



Empowered lives.
Resilient nations.



República de Angola
MINISTÉRIO DO AMBIENTE
Gabinete de Alterações Climáticas



FORMAÇÃO EM HIDROLOGIA



RELATÓRIO FINAL DA FORMAÇÃO

JUNHO 2021



coba
Portugal



coba
Angola

MINISTÉRIO DO AMBIENTE
GABINETE DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

FORMAÇÃO EM HIDROLOGIA

RELATÓRIO FINAL

Documento nº 40484FHID	Data: 14 Junho 2021
-------------------------------	----------------------------

	Nome	Função	Assinatura
Elaborado	Estrela do Rosário Mariana Correia João Delgado Maria João Calejo José Cruz Morais Júlio Arsénio Alexandra Cardoso Pedro F. Santos António P. da Silva António Amador André Mendes Alexandre Duarte Lúcia Almeida	Coordenadora e Formadora do Módulo 1 Formadora do Módulo 1 de Chefe do Projecto Formador do Módulo 1 Coordenadora do Módulo 2 e Formadora dos Módulos 2 e 3 Coordenador do Módulo 3 e Formador dos Módulos 2, 3 e 4 Formador dos Módulos 2 e 3 Formadora do Módulo 3 Formador do Módulo 3 Coordenador e Formador do Módulo 4 Formador do Módulo 4 Formador do Módulo 4 Formador do Módulo 4 Formadora do Módulo 4	
Verificado	Mariana Correia	Formadora do Módulo 1 de Chefe do Projecto	
Aprovado	Estrela do Rosário Maria João Calejo José Cruz Morais António P. da Silva Mariana Correia	Coordenadora do Módulo 1 e Formadora no Módulo 1 Coordenadora do Módulo 2 e Formadora dos Módulos 2 e 3 Coordenador do Módulo 3 e Formador dos Módulos 2, 3 e 4 Coordenador e Formador do Módulo 4 Formadora do Módulo 1 de Chefe do Projecto	

Registo de Revisões:

Revisão	Data	Elaborado	Verificado	Aprovado	Descrição

**MINISTÉRIO DO AMBIENTE
GABINETE DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**

FORMAÇÃO EM HIDROLOGIA

RELATÓRIO FINAL

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	MATERIAIS FORNECIDOS	3
3	PROGRAMA E CONTEÚDOS DESENVOLVIDOS NAS AULAS	5
3.1	MÓDULO 1.....	5
3.1.1	Programa do Módulo 1	5
3.1.2	Sub-Módulo 1 – Fundamentos de Hidrologia	7
3.1.3	Sub-Módulo 2 – Caracterização de fenómenos extremos.....	9
3.1.4	Sub-Módulo 3 - Tratamento de dados de precipitação, de alturas hidrométricas e caudais. Dados de satélite e comparação com dados terrestres	12
3.1.5	Sub-Módulo 4 – Modelo HEC-HMS	20
3.2	MÓDULO 2.....	23
3.2.1	Programa do Módulo 2	23
3.2.2	Sub-Módulo 1 – Introdução à modelação hidrológica. Modelos estatísticos. Modelos estocásticos.....	25
3.2.3	Sub-Módulo 2 – Modelos Hidrológicos Precipitação-Escoamento.....	45
3.2.4	Sub-Módulo 3 – Caracterização, Dimensionamento e Gestão Integrada de Albufeiras. Introdução aos Modelos de Previsão e Alerta de Risco de Inundações.....	59
3.3	MÓDULO 3.....	66
3.3.1	Programa do Módulo 3	66
3.3.2	Sub-Módulo 3.1 – Planeamento e Gestão de Recursos Hídricos.....	70
3.3.3	Sub-Módulo 3.2 – Cheias e Secas, Obras Hidráulicas. Desenvolvimento Social e Normas.	77
3.3.4	Sub-Módulo 3.3 – Efeitos das Alterações Climáticas nos Recursos Hídricos e Bases de Dados	91
3.3.5	Sub-Módulo 3.4 – Modelos de Planeamento e Apoio à decisão. Participação de Stakeholders	108

3.4	MÓDULO 4.....	117
3.4.1	Programa do Módulo 4.....	117
3.4.2	Sub-Módulo 1 – Fundamentos de Hidráulica. Escoamentos sob Pressão e com Superfície Livre. Turbomáquinas (Bombas e Turbinas). Orifícios e Descarregadores e Medições Hidráulicas.	120
3.4.3	Sub-Módulo 2 – Modelação Hidráulica de Rio e Canais. Aplicação do Modelo HEC-RAS.....	128
3.4.4	Sub-Módulo 3 – Aproveitamentos Hidráulicos e Barragens. Órgãos Hidráulicos de Segurança e Exploração. Operação e Exploração de Aproveitamentos Hidráulicos.....	131
4	FORMANDOS INSCRITOS E PRESENCAS.....	161
4.1	MÓDULO 1.....	161
4.2	MÓDULO 2.....	162
4.3	MÓDULO 3.....	163
4.4	MÓDULO 4.....	163
5	AFERIÇÃO DA AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTOS E COMPETÊNCIAS	165
5.1	MÓDULO 1.....	165
5.2	MÓDULO 2.....	166
5.3	MÓDULO 3.....	168
5.4	MÓDULO 4.....	169
6	AVALIAÇÃO PELOS FORMANDOS DAS ACTIVIDADES DO MÓDULO DE FORMAÇÃO 1	171
6.1	MÓDULO 1.....	171
6.2	MÓDULO 2.....	174
6.3	MÓDULO 3.....	176
6.4	MÓDULO 4.....	178
7	EQUIPA DE FORMADORES. RESUMO DOS CURRICULUM VITAE.....	183
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	189

ANEXO 1 – TESTES DE AFERIÇÃO DOS CONHECIMENTOS E COMPETÊNCIAS

ANEXO 2 – FICHAS DE AVALIAÇÃO DOS MÓDULOS DE FORMAÇÃO

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Programa do Módulo de Formação 1 – Hidrologia e Tratamento de Dados.....	5
Quadro 3.2 – Programa do Módulo de Formação 2 – Modelação Hidrológica	23
Quadro 3.3 – Programa do Módulo de Formação 3 – Planeamento e Gestão do Módulo 3	67
Quadro 3.4 – Programa do Módulo de Formação 4 – Obras Hidráulicas.....	118
Quadro 4.1 – Lista de formandos e presenças registadas	161

Quadro 4.2 – Lista de formandos e presenças registadas no Módulo de Formação 2	162
Quadro 4.3 – Lista de formandos e presenças registadas no Módulo de Formação 3	163
Quadro 4.4 – Lista de formandos e presenças registadas no Módulo de Formação 4	164
Quadro 6.1 – Resumo das respostas à ficha de avaliação da Formação – Módulo 1	171
Quadro 6.2 – Resumo das respostas à ficha de avaliação da Formação – Módulo 2	174
Quadro 6.3 – Resumo das respostas à ficha de avaliação da Formação – Módulo 3	176
Quadro 6.4 – Resumo das respostas à ficha de avaliação da Formação – Módulo 4	179
Quadro 8.1 – Análise global das respostas às fichas de avaliação da Formação – Módulos 1 a 4	190

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Método dos polígonos de Thiessen. Postos udométricos e pesos das suas áreas de influência para cálculo da precipitação anual ponderada na bacia hidrográfica do rio Calai em Chissola.....	9
Figura 3.2 - Hidrograma de cheia obtido da convolução do Hidrograma unitário de duração D com um Hietograma da precipitação útil	11
Figura 3.3 – Hietogramas de projecto para Luanda e período de retorno de 10 anos. Precipitação total e precipitação útil 11	
Figura 3.4 – Exemplo de cálculo da evaporação real em albufeiras.....	13
Figura 3.5 - Exemplo esquemático. Pontos medidos numa secção transversal de uma linha de água	13
Figura 3.6 - Exemplo esquemático: Perfil de velocidade da secção VI indicada na figura anterior	13
Figura 3.7 - Tratamento de dados. Curvas de vazão de uma estação hidrométrica.....	14
Figura 3.8 – Precipitação anual registada na estação meteorológica de Luanda (média móvel de 5 anos)	15
Figura 3.9 – Ensaio de valores duplamente acumulados	15
Figura 3.10 – 26º Exercício – Análise de sensibilidade de curvas de vazão. (a) curvas de vazão; (b) série histórica do caudal médio diário	17
Figura 3.11 – Curva de duração média anual do caudal médio diário	17
Figura 3.12 – Correlação e comparação das séries históricas de caudal entre duas estações hidrométricas na mesma bacia hidrográfica. Comparação entre utilização de dados médios diários e dados médios mensais	18
Figura 3.13 - Satélites que compõem a missão GPM.....	19
Figura 3.14 - Exemplo. Relação entre precipitação mensal obtida de satélite e a precipitação de uma estação udométrica.....	19
Figura 3.15 - Hidrograma de cheia para T= 100 anos (<i>output</i> directo do HEC-HMS).....	22
Figura 3.16 - Hidrogramas de cheias para T= 100, 200, 500, 1000, 2000 e 5000 anos	22

Figura 3.17 – Países onde o modelo WRSM200/Pitman é usado	47
Figura 3.18 – Diagrama funcional do modelo Escoamento do modelo WRSM200/Pitman	48
Figura 3.19 – Inserção de dados em ambiente HEC-RAS	130
Figura 3.20 – Curva de vazão na secção de referência, estimada com base nos dados do modelo HEC-RAS.....	130
Figura 5.1 – Número de testes entregues, parte teórica e prática	166
Figura 5.2 – Resultados do Teste.....	166
Figura 5.3 – Número de testes entregues, parte teórica e prática	167
Figura 5.4 – Resultados do Teste.....	167
Figura 5.5 – Número de testes entregues, parte teórica e prática	168
Figura 5.6 – Resultados do Teste.....	168
Figura 5.7 – Número de testes entregues, parte teórica e prática	169
Figura 5.8 – Resultados do Teste.....	169
Figura 6.1 – Resumo das respostas dadas às fichas de avaliação da Formação – Módulo 1.....	172
Figura 6.2 – Resumo das respostas dadas às fichas de avaliação da Formação – Módulo 2.....	175
Figura 6.3 – Resumo das respostas dadas às fichas de avaliação da Formação – Módulo 3.....	178
Figura 6.4 – Resumo das respostas dadas às fichas de avaliação da Formação – Módulo 4.....	180
Figura 8.1 – Resumo das respostas dadas às fichas de avaliação da Formação – Módulos 1 a 4	191

1 INTRODUÇÃO

O **Gabinete de Alterações Climáticas do Ministério do Ambiente da República de Angola**, adjudicou à COBA Portugal e à COBA Angola o desenvolvimento da “**Formação em Hidrologia**”, que visa capacitar os quadros técnicos do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INAMET), do Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INRH) e do Gabinete para Administração das Bacias Hidrográficas do Cunene, Cubango e Cuvelai (GABHIC) em áreas de interesse relacionadas com a Hidrologia, Gestão de Recursos Hídricos e Obras Hidráulicas, para fortalecimento das capacidades para acesso e utilização de dados meteorológicos e hidrológicos disponíveis a nível nacional e internacional e sua integração com dados colectados localmente para a análise e previsão do tempo e de riscos de desastres.

A pedido do PNUD e das instituições angolanas envolvidas no Projecto, INAMET, INRH e GABHIC, devido à situação criada pela pandemia da covid 19, os Módulos de Formação 1 a 4 foram integralmente realizados por videoconferência pela plataforma Teams.

Esta situação obrigou a reorganizar alguns conteúdos das aulas dos Módulos de Formação 1 a 4, nomeadamente da parte prática, com vista à realização das aulas por videoconferência. A parte teórica foi apresentada em PowerPoint e a parte prática foi apresentada por meio de ficheiros de exercícios em Excel que foram resolvidos durante as aulas em folhas Excel partilhadas, por forma a substituir o quadro de uma aula presencial. Estes exercícios procuraram abordar e consolidar os conteúdos dados na parte teórica e melhorar as competências práticas.

As aulas dos Módulos de Formação 1 a 4 foram gravadas e após cada aula foram enviados a todos os formandos os PowerPoint e os exercícios de Excel dados na aula, bem como a aula vídeo gravada.

O presente relatório compreende a síntese da informação relevante respeitante aos Módulos de Formação 1 a 4, em particular, os objectivos e os conteúdos específicos da formação, a aferição dos conhecimentos e competências adquiridos pelos formandos e a avaliação pelos formandos das condições de realização da formação no que diz respeito ao conteúdo da formação e condições da sua implementação por videoconferência.

No final do relatório apresentam-se considerações gerais sobre a implementação do projeto de Formação em Hidrologia.

2 MATERIAIS FORNECIDOS

Para acompanhamento e aprendizagem dos conteúdos das aulas foram fornecidos diversos materiais didáticos listados em baixo, com destaque para o livro Hidrologia e Recursos Hídricos, dos autores João Reis Hipólito e Álvaro Carmo Vaz, que trata de forma profunda e rigorosa a física dos fenómenos hidrológicos e abrange as principais questões actualmente colocadas pela hidrologia e recursos hídricos. Destaque também para o livro “Hidráulica” da autoria de António Carvalho Quintela, editado pela Fundação Calouste Gulbenkian, e que constitui uma referência para o ensino da hidráulica e permite a adequada introdução dos conceitos associados à concepção, dimensionamento e gestão de obras hidráulicas.

- Hipólito, J.R. & Vaz, A. C. 2011 – Hidrologia e Recursos Hídricos, Instituto Superior Técnico, Lisboa (enviado pela Abreu Carga e Trânsitos);
- Quintela, A. C. 2000 – Hidráulica, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa (enviado pela Abreu Carga e Trânsitos);
- Slides de PowerPoint com os conteúdos teóricos das aulas (em PowerPoint);
- Vídeos de todas as aulas;
- Ficheiros com os exercícios práticos das aulas (em Excel);
- Decreto Presencial nº 59 de 2011 (em pdf);
- Ficheiro executável do Modelo HEC-HMS;
- Manual do Modelo HEC-HMS (em pdf);
- Indicações de como converter um ficheiro .csv ou .txt em formato trabalhável em Excel (em word);
- Artigo sobre estabilidade de secções de estações hidrométricas (em PDF);
- Ficheiros do Modelo WRSM/Pitman;
- Manual do modelo WRSM/Pitman (docx e pdf)
- Artigo: “Parametric calibration of the Hargreaves-Samani equation for use at new locations”, S. Shahidian; R. P. Serralheiro; J. Serrano e J.L. Teixeira., 2012.
- Artigo: “Comparing impacts of climate change on streamflow in four large African river basins”, Aich, Valentin & Liersch, Stefan & Vetter, Tobias & Huang, Shaochun & Tecklenburg, J. & Hoffmann, P. & Koch, H. & Fournet, S. & Krysanova, Valentina & Paton Née Mueller, Eva & Hattermann, F., in Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 10. 13005-13052. 10.5194/hessd-10-13005-2013.
- Artigo: “Avaliação dos impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos. Caso de estudo: Bacia do rio Limpopo”, M. J. Calejo, J. L. Teixeira, M. Correia, in Indústria e Ambiente Nº 110, Maio/Junho 2018.
- Ficheiros do Modelo HEC-RAS;
- Documentação Técnica: “Guide for Selecting Manning’s Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains”, George J. Arcement, JR. & Verne R. Schneider. United States Geological Survey Water-Supply Paper 1989;
- Documentação Técnica: “Roughness Characteristics of Natural Channels”, Harry H. Barnes, Jr., United States Geological Survey Water-Supply Paper 1849, 1967.



A componente logística para acesso por videoconferência pela plataforma Teams dos formandos e dos formadores às aulas esteve a cargo da COBA Portugal e da COBA Angola. Foram disponibilizados aos formandos, consoante as necessidades identificadas por cada Instituição, pacotes de dados de internet para carregamento de routers existentes, pens + dados de internet e um router + carregamento de dados para acesso à Internet.

Foi igualmente criada por formando, previamente às aulas, uma conta Microsoft para acesso à aplicação Teams, a qual permite acesso a um grupo específico de formandos e formadores, por Módulo, assim como às videoconferências pela plataforma Teams. Foi prestado apoio informático, pela Secção Informática da COBA Portugal, a todos os formandos que o solicitaram. Tendo em consideração que nem todos os formandos conseguiram efectuar o login com a conta Microsoft, optou-se pela utilização de link directo enviado por email, para cada um dos dias de formação, para acesso à videoconferência.

Com o objectivo de se criar mais um canal de comunicação e desta forma agilizar ainda mais a mesma, foi adquirido um telemóvel específico para o projecto e criado um grupo de whatsapp.

3 PROGRAMA E CONTEÚDOS DESENVOLVIDOS NAS AULAS

3.1 MÓDULO 1

3.1.1 Programa do Módulo 1

Este módulo de formação visou de forma geral fornecer aos formandos os Fundamentos da Hidrologia e a Caracterização dos Fenómenos Extremos e promover a aplicação prática dos conhecimentos teóricos adquiridos pela realização de exercícios em Excel em todas as aulas teóricas. Nas últimas semanas de aulas foi reforçada a componente prática da formação, sendo fornecidas e exemplificadas técnicas de tratamento dos dados recolhidos do campo e explicado as componentes do modelo de evento precipitação-escoamento HEC-HMS com aplicação a uma bacia hidrográfica para cálculo de hidrogramas de cheias.

No Quadro 3.1 apresenta-se o Programa do Módulo de Formação 1, com indicação do dia de realização de cada aula, durações estimadas para a parte teórica e prática e o formador da aula.

Quadro 3.1 – Programa do Módulo de Formação 1 – Hidrologia e Tratamento de Dados

Programa	Dia/mês	Teóricas	Práticas	Formador
1ª semana:				
Ciclo hidrológico e balanço hídrico	28/set	2,5 h	0,5 h	Estrela do Rosário
Bacia hidrográfica Caracterização morfométrica. Indicadores habitualmente utilizados	29/set	2 h	1 h	
	30/set	1 h	2 h	
Precipitação e análise estatística Medição da precipitação, precipitação em áreas, variáveis aleatórias, frequências relativas e acumuladas e estatísticas amostrais	01/out	1,5 h	1,5 h	
	02/out	1,5 h	1,5 h	
2ª semana:				
Precipitação e análise estatística Ajustamento de modelos de distribuição às séries hidrológicas, testes de ajustamento (χ^2), correlação e regressão linear	06/out	1 h	2 h	Estrela do Rosário
	07/out	1 h	2 h	
Evaporação e evapotranspiração	08/out	2,5	0,5	
Solos, água no solo e coberto vegetal	09/out	1 h	2 h	
3ª semana:				
Solos, água no solo e coberto vegetal	12/out	2 h	1 h	Estrela do Rosário
Escoamento superficial	13/out	2 h	1 h	
Caracterização e modelos de cálculo de cheias Fórmula racional, hidrograma unitário de duração D, equação da convolução, hidrograma unitário sintético e hietograma de precipitação de projecto (período de retorno)	14/out	1 h	2 h	
	15/out	1 h	2 h	

Programa	Dia/mês	Teóricas	Práticas	Formador
Caracterização de secas	16/out	0,5 h	1 h	
Erosão do solo e transporte de sedimentos		1 h	0,5 h	
4ª semana:				
Instrumentos de recolha de dados hidrológicos e trabalho de campo Definições; recolha de dados de precipitação; recolha de dados de evaporação e recolha de dados de escoamento.	19/out	2,5 h	0,5 h	João Delgado
Tratamento de dados de precipitação (rede terrestre nacional meteorológica e climatológica) Conceito de séries hidrológicas; séries hidrológicas – homogeneidade e consistência; séries hidrológicas – persistência e aleatoriedade; métodos de preenchimento de falhas dos registos de precipitação.	20/out	1,0 h	2,0 h	Mariana Correia
Tratamento de dados de alturas hidrométricas e de caudais Revisão sobre curvas de vazão, Definições, Escoamento – Situação em Angola, Pré-tratamento dos dados, curvas de duração de caudal, análise de escoamentos diários, mensais e anuais, preenchimento de falhas.	21/out	0,5 h	2,5 h	João Delgado
	22/out	0,5 h	2,5 h	
Modelo HEC-HMS Apresentação e potencialidades do modelo. Exemplos de aplicação do modelo hidrológico. Modelos implementados no programa (perdas de precipitação, transformação da precipitação efectiva em escoamento directo em condições de cheia. Precipitação efectiva de projecto. Hidrograma unitário sintético do SCS.	23/out	2,5 h	0,5 h	Mariana Correia
5ª semana:				
Modelo HEC-HMS Aplicação prática – Exercício 1 (<i>n.º 30 no geral</i>). Rio Cambumba. T=100 anos	26/out	3,0 h	-	Mariana Correia
	27/out	3,0 h	-	
Modelo HEC-HMS Aplicação prática – Exercício 2 (<i>n.º 31 no geral</i>). Rio Cambumba. T=100 anos, considerando, no futuro, um cenário de impermeabilização de uma parte da bacia hidrográfica.	28/out	3,0 h	-	
Modelo HEC-HMS Aplicação prática – Exercício 3 (<i>n.º 32 no geral</i>). Rio Cambumba. Vários períodos de retorno.	29/out	3,0 h	-	

Programa	Dia/mês	Teóricas	Práticas	Formador
Dados de Satélite e comparação com dados da rede terrestre. Tipos de sistemas de aquisição de dados de precipitação. Bases de dados globais. Comparação de dados de precipitação de satélite e dados terrestres.	30/out	3,0 h	-	João Delgado
6ª semana: 2 a 6 de Novembro: período para os formandos realizarem o Teste e a Ficha de Avaliação do Módulo 1. No dia 6 de Novembro realizou-se a última aula com as seguintes actividades:				
Correção do teste. Esclarecimento de dúvidas. Partilha de experiências relativas ao Módulo 1.				Estrela do Rosário Mariana Correia João Delgado

Duração total do Módulo de Formação 1: 25 dias úteis

3.1.2 Sub-Módulo 1 – Fundamentos de Hidrologia

3.1.2.1 Ciclo Hidrológico e balanço hídrico

O Sub-Módulo 1 iniciou-se com a definição dos conceitos hidrologia e ciclo hidrológico. Foram descritas as diversas componentes do ciclo hidrológico que no decurso da Formação do Módulo 1 foram definidas, analisadas e avaliadas quantitativamente:

- Precipitação de água (no estado líquido e sólido) sobre a superfície da terra;
- Evaporação de água das superfícies dos oceanos, das linhas de água e dos lagos;
- Evapotranspiração da água do solo e da água interceptada e transpirada pela vegetação que reveste o solo;
- A interceptação pelo coberto vegetal e retenção da água em depressões e infiltração da água a partir da superfície do solo;
- Escoamento superficial sobre o terreno e nas linhas de água e escoamento subsuperficial e subterrâneo nas camadas superficiais e profundas do subsolo.

A equação do balanço hídrico que considera todas as componentes do ciclo hidrológico permite quantificar para uma dada região e um dado período de tempo a quantidade de água que circula no ciclo hidrológico. Foram apresentadas tabelas com os balanços hídricos médios anuais aplicados ao nosso planeta e aos continentes.

3.1.2.2 Bacia hidrográfica

Este tema iniciou-se pela introdução do conceito de bacia hidrográfica e de exutório da bacia hidrográfica. Foram definidos os critérios para traçado do limite ou contorno de uma bacia hidrográfica a partir de base cartográfica e foi apresentado um exercício prático aos formandos. No seguimento, foram explanados os seguintes indicadores morfométricos tipicamente utilizados para a caracterização das bacias hidrográficas:

- Características geométricas da bacia hidrográfica (área, perímetro, índice de compacidade de Gravelius, factor de forma, rectângulo equivalente e índice de alongamento);
- Características da rede de drenagem da bacia hidrográfica (densidade de drenagem, ordem das linhas de água, razão de bifurcação);

- Características de relevo da bacia hidrográfica (curva hipsométrica, altitude média, altura média, perfil e declive da linha de água principal, declive da bacia hidrográfica).

A formação prática para o cálculo dos diversos indicadores foi dada através do 2º Exercício - Caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica (em Excel), tendo-se considerado a bacia hidrográfica do rio Calai, definida pela secção de confluência do rio Culele.

3.1.2.3 Precipitação

No âmbito do análise da precipitação foi introduzido o conceito de precipitação e da sua variabilidade no espaço e tempo e mostrada a importância da sua medição em vários locais e ao longo de anos. Foram identificados os aparelhos de medição e registo da precipitação num dado local (udómetros e udógrafos) e explicados os métodos para cálculo da precipitação média (anual, mensal, diária, horária ou outras durações) ponderada na área de uma dada bacia hidrográfica (Thiessen, Isoietas e Inverso da distância) a partir das medições locais.

As aulas seguintes sobre precipitação tiveram como objectivo capacitar os formandos em estatística aplicada à hidrologia, com a introdução dos conceitos de série hidrológica temporal como amostra de uma variável aleatória hidrológica, com foco nos seguintes itens:

- Definição dos conceitos de funções de frequência absoluta, frequência relativa e frequência acumulada e de probabilidade de uma variável aleatória com base numa amostra. A exemplificação foi efectuada através do 3º Exercício – Determinação da função da frequência relativa e da função de frequência acumulada e desenho dos gráficos das funções de frequência relativa e acumulada para a série de precipitação anual do posto udométrico de Rio Chipia;
- Definição das estatísticas amostrais e exemplificação do seu cálculo através do 4º Exercício – Caracterização estatística da série da precipitação anual do posto udométrico de Rio Chipia pela utilização das estatísticas amostrais, aplicando a formulação teórica dada na aula e as fórmulas disponíveis no Excel;
- Definição das funções de densidade e de distribuição de probabilidade aplicáveis às diferentes variáveis hidrológicas, definição dos parâmetros das distribuições e avaliação do ajustamento dos modelos de distribuição de probabilidade à amostra. A exemplificação foi efectuada através do 5º Exercício – Selecção do modelo de ajustamento de uma distribuição de probabilidade (distribuição Normal, Gama ou Gumbel) à série da precipitação anual do posto udométrico de Rio Chipia pela aplicação do teste do χ^2 e do teste de Kolmogorov-Smirnov;
- Previsão da precipitação anual associada a diversas probabilidades e períodos de retorno pela aplicação da distribuição Normal, depois de verificar que foi a que melhor se ajustou à amostra da precipitação anual em Rio Chipia;
- Procedimentos para o preenchimento de falhas nos registos de precipitação, com destaque para a correlação entre variáveis aleatórias e a recta de regressão. A exemplificação foi efectuada através do 6º Exercício – Determinação do coeficiente de correlação e a recta de regressão da série de precipitação anual de Vila Verde sobre a de Rio Chipia pelo mínimos quadrados.

A análise da qualidade e tratamento dos dados de precipitação foi programada para as aulas práticas do Módulo de Formação 1.

3.1.2.4 Evaporação e evapotranspiração

No âmbito do análise da evaporação e da evapotranspiração foram introduzidos os seus conceitos e apresentados os modelos mais indicados para determinação dos respectivos fluxos de vapor de água para a atmosfera: método de Penman

e de Penman-Monteith da FAO. Foram expostos os evaporímetros de tina ou de tanque e os atmómetros para medição da evaporação e os lisímetros para cálculo da evapotranspiração por balanço hídrico.

3.1.2.5 Solo, água no solo e uso do solo

No âmbito desta temática foram definidos os diversos conceitos envolvidos (solo e água no solo: infiltração e escoamento na zona não saturada e saturada do solo e coberto do solo). Tipos de solos (classificação de solos da ISSS e da USDA). Movimento da água no solo e infiltração. Modelo de infiltração proposto por Green-Ampt e modelo de cálculo das perdas de água numa bacia hidrográfica proposta pelo SCS (Soil Conservation Service).

A exemplificação foi efectuada através do 7º Exercício – Determinação das perdas de água (intercepção na vegetação, retenção em depressões e infiltração) numa bacia hidrográfica durante um evento de precipitação pelo método do SCS.

3.1.2.6 Escoamento superficial e subterrâneo

Definição dos conceitos gerais e processos de escoamento. Descrição dos procedimentos para a medição indirecta do escoamento superficial através da medição do nível de água na secção transversal das estações hidrométricas e cálculo do caudal através das curvas de vazão. O 8º Exercício – faz a exemplificação dos procedimentos para a determinação do caudal escoado na secção transversal, com base nas medições de campo das profundidades e das velocidades médias em áreas elementares de uma secção transversal da linha de água e para a determinação da curva de vazão a partir de um conjunto de pares de valores do caudal e da altura do escoamento, por ajustamento de uma função matemática do tipo: $Q = a(h - h_0)^b$.

Para a caracterização estatística da série do escoamento superficial anual procedeu-se no 8º Exercício ao ajustamento de uma função distribuição (Normal e Gumbel) à série de escoamentos anuais em Jamba-la-Oma, no período de anos hidrológicos de 1939/40 a 1973/74, com aplicação do teste do χ^2 . A previsão do escoamento anual associado a diversas probabilidades e períodos de retorno foi efectuada pela aplicação da distribuição Gumbel, a que melhor se ajustou à amostra de escoamentos anuais em Jamba-la-Oma.

Foram apresentados modelos matemáticos precipitação-escoamento, de regressão e o modelo de Turc. A exemplificação da aplicação do modelo de Turc foi efectuada no 9º Exercício. Para aplicação deste método foi calculada, pelo método dos polígonos de Thiessen, a série das precipitações anuais ponderadas no período de anos de 1949/50 a 1973/74 na bacia hidrográfica do rio Calai em Chissola.

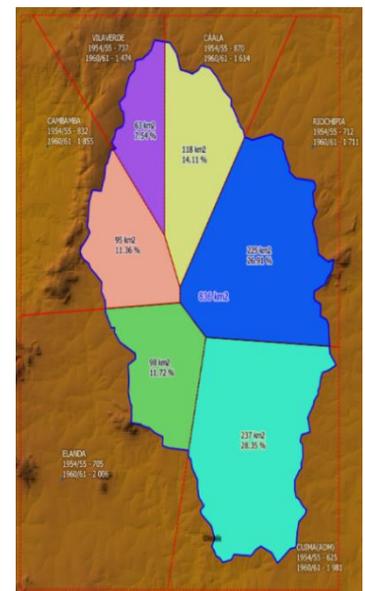


Figura 3.1 – Método dos polígonos de Thiessen. Postos udométricos e pesos das suas áreas de influência para cálculo da precipitação anual ponderada na bacia hidrográfica do rio Calai em Chissola.

3.1.3 Sub-Módulo 2 – Caracterização de fenómenos extremos

No Sub-módulo 2 foram caracterizadas as situações de cheias, secas e de erosão laminar.

3.1.3.1 Estudo estatístico de cheias

Na análise estatística de cheias foi considerada a metodologia dos factores de probabilidade. Nesta metodologia, para séries temporais de variáveis hidrológicas (precipitações máximas anuais para dadas durações e caudais máximos instantâneos anuais) correspondentes a eventos extremos, utiliza-se a equação do factor de probabilidade para obter o valor de um

evento hidrológico associado ao período de retorno pretendido. A equação é dada por: $x_T = \mu + K_T \sigma$ que pode ser aproximada por: $x_T = \bar{x} + K_{TS} s$, com \bar{x} e s , média e desvio padrão da amostra.

Para uma dada lei de distribuição, é necessário determinar o factor de probabilidade K_T associado a cada período de retorno e as estatísticas amostrais média e desvio padrão e, para distribuições de 3 parâmetros, o coeficiente de assimetria da série temporal.

No 14º Exercício – utilizou-se a metodologia dos factores de probabilidade para determinação dos valores da precipitação máxima anual com a duração de 10 minutos associados a vários períodos de retorno (2,5,10,20,25,50,100,500,1000,5000 e 10000 anos) pela aplicação das distribuições de probabilidade Normal, Gumbel e Pearson III. Foi também exemplificado com um exercício de Excel como determinar as curvas-I-D-F.

3.1.3.2 Métodos precipitação-escoamento

O estudo de cheias a partir das precipitações foi iniciado com a aplicação da fórmula racional para determinar caudais de ponta de cheia em pequenas bacias hidrográficas rurais e urbanas.

No seguimento, foram desenvolvidas metodologias de cálculo de hidrogramas de cheia baseadas no conceito do hidrograma unitário: hidrograma unitário de duração D , hidrograma unitário sintético, hietograma de precipitação total e útil, hietogramas de projecto e modelos de perdas de água nas bacias hidrográficas – que se aplicam nos modelos de evento precipitação-escoamento para avaliação de caudais de ponta de cheia e hidrogramas de cheia associados aos períodos de retorno pretendidos.

O exemplo apresentado no 10º Exercício – permite compreender como a partir a precipitação útil e do hidrograma unitário de dada duração se pode determinar o hidrograma de cheia do escoamento directo, aplicando os princípios da proporcionalidade e da sobreposição da teoria do hidrograma unitário.

O exemplo apresentado no 11º Exercício – permite compreender como se determina numa bacia hidrográfica sem medição de caudais, o hidrograma unitário sintético do Soil Conservation Service para uma dada duração, com base no hidrograma unitário adimensional do SCS e nas expressões para cálculo do tempo de pico e do caudal de pico.

O exemplo apresentado no 12º Exercício – permite compreender como se determina o Hietograma de Projecto (precipitação total) para uma dada duração pelo método dos blocos alternados e período de retorno $T_r = 10$ anos, com base nas curvas I-D-F do Decreto Presencial Nº 59 de 2011 e nos factores de redução em área da precipitação e no 13º Exercício – foi calculado o Hietograma da Precipitação Útil a partir do Hietograma de Projecto do Exercício nº12, utilizando o modelo de perdas de água na bacia hidrográfica desenvolvido pelo SCS.

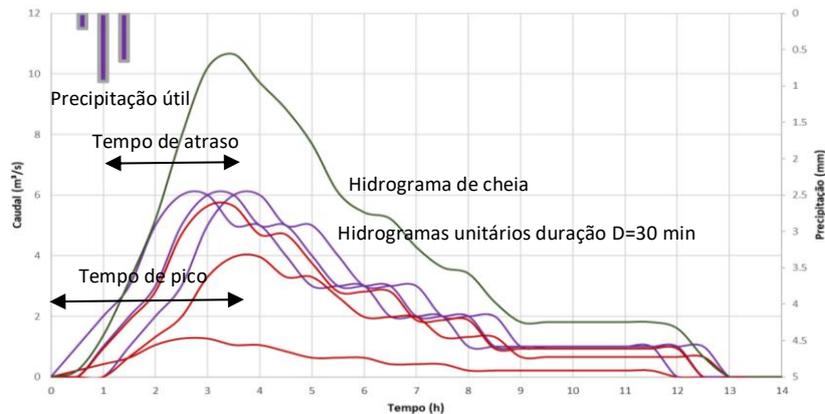


Figura 3.2 - Hidrograma de cheia obtido da convolução do Hidrograma unitário de duração D com um Hietograma da precipitação útil

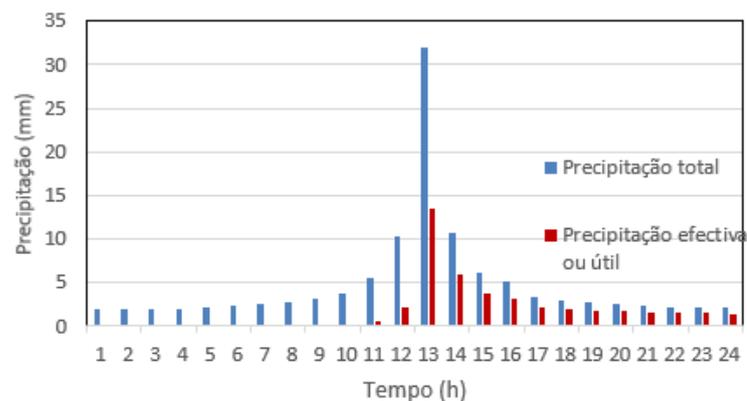


Figura 3.3 – Hietogramas de projecto para Luanda e período de retorno de 10 anos. Precipitação total e precipitação útil

3.1.3.3 Caracterização de secas

Foram sistematizados diferentes critérios de avaliação de seca em função das consequências da carência hídrica (secas meteorológicas, agrícolas, hidrológicas). Foi tratada a seca meteorológica, utilizando como variável instrumental a precipitação. A formação prática incidiu sobre a determinação do Índice de Precipitação Padronizada, SPI (standardized precipitation index), reconhecido pela OMM para aplicação generalizada.

No 15º Exercício – utilizou-se a metodologia descrita na aula teórica para caracterizar pelo Índice SPI (Standardized Precipitation Index) as secas anuais na posto udométrico de Rio Chipia.

3.1.3.4 Caracterização da erosão laminar

Foi também caracterizada a erosão laminar e a aplicação do modelo para a sua avaliação “Equação Universal de Perda de Solo Revista (RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation), tendo sido apresentado em exemplo prático real desenvolvido pela COBA, com aplicação de SIG, para avaliação da perda de solo numa bacia hidrográfica.

3.1.4 Sub-Módulo 3 - Tratamento de dados de precipitação, de alturas hidrométricas e caudais. Dados de satélite e comparação com dados terrestres

O Sub-módulo 3 iniciou-se com a apresentação e descrição dos instrumentos de recolha de dados hidrológicos e do correspondente trabalho de campo a desenvolver. Procedeu-se de seguida à análise da qualidade de dados pluviométricos (rede terrestre nacional meteorológica e climatológica) e a consequente validação quanto à sua consistência e homogeneidade. Posteriormente, foi abordado o tratamento de dados de alturas hidrométricas e caudais. Foi igualmente abordada a temática da obtenção e utilização de dados de satélite e a sua comparação com dados terrestres.

3.1.4.1 Instrumentos de recolha de dados

A recolha de dados de campo é fundamental para a correcta caracterização do regime hidrológico de uma determinada bacia hidrográfica. Estes dados correspondem geralmente, mas não exclusivamente, a dados de precipitação, evaporação, temperatura e escoamento (altura hidrométrica de uma secção de escoamento). Foram apresentados diferentes sistemas de aquisição de dados hidrológicos, nomeadamente:

- Precipitação: Apresentação de estações udométricas e udográficas, assim como estações climatológicas e meteorológicas. Complementou-se a apresentação dos conteúdos com exemplos de instalação em Portugal continental
- Evaporação: Apresentação dos diferentes equipamentos e conceitos utilizados para medição de evaporação, assim como os vários tipos de evaporímetros padronizados. Apresentou-se a relação entre evaporação medida em ambiente controlado e evaporação real.
- Escoamento: Foram abordados os seguintes conteúdos:
 - Caracterização da rede de estações hidrométricas em Angola;
 - Tipos de equipamentos utilizados em estações hidrométricas: escalas limnimétricas; descarregadores auxiliares; torres com limnígrafo; sistemas de telemetria e estações equipadas com *datalogger* e sensores hidrostáticos.
 - Escolha do local para implantação das estações hidrométricas de acordo com normas internacionais;
 - Medição de pares de pontos de caudal-altura hidrométrica utilizando: (i) molinete; (ii) Perfiladores acústicos de efeito doppler;
 - Curvas de vazão – definição, exemplos, potenciais problemas e análise de sensibilidade.

O 16º Exercício permitiu calcular a evaporação real em albufeiras tendo por base dados hidrológicos de evaporação em tinas do tipo BAC e dados de precipitação média mensal, tal como apresentado na Figura 3.4.

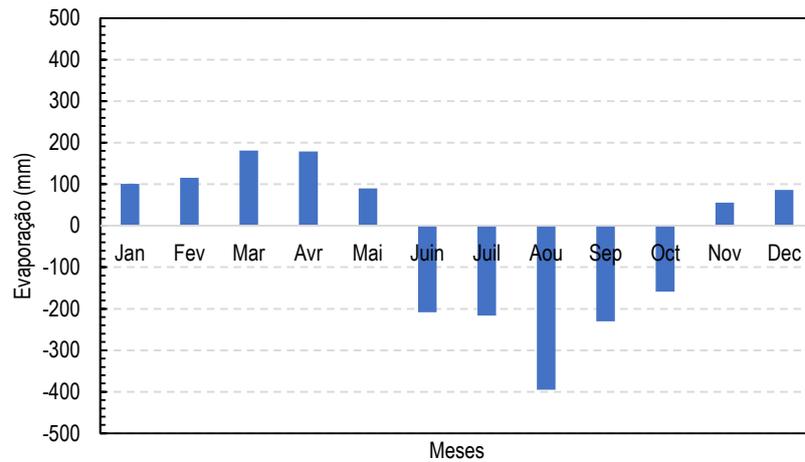


Figura 3.4 – Exemplo de cálculo da evaporação real em albufeiras

No tratamento de dados de alturas hidrométricas e caudais, para além da interpretação de curvas de vazão em si, foram abordados temas como a análise da sua variabilidade no tempo e apresentadas as premissas que devem ser asseguradas na escolha do local das medições de velocidades e de alturas de água (importância da estabilidade das secções das estações hidrométricas). Foram também abordados os eventuais problemas que são geralmente identificados nas curvas de vazão, como por exemplo discrepâncias significativas entre as mesmas de ano para ano, e abordada a temática da necessidade, ou não, de se proceder a ajustes da curva de vazão.

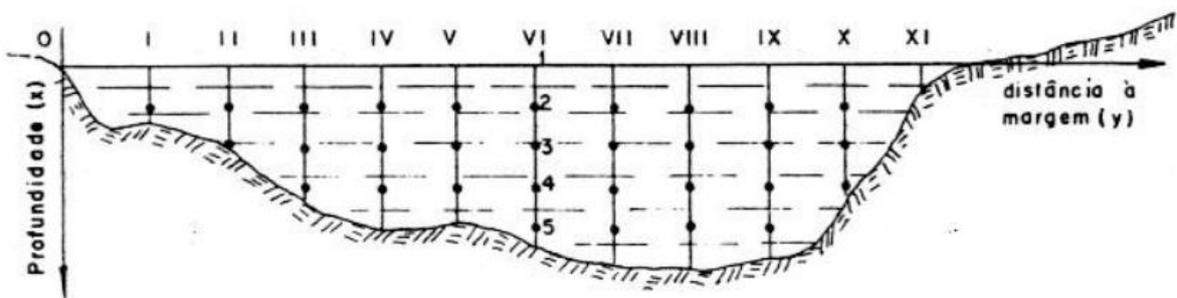


Figura 3.5 - Exemplo esquemático. Pontos medidos numa secção transversal de uma linha de água

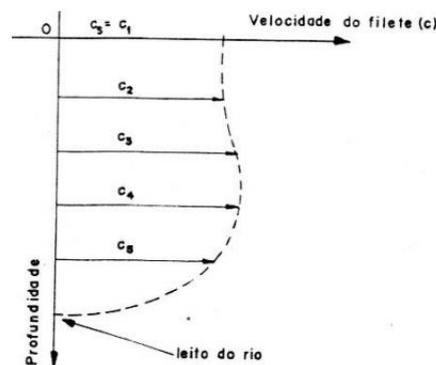


Figura 3.6 - Exemplo esquemático: Perfil de velocidade da secção VI indicada na figura anterior

Na Figura 3.7 apresenta-se, a título de exemplo, o traçado das curvas de vazão e as medições de caudais antigas e recentes numa estação hidrométrica. Exemplo para permitir seleccionar as curvas a utilizar e a eliminar, por se afastarem radicalmente das restantes curvas de vazão sem justificação aparente, possivelmente devido à existência de erros nas medições (por exemplo má calibração dos micromolinetes utilizados).

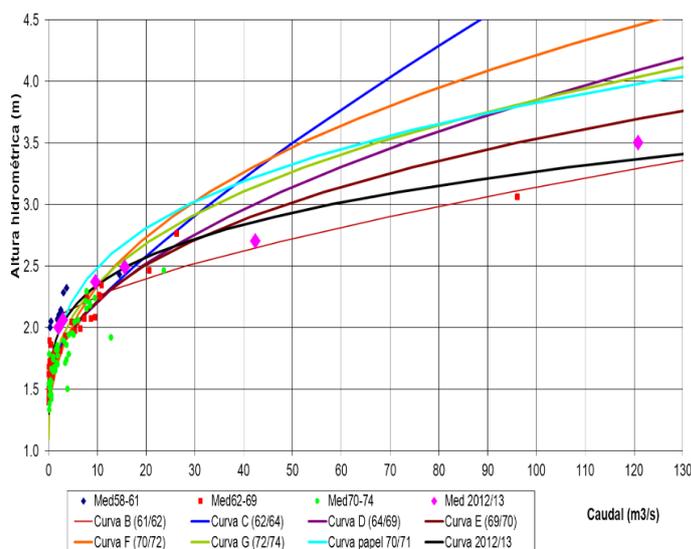


Figura 3.7 - Tratamento de dados. Curvas de vazão de uma estação hidrométrica

3.1.4.2 Tratamento de dados de precipitação (rede terrestre nacional meteorológica e climatológica)

O tratamento de dados de precipitação da rede terrestre iniciou-se com a introdução do conceito de séries hidrológicas, tendo sido dados exemplos, como séries de valores da precipitação diária, da precipitação mensal, da precipitação anual e da precipitação diária máxima anual.

O 17º Exercício – Médias Móveis, teve como objectivo permitir identificar eventuais tendências nos registos de precipitação anual mediante a utilização de médias móveis de 5 e de 10 anos. Na Figura 3.8 apresenta-se o resultado da aplicação prática aos dados de precipitação anual registados na estação meteorológica do Lubango.

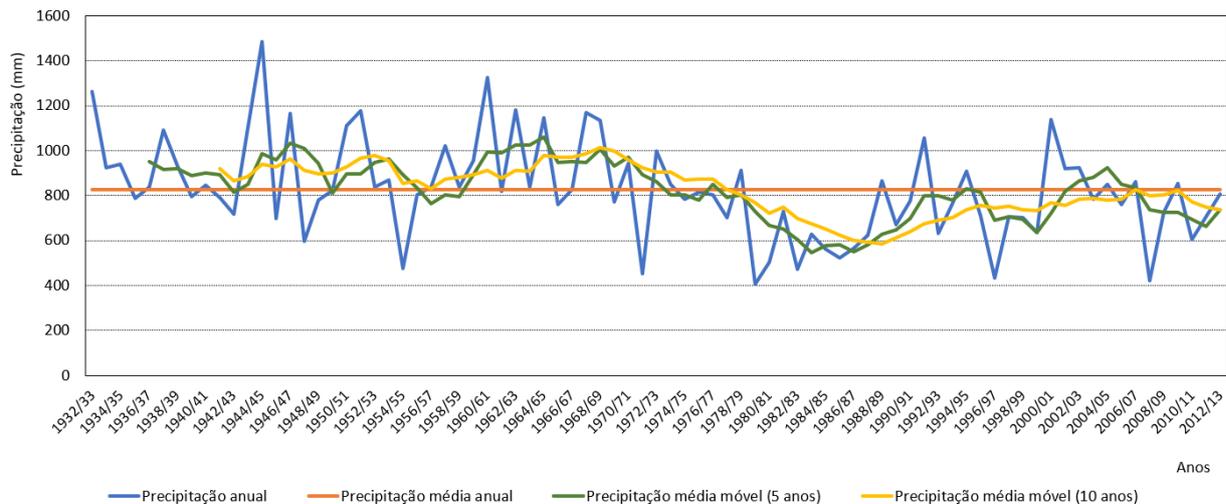


Figura 3.8 – Precipitação anual registada na estação meteorológica de Luanda (média móvel de 5 anos)

Foram introduzidos os conceitos de homogeneidade e consistência de uma dada grandeza, tendo sido apresentados exemplos de alterações e de causas que podem conduzir à quebra de homogeneidade de uma determinada série hidrológica. Posteriormente, foi apresentada uma das formas de detecção mais comum de quebra de homogeneidade e de consistência de séries anuais de precipitação, o ensaio de valores duplamente acumulados (*double mass curve*).

Na Figura 3.9 é apresentado um ensaio de valores duplamente acumulados, exposto na formação (18º Exercício).

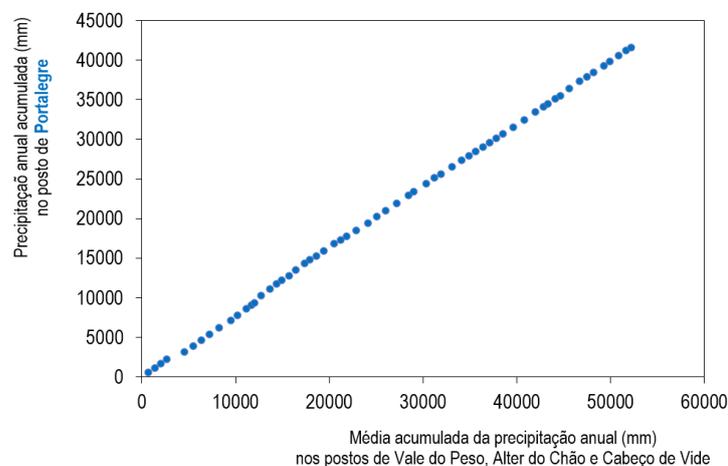


Figura 3.9 – Ensaio de valores duplamente acumulados

Se o ensaio dos valores duplamente acumulados revelar inconsistência e se for encontrada a respectiva explicação ou aceite como significativas do ponto de vista estatístico as diferenças do coeficiente angular dos segmentos de recta, os valores da precipitação do intervalo de tempo respeitante a esse segmento poderão ser ajustados em relação aos do intervalo de tempo tomados como base (19º Exercício).

Além do ensaio dos valores duplamente acumulados, foi também efectuado um ensaio de valores simplesmente acumulados (20º Exercício) e apresentados exemplos de ensaios efectuados a dados de precipitação registados em vários postos meteorológicos e climatológicos localizados em Angola.

No 21º Exercício foi desenvolvido um ensaio dos valores duplamente acumulados entre dados de precipitação anual e de escoamento anual, para o mesmo período de registos.

Foram apresentadas as propriedades de persistência e de aleatoriedade de valores das séries de precipitação e de escoamento.

De seguida, foram elaborados com os formandos dois testes de rejeição da aleatoriedade de uma amostra de valores:

- Teste do número de extremos locais (22º Exercício);
- Teste do coeficiente de autocorrelação (23º Exercício).

Para finalizar, foram apresentados dois métodos de preenchimento de falhas anuais de precipitação e desenvolvidos os exercícios práticos correspondentes:

- U.S. Weather Bureau (24º Exercício);
- Correlação e regressão linear simples (25º Exercício).

3.1.4.3 Tratamento de dados de alturas hidrométricas e de caudais

A formação focou-se no tratamento de dados de escoamento, tendo como base valores de caudal médio diário medido, geralmente, através da altura hidrométrica e com recurso a curvas de vazão determinadas *a priori*. Os dados utilizados para a formação, assim como os exemplos apresentados no decorrer desta, foram fornecidos em formato Excel. A formação focou-se nos seguintes temas no âmbito do tratamento de alturas hidrométricas e caudais:

- Definições: Escoamento, caudal médio diário, afluições totais e escoamento médio;
- Caracterização do escoamento sobre o território Angolano;
- Tratamento de dados de caudal, tendo sido abordos os seguintes tópicos:
 - Pré-tratamento de dados: Procedimentos a ter em conta de forma a uniformizar os dados a analisar, visando a redução de erros;
 - Curvas de duração de caudal – conceitos e exemplos;
 - Análise de caudal médio diário e cálculo de caudal, escoamento e afluições médias diárias, mensais e anuais;
 - Preenchimento de falhas;
- Todos os tópicos foram complementados com exercícios de demonstração sob a base dos ficheiros Excel fornecidos.

O tratamento de dados de alturas hidrométricas e caudais desenvolveu-se ao longo de duas aulas, focando-se maioritariamente num exemplo da bacia do Cunene, compreendendo as estações hidrométricas de Jamba-la-Oma, Jamba-la-Mina, Luceque, Vila Folgares, Matunto e Xangongo.

O 26º Exercício teve como objectivo ilustrar a importância do ajustamento adequado de curvas de vazão aos dados de medição de caudal em secções de estações hidrométricas. Apresentaram-se duas curvas de vazão bastante semelhantes, foram calculados os valores do caudal médio diário para a série histórica das medições de altura hidrométrica (ver Figura 3.10).

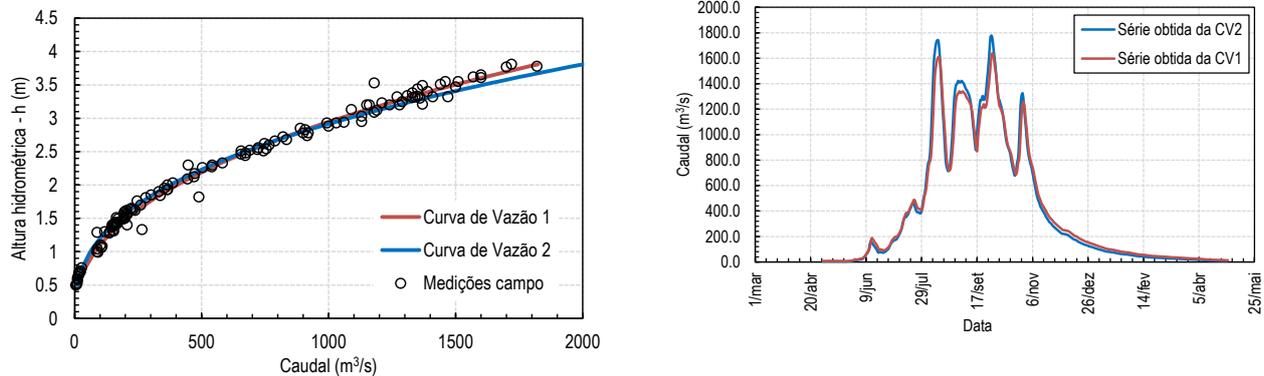


Figura 3.10 – 26º Exercício – Análise de sensibilidade de curvas de vazão. (a) curvas de vazão; (b) série histórica do caudal médio diário

O 27º Exercício teve como objectivo a revisão dos conceitos de caudal médio diário, afluência (i.e., escoamento medido em volume) e escoamento médio diário com base num exemplo concreto da bacia do Cunene.

O 28º Exercício teve como objectivo ilustrar o procedimento de obtenção da curva de duração média anual do caudal médio diário, assim como exemplificar que tipo de conclusões se podem retirar da utilização destas curvas. Isto é, o cálculo do número de dias que em média um determinado valor de caudal é excedido num determinada estação hidrométrica/secção do rio.

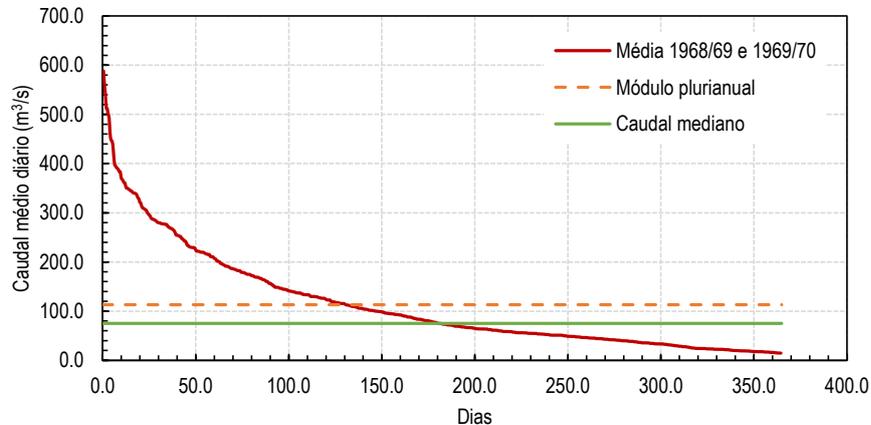


Figura 3.11 – Curva de duração média anual do caudal médio diário

O 29º Exercício visou, de forma interactiva, a comparação de séries de caudal médio diário e caudal médio mensal entre duas estações hidrométricas inseridas na mesma bacia hidrográfica. Procedeu-se ao cálculo da correlação entre duas estações hidrométricas. Foram discutidos casos práticos (ver Figura 3.12) tendo por base a análise dos dados em conjunto com os formandos.

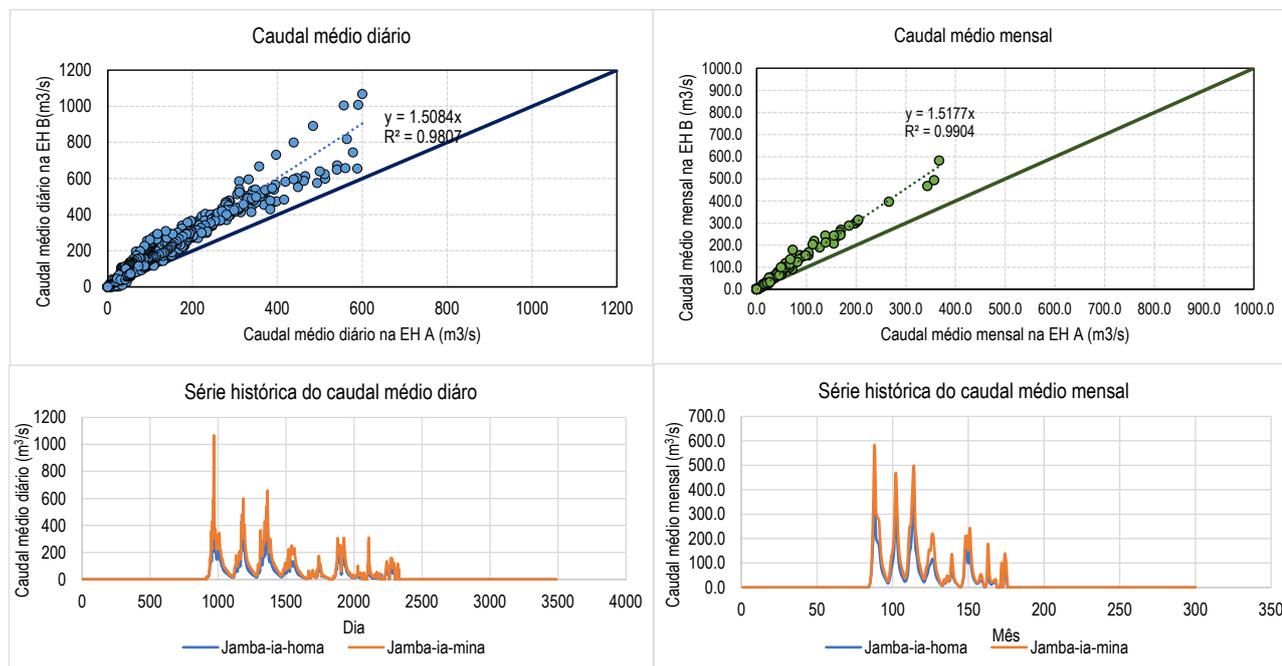


Figura 3.12 – Correlação e comparação das séries históricas de caudal entre duas estações hidrométricas na mesma bacia hidrográfica. Comparação entre utilização de dados médios diários e dados médios mensais

3.1.4.4 Dados de satélite

Em alternativa aos dados da rede udométrica terrestre, que poderão apresentar insuficiências ao nível da densidade de estações e/ou da ausência de dados, inviabilizando por vezes a sua utilização em projectos e estudos, os dados de precipitação podem ser obtidos via sensoriamento remoto.

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. A título de exemplo, no site da EOSDIS (NASA's Earth Observing System Data and Information System) são disponibilizados dados referentes à observação da terra, recolhidos das mais diversas plataformas, entre as quais satélites.

A recolha de dados de precipitação nas últimas duas décadas tem sido efectuada pelo satélite meteorológico *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), o qual esteve operacional de 1997 a 2015 e mais recentemente, desde 2014 até aos dias de hoje, pela rede de satélites da missão *Global Precipitation Measurement* (GPM). Os valores obtidos pelo TRMM e pela GPM são ajustados a dados observados de uma rede terrestre esparsa, portanto não são puramente estimados por satélites, mas ajustados a uma malha.

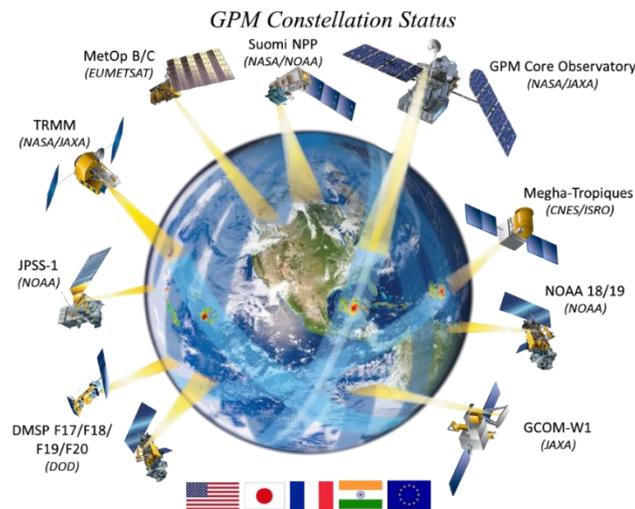


Figura 3.13 - Satélites que compõem a missão GPM

(Fonte: NASA)

O passo temporal a adoptar na comparação dos dados de precipitação da rede terrestre e da rede satélite será função dos dados disponíveis para a região em estudo.

Os dados de satélite permitem contribuir para a identificação da presença de tendências da precipitação numa escala temporal à partida mais extensa do que a rede terrestre, especialmente se a região em estudo corresponder a uma região com rede esparsa e que apresente um elevado número de falhas, assim como fornecer dados representativos da precipitação tal como a média, a mediana, valores máximo e mínimo, desvio padrão, entre outros.

Um exemplo da distribuição da precipitação média anual (mm) obtida a partir de dados satélite e dados terrestres pode ser visualizada na Figura seguinte.

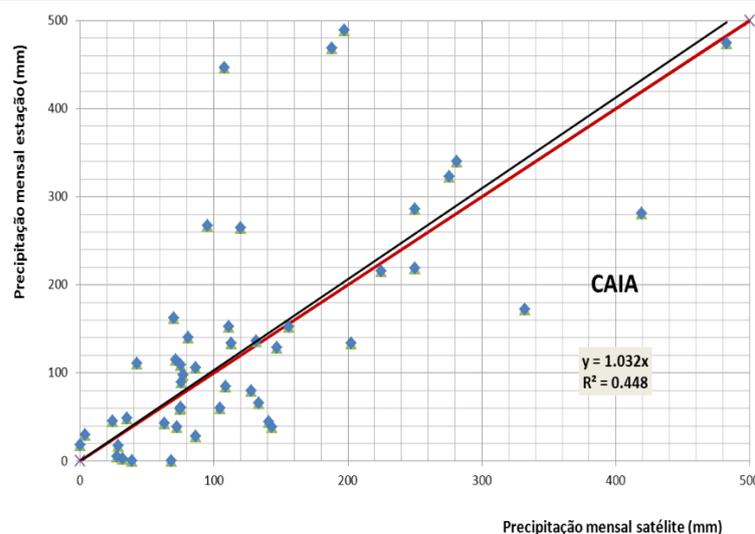


Figura 3.14 - Exemplo. Relação entre precipitação mensal obtida de satélite e a precipitação de uma estação udométrica

A técnica de interpolação linear, pelo inverso do quadrado da distância ou de Krigagem, entre outras técnicas, permitirá criar uma superfície de precipitação para uma determinada região em estudo.

Tal como acontece com a rede udométrica, por vezes a grande maioria das estações climatológicas não está operacional, verificando-se um elevado número de falhas que podem restringir fortemente a sua utilização. Para contornar as deficiências relacionadas com a disponibilidade de dados pode ser adoptada a mesma estratégia seguida para os dados de precipitação. Assim, os dados diários da temperatura máxima e mínima do ar podem ser obtidos a partir da base de dados de produtos de reanálises diárias (ERA Interim) do *European Centre for Medium Range Weather Forecast* (ECMRF), numa resolução de 0,75 graus (≈ 83 km). Reanálise consiste no uso de modelos climáticos que se ajustam aos dados de campo e interpolam os campos de temperatura.

A formação foi realizada de forma interactiva e com recurso a um navegador web (e.g., Google Chrome) de forma a explorar várias bases de dados globais de variáveis climatológicas. Apresentaram-se as seguintes bases de dados globais de variáveis climatológicas:

1. GPCC– Global Precipitation Climatology Centre: <https://kunden.dwd.de/GPCC/Visualizer>
2. Tropical Rainfall Measuring Mission: <https://disc.sci.gsfc.nasa.gov/SSW/>
3. PERSIANN: <https://chrsdata.eng.uci.edu/>
4. Global Precipitation Measurement: <https://gpm.nasa.gov/data/visualizations/precip-apps>
5. Sistema de Reanálise ERA5: <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/toolbox>
6. Aquisição de fotografia aérea: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>

3.1.5 Sub-Módulo 4 – Modelo HEC-HMS

No sub-módulo 4 procedeu-se à estimativa de caudais de cheia e respectivos hidrogramas mediante a aplicação do modelo HEC-HMS numa determinada secção do rio Cambumba, localizado perto da cidade de N'Dalatando. Para tal, foram aplicados vários conceitos introduzidos e desenvolvidos ao longo de todo o Módulo 1 (traçado da bacia hidrográfica, estimativa do tempo de concentração, análise de precipitações intensas, estabelecimento dos hietogramas de precipitação para diversos períodos de retorno, modelos de perdas de precipitação, entre outros).

O trabalho foi realizado com recurso a folhas de cálculo Excel e ao programa HEC-HMS do US Army Corps of Engineers.

Apresenta-se de seguida o conteúdo do Sub-Módulo 4:

- Apresentação e potencialidades do Modelo HEC-HMS:
 - Indicação de links para download do programa e para os manuais (*Users manual* e *Quick Start Guide*);
 - Introdução ao conceito de modelação hidrológica;
 - Exemplos de aplicações do Modelo Hidrológico HEC-HMS;
 - Indicação dos modelos implementados no programa HEC-HMS;
 - Modelos de perdas de precipitação;
 - Modelos de transformação da precipitação útil ou efectiva em escoamento directo em condições de cheia;
 - Definição de Hidrogramas Unitários Sintéticos (UHS);

- Passos para definição da precipitação efectiva de projecto:
 - Estabelecimento das precipitações de projecto;
 - Atribuição de Hietogramas às precipitações de projecto;
 - Cálculo das perdas de precipitação (perdas iniciais e contínuas).
- Aplicação prática – 30º Exercício – Rio Cambumba – T=100 anos
 - Passos de criação de um novo projecto no modelo;
 - Criação das seguintes componentes e preenchimento dos campos respectivos:
 - “Basin Model Manager”
 - “Meteorologic Model Manager”
 - “Control Specifications Manager”
 - “Time series Data Manager”
 - Introdução dos dados necessários para se proceder à simulação, no campo “Simulation Run Manager”;
 - Visualização e explicação dos resultados obtidos.
- Aplicação prática – 31º Exercício - Rio Cambumba – T=100 anos considerando, no futuro, um cenário de impermeabilização de uma parte da bacia hidrográfica:
 - Introdução de 15% de área de impermeabilização da bacia hidrográfica em estudo;
 - Análise de resultados: as perdas totais de precipitação diminuem caudal de ponta e volume de cheia aumentam comparativamente aos resultados obtidos no exercício 30.
- Aplicação prática – 32º Exercício – Rio Cambumba – Vários períodos de retorno (T):
 - Para os períodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 500 e 1000 anos, foram seguidos os mesmos passos aplicados no 30º Exercício para o período de retorno de 100 anos;
 - Análise de resultados;
 - Passagem dos resultados do programa HEC-HMS directamente para o programa EXCEL.

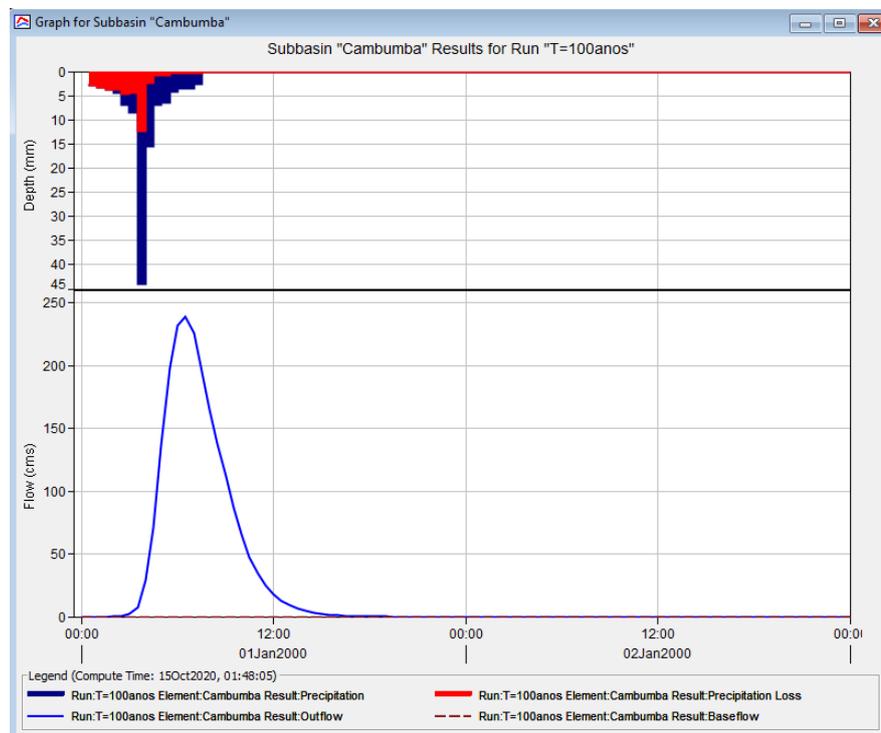


Figura 3.15 - Hidrograma de cheia para T= 100 anos (*output* directo do HEC-HMS)

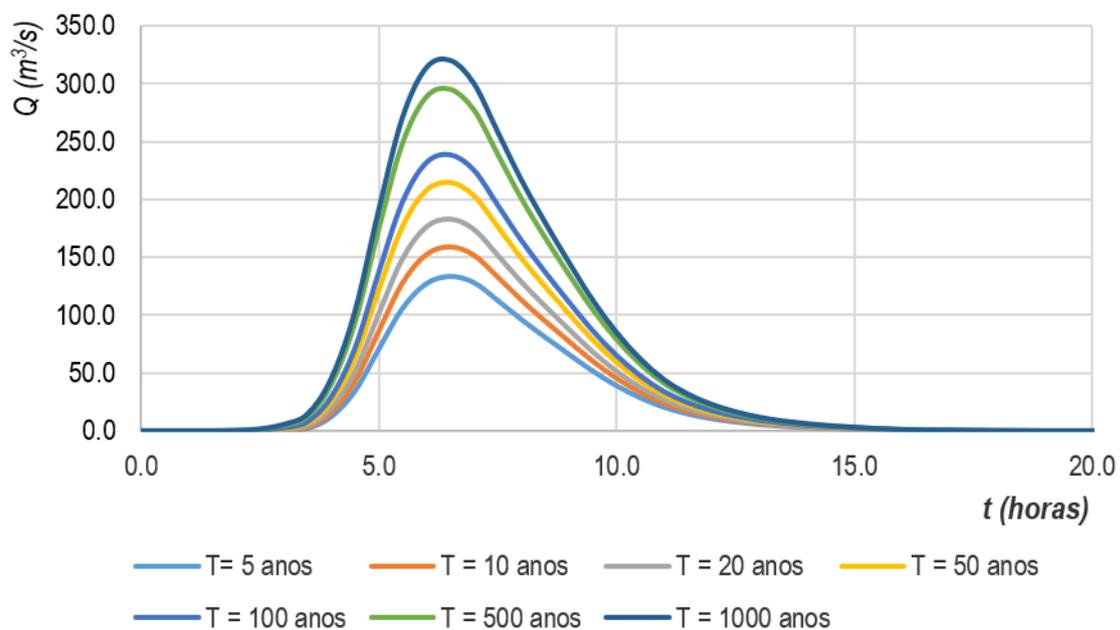


Figura 3.16 - Hidrogramas de cheias para T= 100, 200, 500, 1000, 2000 e 5000 anos

3.2 MÓDULO 2

3.2.1 Programa do Módulo 2

Este módulo de formação visou de forma geral fornecer e consolidar aos formandos os fundamentos da modelação hidrológica e promover a aplicação prática dos conhecimentos teóricos adquiridos pela realização de exercícios em Excel em todas as aulas teóricas e a familiaridade com modelo precipitação-escoamento WRSM200/Pitman com aplicação à bacia hidrográfica do rio Keve para simulação dos escoamentos em regime natural.

No Quadro 3.1 apresenta-se o Programa do Módulo de Formação 2, com indicação do dia de realização de cada aula, durações estimadas para a parte teórica e prática e o formador da aula.

Quadro 3.2 – Programa do Módulo de Formação 2 – Modelação Hidrológica

Programa	Dia/mês	Teóricas	Práticas	Formador
1ª semana:				
Introdução à Modelação Hidrológica. Modelos Estatísticos e Estocásticos Apresentação do Sub-Módulo 2.1. Introdução aos modelos hidrológicos.	9/nov	2,5 h	0,5 h	Cruz Morais
Continuação do estudo de modelos hidrológicos estatísticos	10/nov	2,5 h	0,5 h	
Conclusão do estudo de modelos hidrológicos estatísticos. Introdução aos modelos estocásticos	12/nov	1,5 h	1,5 h	
Modelos estocásticos. Caracterização do ruído branco. Geração de números aleatórios. Geração de séries temporais com componente	13/nov	1,5 h	1,5 h	
2ª semana:				
Resolução de um problema: Extensão de uma série de escoamentos mensais Revisão final da matéria dada no Módulo 2, Sub-módulo 2.1	16/nov	0,5 h	2,5 h	Cruz Morais
Modelos hidrológicos precipitação-escoamento. Modelos de propagação de caudais Apresentação do Sub-Módulo 2.2. Breve revisão dos modelos hidrológicos precipitação-escoamento	17/nov	3 h	0 h	Maria João Calejo
Conclusão da aula anterior: - Modelo Sacramento e modelo HBV - Séries de precipitação Modelo Pitman: Princípios do modelo. Instalação do programa e primeiro contacto com a interface gráfica	18/nov	2,5	0,5	
Modelo Pitman: Entrada de dados e Tutorial do programa. Esquematização da bacia Exercício 1: Esquematizar uma bacia hidrográfica	19/nov	1,5 h	1,5 h	
Modelo Pitman: Entrada de dados e Tutorial do programa. Ficheiros de precipitação Exercício 2: Criar os ficheiros de precipitação	20/nov	1,0 h	2,0 h	

Programa	Dia/mês	Teóricas	Práticas	Formador
3ª semana:				
Modelo Pitman: Entrada de dados e Tutorial do programa. Conclusão do Exercício 2: Ficheiros de precipitação Exercício 3: Criar os ficheiros de escoamento	23/nov	1,0 h	2,0 h	Maria João Calejo
Modelo Pitman: Entrada de dados e Tutorial do programa. Módulo escoamento. Variáveis e parâmetros Exercício 4: Criar o ficheiro de rede Exercício 5: Criar os módulos escoamento	24/nov	1,5 h	1,5 h	
Modelo Pitman: Entrada de dados e Tutorial do programa. Conclusão do exercício 5 Módulo Canal, Caminhos e Estações Hidrométricas Exercício 6: Criar os módulos canal, caminhos e estações hidrométricas	25/nov	1,0 h	2,0 h	
Modelo Pitman: Entrada de dados e Tutorial do programa. Conclusão do Exercício 6: Criar os módulos canal, caminhos e estações hidrométricas Gráficos e ficheiros de resultados	26/nov	1,0 h	2,0 h	
Ficheiros de resultados Modelo Pitman: Calibração Exercício 7: Análise de sensibilidade aos parâmetros	27/nov	1,5 h	1,5 h	
4ª semana:				
Modelo Pitman: Calibração Análise de sensibilidade aos parâmetros (continuação do exercício 7)	30/nov	2,5 h	0,5 h	Maria João Calejo
Conclusão da calibração do modelo Modelo Pitman: Módulo Albufeira Correção do ficheiro de caudais observados – KEVQ07.OBS	2/dez	1,5 h	1,5 h	
Modelo Pitman: Módulos Albufeira Irrigação. Conclusão do exercício 8 (módulo albufeira) Exercício 9 (módulo irrigação)	3 dez	0,5 h	2,5 h	
Apresentação do Sub-Módulo 2.3: Caracterização, Dimensionamento e Gestão Integrada de Albufeiras Importância das albufeiras e tipos de utilizações Exemplos e panorama geral	4/dez	2,5 h	0,5 h	Júlio Arsénio
5ª semana:				
Elementos de caracterização das albufeiras. Curvas de áreas inundadas e de volumes armazenados	7/dez	3,0 h	-	Júlio Arsénio
Fenómenos hidrometeorológicos Equação de balanço hídrico na albufeira Métodos de dimensionamento de albufeiras	9/dez	0,5 h	2,5 h	
Regras de operação de albufeiras Modelos de simulação da exploração de albufeiras	10/dez	1,5 h	1,5 h	

Programa	Dia/mês	Teóricas	Práticas	Formador
Indicadores de performance Modelo de simulação em situação normal de exploração – Cálculo do NPA e do volume útil Envio do Teste de Avaliação do Módulo 2 + Ficha de Avaliação dos participantes do Módulo 2	11/dez	1,5 h	1,5 h	
6ª semana				
12 Dezembro: envio do Teste e da Ficha de Avaliação do Módulo 2 aos os formandos. 12 a 18 de Novembro: período para os formandos realizarem o Teste.				
Considerações finais sobre o modelo de simulação em situação normal de exploração mensal Modelo de simulação em situação de cheia – Cálculo do NMC e do volume de encaixe de cheias	14/dez	-	3,0 h	Júlio Arsénio
Considerações sobre a introdução da componente hidroeléctrica nos modelos de simulação Gestão integrada de cheias e secas e breve introdução aos modelos de previsão e alerta de risco de inundações	15/dez	3,0 h	-	
No dia 18 de Dezembro realizou-se a última aula com as seguintes actividades:				
Correção do teste. Esclarecimento de dúvidas. Partilha de experiências relativas ao Módulo 2.	18/dez	-	3,0 h	Cruz Morais Maria João Calejo Júlio Arsénio

Duração total do Módulo de Formação 2: 25 dias úteis

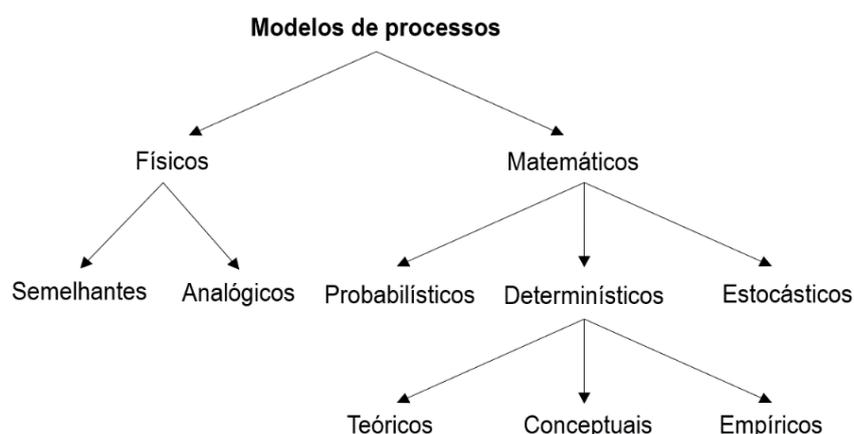
3.2.2 Sub-Módulo 1 – Introdução à modelação hidrológica. Modelos estatísticos. Modelos estocásticos

Este sub-módulo pretendeu introduzir o conceito de modelos hidrológicos de génese matemática e estatística e promover a aplicação prática de tais modelos a situações concretas, baseadas tanto quanto possível na realidade Angolana.

Ao longo das diferentes aulas abordaram-se modelos estatísticos e determinísticos (obtidos por análise de regressão) e também, ainda que de forma sumária, os modelos estocásticos e as séries temporais.

3.2.2.1 Definições (1ª aula)

Iniciou-se o sub-módulo com a definição e comparação de diferentes tipos de modelos físicos e matemáticos.



3.2.2.2 Modelos estatísticos (1ª aula)

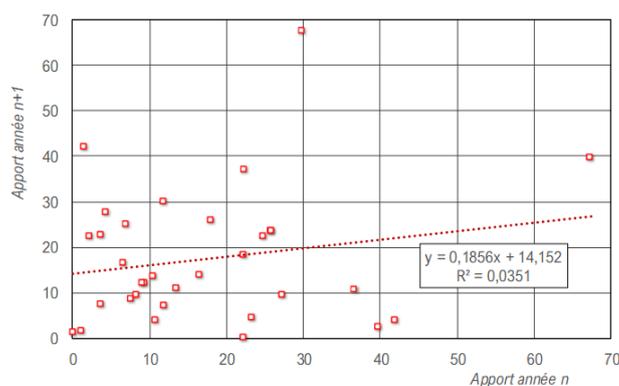
Prosseguiu-se com o detalhamento e exemplificação da implementação de modelos estatísticos. O ajustamento de um modelo estatístico a uma série de escoamentos anuais inclui:

- A verificação da aleatoriedade da série
- A verificação da sua estacionaridade
- O ajuste da série a uma distribuição
- A geração de valores aleatórios com a distribuição escolhida.
- A geração de valores mensais para cada um dos valores anuais.

Utilizando o exemplo de uma série de aflúências anuais no rio Raghai, na Tunísia, foram analisados na aula todos estes passos.

Aleatoriedade dos escoamentos anuais

Verificou-se para começar se os escoamentos anuais são independentes entre si ou se apresentam alguma correlação. Neste caso, com se indica na figura seguinte, verifica-se uma nula correlação entre anos consecutivos ($r^2=0,03$), o que indica que os anos são independentes entre si. Isto verifica-se sempre que os escoamentos no final da estiagem são quase nulos. Deste modo, será válido substituir os valores observados por uma série de valores aleatórios com uma distribuição adequada.



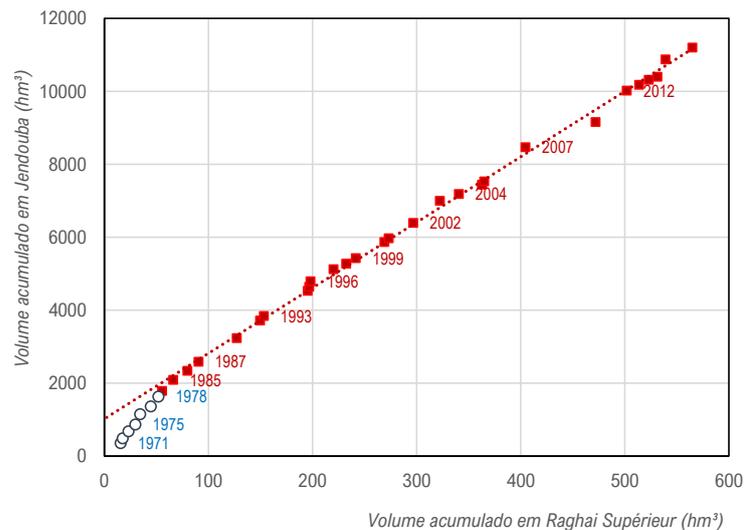
Autocorrelação entre os escoamentos no ano $n+1$ e no ano n

Estacionaridade

A série de escoamento anuais foi comparada por dupla acumulação com o escoamento num rio vizinho. A linha resultante pode ter variações locais, uma vez que a correlação nunca é perfeita, mas num caso estacionário, a pendente global deve ser aproximadamente constante. A figura seguinte mostra a comparação referida. Como se pode ver, a pendente da curva dos escoamentos anuais duplo-acumulados não é constante, sendo bastante mais inclinada até 1978/79 e apresentando outra pendente mais ou menos constante a partir de 1980.

Este facto pode ter-se devido à mudança de local da estação hidrométrica (há vários indícios nesse sentido).

Daqui resultou a decisão apenas considerar os registos disponíveis obtidos depois de 1980.

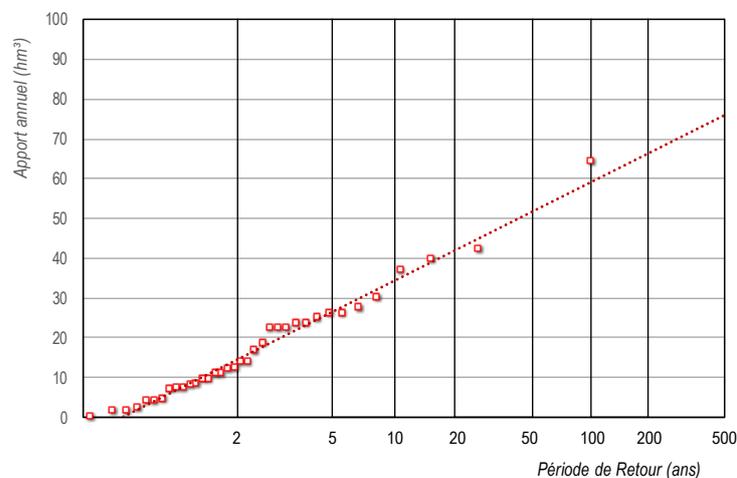


Curva duplo acumulada dos escoamentos anuais entre as estações de Raghai e de Jendouba

Este facto pode ter-se devido à mudança de local da estação hidrométrica (há vários indícios nesse sentido). Da análise realizada resultou a decisão de apenas considerar os registos disponíveis obtidos depois de 1980.

Ajuste da série a uma distribuição

Com o auxílio de um programa de Excel, experimentou-se o ajuste da série às distribuições normal, log-normal e de Gumbel. O ajuste à distribuição log-normal, que se indica na figura seguinte, provou ser o melhor.



Ajuste dos escoamentos anuais em Raghai à distribuição log-normal

Geração de série aleatória

Calculou-se a média e o desvio padrão da série original

- $m = 18,36 \text{ hm}^3$
- $\sigma = 15,28 \text{ hm}^3$

Foram gerados 1000 números aleatórios com distribuição rectangular entre 0 e 1 (0 e 100%), utilizando a função Excel RAND(). Estes valores aleatórios foram utilizados para gerar a equivalente distribuição log-normal utilizando a função Excel:

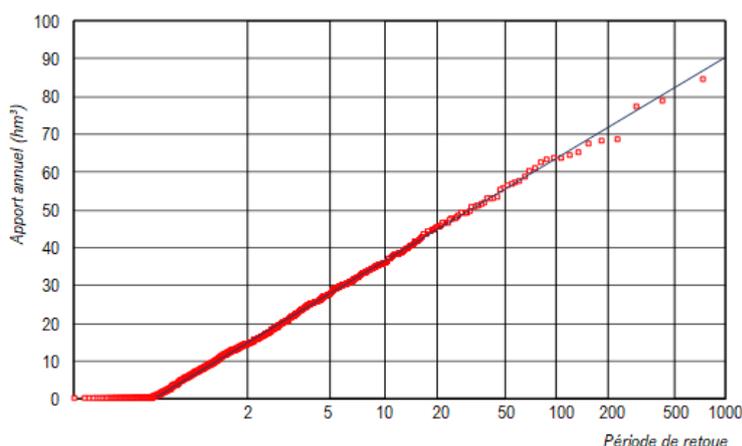
$$\text{LOGNORM.INV}(x, \text{LN}(m), \text{LN}(\sigma))$$

ou seja, neste caso

$$\text{LOGNORM.INV}(x, 2,50, 1,05)$$

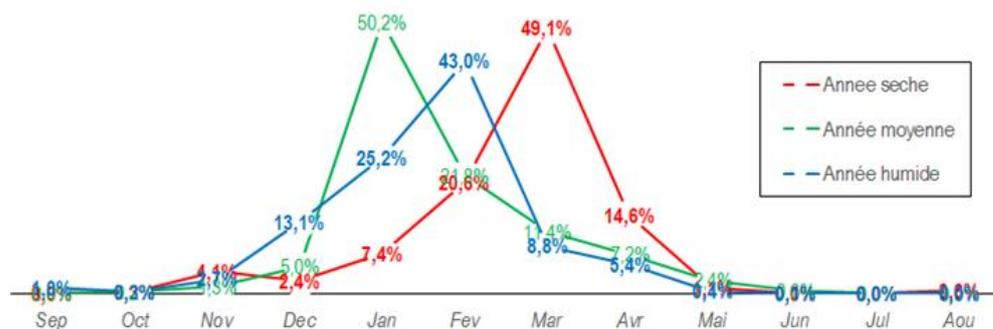
em que x é a variável aleatória retangular que varia entre 0 e 1.

Os resultados obtidos indicam-se, e papel log-normal na figura seguinte:



Distribuição dos escoamentos anuais pelos meses

A partir da série original calculou-se a percentagem do escoamento anual que se escoava em média em cada mês em anos secos (os 25% dos anos mais secos, os 50% dos anos intermédios e os 25% dos anos mais húmidos). Os valores obtidos para cada mês foram aplicados a cada ano, de forma a obter uma série completa de escoamentos mensais (12 000 meses).



3.2.2.3 Modelos de regressão – passo anual (2ª aula)

Os modelos de regressão são modelos matemáticos determinísticos que associam duas ou mais variáveis entre si. Os modelos de regressão deverão associar uma variável dependente (por exemplo o escoamento numa dada secção de um rio) a variáveis independentes que poderão estar ligadas por uma relação de causa efeito (por exemplo, precipitações na bacia). Esta relação é geralmente adequada, embora não seja estritamente necessária (podem por exemplo criar-se modelos de regressão com escoamentos entre rios vizinhos, em que a relação causa-efeito é indirecta).

No caso de variáveis com passo anual, não existe normalmente auto correlação entre os valores anuais (sistema sem memória). Isso só acontecerá para valores mensais, que se analisarão no capítulo seguinte.

Normalmente, o estabelecimento de um modelo de regressão de passo anual segue os seguintes passos:

- Selecção das séries a correlacionar com a série dependente

- Completagem de valores das séries
- Cálculo do modelo
- Análise das variáveis a reter
- Recálculo do modelo
- Aplicação do modelo

Seleção das séries a correlacionar com a série dependente

Normalmente, ao elaborarmos um modelo, estamos a prolongar séries curtas, apoiando-nos em séries com maiores períodos de observação.

Portanto, as séries independentes a seleccionar para estender a série dependente devem estar bem representadas no período e com registos da variável dependente e igualmente na época para a qual se pretende estender a série.

Por exemplo, para a estação hidrométrica de Vila Folgares, no rio Cunene, dispõe-se de registos no período de 12 anos de 1963/6a a 74/75.

Pluviometria anual em postos udométricos na bacia do Cunene

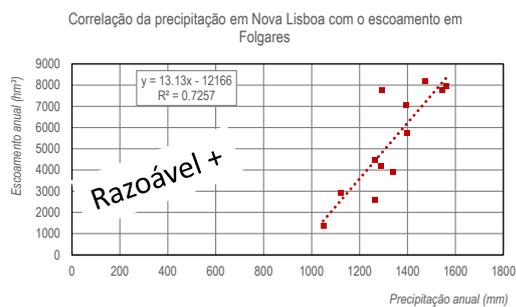
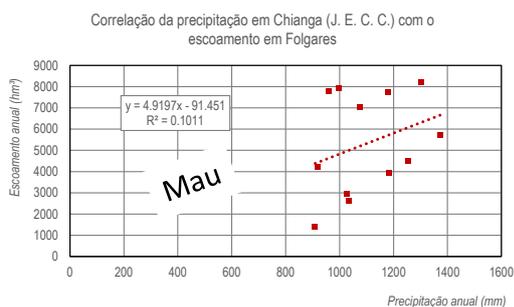
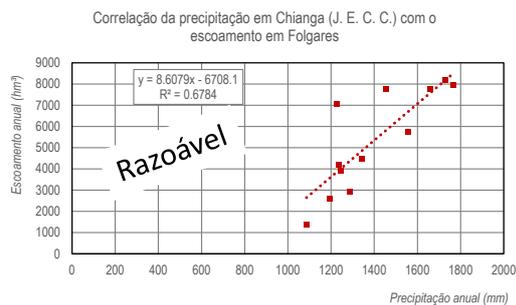
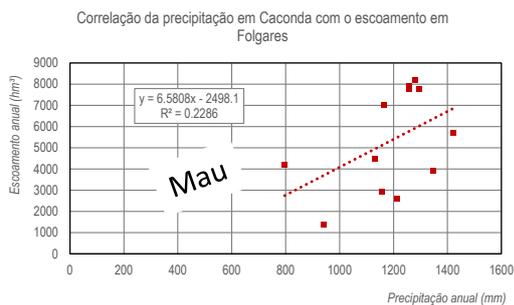
	25	28	49	66	67	68	69	75	77	87	88	90	92	96	111	120	122	123	124	126	145	151	157	160	170	180	183	184	185	187	200	201	205	208			
	Caçanda	Calhama	Cassinga	Chiange (L. E. C. C.)	Chiange	Chibemba	Chibia	Chitlodo	Chitlodo (Misão Católica)	Cuá	Cuíma	Cupacapa	Covellai-Matala	Dongo	Foz do Cunene	Hogue	Halla (Misão Católica)	Humpata (Estação Agrícola)	Humpata (Estação Zootécnica)	Jamba (Cassinga Norte)	Mulondo	Namuculungo	Nova Lisboa	Oncuboa	Quilila (Misão Católica)	Rocadade	Sa da Bandeira	Sacialala (S. F.)	Sambo	Sargarene (Misão Católica)	Uaba Alto	Uaba Baixo	Vila Folgares	Vila Luso			
Latitude	-13.700	-16.283	-15.133	-12.733	-15.733	-15.750	-15.200	-17.317	-16.533	-13.983	-13.300	-13.783	-14.550	-14.600	-17.267	-14.667	-15.083	-14.983	-14.917	-14.683	-15.670	-16.783	-12.800	-16.650	-15.400	-16.717	-14.900	-12.780	-13.067	-13.883	-13.783	-13.867	-14.883	-11.783			
Longitude	15.117	14.300	16.067	15.830	13.883	14.083	13.680	13.917	14.867	14.783	15.583	14.967	14.783	15.717	11.800	13.867	13.550	13.433	13.333	16.017	15.250	14.917	15.750	13.417	13.967	15.000	13.567	16.133	15.833	14.883	14.883	15.067	19.917				
Altitude	1650	1160	1275	1700	1280	1300	1515	820	1100	1420	1620	1550	1270	1498	5	1600	1703	2000	2070	1440	1200	1100	1700	980	1340	1100	1760	1660	1710	1620	1550	1520	1274	1357			
1944											1056.0						1198.6																		720.0		
1945				1389.5							1141.0						914.9	971.2																		1160.7	
1946				712.8													772.2	1115.6																		1428.5	
1947				1182.0													1020.9	1117.2																		882.7	
1948				1141.0		419.2					700.0						422.1																			831.3	
1949	1253.0			1137.0		603.5											822.0	987.9																		1261.9	
1950	1472.0			1053.0		1259.3	1475.5				1131.0						1203.6	1288.6																		1237.8	
1951	1839.0			1095.6	1780.0		1126.8	1139.1				1752.9				1171.5		1065.7																		1439.0	
1952	968.0			877.6	1109.0		607.2				791.2	988.0	991.5				743.5	846.1																		950.0	
1953	779.0			844.8	1066.7		607.2				843.8	980.2	813.1				596.8	666.6																		1440.6	
1954	965.6			1220.5	1373.8		608.8	909.9			1098.5	1183.9	1083.9				735.6	673.4	569.3																	1191.9	
1955	961.8	321.2	728.5	1088.5		407.6	295.5			412.5	787.5	811.0	1075.6				703.0	537.2	624.4																	1061.2	
1956	1148.6			1224.0							532.9	946.0	1288.3	1119.5				621.1	866.6	659.6																1340.7	
1957	1255.4			1081.7	1268.4		1003.9	768.0			1032.0	1210.3	856.5	1157.6				1016.8	975.1																	1194.6	
1958	1024.5			1180.9			340.7				486.3	854.3	1002.3	966.5				872.5	646.3	580.7																961.3	
1959	1260.8	452.7	965.3	1349.5	470.9			215.9	415.1	1393.5	1245.7	1426.4					1449.5	826.5	752.0																	1096.6	
1960	1555.8			982.7	1679.0	603.7	671.4	924.3	284.1	544.2	1300.4	1433.9	1566.7				1078.9	913.8	1058.3																	1256.2	
1961	1760.4				2870.1	658.5		1087.2		515.6	1516.9	1902.0	1985.3				1211.8	1190.5	1037.9	963.9																1544.3	
1962	1257.4			1763.8	527.0		658.3	363.7		995.5	1120.2	1425.6					922.4	972.5	825.3	1034.1																1361.0	
1963	1347.3			1243.8	1004.6	844.7		475.8		1184.6	1243.1	1371.3					1196.6	39.7	883.1	1281.8	1022.5	1127.4														1382.6	
1964	1296.6			1452.3		629.2					446.7		1069.0				8.2	1133.4	939.2																	1181.1	
1965	1423.7	601.0		1555.7	761.2	874.4	1164.6	447.1	807.7	1372.5	1736.9	1363.9					1036.5		988.9																	1315.0	
1966	1158.5			1286.4	503.7		682.5			407.1	1027.5	905.7						794.9	596.7																	1078.3	
1967	1259.0	895.4		1657.5	610.9	942.4	1013.1			943.7	1180.0							1023.9	1146.1	1241.8	1593.5															1495.1	
1968	1164.3	683.9		1227.2	832.4	949.5	823.4				1076.5		988.7					1154.8	1001.0	771.5	929.9	840.1														1345.7	
1969		556.2		1729.5	654.5	821.5	919.4				1303.0							1106.1	1023.8																	1743.6	
1970				1345.2			943.1																														1113.9
1971	941.9			1086.4	161.5	662.8					909.2		850.6					1295.3	922.6	802.3	791.0	817.7	809.5												1095.3		
1972	796.6	270.1		1234.4	295.0	682.0	642.6				920.3							1026.9	735.8	862.4	751.9	752.8													1047.7		
1973	1214.6	362.2		1195.9	670.7	747.3	632.6				560.0	1036.1						1010.4	838.1																	873.0	
1974	941.2			1430.9	550.1	577.8				425.0	1108.0							990.7																		1400.7	

Só os postos indicados no quadro seguinte estão próximos da bacia de V^a Folgares e dispõem de registos relativamente longos durante o período de observação de Vila Folgares e antes desse período.

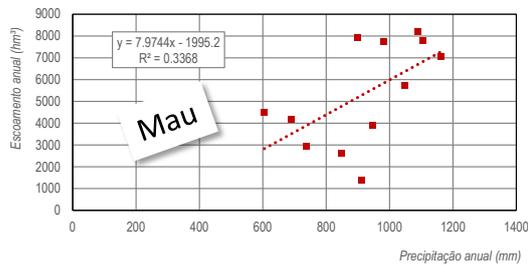
Pluviometria anual em postos udométricos na bacia do Cunene próximos de Vila Folgares

	25	66	87	157	183	184	201	Escoamento s Folgares
	Caconda	Chianga (J. E. C. C.)	Cué	Nova Lisboa	Sá da Bandeira	Sacáala (S. F.)	Uaba Baixo	
Latitude	-13.7	-12.733	-13.983	-12.8	-14.9	-12.78	-13.867	
Longitude	15.117	15.83	14.783	15.75	13.567	15.76	14.883	
Altitude	1650	1700	1420	1700	1760	1660	1520	
1944	-	-	-	-	1479.2	-	-	
1945	-	1389.5	-	-	1160.7	-	-	
1946	-	712.6	-	-	870.0	-	-	
1947	-	1182.0	-	-	956.2	-	-	
1948	-	1141.0	-	-	594.6	-	-	
1949	1253.0	1137.0	-	-	704.9	-	-	
1950	1472.0	1053.0	-	1725.7	1008.5	-	-	
1951	1839.0	1780.0	-	2350.2	1171.1	-	-	
1952	968.0	1109.0	791.2	1133.7	-	-	1068.3	
1953	779.0	1066.7	843.8	1148.1	494.9	877.8	1009.0	
1954	965.6	1373.8	1098.5	1465.1	961.4	917.3	955.7	
1955	961.8	1085.5	787.5	961.6	533.5	-	920.9	
1956	1148.6	1224.0	946.0	1338.2	736.7	903.8	1069.9	
1957	1255.4	1268.4	1210.3	1244.0	1226.1	1084.6	1099.7	
1958	1024.5	1180.9	854.3	1039.2	708.3	864.5	847.8	
1959	1260.8	1349.5	1393.5	1279.6	962.4	1229.3	1316.5	
1960	1555.8	1679.0	1300.4	1444.4	1000.6	1354.5	1373.8	
1961	1760.4	2870.1	1516.9	1968.7	1167.3	1851.4	1568.1	
1962	1257.4	1765.6	995.5	1563.4	898.0	-	1142.2	7932.41
1963	1347.3	1243.8	1184.6	1338.9	947.0	1196.0	1112.9	3914.22
1964	1296.6	1452.3	-	1293.5	1103.9	-	935.8	7773.3
1965	1423.7	1555.7	1372.5	1398.6	1047.9	1402.5	1435.1	5725.46
1966	1158.5	1286.4	1027.5	1122.7	737.7	1160.9	995.8	2934.85
1967	1259.0	1657.5	1180.0	1544.0	981.9	1611.1	1328.3	7748.01
1968	1164.3	1227.2	1076.5	1392.6	1161.1	1364.6	1119.3	7039.81
1969	-	1729.5	1303.0	1472.7	1088.2	1685.8	1660.3	8198.77
1970	-	1345.2	-	1262.7	604.9	1483.8	1393.6	4487.01
1971	941.9	1086.4	909.2	1048.6	910.1	1153.8	881.3	1385.65
1972	796.6	1234.4	920.3	1289.4	691.4	1301.7	548.9	4192.23
1973	1214.6	1195.9	1036.1	1262.5	848.7	1285.6	1241.3	2610.94
1974	-	-	-	-	1479.2	-	-	
Média	1221.9	1358.0	1087.4	1378.7	902.8	1262.7	1137.5	5328.6
Desv.Pad	271.2	381.6	214.0	305.4	209.2	281.9	259.4	2385.5
Cv	0.222	0.281	0.197	0.222	0.232	0.223	0.228	0.448

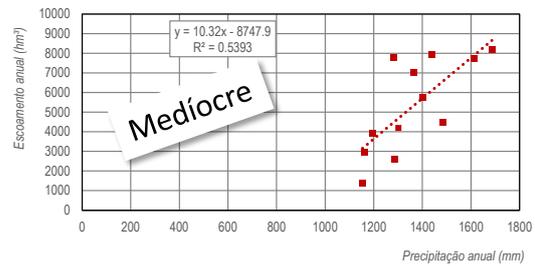
Calculou-se para cada um destes postos, a correlação entre os valores da precipitação anual e do escoamento correspondente em Vila Folgares, como se indica na figura seguinte:



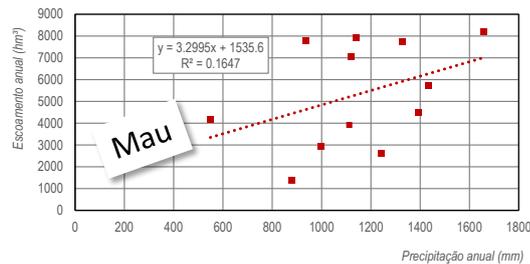
Correlação da precipitação em Sá da Bandeira com o escoamento em Folgares



Correlação da precipitação em Sacáala (S. F.) com o escoamento em Folgares



Correlação da precipitação em Uaba Baixo com o escoamento em Folgares



Correlações entre o escoamento anual em Vª Folgares e a precipitação anual em diferentes postos.

Como se pode observar, as correlações precipitação escoamento só são significativas para os postos de Chianga, de Nova Lisboa e, eventualmente, da Sacaála. São estes os postos seleccionados para a fase seguinte da análise.

Completagem dos valores das séries

As séries seleccionadas foram completadas utilizando as metodologias estudada no módulo 1. Tendo-se obtido os resultados indicados no quadro seguinte:

Pluviometria anual completada em postos udométricos com boa correlação com Vila Folgares

	Precipitação anual (mm)			Escoamentos Folgares
	66 Chianga (J. E. C. C.)	157 Nova Lisboa	184 Sacáala (S. F.)	
1945	1389.5	1482.5	1249.0	
1946	712.6	1176.7	903.0	
1947	1182.0	1338.4	1143.0	
1948	1141.0	1169.8	1122.0	
1949	1137.0	1216.9	1120.0	
1950	1053.0	1725.7	1077.0	
1951	1780.0	2350.2	1449.0	
1952	1109.0	1133.7	1106.0	
1953	1066.7	1148.1	877.8	
1954	1373.8	1465.1	917.3	
1955	1085.5	961.6	1094.0	
1956	1224.0	1338.2	903.8	
1957	1268.4	1244.0	1084.6	
1958	1180.9	1039.2	864.5	
1959	1349.5	1279.6	1229.3	
1960	1679.0	1444.4	1354.5	
1961	2870.1	1968.7	1851.4	
1962	1765.6	1563.4	1441.0	7932.41
1963	1243.8	1338.9	1196.0	3914.22
1964	1452.3	1293.5	1281.0	7773.3
1965	1555.7	1398.6	1402.5	5725.46
1966	1286.4	1122.7	1160.9	2934.85
1967	1657.5	1544.0	1611.1	7748.01
1968	1227.2	1392.6	1364.6	7039.81
1969	1729.5	1472.7	1685.8	8198.77
1970	1345.2	1262.7	1483.8	4487.01
1971	1086.4	1048.6	1153.8	1385.65
1972	1234.4	1289.4	1301.7	4192.23
1973	1195.9	1262.5	1285.6	2610.94
1974	1430.9	1279.8	1314.0	

Criação do modelo de regressão

Analizou-se em Excel (*Dados/Análise de Dados/Regressão*) o modelo de correlação múltipla com os três postos (Chianga, Nova Lisboa e Sacaála). Obtiveram-se para o modelo os resultados indicados na saída abaixo:

SUMÁRIO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0.879442705
Quadrado de R	0.773419471
Quadrado de R ajustado	0.688451772
Erro-padrão	1331.497215
Observações	12

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significância</i>
Regressão	3	48413114.94	16137705	9.102512	0.005868
Residual	8	14183078.67	1772885		
Total	11	62596193.61			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor P</i>	<i>95% inferior</i>	<i>95% superior</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interceptar	-11589.87069	3773.479584	-3.0714	0.015315	-20291.5	-2888.21	-20291.5	-2888.21
Variável X 1	3.63806857	3.414110001	1.065598	0.317706	-4.23488	11.51102	-4.23488	11.51102
Variável X 2	7.926986266	4.87692196	1.625408	0.142729	-3.31922	19.17319	-3.31922	19.17319
Variável X 3	0.930200874	4.066589697	0.228742	0.824808	-8.44737	10.30777	-8.44737	10.30777

A expressão para cálculo do escoamento em Folgares baseada neste modelo é dada por (coeficientes a vermelho):

$$EFolgares = 3,63 PChianga + 7,92 PN.Lisboa + 0,93 PSacaála - 11589$$

Se analisarmos o erro padrão de cada coeficiente (coluna azul) verificamos que o erro padrão da variável 3 (Sacaála) é muito maior que o valor do próprio coeficiente. Isto indica que será preferível deixar este posto de fora da análise do modelo.

Analisou-se de novo o modelo de correlação múltipla com apenas dois postos (Chianga e Nova Lisboa). Obtiveram-se para o modelo os resultados indicados na saída abaixo:

SUMÁRIO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0.878599766
Quadrado de R	0.771937549
Quadrado de R ajustado	0.721257004
Erro-padrão	1259.446146
Observações	12

ANOVA					
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significância</i>
Regressão	2	48320352.26	24160176	15.23144	0.001292
Residual	9	14275841.35	1586205		
Total	11	62596193.61			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor P</i>	<i>95% inferior</i>	<i>95% superior</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interceptar	-11293.47772	3352.256446	-3.36892	0.008271	-18876.8	-3710.15	-18876.8	-3710.15
Variável X 1	3.96456943	2.933584731	1.351442	0.209542	-2.67166	10.6008	-2.67166	10.6008
Variável X 2	8.314111303	4.326348326	1.921739	0.086814	-1.47277	18.10099	-1.47277	18.10099

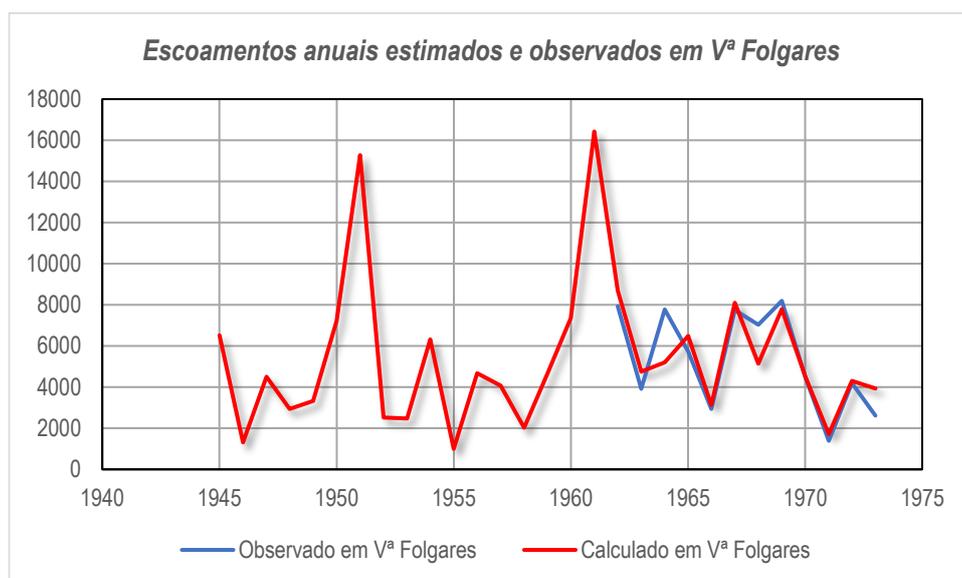
A expressão para cálculo do escoamento em Folgares baseada neste modelo é dada por (coeficientes a vermelho):

$$EFolgares = 3,96 PChianga + 8,31 PN.Lisboa - 11293$$

Se analisarmos agora o erro padrão dos coeficientes (coluna azul) verificamos que o erro padrão de todas as variáveis é bastante inferior ao valor do próprio coeficiente. Isto indica que agora todos os coeficientes são significativos. O coeficiente de regressão ajustado ao número de parâmetros é 0,772, o que é bastante bom.

Prolongamento da série de escoamentos

Podemos agora estender a série para um período total de 29 anos, o que já é agora bastante aceitável. Nos quadros e figura anexos podem observar-se os valores obtidos.



Ano	Valor observado	Valor calculado
1945		6528.8
1946		1307.1
1947		4509.8
1948		2946.4
1949		3321.7
1950		7217.4
1951		15286.0
1952		2519.7
1953		2471.8
1954		6322.2
1955		996.5
1956		4674.5
1957		4067.5
1958		2019.1
1959		4684.5
1960		7358.8
1961		16432.5
1962	7932.4	8690.6
1963	3914.2	4758.7
1964	7773.3	5207.1
1965	5725.5	6489.9
1966	2934.9	3130.8
1967	7748.0	8101.3
1968	7039.8	5139.2
1969	8198.8	7794.0
1970	4487.0	4527.0
1971	1385.7	1723.0
1972	4192.2	4310.1
1973	2610.9	3934.1
M]edia	5328.6	5395.5
Des.padrão	2385.5	3562.9
Cv	0.448	0.660

3.2.2.4 Modelos de regressão – passo mensal (3ª aula)

É frequente que exista “memória” dos escoamentos a nível mensal. Por exemplo, o escoamento no mês i pode ser dado pelo seguinte modelo determinístico:

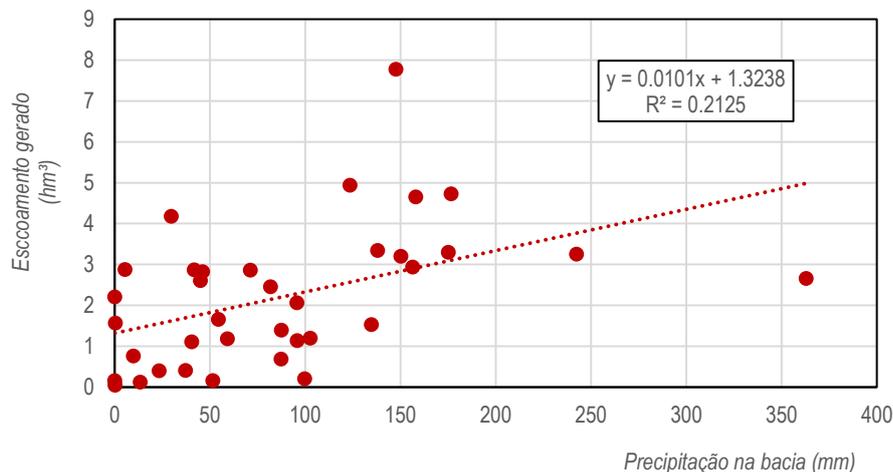
$$E_i = K_a P_i + K_b P_{i-1} + K_c P_{i-2} + \dots + C$$

Em que P_i , P_{i-1} , P_{i-2} são as precipitações em postos de referência ou a precipitação ponderada sobre a bacia, K_a , K_b e K_c são os coeficientes aplicáveis a estes valores e C é uma constante.

Para definição destes parâmetros pode utilizar-se a metodologia descrita anteriormente de correlação múltipla.

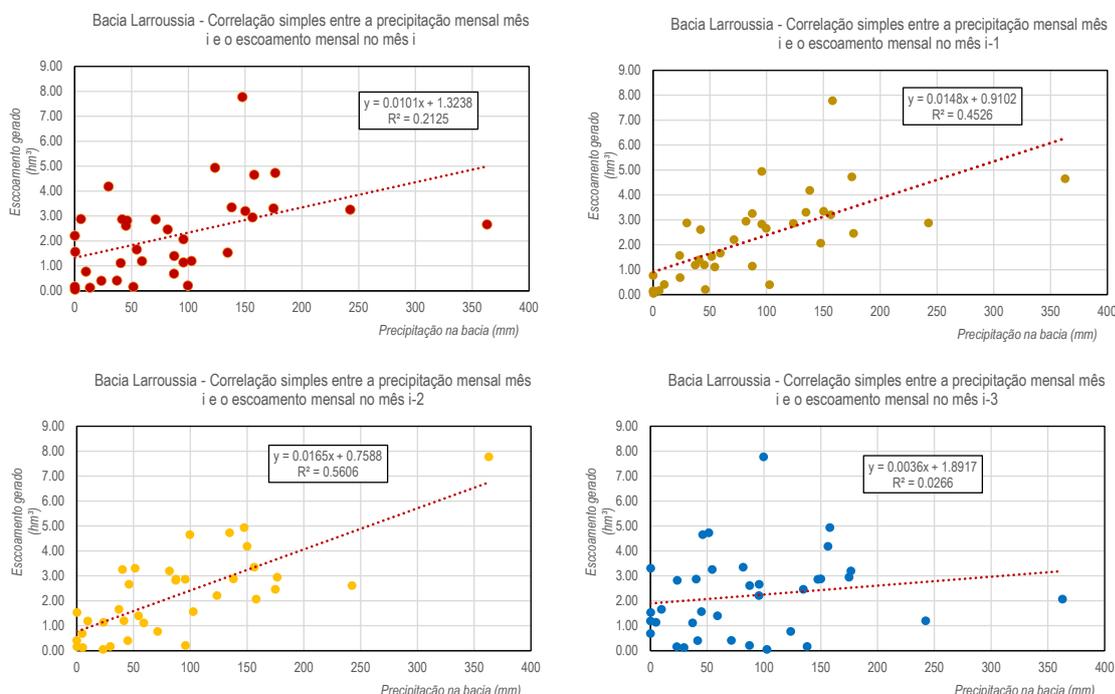
Considere-se como exemplo prático a série de precipitações mensais ponderadas sobre uma bacia e os escoamentos observados no exutório dessa bacia indicados no quadro seguinte (barragem Larroussia na Tunísia). O andamento da curva de escoamentos bem como os valores da média do escoamento são semelhantes nas duas séries.

Bacia Raghai - Correlação simples entre a precipitação mensal e o escoamento mensal



Ano	Mês	Precip (mm)	Escoam (hm³)
2008/2009	Jun	0	0.05
	Jul	5	0.12
	Aou	24	0.42
2009 / 10	Sep	87	0.68
	Oct	96	1.14
	Nov	46	2.82
	Dec	100	0.20
	Jan	363	2.66
	Fev	158	4.65
	Mar	147	7.77
	Avr	96	2.06
	Mai	124	4.94
	Jun	71	2.86
	Jul	0	2.21
	Aou	10	0.76
2010 / 11	Sep	37	0.40
	Oct	59	1.18
	Nov	54	1.66
	Dec	40	1.11
	Jan	87	1.39
	Fev	242	3.25
	Mar	42	2.87
	Avr	45	2.60
	Mai	103	1.19
	Jun	23	0.40
	Jul	0	1.56
	Aou	0	0.05
2011 / 12	Sep	52	0.16
	Oct	135	1.52
	Nov	175	3.30
	Dec	177	4.73
	Jan	82	2.45
	Fev	156	2.94
	Mar	150	3.20
	Avr	138	3.34
	Mai	30	4.18
	Jun	5	2.87
	Jul	0	0.16
	Aou	13	0.12

A análise de correlação do escoamento no mês i com a precipitação ponderada sobre a bacia nos meses i , $i-1$, $i-2$ e $i-3$ encontra-se apresentada na figura seguinte.



Observa-se a melhor correlação se verifica com os meses $i-1$ e $i-2$. Isto dá a entender que a bacia drena lentamente e que só após um ou dois meses a maior parte da água passa no exutório da bacia. Isto deve-se à presença de aquíferos significativos.

Se considerarmos a precipitação num dado mês e nos três meses anteriores, como se indica no abaixo, ter-se-á, em termos de regressão múltipla do escoamento no mês i com a precipitação nos meses i , $i-1$, $i-2$ e $i-3$ os seguintes resultados:

SUMÁRIO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0.895637501
Quadrado de R	0.802166534
Quadrado de R ajustado	0.776639635
Erro-padrão	0.800606184
Observações	36

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significância</i>
Regressão	4	80.56832862	20.14208	31.42436	1.66E-10
Residual	31	19.87007813	0.64097		
Total	35	100.4384067			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor P</i>	<i>95% inferior</i>	<i>95% superior</i>
Interceptar	0.078966536	0.273170403	0.289074	0.774449	-0.47817	0.636101
Variável X 1	0.005962043	0.001917984	3.108495	0.004009	0.00205	0.009874
Variável X 2	0.006946104	0.002095418	3.314902	0.002343	0.002672	0.01122
Variável X 3	0.014282183	0.002096564	6.812184	1.25E-07	0.010006	0.018558
Variável X 4	-0.00291904	0.001921071	-1.51949	0.138775	-0.00684	0.000999

Verifica-se que o coeficiente atribuído no modelo a $Pi-3$ não é significativo (é até negativo, o que não é lógico).

Ano	Mês	Pi (mm)	Pi-1 (mm)	Pi-2 (mm)	Pi-2 (mm)	Escoam i (hm ³)
2009 / 10	Sep	87	24	5	0	0.68
	Oct	96	87	24	5	1.14
	Nov	46	96	87	24	2.82
	Dec	100	46	96	87	0.20
	Jan	363	100	46	96	2.66
	Fev	158	363	100	46	4.65
	Mar	147	158	363	100	7.77
	Avr	96	147	158	363	2.06
	Mai	124	96	147	158	4.94
	Jun	71	124	96	147	2.86
	Jul	0	71	124	96	2.21
	Aou	10	0	71	124	0.76
2010 / 11	Sep	37	10	0	71	0.40
	Oct	59	37	10	0	1.18
	Nov	54	59	37	10	1.66
	Dec	40	54	59	37	1.11
	Jan	87	40	54	59	1.39
	Fev	242	87	40	54	3.25
	Mar	42	242	87	40	2.87
	Avr	45	42	242	87	2.60
	Mai	103	45	42	242	1.19
	Jun	23	103	45	42	0.40
	Jul	0	23	103	45	1.56
	Aou	0	0	23	103	0.05
2011 / 12	Sep	52	0	0	23	0.16
	Oct	135	52	0	0	1.52
	Nov	175	135	52	0	3.30
	Dec	177	175	135	52	4.73
	Jan	82	177	175	135	2.45
	Fev	156	82	177	175	2.94
	Mar	150	156	82	177	3.20
	Avr	138	150	156	82	3.34
	Mai	30	138	150	156	4.18
	Jun	5	30	138	150	2.87
	Jul	0	5	30	138	0.16
	Aou	13	0	5	30	0.12

Repetiu-se então a análise de regressão para os meses i , $i-1$ e $i-2$, cujos resultados se apresentam de seguida.

Os restantes, no entanto, são significativos, o que sugere o seguinte modelo de regressão:

$$E_i = 0,00593 P_i + 0,00718 P_{i-1} + 0,0130 P_{i-2} - 0,084$$

SUMÁRIO DOS RESULTADOS

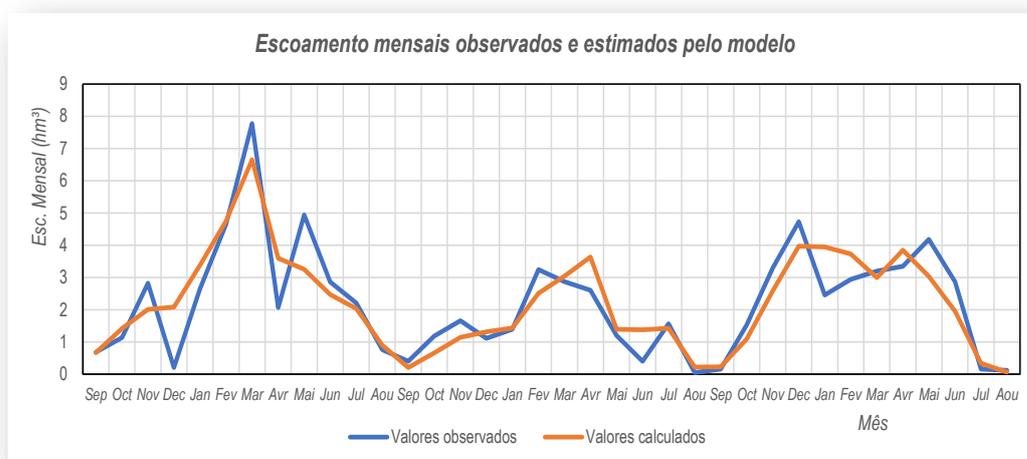
<i>Estadística de regressão</i>	
R múltiplo	0.887374
Quadrado de R	0.787432
Quadrado de R ajustado	0.767504
Erro-padrão	0.816815
Observações	36

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significância</i>
Regressão	3	79.08843	26.36281	39.51339	7.18E-11
Residual	32	21.34997	0.667187		
Total	35	100.4384			

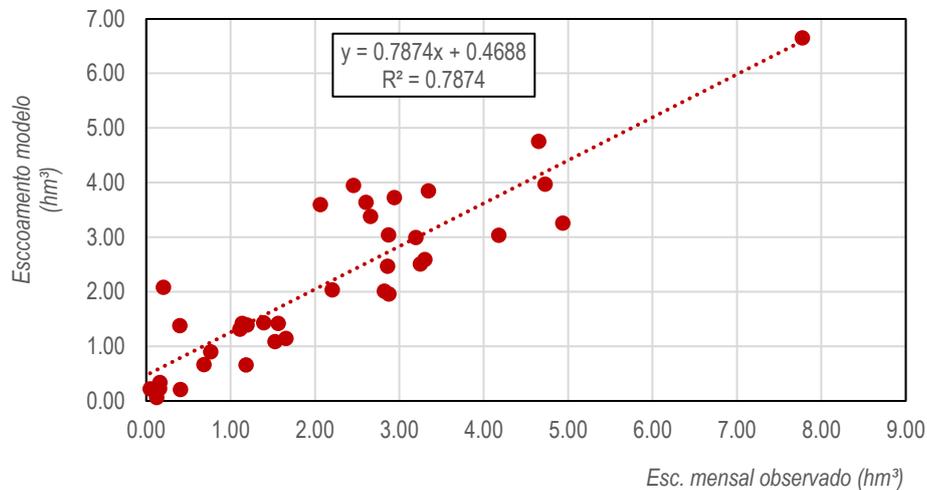
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor P</i>	<i>95% inferior</i>	<i>95% superior</i>
Interceptar	-0.08377	0.256388	-0.32673	0.745999	-0.60601	0.438475
Variável X 1	0.005929	0.001957	3.03015	0.004809	0.001943	0.009915
Variável X 2	0.007183	0.002132	3.369081	0.00198	0.00284	0.011525
Variável X 3	0.01302	0.001964	6.629631	1.78E-07	0.009019	0.01702

Aplicando este modelo ao período analisado ter-se-ão os resultados apresentados de seguida:



A correlação entre os valores observados e calculados melhorou significativamente e é agora igual a 0,79, como se pode ver na figura abaixo.

Bacia Larroussia - Correlação entre os escoamento mensais observados e estimados pelo modelo



3.2.2.5 Modelos estocásticos (3ª e 4ª aulas)

Até agora analisámos modelos determinísticos que associa a observações da precipitação anual em determinados postos a um valor do escoamento numa determinada estação hidrométrica.

Ao modelo de escoamento no Cunene foi posteriormente ajustada uma distribuição estatística que possibilita a sua extensão indefinida – transformando-o num modelo estatístico. O mesmo pode ser realizado igualmente no modelo de Raghai.

No entanto o modelo de base obtido, por regressão múltipla, foi o seguinte;

$$EFolgares = 3,96 PChianga + 8,31 PN.Lisboa - 11293$$

Trata-se de um modelo determinístico uma vez que os mesmos valores da precipitação anual nos postos de referência dão origem aos mesmos valores de escoamento. Ora isto não é verdadeiro na realidade, uma vez que o escoamento depende não apenas dos valores do escoamento anual mas também da sua distribuição ao longo do ano e de outros factores como a temperatura.

Isto implica um erro da estimativa fornecida pelo modelo determinístico em relação aos resultados observados, os quais se pretende reproduzir.

Geralmente, um modelo determinístico resulta mas suave do que a realidade.

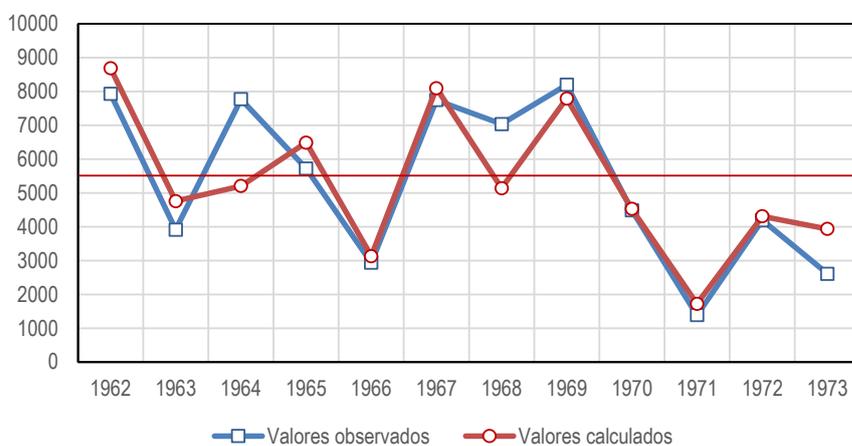
Se verificarmos os doze anos com observações de precipitação e escoamento em Vª Folgares, observamos que embora a série calculada no período com observação tenha uma média idêntica à da série observada, o seu coeficiente de variação é significativamente menor que o da série observada.

	Precipitação anual (mm)			Escoamentos Folgares observado	Escoamento Folgares calculado
	66 Chianga	157 Nova Lisboa	184 Sacáala		
1962	1765.6	1563.4	1441.0	7932.4	8691
1963	1243.8	1338.9	1196.0	3914.2	4759
1964	1452.3	1293.5	1281.0	7773.3	5207
1965	1555.7	1398.6	1402.5	5725.5	6490
1966	1286.4	1122.7	1160.9	2934.9	3131
1967	1657.5	1544.0	1611.1	7748.0	8101
1968	1227.2	1392.6	1364.6	7039.8	5139
1969	1729.5	1472.7	1685.8	8198.8	7794
1970	1345.2	1262.7	1483.8	4487.0	4527
1971	1086.4	1048.6	1153.8	1385.7	1723
1972	1234.4	1289.4	1301.7	4192.2	4310
1973	1195.9	1262.5	1285.6	2610.9	3934

Média	5329	5317
Desv pad	2385	2094
CV	0.45	0.39

Essa diferença verifica-se igualmente no gráfico:

Valores estimados e observados em Vª Folgares



Pode-se resolver o problema do “amaciamento” introduzido pelos modelos determinísticos introduzindo uma componente aleatória de erro:

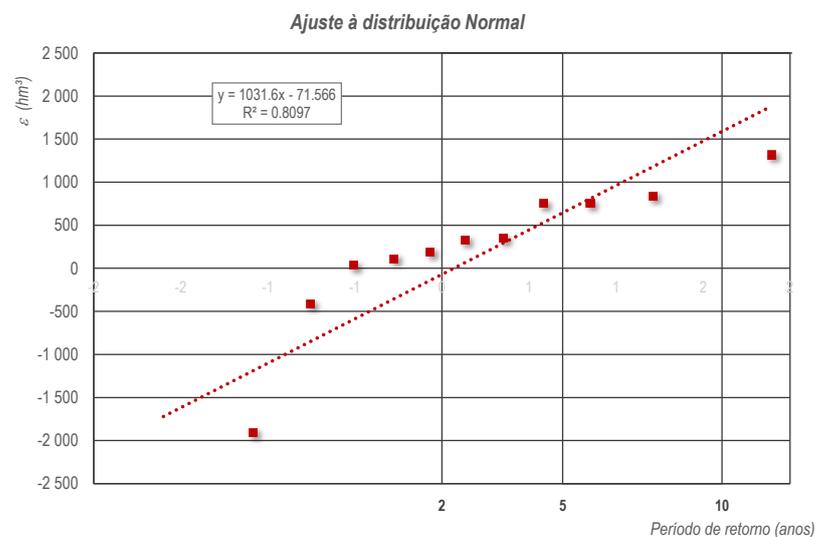
$$E_i \text{ Folgares} = (3,96 P_i \text{ Chianga} + 8,31 P_i \text{ N.Lisboa} - 11293) + \epsilon_i$$

em que ϵ_i representa a diferença entre o valor observado e o estimado. A média desta componente de erro deverá ser zero.

No quadro abaixo apresenta-se a componente de erro calculada para Folgares.

Ano	Erro absoluto
1962	758
1963	844
1964	-2566
1965	764
1966	196
1967	353
1968	-1901
1969	-405
1970	40
1971	337
1972	118
1973	1323
Média	-11
Desv pad	1139
CV	-100.02

Na figura seguinte apresenta-se o ajuste à distribuição normal do erro absoluto;



Verifica-se claramente que o erro relativo se ajusta de forma razoável à distribuição normal.

Poderemos então estender a série considerando uma componente de erro com distribuição normal, com média 0 e desvio padrão 1139.

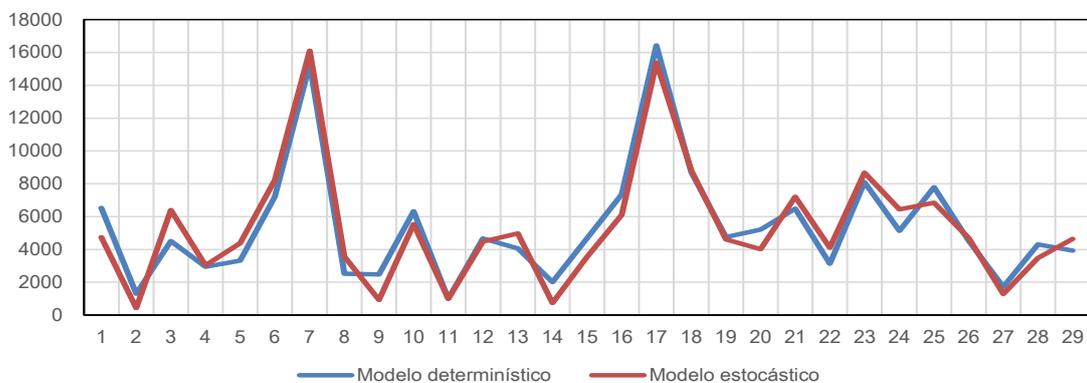
Esta distribuição pode ser obtida com a função:

$$\text{INV.NORMAL}(\text{RAND}();0;1139)$$

No quadro e no gráfico seguintes apresenta-se a nova série estocástica estendida comparada com a série original.

Ano	Escoamento Folgares com modelo determinístico	Escoamento Folgares com modelo estocástico
1945	6529	6684
1946	1307	779
1947	4510	3998
1948	2946	878
1949	3322	2880
1950	7217	6716
1951	15286	15880
1952	2520	3876
1953	2472	2086
1954	6322	6435
1955	996	-107
1956	4674	3782
1957	4068	4893
1958	2019	1229
1959	4684	1252
1960	7359	7442
1961	16432	18990
1962	8691	7192
1963	4759	5407
1964	5207	6779
1965	6490	5892
1966	3131	3714
1967	8101	7935
1968	5139	4756
1969	7794	6476
1970	4527	3152
1971	1723	3822
1972	4310	4736
1973	3934	4685
1974		
Média	5395.5	5249.7
Desv pad	3562.9	4046.2
CV	0.660	0.771

Valores obtidos pelos modelos determinístico e estocástico



Convém realçar que os modelos estocásticos só são de facto aplicáveis quando existem muitos dados relativos a variáveis independentes (precipitações, no caso de Folgares).

Caso tal não aconteça, a análise estatística aplicada ao modelo determinístico é preferível e já inclui ele próprio a variabilidade pretendida.

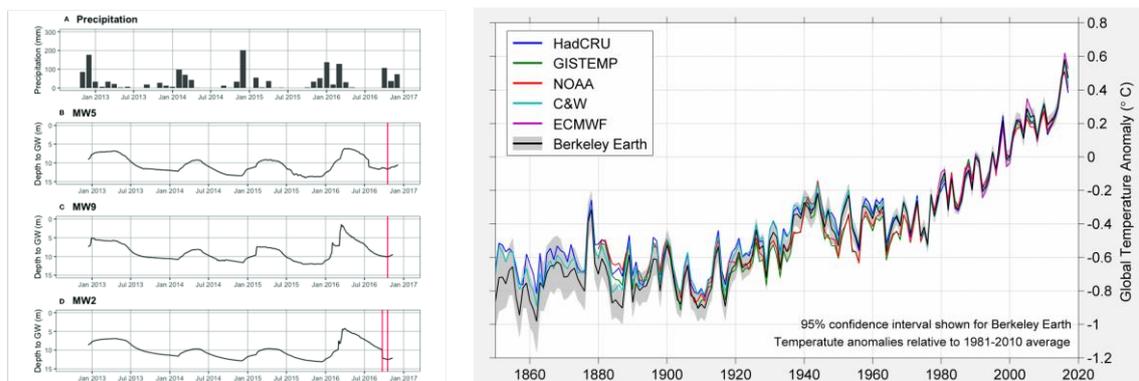
3.2.2.6 Breve abordagem às séries temporais (4ª aula)

Uma série temporal é uma série de pontos de dados indexados (ou listados ou gráficos) ordenados ao longo do tempo.

Normalmente uma série temporal é uma de observação efectuada em pontos sucessivos igualmente espaçados no tempo, ou seja, uma sequência discreta.

A análise de séries temporais pode ser útil para ver como uma determinada variável (económica, hidrológica ou física) muda ao longo do tempo.

Exemplos de séries temporais são as alturas das marés num dado local, o número de manchas solares o valor de fecho diário do índice Dow Jones.



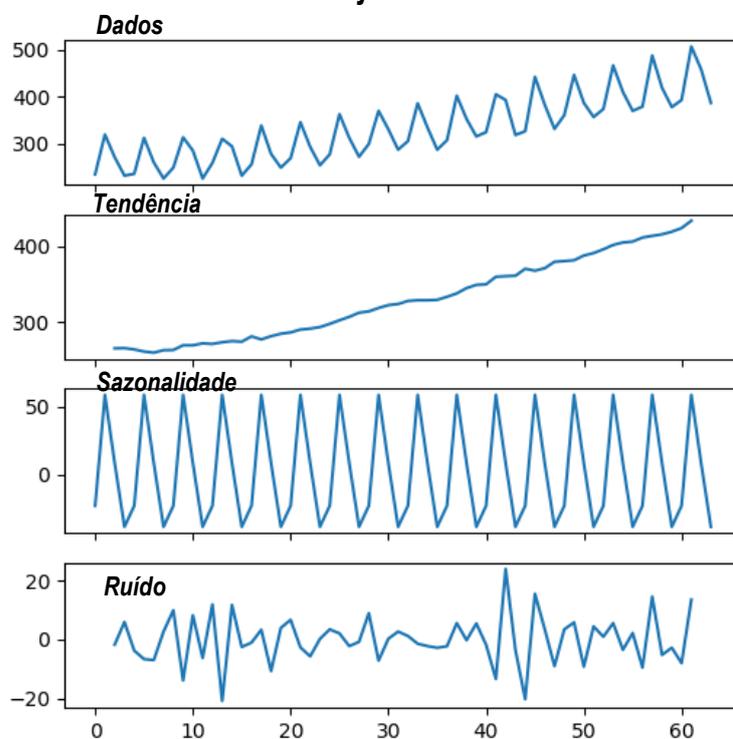
Exemplos de séries temporais: Variação do nível de água num aquífero, Variação da temperatura média da Terra

Uma série temporal contém normalmente as seguintes componentes:

- **Tendência** - componente de longo prazo da série temporal – pode ser determinística ou estocástica
- **Sazonalidade** - componente com padrões regulares da série de tempo – geralmente determinística
- **Ruído** - capta todos os efeitos que não foram incorporados pelos componentes anteriores, ou seja, é o resíduo, sempre estocástico

Pode ainda existir uma componente cíclica, com período longo a médio, que se sobrepõe a estas componentes.

Venda de cerveja na Alemanha



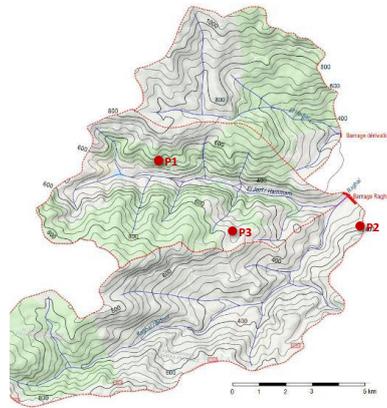
As séries temporais são principalmente utilizadas para localizar a tendência subjacente e possibilitar prever o futuro a médio ou longo prazo.

3.2.2.7 Resolução de problemas (5ª aula)

Exercício nº1 do sub-módulo 2.1 – Estender uma série de escoamentos anuais

Estender a série de escoamentos anuais para o período 1977 a 2015

- 1 - Completar a série de precipitações anuais
- 2 - Verificar as correlações precipitação escoamento
- 3 - Construir o modelo de regressão
- 4 - Estender a série de escoamentos anuais

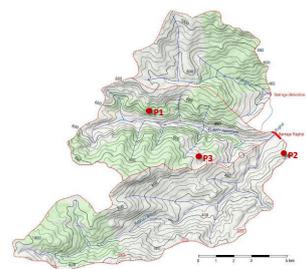


Ano	Precipitação anual (mm)			Escoamento (hm³)
	Posto 1	Posto 2	Posto 3	
1977	1077	708	738	
1978	938	813	556	
1979	1033	831	800	
1980	1099	644	795	
1981	1266	843	982	
1982	920	515	638	
1983	1549	799	1023	
1984	1348	918	1052	
1985	894	512	661	
1986	1618	1046		
1987	676	251	313	
1988	1041	640	708	
1989	595	591	381	
1990	1109	585	771	
1991	1168	1013	894	
1992	671	440	454	
1993	736	666	591	
1994	727	547	751	15.73
1995	1304	892	752	30.03
1996	793	434		6.43
1997	1080	670	656	7.07
1998	981	667	649	22.02
1999	774	614	565	19.09
2000	1137	957	750	22.05
2001	538	380	417	3.86
2002	1871	1274	1355	73.09
2003	984	776	728	27.68
2004	818	648	520	8.22
2005	957	542	553	17.02
2006	1000	627		28.82
2007	900	490		6.55
2008	1330	953		57.79
2009	1297	909		36.61
2010	733	614		1.92
2011	1112	1019	893	29.45
2012	953	489	771	7.79
2013	853	505	702	8.48
2014	1523	800	829	
2015	811	658	529	
2016	801	565	605	
Média	1025	692	720	20.19
DesvPad	292	208	216	16.52
CV	0.285	0.300	0.300	0.819

Exercício nº2 do sub-módulo 2.1 – Estabelecer a série precipitação escoamento a nível mensal

Estender a série de escoamentos mensais para a totalidade do período 1977 a 2015

- 1 - Verificar as correlações precipitação escoamento
- 2 - Construir o modelo de regressão com memória
- 3 - Estender a série de escoamentos mensais



Precipitação mensal ponderada sobre a bacia

Ano	Precipitação mensal ponderada sobre a bacia												Total															
	Sep	Out	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago																
1974/75	7	130	119	138	57	229	150	22	117	2	0	20	991	0														
1975/76	37	2	145	94	71	97	244	49	164	47	42	29	1021	1														
1976/77	72	241	220	75	80	41	74	145	61	24	0	31	1065	2														
1977/78	34	10	151	49	231	279	136	145	18	24	0	2	1077	3														
1978/79	9	119	82	41	121	195	84	208	38	31	2	10	938	4														
1979/80	70	54	278	28	91	88	178	189	72	1	0	5	1033	5														
1980/81	33	97	125	314	210	139	85	46	14	34	0	2	1100	6														
1981/82	6	47	101	142	217	241	250	169	93	0	0	11	1206	7														
1982/83	39	118	66	238	93	26	289	16	41	10	0	5	920	8														
1983/84	73	197	226	157	313	284	191	75	5	13	0	6	1549	9														
1984/85	41	147	60	609	107	63	84	97	51	0	0	0	1349	10														
1985/86	26	21	30	85	275	148	168	84	1	42	12	4	895	11														
1986/87	68	185	202	212	253	205	148	144	86	7	9	0	1619	12														
1987/88	21	34	91	4	183	105	167	31	39	2	0	0	677	13														
1988/89	37	25	48	330	199	36	134	150	15	8	30	31	1042	14														
1989/90	15	71	91	19	118	11	59	75	79	1	0	0	595	15														
1990/91	0	52	222	311	159	83	168	66	38	13	0	0	1110	16														
1991/92	48	115	114	49	56	102	100	370	156	39	15	4	1168	17														
1992/93	1	41	83	208	87	82	82	52	55	2	2	0	672	18														
1993/94	20	11	17	150	220	213	3	91	8	4	0	1	736	19														
1994/95	42	88	29	99	207	1	126	28	1	67	5	36	727	20														
1995/96	188	45	98	105	117	367	120	182	48	23	6	3	1305	21														
1996/97	8	69	66	129	228	83	50	84	11	37	2	31	794	22														
1997/98	73	195	204	214	136	51	116	88	56	38	0	0	1081	23														
1998/99	90	47	165	131	183	124	85	64	19	4	0	0	982	24														
1999/00	23	10	90	170	74	78	20	3	241	14	0	0	775	25														
2000/01	20	111	47	170	227	298	86	97	109	1	8	944	26															
2001/02	64	19	38	105	72	33	77	107	19	0	0	2	539	27														
2002/03	33	82	341	249	812	291	63	161	49	2	0	0	1872	28														
2003/04	42	51	38	293	52	29	89	86	97	109	1	8	944	29														
2004/05	117	42	175	81	75	223	58	2	3	24	2	16	818	30														
2005/06	30	10	36	216	256	172	90	45	48	6	42	957	31															
2006/07	0	60	99	248	51	90	244	102	55	47	3	1	1001	32														
2007/08	19	180	92	141	31	8	230	87	82	24	5	3	901	33														
2008/09	34	69	32	160	262	227	115	256	127	0	5	24	1330	34														
2009/10	87	96	46	190	363	158	147	91	124	71	0	10	1297	35														
2010/11	37	59	54	40	87	242	42	45	103	23	0	0	734	36														
2011/12	52	135	175	177	62	156	138	30	5	13	1152	37	2011/12	158	692	137	337	330	165	277	078	036	221	074	038	183		
2013/14	0	19	267	0	138	101	245	34	31	7	2	8	853	38														
2014/15	10	48	44	282	317	440	195	3	159	2	0	23	1523	39														
2015/16	41	79	91	5	146	49	239	65	22	8	1	811	41	2015/16	14	684	353	673	163	367	181	205	119	018	129	028	113	181
2016/17	34	62	57	65	287	200	21	58	0	15	0	2	801	42														
Média	42.1	77.1	111.9	154.4	171.5	147.4	127.7	94.7	61.8	20.4	5.1	12.0	1026															
DesvPad	36.8	55.8	77.8	118.5	110.8	105.8	89.5	73.0	52.0	22.7	11.5	16.1	282															
CV	0.024	0.033	0.099	0.066	0.066	0.077	0.068	0.011	0.076	0.049	0.036	0.093	0.091															
%	4.1%	7.5%	10.9%	15.1%	16.7%	14.4%	12.4%	9.2%	6.0%	2.0%	0.9%	1.2%	100.0%															

Escoamentos mensais no exutório da bacia

Ano	Escoamentos mensais no exutório da bacia												Total	
	Sep	Out	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago		
1974/75														0
1975/76														1
1976/77														2
1977/78														3
1978/79														4
1979/80														5
1980/81														6
1981/82														7
1982/83														8
1983/84														9
1984/85														10
1985/86														11
1986/87														12
1987/88														13
1988/89														14
1989/90														15
1990/91														16
1991/92														17
1992/93														18
1993/94														19
1994/95	0.62	0.16	2.20	2.15	2.33	1.74	4.92	1.79	3.02	1.75	0.90	0.89	22.2	
1995/96	2.10	4.61	4.42	1.98	1.68	2.72	1.20	2.81	2.40	0.94	0.12	1.85	27.0	
1996/97	0.80	0.27	2.32	1.20	4.78	5.47	3.26	2.79	1.83	0.52	0.33	0.81	24.0	
1997/98	0.59	1.81	2.98	0.95	2.44	3.32	1.84	5.47	1.26	1.84	0.14	0.71	22.7	
1998/99	1.09	0.92	1.82	1.29	1.62	2.97	1.12	1.73	1.09	0.06	0.08	0.22	22.2	
1999/00	0.51	3.05	2.20	5.77	4.19	4.14	1.90	1.78	1.48	0.11	1.11	26.8		
2000/01	0.59	0.72	2.26	4.34	3.77	4.42	0.83	3.60	1.52	0.81	0.08	0.16	26.4	
2001/02	0.61	2.52	1.48	3.85	2.79	0.85	4.18	1.95	2.28	0.98	0.06	2.30	23.8	
2002/03	1.75	3.19	4.03	3.18	5.93	6.35	4.06	2.18	0.44	1.16	0.04	0.10	32.4	
2003/04	0.14	2.34	1.07	10.82	6.38	1.98	1.77	2.77	1.57	0.23	0.57	0.00	29.2	
2004/05	0.40	0.71	0.53	1.38	6.29	3.11	3.55	1.87	0.39	0.69	0.51	0.13	19.6	
2005/06	1.04	2.98	3.63	3.93	6.72	5.92	3.83	3.02	1.84	0.67	0.21	0.03	30.8	
2006/07	0.82	0.37	1.48	0.81	3.29	3.22	2.86	1.94	3.45	0.16	0.03	0.14	17.9	
2007/08	0.55	0.48	1.34	5.12	4.55	1.38	2.68	2.68	0.77	0.53	0.49	0.56	29.7	
2008/09	0.68	1.13	1.89	1.62	2.05	0.96	1.51	2.24	1.45	0.44	0.89	0.73	16.5	
2009/10	0.92	1.30	3.83											

3.2.3.1 Revisão dos modelos hidrológicos precipitação-escoamento

Na primeira aula do sub-módulo 2.1 foi efectuada uma breve revisão dos modelos hidrológicos precipitação-escoamento. Partindo do conceito o que é um modelo analisou-se a sua classificação em termos funcionais e estruturais. Analisaram-se os principais tipos de modelos: probabilísticos, estocásticos e determinísticos - empíricos, conceptuais e físicos. Foram ainda introduzidos os conceitos de desagregação temporal (discretos e contínuos) e espacial (agregados e distribuídos) dos modelos conceptuais. Foram analisados os critérios de selecção dum modelo que deve ter em consideração: i) os objectivos da simulação; ii) as características físicas e climáticas da bacia; iii) a disponibilidade de dados em quantidade e qualidade e iv) a familiaridade com o modelo. A importância dos processos de calibração e validação antes da exploração dum modelo.

No final da aula foram apresentados alguns dos modelos de precipitação-escoamento determinísticos conceptuais contínuos e distribuídos mais usados na simulação dos processos hidrológicos:

Modelo VIC (“Variable Infiltration Capacity”)

- Modelo Mike-SHE
- Modelo Sacramento
- Modelo HBV

3.2.3.2 Modelo WRSMPitman. Principios do modelo

O modelo WRSMPitman (Water Resources Simulation Model for Windows) comumente denominado de Pitman é um modelo hidrológico precipitação-escoamento conceptual aplicado a uma bacia (distribuído e contínuo), muito utilizado na modelação hidrológica de bacias hidrográficas em regiões áridas e semi-áridas (Figura 3.17) para prever os escoamentos associados a diferentes formas de ocupação e uso do solo da bacia. Tem aplicação na resolução de carências de dados hidrológicos, de modo a obter uma melhor representação espacial e/ou temporal e permite avaliar impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos.

Trata-se de um modelo modular, constituído cinco módulos independentes que se agregam formando sistemas hidrográficos complexos e coerentes:

- **Módulo Escoamento (Pitman):** gera escoamentos em sub-bacias hidrográficas
- **Módulo Canal:** agrega os escoamentos
- **Módulo Albufeira/Reservatório:** simula a operação de albufeiras
- **Módulo Irrigação:** simula consumos de água de um perímetro de rega/irrigação
- **Módulo Mina:** simula o escoamento que é gerado numa concessão mineira

Os módulos são interligados por caminhos.

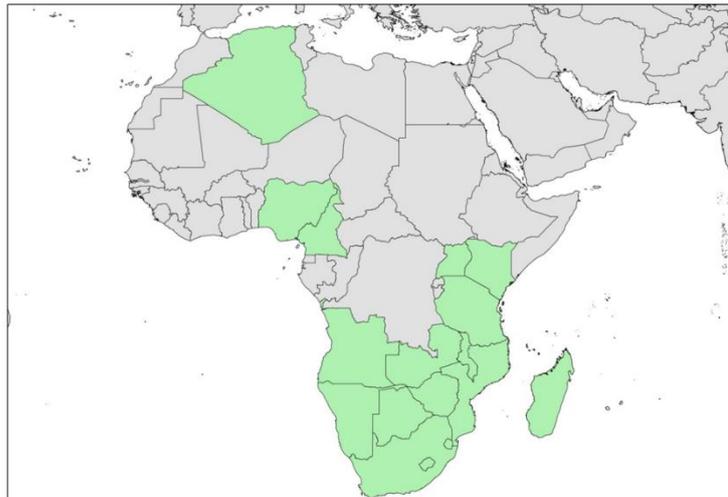


Figura 3.17 – Países onde o modelo WRS200/Pitman é usado

O módulo de Escoamento é o “coração” do WRS2000 e mantém uma forte semelhança com o modelo Pitman original. Existem três modelos de escoamento disponíveis:

- **Pitman:** Não existe interacção entre o escoamento superficial e o escoamento subterrâneo
- **Hughes:** Existe interacção entre o escoamento superficial e o escoamento subterrâneo, através de um módulo filho (“Child Modelule”)
- **Sami:** o mesmo que para modelo Hughes.

Sendo o mais utilizado o modelo Pitman, principalmente quando os dados existentes não são suficientes para caracterizar o escoamento subterrâneo.

O Modelo considera 3 reservatórios (Figura 3.18):

- **Intercepção:** a precipitação deve primeiro satisfazer o armazenamento de intercepção, que se esgota de acordo com a taxa de evaporação potencial. O restante volume de precipitação divide-se em escoamento superficial directo e precipitação infiltrada
- **Solo:** onde se dá a parte mais importante do processo precipitação-escoamento, com evapotranspiração, infiltração no solo, escoamento subsuperficial e recarga dos aquíferos
- **Subterrâneo:** a partir dos aquíferos gera o escoamento de base, que retorna às linhas de água lentamente.

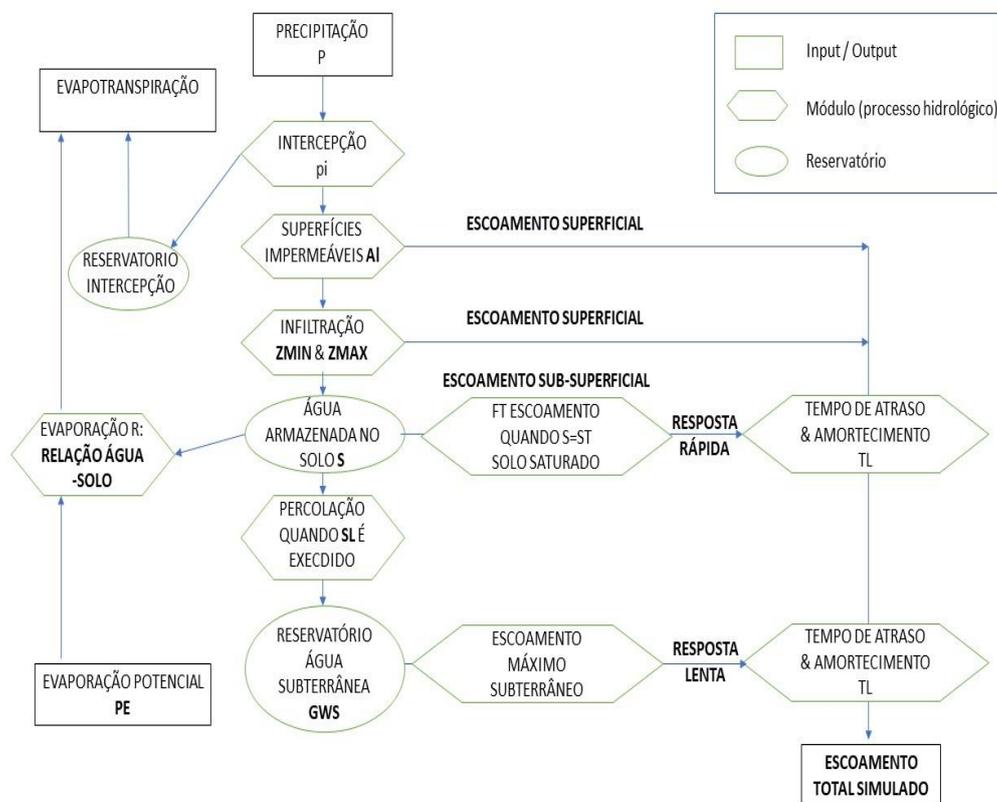


Figura 3.18 – Diagrama funcional do modelo Escoamento do modelo WRSM200/Pitman

Além dos módulos, a aplicação do modelo requer a definição de caminhos e das estações hidrométricas que estão associadas a caminhos e contêm dados históricos de medição/observação de caudais

Nesta formação iremos dar especial atenção ao **módulo Escoamento** e ao **módulo Canal**, que foram usados na avaliação de recursos hídricos superficiais na bacia do rio Keve.

Os módulos (Albufeira, Irrigação e Mina) não foram utilizados na bacia do Keve, pois considerou-se a simulação da bacia em regime natural.

3.2.3.3 Modelo Pitman: Entrada de dados e Tutorial do programa

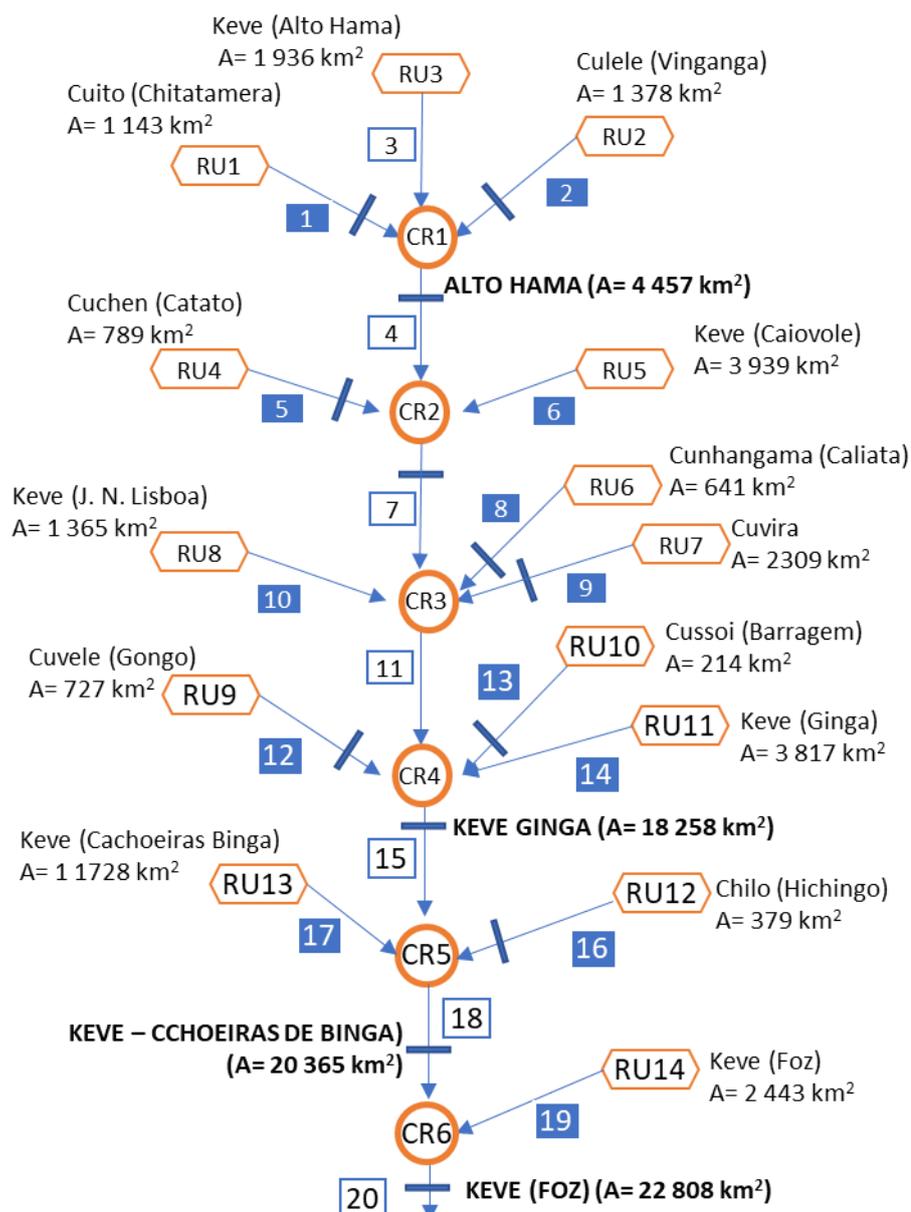
A entrada de dados no modelo WRSM/Pitman obedeceu ao seguinte roteiro:

- Esquematização da bacia
- Ficheiros de precipitação
- Ficheiros de escoamento – dados observados
- Ficheiro de rede
- Construção dos módulos escoamento
- Construção dos módulos canal
- Definição dos caminhos e estações hidrométricas

Esquematização da bacia

Na divisão duma bacia hidrográfica em sub-bacias devem ser tomados em consideração os pontos notáveis: sub-bacias principais; localizações de estações hidrométricas (calibração); locais para obter caudais; confluências. A bacia do rio Keve foi dividida em 14 sub-bacias (escolhidas em função dos locais estratégicos onde existam dados para calibrar e se pretenda obter dados).

Exercício nº1 do sub módulo 2.2 - Os conceitos da esquematização da bacia foram primeiramente aplicados a uma bacia hidrográfica mais simples (exemplo) para consolidação dos conceitos e depois à bacia hidrográfica do rio Keve.



Ficheiros de precipitação

Um ficheiro de precipitação (*.RAN) no programa WRS2000/Pitman geralmente combina os dados de várias estações udométricas em um único tempo e, além disso, os valores são expressos como uma percentagem da MAP para a área ou bacia hidrográfica.

Exercício nº2 do sub módulo 2.2 – Tinha como objectivo criar os ficheiros de precipitação requeridos pelo modelo WRSM/Pitman. Foi vista e usada pelos formandos a interface do modelo WRSM para criar um ficheiro de precipitação a partir do WRSM de um ficheiro de extensão .mp. Posteriormente, foram construídos os ficheiros de precipitação de cada sub-bacia a partir do excel, onde se procedeu ao:

- cálculo da precipitação média ponderada de cada sub-bacia em estudo;
- cálculo da precipitação média anual (PMA) da bacia a partir das médias das precipitações ponderadas anuais de todo o período de estudo;
- cálculo a precipitação de entrada para o modelo Pitman: percentagens em relação à PMA das precipitações mensais de todo o período de estudo;
- formatação da folha com os dados de precipitação do modelo WRSM/2000 que será guardada como ficheiro .prn.

Ficheiro de Escoamento

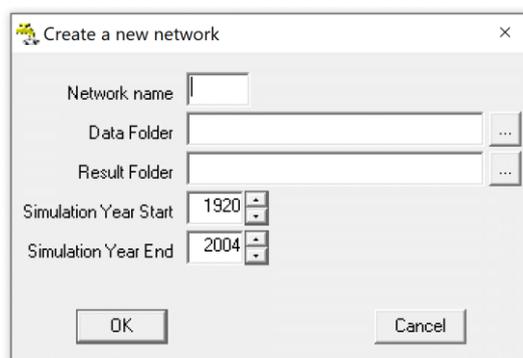
Exercício nº3 do sub-módulo 2.2 – Tinha como objetivo criar os ficheiros de escoamento (*.obs) que são associadas a caminhos e são usadas para comparar os caudais simulados com os caudais observados/medido. Os ficheiros de escoamento foram construídos a partir do excel, onde se procedeu ao:

- Análise dos dados de caudais e preenchimento de falhas (Módulo 1 - Aula 18)
- Cálculo dos valores dos caudais em hm³
- Exportação dos dados da folha activa como texto formato (separado por espaços) (*.prn)

Ficheiro de rede

O ficheiro Rede (Ficheiro com extensão NET: *.NET) - Esquema da bacia, descreve a rede hidrográfica a simular. A principal função do ficheiro Rede (Network) é especificar a ordem com que os módulos devem ser resolvidos.

O ficheiro Rede também é usado para definir o período de tempo da simulação.

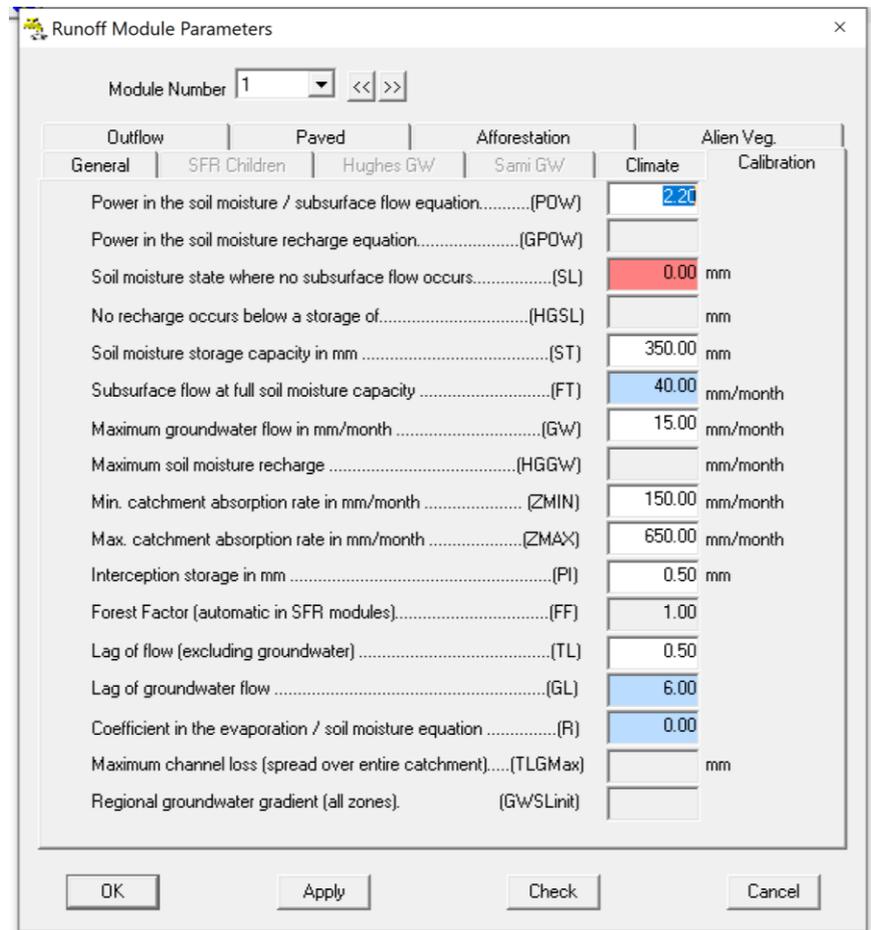


Exercício nº4 do sub-módulo 2.2 – Criar o ficheiro rede da bacia hidrográfica do rio Keve

Este ficheiro sendo criado no início do processo de introdução dos dados no modelo, só é concluído no fim deste.

Construção dos módulos escoamento

A bacia hidrográfica e os dados meteorológicos (precipitação média anual, ficheiro da precipitação, valores médios mensais da evaporação e os factores tina) são dados de entrada do módulo escoamento. Este submodelo contém ainda 11 parâmetros de calibração que descrevem a interface solo-água:



Outflow	Paved	Afforestation	Alien Veg.
General	SFR Children	Hughes GW	Calibration
Power in the soil moisture / subsurface flow equation.....(POW)			2.20
Power in the soil moisture recharge equation.....(GPO'w)			
Soil moisture state where no subsurface flow occurs.....(SL)			0.00 mm
No recharge occurs below a storage of.....(HGSL)			mm
Soil moisture storage capacity in mm.....(ST)			350.00 mm
Subsurface flow at full soil moisture capacity.....(FT)			40.00 mm/month
Maximum groundwater flow in mm/month.....(GW)			15.00 mm/month
Maximum soil moisture recharge.....(HGG'w)			mm/month
Min. catchment absorption rate in mm/month.....(ZMIN)			150.00 mm/month
Max. catchment absorption rate in mm/month.....(ZMAX)			650.00 mm/month
Interception storage in mm.....(PI)			0.50 mm
Forest Factor (automatic in SFR modules).....(FF)			1.00
Lag of flow (excluding groundwater).....(TL)			0.50
Lag of groundwater flow.....(GL)			6.00
Coefficient in the evaporation / soil moisture equation.....(R)			0.00
Maximum channel loss (spread over entire catchment).....(TLGMax)			mm
Regional groundwater gradient (all zones).....(GWSLimit)			

Os parâmetros do módulo escoamento requeridos pelo modelo Pitman são os seguintes:

- **POW - Potência da equação que relaciona o escoamento com a humidade do solo.** Determina a porção, para a qual o escoamento subsuperficial se reduz com a diminuição da humidade do solo (-)
- **SL – Armazenamento do solo** (em mm) abaixo do qual não há escoamento sub-superficial
- **ST – Capacidade máxima de armazenamento** ou teor de humidade à saturação em mm (quando a água preenche todos os poros. O solo não contém ar e os macroporos estão preenchidos com água gravitacional)
- **FT - Escoamento subsuperficial** (em mm/mês) correspondente ao valor máximo da humidade do solo (ST)
- **GW - Escoamento subterrâneo máximo** (em mm/mês), divide a humidade do solo em zona superior (resposta rápida) e zona baixa (resposta lenta)
- **ZMIN - Valor mínimo da capacidade de absorção (infiltração) da bacia** (em mm/mês)
- **ZMAX - Valor máximo da capacidade de absorção (infiltração) da bacia** (mm/mês)
- **PI - Armazenamento correspondente à intercepção** (em mm)

- **TL - Tempo de resposta do escoamento na zona superior**, exclui, portanto, o escoamento subterrâneo (em mês)
- **GL - Tempo de resposta do escoamento subterrâneo** (em mês)
- **R - Coeficiente da equação da evaporação / humidade do solo**. Determina a porção, para a qual a evaporação se reduz com a diminuição da humidade do solo (-)

Exercício nº5 do sub-módulo 2.2 – Criar o ficheiro dos módulos Escoamento das 14 sub-bacias rede hidrográfica do rio Keve.

Construção dos módulos canal

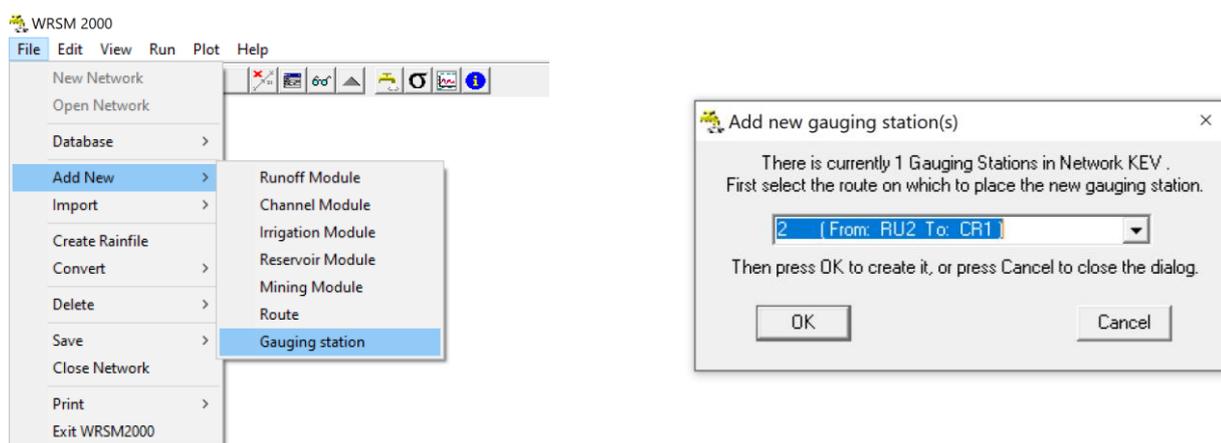
O módulo Canal designa os troços de um rio. A sua principal função é agregar o escoamento proveniente de dois ou mais caminhos de montante e gerar um escoamento a jusante tendo em conta os pedidos gerados, permitindo deste modo que os escoamentos simulados possam ser comparados com os observados, bem como permitir a abstração de água directamente do módulo Escoamento.

Os caudais afluentes e efluentes podem ser predefinidos ou calculados.

O módulo de canal também permite ainda quantificar as perdas por infiltração e evaporação de uma zona húmida. A superfície da zona húmida pode ser definida como um valor constante ou pode variar de acordo com o caudal de entrada por meio de uma relação de potência.

Definição dos caminhos e estações hidrométricas

As estações hidrométricas são associadas a caminhos e contêm dados históricos de medição/observação de caudais. As estações hidrométricas são usadas para comparar os caudais simulados com os caudais observados/medidos num determinado caminho.



Exercício nº6 do sub-módulo 2.2: Criar os módulos canal, caminhos e estações hidrométricas

Gráficos e ficheiros de resultados

Com a conclusão da introdução dos dados da bacia do rio Keve, foram apresentadas e analisadas as opções de apresentação dos resultados; gráficos e ficheiros de saída.

Os resultados gráficos disponibilizados pelo modelo são os seguintes:

- Caminhos
 - Hidrograma mensal (“Monthly Hydrograph”)
 - Hidrograma anual (“Yearly Hydrograph”)
 - Caudais médios mensais (“Mean Monthly Flows”)
 - Curvas de rendimento bruto (“Gross Yield”)
 - Relação entre os valores simulados e os observados ou dispersão (“Scatter Diagram”)
 - Histograma dos caudais mensais (“Histogram of Monthly flows”)
 - Frequência acumulada (“Cumulative Frequency”)
- Albufeiras
 - Gráfico albufeira (“Route Plot”)
- Canais
 - Gráfico zonas húmidas (“Wetlands Plot”)
- Escoamento
 - Gráfico escoamento subterrâneo – Escoamento superficial (“Ground-Surfacewater Plot”)

Especial atenção, pela sua importância para o processo de calibração, foi dada ao gráfico do hidrograma mensal, aos caudais médios mensais e ao gráfico da relação entre os valores simulados e os observados ou dispersão.

Por vezes a análise/interpretação do hidrograma mensal poderá ser difícil, especialmente se o período de registos for longo. Nestes casos, recomenda-se fazer o gráfico para vários períodos de tempo (por exemplo de 10 anos).

Este tipo de gráfico é bastante útil para detectar diferenças grandes entre caudais observados e simulados e, particularmente em rios com um caudal de base importante, para verificar o quão bem é a recessão do hidrograma simulado.

O gráfico dos caudais médios mensais permite uma visualização clara dos caudais da estação seca e húmida, e permite identificar problemas de sobre ou subestimação consistente dos caudais em qualquer mês ou sequência de meses do calendário.

O gráfico de dispersão é bastante útil para evidenciar as diferenças entre os valores de caudais observados e valores simulados. O coeficiente de regressão (“E” indicado no canto superior esquerdo do gráfico) é indicativo da qualidade da simulação. Um valor igual ou superior a 0,8 pode ser considerado bom.

O modelo permite ainda o cálculo automático de conjunto de estatísticas para apoiar os processos de calibração e de validação do modelo:

Route Statistics

Route Number 1 << >>

Associated Gauging Station Number 1

Statistics Year Start 1964 Year End 1972

	Observed	Simulated	Action	Parameters
MAR	353.15	582.11	Increase	ST,ZMIN,ZMAX
Mean (Log)	2.53	2.76	Decrease	FT
Std Deviation	99.38	120.92	Increase	ZMIN
Log Std Dev	0.14	0.10	Decrease	ST,FT,ZMAX
Seasonal Index	26.22	44.75	Increase	FT,ST,TL,ZMAX,GL
			Decrease	PDW,ZMIN

Suggested action(s) to improve calibration

Increase ST
Increase ZMAX

Close Calculate Edit Runoff Save

Foram ainda vistos os ficheiros de resultados produzidos pelo modelo:

- Ficheiros de parâmetros (*.DAT)
- Ficheiros de estatística (*.OUT)
- Ficheiros de sumário (*.SUM)
- Ficheiros de resposta (*.ANS)
- Ficheiros de procura (*.DEM)
- Ficheiros de armazenamento (*.SHO)
- Ficheiro de erros (*.ERR)

A título de exemplo apresenta-se abaixo um extracto do ficheiro de resposta do modelo (extensão ANS), com os caudais simulados nos caminhos (principal resultado na utilização do modelo para avaliação dos recursos hídricos duma bacia)

File - [C:\Users\mjcal\Documents\COBA\WRSM_Pitman\KEVE\RESULTADOS\KEVRQ4.ANS]

Year	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1949	17.71	358.70	518.21	427.61	141.09	781.70	294.73	24.91	5.46	0.81	0.27	
1950	1.41	105.17	636.59	890.41	497.08	1025.26	865.41	216.88	20.22	4.71	1.07	
1951	16.13	459.06	699.10	218.41	445.41	259.06	67.24	18.40	4.00	0.61	0.23	
1952	50.47	461.04	427.38	442.79	157.85	362.05	282.33	72.09	7.65	1.12	0.35	
1953	15.07	75.35	104.10	213.15	259.43	730.03	571.70	136.98	10.22	1.82	0.52	
1954	18.25	333.94	142.13	39.30	25.32	169.35	313.66	108.26	11.85	2.34	0.61	
1955	11.36	251.78	412.80	494.58	233.55	140.03	522.45	180.97	8.39	1.19	0.37	
1956	19.21	151.26	340.95	333.14	123.74	376.50	157.62	25.06	5.88	0.90	0.34	
1957	30.38	394.52	793.80	323.69	62.77	281.78	153.89	31.62	4.84	0.72	0.25	
1958	7.79	189.78	695.40	714.10	314.73	266.12	146.80	91.56	38.09	7.77	1.65	
1959	9.71	302.38	705.80	514.53	458.83	555.98	318.08	92.46	23.59	5.88	1.27	
1960	10.38	393.28	459.67	692.69	689.74	841.79	545.64	137.30	19.28	4.55	1.04	
1961	119.61	608.12	1170.36	851.08	303.85	867.51	627.10	134.68	7.90	1.14	0.40	
1962	21.23	346.59	648.73	521.62	483.36	649.46	392.33	90.05	8.46	1.34	0.40	
1963	11.26	380.75	352.81	420.74	248.17	361.17	128.66	12.70	2.33	0.38	0.19	
1964	23.89	180.32	667.85	653.65	405.68	552.52	327.11	73.61	7.51	1.08	0.34	
1965	9.75	72.64	784.89	686.64	400.10	475.78	164.74	24.02	6.28	1.13	0.37	
1966	18.35	76.21	386.30	196.96	164.19	447.23	514.70	147.00	9.92	1.71	0.62	
1967	38.63	438.76	563.47	459.73	516.30	535.73	218.70	45.30	8.41	1.49	0.43	
1968	7.49	192.24	420.03	460.35	518.99	629.88	418.31	101.72	7.97	1.18	0.40	
1969	94.03	507.11	537.75	552.00	311.87	318.21	258.25	73.63	7.58	1.09	0.34	
1970	36.88	384.22	323.06	289.84	209.37	291.83	119.04	26.12	6.80	1.16	0.36	
1971	9.32	267.00	397.91	237.64	75.89	247.66	405.15	126.60	8.33	1.25	0.38	
1972	5.69	83.01	643.36	929.37	300.71	146.94	384.93	134.01	9.75	1.67	0.47	
1973	84.89	193.67	298.09	112.04	23.26	238.71	471.84	150.64	9.42	1.55	0.52	
AVERAGE	27.56	291.48	524.82	467.04	294.85	462.09	346.82	91.06	10.41	1.94	0.53	

3.2.3.4 Modelo de Pitman: Calibração e exploração do modelo

As aulas 14, 15 e 16 foram centradas no processo de calibração e análise de sensibilidade dos parâmetros de calibração, tanto mais que a calibração de um modelo hidrológico nunca é simples e experiência é um dos principais factores de êxito.

No trabalho desenvolvido nas aulas foram seguidos os seguintes três passos:

- Passo 1: Análise das estatísticas
- Passo 2: Análise dos gráficos
- Passo 3: Reformular os parâmetros do modelo

Foram ainda analisados, para apoiar a decisão de seleção do parâmetro a alterar, os efeitos os parâmetros nos resultados da simulação. No quadro seguinte indicam-se os principais efeitos esperados com o aumento do parâmetro de calibração (apresentados e analisados na Aula 14).

Parâmetro	Mudança geral	Escoamento Médio Anual	Desvio Padrão	Índice Sazonalidade
POW	O escoamento subsuperficial descerá mais rapidamente nos períodos entre eventos de precipitação	desce	sobe	sobe
SL	Efeito semelhante ao parâmetro POW. O caudal de base irá descer mais rapidamente vezes quando SL se aproxima de ST	desce	sobe	sobe
ST	Maior infiltração de água durante os períodos húmidos, resultando na redução do escoamento superficial e na disponibilização de mais água para evaporar e para o escoamento subsuperficial	desce	desce	desce
FT	Maior escoamento subsuperficial à custa das perdas por evaporação e do escoamento superficial, particularmente em períodos secos	sobe	desce	desce
GW	Uma maior proporção do escoamento subsuperficial será atribuído a uma resposta mais lenta de GL, aumentando consequentemente os caudais de base	não	Desce pouco	desce
ZMIN	Uma redução na frequência e volume dos eventos de escoamento superficial	desce	sobe*	sobe*
ZMAX	Uma redução no volume dos eventos de escoamento superficial	desce	desce	desce
PI	Uma redução na quantidade de precipitação disponível para infiltração	desce	sobe	Sobe
TL	Maior atraso na resposta da bacia à precipitação	não	não	desce
GL	Caudal de base no rio reduzirá mais lentamente, levando a escoamentos mais altos na época seca	não	desce	Desce
R	Taxa de aumento, quando a evaporação se reduz, bem como a mistura do solo se esgota, levando a uma redução global na evaporação obtida	sobe	?	desce

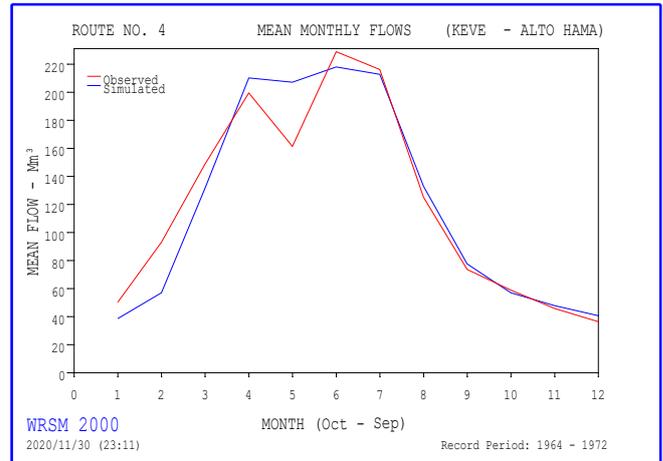
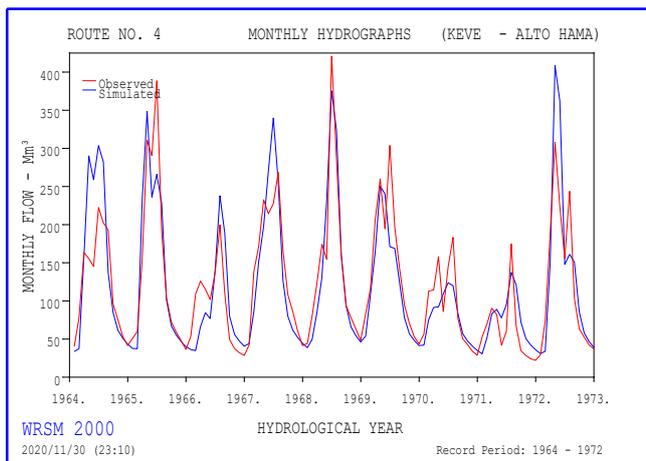
Exercício nº7 do sub-módulo 2.2: Fazer a análise de sensibilidade dos parâmetros do modelo Pitman para os parâmetros e respectivas variações indicadas no quadro. Na realização do exercício considerar a sub-bacia do rio Cuito (RU1) da rede hidrográfica do rio Keve.

Na Figuras abaixo apresenta-se o quadro da análise de sensibilidade aos parâmetros de calibração efectuada nas aulas 14 e 15.

Resultados da 1ª simulação		EMA=412,64		E=-0,74	Hidrograma		
Parâmetros usados na primeira simulação	Mudança do parâmetro	Efeito no EMA	Efeito no Escoamento base	Efeito no Factor E	Efeito nos tempos	Efeito no Volume	Efeito gerais no para o gráfico
POW=3	Diminuir POW=2,5	Aumentou um pouco 285,31	Aumentou	0,22	Diminui o declive da curva descendente	Manteve	A velocidade de decaimento do hidrograma diminuiu
	Diminuir POW=2,0	Aumentou um pouco 293,41	Aumentou	0,27		Manteve	
ST=150 mm/mês	Aumentar ST=200	Reduziu 372,13	Não há alteração significativa dos caudais de base	-0,34	Manteve	Diminuiu	Redução significativa dos caudais máximos
	Aumentar ST=350	Reduziu muito 279,67		0,19	Manteve	Diminuiu	
FT=20	Aumentar FT=30	Aumentou para 320,28	Aumentou	0,37	Manteve	Aumentou	Há um aumento dos caudais de base
	Aumentar FT=40	Aumentou para 347,45	Aumentou	0,43	Manteve	Aumentou	
GW=0 mm/mês	Aumentar GT=5	Não alterou 347,29	Aumentou	0,54	Manteve	Manteve	Há um aumento dos caudais de base e uma diminuição dos caudais máximos
	Aumentar GT=15	Não alterou 347,10	Aumentou	0,67	Manteve	Manteve	
ZMIN=999 mm/mês	Diminuir ZMIN=500	Não alterou 347,10	Manteve	Não alterou 0,67	Alteração da curva ascendente	Manteve	Há uma aumento da resposta aos eventos de chuva mas muito ligeiro
	Diminuir ZMIN=200	Um ligeiro aumento 348,85	Manteve	0,68	Alteração da curva ascendente	Manteve	

Resultados da 1ª simulação		EMA=412,64		E=-0,74	Hidrograma		
Parâmetros usados na primeira simulação	Mudança do parâmetro	Efeito no EMA	Efeito no Escoamento base	Efeito no Factor E	Efeito nos tempos	Efeito no Volume	Efeito gerais no para o gráfico
ZMAX=999 mm/mês	Diminuir ZMAX=1500	Uma ligeira diminuição 347,75	Não alterou	0,68	Atrasa	Manteve	Não houve alterações na forma do hidrograma
	Diminuir ZMAX=650	Aumentou 355,33	Não alterou	0,68	Manteve	Aumentou	Aumenta o escoamento directo
R=0,5	Diminuir R=0	Diminui 332,65	Não alterou	0,69	Manteve	Reduziu	Alterou a curva ascendente
GL=2,5	Aumentar GL=6,0	Não altera 332,42	Aumentou	0,75	Manteve	Manteve	Alterou a curva ascendente, caudais no início da estação húmida mais altos
TL=0,25	Aumentar TL= 0,5	Não altera 332,42	Não alterou	0,71	Manteve	Manteve	Alterou a forma significativa os picos
PI=1,5	Diminuir PI=0,5	Aumentou para 356,43	Não alterou	0,71	Manteve	Aumentou	-

Na aula 16 concluiu-se o processo de calibração. A título de exemplo apresentam-se os gráficos do hidrograma dos caudais mensais e dos caudais médios mensais na secção do Alto Hama no rio Keve



3.2.3.5 Modelo de Pitman: Módulo Albufeira e Módulo Irrigação

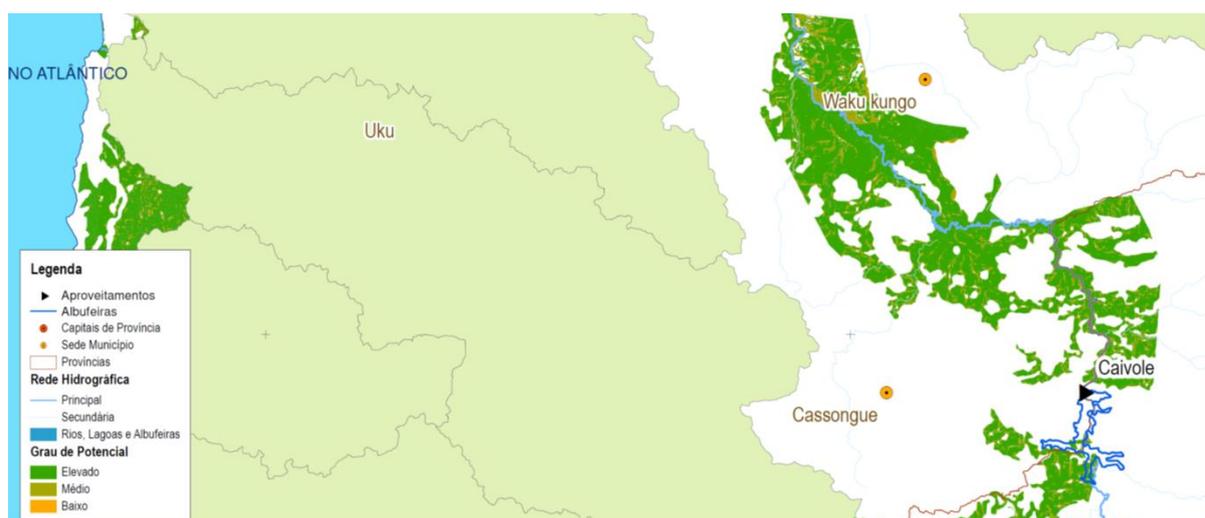
A utilização do módulo albufeira e módulo irrigação foi discutida nas aulas 16 e 17, tendo-se realizado exercícios específicos com estes módulos para consolidação dos conceitos.

Módulo Albufeira

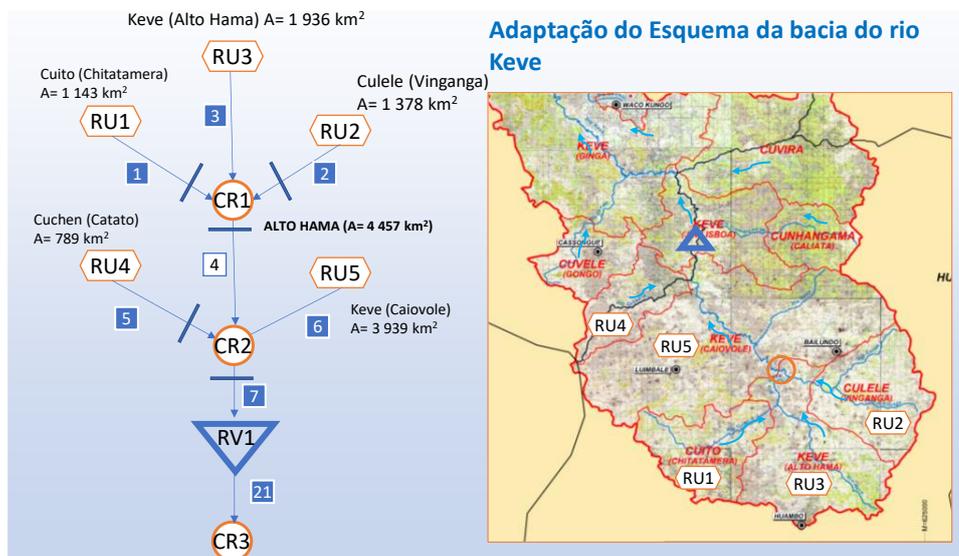
O módulo albufeira/reservatório pode ser usado para representar um único reservatório ou uma barragem equivalente composta por qualquer número de pequenas barragens. O modelo permite a introdução do volume total de armazenamento e a área superficial da albufeira até um máximo de dez anos diferentes.

O módulo albufeira/reservatório agrega os caudais de entrada e gera um caudal de saída de uma maneira semelhante à do módulo de canal, sendo efeito de armazenamento a principal diferença. A evaporação é calculada de forma semelhante à das zonas húmidas.

Exercício nº8 do sub-módulo 2.2: Introduzir o módulo albufeira no modelo Pitman da bacia hidrográfica do rio Keve, considerando o caso de estudo da barragem do Caivole.

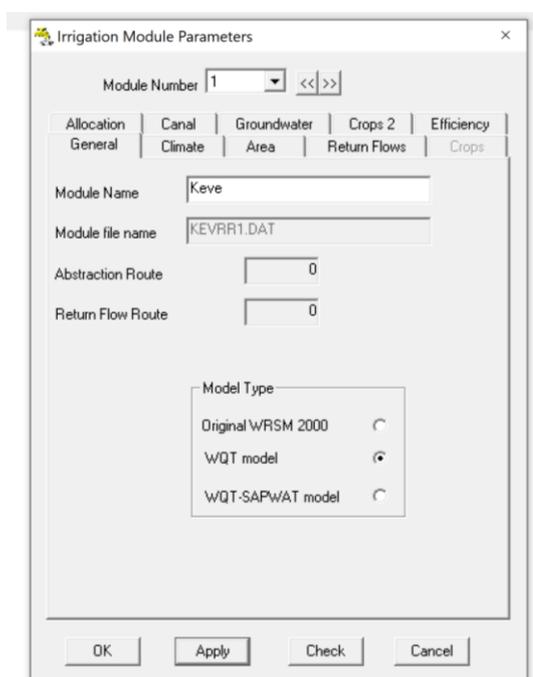


A realização do exercício obrigou os formandos a rever/alterar o esquema da bacia do rio Keve estabelecido para a simulação da bacia em regime natural.



Módulo Irrigação

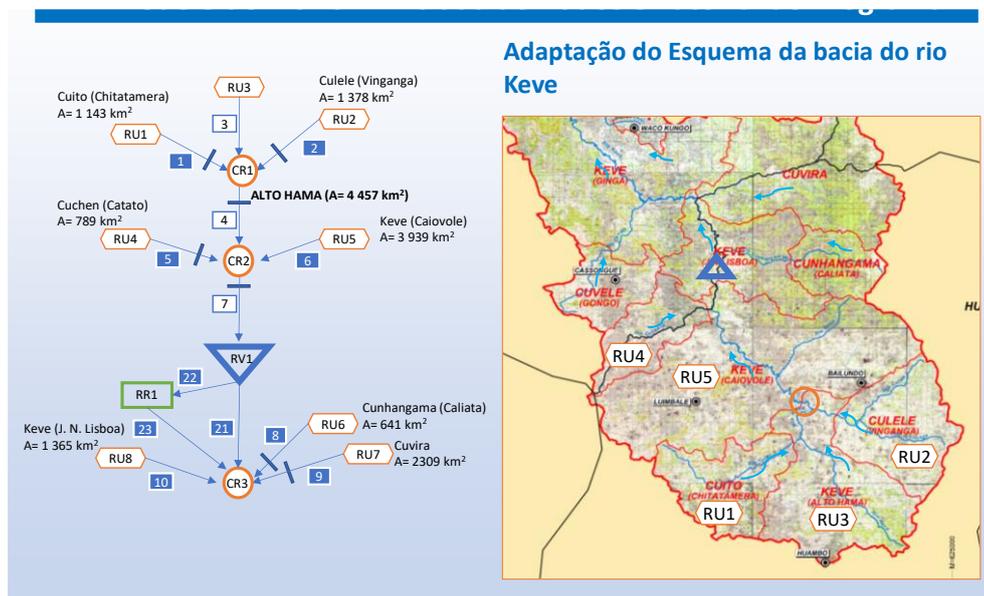
Este módulo calcular as necessidades de água de irrigação. O módulo irrigação é bastante exigente em dados de entrada (dados das culturas, do clima, evolução da área irrigada, sistema de condução, água no solo, eficiência, caudal de retorno). O exercício prático e a introdução de dado foi acompanhado pelas noções teóricas dos mesmos.



Exercício nº9 do sub-módulo 2.2: Introduzir o módulo irrigação no modelo Pitman da bacia hidrográfica do rio Keve, considerando as áreas com potencial elevado a jusante da barragem do Caiovole (Exercício 8).

Admitir que as áreas de rega, cerca de 20 000 ha, serão beneficiadas a partir de um sistema de adução em canal que tem como origem de água a albufeira do Caiovole.

Também neste exercício, os formandos tiveram que rever/alterar o esquema da bacia do rio Keve, partindo do esquema do exercício 8.



3.2.4 Sub-Módulo 3 – Caracterização, Dimensionamento e Gestão Integrada de Albufeiras. Introdução aos Modelos de Previsão e Alerta de Risco de Inundações

O sub-módulo 3 centrou-se nos aspectos relacionados com a caracterização, dimensionamento e gestão de albufeiras. O esquema seguinte mostra os diferentes temas abordados nas 7 aulas dedicadas a este sub-módulo.



3.2.4.1 Caracterização de albufeiras

O sub-módulo 3 iniciou-se com uma breve apresentação sobre a importância das albufeiras e da sua integração ao nível dos processos de planeamento e gestão integrada dos recursos hídricos, designadamente com vista à compatibilização entre necessidades e disponibilidades de água (combate às secas) e à mitigação de cheias.

Nesta componente de caracterização, prosseguiu-se com a apresentação dos principais **fins e tipos de utilização** das albufeiras, designadamente:

- Fins / usos principais:
 - População (abastecimento doméstico, público)
 - Agricultura (irrigação), Pecuária
 - Indústria
 - Energia (hidroelectricidade, termoelectricidade)
 - Ambiente (caudais ecológicos)
 - Protecção contra cheias (amortecimento)
- Outros fins / usos:
 - Aquacultura
 - Navegação
 - Controlo da poluição
 - Contenção da intrusão salina
 - Turismo, recreio e lazer (usos balneares, desporto, pesca, etc.)
 - Retenção de sedimentos

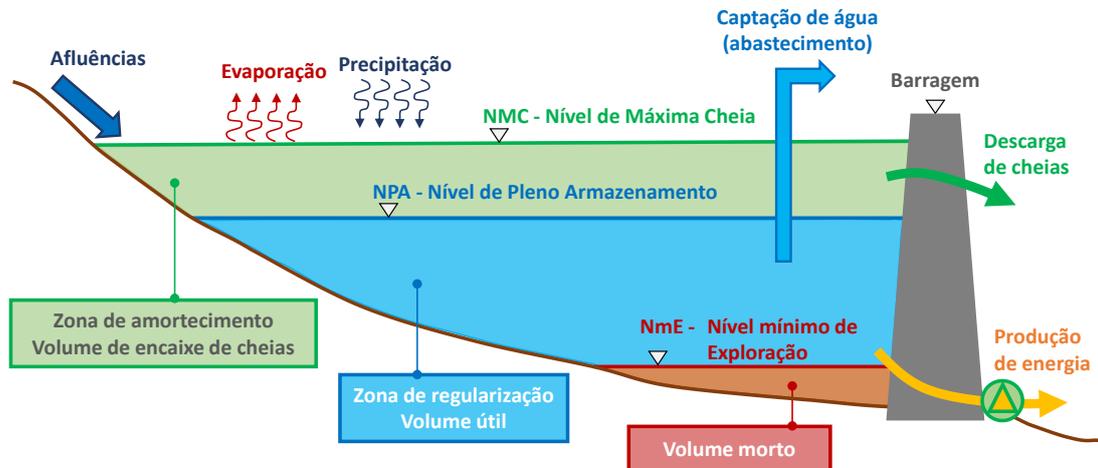
Foram introduzidos os conceitos de usos consumptivos e não consumptivos.

Cada tipo de fim/ uso das albufeiras foi caracterização quanto à sua tipologia (consumptivo/ não consumptivo), quanto ao tipo de albufeira necessário para lhes dar resposta (armazenamento, regularização, amortecimento, retenção de sedimentos, criação de queda) e quanto à forma como cada uso é habitualmente caracterizado com vista à sua integração ao nível dos estudos e processos de análise e simulação (requisitos de caracterização de cada tipo de demanda ou utilização).

Foi ainda introduzido o conceito de fiabilidade de satisfação de um dado consumo e apresentados e discutidos os níveis de fiabilidade habitualmente aceites para as utilizações de água principais. Foram ainda introduzidas algumas referências genéricas habitualmente adoptadas ao nível das prioridades de alocação da água entre as utilizações principais.

Estes aspectos de caracterização foram abordados na **aula 18** do módulo 2, a qual foi concluída com a apresentação de exemplos e de um panorama geral sobre os vários tipos de albufeiras associadas a grandes barragens, de acordo com dados do ICOLD, do INRH e do Plano Nacional da Água de Angola.

Seguiu-se, na **aula 19** do módulo 2, a apresentação dos **elementos característicos das albufeiras**, designadamente, zonas de armazenamento, volumes/capacidades e níveis de água.

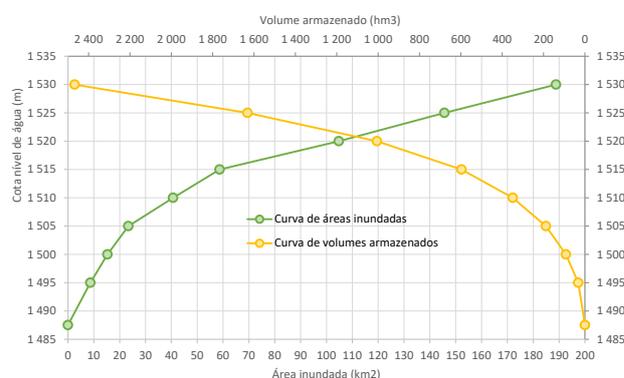
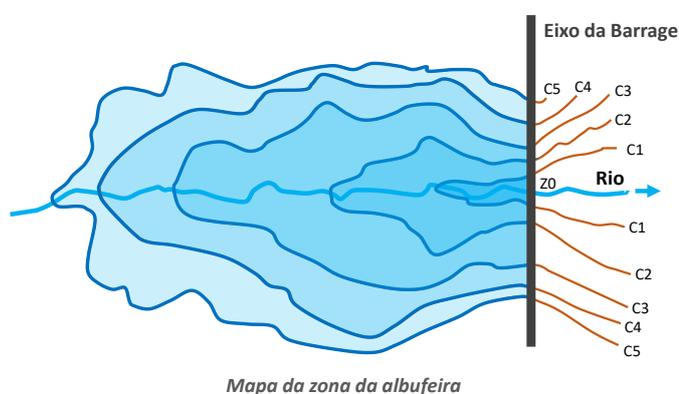


Foram apresentados de forma detalhada os seguintes elementos característicos das albufeiras:

- Zonas de armazenamento:
 - Zona de volume morto
 - Zona de regularização (volume útil)
 - Zona de amortecimento (volume de encaixe de cheias)
- Volumes / capacidades:
 - Volume morto
 - Capacidade útil
 - Capacidade total
- Níveis de referência:
 - NmE - Nível mínimo de Exploração
 - NPA - Nível de Pleno Armazenamento
 - NMC - Nível de Máxima Cheia
- Áreas inundadas

No que respeita aos elementos característicos das albufeiras, foram por fim introduzidos os conceitos das curvas de áreas inundadas e de volumes armazenados, elementos amplamente utilizadas nos estudos de planeamento, dimensionamento e exploração de albufeiras.

Foi apresentada uma metodologia detalhada (passo a passo) para obtenção das curvas de áreas inundadas e de volumes armazenados. Esta metodologia incluiu a representação gráfica das curvas, assim como o ajustamento de funções matemáticas que permitem o cálculo automático das grandezas envolvidas (em geral representadas por funções de potência). As curvas que relacionam diretamente as áreas inundadas com os volumes armazenados foram também apresentadas.



Curvas de áreas inundadas: $A = a(z - z_0)^b$

Curvas área - volume: $A = m V^n$

Curvas de volumes armazenados: $V = c(z - z_0)^d$

A aula 19 do módulo 2 teve uma componente prática que consistiu na realização de um exercício prático de obtenção de curvas de áreas inundadas e de volumes armazenados. O exercício prático realizado consistiu no seguinte:

A partir de um conjunto de medições de áreas inundadas a diferentes cotas:

- Representar graficamente a curva de áreas inundadas
- Ajustar uma equação representativa da curva de áreas inundadas
- Calcular volumes armazenados para as diferentes cotas
- Representar graficamente a curva de volumes armazenados
- Ajustar uma equação representativa da curva de volumes armazenados

Para a realização deste exercício foi previamente disponibilizado um ficheiro excel, que posteriormente foi desenvolvido e completado durante a aula com a participação dos alunos. No final da aula 19 foi disponibilizado o ficheiro com o exercício das curvas de áreas inundadas e de volumes armazenados resolvido.

Prosseguiu-se, na **aula 20**, com a apresentação dos principais **fenómenos hidrometeorológicos** com influência directa nas disponibilidades de água de uma albufeira, designadamente o escoamento, a evaporação e a precipitação directa na albufeira. Foi introduzido o conceito de evaporação líquida ou útil (diferença entre a evaporação e a precipitação directa na albufeira).

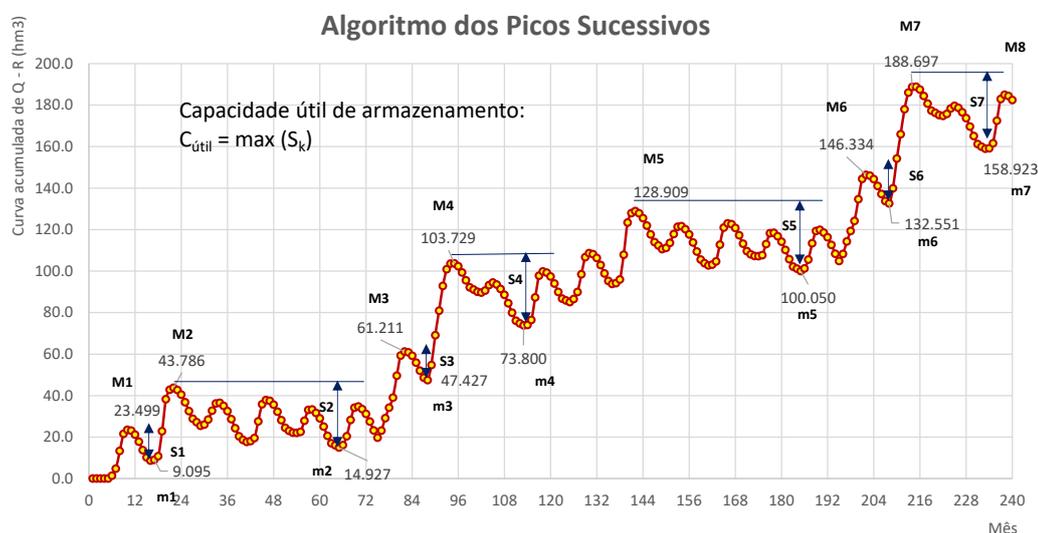
Foram mencionados diferentes métodos disponíveis para avaliação da evaporação em albufeiras, com maior ênfase no método baseada em dados de medições em evaporímetros de tina. Foram apresentados valores de referência relativos ao coeficiente de tina usualmente aplicados aos valores medidos em diferentes tipos de tina, para estimativa da evaporação em albufeiras.

Na aula 20, foi de seguida apresentada a **equação de balanço hídrico** em albufeiras, a qual reproduz e integra os diferentes fenómenos que influenciam o volume de água armazenado numa albufeira em cada instante de tempo. A equação da continuidade na albufeira é a base para o desenvolvimento dos modelos de simulação e considera as diferentes entradas e saídas de água na albufeira em cada instante de tempo (passo de cálculo).

3.2.4.2 Dimensionamento e exploração de albufeiras

Ainda na **aula 20**, foi iniciada a componente dedicada à simulação e exploração de albufeiras, através da introdução aos **métodos de dimensionamento** do volume útil de albufeiras. Após referência aos diferentes tipos de métodos disponíveis, passou-se à apresentação do algoritmo dos picos sucessivos (um dos métodos baseados no período crítico, desenvolvido por Thomas e Burden em 1963 e revisto por Mc-Mahon *et al.* em 2007), o qual serviu como exemplo de aplicação de um método simplificado de dimensionamento.

Foi apresentada a metodologia detalhada (passo a passo) de aplicação do algoritmo dos picos sucessivos para dimensionamento do volume útil de uma albufeira. Conhecida a série de escoamentos mensais no local onde se pretende construir uma barragem e a distribuição das necessidades de água para abastecimento ao longo do ano, o algoritmo dos picos sucessivos permite determinar o valor mínimo da capacidade útil necessária para uma albufeira de regularização, que assegura completamente o fornecimento pretendido. Na sequência da apresentação do processo de aplicação do algoritmo dos picos sucessivos, foi realizado um exercício prático de aplicação do mesmo.



Para a realização deste exercício foi previamente disponibilizado um ficheiro excel, que posteriormente foi desenvolvido e completado durante a aula com a participação dos alunos. No final da aula 20 foi disponibilizado o ficheiro com o exercício de aplicação do algoritmo dos picos sucessivos resolvido.

Após introdução aos métodos de dimensionamento realizada na aula 20, procedeu-se, na **aula 21**, à introdução às **regras de exploração**, tendo sido apresentadas algumas noções gerais sobre os tipos de regras, modo de obtenção e sua aplicabilidade. Foi apresentada em maior detalhe a regra de exploração padrão. Foram também apresentados exemplos de curvas-guia de armazenamento.

A aula 21 prosseguiu então com a apresentação dos **modelos de simulação**. Começou-se por rever a equação de balanço hídrico na albufeira, a que se seguiu a apresentação de um exemplo prático de desenvolvimento de um modelo de simulação mensal destinado a efectuar o dimensionamento do volume útil de uma albufeira. Para a realização deste exercício foi previamente disponibilizado um ficheiro excel pré-preparado, que permitiu aos alunos acompanharem e participarem no desenvolvimento do modelo.

O modelo desenvolvido foi aplicado a um caso teórico de uma albufeira destinada a abastecimento de água às populações e à irrigação. Foram caracterizados e introduzidos no modelo os seguintes dados do problema:

- Necessidades de água para irrigação: demanda anual (associada à área irrigada) e distribuição da mesma ao longo do ano;
- Necessidades de água para abastecimento às populações: demanda anual (associada à população servida) e distribuição da mesma ao longo do ano (admitida constante);
- Exigências de caudal ecológico: admitido como uma demanda anual e distribuição da mesma ao longo do ano;
- Série de afluências mensais à albufeira (neste exemplo foi considerada uma série com 35 anos);
- Características da albufeira: nível mínimo de exploração (NmE); equação da curva de áreas inundadas; equação da curva de volumes armazenados; equação da curva área-volume.

Tendo por base os dados do problema foi desenvolvido o procedimento de cálculo, passo a passo, para aplicação da equação de balanço hídrico na albufeira em cada intervalo de tempo da análise (neste caso o mês).

[01]	[02]	[03]	[04]	[05]	[06]	[07]	[08]
Período	Ano	Mês	Vol útil inicial	Afluência Q	Abastecim.	Pedido Ambiente	Irrigação
(meses)			(hm ³)				
Valores médios →			337.8	2760.9	43.8	276.1	1125.0
1	1	1	244.2	70.0	3.7	5.4	135.0
2	1	2	167.8	94.0	3.7	9.0	76.1
3	1	3	174.9	112.0	3.7	21.8	83.8

[09]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]
Abastecim. 1ª prioridade	Fornecido Ambiente 2ª prioridade	Irrigação 3ª prioridade	V interm 1	A inundada média	Evap útil	V interm 2	Vdesc	Vol útil final	A inundada final
(hm ³)	(hm ³)	(hm ³)	(hm ³)	(km ²)	(hm ³)	(hm ³)	(hm ³)	(hm ³)	(km ²)
43.8	276.1	1103.4			31.9		1306.5	337.7	41.5
3.7	5.4	135.0	170.1	31.1	2.3	167.8	0.0	167.8	27.0
3.7	9.0	76.1	173.1	27.3	-1.9	174.9	0.0	174.9	27.8
3.7	21.8	83.8	177.8	27.9	-3.0	180.7	0.0	180.7	28.4

Na **aula 22** prosseguiu-se com o desenvolvimento do **modelo de simulação**, mais concretamente com o cálculo das falhas de abastecimento mensais e anuais relativas a cada uma das utilizações.

Seguidamente procedeu-se à apresentação dos conceitos de diversos **indicadores de performance / desempenho**, designadamente: garantia/ fiabilidade; vulnerabilidade; resiliência. Voltou-se ao modelo de simulação, para se proceder à sua finalização com a introdução do cálculo da garantia de abastecimento de água a cada uma das utilizações.

A primeira parte da **aula 23** foi dedicada à consolidação dos conceitos e procedimentos aplicados no desenvolvimento do **modelo de simulação mensal**. Foram revisitados os diversos passos de desenvolvimento do modelo e procedeu-se à aplicação prática do mesmo para cálculo do volume útil de albufeira (caso teórico). O exercício consistiu no seguinte:

- Admitindo fixas as necessidades de água em:
 - Irrigação: 150 000 ha → 1 125,0 hm³/ano;
 - Abastecimento: 1 500 000 hab → 43,8 hm³/ano;
 - Caudal ecológico 276,1 hm³/ano

- Estimar o mínimo NPA (e a correspondente Capacidade útil) que garante a satisfação das necessidades das várias utilizações com níveis de garantia adequados.
- Garantias mínimas a assegurar:
 - Irrigação 80%
 - Abastecimento 95%
 - Ambiente 95%
- Procedimento: Testar diferentes valores de NPA (e consequentemente de capacidade útil), e verificar os níveis de garantia obtidos para cada simulação. Seleccionar o menor valor de NPA (e de capacidade útil) que garante os níveis mínimos de garantia estabelecidos.

No final da aula 22 foi disponibilizado o ficheiro com o modelo final de simulação mensal resolvido.

A segunda parte da aula 23 consistiu na apresentação e desenvolvimento de um **modelo de simulação em situação de cheia**, destinado ao amortecimento de uma cheia numa albufeira, permitindo assim o cálculo da capacidade necessária para encaixe de cheias e a definição do nível de máxima cheia da albufeira. Em primeiro lugar foi apresentado o procedimento de cálculo e de seguida procedeu-se apresentação de um exemplo prático de desenvolvimento de um modelo de simulação do amortecimento de cheias. Para a realização deste exercício foi previamente disponibilizado um ficheiro excel pré-preparado, que permitiu aos alunos acompanharem e participarem no desenvolvimento do modelo.

O modelo desenvolvido foi aplicado a um caso teórico, tendo-se para o efeito estipulado os seguintes pressupostos/ dados do problema:

- Passo de cálculo (adoptou-se 1 hora)
- Cheia de projecto da barragem (hidrograma de cheia)
- Características da albufeira, designadamente a curva de volumes armazenados
- Cota do NPA, admitindo-se que o encaixe da cheia de projeto é totalmente feito acima do NPA (princípio de que a cheia ocorre com a albufeira na sua máxima capacidade)
- Características dos órgãos de descarga (curvas de vazão do descarregador)
- Regras de operação dos órgãos de descarga

Foi então desenvolvido o procedimento de cálculo, passo a passo, para aplicação da equação de balanço hídrico na albufeira em cada intervalo de tempo da análise (neste caso 1 hora).

Condições iniciais:		$N_{alb.inicial} =$	1512.2 (= NPA)		$Q_{max\ desc}$	$V_{alb\ max}$	$N_{alb\ max}$
Passo de cálculo:		$dT =$	1 h		2 990.2	870.6	1 517.5

											Vol Encaixe cheias =		375.9
[01]	[02]	[03]	[04]	[05]	[06]	[07]	[08]	[09]	[10]	[11]	[12]		
Tempo		$N_{alb.inicial}$	$V_{arm.inicial}$	$Q_{afluente}$	$V_{afluente}$	$V_{arm.aux}$	$N_{alb.aux}$	$Q_{descarregado}$	$V_{descarregado}$	$V_{arm.final}$	$N_{alb.final}$		
(horas)	(dias)	(m)	(hm^3)	(m^3/s)	(hm^3)	(hm^3)	(m)	(m^3/s)	(hm^3)	(hm^3)	(m)		
0.0	0.00	1 512.20	494.7	0	0.0	494.7	1 512.20	0.0	0.0	494.7	1 512.20		
1.0	0.04	1 512.20	494.7	2	0.0	494.7	1 512.20	0.0	0.0	494.7	1 512.20		
2.0	0.08	1 512.20	494.7	4	0.0	494.7	1 512.20	0.0	0.0	494.7	1 512.20		
3.0	0.13	1 512.20	494.7	6	0.0	494.8	1 512.20	0.0	0.0	494.8	1 512.20		

Em resultado do desenvolvimento do modelo foi obtido o nível máximo atingido na albufeira e o correspondente volume de encaixe de cheias.

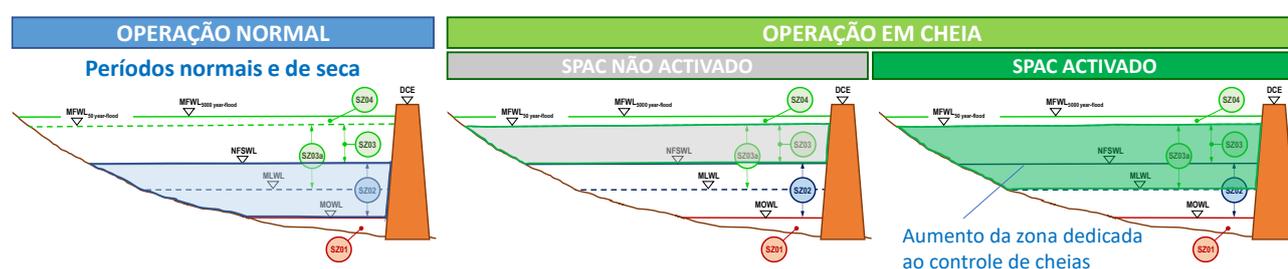
No final da aula 23 foi disponibilizado o ficheiro com o modelo de amortecimento final.

A componente dedicada ao dimensionamento e exploração de albufeiras foi concluída no início da **aula 24**, com a apresentação dos conceitos e procedimentos para a integração de um **módulo de produção de energia nos modelos de simulação**.

Ao longo das diversas aulas dedicadas aos modelos de simulação foram também sendo referidas as potencialidades dos mesmos para aplicação em fase de operação dos sistemas e para a otimização da exploração das albufeiras.

3.2.4.3 Gestão integrada de albufeiras

Posteriormente, a **aula 24** foi dedicada à componente de **gestão integrada de albufeiras**. Em particular foram apresentados os conceitos essenciais para a utilização de albufeiras para **gestão integrada de cheias e secas** numa única infra-estrutura, tendo em consideração o conflito entre estes dois fins. Foi dado particular ênfase ao potencial da utilização de **Sistemas de Previsão e Alerta de Cheias** como medida não infra-estrutural de optimização do dimensionamento e da exploração dos sistemas. Foram apresentados os critérios de dimensionamento e as regras genéricas de operação para este tipo de situações.



De seguida procedeu-se à apresentação do caso da barragem de Mapai no rio Limpopo, em Moçambique, destinada a criar resiliência climática na região, através do combate, de forma integrada, da problemática das secas (armazenamento de água para consumo humano e para o desenvolvimento económico da região, essencialmente através da irrigação) e das cheias no vale do Limpopo. O empreendimento permite ainda a produção de energia, considerada neste caso como utilização secundária.

Este exemplo de aplicação permitiu ilustrar a utilização e incorporação de diversos processos e métodos de análise apresentados no decurso das diversas aulas dedicadas ao tema das albufeiras.

3.3 MÓDULO 3

3.3.1 Programa do Módulo 3

Este módulo de formação visou de forma geral fornecer e consolidar aos formandos os fundamentos do Planeamento e Gestão de Recursos Hídricos e promover a aplicação prática dos conhecimentos teóricos adquiridos pela realização de exercícios em Excel em todas as aulas teóricas e a aplicação do modelo precipitação-escoamento WRSM200/Pitman à

bacia do rio Keve para avaliação dos impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos (usando como ponto de partida o esquema e calibração desenvolvidos no módulo 2).

No Quadro 3.1 apresenta-se o Programa do Módulo de Formação 3, com indicação do dia de realização de cada aula, durações estimadas para a parte teórica e prática e o formador da aula.

Quadro 3.3 – Programa do Módulo de Formação 3 – Planeamento e Gestão do Módulo 3

Programa	Dia/mês	Teóricas	Práticas	Formador
1ª semana:				
Sub-Módulo 3.1 – Planeamento e Gestão de Recursos Hídricos. Princípios da Gestão Integrada de Recursos Hídricos. Definições e enquadramento histórico. Principais funções da Gestão Integrada dos Recursos Hídricos. Monitorização dos Recursos Hídricos. Controlo de poluição. Atribuição de Direitos de Utilização da Água. Gestão de cheias e de secas. Gestão económica. Gestão da informação. Envolvimento das partes interessadas.	8/Jan	3,0 h	-	Cruz Morais
2ª semana:				
Necessidades de água urbana. Introdução. Período de projeto. Projeções demográficas. Pedidos domésticos. Distâncias de serviço e concentração de utilizadores. Pedidos de instituições educativas e de saúde. Pedidos industriais e outros usos comerciais. Água não contabilizada. Perda no sistema de tratamento. Padrões de pedido de água e fatores de pico. Áreas rurais. Padrões de consumo. Resolução de um problema prático em excel: cálculo de um pedido urbano.	11/Jan	2,0 h	1,0 h	Cruz Morais
Necessidades de água para rega. Introdução. Definição. Características. Processo de cálculo das necessidades de rega. Resolução de um problema prático em excel: necessidades de rega.	12/Jan	1,5 h	1,5 h	
Disponibilidades de água. Níveis de garantia. Origens e usos de água: precipitação natural, água superficial em rios, água superficial em lagos ou albufeiras. Água subterrânea. Reutilização de água. Dessalinização. Extração da humidade do ar. Captação de água da chuva. Captação a fio de água. Captação em albufeira. Garantia de fornecimento. Resolução de um problema prático em excel sobre garantias de fornecimento.	14/Jan	2,0 h	1,0 h	
Balço Hídrico. Optimização de albufeiras e adutores. Optimização. Programação linear. Balço Hídrico. Início da resolução de um problema prático em excel sobre programação linear.	15/Jan	2,0 h	1,0 h	
3ª semana:				
Problemas ambientais. Poluição e Qualidade da Água. Métodos de cálculo de caudais ecológicos: métodos hidrológicos (Método do Caudal Base, de Tennant e o método INAG, métodos hidráulicos (método incremental IFIM), métodos de classificação de	18/Jan	1,5 h	1,5 h	Cruz Morais

Programa	Dia/mês	Teóricas	Práticas	Formador
habitat e métodos holísticos. Problemas ambientais causados pelos usos da água e outras actividades. Continuação da resolução do problema sobre programação linear e resolução de um problema de simulação da exploração de uma albufeira.				
Sub-Módulo 3.2 – Cheias e Secas, Obras hidráulicas. Desenvolvimento Social e Normas. Gestão de cheias. Definição. Características das cheias e das inundações. Período de retorno, probabilidade de ocorrência. Cálculo de caudais de ponta de cheia. Consequências das cheias. As cheias em meios urbanos. Minimização de efeitos das cheias – medidas corretivas e medidas futuras. Cheias rurais. Gestão dos riscos de inundação. Acções nas zonas inundáveis.	19/Jan	3,0 h	-	
Gestão de Secas. Definição. Principais diferenças entre cheias e secas. A seca como um risco natural. Características e definição das secas. Tipos de secas. Impactos das secas. Preparação e Mitigação de Secas. Alternativas de gestão durante a seca. Secas e alterações climáticas. Métodos de quantificação das secas. Índices de secas. Resolução de um problema sobre amortecimento de cheias resolvido na aula.	21/Jan	2,0 h	1,0 h	
Gestão dos Usos de Água. Obras hidráulicas. Escassez dos Recursos Hídricos. Quantidades de água existente. Principais causas da “crise” da água. Metodologias e propostas para solução e prioridades. Água na Agricultura. A água e a economia regional e nacional. A água e as mudanças climáticas. A água e a produção de energia. Cobrança da água. Estruturas Hidráulicas. Barragens. Órgãos hidráulicos. Sistemas de adução.	22/Jan	3,0 h	-	
4ª semana:				
Desenvolvimento económico e social. Economia da água. A importância dos instrumentos económicos e financeiros na Gestão Integrada dos Recursos Hídricos. Dos problemas relacionados com a água aos instrumentos económicos e financeiros. A importância das instituições. Políticas de gestão, uso e financiamento de recursos hídricos. Financiamento de Recursos Hídricos.	25/Jan	3,0 h	-	
Medidas para recuperação dos Recursos Hídricos. Normas e Governança da Água. Reutilização da água. Legislação sobre reutilização da água em Portugal. Reutilização urbana para usos industriais. Reutilização para irrigação agrícola. Reutilização para consumo humano. Quadro Institucional e Legal da Água em Angola. Princípios da estruturação e conformação institucional. Unidade territorial em termos de governança. Enquadramento Legal dos Serviços de Água e	26/Jan	3,0 h	-	Cruz Morais

Programa	Dia/mês	Teóricas	Práticas	Formador
Regimes de Exercício da Actividade. Reformas de governança. Modelos de Gestão.				
Aula prática. Problema de otimização com recurso à programação linear. Problema de dimensionamento e otimização de infra-estruturas.	27/Jan	-	3,0 h	
Apresentação do Sub-Módulo 3.3 Alterações Climáticas: - Modelos e Cenários climáticos - Cenários e projecções para Angola	28/Jan	3,0 h	-	
Avaliação dos impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos. Utilização do modelo WRSM/Pitman. Caso de estudo – bacia do rio Keve - Analisar as anomalias projectadas para a bacia do rio Keve (Alto Hama, Wako Kungo, Cachoeira de Binga) - Alteração dos ficheiros de precipitação - Alteração dos valores de evaporação	29/Jan	0,5 h	-	Maria João Calejo
5ª semana:				
Avaliação dos impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos. Utilização do modelo WRSM/Pitman. Caso de estudo – bacia do rio Keve - Cálculo da evapotranspiração de referencia, cálculo das anomalias e alteração dos valores da evaporação do modelo WRSM2000 da bacia do rio Keve de acordo com as anomalias obtidas para a evapotranspiração - Alteração dos valores da precipitação das bacias hidrográficas do Rio Keve de acordo com anomalias obtidas no exercício 1.	1/Fev	0,5 h	2,5 h	
Avaliação dos impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos. Utilização do modelo WRSM/Pitman. Caso de estudo – bacia do rio Keve - Simulação da bacia do Rio Keve para as projecções das alterações climáticas - Comparação dos escoamentos projectados para os horizontes futuros com os escoamento das situação de referência. Cálculo das anomalias	2/Fev	1,0 h	2,0 h	Maria João Calejo
Bases de dados e gestão da informação - Dados, informação e conhecimento - Sistemas de Informação - Bases de dados - Gestão da Informação	3/Fev	3,0 h	-	
6ª semana:				
Bases de dados geográficas Bases de dados geográficas e Sistemas de Informação Geográfica. Métodos e tecnologias para recolha de informação geográfica. Recolha de informação de elevação do terreno por satélite. Recolha da informação de outros dados de observação da terra. Recolha de informação de precipitação por satélite. Aplicações de Sistemas de	8/Fev	3,0 h	-	Pedro F. Santos

Programa	Dia/mês	Teóricas	Práticas	Formador
Informação Geográfica. Delineamento de bacias e linhas de água. Exemplos de aplicação.				
Sub-Módulo 3.4 – Modelos de Planeamento e Apoio à Decisão. Participação de Stakeholders. Modelos de planeamento e apoio à decisão: Enquadramento; tipos de modelos; Exemplos	9/Fev	3,0 h	-	Júlio Arsénio
Planos de Recursos Hídricos - Objetivos e faseamento. - Caracterização da situação de referência. - Cenários de Desenvolvimento. - Planos de Investimentos e Estratégia de Desenvolvimento dos RH.	10/Fev	3,0 h	-	
Análise financeira e valorização económica dos recursos hídricos: - Conceitos teóricos gerais. - Montagem de modelo e exercícios práticos.	11/Fev	1,5 h	1,5 h	
Análise multicritério: - Formulação e metodologia - Exemplos - Exercício prático	12/Fev	1,5 h	1,5 h	
7ª semana				
12 Fevereiro: envio do Teste e da Ficha de Avaliação do Módulo 3 aos formandos.				
Análise multicritério (continuação): - Formulação e metodologia - Exemplos - Exercício prático	17/Fev	-	3,0 h	Júlio Arsénio
Participação das partes interessadas (Stakeholders) na gestão dos recursos hídricos.	18/Fev	3,0 h	-	Alexandra Cardoso
Aula adicional sobre Análise Financeira	19/Fev	-	3,0 h	Júlio Arsénio
No dia 12 de Abril realizou-se a última aula com as seguintes actividades:				
Correcção do teste. Esclarecimento de dúvidas. Partilha de experiências relativas ao Módulo 3.	12/Abr	-	3,0 h	Cruz Morais Maria João Calejo Júlio Arsénio

Duração total do Módulo de Formação 3: 26 dias úteis

3.3.2 Sub-Módulo 3.1 – Planeamento e Gestão de Recursos Hídricos

Este sub-módulo pretendeu introduzir o conceito integração na gestão e planeamento dos recursos hídricos, tomando em consideração em cada momentos do processo de estudo e de decisão das diferentes vertentes de cada problema, nomeadamente os aspectos técnicos, económicos, sociais e ambientais.

Este submódulo compreendeu seis aulas, cada uma das quais associada a um tema. Os temas considerados foram os seguintes:

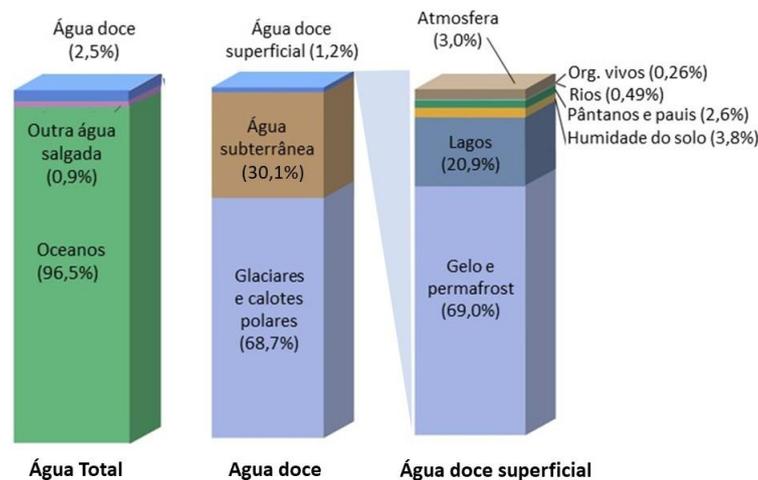
1. Princípios da Gestão Integrada de Recursos Hídricos
2. Necessidades de água urbana
3. Necessidades de água para rega
4. Disponibilidades de água. Níveis de garantia.

5. Balanço hídrico. Optimização. Programação Linear

6. Problemas Ambientais. Poluição e Qualidade da Água. Resolução de problemas

3.3.2.1 Princípios da Gestão Integrada de Recursos Hídricos (1ª aula)

Nesta primeira aula abordou-se a questão da disponibilidade finita de água no planeta – principalmente a água doce facilmente acessível – o que justifica a necessidade da sua gestão cuidada, principalmente em áreas onde ela é mais escassa em termos quantitativos e qualitativos.



Quantidades relativas da água disponível no planeta

A gestão integrada dos recursos hídricos é uma necessidade originada pela complexidade das interações entre as diversas utilizações da água e as consequências sociais, económicas e ambientais que delas decorrem.

Seguidamente fez-se um breve resumo da evolução da gestão pública dos recursos hídricos, desde a antiguidade clássica, passando pelas crises geradas e resolvidas no âmbito da revolução industrial, até à expansão dos usos no decurso do século XX, essencialmente baseada em conceitos tecnológicos, até se chegar finalmente aos conceitos de gestão integrada que são de aplicação tendencialmente generalizada nos dias de hoje.

Pode resumir-se a questão, referindo que a gestão integrada de recursos hídricos pretende:

1. Assegurar água suficiente para satisfazer as várias necessidades e ajustar as necessidades às disponibilidades.
2. Proteger a sociedade de desastres naturais ou causados pelo homem, designadamente cheias, secas e poluição accidental, prevenindo ou mitigando as suas consequências.
3. Garantir a longo prazo as origens da água, especialmente através da preservação e melhoria da qualidade das massas de água e dos ecossistemas delas dependentes.

Seguiu-se uma abordagem geral de cada uma das principais funções da gestão integrada dos recursos hídricos:

- monitorização dos recursos hídricos;
- controlo da poluição;
- atribuição de direitos de utilização da água e caudais ecológicos;
- gestão de cheias e secas;

- gestão económica;
- gestão da informação;
- envolvimento das partes interessadas;
- planeamento dos recursos hídricos.

3.3.2.2 Necessidades de água urbana (2ª aula)

Nesta aula abordaram-se os aspectos quantitativos e qualitativos relativos às necessidades de água (urbana, industrial e agrícola) bem com das disponibilidades de águas superficial e subterrânea.

Em termos de necessidades de água consideraram-se os diferentes factores que influenciam a evolução desse parâmetro, nomeadamente a evolução demográfica e a evolução das capitações impostas pelo objectivo de melhoria generalizada das condições de vida temperado com a evolução tecnológica que permite a aplicação generalizada de técnicas menos exigentes em termos de quantidades de água.

Em termos demográficos, focou-se em particular o contexto angolano, o qual apresenta por si só um significativo desafio em termos de evolução das necessidades de água. De facto, as estimativas mais recentes apontam para uma evolução dos actuais 33 milhões de habitantes para cerca de 188 milhões no final do corrente século. Esta mais que quintuplicação da população imporá evidentemente um forte aumento das necessidades de água num país em que a água, sendo globalmente abundante, está irregularmente distribuída em termos temporais e espaciais.

Em relação às necessidades de água para abastecimento, foram seguidamente analisadas as capitações geralmente consideradas em função do tipo de habitação e da dimensão dos aglomerados, seguindo em parte as recomendações da OMS. Para além das capitações, foram ainda consideradas as distâncias de serviço recomendadas para situações de abastecimento público não residencial.

Foram ainda consideradas as dotações a considerar para instituições públicas diversas (escolas, instituições de saúde, comércio e micro indústria). As necessidades de água industrial para indústrias de maior dimensão foram consideradas separadamente.

Foram ainda considerados aspectos relevantes no dimensionamento das redes de abastecimento, nomeadamente as perdas nos sistemas de tratamento, transporte e distribuição, bem como os factores de ponta mensais, diários e horários e ainda os aspectos relacionados genericamente com a água não contabilizada.

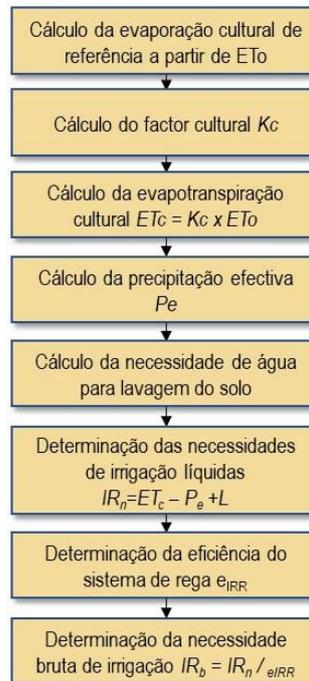
Concluiu-se a aula com a resolução de um problema ligado ao cálculo do pedido urbano de uma pequena povoação localizada no Planalto, com uma população actual de 750 habitantes.

3.3.2.3 Necessidades de água para rega (3ª aula)

Nesta aula abordou-se a problemática das necessidades de água para rega, tendo-se realçado a sua importância relativa, na medida em que mais de 70% das necessidades de água mundiais se referem a usos agrícolas.

Introduziu-se o conceito de balanço de água no solo entre as entradas de água (chuva e rega) e as perdas por evapotranspiração e infiltração.

Analisou-se a metodologia que permite calcular as necessidades de água para rega de uma qualquer culturas, seguindo a seguinte sequência:



Sequência de cálculo das necessidades de rega

Para cada um destes passos, apresentou-se uma metodologia de cálculo aplicável a Angola.

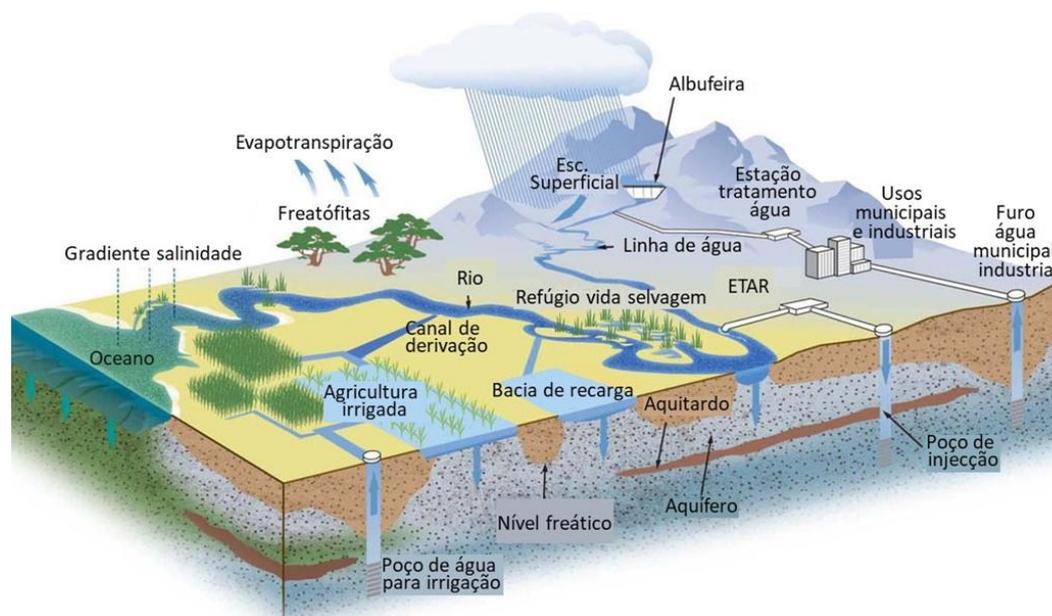
de aplicação Nesta aula abordou-se a problemática das necessidades de água para rega, tendo-se realçado a sua importância relativa, na medida em que mais de 70% das necessidades de água mundiais se referem a usos agrícolas.

Concluiu-se a aula com a resolução de um problema específico de cálculo das necessidades de água de uma determinada cultura, na zona do Huambo, tendo em conta as características climáticas, o tipo de cultura (milho) e o método de aplicação da água.

3.3.2.4 Disponibilidades de água. Níveis de garantia (4ª aula)

São abordadas nesta aula as diferentes origens de água disponíveis numa dada região:

- Precipitação natural
- Água superficial em rios
- Água superficial em lagos e albufeiras
- Água subterrânea (em furos ou nascentes)
- Reutilização de águas
- Outras origens (dessalinização, colheita de neveiro, etc.)



Origens e usos de água numa bacia

Cada uma das origens referidas foi de seguida caracterizada em termos de quantidade, qualidade, estabilidade e facilidade e custos de utilização.

Procedeu-se de seguida à caracterização da forma de dimensionar três tipos de captações de água em função das necessidades, nomeadamente, colheita de água da chuva caída em telhados,, dimensionamento de tomadas de água superficial a fio de água e dimensionamento de sistemas de captação baseados em albufeiras.

Em relação à capacidade de regularização de albufeiras foi apresentada uma expressão empírica que permite estimar o valor que pode ser fornecido anualmente com garantia de fornecimento de 80%:

$$Cap = \frac{Vreg \times (Afl \times (1 + Kev \times Cv) - Vreg)}{2 \times (Afl - Vreg)}$$

Na qual:

- *Cap* – capacidade útil de armazenamento da albufeira (hm³)
- *Afl* – afluência anual média (hm³)
- *Cv* – Coeficiente de variação do escoamento anual (-)
- *Kev* – Coeficiente de correcção da evaporação líquida
- (1 – ev. fraca; 1,5 – ev. média 2 – ev. elevada)
- *Vreg* – Volume anual regularizado

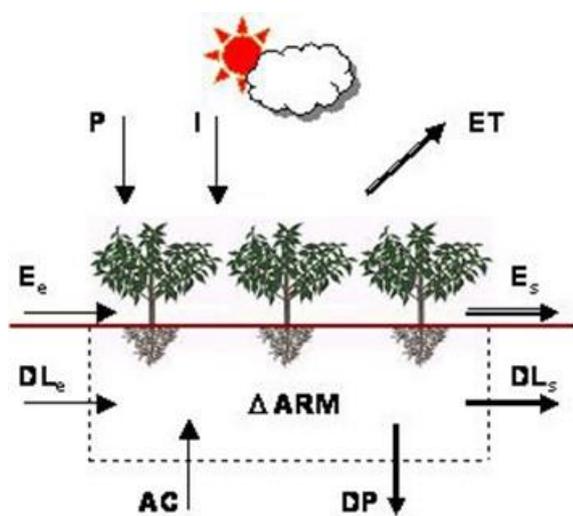
Foi igualmente apresentado e fornecido um programa simples de computador que permite simular a exploração a nível mensal de uma pequena albufeira

3.3.2.5 Balanço Hídrico. Otimização de albufeiras e adutores (5ª aula)

Balanço Hídrico

Foram introduzidos os conceitos básicos que definem o balanço hídrico e explicados os entornos actuais em termos da sua aplicação preferencial.

Pode definir-se o balanço hídrico como sendo o cálculo numérico que contabiliza as entradas, saídas e as mudanças no volume de água armazenada nos vários componentes (por exemplo, reservatório, rio, aquífero) do ciclo hidrológico, dentro de uma unidade hidrológica especificada (por exemplo, uma bacia hidrográfica) e durante uma unidade de tempo especificada (por exemplo, durante um mês ou um ano), ocorrendo naturalmente e como resultado das abstrações e retornos de água induzidos pelo Homem.



- P* - Precipitação
- I* - Irradiação solar
- E* - Escoamento superficial
- E_e* - entrada
- E_s* - saída
- DL* - Drenagem lateral
- DL_e* - entrada
- DL_s* - saída
- ARM* - Armazenamento
- AC* - Ascensão capilar
- DP* - Drenagem profunda

$$\text{Volume entrado} - \text{Volume saído} = \text{Variação armazenamento}$$

A aplicação de balanços hídricos, permite:

- Compreender melhor se os recursos hídricos estão “em risco quantitativo” - ou não e a diferença em relação a uma situação equilibrada que deve ser remediada.
- Apoiar a identificação de situações de seca e de escassez de água
- Contribuir para o desenvolvimento de um conhecimento comum (à escala da nacional ou continental) com dados coerentes, comparáveis e harmonizados e um entendimento comum das avaliações relevantes ao aplicar balanços hídricos no âmbito de uma estrutura consistente
- Ter uma boa visão geral da variabilidade espacial e temporal dos recursos hídricos, no presente e no sob condições futuras (elaboração de cenários) a fim de projetar, identificar ou preencher as lacunas de esquemas de alocação apropriados.
- Identificar as zonas de actuação prioritárias, seja identificando áreas onde a ação é necessária devido à stress hídrico actual ou futuro, reduzindo a abstração por um determinado uso, focando no escoamento superficial, aumentando o armazenamento, desenvolvendo a reutilização, etc.) ao selecionar as medidas a aplicar para melhorar o estado quantitativo dos recursos hídricos.

Num sistema sem entradas externas de bacias vizinhas, a água entra no sistema via precipitação (P), convertida em evaporação (ET) e/ou escoamento (Esc) (de superfície, subsuperfície ou subterrânea) e armazenamento associado (Arm) ou mudança no armazenamento ΔArm durante o período de tempo investigado, conforme expresso na seguinte equação geral:

$$P = Esc + ET \pm \Delta Arm$$

Os balanços hídricos estão em fase de implementação generalizada, nomeadamente na Europa, embora ainda não cubra a totalidade da sua área de aplicação potencial.

Optimização

Foram introduzido os conceitos básicos e os objectivos dos métodos de optimização. O principal objectivo destes métodos é definir o valor que deverão assumir as variáveis principais de um sistema (por exemplo a capacidade de armazenamento de uma albufeira) de forma a satisfazer determinados objectivos (volume anual de água a fornecer, por exemplo) da forma mais económica possível.

Foram abordados os princípios da optimização matemática (programação linear) e comparados com o método de busca sucessiva com recurso a modelos de simulação.

Foram estruturados e resolvidos alguns problemas de programação linear no âmbito da engenharia e da hidráulica.

3.3.2.6 Problemas ambientais. Poluição e Qualidade da Água (6ª aula)

Nesta última aula do submódulo foram abordados os efeitos dos usos humanos dos recursos hídricos: redução da caudal nos rios e redução da qualidade da água.

Foi introduzido e definido o conceito de caudal ecológico e caracterizada a evolução da sua definição ao longo do tempo.



Evolução das influências principais na definição das estruturas hidráulicas

Foram finalmente apresentados os principais métodos de cálculo dos caudais ecológicos, agrupados nas seguintes quatro distintas categorias:

- Hidrológicos;
- Hidráulicos;

- de classificação de habitat;
- holísticos.

Foram finalmente dados alguns exemplos práticos, utilizando os métodos de Tennant, IFIM e do INAG.

3.3.3 Sub-Módulo 3.2 – Cheias e Secas, Obras Hidráulicas. Desenvolvimento Social e Normas.

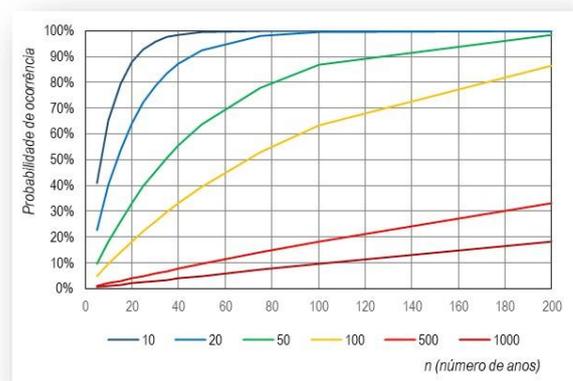
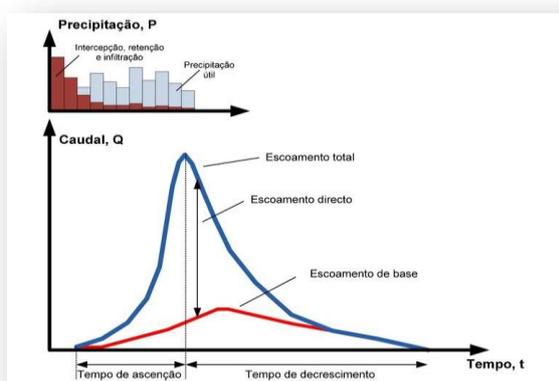
Este sub-módulo compreendeu seis aulas, cada uma das quais associada a um tema. Os temas considerados foram os seguintes:

1. Gestão de cheias
2. Gestão de secas
3. Gestão dos Usos da Água. Obras Hidráulicas
4. Desenvolvimento económico e social. Economia da água
5. Medidas para recuperação dos Recursos Hídricos. Normas e Governança da Água
6. Aula prática

3.3.3.1 Gestão de cheias (7ª aula)

Na primeira aula do Sub-Módulo 3.2 foram apresentadas as definições de cheias e de secas, assim como as principais características de ambos os fenómenos.

Relativamente ao fenómeno de cheias, alvo da 7ª aula do Módulo 3, foram introduzidos os conceitos de período de retorno, probabilidade de ocorrência, tempo de concentração, tempo de subida, tempo de descida, caudal de ponta e volume total. Foram também descritos os métodos geralmente utilizados no cálculo dos caudais de ponta de cheia, nomeadamente: fórmulas empíricas, métodos hidrometeorológicos (método racional, hidrograma unitário, modelo HEC-HMS, modelo IPH2), métodos estatísticos e regionalização hidrológica.



Ainda na temática das cheias, foi explicada a distinção entre o conceito de cheia e o conceito de inundação, assim como descritas as consequências das cheias, quer das cheias em meios urbanos, quer das cheias em meios rurais. Os temas relativos à prevenção das inundações, tal como a minimização dos seus efeitos, foram desenvolvidos em detalhe.



A título de exemplo, apresentam-se de seguida fotografias de zonas de retenção e de infiltração em zonas urbanas, como medidas preventivas.



No decurso da aula, foram apresentadas as bases para a gestão dos riscos de inundação e apresentadas as características das cheias e das inundações necessárias para analisar a tipologia das mesmas, tal como a dimensão ou área da bacia hidrográfica, o tipo de ocorrência meteorológica, o tipo de vale que é inundável e os fatores socioeconómicos. O conjunto destas características fornecem os elementos necessários para a gestão das inundações.

Foi mencionado, ainda no área da gestão dos riscos de inundação, que as ações sobre as zonas inundáveis podem ser divididas em quatro grupos:

1. Modificação das cheias;
2. Modificação do impacto das cheias;
3. Modificação da vulnerabilidade;
4. Gestão dos recursos naturais e culturais.

Para finalizar, foram apresentadas em detalhe ações possíveis de implementar em zonas inundáveis, tais como a construção de diques, e mais recentemente, da construção de descarregadores de diques fusíveis, medida esta que impede a rotura controlada dos diques.

3.3.3.2 Gestão de secas (8ª aula)

A 8ª aula centrou-se no aprofundamento dos conceitos associados à Gestão de Secas. A aula iniciou com a definição de secas: reduções temporárias das disponibilidades de água, devidas a precipitação insuficiente, com repercussões negativas nos ecossistemas e nas atividades socioeconómicas.

Apresentaram-se as principais diferenças entre cheias (coluna da esquerda) e secas (coluna da direita):

Bem definido, conhece-se de imediato	INICIO	Bem definido, conhece-se de imediato
Rápida	PROGRESSÃO	Lenta, às vezes <u>imperceptível</u>
Pequena – horas, dias, semanas	DURAÇÃO	Grande – semanas, meses, anos
Bem definido, conhece-se de imediato	FIM	Mal definido, só se conhece <i>a posteriori</i>
Pequena – planícies que ladeiam os rios	EXTENSÃO GEOGRÁFICA	Grandes regiões, mais do que um país

Ao longo da aula, foram apresentadas as características específicas das secas, as quais têm impedido o desenvolvimento de estimativas precisas, confiáveis e oportunas de gravidade e impactos e, em última análise, a formulação de planos eficazes de preparação para a seca.

Resumidamente, as secas diferem umas das outras em três características essenciais:

- Intensidade;
- Duração;
- Cobertura espacial.

Foi mencionado aos formandos que existem muitas perspectivas disciplinares de seca e que devido a essas visões disciplinares numerosas e diversas, existe por vezes confusão sobre o que exatamente constitui uma seca. Apesar dessas visões tão díspares, a característica principal da seca são os seus impactos negativos sobre as pessoas e o meio ambiente.

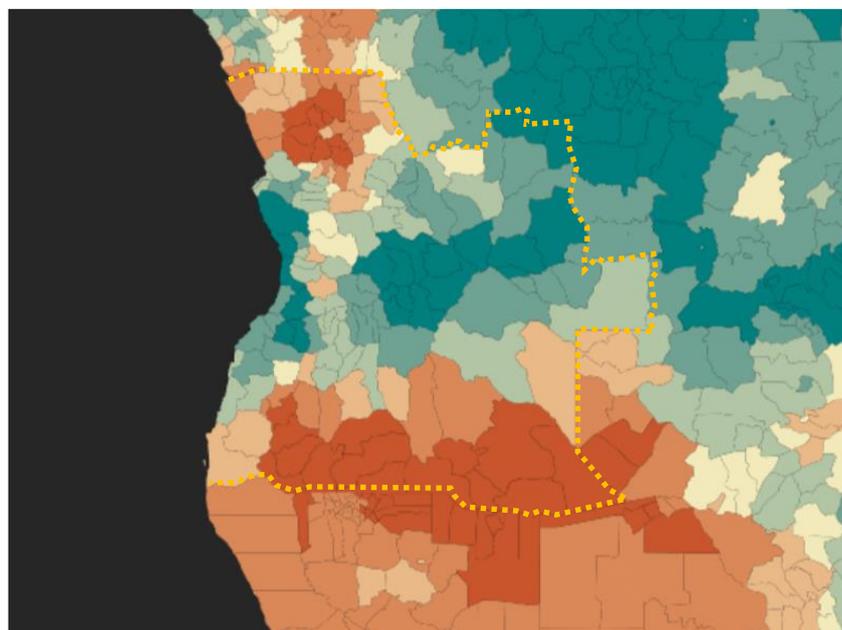
A seca normalmente é agrupada por tipo: meteorológica, hidrológica, agrícola e socioeconómica. Foi descrito cada tipo de seca

Foi referido que os impactos das secas a enfrentar podem ser classificados em um de três tipos principais:

- Económicos;
- Ambientais;
- Sociais.

Na presente aula foi desenvolvida a temática relativa à preparação e mitigação de secas e as alternativas de gestão durante a seca. Muitas das alternativas de gestão disponíveis aos fornecedores de água para se preparar e responder a eventos de seca enquadram-se em duas categorias amplas: gestão do pedido e aumento do fornecimento. Em resumo, um maior destaque pode e deve ser dado à mitigação e preparação para a seca, bem como às capacidades de previsão e alerta precoce, se a sociedade quiser reduzir os danos económicos e ambientais associados à seca e às suas adversidades pessoais. Isso exigirá cooperação interdisciplinar e um esforço colaborativo com os formuladores de políticas em todos os níveis.

Ao longo da sessão de formação foram ainda abordadas as temáticas relativas às secas e alterações climáticas, assim como aos métodos de quantificação das secas (índices de secas, métodos baseados na teoria dos chorrilhos e índice de precipitação normal padronizada - PSO). Para finalizar, foi desenvolvido um problema sobre o amortecimento de cheias.



Alteração prevista da precipitação anual em 2050 em Angola

-100mm 0mm 170mm

3.3.3.3 Gestão dos Usos de Água. Obras Hidráulicas (9ª aula)

Na 9ª aula do 3º Módulo foi desenvolvida a temática da Gestão dos Usos de Água e apresentados exemplos de obras hidráulicas que a permitem otimizar.

Gestão dos Usos de Água

O principal objetivo da Gestão dos Usos da Água visa esclarecer a questão sobre a melhor forma de repartir e utilizar os recursos hídricos nos dias de hoje, ressaltando desde o problema da escassez até ao uso dos referidos instrumentos de gestão em âmbito local.

Uma correta Gestão dos Usos da Água reveste-se assim de particular importância dada a mencionada escassez dos Recursos Hídricos, sendo que a Organização Mundial da Saúde (OMS) prevê que, dentro de algumas décadas a água doce seja o recurso natural mais escasso e disputado pela maioria dos países.

Em condições de uso fácil, não existem apenas cerca de **100 000** milhões de m³ por ano, ou seja, 0,01% do total de água do planeta ou seja 13 500 m³ por ano por cada habitante do planeta.

Aproximadamente 97,5% da água existente no planeta é salgada e somente 2,5% é doce.

Dentre esses 2,5%, somente 0,5% estão disponíveis para suprir as necessidades do ser humano.

Os últimos relatórios do Instituto Mundial de Recursos do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente apontam para a redução do volume disponível de água e para os efeitos dos seus usos múltiplos, o que dá início aos conflitos pelo seu uso. Além disso, o fato de a distribuição da água mundial ser desigual contribui e muito para a preocupação com os recursos hídricos. Foi mencionado também, no decorrer da aula, que o fenómeno da escassez dos recursos hídricos não é atributo exclusivo das regiões áridas e semiáridas.

Quantidades de água existente no planeta Terra:

Origem	Volume (km ³)	% água doce	% água total	m ³ /habit
Oceanos	1 338 000 000	--	96.54	178 400 000
Calotes polares e glaciares	24 064 000	68.7	1.74	3 208 533
Água Subterrânea	23 400 000	--	1.69	3 120 000
<i>Água Doce</i>	<i>10 530 000</i>	<i>30.1</i>	<i>0.76</i>	<i>1 404 000</i>
<i>Água salgada</i>	<i>12 870 000</i>	<i>--</i>	<i>0.93</i>	<i>1 716 000</i>
Humidade do solo	16 500	0.05	0.001	2 200
Solo gelado (Permafrost)	300 000	0.86	0.022	40 000
Lagos	176 400	--	0.013	23 520
<i>Água Doce</i>	<i>91 000</i>	<i>0.26</i>	<i>0.007</i>	<i>12 133</i>
<i>Água salgada</i>	<i>85 400</i>	<i>--</i>	<i>0.006</i>	<i>11 387</i>
Atmosfera	12 900	0.04	0.001	1 720
Pantanos	11 470	0.03	0.0008	1 529
Rios	2 120	0.006	0.0002	283
<u>Água Biológica</u>	1 120	0.003	0.0001	149

Na sequência da aula foram apresentadas as principais causas da “crise” da água, nomeadamente:

- Intensa urbanização, aumentando a procura pela água, ampliando a descarga de recursos hídricos contaminados e com grandes pedidos de água para abastecimento e desenvolvimento económico e social.
- Stress e escassez de água em muitas regiões do planeta em razão das alterações na disponibilidade e aumento de demanda.
- Infra-estrutura pobre e em estado crítico, em muitas áreas urbanas com até 30% de perdas na rede após o tratamento das águas.
- Problemas de stress e escassez em razão de mudanças globais com eventos hidrológicos extremos aumentando a vulnerabilidade da população humana e comprometendo a segurança alimentar (chuvas intensas e período intensos de seca).
- Problemas na falta de articulação e falta de acções consistentes na governabilidade de recursos hídricos e na sustentabilidade ambiental.

Sendo que estes problemas contribuem para:

- Aumento e exacerbação das fontes de contaminação.
- A alteração das fontes de recursos hídricos com escassez e diminuição da disponibilidade.
- Aumento da vulnerabilidade da população devido à contaminação e dificuldade de acesso à água de boa qualidade (potável e tratada).

Foram assim apresentadas possíveis abordagens e projectos que podem promover uma profunda alteração na gestão das águas e no preparo e aplicação de soluções criativas e de custo adequado.

No âmbito da grande temática da Gestão dos Usos da Água, foram também abordados e desenvolvidos os seguintes temas:

- Água na Agricultura;

- Água e a economia regional e nacional;
- A água e as mudanças climáticas;
- A água e a produção de energia;
- Cobrança da água.

Obras Hidráulicas - Barragens

Podem-se considerar dois tipos principais de barragens:

- Barragens de aterro;
- Barragens de alvenaria;

Entre as barragens de aterro, podemos considerar como variantes, as barragens de terra e as de enrocamento. As barragens de alvenaria podem ser de betão ou de alvenaria de pedra. As barragens de betão podem ser de perfil gravidade ou em arco.



Barragem de Terra

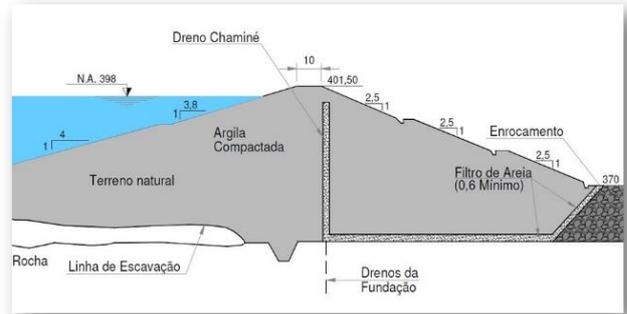


Barragem de enrocamento

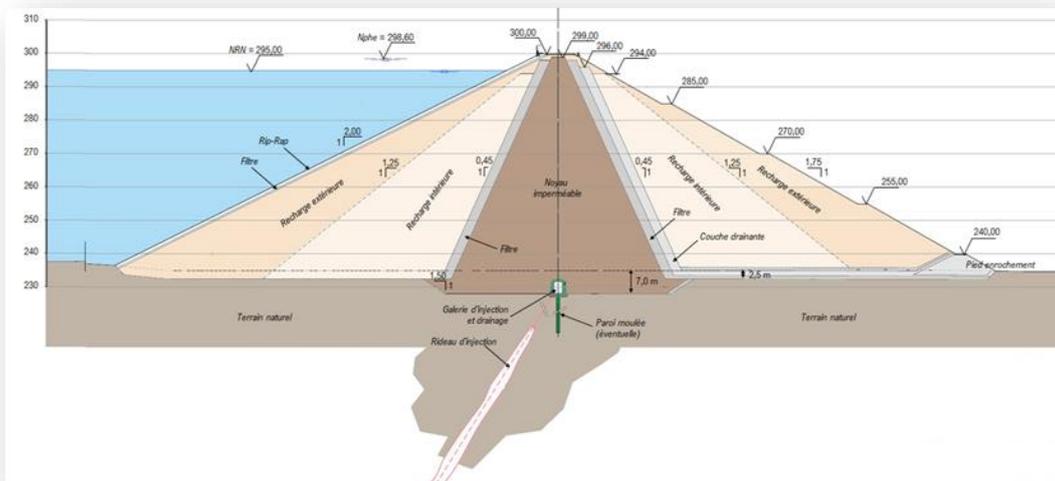
Foram apresentadas aos formandos várias fotografias, desenhos e esquemas de barragens, nomeadamente de barragem de betão gravidade, barragem de betão em arco, barragem de alvenaria de pedra, barragem de aterro com núcleo argiloso, barragem de aterro homogénea, barragem de enrocamento, barragem de betão gravidade. De seguida, foram igualmente apresentados os órgãos hidráulicos das barragens: descarregador de cheias, tomada de água e descarga de fundo.



Barragem de betão com arco



Barragem de aterro homogénea



Barragem de aterro com núcleo argiloso



Barragem de alvenaria de pedra

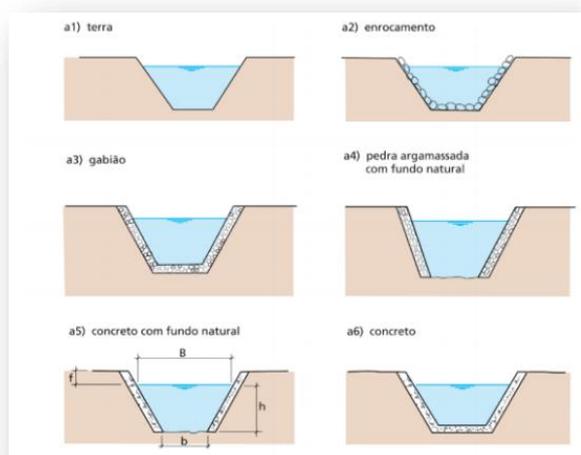


Exemplo de um descarregador de cheias

Obras Hidráulicas – Sistemas de adução

No final da aula, foram apresentados dois tipos de sistemas de adução, canais e condutas.

Canais ($V \leq 1 \text{ m/s}$)



Condutas ($V = 1 \text{ a } 2 \text{ m/s}$)



3.3.3.4 Desenvolvimento económico e social. Economia da água (10ª aula)

Na presente aula, foi evidenciada a importância dos instrumentos económicos e financeiros para a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH):

- Dada a crescente escassez da água, o seu valor económico tende a aumentar, e a utilização de instrumentos económicos, para repartir o seu uso ou consumo por setores ou grupos concorrentes, é cada vez mais importante para as sociedades;
- Os instrumentos económicos e financeiros são alternativas que podem ser utilizadas para alcançar as metas da GIRH de diferentes formas; é importante considerar que os compromissos são a eficiência, equidade e sustentabilidade;
- Sem a viabilidade financeira para projetos e decisões em recursos hídricos, a GIRH não garantirá um fluxo sustentável de benefícios para os utilizadores, uma vez que podem ser impostas restrições políticas e legais a actividades ou organizações deficitárias;
- Existe uma importante coincidência para alcançar a eficiência e as metas ambientais da Gestão Integrada do Recursos Hídricos com o uso de alguns instrumentos económicos (por exemplo, as tarifas mais elevadas da água para as actividades poluentes); assim, uma adequada utilização desses instrumentos é a chave para a GIRH;
- Há importantes complementaridades entre usar uma economia sólida e financiar instrumentos para atingir objectivos semelhantes. Por exemplo, em certas circunstâncias, tarifas mais elevadas de água garantirão uma maior eficiência na utilização com uma estrutura financeira mais adequada ou permitirão um ambiente favorável para retorno dos serviços relacionados com a água e os investimentos; e
- Os instrumentos económicos tendem a enviar sinais adequados para os produtores e consumidores sobre a crescente escassez de água (algo que é menos provável quando não são utilizadas as medidas económicas).

De um modo geral, os instrumentos económicos e financeiros aplicados na GIRH são cada vez mais importantes para a melhoria das decisões que programam a gestão das águas, não só para a actual, mas também para as gerações futuras.

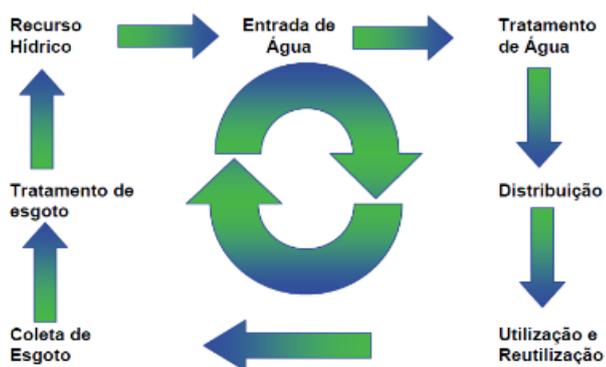
Nesta aula, o documento de referência foi o seguinte:

- Economia e Gestão Sustentável das Águas – Manual de Capacitação e Guia Prático, Março de 2008: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/sobre-girh/manual-cap-net-en-portugues-marzo-2008.pdf

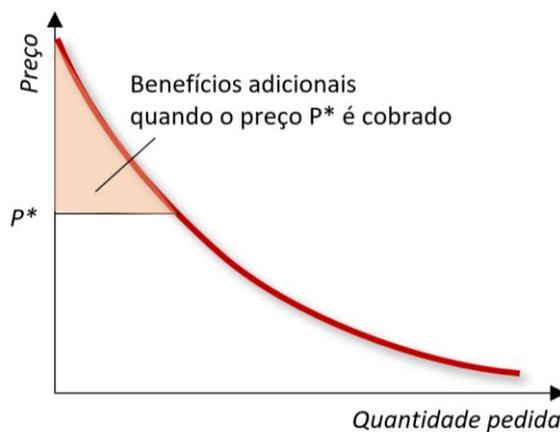
Ao longo do curso da aula, foram abordadas e desenvolvidas as seguintes temáticas:

- Dos problemas relacionados com a água aos instrumentos económicos e financeiros;
- Bem económico e social: um uso mais racional dos recursos;
- Instrumentos económicos e financeiros;
- A importância das instituições;
- Políticas de gestão, uso e financiamento de recursos hídricos;
- Introdução aos Instrumentos Económicos:
 - Valoração da água e instrumentos económicos;
 - Análise de custo-benefício e valoração de águas;
 - Instrumentos de Gestão;
 - Equilibrando gestão da oferta e gestão da procura;
 - Tipos de instrumentos económicos;
 - Objectivos da tarifação de águas;

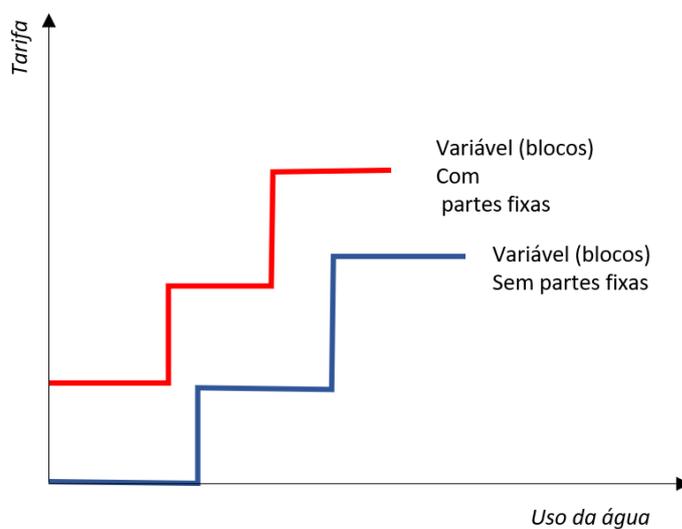
- Tipos de tarifas;
- Cobrança pela água para irrigação;
- Encargos sobre despejo de esgoto doméstico e industrial;
- Subsídios hídricos;
- Taxas sobre poluição;
- Prós e contras de instrumentos económicos;
- Instrumentos económicos e instrumentos financeiros;
- Financiamento do sector das águas;



Gestão do ciclo da água



Curva da procura



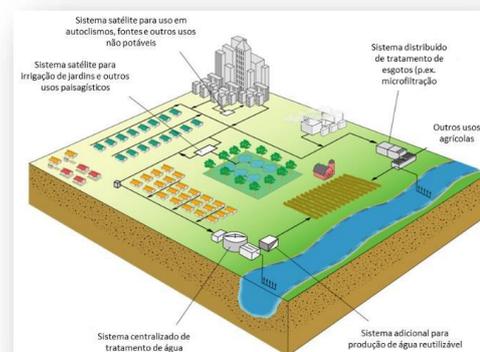
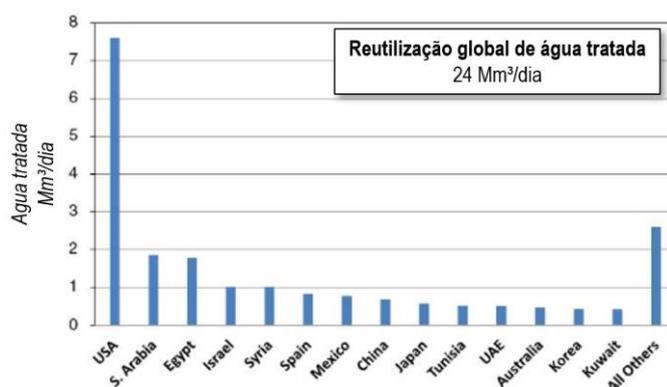
Tipos mais importantes de tarifas de águas

3.3.3.5 Medidas para recuperação dos Recursos Hídricos. Normas e Governança da Água (11ª aula)

Na 11ª aula do Sub-módulo 3.2 foram apresentadas as medidas para recuperação de recursos hídricos. Posteriormente, foi aprofundada a temáticas das normas e da governança da água.

Reutilização da água

Para fazer face à procura crescente de água, a reutilização constitui uma origem alternativa, contribuindo para o uso sustentável dos recursos hídricos, na medida em que permite a manutenção de água no ambiente e a respetiva preservação para usos futuros, salvaguardando a utilização presente, em linha com os princípios da economia circular. A utilização de água residual tratada é, aliás, um exemplo do que pode constituir uma medida de adaptação às alterações climáticas prevista no Programa de Ação para a Adaptação às Alterações Climáticas (P-3AC) e uma boa prática de gestão da água, designadamente para fazer face ao aumento da frequência e intensidade de períodos de seca e de escassez de água, permitindo assim aumentar a resiliência dos sistemas.



Foi mencionado pelo Formador que são muitas as aplicações possíveis para as águas residuais tratadas:

- Irrigação de espaços verdes e campos agrícolas;
- Combate a incêndios;
- Usos industriais;
- Sistemas de climatização;
- E até abastecimento para consumo urbano.

Apesar de haver várias aplicações possíveis, na Europa, por exemplo, a reutilização é ainda uma solução pouco explorada: 0,6% em França, 8% em Itália, 14% em Espanha. No entanto, para contrastar, a reutilização é de 80% em Israel.

No decorrer da aula, foi referido que para haver reutilização da água é necessário dispor de rede de saneamento e de estação de tratamento de águas residuais (ETAR).

Foi apresentada a legislação sobre a reutilização da água em Portugal, na vertente recirculação/reciclagem, e dados exemplos de reutilização de águas residuais urbanas e de águas residuais industriais.

São vários os países que já hoje reutilizam águas residuais tratadas para consumo humano:

- Austrália;

- Califórnia;
- Texas;
- Singapura;
- Namíbia;
- África do Sul;
- Kuwait;
- Bélgica;
- Reino Unido.

Reutilização urbana para usos industriais:

Foi dada como exemplo a província espanhola de Tarragona, localizada na costa mediterrânica, a qual tem enfrentado períodos recorrentes de falta de água. Desde 2011 que reutiliza a água residual de duas ETAR urbanas (Tarragona e Vila Seca – Salou) para abastecer o Complexo Industrial Petroquímico da região. Este abastecimento permite assim substituir a captação que era feita no rio Ebro, libertando importantes volumes de água que assim ficam disponíveis para abastecer as populações com água local.



Reutilização urbana para irrigação agrícola:

Foi referido na aula que a ETAR de Nosedo é a principal estação de tratamento de águas residuais urbanas de Milão e a maior infraestrutura da Europa a reutilizar a totalidade do seus efluente final para irrigação agrícola. Este projeto foi feito em parceria com a comunidade de agricultores daquela região e conta com uma importante vertente de digitalização tendo em vista a otimização operacional da infraestrutura.

Também no sul de França, em Gruissan, desenvolve-se desde 2010 o projeto Irri-Alt'Eau, com bons resultados na reutilização de águas residuais na micro irrigação de vinhas.

Reutilização para consumo humano:

Foi dado como exemplo de reutilização de água para consumo urbano o caso da região de Windhoek (Namíbia), região esta muito afetada por stress hídrico. As águas residuais são recicladas para garantir a continuidade do abastecimento de água às populações. Esta unidade opera há mais de 20 anos e há muito que a população - experienciando diariamente a escassez deste recurso - aceitou esta forma de reutilização.



Posteriormente, foi apresentado o Quadro Institucional e Legal da Água em Angola, o qual compreende dois subsectores, nomeadamente:

- O **Subsector de Abastecimento de Água** e Saneamento de Águas residuais;
- O **Subsector dos Recursos Hídricos**, compreende as águas superficiais e subterrâneas, com exclusão das águas marítimas e das actividades de prevenção e controlo da poluição, que se situam, respectivamente, na esfera de competências dos sectores da economia do mar e do ambiente.

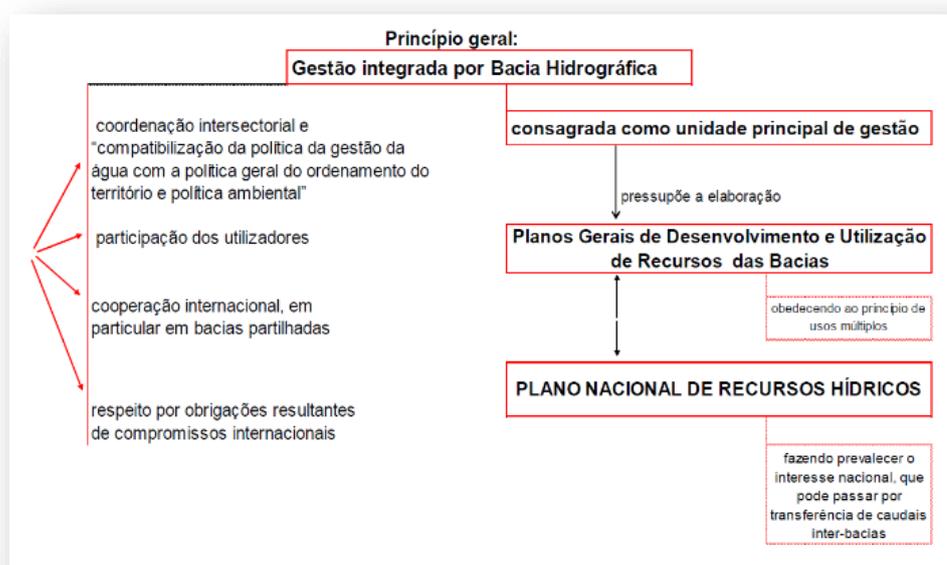
O desenvolvimento institucional do sector das águas, em Angola, tendo por base o quadro legal e os instrumentos programáticos aprovados, assenta na seguinte matriz institucional:

- Órgão da Administração central directa do Estado de Tutela das Águas;
- Órgãos de Consulta, compreendendo o Conselho Nacional de Águas e os Conselhos Regionais de Bacias Hidrográficas;
- Órgãos da Administração Indirecta do Estado, compreendendo o Instituto Nacional de Recursos Hídricos e os Gabinetes de Administração de Bacias Hidrográficas;
- Comissões Técnicas Multisectoriais de Bacias Hidrográficas Internacionais;
- Órgão de Regulação Económica no Domínio dos Serviços de Água (Instituto Regulador);
- Empresas Públicas de Água e Saneamento.

No decorrer da aula, foram abordadas e desenvolvidas as seguintes temáticas:

- Princípios da estruturação e conformação institucional;

- Unidade territorial em termos de governança;
- Quadro Institucional Existente do Sector das Águas;
- Enquadramento Legal dos Serviços de Água e Regimes de Exercício da Actividade;
- Quadro Actual da Empresarialização dos Serviços de Água;
- Pressupostos de Governança de Recursos Hídricos;
- Reformas de Governança;
- Entidades Gestoras do Sector das Águas;
- Modelos de Gestão do Sector das Águas;
- O Sistema Institucional e o acesso à água em Angola;
- A Lei de Águas e o Programa de Desenvolvimento do Sector das Águas;
- O Sistema Institucional e o Acesso à Água em Angola.



Conclusões:

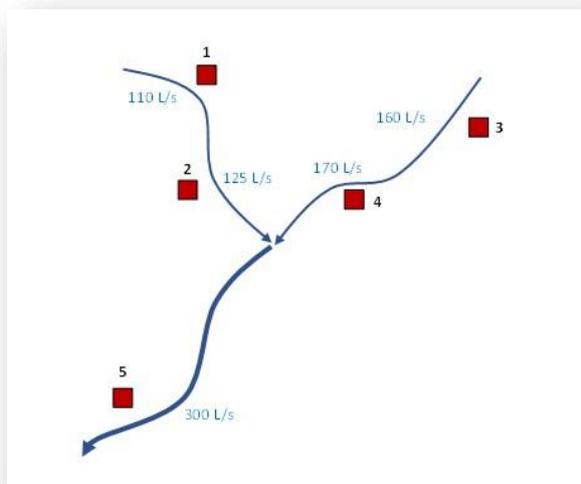
- O Quadro Normativo e Legal existente em Angola é moderno e adequado;
- A implementação do quadro normativo e legal é muito deficiente;
- A presença Institucional no terreno é incipiente;
- Daqui resulta uma gestão pouco eficiente;
- Não existe geralmente confiança entre a população e os gestores dos sistemas;
- As receitas cobradas são muito inferiores às despesas;

- Requer-se um desenvolvimento das capacidades locais de gestão e de investimento.

3.3.3.6 Aula prática (12ª aula)

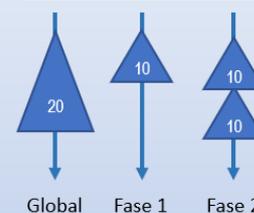
Na última aula do Sub-módulo 3.2 foram resolvidos 2 problemas:

- Otimização com recurso à programação linear;
- Dimensionamento e optimização de infra-estruturas.



Capacidade de regularização em função da capacidade da albufeira

Cap (hm ²)	Vreg (hm ² /ano)	Afl anual (hm ²)
1.29	1	20
2.67	2	20
4.15	3	20
5.75	4	20
7.50	5	20
9.43	6	20
11.58	7	20
14.00	8	20
16.77	9	20
20.00	10	20
23.83	11	20
28.50	12	20



3.3.4 Sub-Módulo 3.3 – Efeitos das Alterações Climáticas nos Recursos Hídricos e Bases de Dados

3.3.4.1 Programa do sub-módulo 3.3

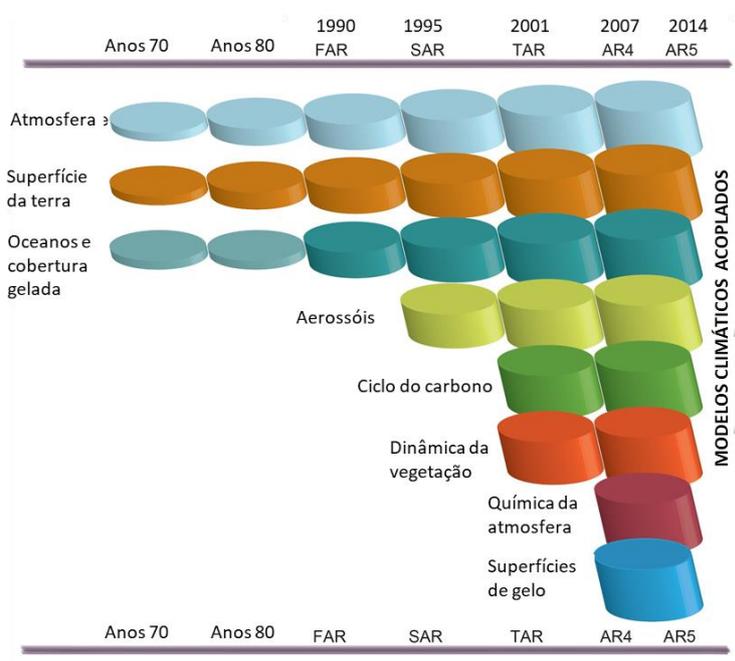
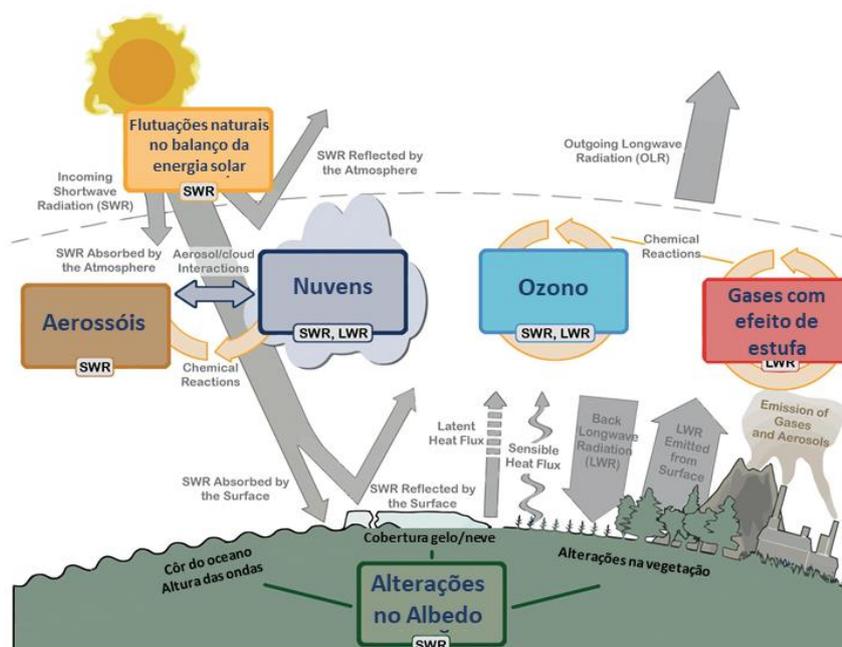
O sub-módulo 3 centrou-se na análise dos impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos e nos sistemas de gestão da informação designadamente da informação espacial determinante para os estudos, planeamento e gestão dos recursos hídricos:

- Alterações Climáticas e seus impactos nos recursos hídricos:
 - Cenários e projecções para Angola.
 - Avaliação dos impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos. Utilização do modelo WRSM/Pitman. Caso de estudo – bacia do rio Keve.
- Base de dados e gestão de informação.
- Bases de dados geográficas.

3.3.4.2 Alterações Climáticas e seus impactos nos recursos hídricos

Na primeira aula do sub-módulo 3.3 (Aula 13) foi efectuada uma breve revisão do estado de arte, em termos da complexidade dos processos simulados e da sua precisão espacial dos modelos de circulação geral acoplados oceano-atmosfera, geralmente denominados **Modelos Climáticos Globais**, como os modelos CSIRO-Mk3.5, GFDL-CM2.0, GFDL2.1, MPI,

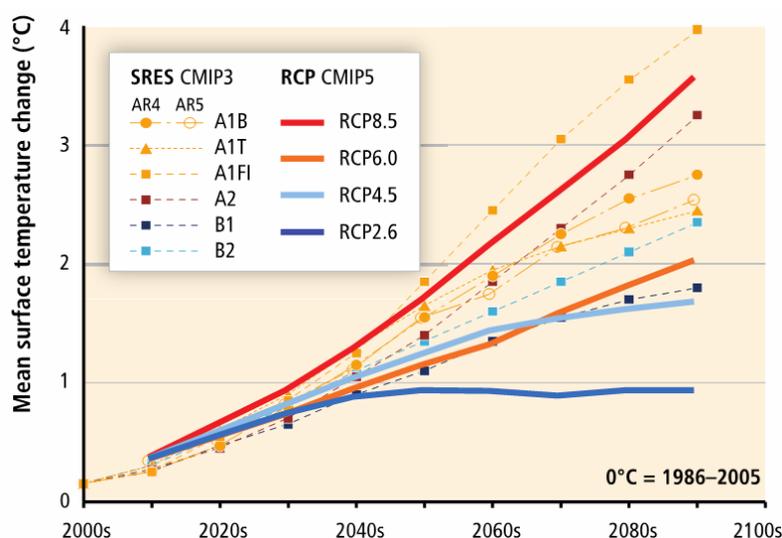
MIROC, UKMO-HadCM3, ACCESS, CCSM4, CNRM e NorESM1-M, que são usados para estudar/compreender o clima e projectar as alterações climáticas futuras.



A projecção de alterações climáticas com os Modelos Climáticos Globais baseia-se em cenários futuros, em particular sobre as emissões de gases com efeito de estufa, que resultam em concentrações de gases com efeito de estufa na atmosfera. Assim, foi analisado o conceito de **cenários** que são definidos como histórias alternativas consistentes e coerentes do futuro,

desenvolvidas para representar a dinâmica complexa e inter-relacionada do desenvolvimento demográfico, socioeconómico e tecnológico.

Numa primeira fase o Relatório Especial sobre Cenários de Emissões (SRES - Special Report on Emission Scenarios), do Painel Internacional de Mudanças Climáticas, apresentou quatro argumentos para possíveis cenários futuros (A1, A2, B1 e B2), que foram usados nos estudos climáticos futuros do Clima Global até 2013. No Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (Moss et al., 2010, van Vuuren et al., 2011), o desenvolvimento de cenários de emissões foi alterado para uma nova estrutura: - “Trajectórias Representativas das Concentrações” ou RCP (Representative Concentration Pathways), a fim de proporcionar uma abordagem flexível, interactiva e iterativa aos cenários de mudança climática.



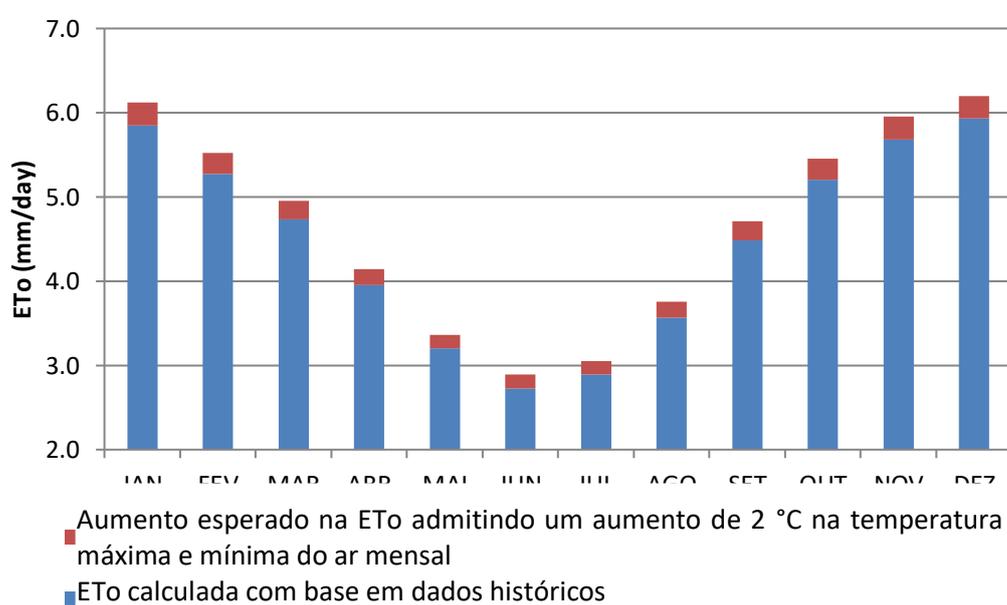
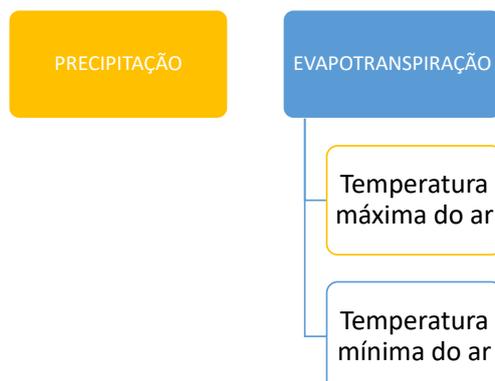
Os cenários são RCP4.5 e RCP 8.5 normalmente os mais utilizados na avaliação dos impactos climáticos o que poderá facilitar comparações com futuros trabalhos do mesmo género:

- O cenário RCP4.5 representa uma história de emissão de gases mediana, onde se considera que algumas medidas de mitigação irão ser tomadas
- O cenário RCP8.5 é mais gravoso, apresentando uma constante subida ao nível das emissões

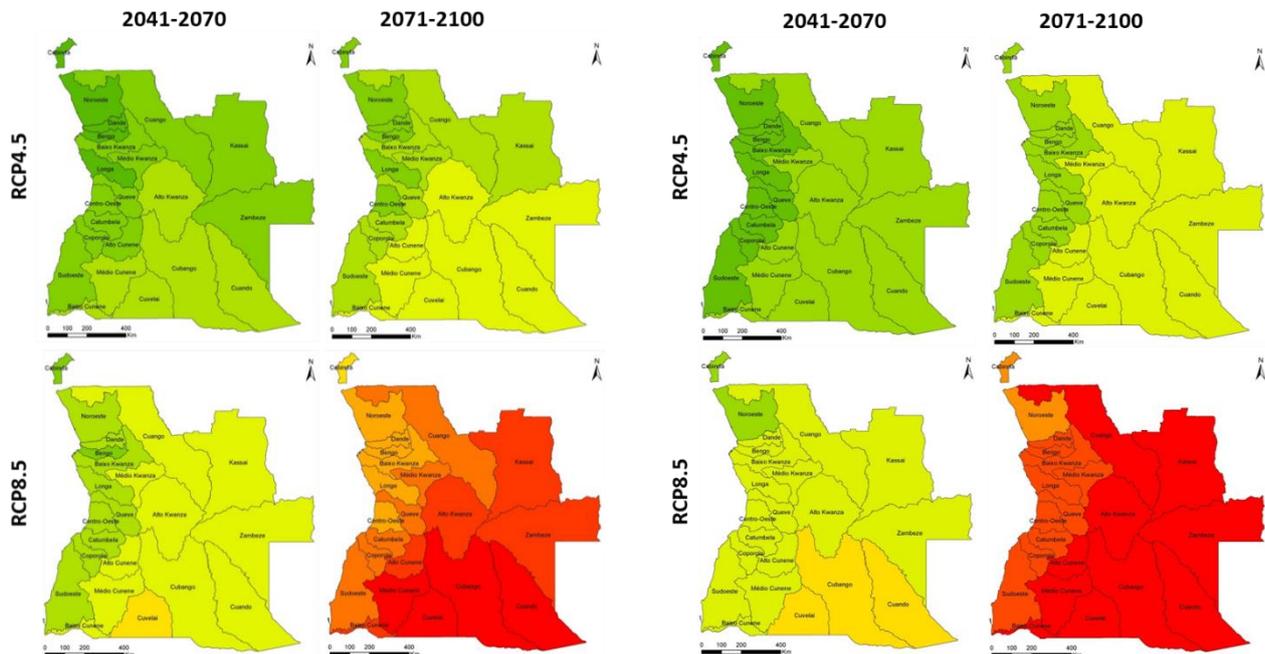
A técnica do downscaling é utilizada para previsão climática regional. Os modelos regionais são alimentador por um modelo climático global.

Foi chamada atenção para importância de se usar vários modelos e cenários uma vez que o grau de incerteza associado às projecções é muito grande.

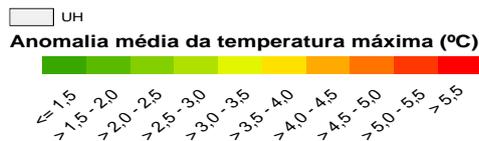
Na avaliação dos impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos importa fundamentalmente analisar as projecções para a precipitação e para a temperatura do ar e o impacto desta na evapotranspiração terrestre (ET) que consome dois terços da precipitação total terrestre global e caracteriza-se por possuir uma trajectória altamente incerta:



Ainda na aula 13, foram apresentadas as projecções para a temperatura do ar e para a precipitação do estudo de alterações climáticas realizado no quadro do Plano Nacional da Água.

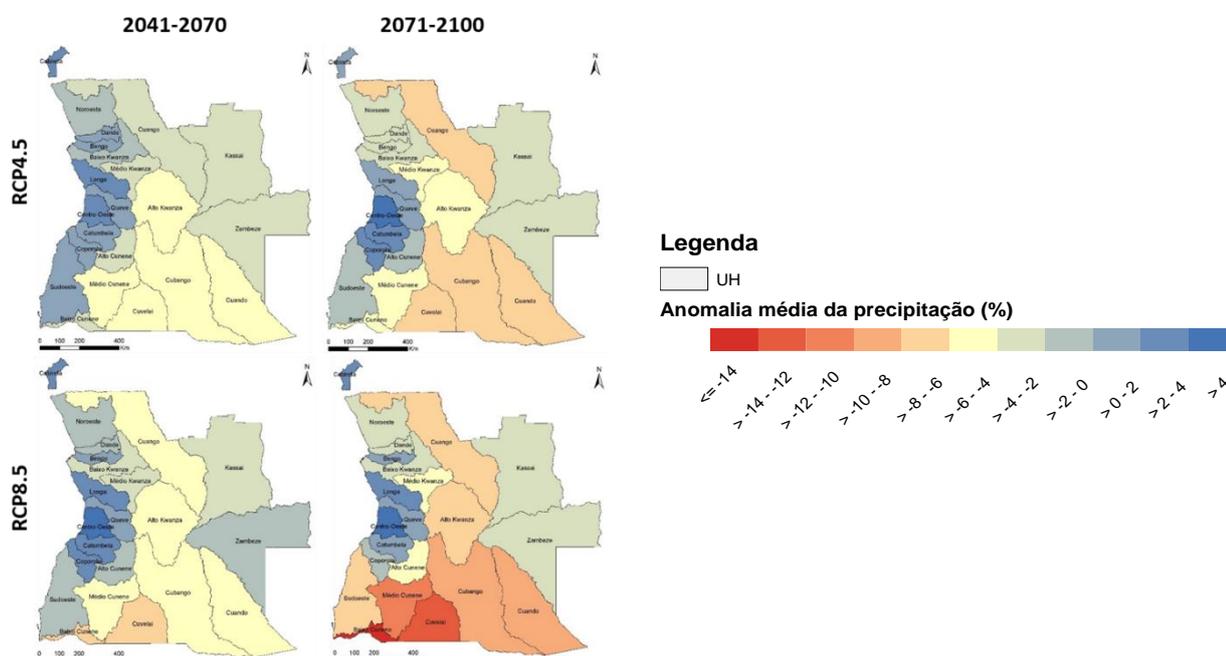


Legenda



Projecta-se um aumento generalizado da temperatura máxima e mínima do ar para ambos os cenários RCP4.5 e RCP 8.5, no entanto, será mais elevado no cenário RCP8.5. O aumento não será igual em todas as unidades hidrográficas. O aumento da temperatura máxima do ar será maior nas unidades hidrográficas localizadas no sudeste do território angolano, como Médio Cunene, Cuvelai, Cubango e Cuando (para estas unidades hidrográficas o aumento da temperatura máxima será superior a 5°C no final do século). Também no cenário RCP8.5, o aumento da temperatura mínima do ar poderá se, superior a 4,5 °C , nas unidades hidrográficas do interior no final do século.

As anomalias na precipitação poderão variar entre -14% e 4%, verificando-se uma maior amplitude de valores para o período de 2071-2100. A variabilidade entre as diferentes unidades hidrográficas é notória.



Espera-se que a diminuição da precipitação seja maior na zona sul do país, principalmente no Baixo Cunene e Cuvelai (no período de 2071-2100, para o RCP 8.5). Na região litoral-centro, projecta-se um ligeiro aumento da precipitação a médio e longo prazo (por exemplo, na unidade hidrográfica do Centro-Oeste).

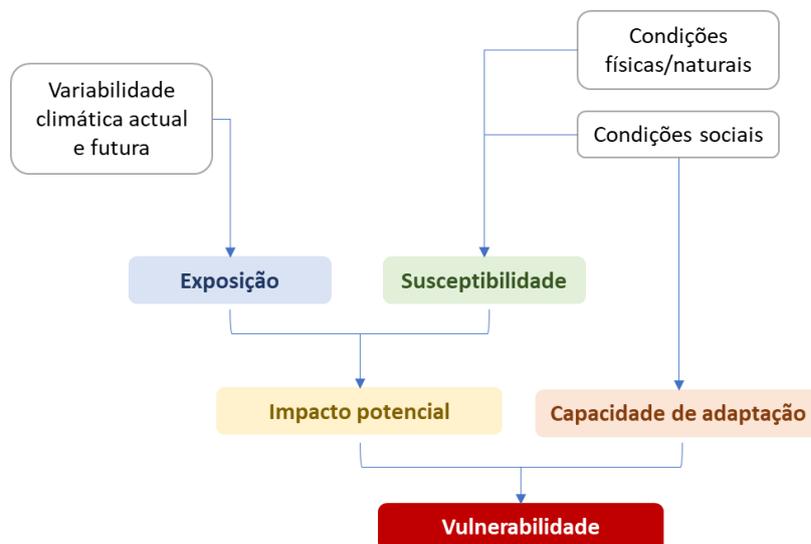
Foram ainda apresentados alguns resultados do PNA para eventos extremos, nomeadamente para a precipitação máxima diária (Rx1d) - modelo CCLM e número de eventos de seca, SPI 12 meses.

Foi ainda explorada a informação disponibilizada do portal **Climate Change Knowledge** do Banco Mundial:

<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/angola/climate-data-projections>

The screenshot shows the 'Country' page for Angola on the World Bank Climate Change Knowledge Portal. The header includes the World Bank Group logo and navigation links like 'GLOSSARY', 'METADATA', and 'CONTACT US'. The main content area features a background image of trees and a sunset, with the text 'COUNTRY Angola' and a description: 'Explore historical and projected climate data, climate data by sector, impacts, key vulnerabilities and what adaptation measures are being taken. Explore the overview for a general context of how climate change is affecting Angola.' At the bottom, there is a navigation bar with links for 'OVERVIEW', 'CLIMATE DATA', 'CLIMATE BY SECTOR', 'VULNERABILITY', and 'IMPACTS'.

Por fim, analisaram-se os conceitos de exposição, susceptibilidade e vulnerabilidade:



O foco das aulas 14, 15 e 16 foi a avaliação dos impactos no ciclo hidrológico resultantes das projecções para a precipitação e temperatura no quadro dos cenários das alterações climáticas. Esta avaliação/análise pode ser feita usando um modelo de precipitação-escoamento calibrado/validado para a situação de referência.

Com esse propósito foi usado o modelo WRSM/Pitman construído para a bacia do rio Keve no âmbito da formação do Módulo 2 - Modelação Hidrológica.

Os resultados do modelo para a situação de referência foram comparados com os resultados do modelo para os cenários de precipitação e evaporação modificados com base nas projecções dos modelos climáticos.

Na aula 14 foram resolvidos os exercícios nº1 e nº2 do sub-módulo 3.3.

Exercício nº1 do sub módulo 3.3 – Tinha como objectivos:

a) Analisar as anomalias na precipitação da bacia hidrográfica do rio Keve, com base nas projecções fornecidas pelo portal “Climate Change Knowledge Portal. Angola” para os seguintes locais:

- Alto Hama (15,58; -12,23)
- Wako Kungo (15,12; -11,37)
- Cachoeira de Binga (14,10; -10,95)

b) Identificar um padrão (que foi utilizado para modificar a série original)

Mediana das anomalias na precipitação (%) no Alto Hama													
Horizonte	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGT	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
2040-2059	⇒ 8%	⇒ 6%	⇒ 2%	↑ 14%	↓ -17%	↓ -14%	⇒ -3%	↓ -14%	↓ -15%	⇒ -6%	⇒ 1%	⇒ 5%	⇒ 2%
2060-2079	↑ 10%	⇒ 7%	⇒ 2%	⇒ 6%	⇒ -8%	↓ -37%	↓ -42%	↓ -22%	↓ -17%	⇒ -2%	⇒ 1%	⇒ 5%	⇒ 1%
2080-2099	↑ 10%	⇒ 8%	⇒ 8%	↑ 12%	⇒ -3%	↓ -37%	↓ -26%	↓ -24%	↓ -24%	↓ -14%	⇒ 1%	⇒ 4%	⇒ 3%
	⇒ 9%	⇒ 7%	⇒ 4%	↑ 11%	⇒ -9%	↓ -29%	↓ -24%	↓ -20%	↓ -19%	⇒ -8%	⇒ 1%	⇒ 5%	⇒ 2%

Mediana das anomalias na precipitação (%) no Wako Kungo													
Horizonte	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGT	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
2040-2059	⇒ 9%	⇒ 9%	⇒ 1%	⇒ 8%	↓ -18%	⇒ -4%	⇒ 0%	⇒ -7%	⇒ -10%	↓ -10%	⇒ 0%	⇒ -2%	⇒ -1%
2060-2079	⇒ 8%	↑ 12%	⇒ 1%	⇒ 8%	⇒ 7%	↓ -22%	↓ -18%	⇒ -2%	↓ -13%	⇒ -4%	⇒ -1%	⇒ 3%	⇒ 1%
2080-2099	⇒ 9%	↑ 15%	↑ 11%	↑ 11%	⇒ -2%	↓ -10%	⇒ -1%	⇒ -7%	↓ -13%	↓ -17%	⇒ -1%	⇒ 3%	⇒ 3%
	⇒ 9%	↑ 12%	⇒ 4%	⇒ 9%	⇒ -4%	↓ -12%	⇒ -7%	⇒ -5%	↓ -12%	↓ -10%	⇒ 0%	⇒ 1%	⇒ 1%

Mediana das anomalias na precipitação (%) nas Cachoeiras do Binga													
Horizonte	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGT	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
2040-2059	⇒ 9%	⇒ 7%	⇒ 9%	↑ 11%	↓ -18%	⇒ -7%	⇒ -6%	⇒ -4%	⇒ -7%	↓ -12%	⇒ 0%	⇒ 0%	⇒ 1%
2060-2079	⇒ 10%	↑ 14%	⇒ 4%	↑ 12%	⇒ 7%	↓ -24%	↓ -15%	⇒ 1%	⇒ -9%	⇒ -5%	⇒ -2%	⇒ 6%	⇒ 4%
2080-2099	↑ 11%	⇒ 9%	↑ 14%	↑ 13%	⇒ -1%	↓ -10%	↓ -10%	⇒ -10%	↓ -11%	↓ -16%	⇒ 0%	⇒ 4%	⇒ 6%
	↑ 10%	⇒ 10%	⇒ 9%	↑ 12%	⇒ -4%	↓ -14%	↓ -10%	⇒ -4%	⇒ -9%	↓ -11%	⇒ -1%	⇒ 3%	⇒ 4%

Exercício nº2 do sub módulo 3.3 – Tinha como objectivos:

a) Analisar das anomalias nas temperaturas máxima e mínima do ar mensais da bacia hidrográfica do rio Keve, com base nas projecções fornecidas pelo portal “Climate Change Knowledge Portal. Angola” para os seguintes locais:

- Alto Hama (15,58; -12,23)
- Wako Kungo (15,12; -11,37)
- Cachoeira de Binga (14,10; -10,95)

b) Identificar um padrão

Na aula 15 foram resolvidos os exercícios nº3 e nº4 do sub-módulo 3.3.

Exercício nº3 do sub módulo 3.3 – Tinha como objectivos:

a) Calcular a evapotranspiração de referência para o período de referência e para os horizontes futuros (2040-2059, 2060-2079 e 2080-2099), considerando os dados históricos e as da temperatura máxima e mínima do ar calculadas no exercício 2.

A evapotranspiração de referência foi calculada com base na fórmula de Hargreaves-Samani.

Hargreaves and Samani, 1985

$$ETo = 0.0023(T_{mean} + 17.8) (T_{max} - T_{min})^{0.5} Ra$$

Latitude (graus)	-10.95
Latitude (radianos)	-0.191

	Jan	fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
J	15.5	45	74.5	105	135.5	166	196.5	227.5	258	288.5	319	349.5
dr	1.32	1.24	1.09	0.92	0.77	0.68	0.68	0.76	0.91	1.08	1.23	1.32
δ	-0.37	-0.24	-0.04	0.17	0.33	0.41	0.37	0.24	0.04	-0.17	-0.33	-0.41
ω _s	1.64	1.62	1.58	1.54	1.51	1.49	1.50	1.52	1.56	1.60	1.64	1.65
Ra (Mj/m ² /dia)	50.83	47.63	40.87	31.89	24.20	20.20	20.64	25.44	33.24	41.47	47.57	50.68
Ra (mm/dia)	20.74	19.43	16.67	13.01	9.87	8.24	8.42	10.38	13.56	16.92	19.41	20.68
Tmed	24.74	25.28	25.71	25.55	24.26	21.61	20.41	20.64	22.07	23.47	24.37	24.64
Tmax	28.81	29.56	29.89	29.65	28.76	26.74	25.17	25.28	26.43	27.48	28.22	28.55
Tmin	20.66	20.99	21.52	21.45	19.76	16.47	15.65	15.99	17.7	19.46	20.52	20.7
ETo (mm/dia)	5.79	5.64	4.83	3.71	2.87	2.39	2.28	2.80	3.67	4.55	5.22	5.64
ETo (mm/mês)	179.57	157.81	149.63	111.44	88.82	71.82	70.78	86.70	110.23	141.01	156.71	174.97

$$R_a = \frac{12(60)}{\pi} G_{sc} d_r [(\omega_2 - \omega_1) \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) (\sin(\omega_2) - \sin(\omega_1))]$$

Ra - radiação extraterrestre ou radiação no topo da atmosfera, MJ m⁻² dia⁻¹;

b) Calcular as anomalias da evapotranspiração em %

c) Modificar aos dados históricos da evaporação da bacia do rio Keve introduzidos no modelo Pitman para que reflectam as alterações climáticas

Local: Wako Kungo
 Longitude: 15.12
 Latitude: -11.37

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGT	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
Período de referência (1986-2005)													
Temperatura máxima do ar mensal (°C)	25.0	25.4	25.6	25.4	25.6	24.4	23.7	24.3	25.4	25.2	24.8	24.8	25.0
Temperatura mínima do ar mensal (°C)	15.2	15.2	15.7	15.6	13.8	10.4	10.1	11.2	13.1	14.5	15.1	15.5	13.8
ETo (MM)	5.68	5.46	4.63	3.57	2.91	2.48	2.46	3.06	4.04	4.79	5.24	5.54	
Horizonte (2040-2099)													
Anomalia da temperatura máxima do ar mensal (°C)	1.3	1.4	1.5	1.5	1.7	1.7	1.6	1.6	1.7	1.8	1.6	1.4	1.6
Anomalia da temperatura mínima do ar mensal (°C)	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.4	1.5
Temperatura máxima do ar mensal (°C)	26.32	26.83	27.05	26.89	27.31	26.06	25.30	25.93	27.10	26.98	26.35	26.21	26.56
Temperatura mínima do ar mensal (°C)	16.80	16.78	17.17	17.20	15.39	12.05	11.66	12.79	14.74	16.09	16.74	16.85	15.27
ETo (mm)	5.81	5.62	4.81	3.70	3.05	2.60	2.58	3.20	4.24	5.05	5.46	5.74	
Anomalia (%)	2.2%	2.9%	3.9%	3.5%	4.8%	4.8%	4.6%	4.5%	4.9%	5.5%	4.2%	3.7%	

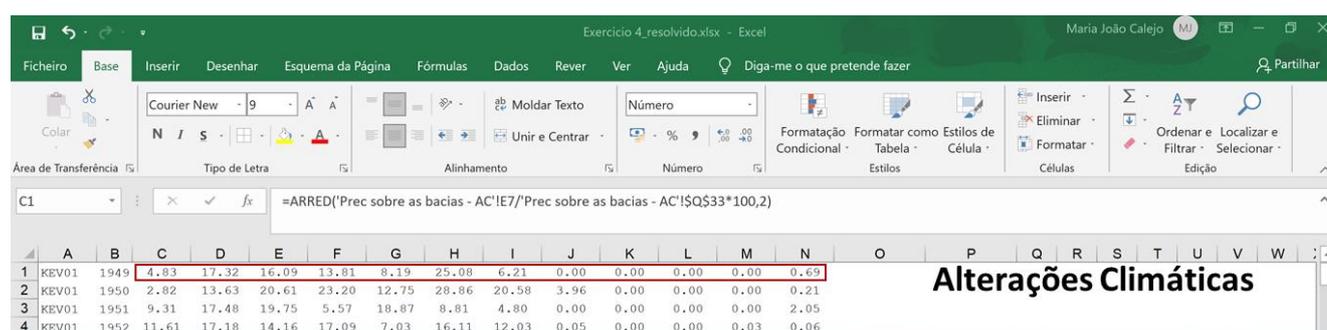
	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGT	SET
Anomalia (%)	5.5%	4.2%	3.7%	2.2%	2.9%	3.9%	3.5%	4.8%	4.8%	4.6%	4.5%	4.9%
Valores médios dos dados históricos	144	97	106	122	157	123	122	227	310	354	333	216
Valores médios com base nas anomalias da temperatura dos cenários climáticos	152	101	110	125	162	128	126	238	325	370	348	227

Exercício nº4 do sub módulo 3.3 – Tinha como objectivos:

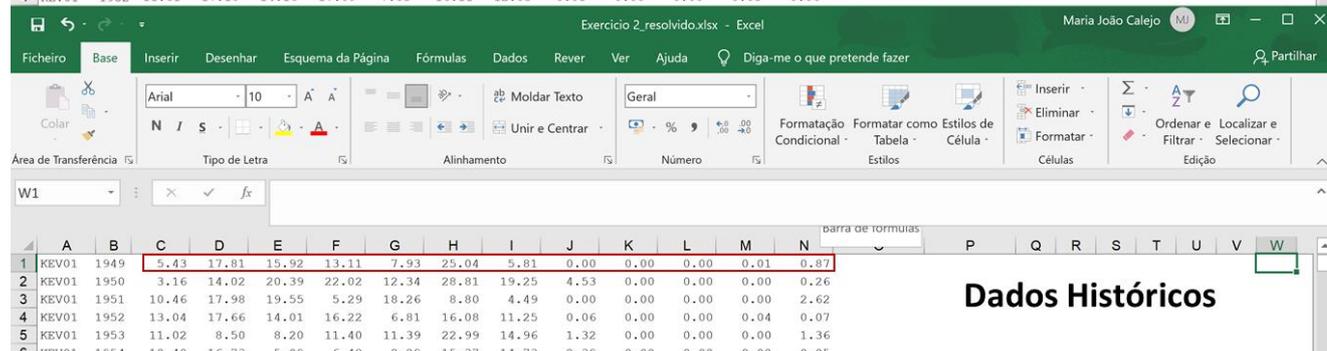
a) Alterar os valores de precipitação das 14 sub-bacias de modelo a reflectirem a as anomalias das projecções das modelos climáticos.

Para a resolução deste exercício foi usado o ficheiro dos dados histórico da precipitação do módulo 2 e as anomalias padrão calculadas no exercício 1 do sub módulo 3.3.

Número da bacia	Designação da bacia hidrográfica	Anomalia padrão a usar	Precipitação Média Anual (mm) – série histórica	Precipitação Média Anual (mm) – série AC
1	Cuito (Chitamera)	Alto Hama	1 276	1 324
2	Culele (Vinganga)		1 296	1 345
3	Keve (Alto Hama)		1 314	1 365
4	Cuchen (Catato)	Waco Kungo	1 294	1 324
5	Keve (Caiovole)		1 270	1 308
6	Cunhangama (Caliata)		1 384	1 420
7	Cuvira		1 313	1 340
8	Keve (J.N. Lisboa)		1 238	1 265
9	Cuvele (Gongo)		1 335	1 361
10	Cussoi (Barragem)		1 276	1 299
11	Keve (Ginga)	1 247	1 271	
12	Chilo (Hichingo)	Cachoeira de Binga	964	1 019
13	Keve (Cachoeiras de Binga)		1 060	1 113
14	Keve (Foz)		723	767



Alterações Climáticas



Dados Históricos

b) Criar os ficheiros de extensão RAN (ficheiros de precipitação de entrada do modelo WRSM/Pitman)

Na aula 16 foi resolvido o exercício nº5 do sub-módulo 3.3.

Exercício nº5 do sub módulo 3.3 – Tinha como objectivos:

a) Executar o modelo WRSM2000/Pitman com os dados climáticos históricos e com os dados climáticos gerados com base no padrão das anomalias das projecções da precipitação e da evaporação.

b) Calcular as anomalias dos escoamentos, considerando os escoamentos simulados para os caminhos 4, 7 e 15.

Caminho 4 (CR1 – CR2) – Alto Hama

	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGT	SET	ANUAL
Anomalia nos valores mensais da precipitação (%)	-8%	1%	5%	9%	7%	4%	11%	-9%	-29%	-24%	-20%	-19%	
Anomalia no Escoamento (%)	-3%	0%	6%	10%	11%	7%	8%	7%	0%	0%	0%	-1%	6%

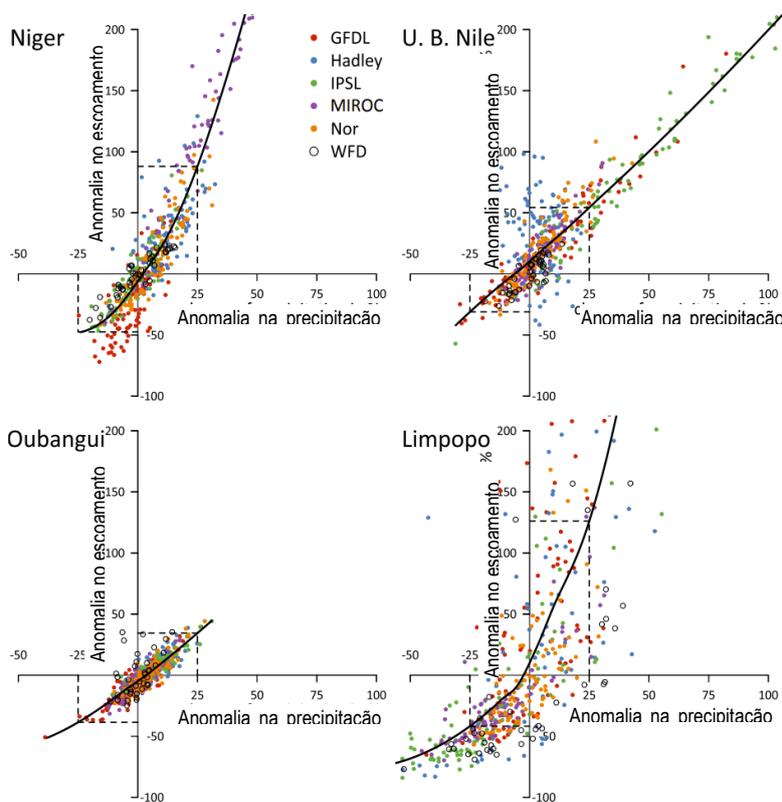
Caminho 7 (CR2 – CR3) – Keve (Caiovole)

	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGT	SET	ANUAL
Anomalia nos valores mensais da precipitação (%)	-10%	0%	1%	9%	12%	4%	9%	-4%	-12%	-7%	-5%	-12%	
Anomalia no Escoamento (%)	-5%	-4%	0%	6%	11%	9%	9%	9%	2%	1%	0%	0%	5%

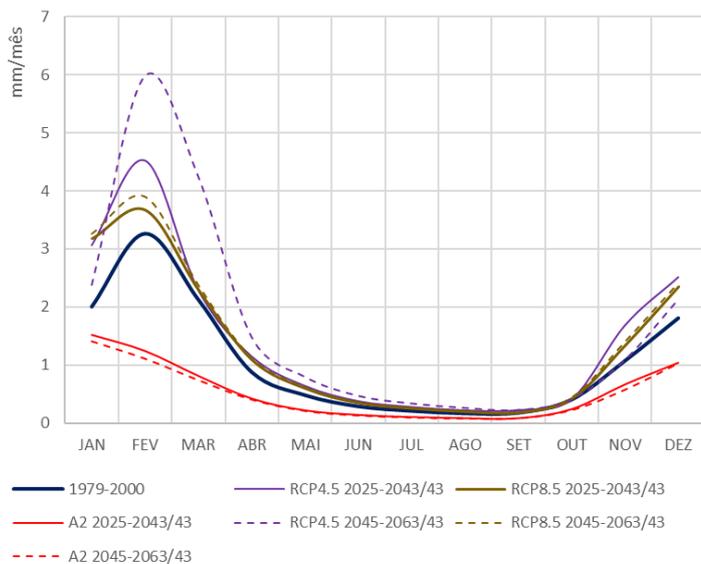
	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGT	SET	ANUA
Anomalia nos valores mensais da precipitação (%)	-11%	-1%	3%	10%	10%	9%	12%	-4%	-14%	-10%	-4%	-9%	
Anomalia no Escoamento (%)	-10%	-10%	-5%	2%	10%	11%	11%	10%	5%	2%	1%	0%	5%

Para uma visão mais ampla dos impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos, na aula 16 foram ainda apresentados e discutidos os resultados obtidos em:

- “Comparing impacts of climate change on streamflow in four large African river basins”, Aich, Valentin & Liersch, Stefan & Vetter, Tobias & Huang, Shaochun & Tecklenburg, J. & Hoffmann, P. & Koch, H. & Fournet, S. & Krysanova, Valentina & Paton Née Mueller, Eva & Hattermann, F., in Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 10. 13005-13052. 10.5194/hessd-10-13005-2013.



- “Avaliação dos impactos das alterações climáticas nos recursos hídricos. Caso de estudo: Bacia do rio Limpopo”, M. J. Calejo, J. L. Teixeira, M. Correia, in Indústria e Ambiente N° 110, Maio/Junho 2018



	Period	Mean annual rainfall	Tmax of air (°C)	Tmin of air (°C)
Reference Period	1979-2010	506.4 mm	27.9	14.3
Average anomaly for scenario A2	2025-2043	👇 -8.7%	🟡 1.4	🟡 1.3
	2045-2063	👇 -11.2%	🔴 2.2	🔴 2.1
Average anomaly for scenario RCP4.5	2025-2043	👆 7.2%	🟡 1.1	🟡 1.2
	2045-2063	👆 6.5%	🟡 1.7	🟡 1.8
Average anomaly for scenario RCP8.5	2025-2043	👆 5.1%	🟡 1.3	🟡 1.3
	2045-2063	👆 6.6%	🔴 2.4	🔴 2.5

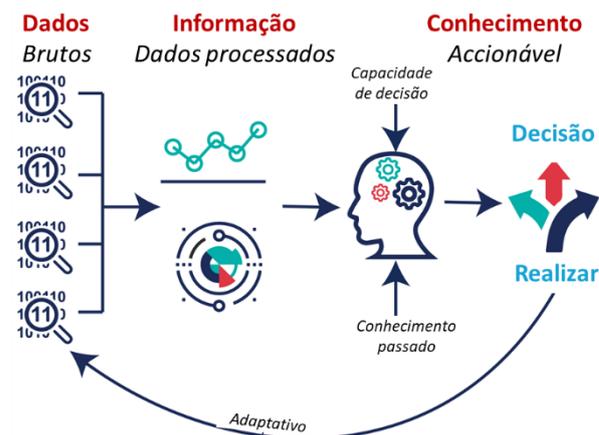
Cenário	Periodo	Anomalia média no escoamento (%)
RCP4.5	2025-2043	34%
RCP4.5	2045-2063	54%
RCP8.5	2025-2043	24%
RCP8.5	2045-2063	28%
A2	2025-2043	-49%
A2	2045-2063	-53%

3.3.4.3 Base de dados e gestão de informação

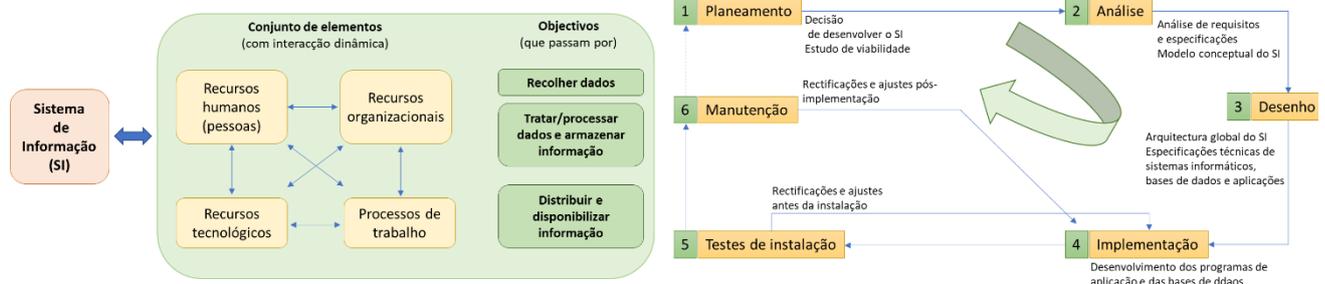
A quinta aula do sub-módulo 3.3 (Aula 17) tinha como objectivo abordar as questões relacionadas com bases de dados e gestão da informação.

No início da aula foram apresentados e clarificados os conceitos de dados, informação e conhecimento e respectivas características:

- Dados** Elemento ou valor isolado de um determinado tema
 - O dado não precisa de ser um registro físico
- Informação** Qualquer estruturação ou organização dos dados
 - É o significado que um conjunto de dados tem para alguém
- Conhecimento** Está associado ao processamento da informação
 - É o significado que um conjunto de dados tem para alguém

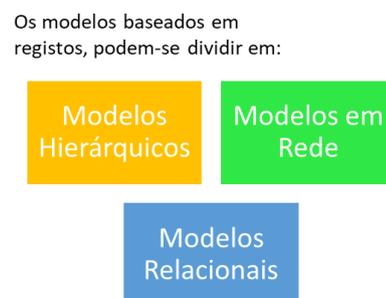


Foi apresentado o conceito de Sistema de Informação (SI) que deve ser entendido como um sistema constituído por pessoas, procedimentos e equipamentos que recolhe, processa, armazena, e distribui informação com objectivos específicos e o seu ciclo de desenvolvimento formado pelas fases: Planeamento, Análise, Desenho, Implementação, Testes de instalação e Manutenção.



Partindo dos conceitos anteriores, foi definido o que é uma Base de Dados (BD) e o que é um Sistema de Gestão da Bases de Dados (SGBD) assim como os modelos de dados: Modelos hierárquicos, modelos em rede e modelos relacionais

- Um modelo de dados é, pelo menos, a colecção de 3 componentes:
- Um conjunto de tipos de estruturas de dados.** Define o tipo de dados a armazenar, e os relacionamentos existentes.
 - Uma colecção de operadores.** Operam (manipulam) as estruturas de dados atrás mencionadas.
 - Um conjunto de regras de integridade.** Definem um conjunto de regras sobre a forma como os operadores devem manipular as estruturas de dados, servindo como garantia da consistência da base de dados.



Na aula foram analisadas as principais características de cada um dos tipos de modelos de dados e as grandes vantagens apresentadas pelos modelos relacionais: i) a utilização de tabelas (constituídas por Colunas que definem os campos e por Linhas que definem os registos) que é uma maneira intuitiva, eficiente e flexível de armazenar e acessar às informações estruturadas e a ii) utilização da linguagem de consulta estruturada (SQL) para criar e consultar dados em um banco de dados.

Campos

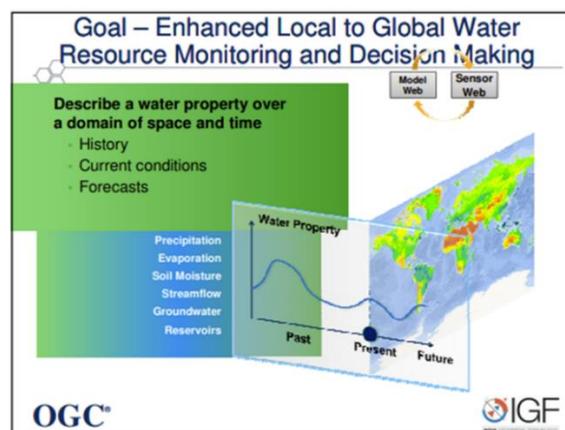
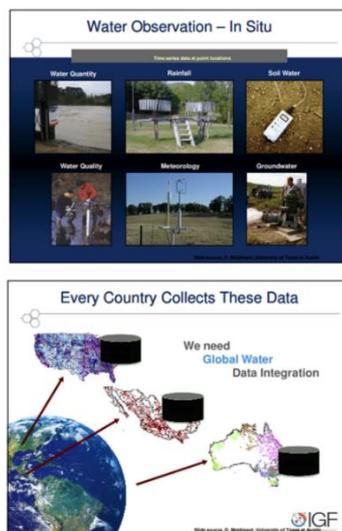
ID	NOME_ESTAÇÃO	TIPO	ID_BH	DISTRITO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	ALTURA	OBSERVAÇÕES
31 de Janeiro	Estação meteorológica suplementar Zaire			Uige	-6.9667	15.4667	1060	-999	
179 5 de Outubro (Xamuteba)	Estação meteorológica suplementar Cuanza			Malange	-9.5333	17.8167	900	-999	
106 Algés-a-Nova	Estação meteorológica suplementar Cunene			Huíla	-14.9	15.08	1253	-999	
225 Alto Catumbela	Estação meteorológica suplementar Centro-oeste Angolano			Benguela	-12.9667	14.8167	1260	-999	
163 Alto Cauale (Cangola)	Estação meteorológica suplementar Cuanza			Uige	-7.57	15.88	1200	-999	
187 Alto Chicapa	Estação meteorológica suplementar Zaire			Lunda	-10.9167	19.2167	1330	-999	
297 Alto LIFune	Estação meteorológica suplementar Noroeste Angolano			Luanda	-8.1333	14.3	500	-999	
195 Amboiva	Estação meteorológica suplementar Centro-oeste Angolano			Cuanza-Sul	-11.5333	14.7333	1240	-999	
9 Ambriz	Estação meteorológica suplementar Noroeste Angolano			Luanda	-7.8333	13.1	20	-999	
37 Ambrizete	Estação meteorológica suplementar Noroeste Angolano			Zaire	-7.2333	12.8667	17	-999	5.5 Passou a Estação fundamental e
44 Andrada (Diamang)	Estação meteorológica suplementar Zaire			Lunda	-7.7	21.3833	750	-999	
67 Andulo	Estação meteorológica suplementar Cuanza			Bié	-11.4833	16.7	1680	-999	
188 Assango	Estação meteorológica suplementar Centro-oeste Angolano			Cuanza-Sul	-11.0667	14.5333	1100	-999	
198 Atome	Estação meteorológica suplementar Centro-oeste Angolano			Cuanza-Sul	-11.8833	14.5667	872	-999	
177 Aviário de Malange	Estação meteorológica suplementar Cuanza			Malange	-9.5	16.3333	1130	-999	
75 Baía dos Tigres	Estação meteorológica suplementar Sudoeste Angolano			Moçâmedes	-16.6	11.7167	4	-999	
138 Baía dos Tigres (Saco)	Estação meteorológica suplementar Sudoeste Angolano			Moçâmedes	-16.8	11.75	4	-999	
207 Baía Farta	Estação meteorológica suplementar Sudoeste Angolano			Benguela	-12.6167	13.2167	5	-999	
357 Baixo Longa	Estação meteorológica suplementar -999			Cuando-Cubango	-999	-999	-999	-999	
200 Balombo (Polígono Floresta)	Estação meteorológica suplementar Centro-oeste Angolano			Benguela	-12.35	14.7667	1205	-999	
315 Bambi	Estação meteorológica suplementar Cunene			Huíla	-14.05	15.5667	1410	-999	

Registos

Foram apresentados e analisados alguns exemplos de Sistemas de Gestão da Bases de Dados e de Sistemas de informação, a saber:

- Sistema de Gestão de Bases de Dados – Criado para apoiar o inquérito à Aldeia do Pisão e respectivo tratamento de dados.
- ZambezeDIF - Trata-se duma estrutura Web implementada em html, com várias páginas WEB onde se apresenta as principais áreas do projecto e os principais dados e resultados sob a forma gráfica.
- SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - SIG-PNAA
- SADC-GMI Hydrogeological database
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos de Angola

No final da aula foi apresentado o projecto WaterML2.0 que representa uma iniciativa dentro da Organização Meteorológica Mundial (WMO) / Grupo de Trabalho de Domínio de Hidrologia OGC para abordar o desenvolvimento de sistemas de informação hidrológica padrão e de interoperabilidade em nível internacional

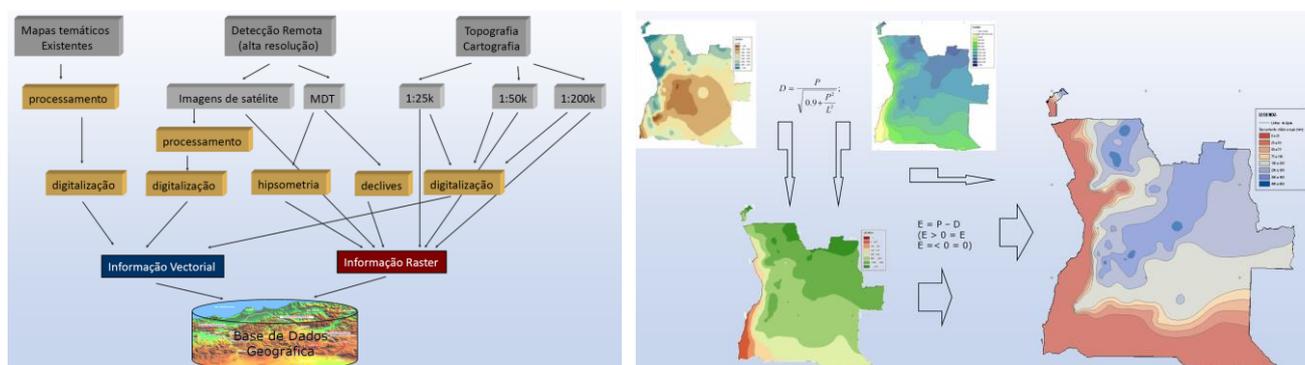


3.3.4.4 Bases de dados geográficas

A sexta aula do sub-módulo 3.3. (Aula 18) versou sobre as bases de dados geográficas, completando os temas tratados na aula 17. O conteúdo desta aula imponha-se pela relevância dos sistemas de informação geográfica no planeamento de gestão dos recursos hídricos. Assim, na aula 18 foram tratadas as seguintes matérias:

- Bases de dados geográficas.
- Bases de Dados Geográficas e Sistemas de Informação Geográfica.
- Métodos e tecnologias para a recolha de informação geográfica.
- Recolha da informação de elevação do terreno por satélite.
- Recolha da informação de outros dados de observação da terra.
- Recolha da informação de precipitação por satélite.
- Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica.
- Delineamento de bacias e linhas de água.
- Exemplos de aplicação.

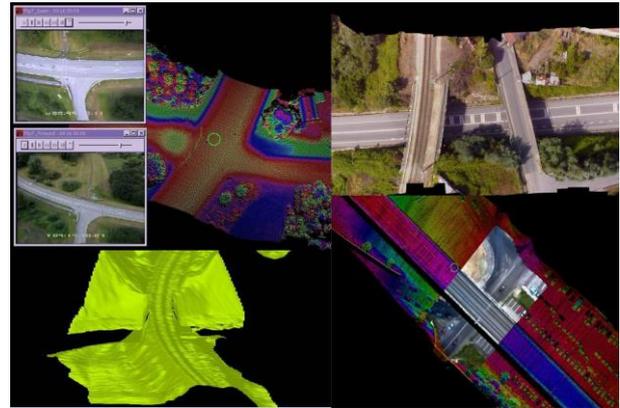
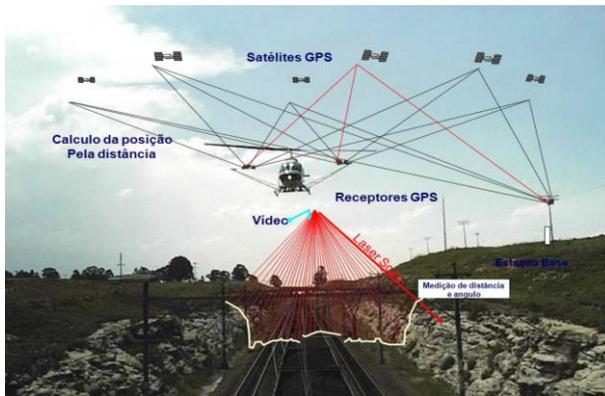
O início da aula centrou-se nos conceitos: i) base de dados geográfica; ii) Sistemas de Gestão da Bases de Dados (nem todos suportam o armazenamento da componente geográfica dos dados, de uma forma directa, nas próprias bases de dados); e iii) sistema de informação geográfica (SIG ou GIS em inglês - Geographic Information System).



Foram apresentados vários exemplos de bases de dados geográficas e de sistema de informação geográfica, nomeadamente a sua aplicação na gestão/controlo de situações de extrema gravidade, como é caso da situação pandémica a nível mundial causada pelo Covid-19. Os sistemas de informação geográfica muito mais representar espacialmente os dados, permitem agilizar a CAPTURA de dados geográficos, ARMAZENAR dados geográficos, ANALISAR dados geográficos nomeadamente COMBINAR e COMUNICAR.

A obtenção de informação geográfica é um dos aspectos mais importante na concepção de um sistema de informação geográfica. Foram tratados os vários métodos para a obtenção da informação geográfica desde o mais clássico ao mais sofisticado:

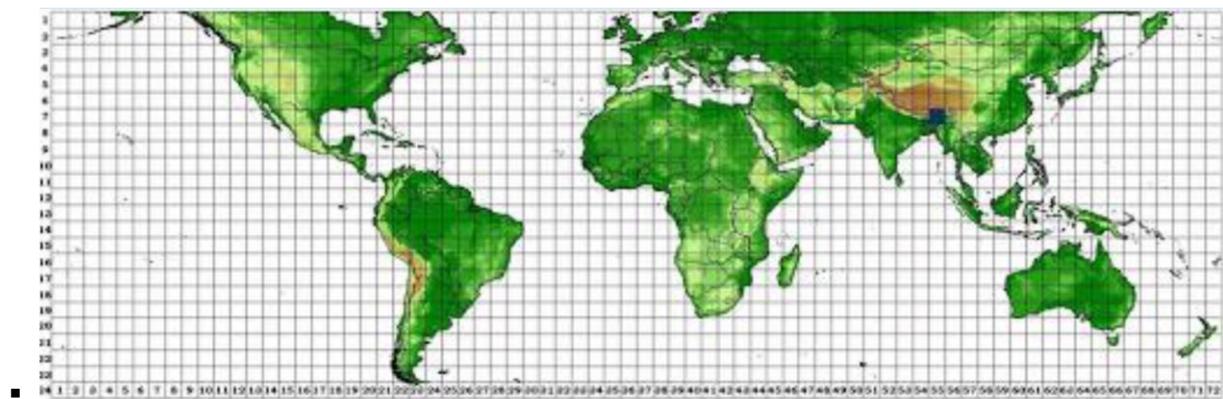
- Topográfica/cartográfica
 - Teodolito
 - Estação total
 - Nível
 - GPS / GNSS (Global Positioning System / Global Navigation Satellite System)
 - Fotogrametria (utiliza o princípio da visão estereoscópica)
 - fotogrametria terrestre é usada principalmente para documentar o estado actual da fachada de edifícios e monumentos.
 - fotogrametria aérea é usada principalmente para obter: i) mapas topográficos e/ou temáticos; ii) modelos digitais de terreno; iii) fotografias rectificadas (ortofoto); iv) coordenadas de pontos requeridos; v) interpretação do objecto (o que é? Tipo? Quantidade?) e medida do objecto (onde é? Tamanho?), vi) é também utilizada para vários estudos, nomeadamente geológicos, ambientais e florestais.
 - LiDAR - tecnologia óptica de detecção remota que mede propriedades da luz reflectida de modo a obter a distância e/ou outra informação, a respeito de um determinado objecto distante.



- Detecção remota
- Batimetria

Foi também abordada a recolha da informação de elevação do terreno por satélite, com especial foque no SRTM - Missão Topográfica Radar Shuttle: consistiu num voo do vaivém espacial Endeavor, de 11 a 22 de fevereiro de 2000. Trata se de um projeto internacional para adquirir dados de radar que foram usados para criar o primeiro modelo quase global de elevações.

Os modelos altimétricos adquiridos foram processados e são disponibilizados por zonas de 1° de latitude por 1° de longitude, denominados de acordo com os seus cantos sudoeste:



A plataforma EarthExplorer pode ser usado para pesquisar, visualizar e transferir dados globais da missão (SRTM) 1 Arc-Second. As colecções SRTM estão localizadas na categoria Digital Elevation: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Outras plataformas apresentadas foram:

- NASA - National Aeronautics and Space Administration que disponibiliza um sistema de informação, o EOSDIS NASAS's Earth Observing System Data and Information System, com dados referentes á observação da terra, recolhidos por diversas plataformas (aviões recolhidos de campo, etc.: <https://earthdata.nasa.gov/eosdis>).
- EOS Earth Observing System que consiste num conjunto de satélites de orbita polar, para observações a longo prazo da superfície terrestre, biosfera, atmosfera e oceanos: <https://eosps.nasa.gov/>.

A recolha da informação de precipitação por satélite foi também apresentada uma vez que na ausência dados terrestres ´e uma fonte de informação alternativa nos estudos de planeamento de recursos hídricos.

- Caracterização da situação de referência
- Cenários de Desenvolvimento
- Planos de Investimentos e Estratégia de Desenvolvimento dos RH
- Análise financeira e valorização económica dos recursos hídricos:
 - Conceitos teóricos gerais
 - Montagem de modelo e exercícios práticos
- Análise multicritério:
 - Formulação e metodologia
 - Exemplos
 - Exercício prático
- Participação das partes interessadas na gestão dos recursos hídricos

Os diversos temas acima indicados foram tratados em 6 aulas.

3.3.5.1 Modelos de planeamento e apoio à decisão

O sub-módulo 4 iniciou-se, na **aula 19**, com um breve enquadramento geral dos principais aspectos relacionados com o Planeamento e Gestão de Recursos Hídricos, designadamente:

- A importância da água, enquanto recurso essencial à vida humana nas suas múltiplas utilizações, designadamente na satisfação das necessidades básicas de cada indivíduo, no desenvolvimento económico e no bem estar social das populações.
- Os factores que levam a uma necessidade premente de efectuar o planeamento criterioso da utilização do RH (exploração extrema; poluição; variabilidade da distribuição natural do RH, espacial e temporal; desfasamento entre disponibilidades e necessidades, originando cheias e secas).
- A evolução “habitual” dos sistemas de recursos hídricos e problemas associados ao nível dos processo de planeamento e gestão em cada fase.
- Os problemas frequentes e as possíveis soluções.
- Os objetivos específicos do PGRH.

Planeamento e Gestão de Recursos Hídricos (PGRH)

O PGRH tem por **objectivo** resolver o problema da **redistribuição dos RH** com vista à **satisfação dos seus múltiplos utilizadores** e à **concretização dos objectivos actuais e futuros da sociedade** (necessidades básicas; desenvolvimento económico; bem estar social), sem pôr em causa o **equilíbrio ecológico e ambiental** das regiões.

- Os principais desafios do PGRH, de entre os quais se destacam a elevada complexidade dos mesmos, face ao contexto de incerteza, à diversidade de áreas científicas envolvidas e ao permanente conflito de interesses entre os diversos utilizadores e partes interessadas.
- As questões concretas que se colocam nos diferentes horizontes temporais: de longo prazo (planeamento); de médio prazo (gestão); de curto prazo (gestão em tempo real).

- A necessidade de adopção de abordagens integradas, participativas e adaptativas dos problemas.
- A apresentação de medidas estratégias adoptadas e instrumentos utilizados ao nível do PGRH.

INTEGRADA

Abordagem integradora ao nível regional/ nacional, dos recursos disponíveis, dos sectores e das utilizações, da conservação ambiental, dos problemas e objectivos.

PARTICIPATIVA

Com **envolvimento das partes interessadas** em todos os processos de planeamento, implementação e gestão dos RH.

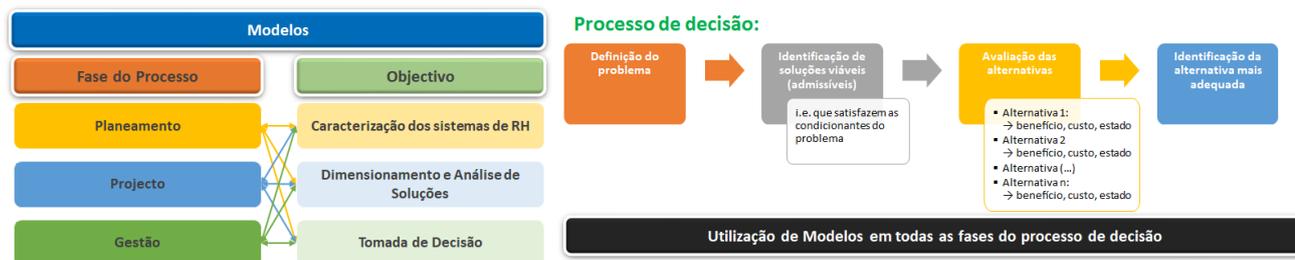
ADAPTATIVA

Dando importância à **flexibilidade e adaptabilidade** dos planos, medidas e projetos, de modo a permitir a correção de desvios ao planeamento (quer ao nível das disponibilidades quer dos cenários de evolução).

Contexto de incerteza | Alterações climáticas

Medidas estratégias	Instrumentos
Conhecer o estado dos sistemas hídricos: <ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidades - Principais problemas e riscos (e suas causas) - Propriedade e direitos sobre a água 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas de monitorização - Modelação - Cadastro
Definir metas, objectivos específicos e acções	<ul style="list-style-type: none"> - Planos
Proteger os corpos de água: <ul style="list-style-type: none"> - Regular os usos da água (captações, descarga de contaminantes, construção de infra-estruturas) - Regular o uso do solo - Condicionar a procura e outras pressões através de instrumentos económicos - Construir de obras hidráulicas cuidadosamente concebidas 	<ul style="list-style-type: none"> - Licenças para os diferentes tipos de utilização - Áreas de salvaguarda - Taxas e tarifas - Projectos e EIA
Atribuir responsabilidades a diferentes instituições	<ul style="list-style-type: none"> - Modelo institucional - Sistemas de monitorização - Fiscalização
Verificar as decisões e controlando os resultados	

Os modelos matemáticos de planeamento e de apoio à decisão foram abordados nesta aula, enquanto ferramentas essenciais aos processos de PGRH, nas suas diferentes fases. A sua aplicação encontra-se cada vez mais generalizada, fruto de uma utilização crescente de softwares de modelos hidrológicos, hidráulicos, de qualidade, entre outros, disponíveis para modelação ao nível da bacia hidrográfica, integrados com sistemas de informação geográfica (SIG).

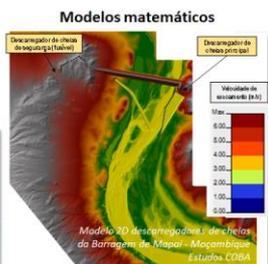


Neste contexto, foram apresentados os diferentes tipos de modelos disponíveis e alguns exemplos de modelos comerciais disponíveis para utilização (de utilização livre e mediante a aquisição de licenças). Em termos da conceptualização dos modelos, foram discutidos aspectos como o âmbito de aplicação, as escalas de tempo e as diferentes etapas do processo de modelação.

MODELOS DE PLANEAMENTO E DE APOIO À DECISÃO | TIPOS DE MODELOS

Tipos de Modelos:

- Modelos físicos
- Modelos matemáticos



MODELOS DE PLANEAMENTO E DE APOIO À DECISÃO | TIPOS DE MODELOS

Tipos de Modelos Matemáticos:

- Modelos de optimização
- Modelos de simulação

Os modelos de **optimização** e de **simulação** são frequentemente utilizados na resolução de problemas de recursos hídricos.

Estes métodos podem ser usados em combinação na solução de problemas complexos:

- Os **modelos de optimização** são úteis para eliminar soluções claramente inferiores e assim restringir o número de alternativas/variantes.
→ **Encontrar uma ou um conjunto de soluções promissoras**
- Os **modelos de simulação** permitem, após triagem, uma análise pormenorizada do problema.
→ **Avaliar as soluções promissoras e realizar algumas afinações.**

MODELOS DE PLANEAMENTO E DE APOIO À DECISÃO | TIPOS DE MODELOS

Modelos utilizados na análise / simulação de processos hidrológicos

(exemplos):

- Hidrologia (HEC-HMS; Mike-SHE; Pitman; VIC; Temez; Turc; método racional)
- Hidrologia urbana (SWMM; Mike-Urban)
- Hidráulica (HEC-RAS; Mike Hydro River)
- Planeamento de RH / Alocação de água (HEC-RES; Mike-Basin; WEAP)
- Qualidade da água (QUAL2-E; CE-QUAL-W2)
- Sedimentos (Mike-SHE; SWAT; MOHID)
- Modelos integrados, de análise de bacias hidrográficas e sistemas de apoio à decisão em tempo real (Mike-Basin; SWAT; MOHID)

Modelos Contínuos
vs
Modelos de Eventos

Modelos Agregados
vs
Modelos Distribuídos
(pseudo-distribuídos)

Níveis muito diferenciados de detalhe e de complexidade, desde modelos conceptualmente simples até modelos computacionais complexos e integrados; possibilidade de integração com ferramentas SIG.

Nos diferentes processos de planeamento e gestão e de suporte à decisão são ainda utilizados outros tipos de modelos:

- Financeiros e económicos
- Análise multicritério

3.3.5.2 Planos de Recursos Hídricos

A abordagem ao tema dos **Planos de Recursos Hídricos** iniciou-se ainda durante a parte final da **aula 19**, com a apresentação dos objectivos gerais e



operacionais que normalmente norteiam os Planos e com a apresentação das suas fases de desenvolvimento.

O tema do faseamento dos Planos de Recursos Hídricos foi retomado na **aula 20**, com uma descrição mais detalhada das atividades habitualmente desenvolvidas nas diferentes fases de desenvolvimento.

Foi seguida como exemplo o faseamento adotado no Plano Estratégico de Utilização e Desenvolvimento dos Recursos Hídricos da Bacia do Zambeze, sendo feito, sempre que pertinente, o paralelismo com o Plano Nacional da Água de Angola.

Foram apresentados os principais conceitos, dados utilizados, resultados obtidos e metodologias de análise utilizadas nas diferentes fase de elaboração dos Planos, designadamente:

- **Caracterização/ Monografia:** Caracterização da situação de referência, centrada nos RH e nos outros aspectos relevantes para a promoção da utilização de água para o desenvolvimento socioeconómico sustentável da região em estudo. Identificação de potencialidades, problemas e carências, fraquezas e oportunidades. Temas: Fisiografia e uso do solo; RH superficiais; RH subterrâneos; Qualidade da água; Ambiente; Cheias e secas; Erosão e transporte de sedimentos; Socio-economia; Necessidades e consumos e balanço hídrico; Infra-estruturas hidráulicas; Quadro institucional e legal; Aspectos financeiros e fiscais; etc. Destacam-se as seguintes atividades principais nesta fase: Recolha, tratamento e análise de dados de base; Identificação de potencialidades, problemas e carências, fraquezas e oportunidades; Balanço hídrico e índices de caracterização de RH.

PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS | CARACTERIZAÇÃO

Análise SWOT

Forças:

- Recursos naturais, potencial de valorização económica e ambiental
- Disponibilidade hídricas superficiais e subterrâneas
- Coordenação institucional
- Infra-estrutura hídrica existente
- (...)

Oportunidades:

- Aproveitamento das disponibilidades hídricas existentes para potenciar o desenvolvimento socioeconómico da região
- Aproveitamento do potencial da bacia: hidroeléctrica; agrícola; ecológica e ambiental; mineira; florestal; ecoturismo; pescas
- Implementação de medidas não infra-estruturais, visando a gestão otimizada dos RH da bacia
- (...)

Situações típicas em países de África

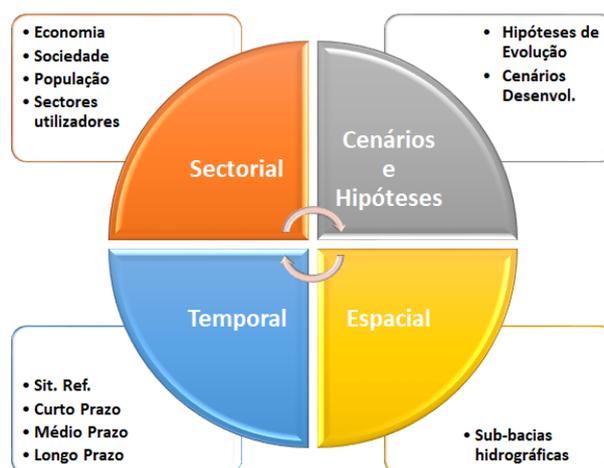
Fraquezas:

- Variabilidade dos escoamentos (potencial calamidades)
- Carências ao nível da gestão dos RH (falta de cadastro, sistemas de monitorização e estudos)
- Carências significativas ao nível dos SAA e Saneamento
- Escassez de recursos financeiros
- Insuficiência de reservas de água (armazenamento)
- Agricultura e pecuária maioritariamente de subsistência, incapaz de cobrir os custos
- Exposição a cheias e inundações
- (...)

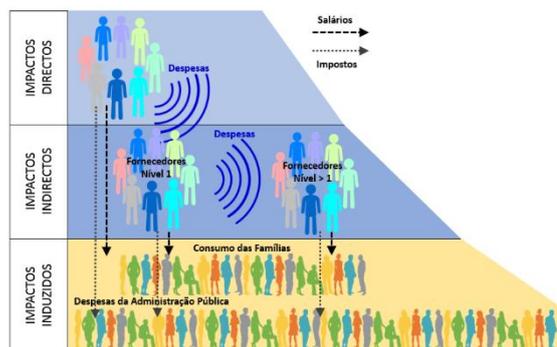
Ameaças:

- Desflorestação
- Potencial degradação de qualidade da água (intensificação da agricultura; outros)
- Desenvolvimento de excessivo de usos muito consumptivos (geração de desequilíbrios)
- Alterações climáticas (intensificação de cheias e seca; impacto nas demandas)
- Pressão ambiental (eventual crescimento acelerado)
- Erosão e assoreamento
- (...)

- **Cenários de Desenvolvimento:** Identificação de Cenários alternativos de desenvolvimento para a região, devidamente estruturados e justificados e ajustados aos princípios e às prioridades de utilização da água definidos nas políticas de água em vigor, assim como em outros planos sectoriais. Foram abordados: os tipos e modo de formulação dos cenários; as diferentes dimensões de análise; tipos de medidas de intervenção (infra-estruturais e não infra-estruturais); análise comparativa de cenários; escolha do cenário a adoptar.



- **Plano de Investimentos:** Análise e detalhamento dos projectos e planos a desenvolver com base no cenário de desenvolvimento adoptado, incluindo respectivos estudos (técnicos, ambientais e sociais), bem como a estimativa dos custos e os mecanismos de financiamento. Foram abordados os seguintes pontos: análise financeira; análise económica; efeito multiplicador; mecanismos de financiamento.



- **Estratégia de Desenvolvimento Integrado:** Recomendações e arranjos institucionais para implementar os projectos, planos e programas previstos no plano estratégico, que permitam atingir a gestão integrada dos recursos hídricos à escala da bacia hidrográfica, bem como a sua monitorização. Foram abordados os seguintes tópicos: objectivos estratégicos gerais; objectivos operacionais; princípios orientadores para a estratégia; alocação de água

entre os utilizadores; projectos para o desenvolvimento económico; projectos para a Boa Governança da Água; Questões Transversais; Recomendações e faseamento para a implementação do Plano.

PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS | ESTRATÉGIA

Princípios orientadores para a Estratégia



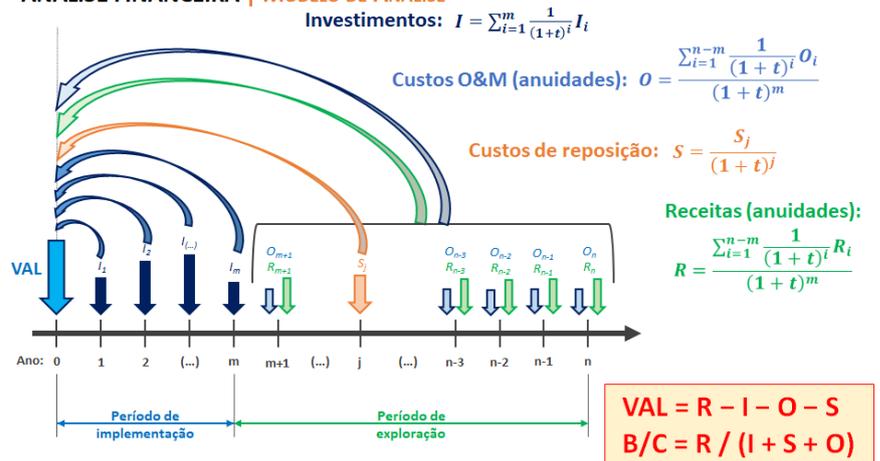
Critérios de alocação da água pelos vários sectores

3.3.5.3 Análise financeira e valorização económica dos recursos hídricos

A aula 21 do módulo 3 foi dedicada à apresentação dos fundamentos básicos para elaboração da **análise financeira e da análise económica de projetos**: a primeira (análise financeira) com o objetivo de calcular os indicadores de desempenho financeiro do projeto, sendo usualmente efetuado do ponto de vista do proprietário ou do investidor; e a segunda (análise económica), com vista ao estudo da adequabilidade de um projeto e da sua contribuição para o bem-estar económico de uma região ou país (abordando a avaliação da oportunidade para a sociedade e da melhor utilização dos recursos).

De entre os conceitos básicos introduzidos, foi dada especial atenção aos seguintes: fluxos monetários; período de análise; actualização; capitalização; indicadores de viabilidade financeira ou económica (VAL; índice B/C; TIR; período de recuperação do investimento; custo unitário de produção actualizado).

ANÁLISE FINANCEIRA | MODELO DE ANÁLISE



Após a introdução dos conceitos básicos principais foi demonstrada, na aula, a montagem passo a passo de um modelo de análise financeira. Este modelo foi desenvolvido em MS Excel, considerando como dados de entrada/pressupostos: custos de investimento; custos de operação e manutenção; custos de reposição de equipamentos; valor residual das infra-estruturas e equipamentos no final do período de análise; produção média anual; receita anual esperada; período de análise; taxa de actualização de referência.

ANÁLISE FINANCEIRA | MODELO DE ANÁLISE

Montagem de um modelo de análise financeira:

Dados e pressupostos:

- Custos de investimento
- Custos de operação e manutenção
- Custos de reposição de equipamentos
- Valor residual das infra-estruturas e equipamentos no final do período de análise
- Produção média anual
- Receita anual esperada
- Período de análise
- Taxa de actualização de referência

Custos Investimento		Produção		Indicadores económicos	
Investimento CC	M USD	Produção média anual	G Wh/ano	Taxa de actualização (t)	
Investimento Equip	M USD			$I+S+D$: Custo Total Actualizado	M USD
Investimento Total	M USD			R: Receita Total Actualizada	M USD
Reposição Equip	M USD			Valor Líquido Actualizado (VAL) = R - (I+S+D)	M USD
Valor residual no HP	M USD			Índice Benefício-Custo (B/C) = R / (I+S+D)	-
				Tempo de amortização (TA)	anos
				Custo unitário de produção actualizado	USD/kWh
				Taxa interna de rentabilidade (TIR)	

Custos O&M	
O&M CC	M USD / ano
O&M Equip	M USD / ano
O&M Total	M USD / ano

Nº ordem	Ano civil	Ano exploração	Factor actual.	Produção		Custos			Receitas		Cash-flow			
				Efectiva	Actualizado	Inv. + Rep.	O&M	Total	Total Act.	Anual	Actualizada	Efectivo	Actualizado	Acumul. Act.
0	2021													
1	2022													
2	2023													
3	2024													

A finalizar a **aula 21** foi realizado um exercício prático de aplicação dos conceitos adquiridos. Utilizando o modelo de análise financeira desenvolvido em MS Excel, foi realizada a análise da viabilidade integrar, no projecto de construção de uma barragem, uma componente de produção hidroeléctrica (construção de central hidroeléctrica). Tendo por base as características da central hidroeléctrica e a receita média anual esperada da produção de energia, os custos de construção e de operação e manutenção e pressupostos adoptar na análise, foram efectuadas as seguintes análises:

- Cálculo dos indicadores económicos VAL, B/C, TIR e TA (período de recuperação do investimento)
- Cálculo do custo unitário actualizado de produção de energia (custo unitário actualizado do kWh)
- Em função dos indicadores económicos obtidos, foi comentada viabilidade do projecto hidroeléctrico

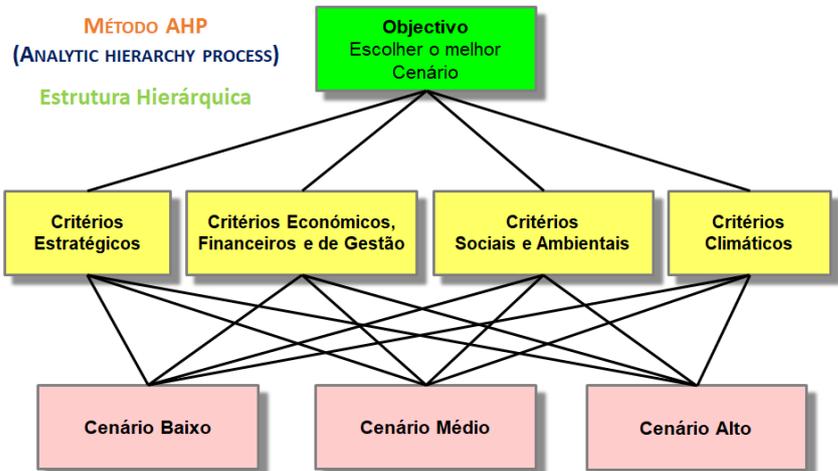
Por fim, foi realizada uma análise de sensibilidade aos valores obtidos admitindo: maiores custos de investimento; menor produção; maior taxa de actualização. As variações dos resultados destas variações foram comentadas, dando noção da resiliência do projecto face a eventuais desvios nos dados e pressupostos da análise.

O tema da análise financeira de projetos foi ainda retomado no decorrer da **aula 25** do módulo 3, na qual foi realizado um outro exercício a pedido dos formandos. Neste caso, o objetivo passou por estimar qual a taxa por m³ de água captada (utilizada) que teria de ser aplicada de modo a permitir a recuperação dos custos com a instalação e operação da rede de monitorização dos recursos hídricos de Angola. Neste exercício foram utilizados alguns dados reais dos custos com rede existente, e admitidos valores de consumos de água pelas várias utilização obtidos no Plano Nacional da Água de Angola. A análise foi realizada admitindo vários cenários de recuperação dos custos, designadamente: Cenário 1 - Os custos são suportados na íntegra pelo sector da irrigação; Cenário 2 - Os custos são suportados na íntegra pelo sector da energia; Cenário 3 - Os custos são suportados na íntegra pelos sectores da irrigação e da indústria; Cenário 4 - Os custos são suportados na íntegra pelo sector do abastecimento público. Este exercício revelou-se muito interessante, tendo permitido uma aplicação prática, a um tema conhecido dos formandos e demonstrando a aplicabilidade e interesse da utilização dos modelos de análise financeira.

3.3.5.4 Análise multicritério

As aulas 22 e 23 foram dedicadas ao tema da **Análise Multicritério**, com ênfase na sua utilização em estudos e projetos de recursos hídricos.

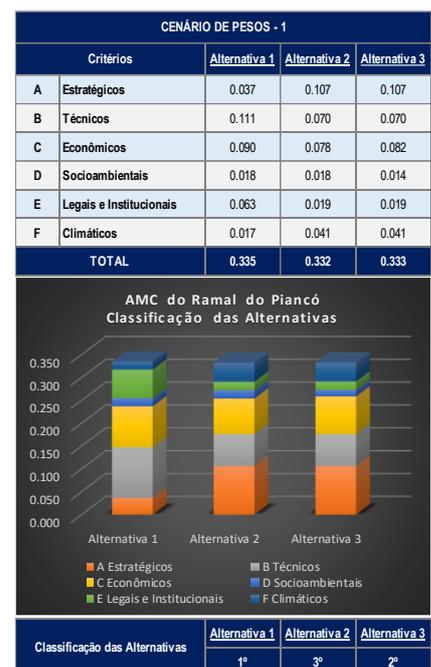
A primeira parte da aula 22 foram apresentados os objetivos deste tipo de análises e referida a existência de diversas técnicas/métodos, de entre os quais foi destacado o Método da Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process, AHP), muito divulgado e adequado para aplicação a problemas de engenharia (método AHP: aplicação simples; fácil compreensão; intuitivo em termos de aplicação e interpretação de resultados).



Prosseguiu-se com a apresentação da formulação e da metodologia de aplicação do método AHP, que assenta essencialmente nos seguintes passos metodológicos:

- Critérios de avaliação:
 - Identificação e seleção de critérios, subcritérios e fatores de análise
 - Definição de vetor de preferências – pesos dos critérios
- Valorização/ mensuração das alternativas
 - Definição da matriz dos valores das alternativas
- Normalização da matriz dos valores das alternativas (escala única)
- Hierarquização das alternativas
 - Valorização e ranking das alternativas (vetor de preferências x matriz normalizada)

Foi feita a descrição de cada um dos passos do método e apresentados exemplos de aplicação em casos reais (com apresentação de critérios adoptados, cenários de análise e do modos de apresentação de resultados).



Após a apresentação da metodologia procedeu-se à apresentação e resolução, passo a passo, de um exercício prático. O exercício proposto consistiu num problema teórico para escolha da alternativa mais adequada para escolha da origem de água para reforçar o abastecimento à Cidade A. Para o efeito definidas 3 alternativas:

- Opção 1: Novo campo de furos próximo da cidade (junto ao campo de furos existente)
- Opção 2: Construção de barragem a cerca de 5 km da cidade
- Opção 3: Captação em rio a cerca de 30 km da cidade (sem necessidade de criar armazenamento)

Ainda no decurso da aula 22, foi realizada uma discussão abrangente, com participação activa dos formandos, sobre os critérios de análise mais apropriados para o problema em causa. Foram adotados critérios: estratégicos; técnicos e operacionais; económicos e financeiros; socioambientais; legais e institucionais; climáticos.

Critérios		Peso	Sub-critérios		Peso	Peso	Natureza dos Critérios	Escala
A	Estratégicos	40.0%	A.1	Segurança hídrica / Garantia de abastecimento / Disponibilidades	50.0%	20.0%	Qualitativo / Escala	1 a 5
			A.2	Oportunidade de desenvolvimentos futuros do sistema (outros usos)	25.0%	10.0%	Qualitativo / Escala	1 a 5
			A.3	Possibilidades de ampliação	25.0%	10.0%	Qualitativo / Escala	1 a 5
B	Técnicos e operacionais	15.0%	B.1	Complexidade e condições de realização	30.0%	4.5%	Qualitativo / Escala	1 a 5
			B.2	Exigências de operação e manutenção	50.0%	7.5%	Qualitativo / Escala	1 a 5
			B.3	Prazo de implementação	20.0%	3.0%	Qualitativo / Escala	1 a 5
C	Económicos e Financeiros	15.0%	C.1	Investimento	40.0%	6.0%	Quantitativo	M USD
			C.2	Custos de O&M	20.0%	3.0%	Quantitativo	M USD/ano
			C.3	Custo unitário actualizado do m3 (ou outro indicador financeiro)	40.0%	6.0%	Quantitativo	USD/m3
D	Socioambientais	15.0%	D.1	Perda de habitats e biodiversidade	40.0%	6.0%	Qualitativo / Escala	1 a 5
			D.2	Afectação de comunidades	40.0%	6.0%	Qualitativo / Escala	1 a 5
			D.3	Alteração do regime hidrológico	20.0%	3.0%	Qualitativo / Escala	1 a 5
E	Legais e institucionais	0.0%	E.1	Conflitos institucionais	100.0%	0.0%	Qualitativo / Escala	1 a 5
F	Climáticos	15.0%	F.1	Resiliência climática	100.0%	15.0%	Qualitativo / Escala	1 a 5

Na **aula 23** foi dedicada à continuação e conclusão do exercício pratico de análise multicritério iniciado na aula anterior. Foram atribuídos pesos aos critérios de análise e, posteriormente, as 3 alternativas em análise foram valorizadas à luz de cada critério. Após normalização dos valores atribuídos às alternativas, procedeu-se então ao cálculo da sua pontuação final, resultando numa hierarquização e classificação final das alternativas.

Os resultados dos estudos de AMC contribuem para dotar os Clientes dos elementos necessários para uma tomada de decisão informada e consistente quanto à melhor solução para um determinado projecto ou plano ou para suprir determinadas necessidades.

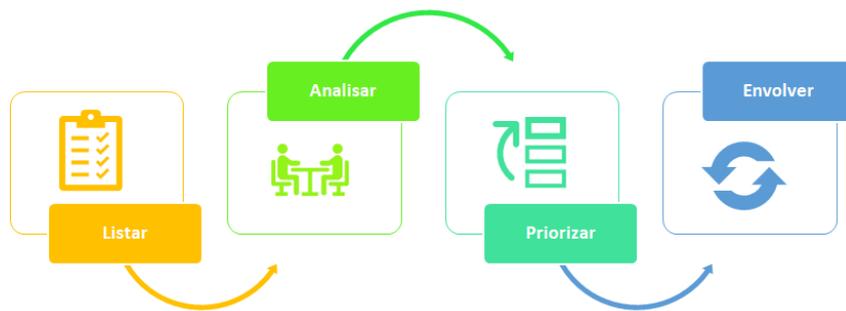
Contudo, qualquer técnica de AMC incorpora um nível de subjetividade não desprezável (impossível de eliminar totalmente, mas que importa avaliar e mitigar). Os estudos de AMC devem ser realizados de forma consubstanciada por estudos técnicos, económicos e socioambientais, permitindo uma adequada caracterização dos problemas. A definição de critérios e atribuição dos respectivos pesos deve ser efectivada ao abrigo de uma abordagem integradora (se possível com participação de diferentes partes interessadas) e previamente à concretização da análise. Deve ainda ser realizada análise consistente e fundamentada dos resultados, com recurso a análises de sensibilidades para aferir a robustez dos resultados.

No âmbito do curso foram transmitidos conceitos no sentido de familiarizar os formandos com as abordagens e conceitos envolvidas nestes estudos, de modo a permitir a sua aplicação em situações práticas simples e/ou o acompanhamento de estudos e actividades de planeamento e gestão nas quais as instituições que representam possam estar envolvidas.

3.3.5.5 Participação das partes interessadas na gestão dos recursos hídricos

A concluir o sub-módulo 4, a **aula 24** foi dedicada ao tema da participação das Partes Interessadas (Stakeholders) especialmente quando se trata de contextos que devem incluir algum grau de protecção dos recursos.

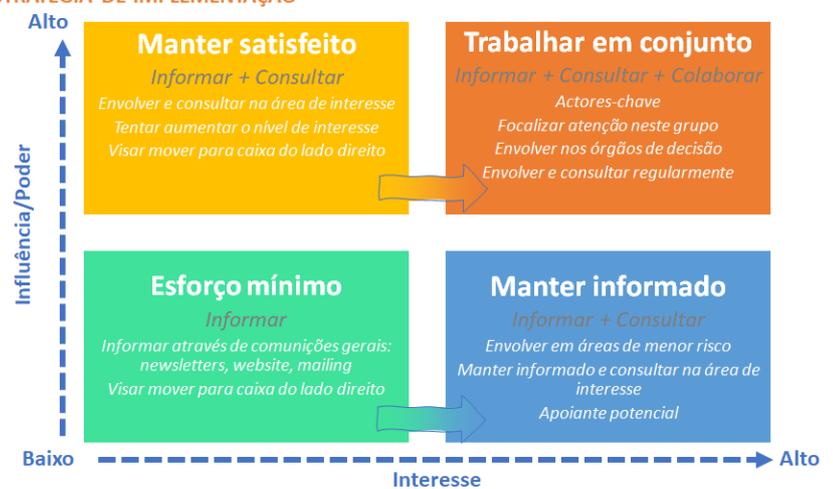
A gestão da água deve ser descentralizada, integrada e com participação das partes interessadas, incluindo a sociedade civil. Esta participação pública surge como uma forma de incluir todos os interessados no desenvolvimento sustentável dos recursos hídricos. A gestão e implementação bem sucedida do projecto estará directamente relacionada com a participação ampla e co-responsável das várias entidades no processo de planeamento. Quanto mais intervenientes formais e informais estiverem envolvidos no planeamento, maiores são as probabilidades de sucesso.



No entanto, a diversidade de questões que envolvem uma gestão sustentável dos recursos hídricos, torna o envolvimento das partes interessadas um assunto complexo. Neste contexto, e de modo a dar uma perspectiva geral dos processos de envolvimento de partes interessadas, foram abordados os seguintes tópicos principais:

- Abordagem participativa na gestão integrada dos recursos hídricos
- Definição de parte interessada
- Importância do envolvimento das partes interessadas
- Estratégias para envolver as partes interessadas
- Passos para elaborar um plano de envolvimento das partes interessadas
- Importância da comunicação com as partes interessadas
- Capacitação de partes interessadas
- Mecanismos de queixa

ESTRATÉGIA DE IMPLEMENTAÇÃO



Procurou-se assim dar aos formandos um enquadramento geral sobre a importância da abordagem participativa, com introdução das estratégias para a sua implementação e o envolvimento efetivo das partes interessadas ao nível do Planeamento e Gestão dos Recursos Hídricos.

3.4 MÓDULO 4

3.4.1 Programa do Módulo 4

Este módulo de formação visou de forma geral fornecer e consolidar aos formandos os fundamentos de Hidráulica e promover a aplicação prática dos conhecimentos teóricos adquiridos pela realização de exercícios em Excel em todas as aulas teóricas e a aplicação do modelo de modelação hidráulica HEC-RAS.

No Quadro 3.1 apresenta-se o Programa do Módulo de Formação 4, com indicação do dia de realização de cada aula, durações estimadas para a parte teórica e prática e o formador da aula.

Quadro 3.4 – Programa do Módulo de Formação 4 – Obras Hidráulicas

Programa	Dia/mês	Teóricas	Práticas	Formador
1ª semana:				
Sub-Módulo 1 – Fundamentos de Hidráulica. Escoamentos sob pressão e com superfície livre. Turbomáquinas (bombas e turbinas). Orifícios, descarregadores e medições hidráulicas. Introdução à Hidráulica. Propriedades dos fluidos e escoamentos. Hidrostática. Tipos de escoamentos. Resolução de exercícios	22/Fev.	2,0 h	1,0 h	António Amador
Estudo global dos escoamentos. Teorema de Bernoulli. Teorema de Euler. Leis de resistência dos escoamentos uniformes. Resolução de exercícios	23/Fev.	2,0 h	1,0 h	António Amador
Escoamentos sob pressão. Cálculo de instalações hidráulicas. Influência do traçado de condutas. Órgãos de manobra e segurança. Medidores de caudais. Resolução de exercícios	24/Fev.	2,0 h	1,0 h	António Amador
Escoamentos sob pressão. Cálculo de instalações hidráulicas. Cálculo de condutas com consumo uniforme de percurso. Resolução de exercícios	25/Fev.	2,0 h	1,0 h	António Amador
Bombas hidráulicas. Tipos de bombas. Descrição geral e condições de instalação de bombas. Estudo do funcionamento permanente a partir das curvas características. Características da bomba e da instalação. Arranque e escorvamento de bombas. Altura de aspiração de bombas	26/Fev.	2,5 h	0,5 h	António Amador
2ª semana:				
Escoamentos com superfície livre. Regime uniforme. Determinação da altura de regime uniforme. Determinação da rugosidade em canais e rios. Seções mistas e compostas. Resolução de exercícios	01/Mar	2,0 h	1,0 h	António Amador
Escoamentos com superfície livre. Energia específica. Regime crítico. Quantidade de movimento total. Ressalto hidráulico. Curvas de Regolfo. Resolução de exercícios	02/Mar.	2,0 h	1,0 h	António Amador
Escoamentos com superfície livre. Exemplos de singularidades e regolfos. Estudo do ressalto hidráulico. Resolução de exercícios	03/Mar.	2,0 h	1,0 h	António Amador
Escoamentos por orifícios e descarregadores. Leis de vazão de orifícios. Leis de vazão de descarregadores. Medições hidráulicas (nível, pressão, velocidade e caudal). Resolução de exercícios	04/Mar.	2,0 h	1,0 h	António Amador
Tipos de Turbinas e domínios de aplicação. Descrição geral e condições de instalação de turbinas. Diagramas em colina. Altura de aspiração de turbinas de reação.	05/Mar.	3,0 h	-	António Amador
3ª semana:				
Sub-Módulo 2 – Modelação Hidráulica de rios e canais. Aplicação do Modelo HEC-RAS.	09/Mar.	3,0 h	-	André Mendes

Programa	Dia/mês	Teóricas	Práticas	Formador
Modelo HEC-RAS. Apresentação sobre modelação hidráulica. Potencialidades e exemplos. Introdução ao HEC-RAS.				
Modelo HEC-RAS. Exercício prático n.º 1. Modelação de troço fluvial. Componentes do Modelo. Definição de geometrias.	10/Mar.	1,0 h	2,0 h	
Modelo HEC-RAS. Exercício prático n.º 1 (cont.). Definição de geometrias. Condições de fronteira. Correr o modelo e explorar os resultados.	11/Mar.	0,5 h	2,5 h	
Modelo HEC-RAS. Exercício prático n.º 2. Calibrar um modelo hidráulico.	12/Mar.	0,5 h	2,5 h	
4ª semana:				
Modelo HEC-RAS. Exercício prático n.º 2 (parte 2) – Calcular curva de vazão numa secção. Exercício prático n.º 3 – Curva de vazão na secção da EH Ngango	15/Mar.	0,5 h	2,5 h	André Mendes
Modelo HEC-RAS. Exercício prático n.º 3 (cont.) – Curva de vazão na secção da EH Ngango. Modelos em regime variável. Informação georreferenciada e modelos 2D.	16/Mar.	0,5 h	2,5 h	
Sub-Módulo 3 – Aproveitamentos hidráulicos e barragens. Órgãos hidráulicos de segurança e exploração. Operação e exploração de aproveitamentos hidráulicos. Aproveitamentos Hidráulicos e Barragens: Tipos e Finalidades. Condicionamentos da selecção do tipo de barragens. Barragens de betão (barragens de gravidade, barragens de contrafortes e de abóbada). Barragens de Aterro (barragens de terra e de enrocamento). Exemplos de barragens em Angola e Portugal.	17/Mar.	3,0 h	-	Cruz Morais
Órgãos de segurança e exploração. Descarregadores de cheias. Tipos de descarregadores. Caudal de dimensionamento. Estruturas de controlo. Dissipação de energia. Exercício prático: dimensionamento hidráulico de um descarregador de cheias.	18/Mar.	2,0 h	1,0 h	
Órgãos de segurança e exploração. Descarga de fundo. Definição de descarga de fundo. Capacidade das descargas de fundo. Constituição das descargas de fundo. Regulação de caudais. Dissipação de energia. Circuitos de caudal ecológico. Cálculo da capacidade de descarga. Exemplos de descargas de fundo. Exercício prático.	19/Mar.	1,5 h	1,5 h	
5ª semana:				
Órgãos de segurança e exploração. Tomadas de água. Definição de Tomada de Água. Capacidade de uma tomada de água. Constituição das tomadas de água. Comportas e sistema de regulação. Cálculo da capacidade de uma tomada de água. Derivação do rio. Exemplos de tomadas de água. Exercício práticos.	24/Mar.	1,0 h	2,0	Cruz Morais

Programa	Dia/mês	Teóricas	Práticas	Formador
Modelos hidráulicos físicos reduzidos. Aspectos teóricos. Caso do Aproveitamento Hidroelétrico de Laúca. Ensaio realizados.	25/Mar.	3,0 h	-	António P. da Silva
Modelos hidráulicos computacionais. Introdução ao CFD (Computational Fluid Dynamics). Vantagens e desvantagens do CFD. Generalidades sobre modelação numérica. Exemplos: Descarregador de cheias de Laúca. Descarregador de cheias de Caniçada. Descarregador de cheias de Bou-Heurtma. Estação Elevatória do Vale da Pedra. Tomada-de-água de Warsak.	26/Mar.	3,0 h	-	Alexandre Duarte
6ª semana:				
Segurança e Operação de Barragens. Manuais de operação e exploração de um aproveitamento. Introdução. Conceito de Segurança de Barragem. Regulamentação da Segurança de Barragens. Plano de Observação, Manual de Exploração e Plano de Emergência Interno. Exemplos.	29/Mar.	3,0 h	-	Lúcia Almeida
Segurança e Operação de Barragens. Inspeções de segurança. Reabilitação da Barragem do Gove. Inspeção de Segurança de barragens de rejeitados no Brasil. Considerações Finais.	30/Mar.	3,0 h	-	
30 Março: envio do Teste e da Ficha de Avaliação do Módulo 4 aos os formandos.				
31 de Março 8 de Abril: período para os formandos realizarem o Teste.				
7ª semana				
Correcção do teste. Esclarecimento de dúvidas. Partilha de experiências relativas ao Módulo 4.	09/Abr.	-	3,0 h	António Amador André Mendes Cruz Morais

Duração total do Módulo de Formação 4: 25 dias úteis

3.4.2 Sub-Módulo 1 – Fundamentos de Hidráulica. Escoamentos sob Pressão e com Superfície Livre. Turbomáquinas (Bombas e Turbinas). Orifícios e Descarregadores e Medições Hidráulicas.

Este sub-módulo pretendeu introduzir os principais princípios e teoremas da hidráulica que regem os escoamentos sob pressão e com superfície livre.

Neste sub-módulo foram estudados os escoamentos sob pressão e os escoamentos com superfície livre. Foram igualmente transmitidos os conceitos fundamentais sobre turbomáquinas hidráulicas (bombas e turbinas).

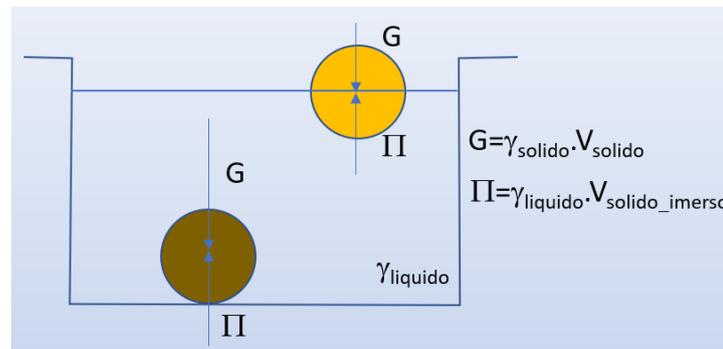
As leis de vazão de orifícios e descarregadores e os principais aparelhos e dispositivos para a realização de medições hidráulicas em escoamentos sob pressão e com superfície livre foram apresentados.

3.4.2.1 Introdução à Hidráulica. Propriedades de líquidos. Hidrostática (1ª aula)

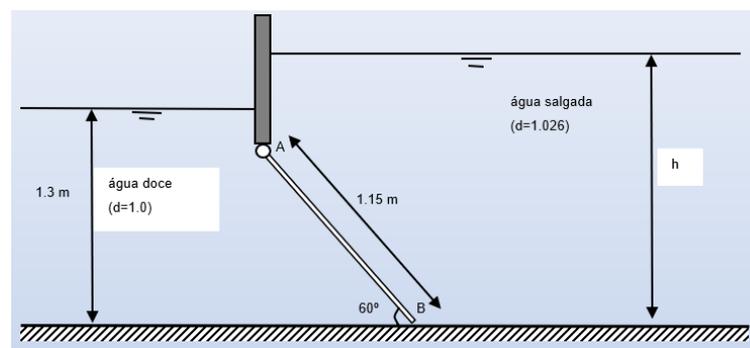
Iniciou-se a aula com a descrição das atividades associadas ao exercício da profissão de engenheiro no domínio do planeamento, projeto e gestão dos sistemas destinados à utilização e ao domínio da água.

As principais propriedades dos fluidos foram descritas indicando as principais diferenças entre gases e líquidos. Atenção particular foi dada às propriedades da água: massa volúmica, peso volúmico, densidade, viscosidade, coeficiente de compressibilidade e tensão de saturação do vapor líquido.

Nesta aula procedeu-se também à apresentação dos princípios da hidrostática, conceito de pressão absoluta e relativa, à determinação da impulsão hidrostática sobre superfícies planas e curvas e ao cálculo da impulsão sobre corpos imersos e flutuantes (Teorema de Arquimedes).



Nesta 1ª aula foram resolvidos dois problemas práticos: um sobre a aplicação do Teorema de Arquimedes e o segundo sobre a determinação da impulsão sobre uma comporta plana.



3.4.2.2 Estudo global dos escoamentos (2ª aula)

Nesta aula descreveu-se os dois modos (ou) regimes de escoamentos de fluidos, laminar e turbulento e as condições em que ocorre um e outro. A experiência de Reynolds foi apresentada bem como as observações sobre o comportamento dos dois modos de escoamento.

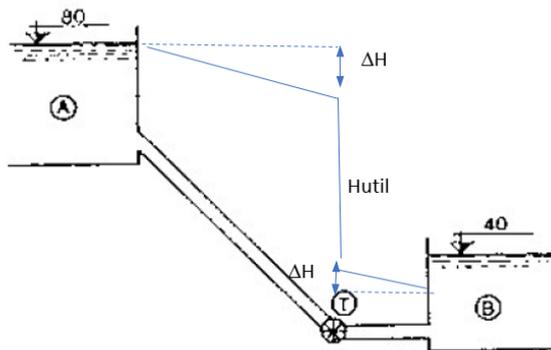
O Estudo global dos escoamentos baseia-se na equação da continuidade, na generalização do Teorema de Bernoulli para o tubo de fluxo e no teorema da quantidade de movimento ou teorema de Euler.

A expressão do teorema de Bernoulli para o regime permanente e variável foi apresentada bem como o significado das variáveis que compõem o teorema. O conceito de linha de energia e piezométrica foi introduzido.

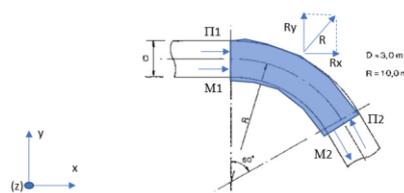
A potência do escoamento que atravessa uma dada seção depende da carga total e do caudal que atravessa o tubo de fluxo. O cálculo da potência de turbinas e bombas em instalações simples foi descrito com base no conceito da potência hidráulica.

O Teorema de Euler ou da quantidade de movimento tem larga utilização na Hidráulica para a determinação de forças que líquidos em movimento ou repouso exercem sobre as superfícies que contactam. Os formandos foram introduzidos aos princípios de aplicação deste teorema.

A parte prática da aula consistiu na resolução de um primeiro problema sobre a determinação da potência de uma turbina e de uma bomba e um segundo problema de aplicação do Teorema de Euler.



Numa galeria circular em pressão, com 3,0 m de diâmetro, escoam-se um caudal de $25 \text{ m}^3/\text{s}$. Aquela galeria tem inserida uma curva com eixo horizontal, de raio igual a 10 m e ângulo ao centro de 60° , em que a altura piezométrica se pode considerar constantemente igual a 100 m.



Determinar a força sobre o troço curvo da galeria nos seguintes casos:

- Quando se dá o escoamento atrás referido.
- Quando não há escoamento em virtude de a galeria ter sido obturada por uma comporta muito afastada da curva.
- Quando a obturação se faz imediatamente a jusante da curva por uma comporta.

3.4.2.3 Escoamentos sob pressão (3ª aula)

Na terceira aula foram apresentadas as diferentes leis de resistência dos escoamentos uniformes, tendo-se iniciado pela Fórmula de Colebrook White e o Ábaco de Moody e seguidamente as leis empíricas para os regimes turbulentos.

O estudo dos escoamentos permanentes sob pressão foi abordado nesta aula e o modo de cálculo de perdas de carga contínuas e singulares.

O cálculo de instalações hidráulicas sob pressão com base na aplicação do Teorema de Bernoulli, das leis de resistência dos escoamentos e da equação da continuidade foi descrito. A influência do traçado das condutas nas características do escoamento sob pressão foi analisado.

Os elementos acessórios mais correntes em instalações hidráulicas com escoamento sob pressão foram apresentados.

No problema prático foi resolvido o cálculo de uma instalação hidráulica funcionando com escoamento sob pressão.





3.4.2.4 Escoamentos sob pressão (continuação) (4ª aula)

Nesta aula deu-se a continuação do estudo dos escoamentos sob pressão. Foram apresentados em mais pormenor os órgãos de manobra e segurança de instalações hidráulicas, com particular atenção para as ventosas.

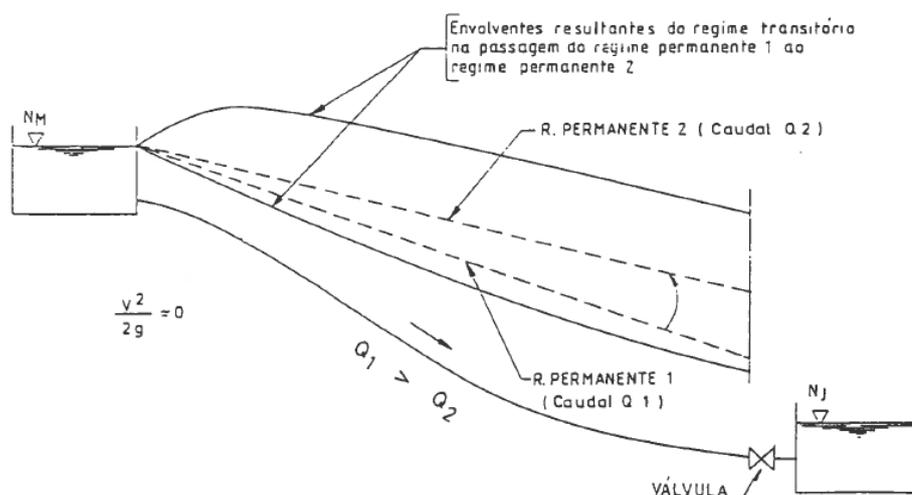


A medição hidráulica em sistemas funcionando com escoamento sob pressão foi abordada. Foram descritos os principais aparelhos de medição de caudal nestes sistemas.

Seguidamente apresentou-se o cálculo hidráulico de sistemas elevatórios considerando instalações de bombagem com uma única bomba ou com bombas instaladas em série ou em paralelo.

A análise de condutas com consumo uniforme de percurso foi igualmente abordado.

O fenómeno do golpe de aríete foi descrito e os diferentes dispositivos de proteção contra este fenómeno apresentados.



Procedeu-se à resolução de dois problemas práticos, o primeiro envolvendo um sistema elevatório e o segundo sobre condutas com consumo uniforme de percurso.

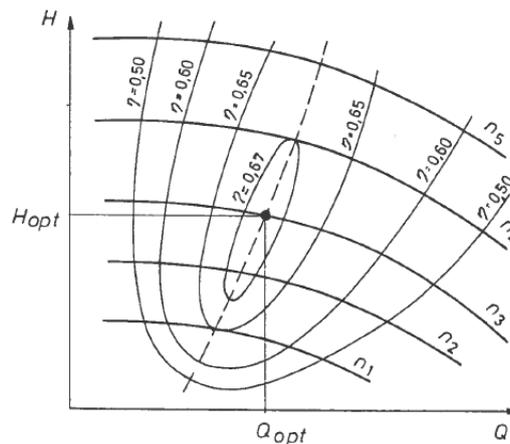
3.4.2.5 Bombas hidráulicas (5ª aula)

Nesta aula foi realizada uma introdução às turbomáquinas hidráulicas com maior detalhe sobre as bombas hidráulicas.

Os diferentes tipos de bombas hidráulicas foram apresentados. Realizou-se uma descrição geral da constituição das bombas e das condições da sua instalação. O domínio de aplicação dos diferentes tipos de bombas foi descrito bem como o cálculo do número específico de rotações de uma bomba.



As possíveis condições de funcionamento de uma bomba em regime permanente foram sintetizadas no diagrama em colina, em que estão representadas duas famílias de curvas. As curvas de uma das famílias são as isolinhas do rendimento e as da outra família relacionam a altura de elevação e o caudal para uma dada velocidade de rotação n .



O estudo do funcionamento das bombas em regime permanente a partir das curvas características foi analisado.

O arranque e escorvamento das bombas foram temas também abordados.

Finalmente apresentou-se o modo de determinação da altura máxima de aspiração de uma bomba.

No problema prático procedeu-se à determinação da altura máxima de aspiração para determinadas condições de instalação de um sistema elevatório.

3.4.2.6 Escoamentos com superfície livre (6ª aula)

Introdução aos escoamentos com superfície livre com apresentação de diversos exemplos da sua ocorrência na natureza e em infraestruturas.



Descrição dos diferentes tipos de regime que existem num escoamento com superfície livre.

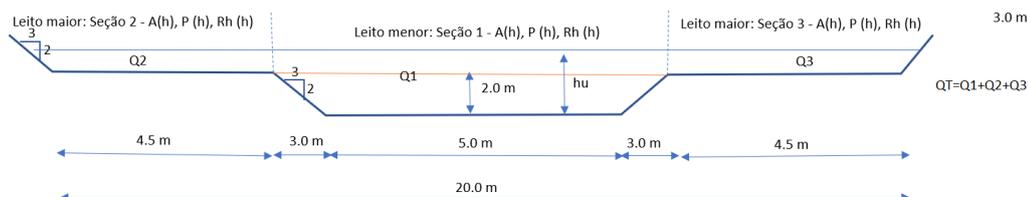
Foi inicialmente analisado o escoamento uniforme com superfície livre e o modo de calcular as características do escoamento para secções livres, secções mistas, secções compostas e secções fechadas.

Foram resolvidos quatro problemas relacionados com a determinação das características do regime uniforme no caso de secção simples, secção mista, secção composta e secção fechada.

Um canal de secção dupla apresenta as seguintes características:

- declive: 0,0012;
- largura do rasto do leito menor: 5,00 m;
- taludes a 2/3 (V/H);
- altura do leito menor: 2,00 m;
- largura do rasto do leito maior: 20,00 m;
- revestimento de asfalto rugoso.

Determine o caudal transportado em regime uniforme no leito menor e a altura do escoamento uniforme para o caudal de $250 \text{ m}^3/\text{s}$.

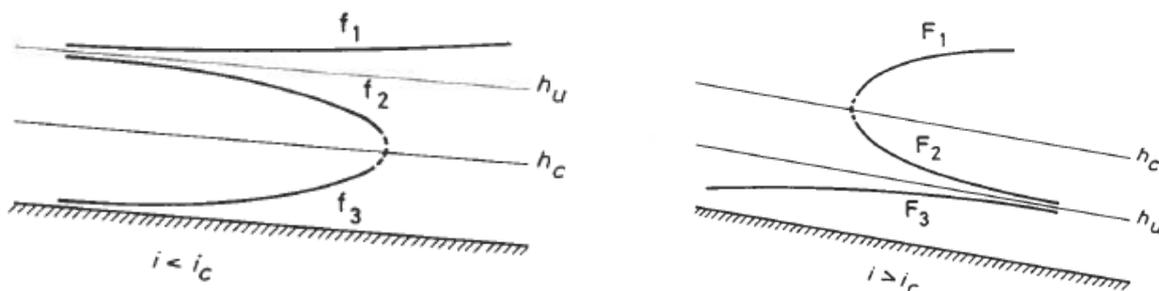


3.4.2.7 Escoamentos com superfície livre (continuação) (7ª aula)

Nesta aula procedeu-se à continuação do estudo dos escoamentos com superfície livre. Foi analisada a função energia específica do escoamento. O conceito de regime crítico foi introduzido.

A definição do regime rápido e lento e o controlo do escoamento nestes dois tipos de regimes foram apresentados.

As curvas de regolfo com caudal constante em canais prismáticos foram descritas.



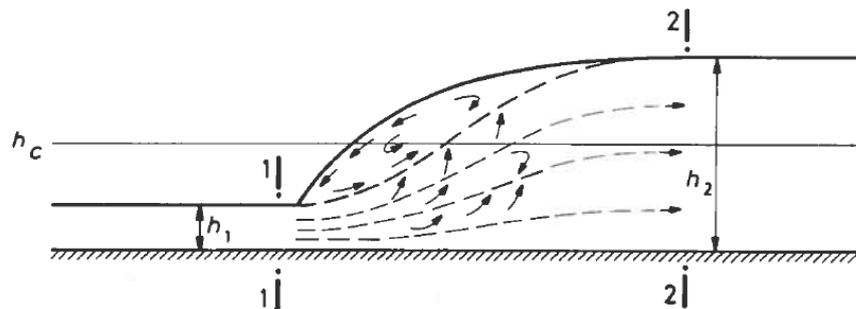
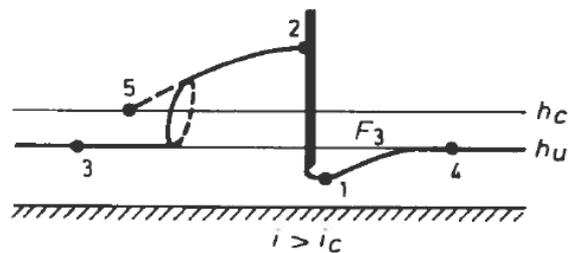
Nos dois problemas práticos determinou-se as grandezas do regime crítico num canal trapezoidal e as curvas de energia específica para caudal constante e a curva do caudal em função da altura do escoamento para uma energia específica constante.

3.4.2.8 Escoamentos com superfície livre (continuação) (8ª aula)

O estudo dos regolfos com caudal constante em canais prismáticos teve continuidade nesta aula. Foram analisados diversos exemplos de singularidades e regolfos em canais prismáticos.

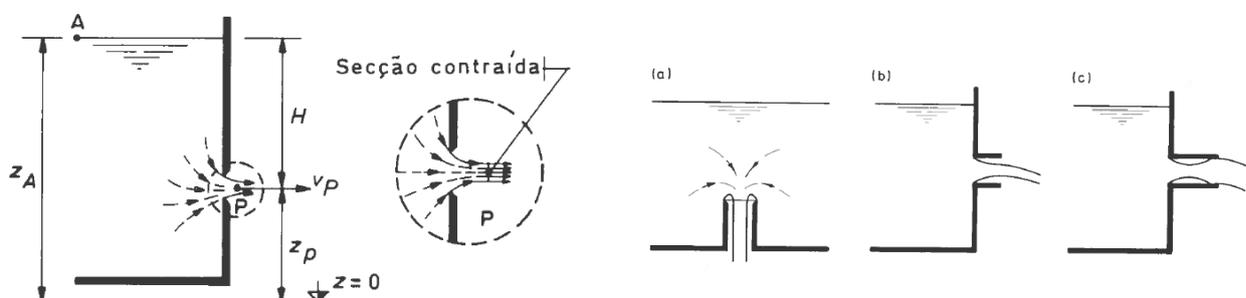
Seguidamente efetuou-se o estudo do ressalto hidráulico, tendo-se abordado as condições de ocorrência deste fenómeno em canais, as formas de ocorrência, a determinação da sua localização e as suas características principais.

Foram resolvidos dois problemas práticos sobre regolfos em canais prismáticos com diferentes singularidades.



3.4.2.9 Escoamentos por orifícios e descarregadores. Medições hidráulicas (9ª aula)

Esta aula foi dedicada ao estudo dos escoamentos por orifícios e descarregadores. Foram apresentadas as leis de vazão de orifícios de parede delgada e parede espessa, orifícios submersos e parcialmente submersos e orifícios de grandes dimensões de paredes verticais.



Os escoamentos sobre descarregadores foram também analisados. Foram apresentadas as leis de vazão em descarregadores retangulares de parede delgada, descarregadores de diretriz circular de parede delgada, descarregadores de Cipolletti (trapezoidais) e descarregadores triangulares. Os descarregadores de parede espessa foram igualmente descritos nomeadamente o de soleira normal e de soleira espessa horizontal.

Os aparelhos e dispositivos de medições hidráulicas de diversas grandezas do escoamento: nível, pressão, velocidade e caudal foram descritos.

Foram resolvidos dois problemas práticos, um sobre os escoamentos por orifícios e o segundo sobre descarregadores.

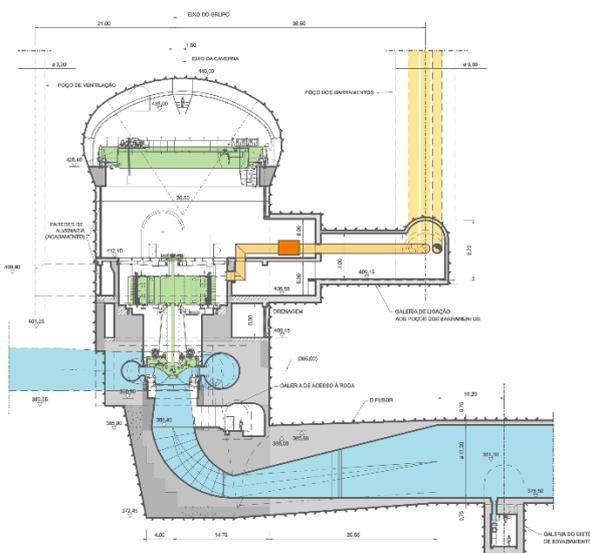
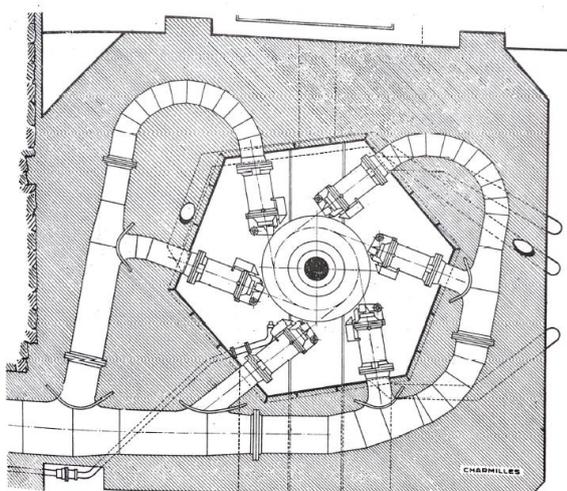
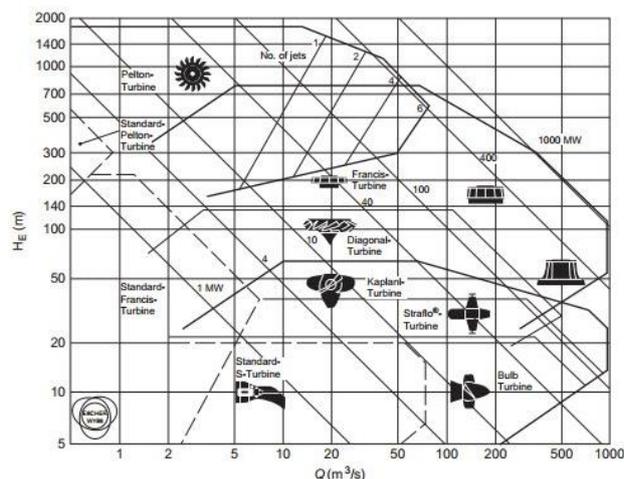
3.4.2.10 Turbinas (10ª aula)

Nesta aula foi realizada uma introdução às turbinas e apresentados exemplos de aproveitamentos hidroelétricos.

Os diferentes tipos de turbinas e os seus domínios de aplicação foram descritos. Realizou-se uma descrição geral da constituição de cada tipo de turbina e as condições da sua instalação.

As possíveis condições de funcionamento de uma turbina em regime permanente foram sintetizados no diagrama em colina. Os conceitos de funcionamento em vazio e em embalamento da turbina foram apresentados.

Finalmente descreveu-se o modo de determinação da altura de aspiração de uma turbina de reação.



3.4.3 Sub-Módulo 2 – Modelação Hidráulica de Rio e Canais. Aplicação do Modelo HEC-RAS

No sub-módulo 2 (11ª à 16ª aulas) foi apresentado o modelo de simulação hidráulica HEC-RAS, tendo sido introduzidos os seus conceitos gerais e efetuados exercícios com o objetivo de capacitar os formandos na elaboração de modelos hidráulicos. Ao longo do sub-módulo foram aplicados conceitos adquiridos no sub-Módulo 1 (escoamento em regime permanente e em regime variado, escoamentos uniforme e crítico, regimes rápido e lento, entre outros).

O trabalho foi realizado com recurso a folhas de cálculo Excel e ao programa HEC-RAS do US Army Corps of Engineers. Além da apresentação dos conceitos necessários para a elaboração de um modelo HEC-RAS em regime permanente, foram realizados três exercícios, o último dos quais por proposta dos formandos, e com o propósito de aplicar os conceitos adquiridos a uma Estação Hidrométrica existente em Angola.

Apresenta-se de seguida o conteúdo do Sub-Módulo 2:

- Apresentação e potencialidades do Modelo HEC-RAS:
 - Indicação de links para download do programa, manuais, e publicações de referência;
 - Introdução ao conceito de modelação hidráulica fluvial;
 - Exemplos de aplicações do Modelo Hidráulico HEC-RAS;
 - Definição da componente geométrica, e caracterização das linhas de água e das secções de cálculo;
 - Caracterização das condições de fronteira;
 - Processo de construção e execução de uma simulação hidráulica;
 - Visualização, exploração, e exportação de resultados.
- Aplicação prática – 1º Exercício – Modelo hidráulico simples, com confluência, simulação de um único caudal
 - Passos de criação de um novo projecto no modelo;
 - Criação das seguintes componentes e preenchimento dos campos respectivos:
 - “Geometry”
 - “Boundary Conditions”
 - “Plan”
 - Exploração dos resultados.
- Aplicação prática – 2º Exercício – Calibração do modelo e determinação da curva de vazão de uma secção
 - Inserção do campo “Observed Water Surfaces”, consistindo na consideração no modelo de registos de cheias observadas;
 - Comparação do nível observado, com o nível simulado, para a mesma cheia, e determinação do erro do modelo;
 - Calibração do modelo, por recurso às condições de fronteira, e à rugosidade nas secções de cálculo. Determinação do erro do modelo;
 - Inserção de uma gama de caudais, na componente “Boundary Conditions”;
 - Realização da simulação, e exploração dos resultados;
 - Exportação de resultados para Excel.
- Aplicação prática – 3º Exercício – Determinação da curva de vazão de uma secção real: secção da Estação Hidrométrica do Ngongo
 - Passos de criação de um novo projecto no modelo, com base na geometria da secção do Ngongo;
 - Criação das seguintes componentes e preenchimento dos campos respectivos:
 - “Geometry”
 - “Boundary Conditions”
 - “Plan”

- Calibração do modelo com base nos registos da EH;
- Exploração dos resultados em ambiente HEC-RAS;
- Exportação dos resultados para Excel, e ajuste de uma curva de vazão;
- Discussão dos resultados.

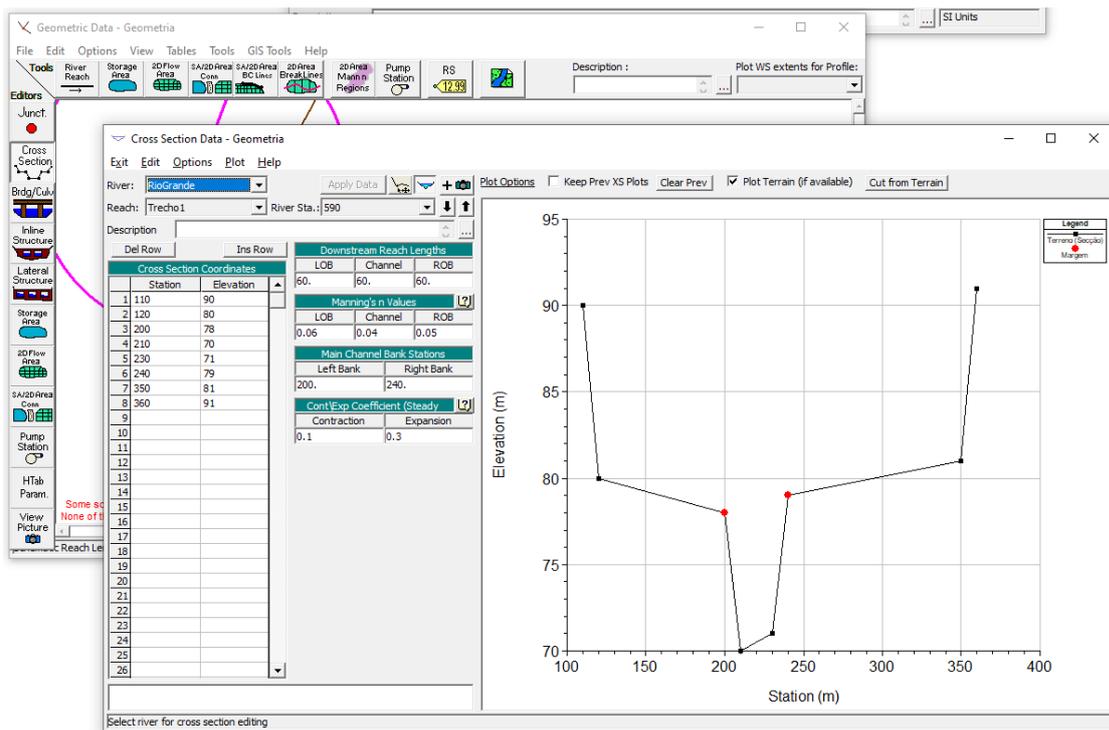


Figura 3.19 – Inserção de dados em ambiente HEC-RAS

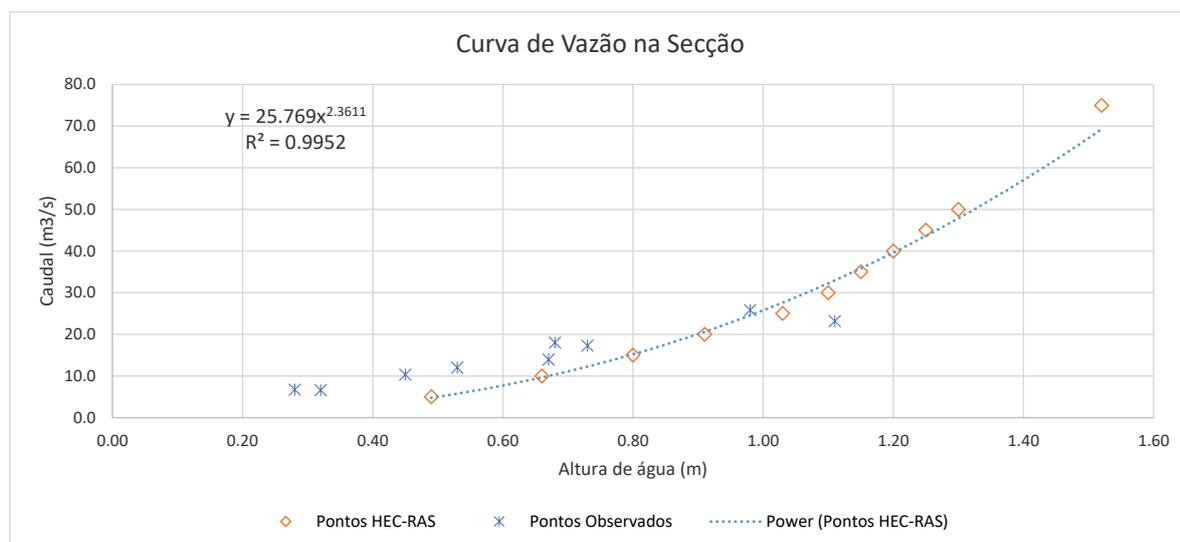


Figura 3.20 – Curva de vazão na secção de referência, estimada com base nos dados do modelo HEC-RAS

3.4.4 Sub-Módulo 3 – Aproveitamentos Hidráulicos e Barragens. Órgãos Hidráulicos de Segurança e Exploração. Operação e Exploração de Aproveitamentos Hidráulicos.

No presente sub-módulo procedeu-se à apresentação dos Aproveitamentos Hidráulicos e Barragens e dos seus principais tipos e finalidades. Foram igualmente apresentados os órgãos de segurança e exploração de barragens: descarregadores de cheias, descargas de fundo e tomadas de água. No âmbito dos modelos hidráulicos, apresentaram-se modelos físicos reduzidos e computacionais. Para finalizar, foram introduzidas os temas da segurança e operação de barragens: Manuais de Operação e Exploração de um Aproveitamento e Inspeções de segurança.

3.4.4.1 Aproveitamentos Hidráulicos e Barragens: Tipos e Finalidades (17ª aula)

Na 17ª aula foram apresentados e desenvolvidos os seguintes temas:

- Aproveitamentos hidráulicos e barragens.
 - Tipos e finalidades.
 - Condicionamentos da seleção do tipo de barragens.
- Barragens de betão
 - Barragens de Gravidade.
 - Barragens de Contrafortes.
 - Barragens de Abobada.
- Barragens de Aterro
 - Barragens de Terra.
 - Barragens de Enrocamento.
- Exemplos de Barragens em Angola e Portugal.

Foram assim apresentados os diversos tipos de aproveitamentos em relação ao seu modo de operação, nomeadamente aproveitamentos a fio-de-água e aproveitamentos de armazenamento.

Foi referido que o modo de operação do aproveitamento depende essencialmente da capacidade de armazenamento da albufeira em relação com as afluências anuais e com o pedido de água:

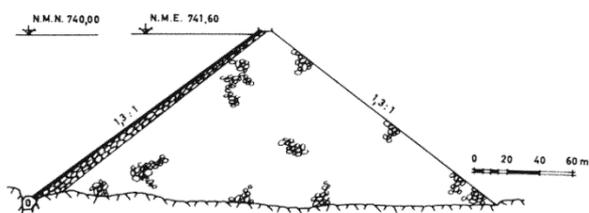
- Se a capacidade de armazenamento for inferior a metade do escoamento médio anual, tratar-se-á de um **aproveitamento a fio de água**;
- Se a capacidade de armazenamento for superior ao escoamento médio anual, tratar-se-á de um **aproveitamento de armazenamento**;
- Se a capacidade de armazenamento for superior ao dobro do escoamento médio anual, tratar-se-á de um aproveitamento de **regularização total**.

Foi apresentado uma metodologia expedita de determinar a capacidade de armazenamento de uma albufeira.

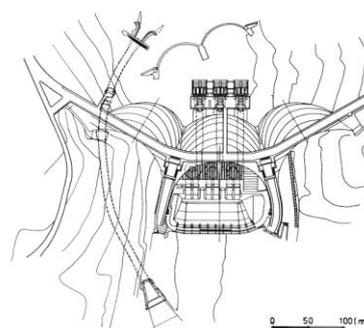
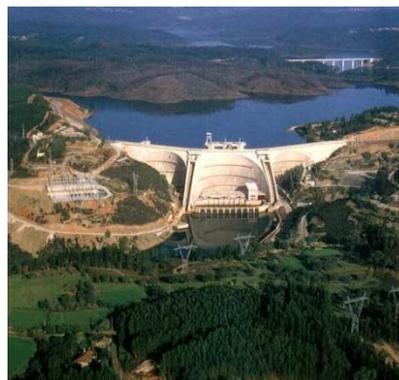
Relativamente aos tipos de barragens, betão, aterro e misto, foi referido que:

- As barragens de betão exigem boas condições de fundação e utilizam menos material, mas o material é mais caro;

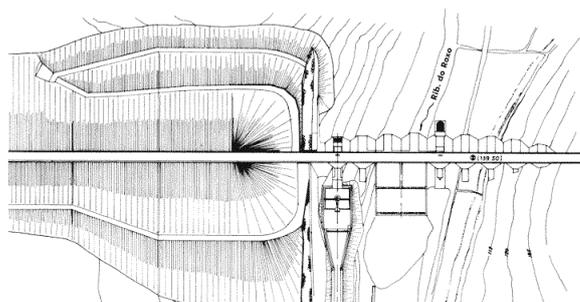
- As barragens de aterro toleram piores condições de fundação, utilizam mais material, mas o material é mais barato;
- As barragens de betão podem ter os descarregadores sobre o próprio corpo, resultando uma maior economia. São adequadas a rios mais caudalosos;
- As barragens de aterro exigem descarregadores separados do corpo. São mais adequadas a caudais de cheia modestos.



Barragem de aterro (Paradela, Portugal)



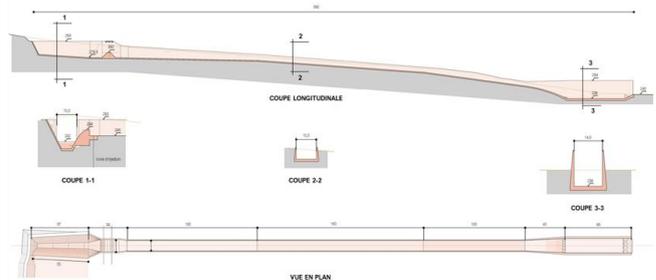
Barragem de betão (Aguieira, Portugal)



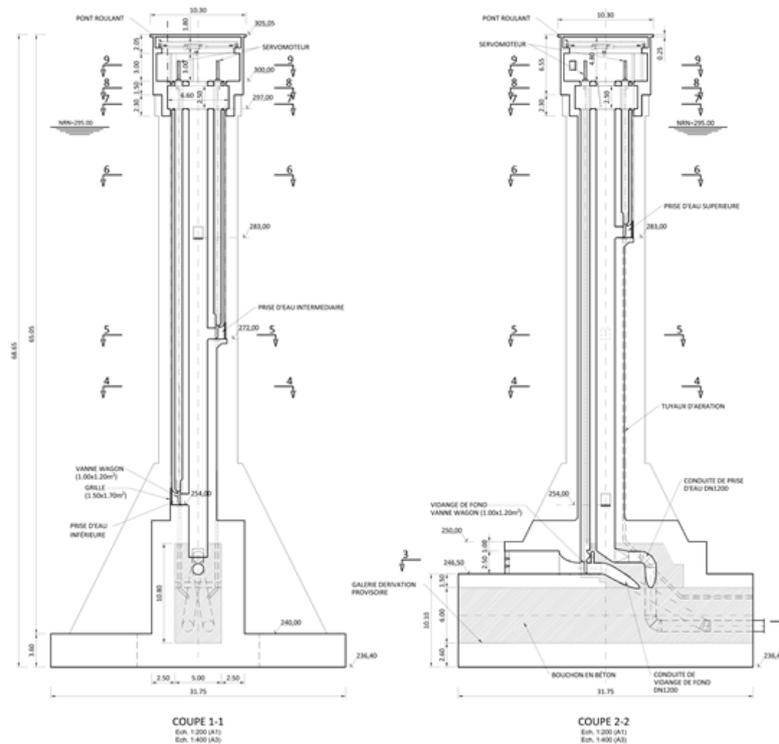
Barragem Mista (Roxo, Portugal)

Relativamente às barragens de betão, há barragens de gravidade, de gravidade aligeirada (contrafortes), de abóboda e de abóbodas múltiplas. No que diz respeito às barragens de aterro, foi mencionado que as mesmas podem ser de terra ou de enrocamento.

Na parte final da 17ª aula foram apresentados os principais órgãos hidráulicos das barragens, nomeadamente o descarregador de cheias e a torre de tomada de água e de descarga de fundo.



Descarregador de cheias



Torre de tomada de água e de descarga de fundo

Para finalizar, foram apresentados exemplos de acidentes em barragens de aterro, cujas causas principais são o galgamento da barragem, a erosão interna e a rotura da fundação, assim como exemplos de acidentes em barragens de betão, cujas causas são usualmente a rotura da fundação ou a subpressão excessiva.

3.4.4.2 Órgãos de segurança e exploração. Descarregadores de cheias (18ª aula)

Na 18ª aula foram abordados os seguintes temas:

- Tipos de descarregadores
 - Tipo de escoamento
 - superfície livre
 - pressão
- Tipo de controle
 - livre
 - com comportas
 - Desenvolvimento em planta
 - Tipo de entrada
 - Tipo de função
- **Caudal de dimensionamento**
- **Estruturas de controlo**
 - Soleiras tipo WES. Curvas de capacidade
- Dissipação de energia
 - Bacias de dissipação por ressalto hidráulico
 - Bacias do Bureau of Reclamation
 - Bacias com ressalto submerso (Concha de rolo)
 - Bacias de dissipação por impacto
 - Dissipação de energia em salto de ski
- **Exercício:** Dimensionamento hidráulico de um descarregador de cheias



Descarregador em canal, com comportas
Barragem de Laúca, Angola
Escoamento em superfície livre



Descarregador em canal, sem comportas
Barragem de Hinze, Austrália
Escoamento em superfície livre

A aula iniciou-se com a apresentação da definição de um descarregador de cheias de uma barragem: estrutura hidráulica que permite a passagem para jusante do excesso de água, sobre ou ao redor da barragem, quando o próprio reservatório está cheio. Os descarregadores são órgãos de segurança particularmente importantes para barragens de terra, protegendo a barragem e sua fundação da erosão. Eles podem passar por cima da barragem ou uma parte dela ou ao longo de um canal ao redor da barragem ou numa conduta através dela.

Foram apresentadas as vantagens e os inconvenientes das soleiras em labirinto e das soleiras em bico de pato.



Soleira em labirinto

Barragem de Douglas, Georgia, EUA



Soleira em bico de pato

Barragem do Abrilongo, Portugal

Foram dados exemplos de barragens com descarregadores com acesso frontal e com acesso lateral, ou seja, com diferente orientação da soleira. Foram igualmente apresentados descarregadores de soleira espessa / lâmina aderente e de soleira delgada / lâmina livre.

Relativamente ao tipo de operação, foram diferenciadas os dois tipos de descarregadores:

- Descarregador principal
- Descarregador auxiliar



Relativamente ao período de retorno da cheia de projecto, foi apresentado como exemplo o Regulamento Português de Segurança de Barragens de 2016, onde para cada tipo de barragem (de betão e enrocamento com laje a montante ou de aterro) e altura da mesma, é indicado o período de retorno da cheia que deverá ser adoptado. Foi salientado que a cheia de projeto deve ser amortecida na albufeira. Será assim definido o caudal de projecto do descarregador.

Foram apresentadas estruturas de controlo, como as soleiras tipo WES, ao nível da sua geometria e da sua capacidade de vazão. Foram igualmente apresentados os fatores de correcção do coeficiente de vazão e a carga máxima sem descolamento da lâmina de água.

Na fase final da aula, foram apresentadas as diversas bacias de dissipação (tipo USBR, por rolo submerso, por impacto e por salto de ski. Relativamente à dissipação por salto de ski, foram apresentadas as principais vantagens e desvantagens.



Bacia de dissipação por impacto



Dissipação por salto de ski

3.4.4.3 Órgãos de segurança e exploração. Descargas de fundo (19ª aula)

Na 19ª aula foram abordados os seguintes temas:

- Definição de descarga de fundo
- Capacidade das descargas de fundo
- Constituição das descargas de fundo
- Regulação de caudais
- Dissipação de energia
- Circuitos de caudal ecológico
- Cálculo da capacidade de descarga
- Exemplos de descargas de fundo
- Exercício prático

Iniciou-se a aula introduzindo a definição de descarga de fundo de uma barragem: estrutura hidráulica que permite o eventual esvaziamento da água acumulada na respectiva albufeira em caso de necessidade. As descargas de fundo são órgãos de segurança particularmente importantes durante o primeiro enchimento da albufeira, permitindo a realização de reparações na sequência da eventual ocorrência de problemas na barragem. As descargas de fundo são por vezes complementadas com órgãos auxiliares, como tomadas de água de emergência e libertação de caudal ecológico para jusante.

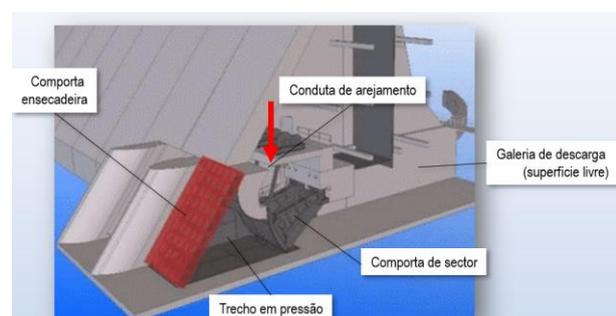
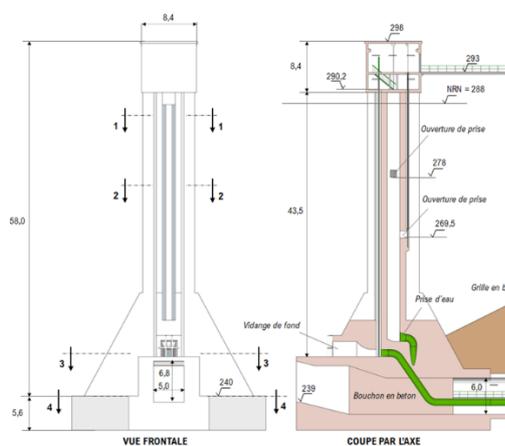
As descargas de fundo podem igualmente ser utilizadas no controlo de cheias, mediante a regulação do nível da albufeira, de modo a criar capacidade para encaixe parcial das cheias, antes da sua chegada.

Na sequência da introdução da definição de descarga de fundo de uma barragem, foi indicada qual deve ser a capacidade de descarga da mesma, não obstante não se encontrar regulamentada a capacidade de descarga destes órgãos.

Relativamente à constituição das descargas de fundo, as mesmas incluem: estrutura de entrada, conduta, órgão de controlo e bacia de dissipação.

Foram introduzidos os diversos tipos de **descargas de fundo**:

- Estrutura de entrada
 - Torre de tomada (barragens de aterro)
 - Abertura no paramento de montante da barragem (barragens de betão)
- Localização da conduta
 - Através do corpo da barragem
 - Sob a fundação da barragem
 - Em túnel, sob as encostas
- Forma de controlo
 - Controlo a montante (escoamento em superfície livre)
 - Controlo a jusante (escoamento em pressão)
- Dissipação de energia
 - Bacia de dissipação por ressalto
 - Estrutura de impacto
 - Salto de ski



Descarga de fundo em barragens de aterro – estrutura de entrada em torre

Descarga de fundo em barragens de betão – Estrutura de entrada no paramento de montante



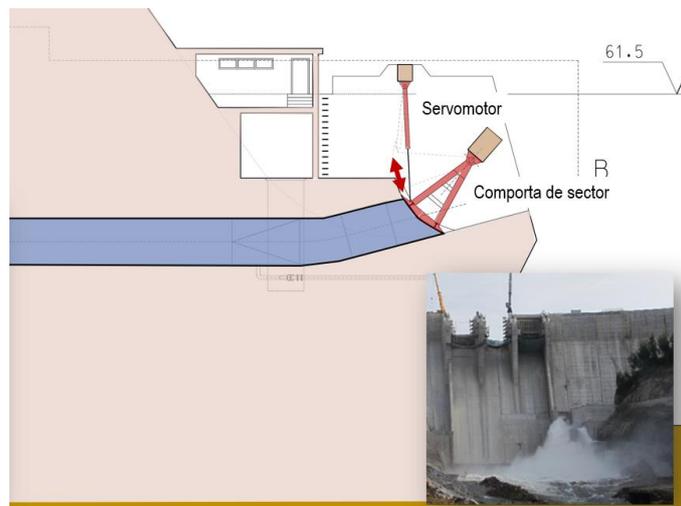
Barragem de Ribeiradio – Portugal - COBA

Foi referido que no caso das barragens de aterro, é frequente que as condutas das descargas de fundo estejam alojadas no interior das antigas galerias de derivação provisória. No caso das barragens de betão as condutas da descarga de fundo estão envolvidas pelo betão da barragem, pelo que não se colocam problemas de erosão e de fugas de água. O escoamento é normalmente em pressão com controlo por jusante, por meio de comportas.

Relativamente a órgãos de controlo dos caudais em descargas de fundo, foi referido que o mesmo é por vezes efectuado com uma válvula instalada na secção de jusante. Foi mencionado que a regulação era, até há alguns anos, efectuada por válvulas de jacto oco, que arejam o jacto e reduzem os riscos de erosão a jusante. No entanto, estas válvulas apresentam riscos de entupimento e têm como tal sido substituídas por comportas de sector, operadas por servomotores.



Descarga de fundo com válvula de jacto oco



Descarga de fundo com comporta de sector

Relativamente à dissipação de energia das descargas de fundo, foi referido que normalmente os sistemas operam em jacto com dissipação em colchão de água. A profundidade da água no ponto de recepção do jacto deverá ser pelo menos 1/4 da carga disponível. Quando a rocha é de má qualidade cria-se normalmente uma bacia de dissipação e betão armado.

Para finalizar e a título de exemplo, procedeu-se ao cálculo da curva de vazão de uma descarga de fundo. Efetuou-se igualmente o cálculo do esvaziamento da albufeira.



3.4.4.4 Órgãos de segurança e exploração. Tomadas de água (20ª aula)

Na 20ª aula foram abordados os seguintes temas:

- Definição de tomada de água
- Capacidade de uma tomada de água
- Constituição das tomadas de água
- Comportas e sistema de regulação
- Cálculo da capacidade de uma tomada de água

- Derivação do rio
- Exemplos de tomadas de água
- Exercício prático

Iniciou-se a aula introduzindo a definição de **tomada de água** de uma barragem: estrutura hidráulica que permite a captação da água armazenada na albufeira para utilização nas actividades suportadas pelo aproveitamento. As tomadas de água não são órgãos de segurança, sendo consideradas como órgãos de exploração. As tomadas de água são por vezes complementadas com órgãos auxiliares, como sistemas de libertação de caudal ecológico para jusante. Hoje em dia é frequente dispor de diferentes níveis de captação, de modo a poder captar a cada momento a água com melhor qualidade, principalmente quando a água se destina a abastecimento público.

De seguida, foi desenvolvida a questão relativa à capacidade que uma tomada de água deve ter. A capacidade do órgão de captação depende dos usos de água previstos. Em princípio a sua capacidade deverá corresponder ao pedido instantâneo máximo previsto ao longo da vida da obra. No caso de um aproveitamento **hidroeléctrico**, a capacidade da tomada de água dependerá do pedido máximo dos grupos instalados, no caso de produção máxima sob a queda nominal. No caso de uma captação para satisfação de **pedidos urbanos**, a capacidade da tomada deverá ser da ordem de **125%** do caudal médio anual. No caso de uma captação para satisfação de **pedidos de rega**, a capacidade da tomada deverá ser equivalente ao caudal diário pedido no mês de maior consumo.

Foi referido que as tomadas de água incluem os seguintes componentes:

- Estrutura de entrada
- Grelhas de protecção
- Comporta ensecadeira
- Condução de adução

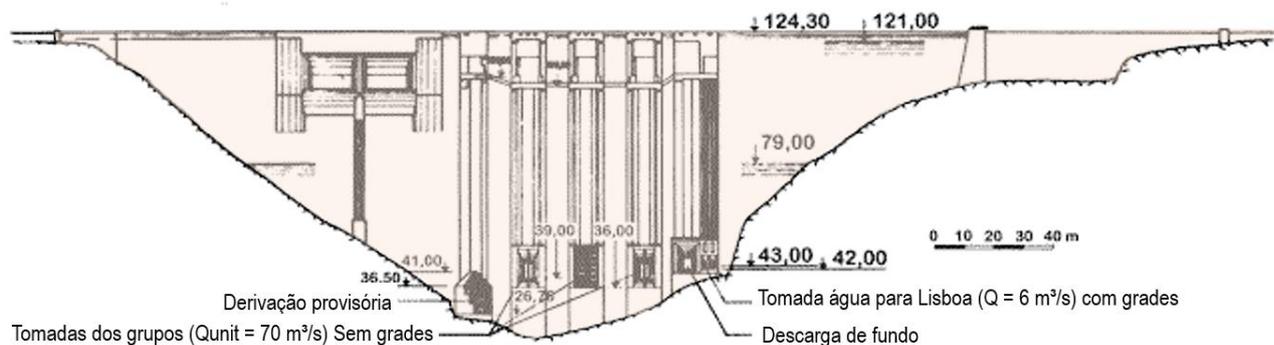
Apresentaram-se de seguida os diversos tipos de tomadas de água:

- **Objectivo da Tomada**
 - Abastecimento de água
 - Produção de energia
- **Estrutura de entrada**
 - Torre de tomada (barragens de aterro)
 - Abertura no paramento de montante da barragem (barragens de betão)
 - Separada da barragem
- **Grelhas de protecção**
 - Sem grelha
 - Grelhas finas em aço

- Grelhas grossas em betão
- **Traçado da conduta**
 - Através do corpo da barragem
 - Sob a fundação da barragem
 - Em túnel, sob as encostas
- **Numero de tomadas**
 - Tomada única
 - Vários níveis de captação

Relativamente ao objetivo das tomadas de água, destacam-se os seguintes:

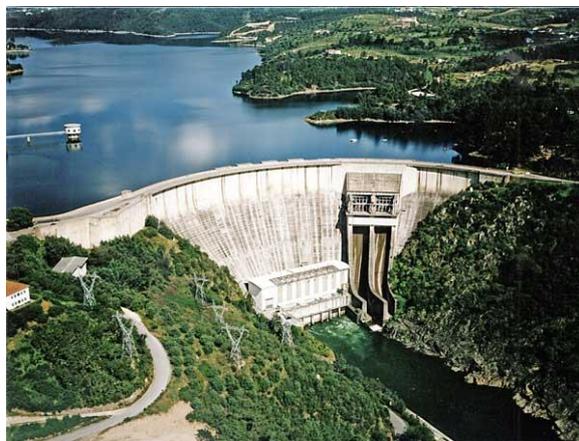
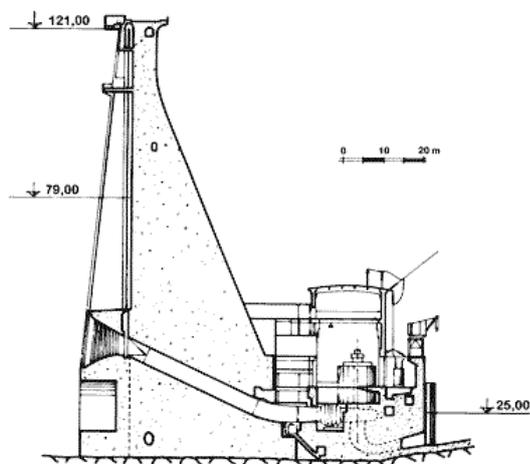
- Abastecimento de água – Funcionamento mais constante – Menor caudal – Menores dimensões
- Produção de energia – Funcionamento irregular – Grandes dimensões



Alçado de montante da barragem de Castelo de Bode - Portugal

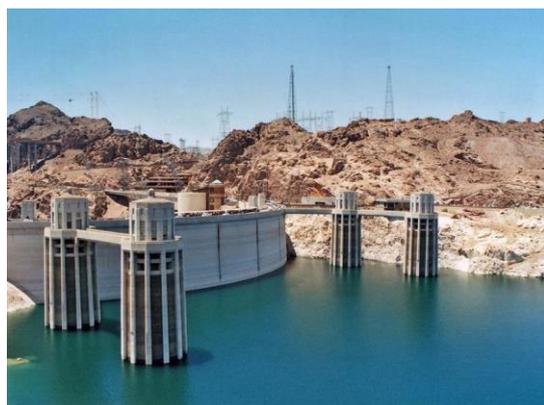
No que diz respeito à estrutura de entrada:

- Abertura no paramento de montante da barragem (barragens de betão)
- Torre de tomada (barragens de aterro)
- Tomada directa na albufeira

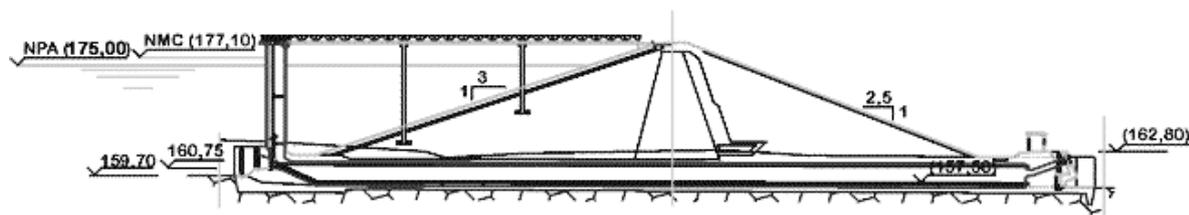


Corte pela tomada de água da barragem de Castelo de Bode (abertura no paramento de montante)

Vista por jusante da barragem de Castelo de Bode (Portugal)



Tomadas de água com planta circular, independentes da barragem (Hoover Dam, rio Colorado, Arizona, EUA)



Torre de tomada de água em torre, para abastecimento (Barragem do Enxó)

Foi referido que normalmente as tomadas de água são protegidas por **grelhas amovíveis**, em aço. As velocidades de escoamento permissíveis nestes casos são relativamente baixas, da ordem de 1 m/s (velocidade bruta na secção total da grelha) de modo a evitar vibrações. Em grandes tomadas hidroelétricas, as grades em aço são substituídas por **grades grossas em betão armado**. As velocidades de admissão podem então ser muito mais elevadas, da ordem de 5 m/s. As grades finas são geralmente amovíveis para limpeza. Foi mencionado que podem por vezes ser equipadas com sistemas automáticos de limpeza (limpa grelhas).

De seguida, foram apresentados diversos tipos de limpeza da grelha de protecção.



Limpeza manual de uma grade fina num canal de adução



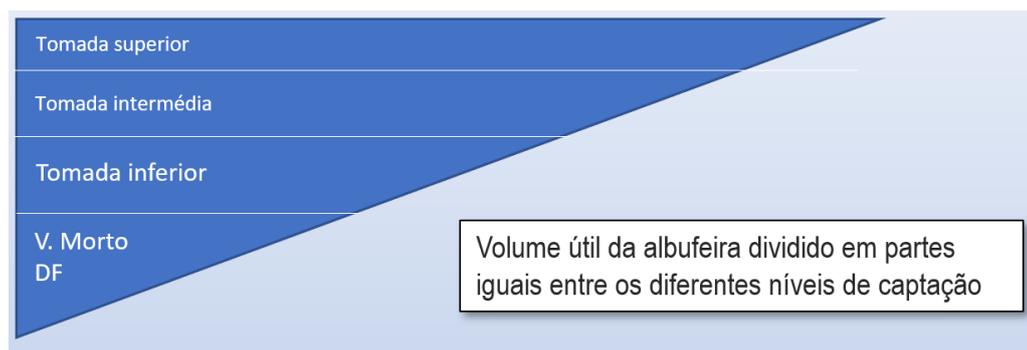
Dispositivos de limpeza automática de grades finas numa tomada de água na extremidade de um canal



Grade fina amovível de uma torre de tomada

Tomadas de água a diferentes níveis

No caso de fornecimento de água para abastecimento público, no caso de albufeiras profundas, foi referido que é normal considerar diferentes níveis de captação de modo a assegurar a cada momento a captação da água com melhor qualidade em termos de temperatura, oxigénio dissolvido e ausência de organismos prejudiciais ao tratamento (algas e cianobactérias). Normalmente são considerados suficientes três níveis de captação. A capacidade útil da albufeira será dividida em partes iguais pelos diferentes níveis de captação. Esta multiplicação dos níveis de captação pode ser igualmente aplicada para rega mas normalmente não é aplicada na produção de energia.



Na parte final da 20ª aula foram desenvolvidas as técnicas fundamentais para construir uma barragem num rio:

- Desviar o rio – é considerada a forma mais comum de ensecar a zona da obra. É principalmente aplicável a rios não muito largos com caudais moderados.
- Construir a obra por fases



Desvio do rio



Derivação de Laúca

3.4.4.5 Modelos hidráulicos físicos reduzidos (21ª aula)

Na presente aula foram abordados os seguintes temas:

- Aspectos teóricos;
- Caso do Aproveitamento Hidroeléctrico de Laúca
 - Modelo Hidráulico Geral
 - Modelo parcial do descarregador de cheias
 - Modelo parcial da descarga de fundo

- Ensaio realizados
 - Calibração do escoamento no rio Kuanza
 - Desvio provisório de segunda fase
 - Descarregador de cheias – modelo parcial e modelo geral (diagnóstico / otimizações / caracterização)
 - Descarga de fundo
 - Central principal e Central ecológica

Relativamente aos aspectos teóricos, foi aprofundada a Teoria da Semelhança, que consiste num conjunto de princípios que devem ser respeitados num modelo de forma a que seja possível prever o comportamento num protótipo. As relações de semelhança entre modelo hidráulico e protótipo, de forma a assegurar comportamento idêntico, são as seguintes:

- Semelhança geométrica: modelo e protótipo diferem apenas na escala (dimensões proporcionais).
- Semelhança cinemática: velocidades de escoamento mantêm uma relação constante (mesmas escalas de comprimento e intervalo de tempo garantem o mesmo formato das linhas de corrente).
- Semelhança dinâmica: forças que atuam num mesmo ponto mantêm relações constantes.

Foram descritas as grandezas mais frequentes nos fenómenos de mecânica de fluidos (dimensão linear característica, massa específica, velocidade característica, aceleração da gravidade, velocidade do som e viscosidade dinâmica) e descritos os números adimensionais de semelhança (número de Reynolds, **número de Froude**, número de Euler, Número de Mach).

O número de Froude é utilizado para estudo de escoamentos em superfície livre.

Foi referido que para que o modelo e o protótipo mantenham semelhança, e portanto os resultados sejam válidos, é necessário que os respetivos números adimensionais sejam iguais.

De seguida, foi apresentado o modelo hidráulico do aproveitamento hidroelétrico de Laúca:



Modelo geral do aproveitamento hidroelétrico de Laúca



Modelo parcial do descarregador de cheias



Modelo parcial da descarga de fundo

Foi referido que foram efetuados os seguintes ensaios:

- Calibração do leito do rio Kwanza;
- Fecho do rio Kwanza;
- Desvio de segunda fase;
- Diagnóstico e otimização das estruturas;
- Estudos de caracterização das estruturas (solução adoptada).



Modelo geral – Vista de jusante



Modelo geral

Tomada de água na albufeira e estrutura de restituição da central principal

Ao longo da aula, foram apresentados em detalhe os seguintes modelos do Aproveitamento Hidroelétrico de Laúca:

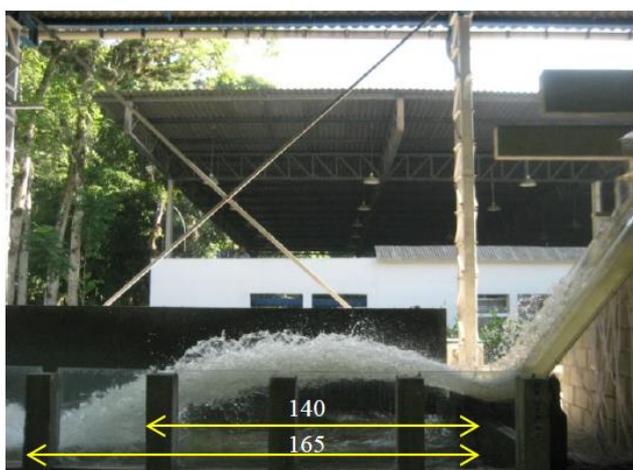
- Modelo parcial do descarregador de cheias;
- Modelo parcial da descarga de fundo;

Foi igualmente apresentada a instrumentação utilizada e como é que foi efectuada a calibração do escoamento no rio Kwanza, cujo objectivo consistiu na determinação de níveis de água a montante e jusante das diferentes estruturas (desvio provisório, ensecadeiras, central ecológica e central principal).



Vista a partir da margem direita, a jusante do controle hidráulico existente na região da ensecadeira de primeira fase (caudal de 538 m³/s)

De seguida, foram apresentados os ensaios para o desvio provisório de segunda fase, os estudos do descarregador de cheias no modelo parcial (1:50), os estudos do descarregador de cheias no modelo geral (1:100), os estudos da descarga de fundo no modelo parcial (1:50), os estudos da descarga de fundo no modelo geral (1:100) e os estudos de caracterização da central principal no modelo geral (1:100).



Alcance do jacto deflectido pela concha de arremesso, vazão de 10 020 m³/s

Para finalizar, foi descrita a operação da central ecológica com os descarregadores de cheias e de fundo no modelo geral (1:100).



Figura 2.7.558 – Escoamento efluente da central principal, condição sem muro na margem direita do canal de fuga.



Figura 2.7.559 – Escoamento efluente da central principal, condição com muro na margem direita do canal de fuga.



Figura 2.7.560 – Escoamento efluente da central principal, condição sem muro na margem direita do canal de fuga.

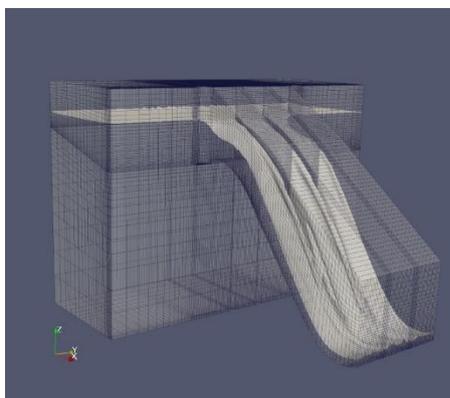
3.4.4.6 Modelos hidráulicos computacionais (22ª aula)

Na 22ª aula uma Introdução ao Computational Fluid Dynamics (CFD) foi apresentada. O CFD é uma ferramenta fundamental nas atividades de projeto da área de hidráulica especialmente das grandes estruturas como descarregadores de cheias e tomadas de água. O intuito da introdução ao CFD foi mostrar capacidades para além de resumir a boa prática que esses estudos devem seguir. Assim o objectivo foi gerar uma capacidade crítica nos formandos, para a eventualidade de se cruzarem com estudos CFD no decurso das suas funções profissionais.

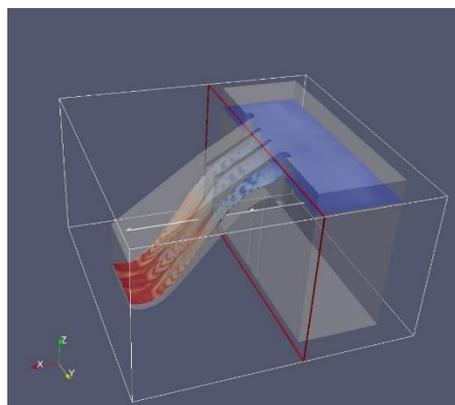
Cinco exemplos de aplicação foram apresentados cobrindo assim as seguintes estruturas hidráulicas: descarregadores de cheias, tomadas de água e ETAs. Foi dado ênfase nos vários passos no desenvolvimento desses estudos, nomeadamente: geometria, malhagem, condições de fronteira, pós-processamento dos resultados e estudo do erro numérico.

Exemplos

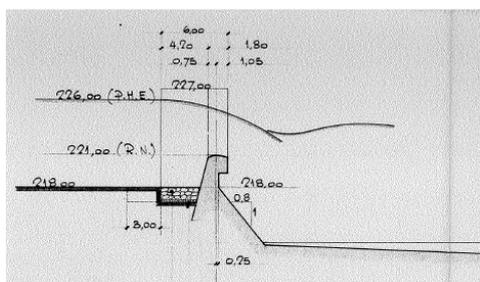
- Descarregador de cheias de Laúca;
- Descarregador de cheias de Caniçada;
- Descarregador de cheias de Bou-Heurtma;
- Estação elevatória do Vale da Pedra;
- Tomada-de-água de Warsak.



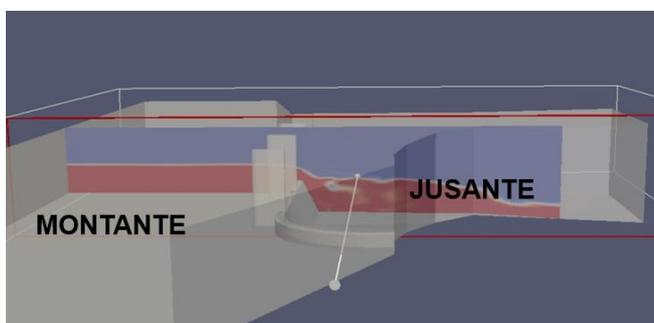
Geometria - malha



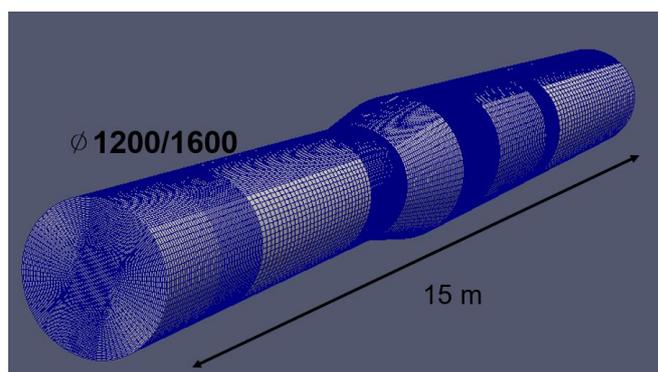
Simulação COBA



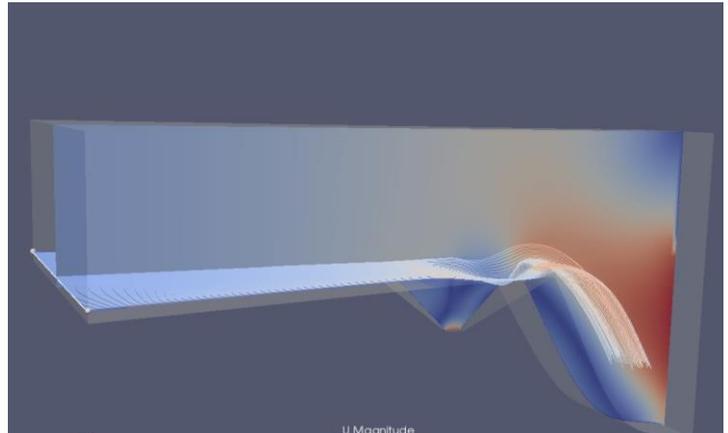
Modelo reduzido (1975)



Simulação COBA



Estação elevatória de Vale da Pedra



Central de Warsak

Simulação de escoamento multifásico em parceria com a DHI

3.4.4.7 Segurança e operação de barragens. Manuais de operação e exploração de um aproveitamento (23ª aula)

Na 23ª aula, além da introdução, foram apresentados os seguintes temas:

- Conceito de segurança de barragem;
- Regulamentação da segurança de barragens;
- Plano de observação, manual de exploração e plano de emergência interno. Exemplos.

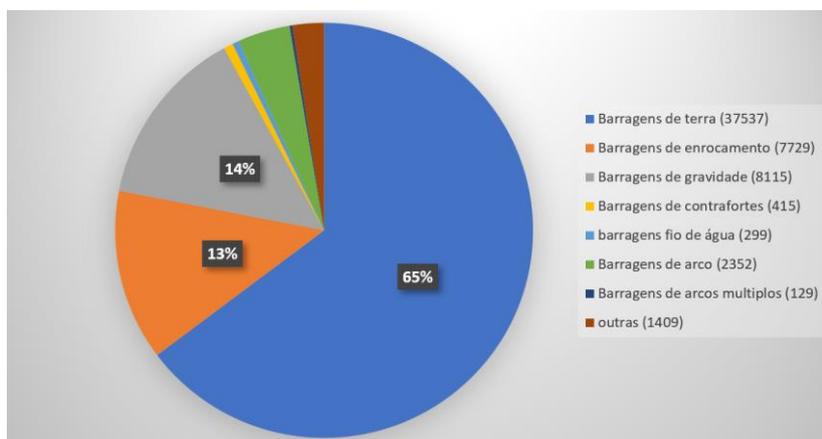
Na introdução, foi apresentada a definição de Grande Barragem, segundo a ICOLD (2011): “*barragem de altura superior a 15 m, medida desde a cota mais baixa das fundações até à cota do coroamento, ou barragem cuja altura esteja compreendida entre 5 e 15m e que retenha mais de 3 milhões de metros cúbicos de água*”. Segundo a ICOLD (2019), 65% das barragens registadas são barragens de terra.

Foram tecidas de seguida considerações sobre “risco associado”. A segurança de barragens constitui uma preocupação para as entidades responsáveis, públicas ou privadas, e para o público em geral, face ao importante papel das barragens na disponibilização da água para múltiplos fins e aos riscos envolvidos, em termos de vidas humanas e prejuízos materiais, na eventualidade da ocorrência de acidentes ou roturas, com os associados impactes sociais, económicos e ambientais.

Dizer que uma barragem é segura é também dizer que probabilidade de rotura que lhe está associada é muito pequena. Contudo, como em qualquer obra humana, essa probabilidade nunca é nula, isto é, existe sempre um risco. Pretende-se porém que esse risco seja tão pequeno que se possa considerar aceitável, em particular através da adoção de práticas que cumpram os regulamentos e normas de segurança.

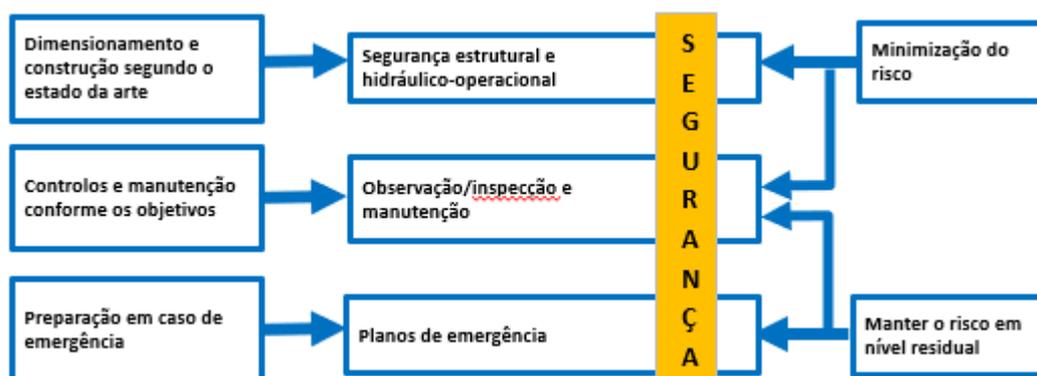
O risco associado a cada barragem depende:

- Das condições de risco inerentes à própria obra;
- Dos danos potenciais – sociais, económicos e ambientais – que poderiam ocorrer em caso de rotura da barragem.



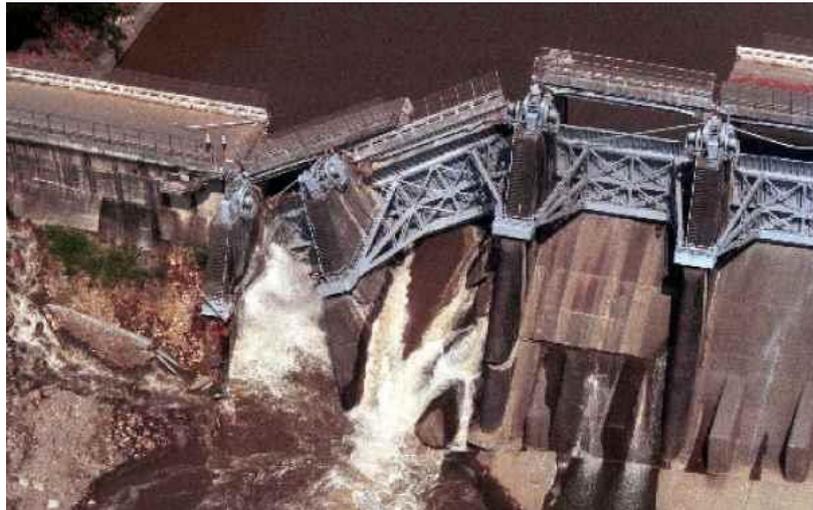
Relativamente ao tema Conceito de Segurança de Barragem (ponto número 2 da presente aula), foi referido que o mesmo se baseia em três elementos:

- Segurança Estrutural e Hidráulica – Operacional;
- Observação / Inspeção e Manutenção;
- Planos de Emergência – Segurança do Vale a Jusante.



A segurança estrutural tem como objetivo assegurar que as estruturas têm capacidade para fazer face, não somente às situações normais de exploração, mas também, a eventos excepcionais que possam ocorrer durante a sua vida útil e vir a afetar a sua funcionalidade ou segurança.

O conceito de segurança nas barragens deve englobar a Segurança Estrutural, mas também Hidráulica – Operacional. A experiência evidencia que um significativo número de roturas está relacionado com o funcionamento desadequado dos órgãos hidráulicos da barragem.



Curso de Segurança e Exploração de Barragens, APA, Portugal, 2017

Foi referido que a Observação e Inspeção visa detetar, em tempo útil, qualquer anomalia que possa comprometer o desempenho da barragem ou ameaçar a sua segurança e implementar as necessárias medidas corretivas. A conservação das estruturas e manutenção dos equipamentos têm por objetivo assegurar que a barragem, suas estruturas associadas e equipamentos, sejam mantidos em condições totalmente operacionais e seguras.



Medição do nível piezométrico na Barragem de Guma (Serra Leoa, 2019)

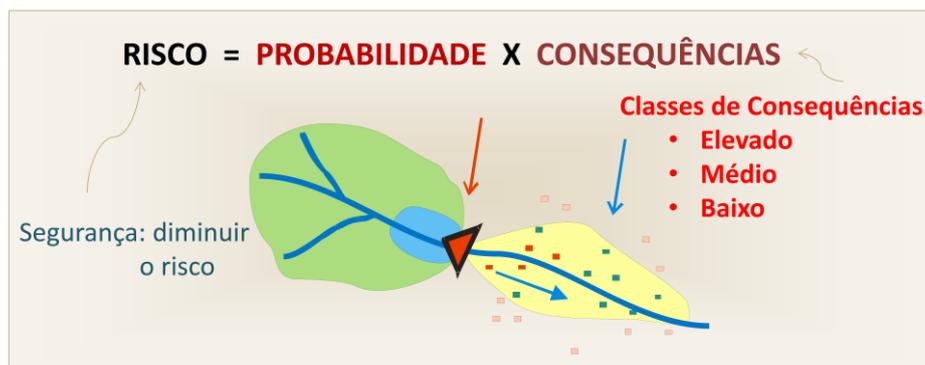
Relativamente aos Planos de Emergência, foi referido que embora seja impossível assegurar que à barragem esteja associado um risco nulo é, no entanto, possível minimizar substancialmente o número expectável de vítimas a jusante da barragem, em caso de ocorrência de um acidente. A preparação de uma resposta rápida e eficaz, às situações de emergência é importante para a segurança do vale a jusante e completa os tradicionais sistemas de segurança de barragens. O Plano de Emergência é utilizado, caso a exploração e segurança da barragem não possa ser garantida. Nestes planos são estabelecidas as acções a serem executadas pelo Dono da Obra em caso de situação de emergência, identificados os agentes /autoridades a serem notificados e o aviso à população em risco para sua evacuação.

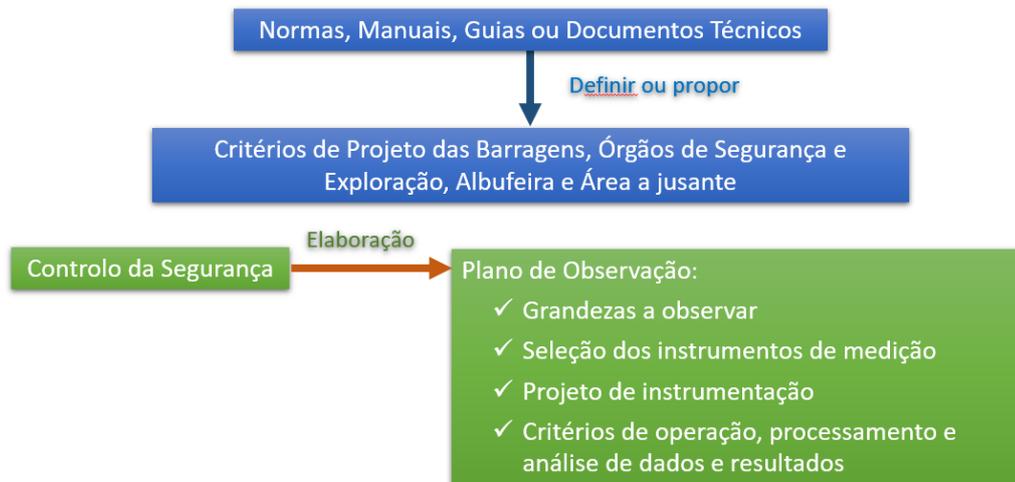


Vale a jusante após rompimento da barragem do Brumadinho no Brasil

No que diz respeito ao tema Regulamentação da Segurança de Barragens (ponto número 3 da presente aula), foram desenvolvidos os seguintes pontos:

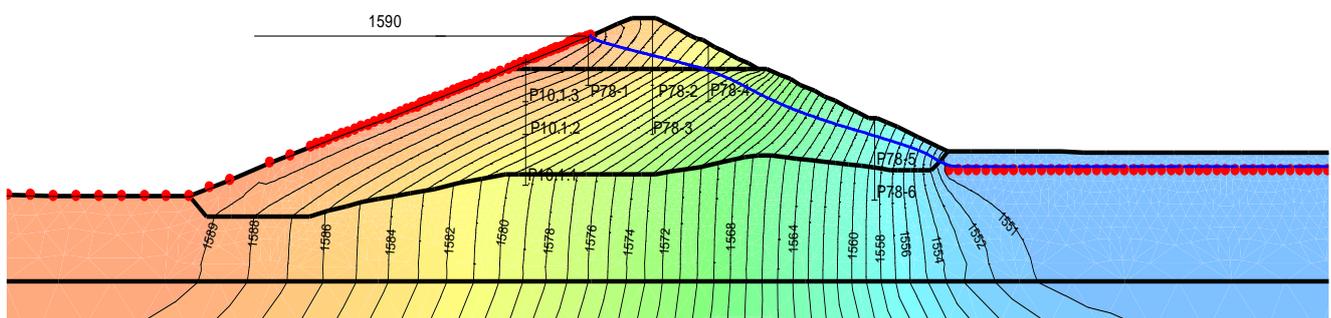
- Entidades Envolvidas;
- Classificação das Barragens;
- Controlo da Segurança na Fase de Projecto;
- Controlo da Segurança na Fase de Construção;
- Controlo da Segurança na Fase de Exploração.



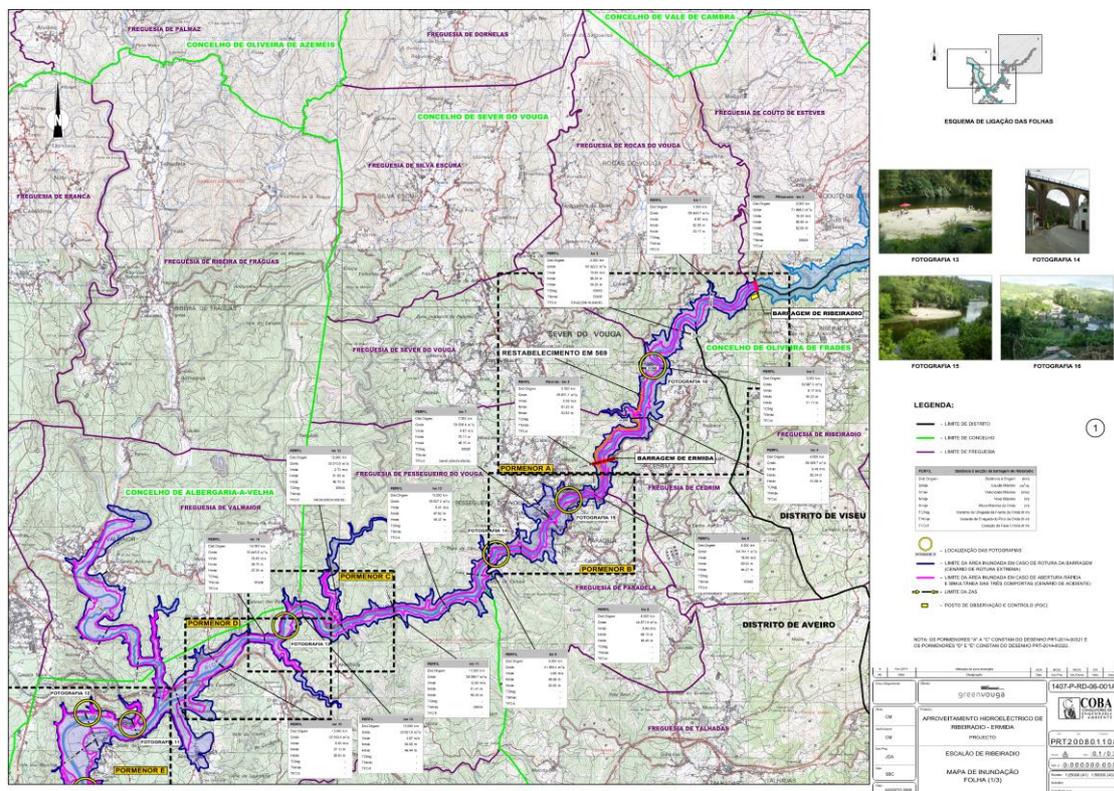


Relativamente ao tema Plano de observação, manual de exploração e plano de emergência interno. Exemplos (ponto número 3 da presente aula), foram apresentados os seguintes exemplos:

- Plano de Observação da Barragem do Gove, Angola;
- Plano de Operação (exploração) da barragem de Itapebi, Brasil;
- Plano de Emergência Interno da Barragem de Ribeiradio, Portugal.



Medições feitas durante as obras de reparação. Linhas equipotenciais



Escalão Ribeiradio, Portugal. Mapa de Inundação (Folha 1/3)

3.4.4.8 Segurança e operação de barragens. Inspeções de Segurança (24ª aula)

Na penúltima aula do Módulo 4 – Obras Hidráulicas foram abordados os seguintes temas:

1. Reabilitação da Barragem do Gove;
 - a. Introdução
 - b. Principais características da barragem
 - c. Guerra Civil – Sabotagem em 1990
 - d. Trabalhos previstos
 - e. Lote 1: Algumas das principais intervenções
2. Inspeção de Segurança de barragens de Rejeitados no Brasil – Sistema Pontal, Mina Cauê, Complexo Itabira, Belo Horizonte;
 - a. Introdução
 - b. Barragem Pontal
 - c. Dique 03
 - d. Dique Minervino
 - e. Cordão Nova Vista

3. Considerações Finais.

Reabilitação da barragem do Gove



Reabilitação da Barragem do Gove - Trabalhos previstos



Lote 1 – Algumas das principais intervenções - Reparação do encontro esquerdo

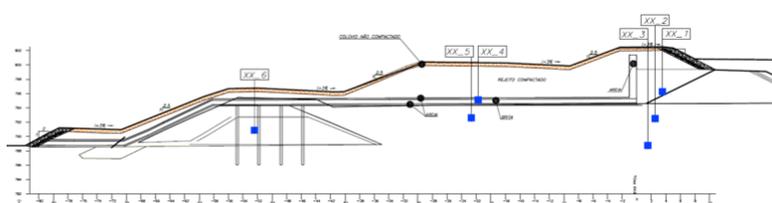


Reparação do Paramento de Jusante

Inspeção de Segurança de barragens de Rejeitados no Brasil – Sistema Pontal, Mina Cauê, Complexo Itabira, Belo Horizonte



Dique Cordão Nova Vista



Perfil tipo Instrumentado - Estacas 20, 30, 40, 50, e 70

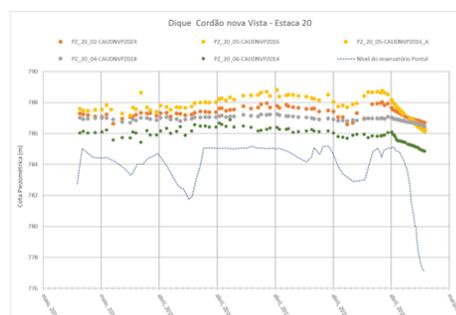


Gráfico das leituras dos piezômetros instalados na Estaca 20

Considerações finais

Foi referido que as principais conclusões são as seguintes:

- O controlo da segurança, feito com base na observação e inspeção das barragens, visa detectar, em tempo útil, qualquer anomalia que possa comprometer o desempenho do empreendimento ou ameaçar a sua segurança e implementar as necessárias medidas corretivas.
- As atividades de observação e inspeção devem desenvolver-se desde a construção, primeiro enchimento e exploração da obra, até ao seu abandono ou descomissionamento, e serem exercidas por equipas técnicas experientes.
- A avaliação do comportamento da barragem, feita de uma forma rotineira com a realização de Inspeções de Segurança, permite detectar sinais ou evidências de deterioração, comportamentos anómalos ou sintomas de envelhecimento, bem como anomalias da instrumentação instalada.
- Em consequência da análise feita durante a inspeção de segurança rotineira pode ser indicada:
 - Necessidade de manutenção e pequenos reparos.
 - Inspeção especial, caso sejam detectadas anomalias significativas ou ocorram eventos excepcionais (como grandes cheias), realizada por equipa especializada, após a qual poderá ser recomendada a elaboração e implementação de projetos de reabilitação ou reparação.
 - Medidas imediatas para mitigação do risco (ex. restrição ao nível da albufeira).
- Só assim se poderá prevenir e controlar a ocorrência de eventuais cenários de acidente ou incidente, de modo a manter um elevado grau de segurança para as estruturas e sobretudo para as populações e meio ambiente.

4 FORMANDOS INSCRITOS E PRESENÇAS

4.1 MÓDULO 1

O Módulo 1 da Formação contou com 35 formandos inscritos, correspondendo 11 ao GABHIC, 15 ao INAMET e 9 ao INRH. Os formandos estavam localizados em várias cidades provinciais de Angola, contando-se 18 formandos em Luanda, e os restantes 17 formandos nas cidades do Bengo, Benguela, Calueque, Huambo, Huila, Malanje, Menongue e Ondjiva.

No Quadro 4.1 apresenta-se a lista dos formandos referenciados às instituições onde trabalham, bem como as presenças registadas em cada aula do Módulo de Formação 1.

Quadro 4.1 – Lista de formandos e presenças registadas

PARTICIPANTES NO MÓDULO DE FORMAÇÃO 1				Semana de 28 de setembro a 2 de outubro					Semana de 5 de outubro a 9 de outubro				Semana de 12 de outubro a 16 de outubro					Semana de 19 de outubro a 23 de outubro					Semana de 26 de outubro a 30 de outubro					1 a 6 de nov.	
No.	Nome dos Formandos	Instituição	Local de Trabalho	28/set	29/set	30/set	01/out	02/out	06/out	07/out	08/out	09/out	12/out	13/out	14/out	15/out	16/out	19/out	20/out	21/out	22/out	23/out	26/out	27/out	28/out	29/out	30/out	06/nov	
1	Joaquim José Pinto Tavares	GABHIC	Luanda	P	P	P	P			P	P	P		P	P		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	
2	Nsacalo Domingos N. Maseu		Calueque	P		P	P	P					P			P	P	P	P		P		P	P	P	P	P	P	P
3	Paulo Kibela Quitonda		Luanda	P	P	P	P	P	P			P			P	P	P			P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
4	Falco Elivanilson Cabral Kiowa		Luanda	P	P		P	P			P				P	P					P	P	P	P		P	P	P	P
5	Elísio Lopes Vaz		Calueque	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		P		P		P		P	P	P						
6	Ivuila António Rufino		Calueque	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P					P				P	P	P	P	P	P	P	P
7	Adolfo Zacarias Epalanga		Calueque	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P							P	P	P	P	P
8	Tchimbale Kanhungulo		Menongue	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P					P			P	P	P	P
9	Brez Neves Mandume		Ondjiva	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P							P	P	P	P	P
10	Joaquim Semente Sabino		Menongue	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P					P	P			P	P	P
11	Gerónimo Sambaca		Huambo	P	P	P		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P				P	P		P	P	P	P	P
1	Domingos Nsoko Pedro	INAMET	Luanda	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P											P	
2	Lucia Yola da Costa Fernando		Luanda	P		P	P				P				P							P							
3	Dario Mário dos Santos		Luanda	P																									
4	Francisco José Canhanga		Luanda								P																		
5	Amílcar José		Luanda	P	P						P																		
6	Antonio Lameira Gaspar		Luanda	P	P	P					P	P																	
7	Amaral Guedes		Luanda	P	P		P	P				P	P				P	P											
8	Juliana Paixa o Muhongo		Luanda	P	P	P	P	P				P	P			P	P					P		P	P			P	
9	Artur da Silva Nazaré		Huila																										
10	Simão Chinguma		Benguela																										
11	João dos Anjos Marcolino		Malanje	P																									
12	Frederico da Cunha		Bengo																										
13	Flavio Mitange		Luanda						P																				
14	António Pereira		Cunene																										
15	Edson Segunda Tchivango		Luanda		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P					P	P	P		P		P
1	Narciso Augusto Ambrósio	INRH	Luanda	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	
2	Maida Margarida Luís Gomes		Luanda	P		P		P			P				P					P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
3	Emanuel dos Santos C. Ferreira		Luanda	P	P	P	P	P				P	P								P	P				P	P	P	P
4	Natália Gracieth F. Capingano		Luanda	P	P	P	P	P				P	P	P							P	P	P	P	P	P	P	P	P
5	João Agostinho Paulo Cariri		Malanje	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P					P	P	P	P	P	P	P
6	João Kawedji		Malanje	P	P	P						P					P					P					P	P	P
7	Yuri Carlos da Costa Mulaja		Benguela																			P	P				P	P	P
8	Augusto Zeferino Calado		Benguela	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P									P	P	P	P	P	P	P	P
9	Avelino Cacoma		Luanda				P	P	P		P				P	P	P	P				P	P	P		P	P	P	P
Frequência relativa de presenças diárias		Valores diários		74%	63%	69%	66%	66%	46%	69%	51%	54%	49%	37%	60%	40%	54%	43%	34%	37%	49%	51%	43%	29%	49%	46%	54%	34%	
		Média		51%																									

A frequência relativa de presenças nos dias do Módulo de Formação 1 foi em média de 51%, tendo a frequência relativa das presenças diárias variado durante a formação entre um valor mínimo de 29% e um máximo de 74%.

Durante o curso alguns formandos tiveram o cuidado de avisar a sua não comparência por motivos de compromissos de trabalho coincidentes com o período da formação.

Outros casos de impossibilidade ou de más condições em assistir às aulas foi devida a deficiência de internet, principalmente nos formandos que estavam a assistir em cidades que não Luanda. Em muitas destas situações, as aulas foram assistidas

através do vídeo da gravação da aula. A alguns dos formandos, que num determinado dia não conseguiram assistir à respectiva aula, foram dadas aulas suplementares quando solicitado.

4.2 MÓDULO 2

O Módulo 2 da Formação contou com 36 formandos inscritos, correspondendo 11 ao GABHIC, 15 ao INAMET e 10 ao INRH. Os formandos estavam localizados em várias cidades provinciais de Angola, contando-se 18 formandos em Luanda, e os restantes 18 formandos nas cidades do Bengo, Benguela, Calueque, Huambo, Huila, Malanje, Menongue e Ondjiva.

No Quadro 4.2 apresenta-se a lista dos formandos referenciados às instituições onde trabalham, bem como as presenças registadas em cada aula do Módulo de Formação 2.

Quadro 4.2 – Lista de formandos e presenças registadas no Módulo de Formação 2

PARTICIPANTES NO MÓDULO DE FORMAÇÃO 2			Semana de 09 de novembro a 13 de novembro				Semana de 16 de novembro a 20 de novembro					Semana de 23 de novembro a 27 de novembro					Semana de 30 de novembro a 04 de dezembro				Semana de 7 de dezembro a 11 de dezembro				Semana de 14 de dezembro a 18 de dezembro			
No.	Nome Completo dos Estudantes	Instituição Local de trabalho	09/nov	10/nov	12/nov	13/nov	16/nov	17/nov	18/nov	19/nov	20/nov	23/nov	24/nov	25/nov	26/nov	27/nov	30/nov	02/dez	03/dez	04/dez	07/dez	09/dez	10/dez	11/dez	14/dez	15/dez	18/dez	
1	Joaquim José Pinto Tavares	Luanda	P	P	P		P	P	P	P	P	P	P	P												P	P	
2	Nsacalo Domingos Neves Maseu	Calueque	P	P	P		P	P			P	P	P	P			P	P	P		P	P	P	P	P	P	P	
3	Paulo Kibela Quitonda	Luanda	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P			P	P	P	P							P	P
4	Falco Elivanilson Cabral Kiowa	Luanda				P		P	P					P	P				P	P								P
5	Elísio Lopes Vaz	Calueque	P	P	P	P	P	P			P			P	P	P					P	P				P	P	P
6	Ivuila António Rufino	Calueque	P	P	P																							
7	Adolfo Zacarias Epalanga	Calueque	P	P	P	P	P	P	P													P				P	P	
8	Tchimbale Kanhungulo	Menongue	P				P	P	P	P	P	P		P			P	P		P	P	P	P		P	P	P	
9	Brez Neves Mandume	Ondjiva	P	P			P												P		P							
10	Joaquim Semente Sabino	Menongue	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P			P	P		P				
11	Gerónimo Sambaca	Huambo	P	P	P	P	P	P	P	P																		
1	Domingos Nsoko Pedro	Luanda	P	P	P		P	P	P																			
2	Lucia Yola da Costa Fernando	Luanda					P	P																				
3	Dario Mário dos Santos	Luanda																										
4	Francisco José Canhanga	Luanda																										
5	Amilcar Jóse	Luanda																										
6	Antonio Lameira Gaspar	Luanda																										
7	Amaral Guedes	Luanda	P																									
8	Juliana Paixao Muhongo	Luanda	P	P			P																					
9	Artur da Silva Nazaré	Huila																										
10	Simão Chinguma	Benguela																										
11	João dos Anjos Marcolino	Malanje																										
12	Frederico da Cunha	Bengo																										
13	Flavio Mitange	Luanda																										
14	António Pereira	Cunene																										
15	Edson Segunda Tchivango	Luanda	P		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
1	Narciso Augusto Ambrósio	Luanda	P	P		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
2	Máida Margarida Luís Gomes	Luanda	P			P	P	P	P	P				P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
3	Emanuel dos Santos da C. Ferreira	Luanda	P			P		P	P	P			P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
4	Natália Gracieth F. Capingano	Luanda	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
5	João Agostinho Paulo Cariri	Malanje	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
6	João Kawedji	Malanje	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
7	Yuri Carlos da Costa Mulaja	Benguela				P		P		P				P		P			P		P		P		P		P	
8	Avelino Cacoma	Luanda	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
9	Augusto Zeferino Calado	Benguela	P	P	P	P	P	P	P					P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
10	Ezequiel Kandumbo G. Chitita	Benguela	P	P	P	P	P	P	P	P				P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Frequência relativa de presenças diárias			61%	47%	47%	50%	58%	56%	56%	39%	50%	31%	39%	47%	36%	33%	33%	44%	36%	36%	33%	44%	25%	36%	31%	36%	39%	
Média			42%																									

A frequência relativa de presenças nos dias do Módulo de Formação 2 foi em média de 42%, tendo a frequência relativa das presenças diárias variado durante a formação entre um valor mínimo de 25% e um máximo de 61%.

4.3 MÓDULO 3

O Módulo 3 da Formação contou com 42 formandos inscritos, correspondendo 16 ao GABHIC, 16 ao INAMET e 10 ao INRH. Os formandos estavam localizados em várias cidades provinciais de Angola, contando-se 23 formandos em Luanda, e os restantes 19 formandos nas cidades do Bengo, Benguela, Calueque, Huambo, Huila, Malanje, Menongue e Ondjiva.

No Quadro 4.3 apresenta-se a lista dos formandos referenciados às instituições onde trabalham, bem como as presenças registadas em cada aula do Módulo de Formação 3.

Quadro 4.3 – Lista de formandos e presenças registadas no Módulo de Formação 3

PARTICIPANTES NO MÓDULO DE FORMAÇÃO 3				8 de janeiro	Semana de 11 a 15 de janeiro					Semana de 18 a 22 de janeiro				Semana de 25 de janeiro a 29 de janeiro					Semana de 01 a 5 de fevereiro			Semana de 08 a 12 de fevereiro					Semana de 15 a 19 de fevereiro				12 de abril
No.	Nome Completo dos Estudantes	Instituição	Local de trabalho	08/jan	11/jan	12/jan	14/jan	15/jan	18/jan	19/jan	21/jan	22/jan	25/jan	26/jan	27/jan	28/jan	29/jan	01/fev	02/fev	03/fev	08/fev	09/fev	10/fev	11/fev	12/fev	17/fev	18/fev	19/fev	12/abr		
1	Joaquim José Pinto Tavares	GABHIC	Luanda	P	P		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		P	P	P	P	P	P	P	P	P				
2	Nsacalo Domingos Neves Maseu		Calueque						P	P	P	P	P							P	P			P	P	P	P	P			
3	Paulo Kibela Quitonda		Luanda	P	P	P					P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P						P	P	P	P	
4	Falco Elivanilson Cabral Kiowa		Luanda	P	P	P	P	P					P	P	P	P	P	P		P	P			P	P	P	P	P	P		
5	Elísio Lopes Vaz		Calueque	P				P	P	P	P			P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P			
6	Ivuila António Rufino		Calueque													P					P	P	P						P	P	
7	Adolfo Zacarias Epalanga		Calueque	P	P	P	P	P	P	P	P			P	P						P										
8	Tchimbale Kanhungulo		Menongue		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P					P	P							P	P	P	
9	Brez Neves Mandume		Ondjiva	P	P	P	P	P	P	P	P	P			P	P				P	P	P		P	P	P	P	P	P		
10	Joaquim Semente Sabino		Menongue	P	P		P	P	P	P	P	P	P	P						P	P						P	P	P	P	
11	Gerónimo Sambaca		Huambo	P	P	P	P	P	P	P	P				P	P	P	P	P	P	P									P	
12	Carlos Manuel Nobre de Andrade		Luanda	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P			P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
13	Luzia António Filipe da Conceição		Luanda	P	P		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
14	Rui João Quivota		Luanda	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
15	Filipe Sabino		Menongue	P	P	P	P	P	P	P																				P	
16	Merciano Muaca		Luanda																		P	P									
1	Domingos Nsoko Pedro	INAMET	Luanda	P		P	P	P	P	P									P	P	P	P				P	P	P	P		
2	Lucia Yola da Costa Fernando		Luanda	P											P	P	P													P	
3	Dario Mário dos Santos		Luanda	P	P	P	P	P	P			P								P	P						P	P	P	P	
4	Francisco José Canhangá		Luanda																												
5	Amílcar José		Luanda																												
6	Antonio Lameira Gaspar		Luanda																												
7	Amaral Guedes		Luanda																												
8	Juliana Paixao Muhongo		Luanda	P	P	P		P	P	P				P	P						P						P	P			
9	Artur da Silva Nazaré		Huila																												
10	Simão Chinguma		Benguela																												
11	João dos Anjos Marcolino		Malanje				P							P		P	P	P	P	P					P						
12	Frederico da Cunha		Bengo																												
13	Flavio Mitange		Luanda																												
14	António Pereira		Cunene																												
15	Francisco Osvaldo		Luanda	P	P	P	P	P	P					P		P				P	P	P	P						P	P	
16	Edson Segunda Tchivango		Luanda		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P					P						P	P		
1	Narciso Augusto Ambrósio	INRH	Luanda	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P					P	P	P	P		
2	Máida Margarida Luís Gomes		Luanda	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P						P	P	P	P	
3	Emanuel dos Santos da C. Ferreira		Luanda	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
4	Natália Gracieth F. Capingano		Luanda	P	P	P	P																								
5	João Agostinho Paulo Cariri		Malanje	P	P	P	P				P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
6	João Kawedji		Malanje	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
7	Yuri Carlos da Costa Mulaja		Benguela																												
8	Avelino Cacoma		Luanda					P		P	P			P							P	P	P	P	P						
9	Augusto Zeferino Calado		Benguela	P	P		P	P		P	P					P	P			P	P	P	P	P							
10	Ezequiel Kandumbo G. Chitata		Benguela																												
Frequência relativa de presenças diárias				Valores diários	57%	57%	50%	57%	57%	62%	55%	38%	43%	55%	48%	45%	31%	38%	52%	50%	43%	38%	38%	48%	50%	43%	43%	38%	41%	19%	
Média					46%																										

A frequência relativa de presenças nos dias do Módulo de Formação 3 foi em média de 46%, tendo a frequência relativa das presenças diárias variado durante a formação entre um valor mínimo de 19% e um máximo de 62%.

4.4 MÓDULO 4

O Módulo 4 da Formação contou com 38 formandos inscritos, correspondendo 12 ao GABHIC, 16 ao INAMET e 10 ao INRH. Os formandos estavam localizados em várias cidades provinciais de Angola, contando-se 19 formandos em Luanda, e os restantes 19 formandos nas cidades do Bengo, Benguela, Calueque, Huambo, Huila, Malanje, Menongue e Ondjiva.

No Quadro 4.4 apresenta-se a lista dos formandos referenciados às instituições onde trabalham, bem como as presenças registadas em cada aula do Módulo de Formação 4.

Quadro 4.4 – Lista de formandos e presenças registadas no Módulo de Formação 4

PARTICIPANTES NO MÓDULO DE FORMAÇÃO 4			Semana de 22 a 26 de fevereiro					Semana de 1 a 5 de março					Semana de 8 a 12 de março					Semana de 15 a 19 de março					Semana de 22 a 26 de março			29 de março a 2 de abril		9 de abril		
No.	Nome Completo dos Estudantes	Instituição	Local de trabalho	22/fev	23/fev	24/fev	25/fev	26/fev	01/mar	02/mar	03/mar	04/mar	05/mar	08/mar	09/mar	10/mar	11/mar	12/mar	15/mar	16/mar	17/mar	18/mar	19/mar	24/mar	25/mar	26/mar	29/mar	30/mar	09/abr	
1	Joaquim José Pinto Tavares	GABHC	Luanda	P	P			P		P	P		P	P	P	P		P	P		P		P							
2	Nsacalo Domingos Neves Maseu		Calueque		P		P			P	P	P		P					P			P		P						
3	Paulo Kibela Quitonda		Luanda		P	P			P	P	P			P	P	P	P	P	P	P	P				P	P	P	P		P
4	Falco Elivanilson Cabral Kiowa		Luanda		P	P			P	P	P			P	P	P	P	P	P					P	P	P	P			P
5	Elísio Lopes Vaz		Calueque		P	P	P	P	P					P	P	P	P	P					P	P		P	P	P	P	
6	Ivuila António Rufino		Calueque		P	P	P	P							P	P	P	P	P	P	P	P		P	P	P	P	P		
7	Adolfo Zacarias Epalanga		Calueque			P	P	P	P	P	P	P		P	P	P	P	P	P	P	P	P		P	P	P	P	P		
8	Tchimbale Kanhungulo		Menongue								P	P	P	P						P								P	P	P
9	Brez Neves Mandume		Ondjiva								P	P	P	P													P	P	P	P
10	Joaquim Semente Sabino		Menongue		P						P	P	P	P	P	P	P			P	P	P		P	P	P	P	P	P	P
11	Gerónimo Sambaca		Huambo		P	P		P	P	P		P	P	P	P	P	P									P	P	P	P	
12	Filipe Sabino		Menongue									P	P		P	P	P	P	P	P	P							P		
1	Domingos Nsoko Pedro	INAMET	Luanda	P		P		P							P	P			P				P		P				P	
2	Lucia Yola da Costa Fernando		Luanda			P																								
3	Dario Mário dos Santos		Luanda			P	P	P							P		P													
4	Francisco José Canhanga		Luanda																											
5	Amilcar José		Luanda																											
6	Antonio Lameira Gaspar		Luanda																											
7	Amaral Guedes		Luanda																											
8	Juliana Paixão Muhongo		Luanda		P		P			P										P										
9	Artur da Silva Nazaré		Huíla																											
10	Simão Chinguma		Benguela																											
11	João dos Anjos Marcolino		Malanje			P																								
12	Frederico da Cunha		Bengo																											
13	Flavio Mitange		Luanda																											
14	António Pereira		Cunene																											
15	Francisco Osvaldo		Luanda		P		P	P		P														P	P	P	P			
16	Edson Segunda Tchivango		Luanda						P						P		P													
1	Narciso Augusto Ambrósio	INRH	Luanda	P		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		P	P	P	P	P	P	P	
2	Maida Margarida Luís Gomes		Luanda																											
3	Emanuel dos Santos da C. Ferreira		Luanda							P	P	P	P		P	P	P	P	P	P	P	P		P	P	P	P			
4	Natália Gracieth F. Capingano		Luanda			P		P		P													P	P		P	P	P		P
5	João Agostinho Paulo Cariri		Malanje		P		P	P	P																					
6	João Kawedji		Malanje												P	P	P	P	P				P	P		P	P		P	
7	Yuri Carlos da Costa Mulaja		Benguela																											
8	Avelino Cacoma		Luanda							P																P	P			
9	Augusto Zeferino Calado		Benguela			P	P			P	P		P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		P		P	P	P		
10	Ezequiel Kandumbo G. Chitata		Benguela																											
Frequência relativa de presenças diárias			Valores diários	29%	26%	34%	26%	29%	34%	32%	32%	26%	32%	40%	37%	40%	26%	40%	26%	32%	34%	21%	37%	40%	34%	32%	21%	16%		
			Média	31%																										

A frequência relativa de presenças nos dias do Módulo de Formação 4 foi em média de 31%, tendo a frequência relativa das presenças diárias variado durante a formação entre um valor mínimo de 16% e um máximo de 40%.

5 AFERIÇÃO DA AQUISIÇÃO DE CONHECIMENTOS E COMPETÊNCIAS

5.1 MÓDULO 1

Ao longo das 5 semanas de aulas do Módulo de Formação 1 os formandos mostraram-se bastante activos e interessados, com sugestões e questões que permitiram aos formadores esclarecer e melhorar a forma de comunicação, o que teve resultados positivos na aquisição dos conhecimentos e das competências para todo o grupo.

Uma das sugestões indicadas referia-se aos exercícios de Excel, que embora resolvidos durante a aula não era suficientemente clara a ordem dos procedimentos a efectuar quando, depois da aula, se retomava o exercício para o resolver individualmente. A sugestão, que foi desde logo aceite, de introduzir nos exercícios de Excel todos os passos de cálculo necessários à resolução do exercício, passou a ser aplicada a todos os exercícios, o que teve resultados positivos na agilidade para lidar com o Excel.

Situações de partilha interessantes, com maior colaboração e interactividade entre todos os formandos, como no exercício de estatísticas amostrais com utilização de funções do Excel para o seu cálculo, que permitiu dar a conhecer ao grupo a versão em português das funções do Excel uma vez que o formador tinha as funções em inglês ou na partilha da informação sobre os procedimentos que o INRH utiliza na medição do caudal escoado em linhas de água Angolanas.

Na sequência da aplicação das curvas I-D-F do Decreto Presencial nº 59 de 2011 para cálculo do caudal de ponta de cheia de uma pequena bacia hidrográfica, uma questão sobre como determinar as curvas I-D-F deu origem a mais um exercício que não estava previsto.

Assim, a forma como os formandos foram mantendo o contacto entre si e com os formadores, permitiu aos formadores ter a percepção que existiu sempre grande envolvimento, interesse e pró-actividade por parte dos formandos durante a formação.

Para além desta avaliação geral dos formandos foi elaborado pelos formadores um Teste para aferir os conhecimentos e competências adquiridos individualmente durante a formação.

O Teste constou de uma parte teórica e de uma parte prática. A 1ª parte do Teste compreendeu questões teóricas de escolha múltipla para as quais foram consideradas três hipóteses de resposta, estando apenas correcta e completa uma das respostas fornecidas.

A 2ª parte do Teste compreendeu a resolução prática de exercícios em Excel, semelhantes aos exemplos realizados durante as aulas, tendo-se subdividido nos seguintes itens:

- Tratamento de dados de precipitação;
- Tratamento de dados de caudal.

Com o Teste pretendeu-se completar a avaliação efectuada durante as aulas de forma a aferir melhor a aquisição dos conhecimentos e competências pelos formandos. O Teste foi elaborado para 20 valores, ou seja a classificação de 20 valores corresponderia a 100% de respostas correctas.

Forem entregues 15 testes, mas nem todos apresentavam a parte prática completa. A Figura seguinte ilustra o número de entregas da Parte Teórica e de cada uma das Partes Práticas.

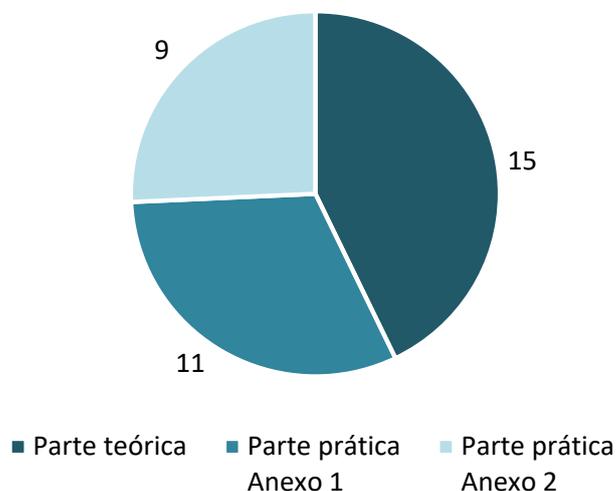


Figura 5.1 – Número de testes entregues, parte teórica e prática

Os resultados da avaliação do Teste, no conjunto da parte teórica e da parte prática, pode ser visualizada na Figura seguinte:

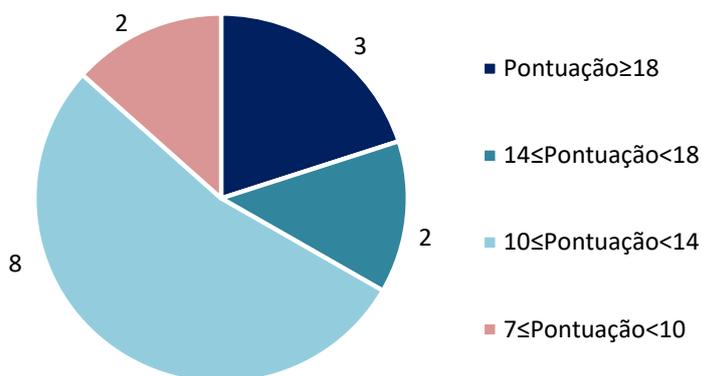


Figura 5.2 – Resultados do Teste

Em anexo apresenta-se o enunciado do Teste, parte teórica e prática, com a respectiva resolução.

Os certificados de participação no Módulo 1 serão entregues no final da Formação em Hidrologia, juntamente com os certificados relativos aos Módulos 2, 3 e 4.

5.2 MÓDULO 2

À semelhança do Módulo 1, foi elaborado pelos formadores um Teste para aferir os conhecimentos e competências adquiridos individualmente durante a formação.

A 1ª parte do Teste compreendeu questões teóricas de escolha múltipla e a 2ª parte do Teste compreendeu a resolução prática de exercícios em Excel, semelhantes aos exemplos realizados durante as aulas, tendo-se subdividido nos seguintes itens:

- Estabelecimento de um modelo anual de regressão Precipitação – Escoamento;

- Estabelecimento de um modelo mensal de regressão Precipitação – Escoamento;
- Elementos de caracterização das albufeiras;
- Indicadores de performance (desempenho).

Foram entregues 7 testes, mas nem todos apresentavam a parte prática completa. A Figura seguinte ilustra o número de entregas da Parte Teórica e de cada uma das Partes Práticas.

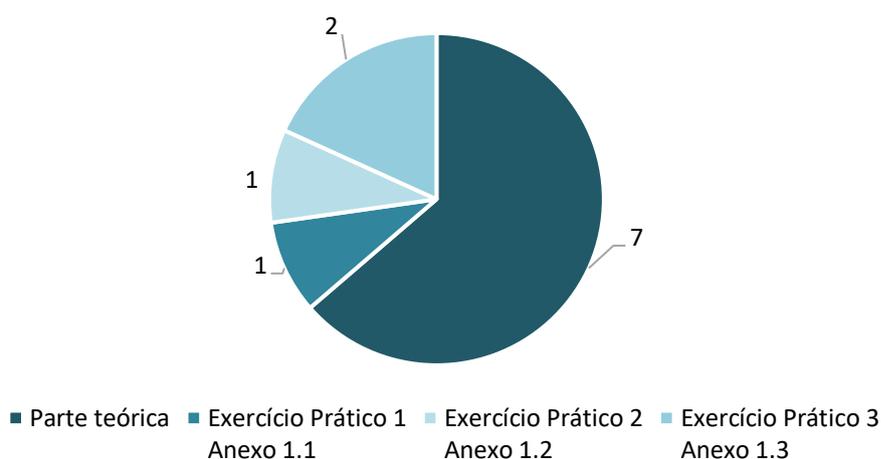


Figura 5.3 – Número de testes entregues, parte teórica e prática

Os resultados do teste de avaliação, no conjunto da parte teórica e da parte prática, pode ser visualizada na Figura seguinte:

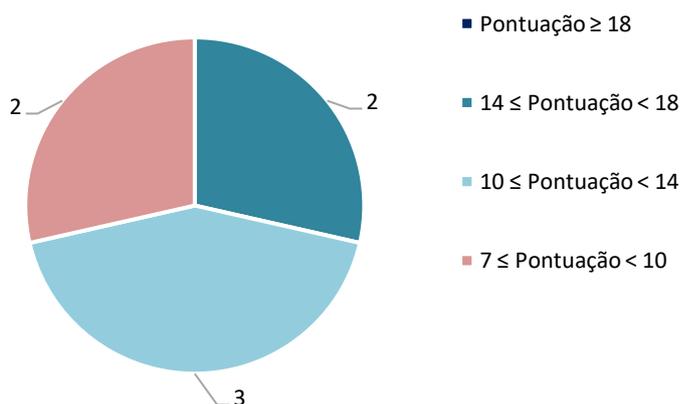


Figura 5.4 – Resultados do Teste

Em anexo apresenta-se o enunciado do Teste, parte teórica e prática, com a respectiva resolução.

Os certificados de participação no Módulo 2 serão entregues no final da Formação em Hidrologia, juntamente com os certificados relativos aos Módulos 1, 3 e 4.

5.3 MÓDULO 3

À semelhança dos Módulos 1 e 2, foi elaborado pelos formadores um Teste para aferir os conhecimentos e competências adquiridos individualmente durante a formação.

A 1ª parte do Teste compreendeu questões teóricas de escolha múltipla e a 2ª parte do Teste compreendeu a resolução prática de exercícios em Excel, semelhantes aos exemplos realizados durante as aulas, tendo-se subdividido nos seguintes itens:

- Cálculo do escoamento utilizável num telhado;
- Optimização de variáveis;
- Alterações Climáticas.

Foram entregues 11 testes, mas nem todos apresentavam a parte prática completa. A Figura seguinte ilustra o número de entregas da Parte Teórica e de cada uma das Partes Práticas.

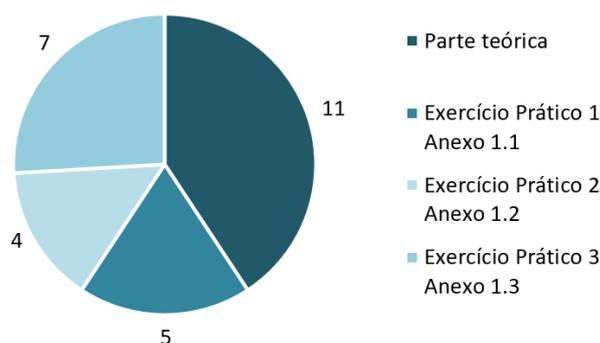


Figura 5.5 – Número de testes entregues, parte teórica e prática

Os resultados do teste de avaliação, no conjunto da parte teórica e da parte prática, pode ser visualizada na Figura seguinte:

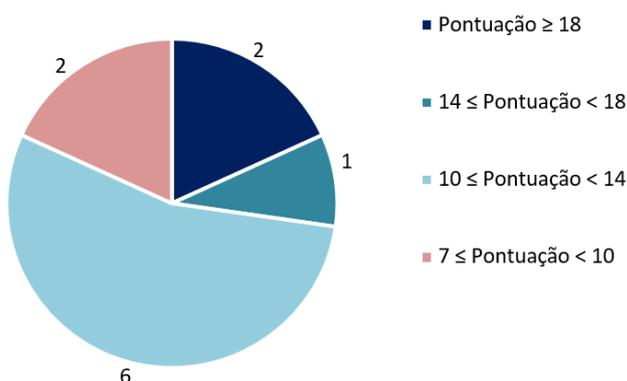


Figura 5.6 – Resultados do Teste

Em anexo apresenta-se o enunciado do Teste, parte teórica e prática, com a respectiva resolução.

Os certificados de participação no Módulo 3 serão entregues no final da Formação em Hidrologia, juntamente com os certificados relativos aos Módulos 1, 2 e 4.

5.4 MÓDULO 4

À semelhança dos Módulos 1, 2 e 3, foi elaborado pelos formadores um Teste para aferir os conhecimentos e competências adquiridos individualmente durante a formação.

A 1ª parte do Teste compreendeu questões teóricas de escolha múltipla e a 2ª parte do Teste compreendeu a resolução prática de exercícios em Excel, semelhantes aos exemplos realizados durante as aulas, tendo-se subdividido nos seguintes itens:

- Exercício de cálculo do escoamento uniforme;
- Cálculo da capacidade de uma descarga de fundo.

Foram entregues 8 testes, mas apenas um apresentou a parte prática completa. A Figura seguinte ilustra o número de entregas da Parte Teórica e de cada uma das Partes Práticas.

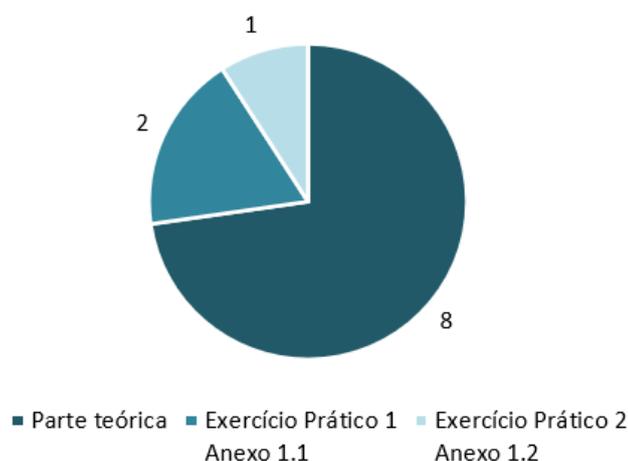


Figura 5.7 – Número de testes entregues, parte teórica e prática

Os resultados do teste de avaliação, no conjunto da parte teórica e da parte prática, pode ser visualizada na Figura seguinte:

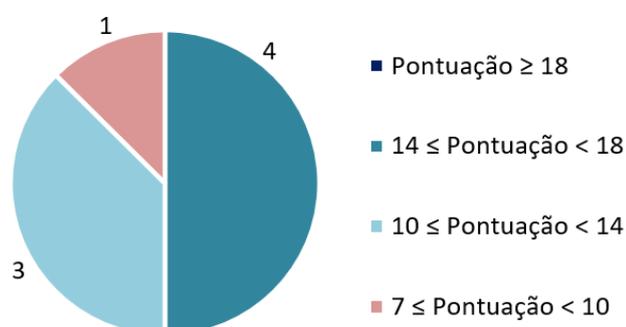


Figura 5.8 – Resultados do Teste

Em anexo apresenta-se o enunciado do Teste, parte teórica e prática, com a respectiva resolução.

Os certificados de participação no Módulo 4 serão entregues no final da Formação em Hidrologia, juntamente com os certificados relativos aos Módulos 1, 2 e 3.

6 AVALIAÇÃO PELOS FORMANDOS DAS ACTIVIDADES DO MÓDULO DE FORMAÇÃO 1

6.1 MÓDULO 1

No fim de 24 dias de formação foi solicitado via email a cada formando o preenchimento de uma Ficha de Avaliação relativa à sua experiência individual durante a participação no Módulo de Formação 1.

No Quadro e nas Figuras seguintes apresentam-se as estatísticas das respostas dadas. No Anexo 2 consta a Ficha de Avaliação com o detalhe das avaliações e respectivos comentários dos formandos.

Quadro 6.1 – Resumo das respostas à ficha de avaliação da Formação – Módulo 1

Avaliação das Actividades	Sim	Não
Na sua opinião, os temas abordados no Módulo 1 são relevantes para o seu trabalho?	19	1
Acha que, com base no que aprendeu, será capaz de realizar melhor o seu trabalho?	18	2
Acha que o Módulo 1 teve uma duração adequada?	15	5
Acha que precisa de formação adicional em assuntos introduzidos durante o Módulo 1? Se sim, por favor especifique:	14	6
Na sua opinião, o material didáctico utilizado foi apropriado? Se não, por favor especifique o que faltou:	20	0
Na sua opinião, os formadores foram capazes de partilhar de forma adequada e confiante o material?	20	0
Recomendaria esta formação (Módulo 1) a colegas de profissão?	20	0
Acha que esta formação deve ser realizada novamente no futuro?	18	2
Considera que a ligação de internet permitiu conectar-se online na maioria dos 25 dias de formação?	12	8

Relativamente às respostas negativas sobre a duração do Módulo 1, as mesmas são justificadas por ter sido considerado, pelos formandos, que o Módulo 1 deveria ter tido uma duração superior, da ordem de 6 a 8 semanas.

A formação adicional pretendida refere-se aos seguintes temas :

- Sensoriamento Remoto - Dados Satélite;
- Componente técnica das estações;
- Cálculo do hietograma de precipitação.

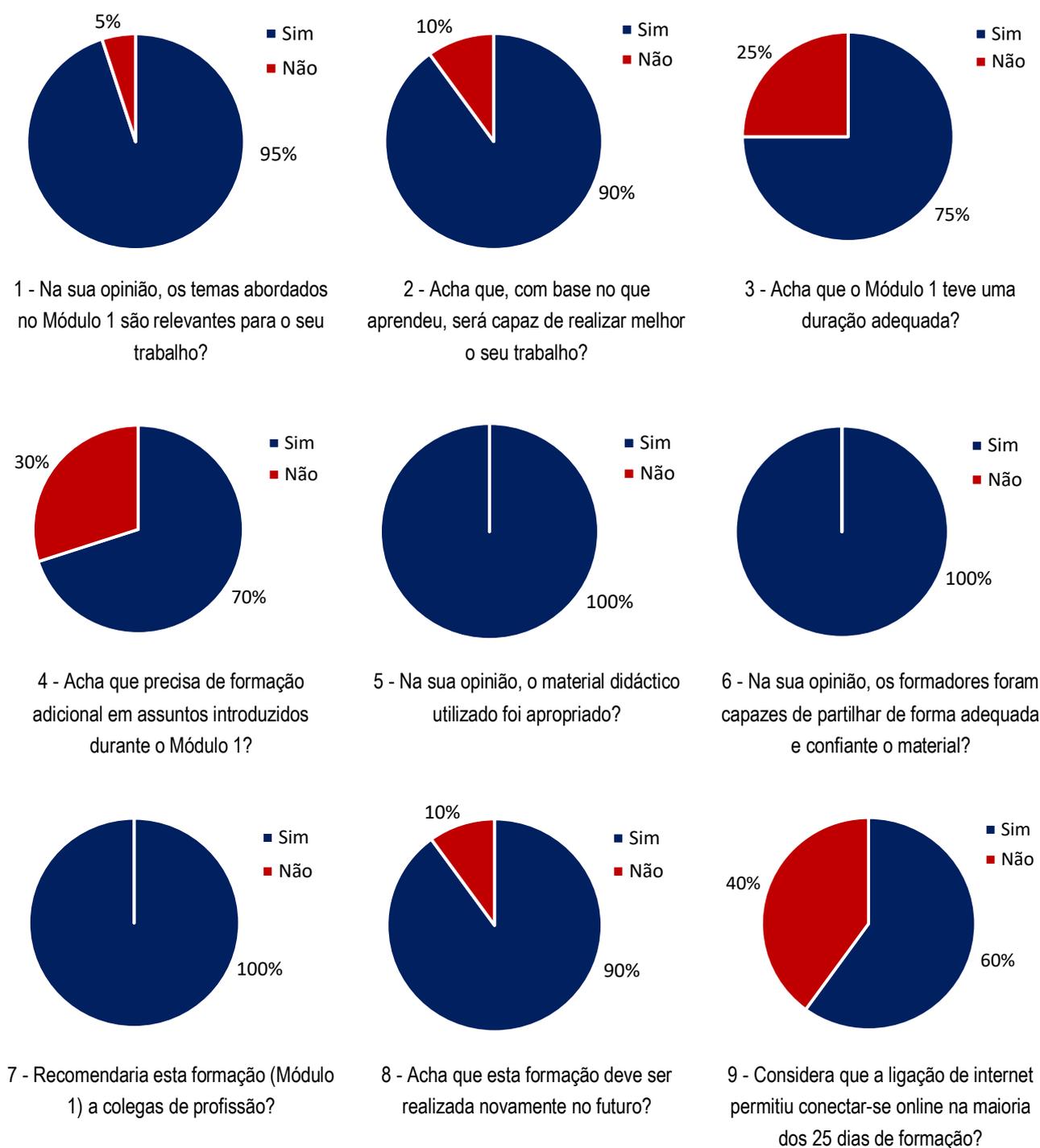


Figura 6.1 – Resumo das respostas dadas às fichas de avaliação da Formação – Módulo 1

Em termos qualitativos, as opiniões dos formandos foram as seguintes:

Relevância

- *Reconhecemos que os conteúdos temáticos do Módulo 1 são de um nível avançado para alguns dos nossos técnicos, mas podemos compensar com formações complementares de base em hidrometria/Hidrologia. O primeiro módulo foi muito bem preparado e executado pelo grau de experiência e profissionalismo dos Formadores, pelo que se recomenda.*
- *Preciso de uma formação adicional com relação aos cálculos feitos no Excel sobre Hidrologia, foram introduzidas as fórmulas muito rapidamente e dificultou-me bastante por não dominar bem a ferramenta Excel. Então pediria mais esclarecimento de forma leviana ou se puder passo a passo para melhor percepção, pois a Hidrologia é um ramo da minha área de formação e me identifico bastante.*
- *Esta formação permitiu esclarecer todas as dúvidas na área de hidrologia.*
- *Acho que é necessária uma formação adicional para exercitar mais e entender os diferentes cálculos.*
- *Estou imensamente agradecido pela vossa perícia na transmissão dos conhecimentos e da matéria. Continuo a ter as aulas por intermédio do material enviado, quer por vídeo, quer pela matéria em "PowerPoint", o que me tem enriquecido imensamente em termos de conhecimento.*

Opiniões

- *Tive problemas de energia e internet, por isso não acompanhei devidamente as aulas. Mas em suma a formação foi boa.*
- *A internet falhou bastante e tive problemas de responder algumas perguntas do teste porque não consegui assistir às aulas.*
- *Penso que dada a importância do curso para o desempenho das actividades diárias dos formandos, uma primeira abordagem não deveria ser online, mais sim presencial, muito embora reconheçamos as dificuldades para o efeito.*
- *Formação muito importante para quem trabalha com recursos hídricos. Infelizmente a Pandemia COVID não permitiu a formação presencial o que seria ótimo para melhor desempenho de todos os participantes.*

Sugestões

- *Sobre a questão de formação adicional, eu disse sim, mas não necessariamente uma formação, mas sim um "ombro", caso dificuldades sejam encontradas no futuro. Ou seja, apoio futuro caso achemos dificuldades durante o processo de instalação dos equipamentos de aquisição de dados. Isso porque no terreno as coisas são bem diferentes do que se vê nas aulas.*
- *É sempre bom depois de 1 ou 2 anos proporcionar aos técnicos acções de capacitação, para melhorar cada vez mais a sua performance.*
- *Como sugestão, gostaria que optássemos o uso do aplicativo zoom.*
- *Pretende-se com a formação adicional em modo presencial, aulas práticas de campo, na recolha de dados nos instrumentos e seu processamento directo com os formadores.*
- *Gostaria que esta e outras formações ligadas à gestão de bacias fossem realizadas com mais frequência no sentido de continuar a capacitar os técnicos ligados aos recursos hídricos e também devido às dificuldades de acesso à internet sugeria que as próximas formações fossem mais de carácter presencial se assim as condições o permitirem.*

6.2 MÓDULO 2

No fim de 22 dias úteis de formação foi solicitado via email a cada formando o preenchimento de uma Ficha de Avaliação relativa à sua experiência individual durante a participação no Módulo de Formação 2.

No Quadro e nas Figuras seguintes apresentam-se as estatísticas das respostas dadas. No Anexo 2 consta a Ficha de Avaliação com o detalhe das avaliações e respectivos comentários dos formandos.

Quadro 6.2 – Resumo das respostas à ficha de avaliação da Formação – Módulo 2

Avaliação das Actividades	Sim	Não
Na sua opinião, os temas abordados no Módulo 1 são relevantes para o seu trabalho?	8	1
Acha que, com base no que aprendeu, será capaz de realizar melhor o seu trabalho?	7	2
Acha que o Módulo 1 teve uma duração adequada?	7	2
Acha que precisa de formação adicional em assuntos introduzidos durante o Módulo 2? Se sim, por favor especifique:	7	2
Na sua opinião, o material didáctico utilizado foi apropriado? Se não, por favor especifique o que faltou:	8	1
Na sua opinião, os formadores foram capazes de partilhar de forma adequada e confiante o material?	9	0
Recomendaria esta formação (Módulo 2) a colegas de profissão?	8	1
Acha que esta formação deve ser realizada novamente no futuro?	9	0
Considera que a ligação de internet permitiu conectar-se online na maioria dos 25 dias de formação?	7	2

Relativamente às respostas negativas sobre a duração do Módulo 2, as mesmas são justificadas por ter sido considerado, pelos formandos, que o Módulo 2 deveria ter tido aulas presenciais e trabalho prático de campo.

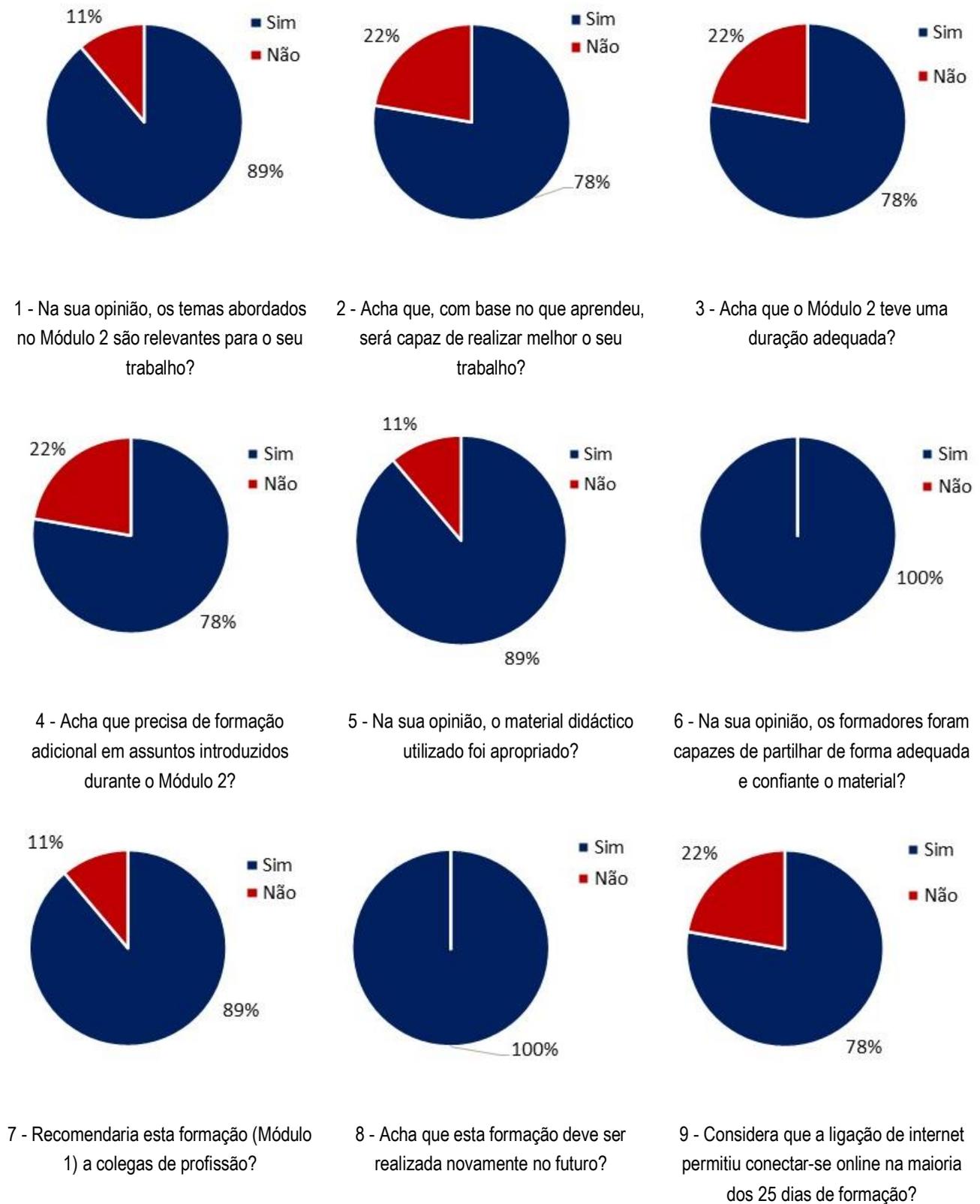


Figura 6.2 – Resumo das respostas dadas às fichas de avaliação da Formação – Módulo 2

Em termos qualitativos, as opiniões dos formandos foram as seguintes:

Relevância

- *Precisarei de formação adicional sobre o modelo Ptiman porque foi o primeiro contacto com o modelo e o mesmo se aplica ao modulo albufeiras.*

Dificuldades

- *Eu não pude atender muitas aulas no momento certo, e Algumas vezes os vídeos são tão grandes que quando chega ao meio, o download é cancelado.*
- *Durante as sessões de formação, tive inúmeras dificuldades, devido a problemas de ordem técnica, nomeadamente falta de luz e algumas vezes falta de internet. Facto que condicionou o meu desempenho vs aproveitamento.*
- *A minha grande dificuldade neste modulo, foi o volume de trabalho, que o Dtº enfrenta, mas com os videos e apresentações tento fazer o meu melhor.*

Sugestões

- *Em relação a formação adicional em assuntos introduzidos durante o Módulo 2, tem mas a ver com pratica a partir da recolha de dados em campo.*
- *De acordo com os conteúdos temáticos do modulo 2, recomendaria os sub-modulo 1 e 2 aos meus colegas Hidrologistas e o Sub-modulo 4 aos meus colegas operadores das Centrais hidroelétricas.*
- *1- Levando em consideração pertinência dos temas abordados a practica teria uma duração adequado. 2 - Necessita uma formação adicional no módulo 2 aulas presenciais e trabalho praticos de campo (no futuro).*

A forma como os formandos foram mantendo o contacto entre si e com os formadores, permitiu aos formadores ter a percepção que existiu sempre grande envolvimento, interesse e pró-actividade por parte dos formandos durante a formação.

6.3 MÓDULO 3

No fim de 22 dias úteis de formação foi solicitado via email a cada formando o preenchimento de uma Ficha de Avaliação relativa à sua experiência individual durante a participação no Módulo de Formação 3.

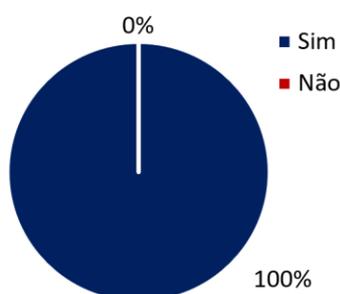
No Quadro e nas Figuras seguintes apresentam-se as estatísticas das respostas dadas. No Anexo 2 consta a Ficha de Avaliação com o detalhe das avaliações e respectivos comentários dos formandos.

Quadro 6.3 – Resumo das respostas à ficha de avaliação da Formação – Módulo 3

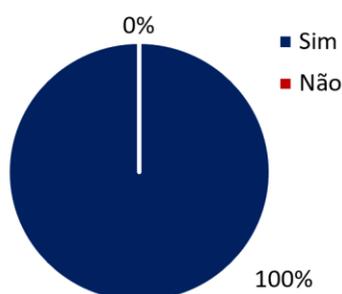
Avaliação das Actividades	Sim	Não
Na sua opinião, os temas abordados no Módulo 3 são relevantes para o seu trabalho?	10	0
Acha que, com base no que aprendeu, será capaz de realizar melhor o seu trabalho?	10	0
Acha que o Módulo 3 teve uma duração adequada?	7	3
Acha que precisa de formação adicional em assuntos introduzidos durante o Módulo 3? Se sim, por favor especifique:	6	3

Avaliação das Actividades	Sim	Não
Na sua opinião, o material didáctico utilizado foi apropriado? Se não, por favor especifique o que faltou:	10	0
Na sua opinião, os formadores foram capazes de partilhar de forma adequada e confiante o material?	10	0
Recomendaria esta formação (Módulo 3) a colegas de profissão?	10	1
Acha que esta formação deve ser realizada novamente no futuro?	10	0
Considera que a ligação de internet permitiu conectar-se online na maioria dos 25 dias de formação?	5	5

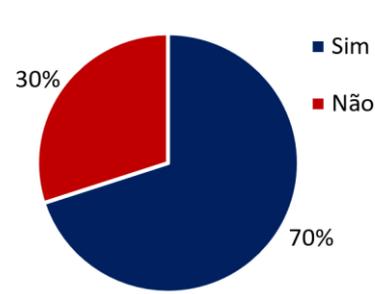
Relativamente às respostas negativas sobre a duração do Módulo 3, as mesmas são justificadas por ter sido considerado, pelos formandos, que o Módulo 3 deveria ter tido aulas presenciais e trabalho prático de campo.



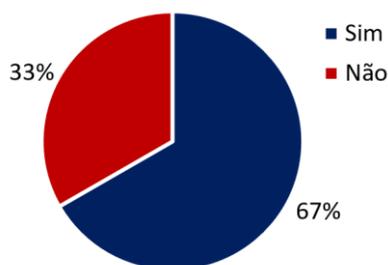
1 - Na sua opinião, os temas abordados no Módulo 3 são relevantes para o seu trabalho?



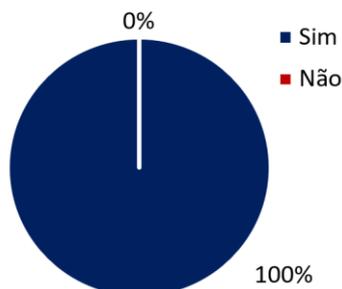
2 - Acha que, com base no que aprendeu, será capaz de realizar melhor o seu trabalho?



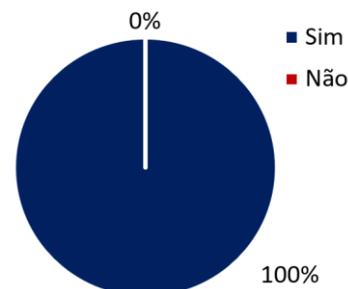
3 - Acha que o Módulo 3 teve uma duração adequada?



4 - Acha que precisa de formação adicional em assuntos introduzidos durante o Módulo 3?



5 - Na sua opinião, o material didáctico utilizado foi apropriado?



6 - Na sua opinião, os formadores foram capazes de partilhar de forma adequada e confiante o material?



Figura 6.3 – Resumo das respostas dadas às fichas de avaliação da Formação – Módulo 3

Em termos qualitativos, as opiniões dos formandos foram as seguintes:

Relevância

- *Consideramos que os sub-módulos 1, 2 e 3, são conteúdos temáticos que no futuro podemos aprofundar com formação adicional.*

Dificuldades

- *A grande dificuldade tem sido o problema de internet.*
- *No decorrer das aulas, tanto na teoria como na prática, não consegui acompanhar todas as aulas através de internet porque houve muitas falhas.*

Sugestões

- *Penso que os conhecimentos poderiam ser melhor consolidados se a formação tivesse sido realizada em formato presencial, uma vez que este tipo de formação demanda uma grande interação e articulação entre formadores e formandos e formandos entre si.*
- *Todavia a teoria vincula com prática, seria melhor no futuro aulas presenciais e de campo para melhor consolidação dos conhecimentos adquiridos na teoria.*

A forma como os formandos foram mantendo o contacto entre si e com os formadores, ao longo de todo o Módulo, permitiu aos formadores ter a percepção que existiu sempre grande envolvimento, interesse e pró-actividade por parte dos formandos durante a formação.

6.4 MÓDULO 4

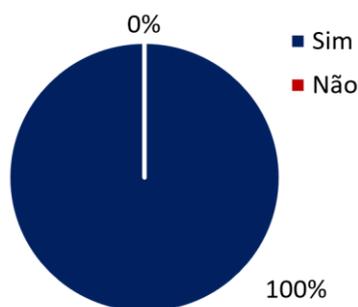
No final da formação foi solicitado via email a cada formando o preenchimento de uma Ficha de Avaliação relativa à sua experiência individual durante a participação no Módulo de Formação 4.

No Quadro e nas Figuras seguintes apresentam-se as estatísticas das respostas dadas. No Anexo 2 consta a Ficha de Avaliação com o detalhe das avaliações e respectivos comentários dos formandos.

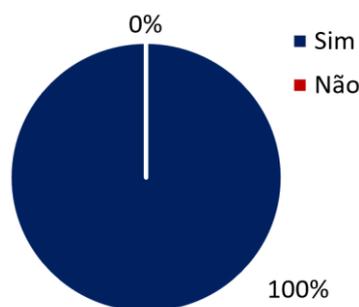
Quadro 6.4 – Resumo das respostas à ficha de avaliação da Formação – Módulo 4

<i>Avaliação das Actividades</i>	Sim	Não
Na sua opinião, os temas abordados no Módulo 1 são relevantes para o seu trabalho?	10	0
Acha que, com base no que aprendeu, será capaz de realizar melhor o seu trabalho?	10	0
Acha que o Módulo 1 teve uma duração adequada?	5	5
Acha que precisa de formação adicional em assuntos introduzidos durante o Módulo 2? Se sim, por favor especifique:	6	5
Na sua opinião, o material didáctico utilizado foi apropriado? Se não, por favor especifique o que faltou:	9	2
Na sua opinião, os formadores foram capazes de partilhar de forma adequada e confiante o material?	10	1
Recomendaria esta formação (Módulo 2) a colegas de profissão?	10	0
Acha que esta formação deve ser realizada novamente no futuro?	10	0
Considera que a ligação de internet permitiu conectar-se online na maioria dos 25 dias de formação?	6	4

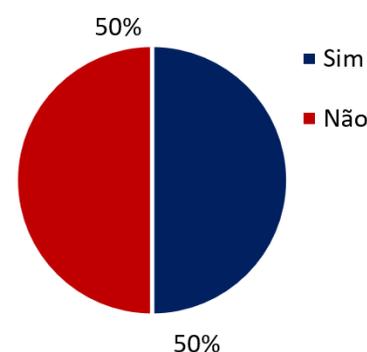
Relativamente às respostas negativas sobre a duração do Módulo 4, as mesmas são justificadas por ter sido considerado, pelos formandos, que o Módulo 4 deveria ter sido mais extenso, tido aulas presencias e trabalho prático de campo.



1 - Na sua opinião, os temas abordados no Módulo 4 são relevantes para o seu trabalho?



2 - Acha que, com base no que aprendeu, será capaz de realizar melhor o seu trabalho?



3 - Acha que o Módulo 4 teve uma duração adequada?

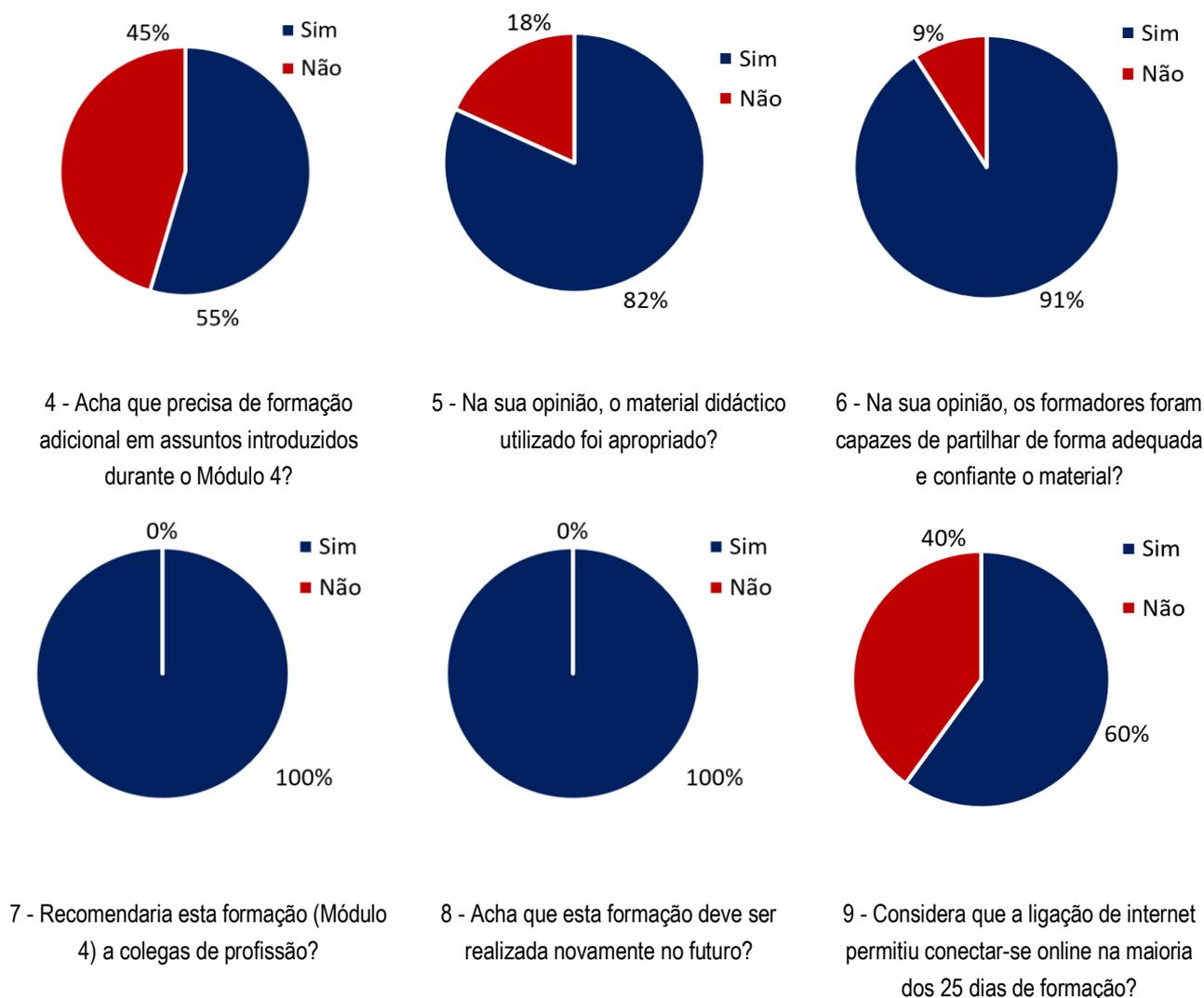


Figura 6.4 – Resumo das respostas dadas às fichas de avaliação da Formação – Módulo 4

Em termos qualitativos, as opiniões dos formandos foram as seguintes:

Relevância

- *Em relação os assuntos introduzidos no módulo 4, acho que o HEC-RAS precisava ser mais extenso.*
- *Apesar de alguns formadores correrem com a matéria, outros apresentaram melhor e mostraram estar melhor preparados e prepararam bem as matérias apresentadas. Ainda assim, tudo quanto foi apresentado ou ensinado, serviu e vai continuar servindo para se tirar o melhor proveito, a todos muito obrigado pelo tempo de formação.*

Dificuldades

- *No decorrer das aulas, tanto na teoria como na prática, não consegui acompanhar todas as aulas através de internet e energia que teve muita falha e também fiquei sem dados, por outro lado nessa altura faleceu um familiar. Devido a isto encontrei dificuldade ao resolver o teste de avaliação, mas tentei resolver algumas perguntas.*

Sugestões

- *Assim, como os módulos anteriores que não tiveram tempo suficiente, o módulo 4 também não foi diferente. Recomendaria os conteúdos temáticos do módulo 4 aos colegas que trabalham em gestão de recursos hídricos, bem como, aos técnicos dos Gabinetes Provinciais de Infra-estruturas e Serviços Técnicos.*
- *1- Levando em consideração pertinência dos temas abordados a prática teria uma duração adequada. 2 - Necessita uma formação adicional no módulo 2 aulas presenciais e trabalho práticos de campo (no futuro).*
- *O tempo de formação foi longo e muito proveitoso, mas não tive a oportunidade de aprender na íntegra porque alguns formadores aceleravam muito os exercícios, e na maioria das vezes fiquei perdido. Nas próximas vezes gostaria verificassem mais esse lado, nem todos trabalham com Excel e com Hidrologia, alguns são novos, então certos aspectos deviam ser tratados de forma mais superficial para facilitar o processo de ensino e aprendizagem. Contudo, agradeço por este tempo de formação e equipa toda da COBA pela paciência. Muito obrigado*

A forma como os formandos foram mantendo o contacto entre si e com os formadores, permitiu aos formadores ter a percepção que existiu sempre grande envolvimento, interesse e pró-actividade por parte dos formandos durante a formação.

7 EQUIPA DE FORMADORES. RESUMO DOS CURRICULUM VITAE

A equipa de formadores dos Módulos 1 a 4 foi constituída pelos seguintes especialistas da COBA:

- Estrela do Rosário – Coordenadora e Formadora do Módulo 1;
- Mariana Correia - Formadora do Módulo 1;
- João Delgado - Formador do Módulo 1;
- Maria João Calejo - Coordenadora do Módulo 2 e Formadora dos Módulos 2 e 3;
- José Cruz Morais - Coordenador do Módulo 3 e Formador dos Módulos 2 , 3 e 4;
- Júlio Arsénio - Formador dos Módulos 2 e 3;
- Alexandra Cardoso - Formadora do Módulo 3;
- Pedro F. Santos – Formador do Módulo 3.
- António Pereira da Silva - Coordenador e Formador do Módulo 4;
- António Amador - Formador do Módulo 4;
- André Mendes - Formador do Módulo 4;
- Alexandre Duarte – Formador do Módulo 4.
- Lúcia Almeida - Formadora do Módulo 4.

Estrela do Rosário

Especialista com mais de 40 anos de experiência em Projectos na área da Hidrologia e Hidráulica, Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais, Planeamento de Recursos Hídricos e de Impacte Ambiental. É actualmente Membro do Conselho Técnico Consultivo para as áreas de Hidrologia, Hidráulica e Recursos Hídricos, sendo Coordenadora de Equipas e Chefe de Projecto. Realizou intensa actividade na área de investigação relacionada com a sua tese de mestrado em Hidrologia de Cheias; autora e/ou co-autora de dezenas de comunicações apresentadas em Portugal e no estrangeiro, e de artigos publicados nas mais prestigiadas revistas da especialidade. Destaca-se a elaboração de diversos estudos hidrológicos de cheias de barragens e de controlo de inundações fluviais. Vasta experiência em Angola, onde se destaca, a participação e/ou coordenação de diversos Estudos e Projectos, designadamente a Revisão do Plano Director de Saneamento de Luanda, Revisão dos Planos Directores e Projectos para o Reforço dos Sistemas de Abastecimento de Água e Saneamento das cidades de N'Dalatando e Saurimo, estudos hidrológicos e hidráulicos para o Aproveitamento Hidroeléctrico de Chicapa II, Avaliação Técnica do Aproveitamento Hidroeléctrico de Chicapa I, para a Reabilitação dos descarregador da Barragem do Gove e para a realização de Obras de Arte. Destaque ainda para a sua participação no Plano Nacional da Água de Angola.

Mariana Correia

Engenheira Civil, especialista com 18 anos de experiência nas áreas de hidrologia e gestão de recursos hídricos. Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos (Instituto Superior Técnico), autora da Tese de Mestrado “Análise da Precipitação Máxima com Média Duração em Portugal Continental”. Destaca-se a elaboração de diversos estudos hidrológicos de barragens localizadas em diversos países, assim como a participação em projetos de Gestão de Recursos Hídricos de grande



relevância, nomeadamente o Plano Nacional da Água de Angola, o Plano Nacional Diretor de Irrigação de Angola, o Plano Estratégico para a Utilização e Desenvolvimento da Bacia Hidrográfica do rio Zambeze e a Estratégia de Gestão de Recursos Hídricos de Moçambique.

João Delgado

Engenheiro Civil com mais de 7 anos de experiência nas áreas de hidráulica e hidrologia. Detém um doutoramento com duplo grau em Energia pela École Polytechnique Fédérale de Lausane, Suíça e em Engenharia Civil pelo Instituto Superior Técnico, Portugal. É também Mestre em Engenharia Civil pelo Instituto Superior Técnico. É autor de vários artigos científicos publicados em revistas internacionais com arbitragem por pares da especialidade e também em congressos da especialidade. Atualmente, é Engenheiro Civil na COBA Portugal, destacando-se a participação nos Estudos do Aproveitamento Hidroelétrico do Saltinho na Guiné Bissau, Revisão do Projeto do Aproveitamento Hidroelétrico de Caculo Cabaça em Angola e na Remodelação da Central Hidroelétrica da Serra da Água em Portugal. Anteriormente, foi investigador e consultor no Instituto Superior Técnico, destacando-se o desenvolvimento dos estudos prévios de centrais mini-hídricas instaladas em sistemas de abastecimento de água em Lisboa.

Maria João Calejo

Doutorada em Engenharia Rural (Instituto Superior de Agronomia / Universidade Técnica de Lisboa) tem 27 anos de experiência como Engenheira Agrónoma, tendo participado e realizado diversos projectos de investigação nacionais e internacionais, bem como assumido trabalhos na área de projecto e gestão de recursos hídricos, designadamente na área da modelação hidrológica. Destaca-se a sua participação na elaboração do “Plano Nacional da Água de Angola” onde foi responsável pelos estudos da componente de irrigação que incluíram a avaliação das necessidades de água para irrigação, a construção dos cenários de desenvolvimento futuros (envolvendo uma área de irrigação de 3 020 000 ha), a realização do balanço disponibilidades/necessidades com passo de tempo mensal para um período de 30 anos para as diversas hipóteses de evolução, identificação das situações de escassez de água e de conflitos entre os utilizadores, a análise de sensibilidade dos resultados no contexto das alterações climáticas, a identificação e caracterização espacial e temporal das secas e da erosão e a análise das condições e compromissos relativos às bacias partilhadas, no “Plano Director Nacional de Irrigação de Angola - PLANIRRIGA”, na “Calibração do Modelo Hidrológico VIC (Variable Infiltration Capacity)”, no Plano Estratégico para a Utilização e Desenvolvimento da bacia Hidrográfica do rio Zambeze, e nos Estudos Pré-Viabilidade e Estudos de Viabilidade para criar “Resiliência climática na bacia do rio Limpopo.”

José Cruz Morais

Especialista com cerca de 40 anos de experiência no Planeamento e Gestão de Recursos Hídricos, na conceção e projeto de Estruturas Hidráulicas, no Planeamento e Análise Económica de Sistemas de Abastecimento de Água e na consultoria relativa a aspetos económicos da exploração de aproveitamentos hidroelétricos. Vasta experiência em Angola, onde se destaca a participação e/ou coordenação de diversos estudos e projectos como o Plano Nacional da Água de Angola, o Plano Nacional Diretor de Irrigação de Angola, a Reparação da Barragem do Gove e Construção da Central Hidroelétrica e Respetiva Subestação, entre outros. Durante dois anos prestou assistência técnica à empresa TECNOPROJETO, em Angola, tendo participado, entre outros, no estudo dos Recursos Hídricos da Província de Namibe, no estudo de viabilidade técnico-económica do Aproveitamento Hidroelétrico do Rio M'Bridge, na Drenagem Pluvial da zona da Boavista-Luanda e no estudo prévio do Aproveitamento Hidroagrícola do Rio Coporolo. Coordenou diversas Missões de Formação na área das Estruturas Hidráulicas e Gestão e Planeamento de Recursos Hídricos e das Albufeiras, no âmbito dos Estudos de Inspeção,

Auscultação e Reforço das Barragens Argelinas (cerca de 50). Responsável pelo Projecto de Desenvolvimento de Recursos Hídricos de Moçambique, integrado no Plano Nacional de Água. Coordenador de Projecto dos Planos das Bacias Hidrográficas dos Rios Sado, Mira e Guadiana e responsável pelos estudos preliminares de Modelização Hidráulica das Bacias Hidrográficas dos rios Douro, Tejo e Guadiana, no âmbito do Plano Hidrológico Nacional. (Portugal).

Júlio Arsénio

Especialista em planeamento de recursos hídricos, hidrologia e hidráulica, com experiência significativa em Angola, Moçambique, Portugal e Brasil. De entre os principais projectos em que esteve envolvido, quer a nível de elaboração dos estudos de especialidade quer de coordenação geral, destacam-se diversos planos de bacia hidrográfica (Zambeze em Moçambique; bacias hidrográficas do estado do Piauí no Brasil; Guadiana, Sado e Mira em Portugal) e projectos de aproveitamentos de fins múltiplos com objectivos de segurança hídrica e de protecção contra eventos extremos (cheias e secas), incluindo integração de modelos de previsão e alerta de cheias e de modelos de apoio à decisão, como por exemplo a aplicação sistemática de técnicas de análise multicritério (aproveitamentos de Jamba-la-Oma e de Jamba-la-Mina no rio Cunene; estudo de resiliência climática na bacia do Limpopo – aproveitamento de Mapai em Moçambique; estudos relacionados com o abastecimento de água a Lisboa; segurança do abastecimento de água à cidade do Rio de Janeiro; segurança do abastecimento de água à bacia do Alto Piancó no Brasil; estudos e projectos de mitigação de cheias nas bacias dos rios Muriaé e Pomba no Brasil).

Alexandra Cardoso

Engenheira Civil, especialista com mais de 25 anos de experiência na elaboração e coordenação de estudos e projectos nas áreas de recursos hídricos, hidráulica e saneamento. Da experiência em Angola, destaca-se a colaboração na Revisão da Estratégia de Desenvolvimento a Longo Prazo “Angola 2025” e sua extensão para o horizonte 2050 para o Sector dos Recursos Hídricos, a análise da situação actual e proposta de soluções para o quadro jurídico, regulamentar e institucional no âmbito dos Planos Directores Participativos de Saneamento para as Cidades de Uíge, Malanje e Lubango, bem como a coordenação de projectos de infra-estruturas para três novas centralidades nas Províncias do Cunene, Bengo e Cabinda. Destaca-se ainda a experiência internacional de quatro anos em Moçambique, onde prestou serviços de assistência técnica estratégica ao Programa Nacional de Desenvolvimento de Recursos Hídricos de Moçambique, em diversas matérias relacionadas com elaboração de documentos técnicos e estratégicos e de regulamentação e legislação nas áreas dos recursos hídricos, meteorologia, ambiente e social, entre outras, integrando a estrutura organizacional da Direcção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos.

Pedro F. Santos

Licenciado em Engenharia Geográfica pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa e pós-graduado em Geomática – Sistemas de Apoio à Decisão, tem mais de 20 anos de experiência na gestão de projetos, aquisição e manipulação e de informação georreferenciada. De entre os principais projectos em que esteve envolvido, ao nível da análise espacial suportada por ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica e da elaboração de cartografia temática, destacam-se o Plano Estratégico para a Utilização e Desenvolvimento da Bacia Hidrográfica do rio Zambeze, e os Estudos de Pré-Viabilidade e de Viabilidade para criar “Resiliência climática na Bacia do Rio Limpopo.”

António Pereira da Silva

Especialista em hidráulica e recursos hídricos, com vasta experiência em Angola, onde se destaca, a participação e/ou coordenação de diversos projetos de obras hidráulicas como o aproveitamento hidroeléctrico de Cambambe, Láuca, Caculo Cabaça e Zenzo no rio Kwanza, reabilitação da barragem do Gove, aproveitamentos de Jamba-la-Oma, Jamba-la-Mina e



Matala no rio Cunene, o aproveitamento de Luachimo no rio Luachimo, a revisão do plano de desenvolvimento hidroelétrico do rio Queve e os sistemas de abastecimento de água às cidades de Huambo, Malanje, Ondjiva, N'Dalatando e Kuito. Foi igualmente responsável pelo Plano Nacional de Desenvolvimento de Barragens com Elevado Potencial Hidroelétrico em Portugal. No domínio da investigação, destaque para a sua participação em diversos projetos no domínio do Comportamento Dinâmico de Válvulas e Ventosas desenvolvidos na Universidade de Delft, na Holanda. Foi ainda responsável pela elaboração de um programa de cálculo automático interativo para PCs (designado por ERTEP), de aplicação genérica, para a análise dos regimes transitórios (golpe de aríete) em sistemas hidráulicos sob pressão.

António Amador

Doutor em Engenharia Civil (Universidade Politécnica da Catalunha) tem mais de 20 anos de experiência como engenheiro hidráulico e investigador, tendo coordenado e elaborado diversos projectos de aproveitamentos hidráulicos, destacando-se, em Angola, o envolvimento nos projetos dos aproveitamentos de Caculo Cabaça e Zenzo no rio Kwanza, a reabilitação da central hidroelétrica de Matala e o aproveitamento hidroelétrico de Luachimo. Na sua atividade como investigador participou em diversos projetos de investigação na área das obras hidráulicas e é autor de diversos artigos publicados em revistas internacionais da especialidade. Foi responsável das disciplinas de Hidráulica I e II no Instituto Politécnico de Setúbal, como Professor Adjunto, durante 7 anos.

André Mendes

Engenheiro Civil com 9 anos de experiência na área de Hidráulica e Recursos Hídricos, com participação em projetos no âmbito da hidráulica fluvial, na modelação fluvial em ambiente computacional, incluindo em sistemas de proteção contra cheias, estudos de segurança e de rotura de barragens, na hidráulica de estruturas, e em aproveitamentos hidroelétricos. Em Angola, destaque para a participação nos estudos de projeto base das barragens de Caculo Cabaça no rio Kwanza, e de Chicapa II no rio Chicapa, em estudos de reabilitação do aproveitamento de Kunge I, no Bié, e no projeto de execução da Barragem de Luachimo, no Dundo

Alexandre Duarte

O Doutor Alexandre Duarte tem 20 anos de experiência como Engenheiro Mecânico/Hidráulica, tendo participado em vários projetos na área de centrais hidroelétricas e em diversos projetos de investigação nacionais e internacionais. Obteve o seu Doutoramento em Hidráulica pela ÉCOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE sendo igualmente Licenciado (curso de 5 anos com tese) em engenharia mecânica e Mestre (equivalente a *Master of Science* em Hidráulica e Recursos Hídricos) pelo INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO. Destaca-se a sua participação como *Owner's engineer* da construção da Central de Cambambe 2 (720 MW) onde foi responsável pela aprovação dos projetos, fabricação e testes dos equipamentos hidromecânicos da central, incluindo as turbinas. Para além das competências ao nível da mecânica realiza trabalhos científicos/engenharia em CFD de diferentes estruturas hidráulicas desde tomada-de-água, descarregadores-de-cheias ou ETAs. Destaca-se a simulação do comportamento do escoamento ao longo do descarregador de cheias de Laúca para o caudal de cheia, 10020 m³/s. O Doutor Alexandre Duarte é igualmente Professor convidado do ISEC-LISBOA onde leciona as cadeiras de Aerodinâmica e Mecânica de Flúidos.

Lúcia Almeida

Especialista em obras geotécnicas, com uma experiência de 40 anos sempre associada ao estudo e projeto de obras de engenharia. A sua extensa atividade tem incidido, em particular, sobre barragens integradas em aproveitamentos

hidroagrícolas, em sistemas de abastecimento de água, aproveitamentos hidroelétricos, ou ainda em barragens de estêreis mineiros e de resíduos industriais. A sua intervenção neste tipo de obras, para além do projeto da barragem propriamente dito, tem englobado ações relacionadas com reabilitação, alteamentos, impermeabilização de aterros e albufeiras, planos de observação e de primeiro enchimento e ainda inspeção e estudos de segurança e análises de comportamento de barragens em fase exploração.

Da sua experiência destaca-se, como especialista em segurança de barragem, ter sido responsável pelo projeto geotécnico, plano de observação e assistência técnica à construção e ainda responsável pela observação do comportamento da obra da Barragem de Cerro do Lobo, em Portugal, e responsável pela coordenação e elaboração dos estudos geotécnicos relativos à Revisão Periódica de Segurança de Barragem (RPSB) das Barragens Sul, Cambucal I e II, Santana e Sistema Pombal, para a VALE, SA, no Brasil. Foi ainda chefe de projeto da participação da COBA no trabalho para o Banco Mundial “Serviços Analíticos e Consultivos em Segurança de Barragens para a Agência Nacional de Águas (ANA)”, de Apoio institucional à ANA, relativo à legislação, regulamentação, procedimentos e capacidade institucional no seu papel de Regulador/Fiscalizador de Segurança de Barragens.

Como projetista destacam-se as chefias de projeto da Barragem de Moamba-Major, em Moçambique, da barragem da Ribeira das Cortes, em Portugal, e como responsável pelas obras geotécnicas do projeto de reparação da Barragem do Gove, em Angola.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Formação em Hidrologia foi implementada entre o dia 28.09.2020 (1ª aula do Módulo 1) e o dia 09.04.2021 (25ª aula do Módulo 4) e visou capacitar os quadros técnicos do Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INAMET), do Instituto Nacional de Recursos Hídricos (INRH) e do Gabinete para Administração das Bacias Hidrográficas do Cunene, Cubango e Cuvelai (GABHIC) em áreas de interesse relacionadas com a Hidrologia, Gestão de Recursos Hídricos e Obras Hidráulicas.

Foram leccionadas 101 aulas ao longo dos 4 Módulos, mais especificamente 25 aulas por módulo, à excepção do Módulo 3, no qual foram leccionadas 26 aulas (foi promovida uma aula adicional, a pedido dos formandos, com o objectivo de aprofundar a Análise Financeira de Projectos, mediante a resolução de exercícios práticos).

Devido à situação criada pela pandemia da COVID-19, os Módulos de Formação 1 a 4 foram integralmente realizados por videoconferência pela plataforma Teams, a pedido do PNUD e das instituições angolanas envolvidas no projecto, INAMET, INRH e GABHIC.

A parte teórica foi apresentada em *PowerPoint* e a parte prática por meio de exercícios em Excel, resolvidos durante as aulas em folhas de Excel partilhadas, por forma a substituir o quadro de uma aula presencial e também por meio da utilização de dois modelos hidrológicos (HEC-HMS e WRSM/Pitman) e de um modelo hidráulico (HEC-RAS). A plataforma Teams possibilitou que em tempo real os formandos acompanhassem a resolução dos exercícios / utilização dos modelos através da partilha de ecrã por parte do Formador, o que constituiu uma enorme mais valia. O facto dos formandos também poderem partilhar o seu monitor possibilitou aos Formadores tirarem dúvidas de uma forma mais prática, produtiva e célere.

Foram apresentados cerca de 2 800 slides em *PowerPoint* e resolvidos mais de 100 exercícios, sendo que a maioria dos exercícios continha várias alíneas.

De acordo com a percepção dos 13 formadores envolvidos no projecto, os conteúdos foram bem assimilados pelos formandos. Aulas adicionais sobre determinados temas em particular, mais exigentes ou com os quais os formandos apresentam menor familiaridade, serão sempre uma mais valia futura para a capacitação dos quadros técnicos do INAMET, INRH e GABHIC. Ao longo de toda a formação, os formandos mostraram-se bastante activos e interessados, com sugestões e questões que permitiram aos formadores esclarecer e melhorar a forma de comunicação, o que teve resultados positivos na aquisição dos conhecimentos e das competências para todo o grupo.

Houve da parte dos participantes uma elevada dedicação à Formação implementada e uma consistente demonstração de interesse em relação à mesma. Por parte dos formadores, foi promovida a participação dos formandos em qualquer altura das aulas, para permitir o maior envolvimento dos mesmos, evitar a acumulação de eventuais dúvidas e fomentar uma maior ligação entre os formandos e os formadores, assim como entre os formandos. Em relação a esse ponto em particular, é de elogiar o elevado espírito de equipa entre os formandos.

Refira-se também que foi criado um grupo de WhatsApp com o objectivo de facilitar a comunicação e permitir criar uma maior proximidade entre os formandos e a COBA.

Relativamente à assiduidade dos formandos, considera-se que a mesma foi boa, tendo em consideração, por vezes, a exigente conciliação com as solicitações profissionais.

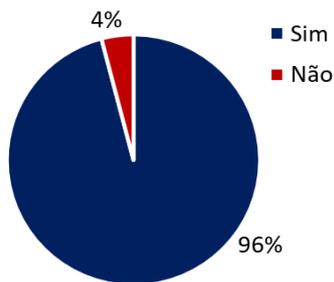
Foi realizada uma análise estatística conjunta, tendo por base as avaliações efectuadas pelos formandos aos 4 Módulos de Formação. Os resultados apresentam-se sob a forma tabular (Quadro 8.1) e sob a forma gráfica (Figura 8.1).

De acordo com a avaliação dos formandos em relação aos 4 Módulos leccionados, 96% consideraram que os temas abordados foram relevantes, o que permite concluir que os conteúdos programáticos foram bem adaptados às necessidades. 92% dos formandos são da opinião de que serão capazes de realizar melhor o seu trabalho no futuro, aspecto igualmente muito positivo, tendo em consideração que esse era um dos objectivos principais da implementação da Formação em Hidrologia. Relativamente à duração dos Módulos, 31% dos formandos consideram que a duração deveria ter sido superior a 25 aulas (por Módulo). 67% dos formandos revelaram a necessidade de formação adicional em assuntos introduzidos durante os Módulos. Relativamente ao material didáctico utilizado, 94% considerou que foi apropriado. No que diz respeito às últimas perguntas colocadas, 98% considerou que os formadores foram capazes de partilhar de forma adequada e confiante a matéria e recomendariam esta formação a colegas de profissão. 96% dos formandos considera que a mesma deve ser realizada novamente no futuro. Para finalizar, 39% dos formandos considera que a ligação de internet não permitiu uma boa conexão online na maioria dos dias da formação (dificuldades sentidas principalmente por formandos que estavam a assistir em cidades que não Luanda). Em muitas destas situações, as aulas foram assistidas através do vídeo da gravação da aula. A alguns dos formandos, que num determinado dia não conseguiram assistir à respectiva aula, foram dadas aulas suplementares quando solicitado.

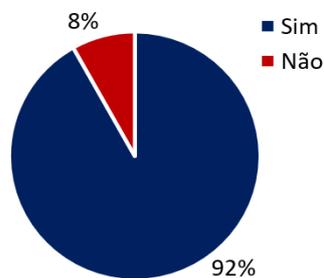
Face ao exposto, considera-se assim que a Formação em Hidrologia atingiu os objetivos pretendidos com uma excelente receptividade dos formandos às matérias lecionadas, o que é de realçar tendo em consideração o formato à distância em que decorreu a formação devido às condicionantes da pandemia da COVID-19.

Quadro 8.1 – Análise global das respostas às fichas de avaliação da Formação – Módulos 1 a 4

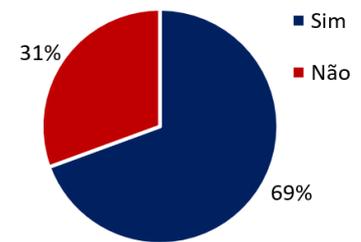
Avaliação das Actividades	Sim	Não
1 - Na sua opinião, os temas abordados são relevantes para o seu trabalho?	96%	4%
2 - Acha que, com base no que aprendeu, será capaz de realizar melhor o seu trabalho?	92%	8%
3 - Acha que os Módulos de formação tiveram uma duração adequada?	69%	31%
4 - Acha que precisa de formação adicional em assuntos introduzidos durante os 4 Módulos?	67%	33%
5 - Na sua opinião, o material didáctico utilizado foi apropriado?	94%	6%
6 - Na sua opinião, os formadores foram capazes de partilhar de forma adequada e confiante o material?	98%	2%
7 - Recomendaria esta formação a colegas de profissão?	98%	2%
8 - Acha que esta formação deve ser realizada novamente no futuro?	96%	4%
9 - Considera que a ligação de internet permitiu conectar-se online na maioria dos 101 dias de formação?	61%	39%



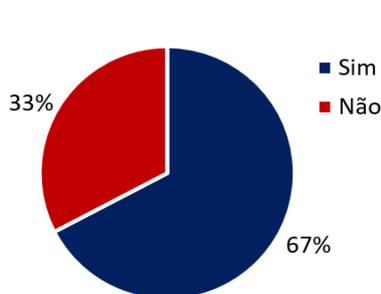
1 - Na sua opinião, os temas abordados são relevantes para o seu trabalho?



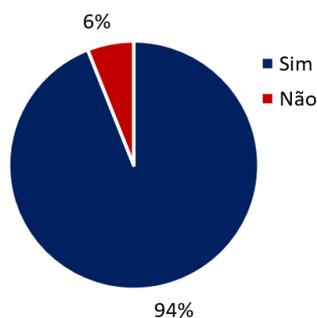
2 - Acha que, com base no que aprendeu, será capaz de realizar melhor o seu trabalho?



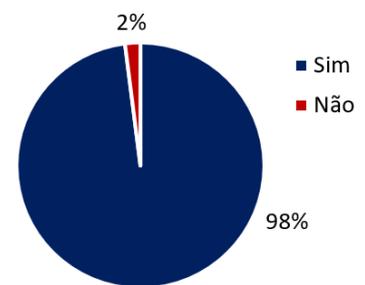
3 - Acha que os Módulos de Formação tiveram uma duração adequada?



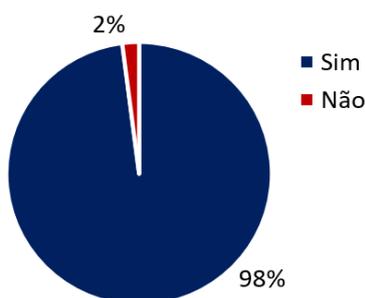
4 - Acha que precisa de formação adicional em assuntos introduzidos durante os 4 Módulos?



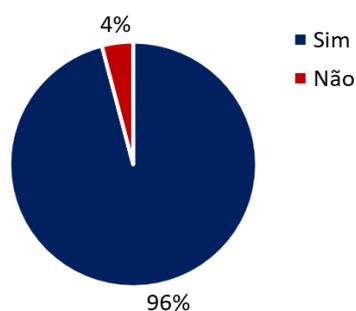
5 - Na sua opinião, o material didáctico utilizado foi apropriado?



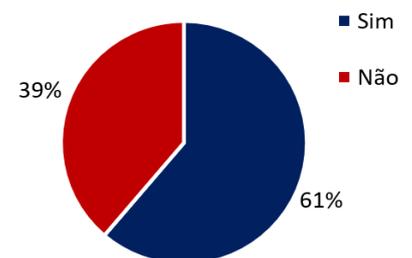
6 - Na sua opinião, os formadores foram capazes de partilhar de forma adequada e confiante o material?



7 - Recomendaria esta formação a colegas de profissão?



8 - Acha que esta formação deve ser realizada novamente no futuro?



9 - Considera que a ligação de internet permitiu conectar-se online na maioria dos 101 dias de formação?

Figura 8.1 – Resumo das respostas dadas às fichas de avaliação da Formação – Módulos 1 a 4

ANEXO 1 – TESTES DE AFERIÇÃO DOS CONHECIMENTOS E COMPETÊNCIAS

**MINISTÉRIO DO AMBIENTE
GABINETE DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**

FORMAÇÃO EM HIDROLOGIA

MÓDULO DE FORMAÇÃO 1 - HIDROLOGIA E TRATAMENTO DE DADOS

TESTE DE AVALIAÇÃO

**MINISTÉRIO DO AMBIENTE
GABINETE DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**

**FORMAÇÃO EM HIDROLOGIA
MÓDULO DE FORMAÇÃO 1 - HIDROLOGIA E TRATAMENTO DE DADOS**

TESTE DE AVALIAÇÃO

O Teste de Avaliação, para aplicação dos conhecimentos e competências adquiridas, consta de uma parte teórica e de uma parte prática.

A 1ª Parte do Teste compreende questões teóricas de escolha múltipla para as quais foram consideradas três hipóteses de resposta, estando apenas correcta e completa uma das respostas fornecidas. Deve seleccionar com um **X** a resposta correcta e completa.

A 2ª Parte do Teste compreende exercícios que deve resolver nos Anexos em Excel fornecidos para o efeito, que se baseiam nos exemplos realizados durante as Aulas.

1 - PARTE TEÓRICA - ESCOLHA MÚLTIPLA

1. O ciclo hidrológico descreve os diversos caminhos através dos quais a água na natureza circula e se transforma. Para uma dada região e um dado período de tempo, a quantidade de água que circula no ciclo hidrológico pode ser avaliada pela equação do balanço hídrico. Em que condições pode aplicar a fórmula simplificada da equação do balanço hídrico: $P - (Q + E + ET) = 0$?
 - i. Quando se refere a uma bacia hidrográfica e a um período de tempo suficientemente longo para que a variação do armazenamento de água possa ser considerada nula ou a um período do ano hidrológico;
 - ii. Quando se refere a uma bacia hidrográfica e ao mês;
 - iii. Quando se refere à área total do país.

2. A curva hipsométrica $A(z)$ permite determinar que indicador da bacia hidrográfica?
 - i. O declive médio da linha de água principal da bacia hidrográfica;
 - ii. O declive médio da bacia hidrográfica;
 - iii. A altitude média da bacia hidrográfica.

3. Como se define a precipitação?
 - i. A precipitação é o processo que ocorre por condensação na forma de gotas, em contacto com superfícies frias;
 - ii. A precipitação é o processo pelo qual a água, sob a forma líquida ou sólida, atinge a superfície da terra;
 - iii. A precipitação provém da camada atmosférica em contacto com a superfície terrestre.

4. Como se chama o método de cálculo da precipitação (anual, mensal, diária, horária ou outras durações) ponderada na área de uma dada bacia hidrográfica que tem a seguinte fórmula de cálculo: $P = 1/A \sum_{i=1}^N (P_i \times A_i)$, sendo P a precipitação na bacia hidrográfica para a duração pretendida, i o índice do posto udométrico, variável de 1, ..., N, P_i – a precipitação no posto i correspondente à duração pretendida, e A_i – a área de influência do posto i?
 - i. Método dos polígonos de Thiessen;
 - ii. Método das isoietas;
 - iii. Método da ponderação pelo inverso da distância

5. Considere uma amostra da variável aleatória X. Como se designam as estatísticas amostrais que são calculadas através das seguintes 3 expressões:

$$1) \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i;$$

$$2) s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2;$$

$$3) C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3}$$

- i. Média, variância e mediana;
- ii. Média, variância e coeficiente de variação;

iii. Média, variância e coeficiente de assimetria.

6. Existem vários modelos de distribuição de probabilidade para variáveis contínuas que são habitualmente adoptados em Hidrologia para ajustamento às séries hidrológicas temporais. Quais são os modelos habitualmente utilizados no ajustamento à série da precipitação máxima diária anual ou à série de caudais instantâneos máximos anuais?

- i. A distribuições Normal;
- ii. As distribuições de Gumbel, log-Normal, Pearson tipo III e log-Pearson tipo III;**
- iii. A distribuição de Weibull.

7. Depois de se ter seleccionado a lei de distribuição de probabilidade para o ajustamento a uma série de variável hidrológica, é feita a especificação do modelo através da estimação dos seu parâmetros, sendo necessário, antes de considerar a aplicação dessa lei de distribuição, verificar se o modelo se ajusta à série da variável hidrológica. Quais os processos utilizados para verificação do ajustamento?

- i. Os testes de ajustamento mais utilizados são os gráficos, com base em papel de probabilidade, e os testes analíticos, sendo os mais utilizados os testes da Normal e da Log-Normal;
- ii. Os testes de ajustamento mais utilizados são os gráficos, com base em papel de probabilidade, e os testes analíticos, sendo os mais utilizados os testes do χ^2 e do Kolmogorov-Smirnov;**
- iii. Os testes de ajustamento mais utilizados são os gráficos, com base em papel de probabilidade, e os testes analíticos, sendo os mais utilizados os testes da Média e da Variância.

8. O coeficiente de correlação linear entre duas variáveis aleatórias hidrológicas X e Y fornece uma medida do grau de associação entre as duas variáveis. Quais os valores recomendados dos seguintes conjuntos de resultados de coeficientes de correlação para ser utilizada a regressão linear de Y sobre X no preenchimento de falhas?
- $0 \leq \text{coef. de correlação} \leq 0,1$;
 - $0 \leq \text{coef. de correlação} \leq 1$;
 - $0,7 \leq \text{coef. de correlação} \leq 1$.**
9. Como distingue a evaporação da evapotranspiração?
- A evaporação de superfícies livres de água, processo de passagem da água do estado líquido ao estado gasoso a qualquer temperatura inferior ao ponto de ebulição, distingue-se da evapotranspiração que corresponde ao processo de evaporação da água do solo, da água interceptada e da água transpirada pela vegetação que reveste o solo;**
 - A evaporação de superfícies livres de água, processo de passagem da água do estado líquido ao estado gasoso a qualquer temperatura inferior ao ponto de ebulição, distingue-se da evapotranspiração que corresponde ao processo da água transpirada pela vegetação que reveste o solo;
 - A evaporação de superfícies livres de água, processo de passagem da água do estado líquido ao estado gasoso a qualquer temperatura inferior ao ponto de ebulição, distingue-se da evapotranspiração que corresponde ao processo da evaporação da água do solo.
10. A infiltração é o processo que consiste na entrada de água num solo pela sua superfície. De que factores depende a infiltração de água num solo permeável?
- Características hidráulicas do solo, como porosidade, condutividade hidráulica e teor de humidade, características da cobertura do solo e disponibilidade de água à superfície do solo;**
 - Características hidráulicas do solo, como porosidade, condutividade hidráulica e teor de humidade e da cobertura do solo;
 - Características hidráulicas do solo, como porosidade, condutividade hidráulica e teor de humidade.
11. O hidrograma unitário de duração D (HUD) define-se como o hidrograma do escoamento directo na secção da linha de água da bacia hidrográfica, resultante de um input unitário de precipitação útil de duração D. De acordo com a teoria do Hidrograma Unitário de Duração D, que princípios aplica quando determina o hidrograma de cheia do escoamento directo a partir de um hidrograma de precipitação útil?
- Princípio da proporcionalidade e princípio da sobreposição;**
 - Princípio da proporcionalidade e princípio da simetria;
 - Princípio da semelhança e princípio da simetria.

12. Hidrograma unitário sintético (HUS) é a equação ou procedimento que relaciona as características do hidrograma unitário com certas características fisiográficas das bacias hidrográficas. A sintetização implica transferência para outras bacias das relações estabelecidas entre os parâmetros do HUS (tempo, caudal e forma) e as características fisiográficas de bacias hidrográficas com medição de caudal. Qual o objectivo da determinação do Hidrograma Unitário Sintético?
- i. **Para determinação do hidrograma de cheia de escoamento directo em bacias hidrográficas sem medição da precipitação-escoamento em eventos de cheia;**
 - ii. Para determinação do hidrograma da precipitação útil;
 - iii. Para determinação do hidrograma da precipitação total.
13. Num cenário futuro de impermeabilização de uma determinada percentagem da área total de uma bacia hidrográfica, inicialmente sem área impermeabilizada, que resultados são esperados ao nível da perda total de precipitação, assim como do caudal e do volume de cheia, num determinado evento de cheia?
- i. Aumento da perda total de precipitação, diminuição do caudal de cheia e aumento do volume de cheia;
 - ii. Diminuição da perda total de precipitação, aumento do caudal de cheia e diminuição do volume de cheia;
 - iii. **Diminuição da perda total de precipitação, aumento do caudal de cheia e aumento do volume de cheia;**

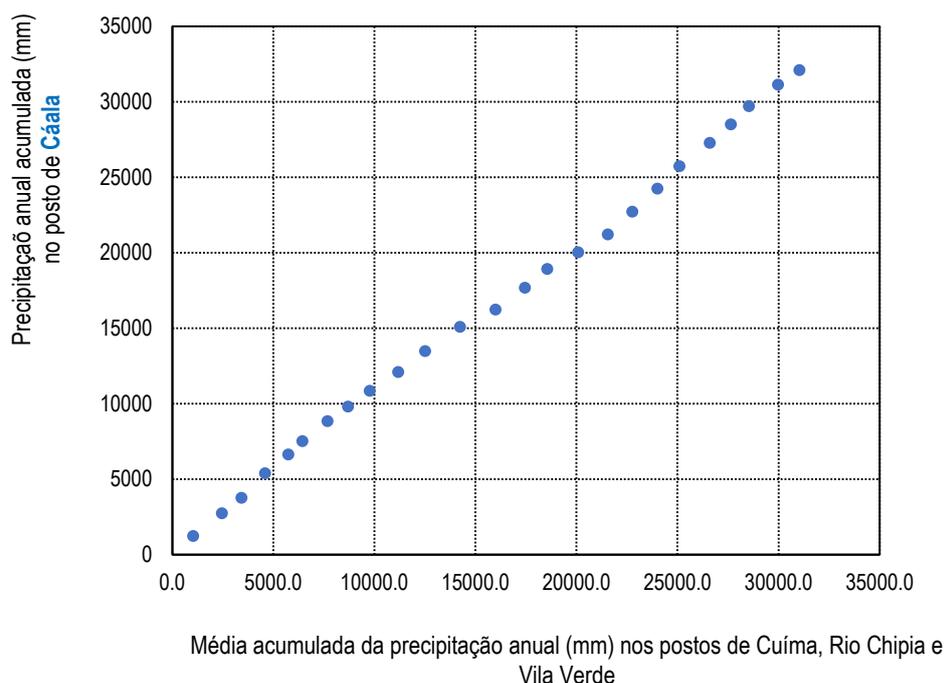
2 - PARTE PRÁTICA – EXERCÍCIOS EM EXCEL

2.1 Exercícios de tratamento de dados de precipitação

Ver Anexo 1.1 - Ficheiro Excel: Exercício_Tratamento de dados de precipitação – Enunciado

1 – O ensaio dos valores duplamente acumulados (“double mass curve”) constitui uma das formas mais comuns de detecção de quebra de homogeneidade de séries anuais de precipitação. Tendo em conta os dados históricos das séries anuais de precipitação de 4 postos udométricos localizados em Angola (para o período 1949/50 – 1973/74), nomeadamente Cáala, Cuima, Rio Chipia e Vila Verde, elabore em excel o gráfico do duplo acumulado para Cáala, tendo por base os valores registados nesse posto e os valores registados em Cuima, Rio Chipia e Vila Verde.

Anexo 1.1 - Folha do ficheiro de Excel: 1_Duplamente_acumulados



2 – Aplicando o método do U.S. Weather Bureau, calcule a hipotética falha do ano hidrológico 1964/65 do posto de Cuima, tendo por base os valores registados nesse mesmo ano nos postos de Cáala, Rio Chipia e Vila Verde.

Ver Anexo 1.1 - Folha do ficheiro de Excel: 2_Preenchimento_falha_anual_A

Resultado: $P_{\text{anual em Cuima}}(1964/65) = 1235,4 \text{ mm}$

3 – Aplicando o método de correlação linear simples, calcule a hipotética falha do ano hidrológico 1966/67 do posto de Rio Chipia, tendo por base os valores registados nesse posto e os valores registados no posto de Vila Verde.

Ver Anexo 1.1 - Folha do ficheiro de excel: Folha 3_Preenchimento_falha_anual_B

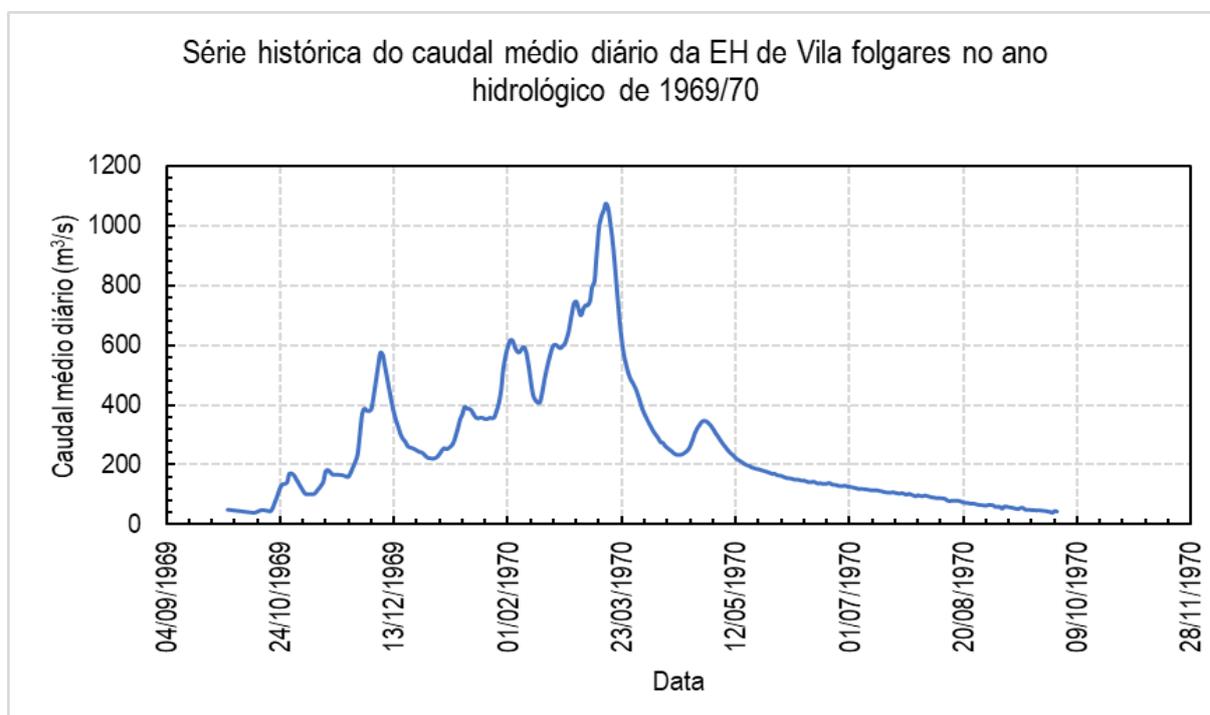
Resultado: $P_{\text{anual em Rio Chipia (1966/67)}} = 1369,4 \text{ mm}$

2.2 Exercício de tratamento de dados de caudais

Ver Anexo 1.2 - Ficheiro Excel: Exercicio_Tratamento_Dados_Caudais.xlsx enviado

A série temporal do caudal médio diário da Estação Hidrométrica de Vila Folgares no ano hidrológico 1969/70 indicada no Anexo 1.2 encontra-se representada na figura seguinte.

A estação hidrométrica de Vila Folgares é caracterizada por uma bacia hidrográfica com uma área de **35 510 km²**.



Tendo em conta os dados anteriormente apresentados e o ficheiro de Excel em anexo calcule:

- Qual o caudal médio diário do ano hidrológico 1969/70 da estação hidrométrica de Vila Folgares.

$$Q = 260,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Calcule as afluências totais anuais (volume anual escoado) no ano hidrológico 1969/70 da estação hidrométrica de Vila Folgares.

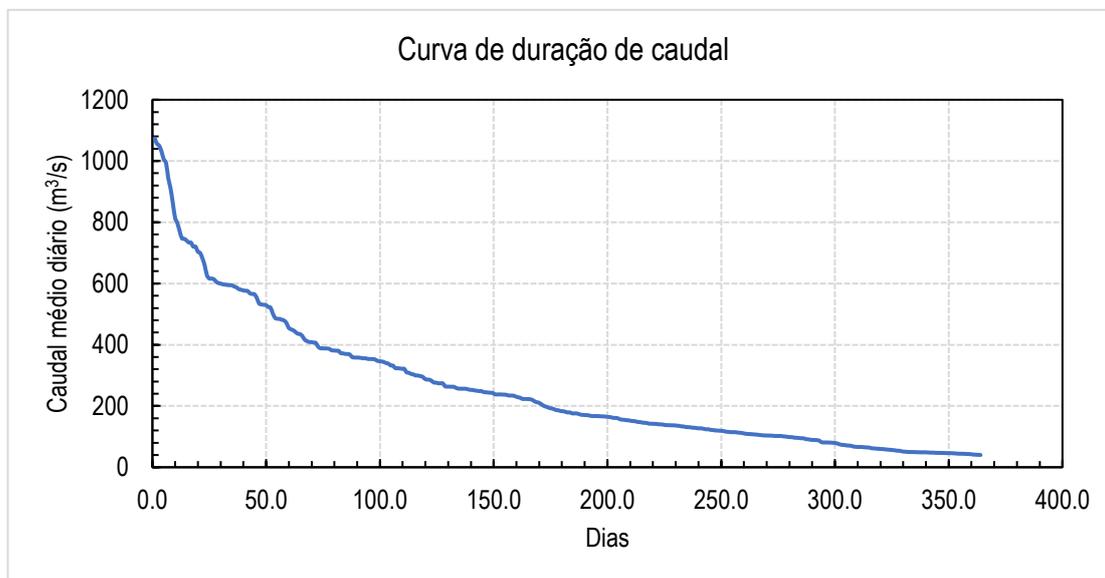
$$V = 260,0 \times 365 \times 24 \times 3600 / 1000000 = 8199 \text{ hm}^3$$

- Calcule o escoamento médio anual nesta estação.

$$H = 8199/35510 \times 1000 = 231 \text{ mm}$$

4. Obtenha a Curva de Duração anual do caudal médio diário da estação hidrométrica de Vila Folgares. Tendo em conta os resultados obtidos, qual o número de dias nesse ano em que os valores de caudal abaixo apresentados foram igualados ou excedidos?

Caudal médio diário (m ³ /s)	Dias
50,0	333,0
100,0	278,2
200,0	166,5
700,0	20,9



**MINISTÉRIO DO AMBIENTE
GABINETE DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**

FORMAÇÃO EM HIDROLOGIA

MÓDULO DE FORMAÇÃO 2 – MODELAÇÃO HIDROLÓGICA

TESTE DE AVALIAÇÃO

**MINISTÉRIO DO AMBIENTE
GABINETE DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**

**FORMAÇÃO EM HIDROLOGIA
MÓDULO DE FORMAÇÃO 2 – MODELAÇÃO HIDROLÓGICA**

TESTE DE AVALIAÇÃO

O Teste de Avaliação, para aplicação dos conhecimentos e competências adquiridas, consta de uma parte teórica e de uma parte prática.

A 1ª Parte do Teste compreende questões teóricas de escolha múltipla para as quais foram consideradas três hipóteses de resposta, estando apenas correcta e completa uma das respostas fornecidas. Deve seleccionar com um **X** a resposta correcta e completa.

A 2ª Parte do Teste compreende exercícios que deve resolver nos Anexos em Excel fornecidos para o efeito, que se baseiam nos exemplos realizados durante as Aulas.

1 - PARTE TEÓRICA - ESCOLHA MÚLTIPLA

1. Seleccione entre as respostas seguintes, a que completa correctamente a seguinte afirmação: “Os valores produzidos por um modelo hidrológico **estatístico** com passo anual...”
 - i. ... não dependem de quaisquer outras variáveis climáticas;
 - ii. ... **dependem dos valores da precipitação no próprio ano;**
 - iii. ... dependem dos valores da precipitação e da temperatura no próprio ano.

2. O modelo que resulta da análise de regressão múltipla de uma dada variável hidrológica – por exemplo $E_i = 0,25 P_{1i} + 0,45 P_{2i}$ - é:
 - i. Um modelo estocástico;
 - ii. **Um modelo determinístico;**
 - iii. Um modelo estatístico.

3. Uma **série temporal** apresenta geralmente as seguintes componentes: **tendência**, **sazonalidade** e **ruído**. Indique qual das seguintes definições se aplica à componente **tendência**.
 - i. Tendência é a componente periódica da série temporal;
 - ii. Tendência é a componente que não pode ser explicada pelo modelo determinístico utilizado;
 - iii. **Tendência é a componente que representa a variabilidade a longo prazo da variável analisada.**

4. O modelo WRSM/Pitman é um modelo hidrológico que pode ser usado com o(s) objectivo(s) de:
 - i. Avaliação da ocorrência de eventos extremos, estatisticamente possíveis;
 - ii. **Avaliação das disponibilidades / Planeamento / Dimensionamento de albufeiras;**
 - iii. Previsão de cheias em tempo real.

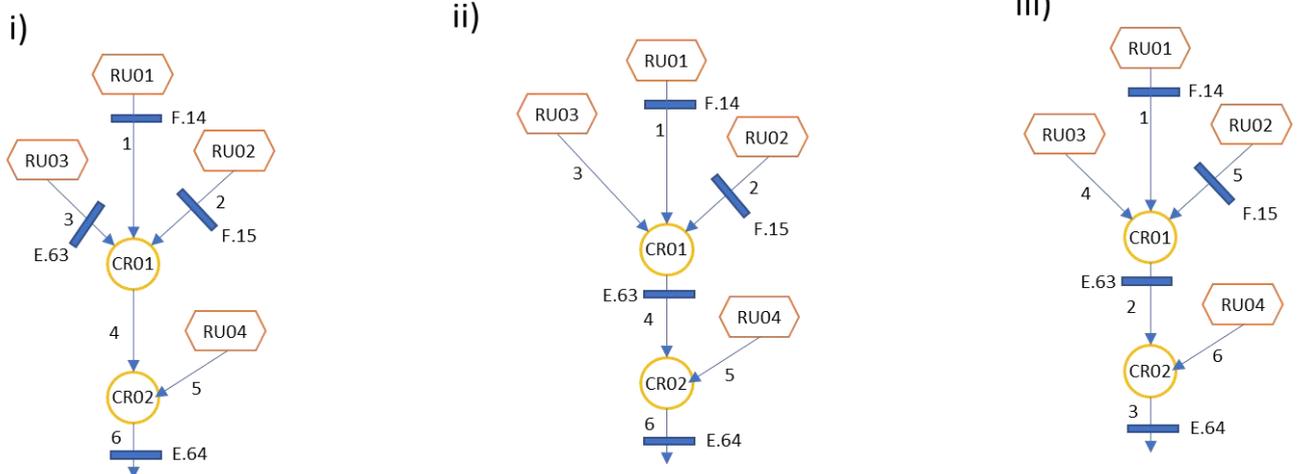
5. O modelo WRSM/Pitman é classificado como um modelo hidrológico:
 - i. Determinístico, empírico (baseado em relações matemáticas empíricas, obtidas a partir de ajustamentos estatísticos);
 - ii. Determinístico, conceptual, agregado no espaço e discreto no tempo;
 - iii. **Determinístico, conceptual, distribuído no espaço e contínuo no tempo.**

6. O modelo WRSM/Pitman possui uma estrutura modular, sendo o módulo “principal” o módulo escoamento que mantém uma forte semelhança com o modelo Pitman original. Na simulação de uma bacia hidrográfica em regime natural que outros módulos/componentes são necessários?
 - i. Ficheiro rede, módulo canal e módulo albufeira;

- ii. Ficheiro rede, módulo canal e caminho;
- iii. Ficheiro rede, módulo canal, módulo albufeira, módulo irrigação e caminho.

7. A esquematização da bacia hidrográfica é um procedimento fundamental na estruturação da sequência dos processos da simulação. Analisando a bacia hidrográfica abaixo, qual dos esquemas (i, ii e iii) sistematiza corretamente a ordem de simulação dos módulos e dos caminhos assim como a localização das estações hidrométricas.

O esquema correcto é o ii



8. No processo de calibração do modelo Pitman, para reduzir o escoamento médio anual simulado, qual das seguintes decisões deve ser tomada:

- i. Aumentar o valor do parâmetro ST (capacidade máxima de armazenamento solo);
- ii. Diminuir o valor do parâmetro FT (Escoamento subsuperficial (em mm/mês) correspondente ao valor máximo da humidade do solo (ST));
- iii. Diminuir o valor do parâmetro ST (capacidade máxima de armazenamento solo).

9. No processo de calibração do modelo Pitman, para aumentar o escoamento subterrâneo simulado sem incrementar o escoamento medio anual, qual das seguintes decisões deve ser tomada:
- Diminuir o valor do parâmetro ST (capacidade máxima de armazenamento solo);
 - Aumentar o valor do parâmetro POW (Potência da equação que relaciona o escoamento com a humidade do solo);
 - Aumentar o valor do parâmetro GW (Escoamento subterrâneo máximo que divide a humidade do solo em zona superior (resposta rápida – TL) e zona baixa (resposta lenta – GL).**
10. Na ausência de reservatórios naturais como lagos e aquíferos, entre outros, a criação de albufeiras pela construção de barragens numa determinada região reveste-se de particular importância dado que:
- As necessidades para irrigação e para abastecimento de água se concentram usualmente na época de estiagem;
 - As necessidades de água para diversas utilizações por norma não coincidem com as disponibilidades de água nos rios, os quais geralmente apresentam um regime hidrológico bastante irregular, levando assim à necessidade de regularização das suas aflúências;**
 - A distribuição natural dos recursos hídricos disponíveis, numa determinada região, apresenta usualmente pouca ou nenhuma variabilidade espacial e/ou temporal.
11. No caso do consumo de água para irrigação e para abastecimento das populações:
- Uma parcela da água acaba por ser restituída ao meio receptor por infiltração ou drenagem dos campos (no caso da irrigação) e através dos sistemas de saneamento (no caso do abastecimento);**
 - Não há praticamente redução da quantidade de água consumida em nenhuma das utilizações consumptivas referidas, mas apenas uma alteração significativa, para pior, da sua qualidade;
 - Uma parcela da água acaba por ser restituída ao meio receptor por infiltração ou drenagem dos campos (no caso da irrigação) mas no caso do abastecimento, a quase totalidade da água acaba por ser restituída ao meio receptor.
12. O volume de encaixe de cheias de uma albufeira:
- Corresponde ao volume localizado acima do NmE e abaixo do NMC;
 - Corresponde ao volume localizado acima do NPA e abaixo do NMC;**
 - Varia consoante a magnitude da cheia.
13. A curva de áreas inundadas relaciona:
- O nível de água na albufeira com a área da albufeira ao NPA;
 - O volume de água na albufeira com a área inundada correspondente;
 - O nível de água na albufeira com a área inundada correspondente.**

14. A evaporação em albufeira pode ser estimada a partir de registos de evaporação em evaporímetros de tina. A relação entre a média numa albufeira e a evaporação numa tina colocada nas suas proximidades é conhecida por coeficiente de tina. No caso de uma tina de superfície (tipo A), qual dos seguintes valores é adequado para caracterizar o coeficiente de tina?:
- Coeficiente de tina = 0,95.
 - Coeficiente de tina = 0,70.**
 - Coeficiente de tina = 0,65.
15. Existem diferentes tipos de métodos utilizados para dimensionamento e exploração de albufeiras. Relativamente a esses métodos, podemos afirmar o seguinte:
- O Algoritmo dos Picos Sucessivos consiste num método de análise detalhado, destinado a otimizar as regras de operação do sistema.
 - O Algoritmo dos Picos Sucessivos consiste num método de análise simplificado, mas que permite considerar a evaporação e a precipitação directa sobre a albufeira.
 - Os modelos de simulação permitem uma análise pormenorizada do problema, sendo muito utilizados em estudos de dimensionamento e de otimização da exploração de albufeiras.**
16. As regras de exploração de uma albufeira estão diretamente relacionadas com as finalidades a que esta se destina. No caso de uma albufeira cuja principal finalidade seja a proteção contra cheias do vale a jusante, as regras de operação a adoptar devem ter por objetivo:
- Maximizar a quantidade de água disponível na albufeira para abastecimento.
 - Dar prioridade absoluta ao armazenamento.
 - Maximizar, em cada momento, a capacidade de armazenamento disponível (volume por preencher acima do nível de água).**

2 - PARTE PRÁTICA – EXERCÍCIOS

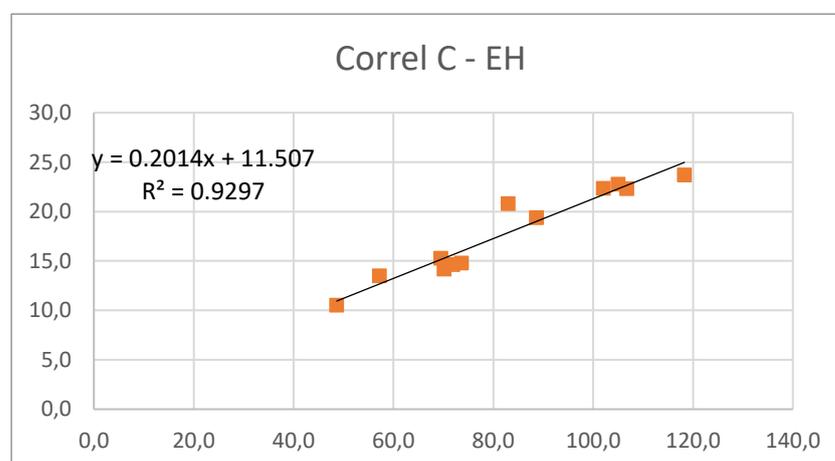
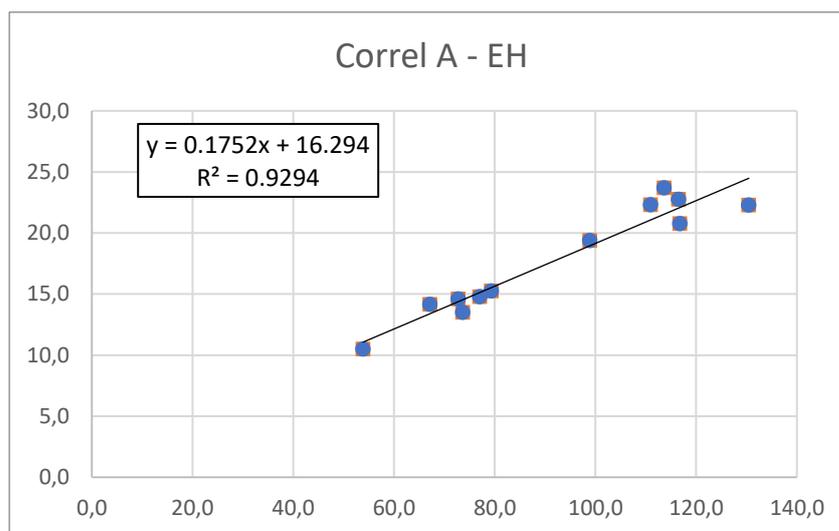
2.1 Estabelecimento de um modelo anual de regressão Precipitação – Escoamento

Na folha de Excel anexa (*Exercício Prático 1 - Modelo de Regressão Precipitação – Escoamento 1*) encontram-se uma série de escoamento anual observado numa dada secção de um rio (**EH**) e séries da precipitação anual observada em quatro postos udométricos próximos da bacia (postos **A**, **B**, **C** e **D**). Os registos de escoamento estendem-se por um período de 12 anos (anos 29 a 40) e os registos da precipitação anual em cada posto vizinho por um período de 40 anos (anos 1 a 40).

Pretende-se neste problema analisar os seguintes pontos:

- Com base na análise de correlação da precipitação-escoamento anuais, verificar preliminarmente quais os postos pluviométricos que melhor correlacionam com a série de escoamentos anuais observados;

Postos A e C



2. Estabelecer, recorrendo à análise de regressão do Excel (Seguir o caminho *Dados* → *Análise de Dados* → *Regressão*), o modelo de regressão múltipla precipitação escoamento que considera mais adequado;

Regressão com os postos A e C

$$EH = +.094 A + 0.1099 C$$

SUMÁRIO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,990241304
Quadrado de R	0,980577839
Quadrado de R	0,976261804
Erro-padrão	6,924040341
Observações	12

ANOVA

	gl	SQ	MQ	F	Significância
Regressão	2	21784,43108	10892,21554	227,1940994	1,98307E-08
Residual	9	431,4810118	47,94233465		
Total	11	22215,91209			

	Coefficientes	Erro-padrão	Stat t	valor P	95% inferior	95% superior	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Interceptar	4,8616	8,4009	0,578696646	0,576987084	-14,14258624	23,86573346	-14,14258624	23,86573346
Variável X 1	0,0922	0,0190	4,854770478	0,000902348	0,049264629	0,135235284	0,049264629	0,135235284
Variável X 2	0,1064	0,0218	4,870994315	0,000882302	0,056987002	0,155815366	0,056987002	0,155815366

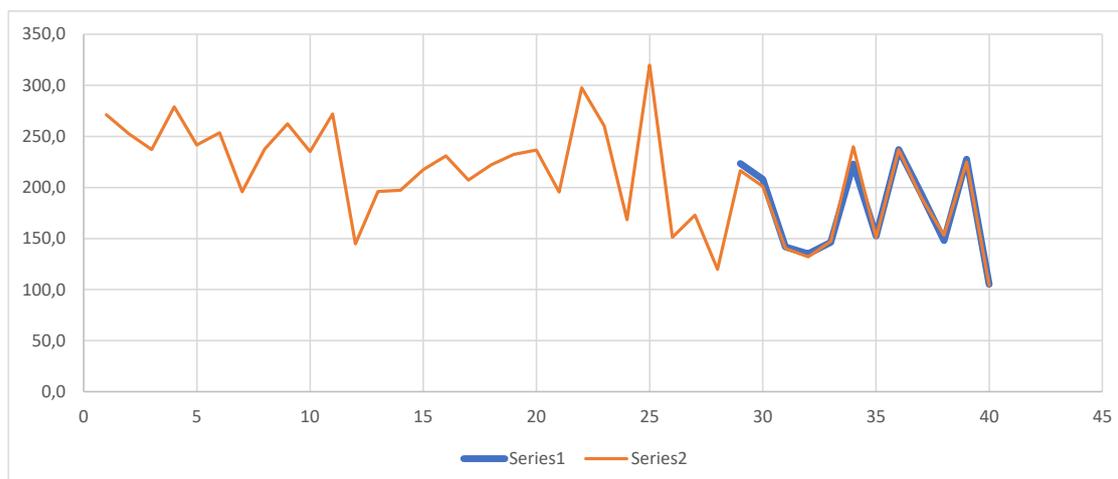
3. Utilizando o modelo obtido precipitação-escoamento obtido no ponto 2, estender a série de escoamentos observados à totalidade do período para o qual se dispõe de dados pluviométricos;

Valores anuais de precipitação e escoamento

Ano	Precipitação anual (mm)				Escoam anual observado (mm)	Escoam anual estimado(mm)
	Posto A	Posto B	Posto C	Posto D	Estação EH	Estação EH
1	1435,3	1337,5	1241,0	843,0		271,3
2	1253,4	636,0	1226,1	1154,2		252,6
3	1382,1	1397,6	976,7	1592,7		237,3
4	1281,8	1607,5	1442,7	574,3		279,0
5	1152,2	1069,7	1212,2	885,2		241,5
6	1268,8	587,5	1222,7	869,5		253,6
7	950,8	686,4	968,0	655,9		195,8
8	1254,4	857,0	1090,2	929,8		237,7
9	1236,9	1550,7	1329,7	863,2		262,4
10	1322,3	1199,3	1008,9	688,5		235,2
11	1518,0	1547,4	1177,7	1303,5		272,1
12	790,9	855,1	640,9	658,9		144,8
13	991,2	1259,2	935,3	741,7		196,0
14	1020,9	745,6	921,9	1183,2		197,3
15	1065,1	1349,7	1067,1	865,0		217,4
16	1077,0	568,6	1180,6	766,5		231,0
17	938,2	586,7	1082,5	854,3		207,2
18	1033,1	813,5	1137,5	728,8		222,1
19	1099,6	620,3	1174,3	898,2		232,4
20	1266,4	1226,3	1071,0	1154,6		236,7
21	920,2	672,2	991,4	593,5		195,5
22	1549,4	1043,1	1383,7	837,8		297,7
23	1348,8	1089,5	1215,8	1378,4		260,4
24	894,5	704,9	767,0	471,6		168,4
25	1618,6	1240,5	1526,8	1412,0		319,9
26	676,6	888,2	796,7	471,4		151,2
27	1041,5	1058,5	682,8	773,4		172,9
28	595,4	501,0	582,1	364,5		119,9
29	1109,5	1144,7	1020,8	1054,2	223,4	216,5
30	1168,0	1029,5	829,5	1127,3	207,9	201,0
31	671,5	561,8	701,4	725,6	141,7	140,2
32	736,4	560,0	572,3	523,3	135,1	132,1
33	727,4	529,2	718,7	530,8	146,3	147,4
34	1304,5	1214,1	1067,7	1153,8	223,0	240,0
35	793,5	395,5	695,4	542,0	152,6	151,0
36	1136,4	1134,0	1182,8	1078,2	237,1	236,8
37	988,6	1162,0	886,6	821,0	193,9	190,4
38	770,2	469,3	736,2	863,6	147,9	153,3
39	1164,9	855,1	1050,0	1063,4	227,7	224,9
40	538,6	548,1	486,6	523,7	105,1	104,1
Média	1077,3	932,6	1000,0	863,0	178,5	178,1

211,2

4. Comparar os valores de escoamento estimados pelo modelo com os valores registados e comentar a qualidade do ajustamento.



2.2 Estabelecimento de um modelo mensal de regressão Precipitação – Escoamento

No caso do problema anterior, dispõe-se de séries de escoamentos e precipitações mensais os quais foram observados ou completados numa fase anterior. Dos 4 postos pluviométricos próximos da bacia, apenas os postos **A** e **C** dispõem de dados com qualidade suficiente para integrar esta análise de nível mensal. Os dados mensais de escoamento e precipitação disponíveis estão indicados na folha de Excel anexa (*Exercício Prático 2 - Modelo de Regressão Precipitação – Escoamento 2*):

1. Com base nos dados mensais indicados, estabeleça o modelo mensal de regressão entre a estação hidrométrica e os postos A e B, com uma memória entre 0 e 6 meses;

SUMÁRIO DOS RESULTADOS

<i>Estadística de regressão</i>	
R múltiplo	0,98479392
Quadrado de	0,96981907
Quadrado de	0,96808204
Erro-padrão	1,86462599
Observações	148

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>de significância</i>
Regressão	8	15529,4625	1941,18281	558,31972	1,221E-101
Residual	139	483,279383	3,47683009		
Total	147	16012,7418			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor P</i>	<i>95% inferior</i>	<i>95% superior</i>	<i>inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interceptar	0,72287343	0,28648677	2,52323496	0,01275382	0,15643817	1,28930869	0,15643817	1,289308686
Variável X 1	0,02467794	0,00508025	4,85762302	3,1587E-06	0,01463338	0,0347225	0,01463338	0,034722501
Variável X 2	0,07223537	0,00564764	12,7903569	3,023E-25	0,06106898	0,08340177	0,06106898	0,083401768
Variável X 3	0,03508448	0,00516164	6,79715836	2,8879E-10	0,024879	0,04528996	0,024879	0,045289964
Variável X 4	0,0180812	0,00563488	3,20880127	0,00165508	0,00694005	0,02922235	0,00694005	0,029222345
Variável X 5	0,03016567	0,00515974	5,84635304	3,4217E-08	0,01996394	0,04036739	0,01996394	0,040367393
Variável X 6	0,00172366	0,00563222	0,30603651	0,76003473	-0,0094122	0,01285956	-0,0094122	0,012859561
Variável X 7	0,00196702	0,00511349	0,38467308	0,70106756	-0,0081432	0,01207729	-0,0081432	0,012077289
Variável X 8	0,01036701	0,0055941	1,85320565	0,06597313	-0,0006935	0,02142754	-0,0006935	0,021427537

SUMÁRIO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,982019306
Quadrado de F	0,964361917
Quadrado de F	0,962845403
Erro-padrão	2,011779879
Observações	148

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>de significância</i>
Regressão	6	15442,07842	2573,679736	635,9069663	1,9611E-99
Residual	141	570,6634178	4,047258282		
Total	147	16012,74183			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor P</i>	<i>95% inferior</i>	<i>95% superior</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interceptar	1,3069	0,2824	4,628263262	8,28052E-06	0,748689107	1,865189944	0,748689107	1,865189944
Variável X 1	0,0230	0,0054	4,250616729	3,8563E-05	0,012323951	0,033754892	0,012323951	0,033754892
Variável X 2	0,0726	0,0060	12,00802315	2,53767E-23	0,060654684	0,084562382	0,060654684	0,084562382
Variável X 3	0,0362	0,0056	6,516841432	1,18436E-09	0,025250646	0,047241741	0,025250646	0,047241741
Variável X 4	0,0173	0,0061	2,839043745	0,00519408	0,005239007	0,029266408	0,005239007	0,029266408
Variável X 5	0,0316	0,0055	5,780125085	4,59837E-08	0,020817782	0,042460292	0,020817782	0,042460292
Variável X 6	0,0052	0,0060	0,859005333	0,391795581	-0,006707416	0,017015264	-0,006707416	0,017015264

SUMÁRIO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,993122787
Quadrado de F	0,986292869
Quadrado de F	0,97876797
Erro-padrão	2,151578216
Observações	148



ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>de significância</i>
Regressão	6	47300,08891	7883,348152	1702,928562	6,9692E-129
Residual	142	657,3590123	4,629288819		
Total	148	47957,44793			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro-padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor P</i>	<i>95% inferior</i>	<i>95% superior</i>	<i>Inferior 95.0%</i>	<i>Superior 95.0%</i>
Interceptar	0,0000	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Variável X 1	0,0254	0,0058	4,393580328	2,16709E-05	0,013949718	0,03677023	0,013949718	0,03677023
Variável X 2	0,0748	0,0064	11,60834102	2,52369E-22	0,062088754	0,087575407	0,062088754	0,087575407
Variável X 3	0,0367	0,0059	6,162641405	6,98408E-09	0,024895979	0,048410856	0,024895979	0,048410856
Variável X 4	0,0197	0,0065	3,036700608	0,002846638	0,006863112	0,032464035	0,006863112	0,032464035
Variável X 5	0,0321	0,0059	5,481094	1,87535E-07	0,020511406	0,0436529	0,020511406	0,0436529
Variável X 6	0,0095	0,0063	1,505886064	0,134317681	-0,002983873	0,022067057	-0,002983873	0,022067057

2. Face aos resultados obtidos, defina a duração da “memória” a adoptar para o modelo (0 a 6 meses);

Memória 3

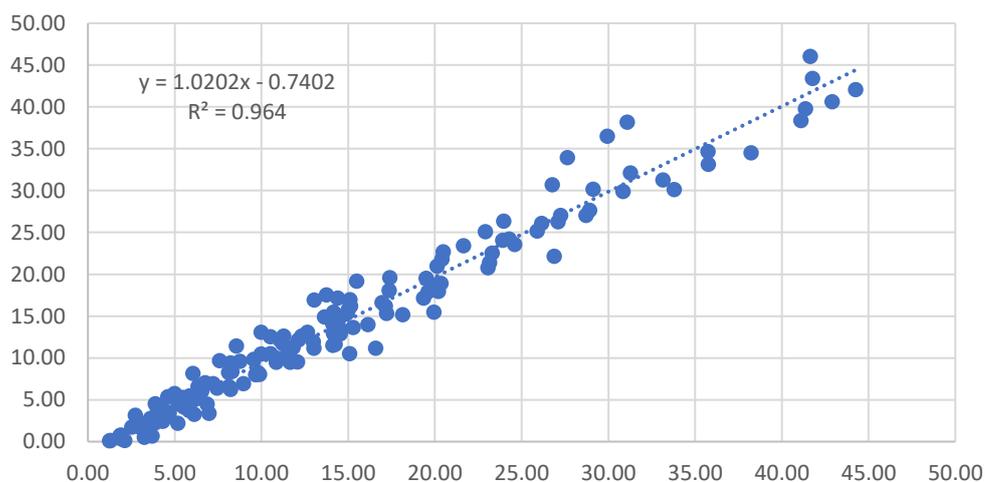
3. Calcule os valores mensais e anuais do escoamento estimados pelo modelo adoptado;

Ver Anexo 1.2

4. Compare os resultados obtidos pelo modelo anual com os obtidos pelo modelo mensal e comente.



Regres EHobs-EHestim



Nota: poderá abordar o problema de duas formas:

- a) combinar as precipitações mensais dos dois postos num única série ($P_i = k_A P_{Ai} + k_C P_{Bi}$) em que k_A e k_C são coeficientes a definir em função da área de influência de cada posto (no caso presente pode considerar $k_A=0,6$ e $k_C=0,4$). Neste caso o modelo a obter será da forma $EH_i = k_0 P_i + k_1 P_{i-1} + k_2 P_{i-2} + \dots$
- b) preparar o modelo de regressão utilizando os dois postos pluviométricos de forma independente. Neste caso o modelo será da forma $EH_i = k_{A0} P_{Ai} + k_{C0} P_{Ci} + k_{A1} P_{Ai-1} + k_{C1} P_{Ci-1} + k_{A2} P_{Ai-2} + k_{C2} P_{Ci-2} + \dots$

2.3 Elementos de caracterização das albufeiras

Para um dado local de barragem foram medidas as áreas inundadas pela albufeira para várias cotas. Os valores obtidos encontram-se representados na tabela seguinte:

Cota (m)	Área (m ²)
55,0	0
65,0	1 660 000
70,0	4 640 000
75,0	9 030 000
80,0	17 920 000
85,0	31 770 000
90,0	47 050 000
100,0	120 690 000

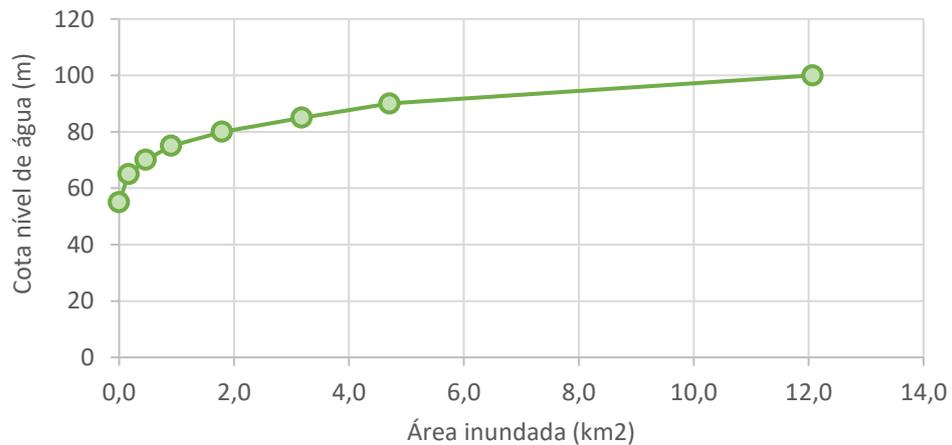
Os níveis de referência desta da albufeira são os seguintes:

- Nível mínimo de exploração – NmE = 63,0 m
- Nível de pleno armazenamento – NPA = 95,0 m
- Nível de máxima cheia – NMC = 97,0 m

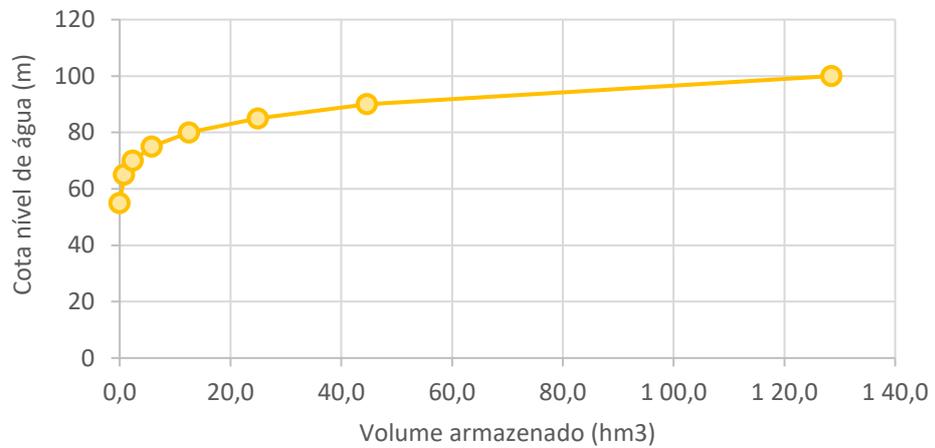
Tendo por base os dados indicados acima indicados:

1. Represente graficamente as curvas de áreas inundadas e de volumes armazenados. Apresente o/os gráfico(s) obtido(s).

Curva de áreas inundadas

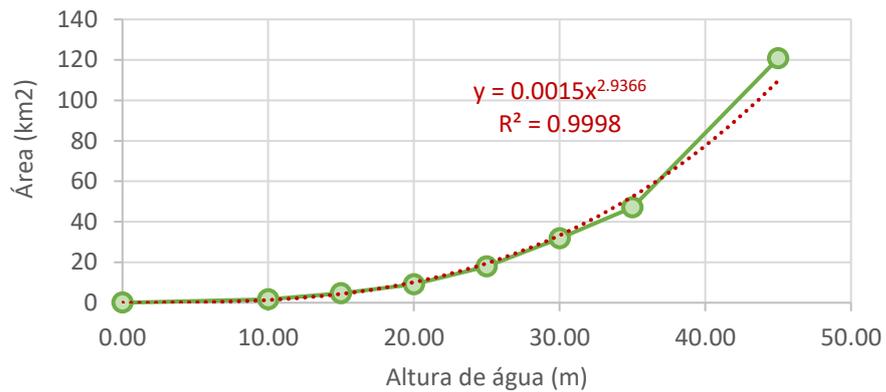


Curva de volumes armazenados

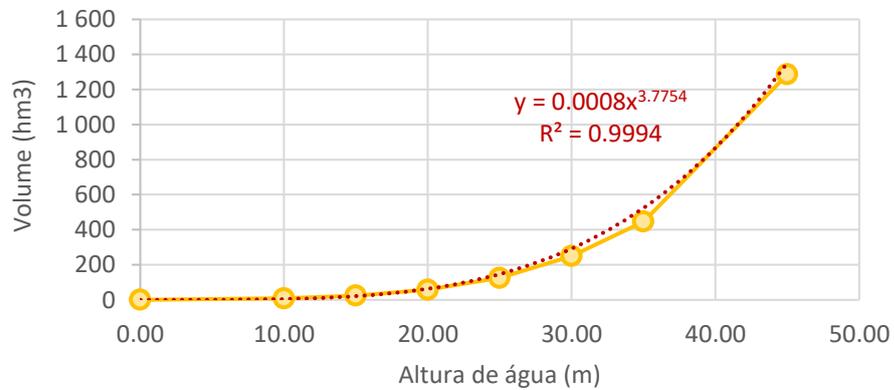


2. Ajuste funções do tipo potência para representação das curvas de áreas inundadas e de volumes armazenados. Apresente as equações obtidas.

Curva de áreas inundadas



Curva de volumes armazenados



3. Estime os seguintes volumes característicos da albufeira:

- a. Volume morto (volume situado a abaixo do NmE).
- b. Capacidade útil da albufeira
- c. Capacidade de encaixe de cheias
- d. Capacidade total da albufeira (ao NPA)

	Nível (m)	Vol (hm ³)
NmE	63	2,1
NPA	95	894,3
NMC	97	1075,2
Volume morto		2,1 hm ³
Capacidade útil		892,3 hm ³
Capacidade de encaixe de cheias		180,9 hm ³
Capacidade total (ao NPA)		894,3 hm ³

Nota: Para apoio à realização deste exercício poderá ser utilizado o ficheiro excel “Exercicio Pratico 3 Curvas CAV.xls”, enviada em anexo.

2.4 Indicadores de performance (desempenho)

Considere uma albufeira de regularização de caudais destinada ao abastecimento de água para consumo humano e para irrigação. Os resultados dos estudos de simulação da exploração da albufeira indicaram a existência das seguintes falhas no abastecimento destas duas utilizações:

- 2 anos com falha no abastecimento doméstico
- 9 anos com falha a irrigação

A simulação foi realizada para um período de 40 anos.

Tendo por base os dados acima indicados, indique:

1. A garantia de fornecimento anual do abastecimento doméstico
2. A garantia de fornecimento anual da irrigação
3. Comente se os resultados obtidos são aceitáveis face aos valores de referência da garantia habitualmente utilizados para as duas utilizações em causa.

Nota: Não existe ficheiro excel de apoio à realização deste exercício.

$$G (\%) = (1 - N_F / N_T) \times 100$$

Nº Anos	40	
	AA	IRR
Falhas	2	9
Garantia	95,0%	77,5%

Respostas:

- 1 Garantia de fornecimento anual abastecimento domésticos = 95%
- 2 Garantia de fornecimento anual irrigação = 77.5%
- 3 As garantias obtidas enquadraram-se nos valores usualmente aceites para as duas utilizações em causa.

**MINISTÉRIO DO AMBIENTE
GABINETE DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**

FORMAÇÃO EM HIDROLOGIA

MÓDULO DE FORMAÇÃO 3 – PLANEAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

TESTE DE AVALIAÇÃO

**MINISTÉRIO DO AMBIENTE
GABINETE DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**

FORMAÇÃO EM HIDROLOGIA

MÓDULO DE FORMAÇÃO 3 – PLANEAMENTO E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

TESTE DE AVALIAÇÃO

O Teste de Avaliação, para aplicação dos conhecimentos e competências adquiridas, consta de uma parte teórica e de uma parte prática.

A 1ª Parte do Teste compreende questões teóricas de escolha múltipla para as quais foram consideradas três hipóteses de resposta, estando apenas correcta e completa uma das respostas fornecidas. Deve seleccionar com um **X** a resposta correcta e completa.

A 2ª Parte do Teste compreende exercícios que deve resolver em Excel, os quais se baseiam nos exemplos realizados durante as Aulas.

1 - PARTE TEÓRICA - ESCOLHA MÚLTIPLA

1. Seleccione entre as respostas seguintes, a que completa correctamente a seguinte afirmação: “Relativamente à utilização dos recursos hídricos, a Gestão Integrada, tem como principais objetivos...
 - i. **... utilizar os recursos de forma a obter o máximo benefício para a coletividade.**
 - ii. ... utilizar os recursos de forma a obter o máximo lucro para as empresas distribuidoras.
 - iii. ... utilizar os recursos de forma a minimizar os impactos sobre o ambiente.

2. Pretende-se dimensionar duas redes de adução de água bruta, cada uma das quais devendo fornecer 1 milhão de m³/ano, uma para rega e a outra para abastecimento público. Indique qual das afirmações seguintes é verdadeira:
 - i. Os caudais de dimensionamento de ambos os sistemas serão aproximadamente iguais.
 - ii. O caudal de dimensionamento do sistema de adução para abastecimento deverá ser superior ao do sistema de rega.
 - iii. **O caudal de dimensionamento do sistema de adução para rega deverá ser superior ao do sistema de abastecimento.**

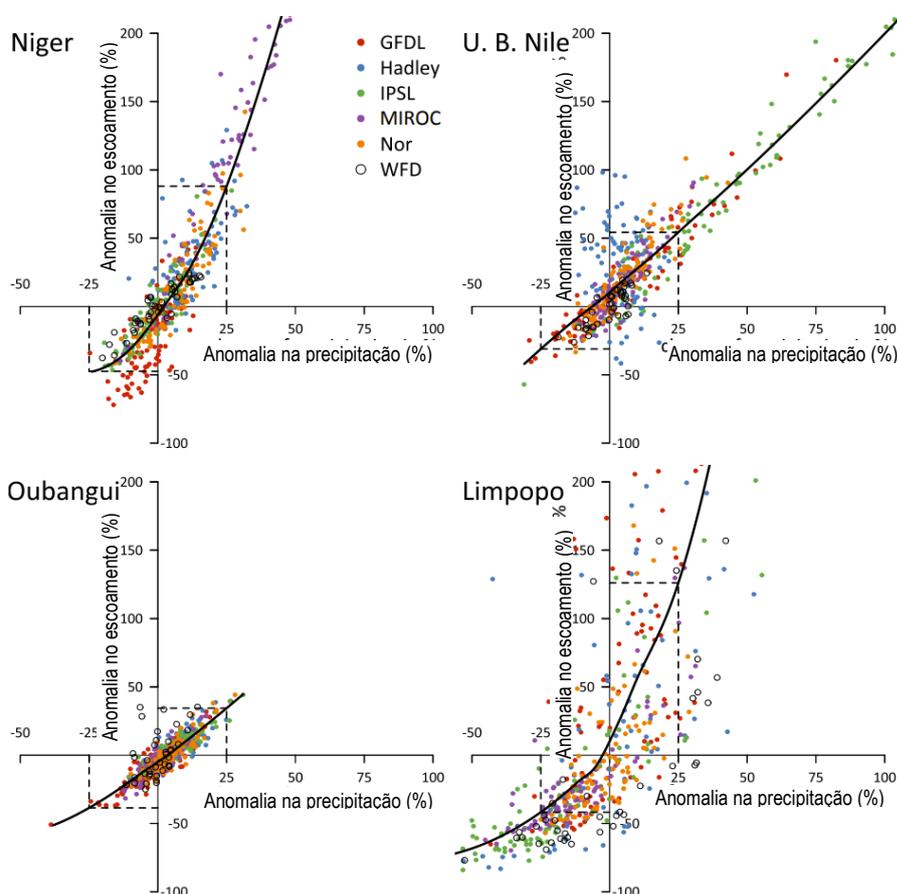
3. Para um dado sistema de abastecimento, urbano ou para rega, como se define a garantia de fornecimento:
 - i. **É a probabilidade de, num dado ano, poder ser fornecida a totalidade do volume de água pedido.**
 - ii. É a probabilidade de, num dado ano, não poder ser fornecida a totalidade do volume de água pedido.
 - iii. É a probabilidade de, num dado mês, poder ser fornecida a totalidade do volume de água pedido.

4. Num problema de programação linear, a Função Objectivo é...
 - i. ... uma função independente cujo valor não deve ser ultrapassado.
 - ii. **... uma função das variáveis do sistema cujo valor se pretende maximizar ou minimizar.**
 - iii. ... uma restrição imposta às variáveis do sistema.

5. O crescimento urbano numa dada área tende a fazer aumentar o escoamento causado pelas precipitações intensas. Para minimizar os riscos resultantes desse aumento de escoamento a melhor solução é...
 - i. ... aumentar a capacidade de transporte da rede de drenagem.
 - ii. **... reduzir os caudais máximos efluentes mediante a retenção temporária do escoamento em zonas inundáveis especialmente preparadas para esse efeito.**
 - iii. ... evitar a infiltração excessiva das águas no solo.

6. Ao contrário das cheias, as secas são fenómenos de génese lenta que provocam impactos significativos em termos económicos, ambientais e sociais. Para minimizar os impactos das secas indique qual das seguintes respostas inclui medidas a tomar.
- i. **Lançamento junto aos consumidores de campanhas para economia de água e melhoria da eficiência das redes.**
 - ii. Lançamento de tarifas sociais com redução do preço da água.
 - iii. Aumentar a pressão da água nas redes.
7. A água é reconhecidamente um bem económico, e o seu custo deve reflectir a sua importância económica e social bem como os custos implicados na sua captação, tratamento, transporte e distribuição. As consequência da aplicação de preços da água economicamente equilibrados e proporcionais ao consumo implicam...
- i. ...o empobrecimento generalizado da população mais desfavorecida.
 - ii. ...um maior incentivo à actividade dos vendedores de água em bidões.
 - iii. **...a redução dos desperdícios e dos consumos totais e a manutenção de um serviço de qualidade.**
8. A rega é o maior consumidor de água do planeta, correspondendo-lhe com cerca de 70% do consumo total. Para reduzir o consumo mantendo ou aumentando a produção deverá adoptar-se...
- i. ...a utilização de um número mínimo de aspersores de grande alcance.
 - ii. **...um método de rega que aplique a água no pé das plantas (gota a gota ou micro aspersores).**
 - iii. ...a utilização de métodos tradicionais, mais respeitadores do ambiente.
9. A análise de tendências para o século XXI no referente às variáveis precipitação e temperatura máxima e mínima do ar para Angola indicam:
- i. Uma diminuição da precipitação média anual em todo o País e um aumento da temperatura máxima e mínima do ar;
 - ii. **Um ligeiro aumento da precipitação na região litoral-centro e uma diminuição na região sul, conjugada com um aumento da temperatura do ar (máxima e mínima) em todo o país que será mais acentuado nas unidades hidrográficas do interior.**
 - iii. Um ligeiro aumento da precipitação na região litoral-centro e uma diminuição na região sul, conjugada com um aumento da temperatura do ar (máxima e mínima) em todo o país que será mais acentuado nas unidades hidrográficas do litoral.

10. A figura abaixo evidencia que o impacto das alterações climáticas nos recursos hídricos:



- i. traduz-se sempre numa resposta proporcional do escoamento à anomalia da precipitação;
- ii. a resposta dum bacía hidrográfica é bastante variável, pelo que uma pequena alteração na precipitação poderá ou não traduzir-se numa grande variação do escoamento;
- iii. traduz-se sempre numa diminuição do escoamento, mesmo nas regiões onde se projecta um incremento da precipitação anual em virtude do aumento da evapotranspiração de referência.

11. Um Sistema de Informação (SI) tem como objectivos:

- i. A recolha de dados, o tratamento/processamento dos dados, o armazenamento da informação, assim como a sua divulgação e disponibilização.
- ii. O armazenamento da informação, a sua disponibilização e divulgação.
- iii. O processo de aquisição e recolha de dados, o seu tratamento/processamento e o seu armazenamento de forma segura.

12. Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser definido como:
- Uma base de dados geográficos.
 - Um software para visualização de dados geográficos.
 - Um sistema de hardware, software, informação espacial, procedimentos computacionais e recursos humanos que permite e facilita a análise, gestão ou representação do espaço e dos fenómenos que nele ocorrem.**
13. Num plano de recursos hídricos, a formulação dos cenários de desenvolvimento a analisar deve ter em conta...
- ... o enquadramento socioeconómico da região, a situação actual da bacia (principais problemas e carências), os objectivos estratégicos e políticas e planos sectoriais vigentes e o potencial máximo disponível na bacia (recursos naturais disponíveis).**
 - ... principalmente os objectivos de desenvolvimento, não sendo muito relevante a situação de referência.
 - ... principalmente a situação de referência, pois esta será condicionante do desenvolvimento futuro da região.
14. A apreciação da viabilidade financeira de um projecto tecnicamente justificado ou a comparação entre projectos alternativos pode basear-se nos resultados de indicadores financeiros: Valor Actualizado Líquido (VAL), Índice Benefício-Custo (B/C), Taxa Interna de Rentabilidade (TIR). Qual das seguintes opções reflete os indicadores de um projecto financeiramente viável?
- Opção 1: $B/C > 0$; $TIR > 0$
 - Opção 2: $VAL < 0$; $B/C > 0$; $TIR > 0$
 - Opção 3: $VAL > 0$; $B/C > 1$; $TIR > \text{taxa de actualização}$**
15. De entre projectos alternativos com diferentes indicadores financeiros, qual o que pode ser considerado viável e em simultâneo o mais vantajoso em termos financeiros?
- O que apresentar TIR positiva e menor B/C.
 - O que apresentar maior TIR.**
 - O que apresentar menor VAL.
16. Num problema de análise multicritério, a definição dos critérios de análise é um dos primeiros passos de aplicação do método. O critérios a adoptar devem...
- ... traduzir os objectivos do projecto.**
 - ... ser todos possíveis de quantificar de acordo com uma escala quantitativa.
 - ... ser sempre os mesmos qualquer que sejam as alternativas em análise.

17. A aplicação de metodologias de análise multicritério é uma ferramenta útil para estabelecer uma ordem de preferência (classificação ou ranking) de diferentes alternativas em análise, considerando de forma integrada diferentes critérios de avaliação. Os resultados dessa análise...
- i. ... estão isentos de qualquer subjetividade inerente ao processo de análise e conduzem a uma ordenação exata das alternativas.
 - ii. ... **permitem dotar os decisores de mais elementos para apoio a uma tomada de decisão informada e consistente quanto à melhor solução para um determinado projecto.**
 - iii. ... definem sempre de forma inequívoca a alternativa que deve ser adoptada.

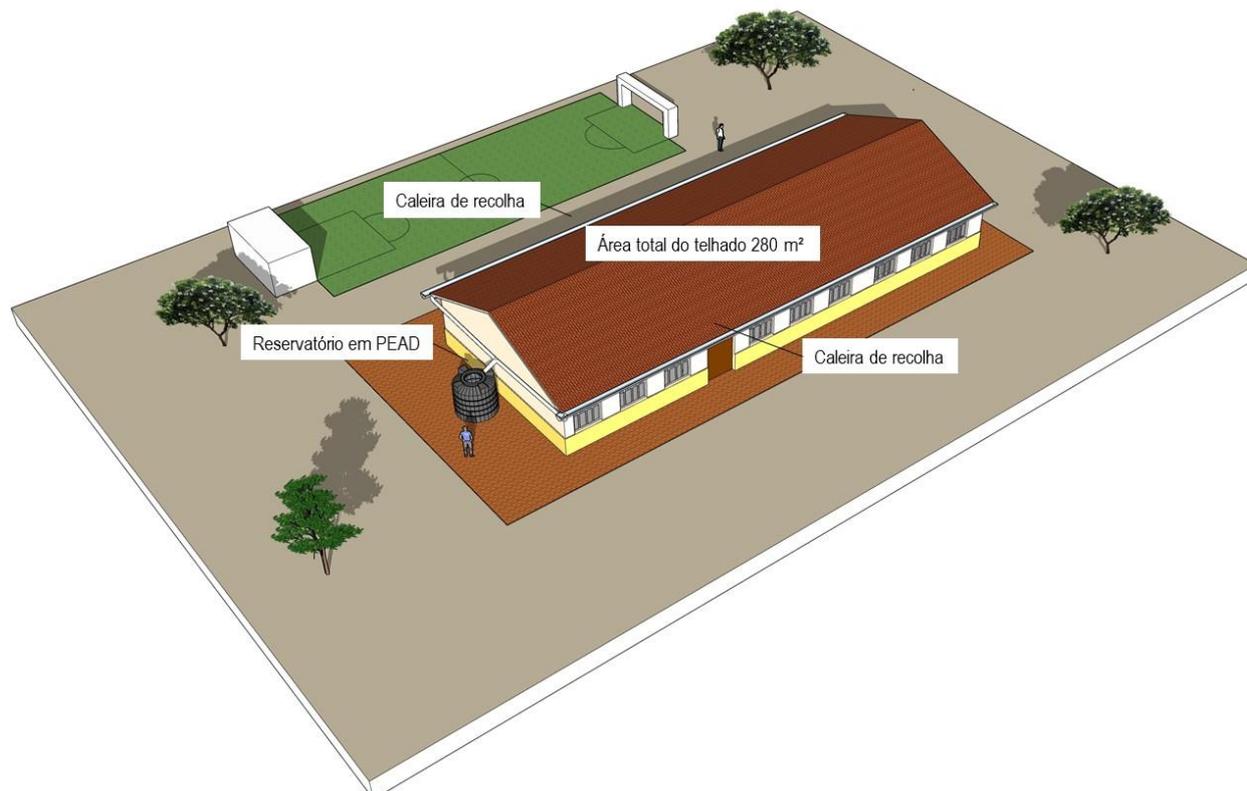
2 - PARTE PRÁTICA – EXERCÍCIOS

2.1 Cálculo do escoamento utilizável num telhado

Uma escola primária tem quatro turmas e um total de 100 alunos. O corpo docente inclui cinco professores (um dos quais o professor de educação física). Existem ainda quatro auxiliares, dois dos quais trabalham na cozinha e na cantina.

O edifício da escola tem uma área total de 260 m², sendo que o telhado, com duas águas, tem uma área total de 280 m². O abastecimento de água tem sido efectuado com recurso a um poço, e a uma bomba de accionamento manual. O nível do poço tem baixado nos últimos anos devido à seca e ao aumento das extrações de água para rega, o que implica um aumento do esforço necessário para extracção da água, acompanhada por frequentes avarias da bomba.

Por estes motivos, a Direcção da escola decidiu recorrer a um sistema complementar de recolha da água que se escoo sobre o telhado. O sistema será formado por duas caleiras que recolherão a água que escorre em cada uma das águas do telhado e que a conduz para um reservatório instalado junto à cozinha e às instalações sanitárias, como se indica na figura seguinte.



A zona onde se situa a escola tem uma precipitação média anual de 1200 mm, com a distribuição média mensal indicada no quadro seguinte:

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Nº dias mês	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Nº dias com aulas	22	20	22	21	11	21	22	0	21	22	21	15	220
Precipitação mensal (%)	8.5 %	8.9 %	19.8 %	21.2 %	3.4 %	0.3 %	0.4 %	0.7 %	1.4 %	6.7 %	17.9 %	10.8 %	100.0%

Admitindo que a água que aflui ao reservatório corresponde a **metade** do volume de água que cai mensalmente sobre o telhado, calcule:

- O valor diário utilizável por cada aluno / professor / auxiliar, considerando a utilização da escola nos dias indicados no quadro.
- Calcule igualmente a capacidade do tanque de armazenamento necessária para regularização das afluências em ano médio.

Pode utilizar a folha de cálculo fornecida na aula, convenientemente adaptada aos dados do presente problema.

Resolução

- A quantidade de água que cai sobre o telhado ao longo do ano é dada por:

$$V (L) = P (mm) \times A (m^2) = 1200 \times 280 = 336\,000 \text{ L}$$

Deste volume, metade aflui ao reservatório, ou seja, $V_{\text{água}} = 0,5 \times 336\,000 = 168\,000 \text{ L}$

Isto significa que, não havendo restrições em termos de capacidade de armazenamento, dispor-se-á, ao longo de cada um dos 220 dias de aulas em cada ano de um volume dado por : $V_{\text{dia}} = 168\ 000 / 220 = 763,6$ L/dia.

Para um total de 109 pessoa na escola, incluindo o corpo docente e o pessoal auxiliar, o volume de água disponível diariamente será: $V_{\text{capita}} = 763,6 / 109 = 7,0$ L/dia.

- b) O resultado indicado na alínea anterior só será válido se for possível utilizar **toda** a água que cai no telhado. Isso só será possível se for possível armazenar a água disponível em excesso nos meses mais húmidos para ser utilizada mais tarde, nos meses com pouco escoamento.

Em cada mês i , o volume armazenado no reservatório no final do mês será dado por:

$$V_i \text{ final} = V_i \text{ inic} + V_{\text{entrado}} - V_{\text{saído}}$$

Podemos então preparar o seguinte quadro (preparado em Excel) admitindo que o volume armazenado no início do mês 1 (Janeiro) é zero.

Mês	Nº dias mês	Nº dias com aulas	Precip mensal (%)	V entrado L	V saído L	V inicial L	V final L	Volume extremo L
Jan	31	22	8.500%	14280	16786	0	-2506	
Fev	28	20	8.9%	14952	15260	-2506	-2814	
Mar	31	22	19.8%	33264	16786	-2814	13664	
Abr	30	21	21.2%	35616	16023	13664	33257	33257
Mai	31	11	3.4%	5712	8393	33257	30576	
Jun	30	21	0.3%	504	16023	30576	15057	
Jul	31	22	0.4%	672	16786	15057	-1057	
Ago	31	0	0.7%	1176	0	-1057	119	
Set	30	21	1.4%	2352	16023	119	-13552	
Out	31	22	6.7%	11256	16786	-13552	-19082	-19082
Nov	30	21	17.9%	30072	16023	-19082	-5033	
Dez	31	15	10.8%	18144	11445	-5033	1666	
Ano	365	218	100.0%	168000	166334	48629	50295	52339

Durante o mês, o volume entrado é proporcional à percentagem mensal da precipitação relativamente ao volume anual, que já vimos ser 168 000 L. Então temos, para o mês de Janeiro, um volume afluente dado por $8,5\% \times 168\ 000 = 14\ 280$ L.

O volume consumido por cada pessoa é de 7,0 L/dia. Então, em Janeiro, com 22 dias de aulas, o volume necessário será: $V_{\text{saído}} = 7 \times 109 \times 22 = 16\ 786$ L, ou seja, o consumo neste mês será superior ao das entradas.

O volume final armazenado no reservatório no final do mês, considerando o volume inicial igual a 0 será:

$$V_{\text{final}} = V_{\text{inic}} + V_{\text{entrado}} - V_{\text{saído}} = 0 + 14\ 280 - 16\ 786 = -2\ 506 \text{ L}$$

Teremos um armazenamento negativo, o que significa que teremos que começar janeiro com alguma água no reservatório. Se não ligarmos a este pormenor e continuarmos a preencher o quadro, lembrando que o volume armazenado inicial num dado mês é igual ao volume final verificado no mês anterior teremos os valores preenchidos no quadro anterior.

Verifica-se que os valores extremos registados no reservatório são +33257 L no final de abril e -19082 L no final de Outubro. Isto significa que, se começarmos no início do ano com 19082 L no reservatório atingiremos 0 L no mês de outubro. Em contrapartida, o volume a armazenar no reservatório no ponto máximo será $33\ 257 + 19\ 082 = 52\ 339$ L.

Em conclusão, para podermos fornecer 7 L/dia a cada pessoa da escola, precisaremos dispor de um reservatório com uma capacidade total de 52 339 L.

2.2 Optimização de variáveis (Programação Linear)

Uma empresa fabrica três tipos de baterias recarregáveis e embala-os em três tipos de embalagens. A embalagem de tipo I contém 4 pilhas pequenas, (P), 12 pilhas médias (M) e 4 pilhas grandes (G), e é vendida por €29,99. A embalagem de tipo II contém 12 pilhas pequenas, 4 médias e 4 grandes, e é vendida por €24,99. A embalagem de tipo III contém 8 pilhas pequenas, 8 médias e 8 grandes, e é vendida por €36,99. Os custos de fabrico de cada pilha é de €0,80 para pilhas pequenas, €1,20 para as pilhas médias e €1,90 para as pilhas grandes. A fábrica pode produzir 12000 pilhas pequenas, 8000 pilhas médias e 8000 pilhas grandes por semana. Quantas embalagens de cada tipo a empresa deve produzir por semana para maximizar seu lucro? Qual é o lucro máximo?

Resolução:

Temos neste problema, as seguintes condições de base:

A zona azul do quadro seguinte indica a composição dos três tipos de embalagens com os três tipos de pilhas. A coluna 5 indica o custo de venda de cada conjunto. A coluna 6 indica o custo de fabrico de cada pacote (numero de pilas pequenas x 0,80 + numero pilhas médias x 1,2 + número de pilhas grandes x 1,9). Finalmente, a coluna 7 indica o lucro pela venda de cada embalagem, ou seja, o preço de venda menos o custo de fabrico (5-6).

A zona laranja da tabela indica o número de pacotes vendidos de cada tipo, o número de pilhas de cada tamanho e o número máximo de cada tipo de pilha que pode ser utilizado.

Finalmente a célula vermelha representa o lucro da venda, e é a função objectivo que se pretende maximizar. O valor desta célula é dado por:

$$\text{Lucro total} = \text{numero pacotes I} \times 4,79 + \text{numero pacotes II} \times 2,99 + \text{numero pacotes III} \times 5,79$$

Resolvendo este problema em Excel resulta que se deverão fabricar 0 conjuntos tipo I, 500 conjuntos de tipo II e 750 de tipo III, com um lucro total de 5837,5.

Todas as pilhas fabricadas são integralmente consumidas.

O problema encontra-se no ficheiro *Modulo 3 – Submodulo 1 – Problema PL teste.xls*

Pacotes	Tamanho pilhas			Preço venda	Custo fabrico	Lucro pacote
	P	M	G			
I	4	12	4	29.99	25.2	4.79
II	12	4	4	24.99	22	2.99
III	8	8	8	36.99	31.2	5.79

Lucro

5837.5

	Nº pacotes		Nº pilhas usadas	Limite
I	0	P	12000	12000
II	500	M	8000	8000
III	750	G	8000	8000

2.3 Alterações Climáticas

Considere os dados históricos, os valores simulados pelos modelos climáticos para período de referência e para o horizonte 2080-2099 fornecidos na folha de excel "**Exercicio AC_Jamba.xlsx**".

1) Calcule as anomalias dos valores mensais de precipitação em Jambas para o horizonte 2080-2099 e para o cenário RCP8.5.

2) Calcule as estatísticas mediana, percentil 10 e 90 das séries mensais dos valores simulados e das anomalias.

(na resolução poderá consultar o exercício 1 do módulo 3.3.: Exercício 1 AC_Precipitação_Keve Rresolvido.xlsx)

3) Indique os valores mensais da precipitação para o período 2080-2099, considerando a mediana das anomalias do cenário RCP8.5.

A resolução do exercício 2.3 – Alterações Climáticas encontra-se em anexo.

**MINISTÉRIO DO AMBIENTE
GABINETE DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**

FORMAÇÃO EM HIDROLOGIA

MÓDULO DE FORMAÇÃO 4 – OBRAS HIDRÁULICAS

TESTE DE AVALIAÇÃO

**MINISTÉRIO DO AMBIENTE
GABINETE DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**

FORMAÇÃO EM HIDROLOGIA

MÓDULO DE FORMAÇÃO 4 – OBRAS HIDRÁULICAS

TESTE DE AVALIAÇÃO

O Teste de Avaliação, para aplicação dos conhecimentos e competências adquiridas, consta de uma parte teórica e de uma parte prática.

A 1ª Parte do Teste compreende questões teóricas de escolha múltipla para as quais foram consideradas três hipóteses de resposta, estando apenas correcta e completa uma das respostas fornecidas. Deve seleccionar com um **X** a resposta correcta e completa.

A 2ª Parte do Teste compreende exercícios que deve resolver no Anexo em Excel fornecido para o efeito (exercício 2.1) e num Anexo em Excel a criar (o exercício também poderá ser resolvido diretamente no ficheiro word), que se baseiam nos exemplos realizados durante as Aulas.

1 - PARTE TEÓRICA - ESCOLHA MÚLTIPLA

1. Os fluidos são corpos sem forma própria. As principais diferenças entre líquidos e gases são?
 - i. **Os líquidos ocupam um determinado volume do recipiente e os gases ocupam o máximo volume do recipiente. Os líquidos praticamente não variam o seu volume devido a uma variação de pressão. Os gases variam o seu volume devido a variações de pressão. A viscosidade dos líquidos diminui com a temperatura e a viscosidade dos gases aumenta com a temperatura;**
 - ii. Os gases ocupam um determinado volume do recipiente e os líquidos ocupam o máximo volume do recipiente. Os gases praticamente não variam o seu volume devido a uma variação de pressão. Os líquidos variam o seu volume devido a variações de pressão. A viscosidade dos gases diminui com a temperatura e a viscosidade dos líquidos aumenta com a temperatura;
 - iii. Os líquidos ocupam um determinado volume do recipiente e os gases ocupam o máximo volume do recipiente. Os líquidos praticamente não variam o seu volume devido a uma variação de pressão. Os gases variam o seu volume devido a variações de pressão. A viscosidade dos gases diminui com a temperatura e a viscosidade dos líquidos aumenta com a temperatura.

2. A lei hidrostática de pressões indica que?
 - i. **A pressão relativa num ponto à profundidade h contada da superfície livre é dada por $p_{rel}=g.h$;**
 - ii. A pressão relativa num ponto à profundidade h contada da superfície livre é dada por $p_{rel}=p_{atm}+\rho.h$;
 - iii. A pressão absoluta num ponto à profundidade h contada da superfície livre é dada por $p_{abs}=\rho.h$;

3. Qual a diferença entre escoamentos laminares e turbulentos?
 - i. No escoamento laminar as partículas além da velocidade num sentido do escoamento, estão animadas de movimento de agitação, com velocidades transversais ao escoamento. As trajetórias são extremamente irregulares e o escoamento turbulento é caracterizado por um caminhar disciplinado das partículas dos fluidos que seguem trajetórias bem definidas. As trajetórias de duas partículas vizinhas não se cruzam;
 - ii. **No escoamento turbulento as partículas além da velocidade num sentido do escoamento, estão animadas de movimento de agitação, com velocidades transversais ao escoamento. As trajetórias são extremamente irregulares e o escoamento laminar é caracterizado por um caminhar disciplinado das partículas dos fluidos que seguem trajetórias bem definidas. As trajetórias de duas partículas vizinhas não se cruzam;**
 - iii. O escoamento laminar e turbulento tem características semelhantes sendo diferenciados pela velocidade do escoamento

4. O caudal escoado numa conduta que interliga dois reservatórios depende dos seguintes fatores ?
 - i. Comprimento, diâmetro e natureza da conduta e das singularidades existentes na conduta
 - ii. Diferença das cotas entre as superfícies livre dos dois reservatórios;
 - iii. **Diferença das cotas entre as superfícies livre dos dois reservatórios, do comprimento, diâmetro e natureza da conduta, singularidades existentes na conduta**

5. A bomba num sistema elevatório tem a função de:
 - i. Receber a energia mecânica do líquido, tornando-a disponível no veio (mediante um binário e uma velocidade angular);
 - ii. **Transferir para o líquido energia mecânica recebida do exterior;**
 - iii. Transmitir energia mecânica de um veio para outro.

6. Em canais com seções fechadas (como o caso de seções circulares e ovóides, muito utilizadas em sistemas de drenagem), a máxima capacidade de transporte e, conseqüentemente, o máximo caudal transportado em regime uniforme não corresponde à máxima altura líquida na seção devido ?
 - i. **ao fato de o aumento da área da seção com a altura, próximo do fecho da abóbada, não compensar a redução do raio hidráulico, que é consequência do acréscimo de perímetro molhado;**
 - ii. ao fato de o aumento do perímetro molhado da seção com a altura, próximo do fecho da abóbada, não compensar o aumento do raio hidráulico, que é consequência do acréscimo de área da seção;
 - iii. ao fato de o aumento da área da seção líquida e do aumento o perímetro molhado, próximo do fecho da abóbada aumentar a rugosidade da conduta.

7. O declive de um canal prismático, de caudal constante Q_0 , é classificado como forte quando?
 - i. A altura do escoamento uniforme é maior que a altura crítica do escoamento;
 - ii. **A altura do escoamento uniforme é menor que a altura crítica do escoamento;**
 - iii. A altura do escoamento uniforme é igual à altura crítica do escoamento.

8. Em qual dos seguintes casos práticos é útil a aplicação do modelo HEC-RAS?
 - i. Obtenção de caudais de cheia através da modelação de processos hidrológicos;
 - ii. **Avaliação dos níveis máximos atingidos por uma cheia num troço fluvial;**
 - iii. Avaliação das condições de escoamento na aproximação à soleira de um descarregador de cheias.

9. Na caracterização geométrica de uma determinada secção de um modelo unidimensional em HEC-RAS, os principais parâmetros a definir são:
- A forma da secção, a cota das margens, o coeficiente de rugosidade de Manning, a distância à secção imediatamente a montante,
 - A forma da secção, a posição das margens, a curva de vazão da secção, a distância total à secção mais a jusante;
 - A forma da secção, a posição das margens, o coeficiente de rugosidade de Manning, a distância à secção imediatamente a jusante.**
10. Em ambiente HEC-RAS, um modelo hidráulico unidimensional possui a seguinte condição:
- A altura de água em cada secção de cálculo é constante ao longo de toda a simulação, mesmo que se trate de uma simulação em regime variável;
 - A altura de água em cada secção de cálculo é única em determinado instante de cálculo, podendo variar ao longo da simulação num modelo em regime variável;**
 - O caudal nunca varia ao longo de todo o trecho modelado, quer se trate de uma simulação em regime permanente ou em regime variável.
11. A condição de fronteira “*Normal Depth*”, aplicada num modelo HEC-RAS em regime permanente, indica que é assumida a seguinte condição:
- É indicada pelo utilizador o valor do declive da linha de energia do escoamento na secção de montante;**
 - O programa calcula a altura crítica de escoamento para cada perfil de cálculo;
 - É indicada pelo utilizador a altura de água na secção de montante, para cada caudal a simular.
12. Seleccione entre as respostas seguintes a que completa a seguinte afirmação: “As barragens de betão são particularmente adequadas para implantação em locais com as seguintes características:
- Vales encaixados, com boas condições de fundação e com reduzidos caudais de cheia.
 - Vales largos, com medíocres condições de fundação e elevados caudais de cheia.
 - Vales encaixados, com boas condições de fundação e com elevados caudais de cheia**
13. O descarregadores de cheias sem comportas apresentam as seguintes vantagens e inconvenientes:
- Vantagens : mais económicos, mais seguros, com menores necessidades de manutenção, menores caudais de descarga. Inconvenientes: implicam uma barragem com maior altura, logo mais dispendiosa.**

- i. **Vantagens** : mais económicos e com menores necessidades de manutenção. **Inconvenientes**: menos seguros por falta de capacidade de manobra, implicam uma barragem com maior altura
 - ii. **Vantagens** : mais seguros, menores necessidades de manutenção. **Inconvenientes**: maior caudal de descarga, implicam um canal de descarga mais largo e uma barragem com maior altura
14. Uma torre de tomada de água com níveis múltiplos de captação permite:
- i. Aumentar o caudal captado na albufeira.
 - ii. No caso de um aproveitamento hidroeléctrico, a utilização da captação mais elevada permite aumentar a carga sobre as turbinas e, portanto, a energia produzida.
 - iii. **Permite em cada momento a captação da água com melhores características físicas, químicas e biológicas para o fim a que se destina.**
15. Identifique o número adimensional da teoria da semelhança, aplicável a modelos hidráulicos reduzidos com escoamento em superfície livre:
- i. Número de Reynolds (Re)
 - ii. **Número de Froude (Fr)**
 - iii. Número de Euler (Eu)
16. Sabendo que o número adimensional de Froude (Fr) é dado pela expressão:
- $$Fr = \frac{v^2}{Lg}$$
- Em que v é a velocidade do escoamento (m/s), L o comprimento (m) e g a aceleração da gravidade (m/s²).
- Qual das expressões está correta (esc. é o denominador da escala do modelo; 1:esc. = 1:100):
- i. Velocidade no protótipo = esc² x Velocidade no modelo;
 - ii. Velocidade no protótipo = 2 x esc x Velocidade no modelo;
 - iii. **Velocidade no protótipo = esc^{1/2} x Velocidade no modelo.**
17. Por favor indique a principal vantagem do cálculo numérico (CFD) de estruturas hidráulicas em comparação com a utilização de modelos hidráulicos físicos reduzidos:
- i. **Low-cost (menor mobilização de recursos e menor tempo necessário até à obtenção dos resultados pretendidos).**
 - ii. Capacidade de gerar poucos dados.
 - iii. Geração de soluções sem erro (erro numérico).

18. O risco associado a cada barragem depende:

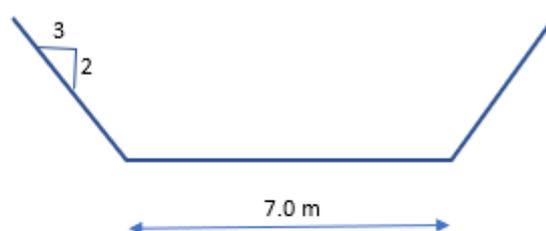
- i. Da altura da barragem (medida desde a fundação) e do volume total armazenado na respetiva albufeira;
- ii. **Dos danos potenciais (sociais, económicos e ambientais) que podem eventualmente ocorrer em caso de rotura da barragem e das condições de risco inerentes à obra em si;**
- iii. Da frequência com que a barragem é fiscalizada por uma equipa de especialistas durante a Fase de Exploração e da existência ou não de um Plano de Emergência, no qual são estabelecidas as acções a serem executadas pelo Dono da Obra em caso de situação de emergência.

2 - PARTE PRÁTICA – EXERCÍCIOS EM EXCEL

2.1 Exercício de cálculo do escoamento uniforme

Ver Anexo 1 - Ficheiro Excel: Exercício_Altura do Escoamento Uniforme – Enunciado

1 – Calcule a altura do escoamento uniforme no canal de seção trapezoidal, revestido de betão liso e com taludes a 2/3 (V/H) e 7,00 m de largura de rasto, para um caudal de 40 m³/s e declives do fundo de 0,003 e 0,0004.



$$Q = K_s \cdot A \cdot R_h^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

Regime uniforme: $J = \text{sen}(\theta) \cong \text{tg}\theta = i$

Resolução:

P1

$$\begin{aligned} Q &= 40 \text{ m}^3/\text{s} \\ b &= 7 \text{ m} \\ K_s &= 75 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1} \\ m &= 1.5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{h_u} &= \mathbf{1.18 \text{ m}} \\ A(h) &= 10.3 \text{ m}^2 \\ P(h) &= 11.2 \text{ m} \\ Rh(h) &= 0.9 \text{ m} \\ i &= 0.003 \\ Q &= 40 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{h_u} &= \mathbf{2.07 \text{ m}} \\ A(h) &= 20.9 \text{ m}^2 \\ P(h) &= 14.5 \text{ m} \\ Rh(h) &= 1.4 \text{ m} \\ i &= 0.0004 \\ Q &= 40.0 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Resultados:

$h_u = 1,18 \text{ m}$ para declive do fundo de 0,003

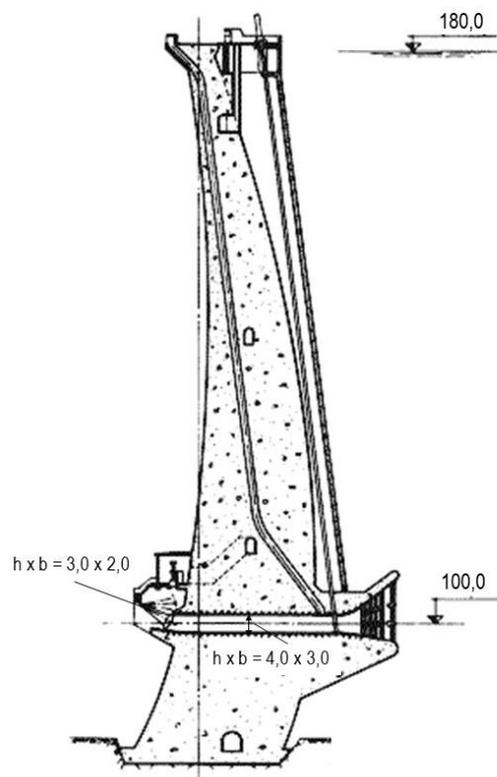
$h_u = 2,07 \text{ m}$ para declive do fundo de 0,0004

2.2 Cálculo da capacidade de uma descarga de fundo

A figura ao lado mostra o corte de uma barragem de betão pela descarga de fundo. A descarga de fundo compreende uma entrada de grandes dimensões, uma transição suave para a secção corrente da galeria, de secção retangular com 3 m de largura por 4 m de altura, uma comporta ensecadeira manobrada a partir do coroamento da barragem, seguida de um curto trecho de galeria com 30 m de comprimento. A galeria é obturada a jusante por uma comporta de sector com 2,0 m de largura por 3,0 m de altura que descarrega em jacto para o rio a jusante.

O centro da comporta encontra-se à cota 100,0 mNGA.

Considerando que as perdas de carga localizadas a montante da válvula de descarga, referidas à secção da galeria, totalizam um valor de $K_{tot} = 0,60$ (estrutura de entrada, incluindo grade grossa, $K_e = 0,35$, transição para a galeria $K_t = 0,10$, ranhuras da comporta ensecadeira, $K_r = 0,10$, contracção a montante da comporta de saída $K_c = 0,05$) e que as perdas de carga contínuas na galeria são desprezáveis, dada a sua curta extensão, calcule:



- A capacidade máxima desta descarga de fundo com a comporta totalmente aberta para o nível da água na albufeira à cota 170,0 mNGA.
- A velocidade da água à saída da comporta, na condições anteriores.

Resolução

A velocidade à saída, U_s é tal que:

$$H_{saída} = U_{saída}^2 / 2g = Q^2 / (A_{saída}^2 \times 2g)$$

A energia disponível à saída é:

$$H_{saída} = (Z_{mont} - Z_{jus}) - \Delta H_{entrada}$$

A perda de carga à entrada, U_s é tal que:

$$\Delta H_{entrada} = K_{tot} Q^2 / (A_{conduta}^2 \times 2g)$$

Sendo $A_{saída} = 3,0 \times 2,0 = 6,0 \text{ m}^2$ e $A_{conduta} = 4,0 \times 3,0 = 12,0 \text{ m}^2$ e $K_{tot} = 0,60$, vem:

$$H_{saída} = Q^2 / (6^2 \times 19,6) = Z_{mont} - 100 - 0,6 \times Q^2 / (12^2 \times 19,6)$$

$$0,00142 Q^2 = Z_{mont} - 100 - 0,00059 Q^2$$

$$(0,00142 + 0,00059) Q^2 = Z_{mont} - 100 \rightarrow Q^2 = 497 (Z_{mont} - 100) \rightarrow Q = 22,3 (Z_{mont} - 100)^{0,5}$$

Para $Z_{mont} = 170$ vem

$$Q = 22,3 (70)^{0,5} = 187 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$U_{saída} = Q / A_{saída} = 187 / 6 = 31,1 \text{ m/s}$$

ANEXO 2 - FICHAS DE AVALIAÇÃO DOS MÓDULOS DE FORMAÇÃO

