.5 (apenas nas latitudes elevadas poderá ser necessário ajustar esta variável).
56	wind_atten	---	1	Factor de atenuação do vento ao longo dos copados que fecham Por defeito assume-se igual a 0.5.
57	trunk_ratio	---	1	Fracção da altura total da árvore que é tronco (sem ramos). Por defeito assume-se igual a 0,2.



Coluna	Variável	Unidades	Nº Valores	Descrição
58	comment	---	1	Comentário O utilizador poderá escrever um comentário que permite identificar o tipo de vegetação

### 3.2.7 Ficheiros dos parâmetros da vegetação (“Vegetation parameter file”)

Os parâmetros da vegetação requeridos pelo modelo VIC estão listados nos quadros seguintes. O número de classes de vegetação e respectivas áreas expressas como fracção tem de ser indicadas para célula da grelha

Variável	Unidades	Descrição
gridcel	---	Número de identificação da célula
Nveg	---	Número de tipos/classes de vegetação usos presentes na célula

Variável	Unidades	Descrição
veg_class	---	Número de identificação do tipo/classe de vegetação/uso da terra. Funciona com chave primária, permitindo estabelecer a relação com o ficheiro dos tipos de vegetação
Cv	---	Fracção da célula da grelha coberta pelo tipo de vegetação/ uso da terra

Para cada tipo/classe de vegetação, é necessário indicar para cada mamada da zona radical<sup>6</sup>:

Variável	Unidades	Descrição
root_depth	m	Espessura da camada
root_fract	---	Fracção de raízes na camada

As variáveis seguintes só são definidas quando no ficheiro dos parâmetros globais, a variável BLOWING é TRUE<sup>7</sup>.

Variável	Unidades	Descrição
sigma_slope	---	Desvio padrão dos declives do terreno dentro de cada tipo/classe de vegetação
lag_one	---	Autocorrelação dos declives do terreno com tempo de atraso de 1 dentro de cada tipo/classe de vegetação
fetch	m	O fetch (distância percorrida pelo vento sem obstáculos) médio para cada tipo/classe de vegetação da célula

Quando no ficheiro dos parâmetros globais, a variável VEGPARAM\_LAI toma o valor TRUE, é necessário definir ao valores mensais da do Índice de área foliar.

Variável	Unidades	Descrição
LAI	---	Valores mensais do índice de área foliar para cada tipo de vegetação de cada célula da grelha

<sup>6</sup> O número de camadas radicais é definido no ficheiro “Global Parameter”

<sup>7</sup> No caso particular da bacia do Zambeze a variável BLOWING será definida como FALSE, pelo que as variáveis sigma\_slope, lag\_one e fetch não serão definidas.

```

### Two vegetation tiles with three root zones in the seventh grid cell
### with LAI included.

7 2

8 0.102679 0.10 0.10 1.00 0.65 0.50 0.25

0.312 0.413 0.413 0.413 0.413 0.488 0.975 1.150 0.625 0.312 0.312 0.312

10 0.897321 0.10 0.10 1.00 0.70 0.50 0.20

0.212 0.262 0.275 0.338 0.750 1.275 0.950 0.650 0.450 0.288 0.237 0.212

```

**Figura 3.7 - Exemplo dum ficheiro dos parâmetros da vegetação em formato ASCII**

### 3.3 RESULTADOS DO MODELO VIC

#### 3.3.1 Ficheiros de saída do modelo VIC

O nome e conteúdo dos ficheiros de saída do modelo VIC pode ser definido pelo utilizador, através do conjunto de opções/instruções do ficheiro "Global Parameter". Quando não é fornecida qualquer instrução ao modelo, este cria os ficheiros tipo (criados pelas versões iniciais): os ficheiros "fluxes" e "snow", e adicionalmente os ficheiros "fdepth" quando a variável FROZEN\_SOIL = TRUE e "snowband" se PRT\_SNOW\_BAND = TRUE.

Nas versões mais recentes do modelo VIC, os ficheiros de saída podem apresentar qualquer combinação das variáveis indicadas no Quadro seguinte<sup>8</sup>, através das opções/instruções do ficheiro "Global parameter":

**Quadro 3.17 – Resultados do modelo VIC**

Variável	Unidades	Descrição
Resultados do balanço da água (variáveis de estado)		
OUT_ASAT	---	Fracção de área da célula que se encontra saturada (não inclui a área dos lagos, assim a área total da célula que se encontra completamente é dada por: OUT_ASAT + OUT_LAKE_AREA_FRAC) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_AREA_FRACT	---	Área da superfície do lago expressa com fracção da área total da célula (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_DEPTH	m	Profundidade do lago (distância entre a superfície e o ponto mais profundo) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_ICE	mm	Água armazenada sob forma de gelo (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_ICE_FRACT	---	Fracção da superfície da célula coberta de lago gelado (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_ICE_HEIGHT	cm	Espessura da camada de gelo (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_MOIST	mm	Quantidade de água no estado líquido e sólido armazenado no(s) lago(s) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_SURF_AREA	m <sup>2</sup>	Área da superfície do lago (sem interesse para a área de estudo)

<sup>8</sup> Os parâmetros de cálculo do balanço energético não são apresentados neste manual, uma vez que a modelação hidrológica da área de estudo é feita simulando apenas o balanço de massa

Variável	Unidades	Descrição
OUT_LAKE_SWE	m	Altura equivalente de água de neve sobre a área do(s) lago(s) gelado(s) (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_SWE_V	m <sup>3</sup>	Volume equivalente de água de neve sobre a área do(s) lago(s) gelado(s) (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_VOLUME	m <sup>3</sup>	Volume do lago
OUT_ROOTMOIST	mm	Teor de água na zona radical
OUT_SMFROZFRAC	---	Fracção do teor de água que se encontra no estado sólido, para cada camada do solo (sem interesse para a área de estudo)
OUT_SMLIQFRAC	---	Fracção do teor de água que se encontra no estado líquido, para cada camada do solo (sem interesse para a área de estudo)
OUT_SNOW_CANOPY	mm	Quantidade de neve interceptada e armazenada no copado (sem interesse para a área de estudo)
OUT_SNOW_COVER	---	Fracção da área da célula coberta com neve (sem interesse para a área de estudo)
OUT_SNOW_DEPTH	cm	Altura de neve acumulada (sem interesse para a área de estudo)
OUT_SOIL_ICE	mm	Quantidade de água que se encontra no estado sólido, para cada camada do solo (sem interesse para a área de estudo)
OUT_SOIL_LIQ	mm	Quantidade de água que se encontra no estado líquido, para cada camada do solo
OUT_SOIL_MOIST	mm	Quantidade total de água que se encontra no estado líquido, para cada camada do solo
OUT_SOIL_WET	mm mm <sup>-1</sup>	Média vertical de: (teor de água no solo – teor de água correspondente ao coef. de emurchecimento) / (teor de água máximo no solo - teor de água correspondente ao coef. de emurchecimento)
OUT_SURFSTOR	mm	Quantidade de água líquida e gelada (exclui neve) sobre a superfície (sem interesse para a área de estudo)
OUT_SURF_FROST_FRAC	---	Fracção da superfície do solo que está gelada (sem interesse para a área de estudo)
OUT_SWE	mm	Equivalente de água de neve (sem interesse para a área de estudo)
OUT_WDEW	mm	Quantidade total de água interceptada e armazenada no copado
OUT_ZWT	cm	Posição da toalha freática, considerando a camada do solo menos saturada: Valores positivos ⇒ acima da superfície do solo 0 ⇒ ao nível da superfície Valores negativos ⇒ abaixo da superfície do solo
OUT_ZWT_LUMPED		Posição da toalha freática, ponderando o teor de humidade de todas as camadas: Valores positivos ⇒ acima da superfície do solo 0 ⇒ ao nível da superfície Valores negativos ⇒ abaixo da superfície do solo
<b>Resultados do balanço da água (fluxos)</b>		
OUT_BASEFLOW	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Escoamento de base na camada inferior do solo
OUT_DELINTERCEPT	mm	Alteração da quantidade de água armazenada no copado

Variável	Unidades	Descrição
OUT_DELSOILMOIST	mm	Alteração da quantidade de água armazenada no solo
OUT_DELSURFSTOR	mm	Alteração da quantidade de água no estado líquido armazenada superficialmente
OUT_DELSWE	mm	Alteração do equivalente de água de neve
OUT_EVAP	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Evaporação líquida total
OUT_EVAP_BARE	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Evaporação líquida a partir do solo nu
OUT_EVAP_CANOP	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Evaporação líquida a partir do copado
OUT_INFLOW	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Quantidade de água que atinge a superfície do solo
OUT_LAKE_BF_IN	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Escoamento de base proveniente da bacia dum lago (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_BF_IN_V	m <sup>3</sup> (ALMA_OUTPUT: m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Escoamento de base (em volume) proveniente da bacia dum lago (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_BF_OUT	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Escoamento de base proveniente dum lago para a rede de canais (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_BF_OUT_V	m <sup>3</sup> (ALMA_OUTPUT: m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Escoamento de base (em volume) proveniente dum lago para a rede de canais (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_CHANNEL_IN	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Caudal de entrada a montante na rede de canais
OUT_LAKE_CHANNEL_IN_V	m <sup>3</sup> (ALMA_OUTPUT: m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Caudal de entrada (em volume) a montante na rede de canais
OUT_LAKE_CHANNEL_OUT	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Caudal de saída
OUT_LAKE_CHANNEL_OUT_V	m <sup>3</sup> (ALMA_OUTPUT: m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Caudal de saída (em volume)
OUT_LAKE_DSTOR	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Alteração da quantidade de água armazenada no(s) lago(s) (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_DSTOR_V	m <sup>3</sup> (ALMA_OUTPUT: m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Alteração da quantidade de água armazenada no(s) lago(s) em volume (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_DSWE	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Alteração da altura equivalente de água de neve no topo dos lagos gelados (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_DSWE_V	m <sup>3</sup> (ALMA_OUTPUT: m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Alteração da altura equivalente de água de neve em volume no topo dos lagos gelados (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_EVAP	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Evaporação líquida a partir da superfície do lago (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_EVAP_V	m <sup>3</sup> (ALMA_OUTPUT: m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Evaporação líquida (em volume) a partir da superfície do(s) lago(s) (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_PREC_V	m <sup>3</sup> (ALMA_OUTPUT: m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Precipitação (em volume) sobre a superfície do(s) do lago(s) (versão 4.1.2 ou posterior)
OUT_LAKE_RCHRG	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Recarga do lago para as áreas em redor (versão 4.1.2 ou posterior)
OUT_LAKE_RCHRG_V	m <sup>3</sup> (ALMA_OUTPUT: m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Recarga do lago (em volume) para as áreas em redor (versão 4.1.2 ou posterior)

Variável	Unidades	Descrição
OUT_LAKE_RO_IN	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Escoamento superficial proveniente da bacia hidrográfica do lago (versão 4.1.2 ou posterior)
OUT_LAKE_RO_IN_V	m <sup>3</sup> (ALMA_OUTPUT: m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Escoamento superficial (em volume) proveniente da bacia hidrográfica do lago (versão 4.1.2 ou posterior)
OUT_LAKE_VAPFLX	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Sublimação a partir da neve sobre um lago gelado (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_LAKE_VAPFLX_V	m <sup>3</sup> (ALMA_OUTPUT: m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	Sublimação a partir da neve (em volume) sobre um lago gelado (versão 4.1.2 ou posterior) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_PET_SATSOIL	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Evaporação potencial a partir de um solo nu saturado
OUT_PET_H2OSURF	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Evaporação potencial a partir de superfícies líquidas (lagos, áreas pantanosas)
OUT_PET_SHORT	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Transpiração potencial (apenas transpiração) a partir de uma cultura de referência de altura baixa (grama ou alfalfa)
OUT_PET_TALL	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Transpiração potencial a partir de uma cultura de referência de altura baixa (grama)
OUT_PET_NATVEG	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Transpiração potencial da cultura/vegetação (que ocorre na célula) e considerando a resistência da arquitectura do copado actual
OUT_PET_VEGNOCR	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Transpiração potencial da cultura/vegetação (que ocorre na célula) e assumindo uma resistência da arquitectura do copado nula
OUT_PREC	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Precipitação (chuva + neve)
OUT_RAINF	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Quantidade de Chuva
OUT_REFREEZE	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Recongelamento da água na neve (sem interesse para a área de estudo)
OUT_RUNOFF	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Escoamento superficial
OUT_SNOW_MELT	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Escoamento superficial produzido a partir de neve derretida (sem interesse para a área de estudo)
OUT_SNOWF	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Quantidade de neve (sem interesse para a área de estudo)
OUT_SUB_BLOWING	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Sublimação líquida ocorrida nas situações de queda de neve acompanhadas de vento (sem interesse para a área de estudo)
OUT_SUB_CANOP	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Sublimação líquida a partir da neve sobre o copado (sem interesse para a área de estudo)
OUT_SUB_SNOW	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Sublimação total líquida a partir da neve acumulada (na superfície e na atmosfera devido a situações de vento) (sem interesse para a área de estudo)
OUT_SUB_SURFACE	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Sublimação total líquida a partir da neve acumulada na superfície (sem interesse para a área de estudo)
OUT_TRANSP_VEG	mm (ALMA_OUTPUT: mm s <sup>-1</sup> )	Transpiração líquida a partir da transpiração
OUT_WATER_ERROR	mm	Erro de fecho do balanço
Outros resultados		
OUT_AERO_COND	m s <sup>-1</sup>	Condutância aerodinâmica resultante do cenário de ocupação e uso do solo
OUT_AERO_COND1	m s <sup>-1</sup>	Condutância da superfície
OUT_AERO_COND2	m s <sup>-1</sup>	Condutância aerodinâmica

Muitos dos parâmetros apresentados no Quadro não tem interesse para área de estudo uma vez que os modelos de congelamento do solo, da neve e mesmo dos reservatórios não são aplicáveis.

### 3.3.2 Ficheiros de saída “padrão”

Como já foi referido, quando não é fornecido ao modelo VIC, os resultados da modelação são guardados em ficheiros tipo (criados pelas versões iniciais): “flux”, “snow”; frozen soil”; snow band”; e “lake”. Neste Capítulo apresenta-se a estrutura do ficheiro “flux”, uma vez que apenas este tipo de ficheiros de resultados é aplicável à área de estudo.

O principal ficheiro de saída do modelo VIC-NL é o ficheiro “flux”, que guarda os resultados referentes ao balanço de água para cada passo de tempo. A estrutura e formato deste ficheiro são apresentados no Quadro 3.18.

**Quadro 3.18 – Estrutura e formato do ficheiro flux**

Coluna	Variável	Unidades	Descrição
1	year	ano	Ano
2	month	mês	Mês
3	day	dia	Dia
4	hour	hora	Hora (quando o passo de tempo é sub-diário)
5	OUT_PREC	mm	Precipitação
6	OUT_EVAP	mm	Evaporação
7	OUT_RUNOFF	mm	Escoamento superficial
8	OUT_BASEFLOW	mm	Escoamento de base
9	OUT_WDEW	mm	Quantidade de água interceptada pelo copado
10: Nlayer+9	OUT_SOIL_LIQ	mm	Teor de água do solo para cada uma das camadas

Nota: o número de variáveis do ficheiro de saída “flux” padrão do modelo VIC depende do modo de simulação seleccionado. Neste quadro inscreveram-se apenas as variáveis relativas ao balanço de água. O número de variáveis guardadas é maior quando se procede à modelação do fluxo energético completo (FULL\_ENERGY = TRUE no ficheiro “Global Parameter”) e/ou quando devido às características da bacia em estudo é considerado o processo de congelamento do solo (FROZEN\_SOIL = TRUE no ficheiro “Global Parameter”)

1949 04 05	1.2780	0.7852	0.0000	0.2945	0.0000	14.9114	46.1990	122.8160	11.8440	0.2619	0.0881	0.0000	0.0000	0.2810	0.4461	83.0743	-3.2180	0.8264	84.9987	251.0051	0.4258	3.8100
1949 04 06	0.0000	0.1565	0.0000	0.2930	0.0000	14.9069	46.1967	122.5290	17.3137	-0.9046	0.0000	0.0000	0.0000	0.0299	0.1272	129.9997	-3.2973	0.7924	84.9710	220.6947	-1.9841	1.9000
1949 04 07	0.0000	0.0591	0.0000	0.2931	0.0000	14.9024	46.1944	122.2424	21.0259	4.8730	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0641	209.3215	-4.5244	0.7741	84.7302	225.0590	-0.3724	1.1600
1949 04 08	0.0000	0.2809	0.0000	0.2924	0.0000	14.8979	46.1921	122.0570	25.0421	6.7129	0.0000	0.0000	0.0000	0.0071	0.1133	197.9003	-4.4215	0.7596	87.8699	224.9750	-1.5516	2.3100
1949 04 09	0.0000	0.1204	0.0000	0.2918	0.0000	14.8934	46.1898	122.0720	30.5622	10.0661	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028	0.1166	196.0312	-4.2614	0.7465	86.2061	222.3994	-1.7519	1.2600
1949 04 10	3.3000	0.2930	0.0000	0.2911	0.1414	14.8890	46.1875	122.3876	12.0167	4.8019	0.1102	0.0000	0.0000	0.0059	0.0965	200.1322	-0.7541	0.7363	89.0369	233.4994	0.9753	1.2000
1949 04 11	3.1750	0.7415	0.0000	0.2904	0.0000	14.8846	46.1851	122.1040	12.8541	4.1489	0.2585	0.0000	0.0000	0.0196	0.3234	97.2464	-1.7082	0.7254	83.2626	256.1210	1.2561	2.4300
1949 04 12	0.1000	0.4366	0.0000	0.2897	0.0030	14.8802	46.1828	121.8210	11.8666	3.8996	0.1011	0.0000	0.0000	0.0993	0.3292	63.3472	-2.6377	0.7520	59.5712	250.7799	-0.5353	3.9200
1949 04 13	0.0250	0.2492	0.0000	0.2891	0.0000	14.8758	46.1804	121.5387	11.2029	1.8122	0.0022	0.0000	0.0000	0.0424	0.2235	104.9783	-3.8948	0.7646	64.5390	256.5115	-1.0207	1.1200
1949 04 14	0.0000	0.2439	0.0000	0.2884	0.0000	14.8714	46.1780	121.2571	22.2450	9.8962	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028	0.2112	66.4342	-3.7392	0.6544	64.6391	224.4327	-1.2625	2.5300
1949 04 15	0.0000	0.1437	0.0223	0.2877	0.0074	14.8670	46.1762	120.9761	28.0659	20.8029	0.0629	0.0000	0.0000	-0.0302	0.1101	103.3776	-1.7424	0.6374	49.4054	222.3134	1.1910	1.3700
1949 04 16	0.0000	0.2794	0.1856	0.2871	0.0139	14.8740	46.1642	120.6958	34.9767	36.5672	0.1159	0.0000	0.0000	-0.0322	0.1997	88.0954	-0.8744	0.4696	46.0003	240.0490	1.1977	1.7300
1949 04 17	0.2500	0.1897	0.1423	0.2864	0.0310	14.8823	47.1718	120.4156	13.7970	27.9812	0.1199	0.0000	0.0000	-0.0052	0.0746	174.3942	-0.0710	0.5244	47.7894	249.4924	1.1761	0.4000
1949 04 18	0.1500	0.1524	0.1862	0.2858	0.0113	14.8906	48.0263	120.1670	15.4940	11.3132	0.0546	0.0000	0.0000	-0.0246	0.1261	49.4598	0.0000	0.4755	49.4442	249.0323	4.2615	1.2700
1949 04 19	19.0000	0.9009	0.1732	0.2853	0.0000	14.0544	48.4173	120.0127	9.6588	-1.0554	0.1056	0.0000	0.0000	0.1881	0.6973	86.7381	-2.0959	0.7855	69.8558	270.4774	-0.1916	2.8900
1949 04 20	14.6250	0.7149	0.0262	0.2850	0.0000	13.8762	48.4941	119.9698	10.4932	-2.1861	0.0000	0.0000	0.0000	0.2949	0.4800	116.9993	-3.1614	0.8466	65.5234	254.1073	-1.9209	3.0600
1949 04 21	4.6500	0.4860	0.0000	0.2849	0.0000	15.7501	48.3950	119.9100	9.1391	-1.7127	0.0000	0.0000	0.0000	0.1671	0.3159	118.5428	-4.9705	0.8493	68.0236	234.4420	-2.8754	3.0200
1949 04 22	7.8000	0.1849	0.0000	0.2848	0.0000	15.6763	48.4844	119.8098	10.8202	-0.2246	0.0000	0.0000	0.0000	0.0873	0.2289	128.4398	-3.8011	0.8491	65.6087	268.0828	-2.8659	1.0900
1949 04 23	18.1500	0.4762	0.1149	0.2845	0.0490	16.2316	48.4939	119.6709	12.2120	-0.0461	0.0000	0.0000	0.0000	0.1831	0.2991	142.7270	-1.1495	0.8461	62.9213	251.9619	-1.2272	2.2000
1949 04 24	0.7000	0.4859	0.0141	0.2842	0.1342	16.1902	48.4928	119.5461	11.0568	-1.4588	0.0000	0.0000	0.0000	0.1492	0.2923	124.3649	-1.4268	0.8455	47.0669	257.5757	-0.9948	1.9400
1949 04 25	0.1500	0.2338	0.0000	0.2838	0.0010	16.0524	48.3827	119.4002	11.5477	-1.2382	0.0000	0.0000	0.0000	0.0844	0.1474	204.1265	-2.3578	0.8463	62.5722	259.7435	-0.1829	1.2600
1949 04 26	0.0000	0.0368	0.0034	0.2835	0.0000	16.0484	48.3421	119.2393	21.4931	1.0497	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0349	0.0717	237.0857	-2.1305	0.8364	62.0877	234.8768	-0.1619	1.9100
1949 04 27	2.9250	0.0970	0.2046	0.2831	0.3738	17.0113	48.4902	119.0844	14.7904	9.4490	0.0813	0.0000	0.0000	0.0040	0.0116	490.8512	0.0000	0.7502	61.5720	268.7490	0.8287	0.4300
1949 04 28	8.0000	1.1675	0.4618	0.2829	0.1424	16.0066	50.3817	118.9442	15.4867	15.7855	0.8234	0.0000	0.0000	0.0404	0.2947	60.8753	-0.1632	0.7510	60.2317	268.9291	2.8845	2.8700
1949 04 29	3.9500	1.2024	0.1261	0.2829	0.0000	17.3996	51.1100	119.1898	11.9785	3.9332	0.3087	0.0000	0.0000	0.2167	0.6800	97.2921	-2.8368	0.7638	66.9470	264.1231	-0.4185	3.2800
1949 04 30	0.3750	0.3913	0.0000	0.2833	0.0000	16.9401	51.1644	119.3076	9.1392	-0.5368	0.0000	0.0000	0.0000	0.1441	0.2473	138.0553	-3.7954	0.8492	72.1394	260.7031	-2.4099	2.6900
1949 05 01	12.8000	0.0122	0.0000	0.2833	0.9519	14.7104	51.0584	119.2146	7.0076	-0.3656	0.0000	0.0000	0.0000	0.1912	0.2289	122.8782	-2.5521	0.8481	78.4048	257.5757	-2.9423	2.9500
1949 05 02	12.9750	0.8802	0.0000	0.2835	0.9884	16.5572	50.9845	119.2013	7.2141	-0.7061	0.0000	0.0000	0.0000	0.2113	0.2650	118.4357	-4.0378	0.8483	72.8000	262.2837	-2.7105	3.1000
1949 05 03	3.3500	0.8098	0.0000	0.2833	0.0000	16.4424	50.8999	119.2296	7.4994	-1.7073	0.0000	0.0000	0.0000	0.1918	0.3160	120.1340	-6.7000	0.8494	67.7099	256.6291	-3.9426	2.9800
1949 05 04	0.0000	0.0830	0.0000	0.2831	0.0000	16.2507	50.7973	119.1207	15.9026	-0.4536	0.0000	0.0000	0.0000	0.0447	0.0383	226.5819	-6.9400	0.8437	61.5720	229.1890	-0.0639	1.5800
1949 05 05	0.0000	-0.0071	0.0004	0.2829	0.0000	16.2766	50.7098	119.0119	21.4058	5.4771	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0406	0.0335	286.3995	-3.8660	0.8288	56.6227	229.1890	-0.3872	1.2800
1949 05 06	0.0000	0.4683	0.3764	0.2826	0.1791	17.5209	51.2344	118.8960	31.9937	31.7646	0.5239	0.0000	0.0000	-0.0617	0.0244	68.4113	-0.0119	0.8006	63.9673	246.0394	3.8468	1.9700
1949 05 07	0.0000	0.1939	1.4581	0.2823	0.0000	19.0499	55.0214	119.2349	38.0310	79.3974	0.1791	0.0000	0.0000	0.0067	0.3034	35.0394	0.0000	0.2313	49.9532	262.3714	1.4534	1.9200
1949 05 08	0.0000	0.0122	0.0000	0.2823	0.0000	22.3511	55.7919	122.3776	40.2449	78.3558	0.0000	0.0000	0.0000	0.0122	0.2289	122.8782	0.0000	0.2265	49.7248	257.5757	1.5921	2.7400
1949 05 09	0.0000	0.0300	0.6811	0.2863	0.0000	23.2149	64.3817	127.4216	43.1004	79.1093	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	29.9003	0.0000	0.2224	44.8925	263.2637	1.6347	2.2000
1949 05 10	0.0000	0.0182	4.4947	0.3110	0.0000	24.9444	68.9044	134.5664	44.9569	81.9463	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0182	31.2910	0.0000	0.2159	46.7331	264.1019	1.8107	1.1500
1949 05 11	0.0000	-0.0102	5.9446	0.3201	0.0000	26.0749	72.0582	145.5707	46.9052	90.4051	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0102	38.2248	0.0000	0.2187	45.4551	269.0232	0.9396	1.2600
1949 05 12	0.0000	-0.0262	7.0181	0.3600	0.0000	26.6593	76.5995	158.3246	48.2030	95.7043	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0262	39.8739	0.00					

O modelo VIC cria um ficheiro de saída para cada célula da grelha. O nome destes ficheiros obedece à seguinte estrutura:

"fluxes\_xx.xx\_yy.yy" (exemplo: fluxes\_48.5625\_-120.9375)

onde xx.xx é a latitude e yy.yy é a longitude.

O número de casas decimais utilizados para a latitude e longitude é fixado pelo parâmetro GRID\_DECIMAL no ficheiro "global parameter", enquanto os valores da latitude e longitude do centro de gravidade de cada uma das células da grelha é fornecido pelo ficheiro dos parâmetros dos solos.

### 3.3.3 Informação enviada para o ecrã

Durante o processo de simulação, o modelo VIC envia diversas mensagens para o ecrã relativas ao estado da simulação, avisos e erros. A quantidade de informação enviada para o ecrã é controlada pelo parâmetro VERBOSE no ficheiro user\_def.h (Capítulo 3.2.3). É recomendável que esta informação seja também escrita num ficheiro log, para posterior análise do comportamento do modelo. Para tal, quando o modelo é executado, a instrução deverá ter a seguinte estrutura:

```
vicNI -g global_parameter_filename >& log.txt
```

onde: global\_parameter\_filename = nome do ficheiro "global parameter" correspondente ao projecto e log.txt o nome do ficheiro log onde serão escritas as mensagens enviada para ecrã durante a simulação.

## 3.4 PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS DE SAÍDA DO MODELO VIC

### Agregação temporal: conversão dos resultados finais horários em diários

Quando o modelo VIC é executado para simular processos hidrológicos com passo de tempo sub-diário, por defeito os ficheiros de saída serão escritos também com passo de tempo sub-diário. Esta característica conduz à produção de um volume elevadíssimo de dados, que na maioria das situações não são relevantes para análise do sistema hidrológico. Para solucionar este problema, no ficheiro "global parameter" deverá ser especificado que OUT\_STEP = 24 (Capítulo 3.2.2). Neste caso, o modelo VIC irá agregar os dados sub-diários em dados diários antes de escrever os resultados nos ficheiros de saída, quando utilizador

Nas situações em que resultados sub-diários são relevantes sendo também necessário agregá-los em diários, uma alternativa é a utilização dos scripts disponibilizados no site do modelo VIC:

<http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/Documentation/TemporalAggregation.shtml>).

Existem também scripts que possibilitam a agregação espacial dos dados de entrada e de saída do modelo VIC.

## 4 MODELO ROUTING

### 4.1 FICHEIROS DE ENTRADA DO MODELO ROUTING

#### 4.1.1 Ficheiro de entrada "SETUP"

Os dados de entrada do modelo ROUTING são organizados em diversos ficheiros. O ficheiro de entrada "SETUP" contém as pastas e os nomes dos ficheiros dos parâmetros assim como alguns parâmetros requeridos pelo modelo. Quando o modelo Routing é executado, o nome do ficheiro de entrada é passado como um argumento da linha de comando:

```
Rout <infile>
```

Na Figura 4.1 apresenta-se a estrutura e um exemplo dum ficheiro de entrada do modelo ROUTING.

MAIN TITLE	# INPUT FILE FOR THE COLUMBIA
TEXT	BASIN.
<flow direction file>	# NAME OF FLOW DIRECTION FILE
TEXT	direc.cmb
boolean (.TRUE. or .FALSE.)	# NAME OF VELOCITY FILE
<flow velocity file> or float	.false.
TEXT	1.5
boolean (.TRUE. or .FALSE.)	# NAME OF DIFF FILE
<diffusion file> or float	.false.
TEXT	800
boolean (.TRUE. or .FALSE.)	# NAME OF XMASK FILE
<xmask file> or float	.false.
TEXT	25000
boolean (.TRUE. or .FALSE.)	# NAME OF FRACTION FILE
<contributing fraction file> or float	.true.
TEXT	./rout_input/fraction.cmb
station location file	# NAME OF STATION FILE
TEXT	stations.cmb
location of vic input files and prefix	# PATH OF INPUT FILES AND
No. of decimal places used in VIC input	PRECISION
filenames	./vic/vic_out/fluxes_
TEXT	3
output directory	# PATH OF OUTPUT FILES
TEXT	rout_out/
start and stop year/month of the VIC	# MONTHS TO PROCESS
simulation	1969 1 1979 12
first and last year/month to write output	1969 1 1979 12
TEXT	# NAME OF UNIT HYDROGRAPH FILE
<unit hydrograph file>	uh_all

Fonte: <http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/>.

**Figura 4.1 – Estrutura e exemplo dum ficheiro de entrada “setup” do modelo Routing**

No ficheiro “Setup” são definidos os nomes dos seguintes ficheiros de parâmetros:

- Ficheiro da direcção de escoamento (“*Flow Direction File*”)
- Ficheiro da velocidade de escoamento (“*Flow Velocity File*”) – ficheiro opcional
- Ficheiro da difusão do escoamento (“*Flow Diffusion File*”) – ficheiro opcional
- Ficheiro Xmask – ficheiro opcional
- Ficheiro Fracção (“*Fraction File*”) – ficheiro opcional
- Ficheiro dos pontos de controlo (“*Station Location File*”)
- Ficheiro hidrograma unitário (“*UH File*”)

Quando um ficheiro opcional não é fornecido ao modelo, em sua substituição deverá ser fornecido um valor constante, conforme o exemplo da Figura 4.1.

No ficheiro “setup” é ainda definida a pasta e o prenome dos ficheiros criados pelo modelo VIC, a pasta onde serão guardados os ficheiros de saída do modelo ROUTING, o início e fim do período da simulação, conforme a estrutura e o exemplo apresentados na Figura 4.1.

#### 4.1.2 Ficheiro da direcção de escoamento (“*Flow Direction File*”)

O ficheiro da direcção do escoamento estabelece a ligação entre as células da grelha. O escoamento superficial e de base simulados numa célula pelo modelo VIC são na sua totalidade direccionados para uma única célula.

A direcção do escoamento é dada por um número inteiro:

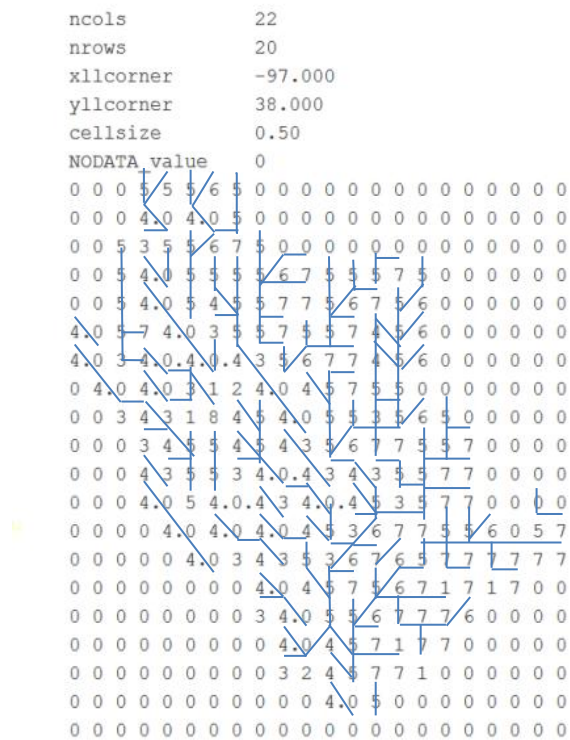
- 1            norte



- 2            noroeste
- 3            este
- 4            sudeste
- 5            sul
- 6            sudoeste
- 7            oeste
- 8            noroeste

O formato do ficheiro é em ASCII com uma estrutura matricial (grealha). As seis primeiras linhas do ficheiro contêm informação quanto à estrutura e georreferenciação da grealha: número de colunas (ncols); número de linhas (nrows); latitude da célula do canto inferior esquerdo (xllcorner); longitude da célula do canto inferior esquerdo (yllcorner); tamanho da célula em graus (cellsize), valor reservado para identificar uma célula fora do limite da bacia (NODATA-value).

Na Figura 4.2 apresenta-se um exemplo dum ficheiro da direcção de escoamento.



Fonte: <http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/>.

**Figura 4.2 – Exemplo de um ficheiro da direcção de escoamento (“Flow Direction File”)**

O valo 9 deve ser usado para indicar as células de saída de caudal.

### 4.1.3 Ficheiro da velocidade de escoamento (“Flow Velocity File”)

Este ficheiro contém os valores da velocidade de escoamento, expressa em  $m\ s^{-1}$ , requeridos para a componente de propagação da onda em canais. A criação deste ficheiro permite diferenciar a velocidade de escoamento na rede de canais.

O formato do ficheiro é em ASCII com uma estrutura matricial (grelha). As seis primeiras linhas do ficheiro contêm informação quanto à estrutura e georreferenciação da grelha: número de colunas (ncols); número de linhas (nrows); latitude da célula do canto inferior esquerdo (xllcorner); longitude da célula do canto inferior esquerdo (yllcorner); tamanho da célula em graus (cellsize), valor reservado para identificar uma célula fora do limite da bacia (NODATA-value).

Na Figura 4.3 apresenta-se um exemplo de um ficheiro da velocidade de escoamento.

```

ncols          22
nrows          20
xllcorner      -97.000
yllcorner      38.000
cellsize       0.50
NODATA_value   0
0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1
0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

Fonte: <http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/>.

**Figura 4.3 – Exemplo de um ficheiro da velocidade de escoamento (“Flow Velocity File”)**

Quando o ficheiro não é construído, a velocidade de escoamento é definida no ficheiro “setup” do modelo ROUTING e terá o mesmo valor em todas as células.

### 4.1.4 Ficheiro dos coeficientes de difusão do escoamento (“Flow Diffusion File”) – ficheiro opcional

Este ficheiro contém os valores do coeficiente de difusão ( $m^2\ s^{-1}$ ), necessário para modelação da propagação do escoamento em canais.

O formato do ficheiro é em ASCII com uma estrutura matricial (grelha). As seis primeiras linhas do ficheiro contêm informação quanto à estrutura e georreferenciação da grelha: número de colunas (ncols); número de linhas (nrows); latitude da célula do canto inferior esquerdo (xllcorner); longitude da célula do canto inferior esquerdo (yllcorner); tamanho da célula em graus (cellsize), valor reservado para identificar uma célula fora do limite da bacia (NODATA-value).

Na Figura 4.4 apresenta-se um exemplo de um ficheiro dos coeficientes de difusão.

```

ncols      22
nrows     20
xllcorner -97.000
yllcorner  38.000
cellsize   0.50
NODATA_value 0
0 0 0 1000 1000 1000 1000 1000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1000 1000 1000 1000 1000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 0 0 0 0 0 0
0 0 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 0 0 0 0 0 0
1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 0 0 0 0 0 0
1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 0 0 0 0 0 0
0 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 0 0 0 0 0 0
0 0 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 0 0 0 0 0 0
0 0 0 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 0 0 0 0
0 0 0 0 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 0 1000 1000
0 0 0 0 0 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000
0 0 0 0 0 0 0 0 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1000 1000 1000 1000 1000 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1000 1000 1000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

Fonte: <http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/>.

**Figura 4.4 – Exemplo de um ficheiro dos coeficientes de difusão (“Flow Diffusion File”)**

À semelhança do ficheiro da velocidade de escoamento, o ficheiro dos coeficientes de difusão é também opcional. Em sua substituição, pode ser fornecido um único valor no ficheiro “setup”, que será utilizado pelo modelo routing em todas as células da grelha.

#### 4.1.5 Ficheiro Xmask – ficheiro opcional

Os tamanhos das células (expresso em m) da grelha podem ser fornecidos ao modelo ROUTING através do ficheiro xMask. Quando este ficheiro não é construído, o modelo assume que todas as células têm o mesmo tamanho, sendo este parâmetro fornecido no ficheiro SETUP.

O formato do ficheiro é em ASCII com uma estrutura matricial (grelha). As seis primeiras linhas do ficheiro contêm informação quanto à estrutura e georreferenciação da grelha: número de colunas (ncols); número de linhas (nrows); latitude da célula do canto inferior esquerdo (xllcorner); longitude da célula do canto inferior esquerdo (yllcorner); tamanho da célula em graus (cellsize), valor reservado para identificar uma célula fora do limite da bacia (NODATA-value).

Na Figura 4.5 apresenta-se um exemplo de um ficheiro xmask.

```

ncols      22
nrows      20
xllcorner  -97.000
yllcorner   38.000
cellsize   0.50
NODATA_value 0
0 0 0 25000 25000 25000 25000 25000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 25000 25000 25000 25000 25000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 0 0 0 0 0 0
0 0 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 0 0 0 0
25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 0 0 0 0
25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000
0 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 0 0 0 0 0 0
0 0 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 0 0 0 0
0 0 0 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 0 0 0
0 0 0 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 0 0
0 0 0 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000
0 0 0 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000
0 0 0 0 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000
0 0 0 0 0 0 0 0 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000
0 0 0 0 0 0 0 0 0 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000
0 0 0 0 0 0 0 0 0 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000
0 0 0 0 0 0 0 0 0 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000 25000
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 25000 25000 25000 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 25000 25000 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

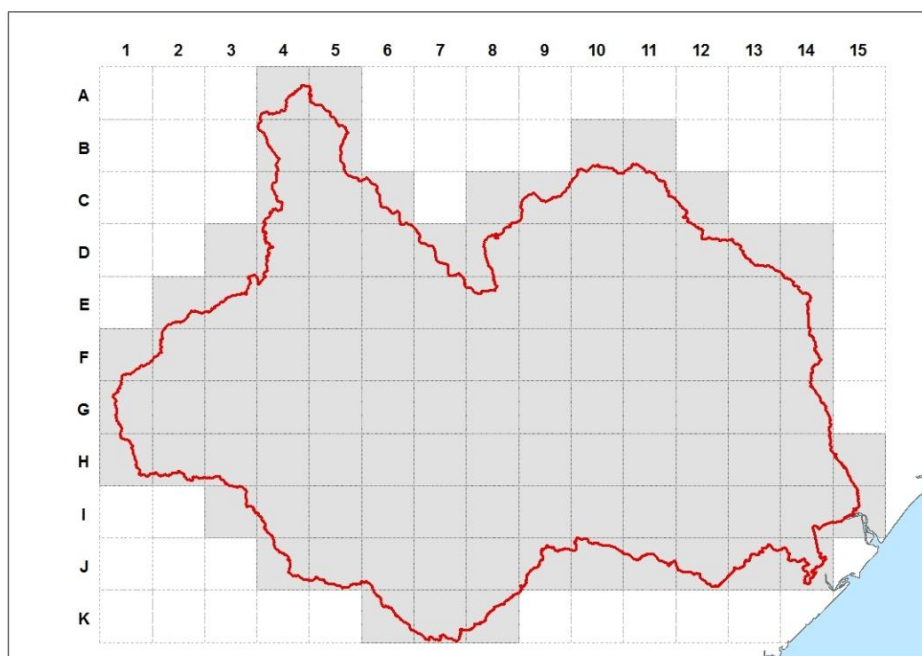
```

Fonte: <http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/>.

**Figura 4.5 – Exemplo de um ficheiro Xmask (“Flow Diffusion File”)**

#### 4.1.6 Ficheiro fracção (“Fraction File”) – ficheiro opcional

A bacia é representada por uma grelha dividida em células que podem estar fora da área da bacia (identificadas em todos os ficheiros do modelo ROUTING com o parâmetro NODATA\_value), que podem estar integralmente ou parcialmente dentro dos limites da bacia hidrográfica (Figura 4.6). Os valores da fracção da área total de cada célula que drena para a bacia hidrográfica são guardados no ficheiro fracção. Este ficheiro permite uma definição mais precisa da área da bacia.



**Figura 4.6 – Grelha de células aplicada à área de estudo.**

O formato do ficheiro é em ASCII com uma estrutura matricial (grelha). As seis primeiras linhas do ficheiro contém informação quanto à estrutura e georreferenciação da grelha: número de colunas (ncols); número de linhas (nrows);

latitude da célula do canto inferior esquerdo (xllcorner); longitude da célula do canto inferior esquerdo (yllcorner); tamanho da célula em graus (cellsize), valor reservado para identificar uma célula fora do limite da bacia (NODATA-value).

Na Figura 4.7 apresenta-se um exemplo de um ficheiro fracção.

```
ncols      22
nrows     20
xllcorner -97.000
yllcorner  38.000
cellsize   0.50
NODATA_value 0.00
0.00 0.00 0.00 0.11 0.38 0.63 0.65 0.33 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.78 1.00 1.00 1.00 0.83 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.64 1.00 1.00 1.00 1.00 0.87 0.35 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.83 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.93 0.73 0.90 0.64 0.39 0.49 0.44 0.33 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.90 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.91 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
1.00 0.99 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.75 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.52 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.29 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.57 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.98 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.57 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.73 0.21 0.40 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.26 0.82 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.56 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.41 0.99 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.82 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.34 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.84 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.57 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.96 0.15 0.00 0.28 0.28
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.48 0.97 0.99 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.88 0.83 0.65 0.43
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.53 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.91 0.99 0.65 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.13 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.42 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.93 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.42 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.52 0.86 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 1.00 0.87 0.56 0.30 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.31 0.57 0.05 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00
```

Fonte: <http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/>.

**Figura 4.7 – Exemplo de um ficheiro fracção (“Fraction File”)**

#### 4.1.7 Ficheiro dos pontos de controlo (“Station Location File”)

O ficheiro dos pontos (ou estações) de controlo identifica as células da grelha para as quais deverão ser produzidos os hidrogramas de escoamento. O modelo permite a definição de qualquer número de estações no interior da bacia e um único ponto terminal de agregação do escoamento (saída de caudal) por bacia.

O ficheiro é escrito em ASCII. Cada linha com os dados duma estação de controlo é seguida de outra linha que informa o modelo ROUTING se para aquela estação foi ou não gerado um ficheiro uh\_s. Se não (“NONE”), o modelo ROUTING irá gerar um ficheiro uh\_s na presente directoria, caso contrário o modelo irá ler o ficheiro uh\_s definido.

A linha com os dados de localização dos pontos de controlo apresenta a seguinte estrutura colunar:

- a primeira coluna (número inteiro 1 ou 0) informa o modelo se a estação é activa (1) ou não (0);
- na segunda coluna é guardado o nome da estação que será usado em todos os ficheiros de saída do modelo ROUTING (os primeiros 5 caracteres são usados para formar a raiz dos ficheiros de saída);
- na terceira coluna, é guardado o número da coluna, contada a partir da esquerda, onde fica localizada a estação;
- na quarta coluna, é guardado o número da linha, contada a partir do fundo, onde fica localizada a estação; e
- a quinta coluna está reservada para guardar a área da bacia (presentemente, este dado não é utilizado).

Na Figura 4.8 apresenta-se um exemplo de um ficheiro dos pontos (ou estações) de controlo.

```

1 UPMIS          14  2  -9999
NONE
1 WISCR          14 11  -9998
WISCR.uh_s
1 ANOKA          8 15  -9998
store/ANOKA.uh_s

```

**Figura 4.8 – Exemplo de um ficheiro dos pontos (ou estações) de controlo (“Station Location File”)**

#### 4.1.8 Ficheiro hidrograma unitário (“UH File”)

Este ficheiro (de extensão uh\_s) guarda a função de resposta a impulso unitário.

Na Figura 4.9 apresenta-se um exemplo de um ficheiro hidrograma unitário (o somatório da segunda coluna tem de ser igual a 1).

```

0  0.0100
1  0.2400
2  0.3300
3  0.1800
4  0.1200
5  0.0500
6  0.0200
7  0.0100
8  0.0100
9  0.0100
10 0.0100
11 0.0100

```

**Figura 4.9 – Exemplo de um ficheiro do hidrograma unitário (“Station Location File”)**

Este ficheiro poderá ser usado sem modificações, quando a modelação o processo hidrológico é efectuado apenas para se obterem caudal mensais.

#### 4.1.9 Os ficheiros das séries temporais de escoamento gerados pelo modelo VIC

As séries temporais, com passo de tempo diário, do escoamento superficial e de base produzidos ao nível de cada uma das células da grelha que formam a bacia, são fornecidas ao modelo ROUTING através de um conjunto de ficheiros (um por célula) em ASCII. Este conjunto de ficheiros tem por base a estrutura dos ficheiros de saída “flux” criados pelo modelo VIC.

São ficheiros escritos em ASCII com a estrutura e formato apresentadas no Quadro 4.1:

**Quadro 4.1 – Estrutura e formato ficheiros das séries temporais de escoamento gerados pelo modelo VIC**

Coluna	Variável	Unidades	Formato	Descrição
1	year	ano	YYYY (4 dígitos)	Ano
2	month	mês	MM (2 dígitos)	Mês

Coluna	Variável	Unidades	Formato	Descrição
3	day	dia	DD (2 dígitos)	Dia
4	SKIP	mm		Esta coluna corresponde aos valores diários da precipitação e é ignorada pelo modelo ROUTING
5	SKIP	mm		Esta coluna corresponde aos valores diários da evaporação e é ignorada pelo modelo ROUTING
6	OUT_RUNOFF	mm dia <sup>-1</sup>		Escoamento superficial
7	OUT_BASEFLOW	mm dia <sup>-1</sup>		Escoamento de base
...	-	-	-	O ficheiro poder mais colunas (com resultados do modelo VIC) mas que são ignoradas pelo modelo ROUTING

## 4.2 RESULTADOS DO MODELO ROUTING

### 4.2.1 Ficheiros de saída do modelo ROUTING

Para cada ponto ou estação de controlo (definidas nos dados de entrada no ficheiro pontos de controlo, “*Station Location File*”), o modelo ROUTING cria três ficheiros de saída em ASCII:

- Caudais diários simulados – dia (“*station.day*”; formato: YYYY MM DD) e caudal simulado na estação de controlo (“*station.day\_mm*”) expresso em m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> ou em mm sobre a bacia;
- Caudais mensais simulados - mês (“*station.month*”; formato: YYYY MM), caudal simulado na estação de controlo (*station.month\_mm*) expresso em m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> ou em mm sobre a bacia;
- Caudais anuais simulados - ano (“*station.year*”; formato: YYYY), caudal simulado na estação de controlo (*station.month\_mm*) expresso em m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> ou em mm sobre a bacia;

### 4.2.2 Informação enviada para o ecrã

Durante o processo de simulação, o modelo ROUTING envia a seguinte informação para o ecrã:

- Número de dias e meses simulados ;
- Para cada ponto ou estação de controlo definida nos dados de entrada:
  - o número de células a montante da estação de controlo;
  - a abertura do ficheiro hidrograma unitário (*uh\_s*);
- Para cada célula a montante dum ponto ou estação de controlo:
- Nome da respectiva série de escoamento (ficheiro de resultados do modelo VIC);
- Mensagens de alertas ou de erros encontrado durante o processo de simulação (como sejam ficheiros em falta; erros de formato dos ficheiros de entrada, etc.)

A informação que é enviada para o ecrã pode guardada num ficheiro log.. Para tal, quando o modelo é executado, a instrução deverá ter a seguinte estrutura:

```
rout input_filename >& log.txt
```

onde: *input\_filename* = nome do ficheiro de entrada “SETUP” correspondente ao projecto e *log.txt* o nome do ficheiro log onde serão escritas as mensagens enviada para ecrã durante a simulação.

## 5 APRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS

Os resultados do modelo VIC podem ser facilmente representados graficamente através dos programas informáticos: S-PLUS (ou R) ou do GMT script.

Foram desenvolvidos um conjunto de scripts, para o programa S-PLUS (que também correm na plataforma R), que permitem visualizar rapidamente os principais resultados do modelo VIC. A livreria completa dos scripts desenvolvidos (R\_plot\_scripts.tgz) pode ser obtida na página:

<http://www.hydro.washington.edu/Lettenmaier/Models/VIC/SourceCode/Download.shtml>

No Quadro 5.1 identificam-se os principais scripts da livreria criada para o programa S-PLUS, normalmente utilizados na análise e representação gráfica dos resultados do modelo VIC.

**Quadro 5.1 – Principais scripts desenvolvidos para Splus (ou R) para visualização dos resultados do modelo VIC**

Nome da Função	Descrição
compare.results.s	Este script lê os resultados de duas simulações e cria um ficheiro onde escreve as duas séries de valores simulados, a série temporal das diferenças entre os valores simulados e representa o gráfico de dispersão dos valores simulados.
func.plot.compare.nottime.s	Este script considera duas séries temporais e produz dois gráficos: 1) a representação gráfica das duas séries temporais e 2) a representação gráfica da série temporal das suas diferenças
func.plot.scatter.compare.s	Este script considera duas séries temporais e produz o gráfico de dispersão dos valores simulados
func.read.flux.files.s	Este script lê o ficheiro de saída "flux" do modelo VIC e devolve as séries temporais de cada uma das variáveis como componentes numa lista.
func.read.snow.files.s	Sem interesse para a área de estudo
func.read.fdepth.files.s	

## 6 CALIBRAÇÃO

### 6.1 NOTAS GERAIS

Embora alguns dos parâmetros requeridos para a modelação hidrológica com os modelos VIC e ROUTING sejam obtidos com base em observações de satélite e levantamentos de campo, alguns desses parâmetros são bastante variáveis no espaço e as avaliações *in situ* não são suficientes para se obter valores representativos de grandes áreas (> 1 km). Por outro lado, algumas variáveis têm um significado mais conceptual (como sejam as profundidades das camadas do solo) do que significado físico. Para estes parâmetros, é necessário fazer suposições sobre os seus valores ou calibrá-los

O processo de calibração é, na maioria dos casos de estudo, feito apenas para o modelo VIC. Esta simplificação deve-se ao facto dos modelos VIC e ROUTING serem utilizados fundamentalmente para estimar caudais mensais de grandes bacias hidrográficas, não sendo por isso necessário uma precisão muito grande nos parâmetros requeridos pelo modelo de propagação.

Parâmetros como a direcção de escoamento e fracção da célula dentro da bacia são determinados a partir do modelo digital do terreno, existindo ferramentas de cálculo automático desenvolvidas para o efeito. Para os outros parâmetros como sejam a velocidade de escoamento, difusividade e o hidrograma unitário, é aconselhável a adopção de valores físicos razoáveis, sem recurso à calibração.



Lohmann *et al.* (1996) na modelação efectuada para a bacia Wese (na Alemanha) refere valores da velocidade de escoamento entre 1 e 3 m s<sup>-1</sup> e valores da difusividade no intervalo entre 200 e 4000 m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>.

Nijssen *et al.* (1997) refere valores de velocidade de escoamento entre 0,5 e 2,0 m s<sup>-1</sup> na bacia Columbia e de 1,0 m s<sup>-1</sup> para a bacia Delaware.

Quando a modelação hidrológica é efectuada para se obterem caudais mensais, considera-se aceitável adoptar para a difusividade um valor constante de 800 m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> e para a velocidade um valor constante de 1,5 m s<sup>-1</sup>.

Apenas quando se quer obter caudais diários é necessário a calibração dos parâmetros requer a calibração velocidade de escoamento, difusividade e o hidrograma unitário, para a qual deverá ser seguida a metodologia proposta em Lohmann *et al.* (1996, 1998a, 1998b).

De um modo geral, a calibração dos modelos hidrológicos é efectuada com registos de caudais. Para tal é necessário executar o modelo ROUTING (recorrendo a estimativas adequadas dos parâmetros requeridos por este modelo) para converter o escoamento superficial e de base simulados pelo modelo VIC em caudais. A série de registos das vazões observadas deverá ser dividida em duas partes independentes, sendo uma utilizada para a calibração e a outra para o processo de validação.

Os parâmetros do modelo VIC podem também ser calibrados utilizando observações *in situ* do teor de humidade do solo, da altura da camada de neve, da evapotranspiração. Neste caso, o modelo VIC é calibrado sem ser necessário executar o modelo ROUTING: As imagens de satélite poderão também ser utilizadas para se obterem os valores dos parâmetros com os quais serão comparados os valores simulados durante o processo de calibração do modelo VIC.

## 6.2 CALIBRAÇÃO DO MODELO VIC

Embora o modelo de VIC tenha muitos parâmetros, é mais apropriado ajustar apenas alguns parâmetros durante o processo de calibração. Muitas vezes, a distinção baseia-se na medida em que os valores dos parâmetros podem ser realmente medidos ou observados. Os parâmetros que são mais comumente ajustados durante a calibração do modelo VIC são:

- **b\_infil** [ $>0$  a  $\sim 0.4$ ] - este parâmetro descreve a forma da curva variável de infiltração, isto é descreve a capacidade de armazenamento da célula em função da fracção da área da célula que se encontra saturada. Um valor mais alto de b\_infil traduz-se numa menor capacidade de armazenamento da célula em função da área saturada e consequentemente conduz a valores de escoamento mais elevados;
- **Ds** [ $>0$  a 1] – representa a fracção de D<sub>max</sub> para a qual se inicia o escoamento de base não linear (aumentando rapidamente). Quanto maior o valor de Ds, maior será o escoamento de base para valores baixos do teor de humidade da última camada do solo;
- **Ws** [ $>0$  a 1] – é a fracção do teor máximo de água da camada inferior do solo, a partir da qual se inicia o escoamento de base não linear. Um valor alto de Ws traduz-se num aumento do teor de humidade do solo a partir do qual o escoamento de base aumenta rapidamente, retardando o pico do escoamento.
- **D<sub>max</sub>** [ $>0$  a  $\sim 30$ ], representa o fluxo máximo de base (expresso em mm dia<sup>-1</sup>) que pode ocorrer a partir da camada inferior do solo, depende sobretudo da condutividade hidráulica do solo]; e
- **profundidade do solo** (de cada uma das camadas) [normalmente entre 0.1 a 1.5 m] - a profundidade das camadas do solo influencia muitas variáveis do modelo. De um modo geral, e para efeitos de escoamento, os solos profundos

tendem a amortecer os caudais máximos (o escoamento de base é dominante) e a aumentar as perdas por evapotranspiração.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen R.G., M Smith. e Pereira L.S., (1998), *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper n° 56*. Roma (Itália), FAO. 300 pp.
- Anderson E.R., (1954), Energy-budget studies. USGS Prof Pap 269:71–119
- Blondin C., (1991), Parameterization of land-surface processes in numerical weather prediction, *in* Land Surface Evaporation: Measurements and Parameterization, edited by T. J. Schmugge and J. C. Andre, pp. 31-54, Springer-Verlag, New York.
- Boone A. e P.J. Wetzel, (1996), Issues related to low resolution modeling of soil moisture: Experience with the PLACE model. *Global and Plan. Change*, 13, 161-181.
- Bras R.L., (1990), *Hydrology: An Introduction to Hydrologic Science*, Addison-Wesley, Reading, MA, p. 643.
- Brooks R.H. e A.T. Corey, (1964), *Hydraulic Properties of Porous Media*. Colorado State University, Hydrology Paper n°3, 27 pp.
- Brooks R.H. e A.T. Corey, (1966), Properties of porous media affecting fluid flow. *J. Irrig. Drainage Division Am. Soc. Civil Eng.*, 92:61-88.
- Brutsaert W., (1975), On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. *Water Resour. Res.* 11, 742–744.
- Campbell G.S., (1974), A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. *Soil Sci.*, 117:311-314.
- Cherkauer, K.A. e D.P. Lettenmaier, (1999), Hydrologic effects of frozen soils in the upper Mississippi River basin, *J. Geophys. Res.*, 104(D16), 19,599-19,610.
- Deardorff J.W., (1978), Efficient prediction of ground surface temperature and moisture, with an inclusion of a layer of vegetation. *J. Geophys. Res.*, 83, 1889–1903.
- Dickinson, R.E., (1984), Modeling evapotranspiration for three-dimensional global climate models. *Climate Processes and Climate Sensitivity, Geophys. Monogr.*, No. 29, Amer. Geophys. Union, 58-72.
- Duband D., C. Obled e J. Rodriguez, (1993), Unit hydrograph revisited: an alternate iterative approach to UH and effective precipitation identification. *J. Hydrology*. 150, 115–149.
- Ducoudre N.I., K. Laval e A. Perrier, (1993), SECHIBA, a New Set of Parameterizations of the Hydrologic Exchanges at the Land Atmosphere Interface within the Lmd Atmospheric General-Circulation Model, *J. Clim.*, 6(2), 248-273.
- Franchini M. e M. Pacciani, (1991), Comparative-analysis of several conceptual rainfall runoff models, *Journal of Hydrology*, 122(1-4), 161-219.
- Fread D.L., (1993), Flow routing. In: Maidment, *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, New York.

- Idso S.B., (1981), A set of equations for full spectrum and 8 –14-m and 10.5–12.5-m thermal radiation from cloudless skies. *Water Resour. Res.* 17 (1), 295– 304.
- Kimball J.S., S.W. Running, e R.R. Nemani, (1997), An improved method for estimating surface humidity from daily minimum temperature, *Agr. Forest Meteorol.*, 85, 87-98.
- Liang X., D.P. Lettenmaier, (1994), A simple hydrologically based model of land-surface water and energy fluxes for general-circulation models, *J. Geophys. Res.*, 99(D7), 14415-14428.
- Liang X., E. F. Wood, e D. P. Lettenmaier, (1999), Modeling ground heat flux in land surface parameterization schemes, *J. Geophys. Res.*, 104(D8), 9581-9600.
- Liang X., E.F. Wood e D.P. Lettenmaier, (1999), Modeling ground heat flux in land surface parameterization schemes, *J. Geophys. Res.*, 104(D8), 9581-9600.
- Liang X., E.F. Wood, e D.P. Lettenmaier, (1996), Surface soil moisture parameterization of the VIC-2L model: Evaluation and modification, *Global Planet Change*, 13(1-4), 195-206.
- Lohmann D., B. Nijssen e D.P. Lettenmaier, (1998), Regional scale hydrology: I. Formulation of the VIC-2L model coupled to a routing model, *Hydrol. Sci. J.*, 43(1), 131-141.
- Lohmann D., E. Raschke, B. Nijssen, D.P. Lettenmaier, (1998), Regional scale hydrology: II. Application of the VIC-2L model to the Weser River, Germany. *Hydrol. Sci. J.*, 43(1): 143±158
- Lohmann D., R. Nolte-Holube and E. Raschke, (1996), A large scale horizontal routing model to be coupled to land surface parameterization schemes, *Tellus* (48A), 708-721.
- Mesa, O.J. e E.R Mifflin, (1986). On the relative role of hillslope and network geometry in hydrologic response. *In: Scale Problems in Hydrology* (ed. V. K. Gupta, I. Rodriguez-Iturbe & E. F. Wood), 1-17. D. Reidel Publishing Co., Dordrecht, The Netherlands.
- Nijssen, B., D.P. Lettenmaier, X. Liang, W. Wetzel e E.F. Wood, (1997), Stream simulation for continental-scale river basins, *Water Resour. Res.*, 33(4), pp711-724.
- Prata A.J., (1996), A new longwave formula for estimating downwelling clear sky radiation at the surface. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 122, 1127–1151.
- Rodriguez J.Y. (1989), *Modélisation pluie-débit par la méthode DPFT*. Thèse de doctorat, Grenoble, France.
- Satterlund D.R., (1979), An improved equation for estimating longwave radiation from the atmosphere. *Water Resour. Res.*, 15, 1649–1650.
- Thornton, P.E. e S.W. Running, (1999), An improved algorithm for estimating incident daily solar radiation from measurements of temperature, humidity, and precipitation, *Agr. Forest Meteorol.*, 93, 211-228.
- Todini E., (1996), The ARNO rainfall-runoff model, *Journal of Hydrology*, 175, 339-382.
- TVA, (1972), Heat and mass transfer between a water surface and the atmosphere. *Water Resources Report No. 0-6803* 14. Tennessee Valley Authority.
- Zhao R.J., Y.L. Zuang, L.R. Fang, X.R. Liu e Q.S. Zhang, (1980), The Xinanjiang model. *Hydrological Forecasting (Proceedings Oxford Symposium)*, IASH 129, 351-356.