



Ruth Daniela Monteiro

Licenciada em Engenharia Civil

**AVALIAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E VIABILIDADE
DA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFEROS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DOS ENGENHOS NA ILHA DE
SANTIAGO - CABO VERDE**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: Professora Doutora Maria Manuela Malhado
Simões Ribeiro - FCT/UNL

Júri:

Presidente: Doutor António Pedro de Nobre Carmona Rodrigues

Arguente: Doutora Maria Catarina Rosalino da Silva

Vogal: Doutora Maria Manuela Malhado Simões Ribeiro



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Julho 2013

Ruth Daniela Monteiro

Licenciada em Engenharia Civil

**AVALIAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E VIABILIDADE
DA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFEROS NA BACIA
HIDROGRÁFICA DOS ENGENHOS NA ILHA DE
SANTIAGO - CABO VERDE**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão da Água

Orientador: Professora Doutora Maria Manuela Malhado
Simões Ribeiro - FCT/UNL

Júri:

Presidente: Doutor António Pedro de Nobre Carmona Rodrigues

Arguente: Doutora Maria Catarina Rosalino da Silva

Vogal: Doutora Maria Manuela Malhado Simões Ribeiro

Julho 2013

COPYRIGHT

AVALIAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E VIABILIDADE DA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFEROS NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS ENGENHOS NA ILHA DE SANTIAGO - CABO VERDE.

“© Copyright” Ruth Daniela Monteiro, FTC/UNL e UNL.

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

DEDICATÓRIA

À memória da minha avó Paula Ramos. Uma mulher corajosa e muito dedicada à sua família, que muito amou e cuidou em toda a sua vida.

Obrigado avó. Permanecerás sempre viva no meu coração.

AGRADECIMENTOS

Expresso o meu sincero agradecimento a todos os que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e que, por razões várias, não são citados.

Em primeiro lugar quero agradecer à Professora Doutora Maria Manuela Malhado Simões Ribeiro por ter aceitado orientar este trabalho, por todo o apoio e amizade demonstrados ao longo desta caminhada, pela contribuição dos seus conhecimentos e experiência profissional.

À Fundação Millennium BCP a bolsa de estudos atribuída para a realização do Mestrado e, em particular, um muito obrigado à Dr.^a Ana Sofia Ferreira pela disponibilidade e ajuda.

Ao Instituto de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde (Delegação da Praia), em particular ao Engenheiro João Spencer, pelos dados de precipitação e temperatura na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.

À minha família, em especial à minha mãe e ao meu avô que, apesar da distância, são fontes de motivação. À minha tia Ana Mafalda e à minha prima Verónica pelo apoio incondicional. Ao meu tio José Fernando (o *Ady*) um especial agradecimento pela ajuda imprescindível na recolha dos dados em Cabo Verde. À minha prima Maria Auxilia (a *Chi*) pelo apoio dado.

Ao meu namorado Alex, pelo amor, incentivo e compreensão manifestados durante a realização desta dissertação.

À minha amiga Edilene, pelas muitas noites que passamos juntas a fazer os trabalhos de grupo. A sua amizade, companheirismo, carinho e atenção foram importantes na efetivação do Mestrado.

Aos meus amigos, Adilson, Milton, Zola, Marlene e Vanize a afeição e a motivação que sempre deles recebi. Ao Vilson, Aricson, Keila, Aniana, Jocelene e Joaquim por, à distância, me incentivarem a continuar e a nunca desistir. Ao Higinio e ao Naice a sua disponibilidade para a recolha de dados em Cabo Verde.

Aos meus colegas do Mestrado.

E, não podia deixar de agradecer, ao meu ex-chefe do restaurante onde trabalho, Filipe Ribeiro, a sua ajuda, compreensão e paciência que sempre o caracterizaram e pautaram no período em que decorreu o Mestrado.

Finalmente, a todos os que fazem parte da minha vida um muito obrigado.

RESUMO

A existência de água é um fator determinante no desenvolvimento socioeconómico da Bacia Hidrográfica dos Engenhos. Situada numa região de escassez hídrica, qualquer projeto no âmbito da distribuição de água às populações e/ou para outros fins, bem como a recolha e o destino a dar às águas residuais, é de capital importância para a fixação de pessoas e para a criação de riqueza.

Objeto de vários estudos e trabalhos sobre os recursos hídricos da região e sobre o Arquipélago de Cabo Verde, este é mais um que procura avaliar a disponibilidade hídrica anual em resultado da precipitação média anual na Bacia Hidrográfica dos Engenhos e, com vista ao aumento da qualidade e quantidade de água disponível, analisar a viabilidade em implementar a técnica de recarga artificial de aquíferos, a partir de caudal excedentário de nascentes, durante a época da chuva.

Esta dissertação está estruturada em sete capítulos. No primeiro, de introdução, procurou-se fazer o enquadramento geral da temática abordada, definir objetivos e metodologia de trabalho. O capítulo segundo é dedicado à revisão bibliográfica e o terceiro ao enquadramento geohidrológico e geográfico da ilha de Santiago. Os capítulos seguintes, do quarto ao sexto, são dedicados à caracterização da Bacia Hidrográfica dos Engenhos, cálculo de disponibilidades hídricas e desenvolver um projeto de recarga artificial de aquíferos para aumento da quantidade e qualidade da água. Por último, no capítulo sétimo, tecem-se algumas conclusões e recomendações a ter em conta na gestão de recursos hídricos da região, com vista a ultrapassar problemas relacionados com a escassez e melhorar as condições de vida das populações residentes no local.

Palavras-Chave: Recursos Hídricos, Recarga Artificial de Aquíferos, Bacia Hidrográfica dos Engenhos, Ilha de Santiago, Cabo Verde.

ABSTRACT

The existence of water is a decisive factor in the socioeconomic development of the Engenhos Hydrographical Basin. Located in an area affected by water scarcity, any project that involves the distribution of drinkable water among the population and the disposing of residual water is crucial to the social and economic growth of the population residing in the basin.

Amongst many studies on the water resources of the Cape Verde Archipelago, this specific one evaluates the water resources resulting from annual rainfall in the Engenhos Hydrographical Basin. Furthermore, this study analyzes the possibility of improving the quantity and quality of the water by applying the exceeding spring water flow in aquifer artificial recharge.

This thesis is divided in seven chapters. The first, the introduction, establishes the general integration of the theme selected, sets goals and work methodology. The second chapter is dedicated to the bibliographical revision, and the third presents the geohydrology and geography of the Santiago Island. The following three chapters are dedicated to the characterization of the Engenhos Hydrographical Basin, to the determination of water availability and to the development of a project of aquifer artificial recharge in order to increase the quantity and quality of the groundwater. The final chapter presents conclusions and recommendations on how to manage the scarce water resources in the region so as to improve the welfare of the inhabitants.

Keywords: Water Resources, Artificial Recharge Aquifer, Engenhos Hydrographical Basin, Island of Santiago, Cabo Verde.

LISTAS DE ABREVIATURAS

ASR - Aquifer Storage and Recovery

BAD - Banco Africano de Desenvolvimento

BADEA - Banco Árabe para o Desenvolvimento Económico em África

BURGEAP - Bureau de Géologie Appliqué

CAg - Código da Água de Cabo Verde

CNAG - Conselho Nacional da Água

DGASP - Direção Geral de Agricultura, Silvicultura e Pecuária

DL - Decreto-Lei

ETAR - Estação de Tratamento de Águas Residuais

ETP - Evapotranspiração Potencial

FAD - Fundo Africano de Desenvolvimento

FCT/UNL - Faculdade de Ciências e Tecnologia/ Universidade Nova de Lisboa

IICT - Instituto de Investigação Científica Tropical

IGME - Instituto Geológico e Mineiro de Espanha

IGRAC - International Groundwater Resources Assessment Centre

INECV - Instituto Nacional de Estatística de Cabo Verde

INGRH - Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos de Cabo Verde

INMG - Instituto Nacional Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde

JICA - Agência Japonesa para a Cooperação Internacional

MDR - Ministério de Desenvolvimento Rural de Cabo Verde

OMS - Organização Mundial de Saúde

PAGIRE - Plano de Ação de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

TSA - Tratamento Solo-Aquífero

USGS - United States Geological Survey

VMR - Valor Máximo Recomendado

VMA - Valor Máximo Admissível

ÍNDICE DE MATÉRIAS

COPYRIGHT	I
DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
LISTAS DE ABREVIATURAS	XI
ÍNDICE DE MATÉRIAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
ÍNDICE DE QUADROS	XIX
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1. Enquadramento geral e escolha do tema	1
1.2. Objetivos e metodologia	2
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Problemática associada aos recursos hídricos na ilha de Santiago, Cabo Verde	5
2.2. Recarga artificial de aquíferos	8
2.2.1. Definição e fundamentos da recarga artificial de aquíferos	9
2.2.2. Sistemas de recarga artificial de aquíferos	10
2.2.3. Aspetos a considerar num projeto de recarga artificial de aquíferos	14
2.2.4. Aplicações da técnica de recarga artificial de aquíferos no mundo	17
CAPÍTULO 3 - ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOGRÁFICO DA ILHA DE SANTIAGO	21
3.1. Localização e população da ilha de Santiago	21
3.2. Clima	23
3.3. Geologia	23
3.4. Geomorfologia	31
3.5. Hidrogeologia e recursos hídricos	32
3.5.1. Hidrogeologia	32
3.5.2. Recursos hídricos	34
CAPÍTULO 4 - BACIA HIDROGRÁFICA DOS ENGENHOS	37
4.1. Enquadramento regional	37
4.2. Caracterização da população	38
4.3. Caracterização hidroclimatológica	40
4.3.1. Hidrografia	40
4.3.2. Precipitação	41

4.3.3. Temperatura.....	47
4.3.4. Evapotranspiração	48
4.4. Caracterização geomorfológica, geológica e hidrogeológica	50
4.4.1. Geomorfologia.....	50
4.4.2. Geologia	51
4.4.3. Hidrogeologia.....	52
4.5. Tipo e ocupação do solo	53
4.6. Usos da água.....	55
4.6.1. Abastecimento público	55
4.6.2. Agricultura e pecuária.....	56
4.7. Processos erosivos	58
CAPÍTULO 5 - AVALIAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS ENGENHOS	59
5.1. Balanço hídrico sequencial mensal em Assomada e Telhal	61
5.2. Volume de água disponível na Bacia Hidrográfica dos Engenhos	68
CAPÍTULO 6 - VIABILIDADE DA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFEROS NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS ENGENHOS	71
6.1. Avaliação das fontes de água a utilizar na recarga artificial de aquíferos	72
6.1.1. Água de escorrência superficial.....	72
6.1.2. Água subterrânea de nascentes	72
6.2. Avaliação da qualidade da água.....	73
6.2.1. Análise e discussão dos resultados	74
6.3. Condições hidrogeológicas para a recarga artificial de aquíferos	79
6.4. Instalações de recarga artificial de aquíferos na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.....	80
6.5. Aspectos legais.....	80
6.6. Proposta de recarga artificial do aquífero aluvial utilizando caudal excedentário da nascente de Chão de Cana.....	81
6.6.1. Caracterização do aquífero aluvial.....	81
6.6.2. Caracterização da nascente de Chão de Cana	82
6.6.3. Método de recarga artificial de aquíferos a utilizar	83
CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	85
7.1. Conclusões	85
7.2. Recomendações	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXOS.....	93
Anexo I - Dados de Pluviometria Mensal e Anual	93
Anexo II - Dados de Temperatura Média (°C) Mensal e Anual	98
Anexo III - Resultados da Análise Físico-Química de Água	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2

Figura 2.1 - Reservatórios superficiais construídos na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.	7
Figura 2.2 - Infraestruturas de correção torrencial construídos na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.	7
Figura 2.3 - Injeção em dolinas como exemplo de recarga em profundidade.	11

Capítulo 3

Figura 3. 1 - Distribuição geográfica dos concelhos na ilha de Santiago.	22
Figura 3. 2 - Fotografias da Formação do <i>Complexo Eruptivo Interno, Antigo</i> , na ribeira do Charco (A) e na ribeira de São João Baptista (B) (Pina, 2009 e Gomes & Pina, 2004 <i>in</i> Gomes, 2007).	24
Figura 3. 3 - Exemplos da <i>Formação dos Flamengos</i> , na zona de Boa Entradinha (A) e ribeira de Flamengos (B) (Pina, 2009 e Gomes & Pina, 2004 <i>in</i> Gomes, 2007).	25
Figura 3. 4 - Exemplos de <i>Formação dos Órgãos</i> , em São Jorge (A) e em Poilão (B) (Pina, 2009 e Gomes & Pina, 2004 <i>in</i> Gomes, 2007).	26
Figura 3. 5 - Monte Branco, exemplo de afloramento da <i>Formação Lávica Pós-Formação dos Órgãos</i> (Gomes, 2007).	26
Figura 3. 6 - Exemplo de <i>Complexo eruptivo do Pico da Antónia</i> , em Serra da Malagueta (A) e Pico da Antónia (B) (Gomes & Pina, 2004 <i>in</i> Gomes, 2007).	28
Figura 3. 7 - Exemplo de <i>Formação de Assomada</i> , no concelho de Santa Catarina, em Carrismorto (A) e Achada Falcão (B) (Gomes & Pina, 2004 <i>in</i> Gomes, 2007).	28
Figura 3. 8 - Exemplos de <i>Formação do Monte das Vacas</i> , em Monte das Vacas (A) e Monte Volta (B) (Pina, 2009 e Gomes & Pina, 2004 <i>in</i> Gomes, 2007).	29
Figura 3. 9 - Exemplo da Formação Sedimentar Recente de Idade Quaternária, no vale da ribeira de Achada Baleia (Pina, 2009).	29
Figura 3. 10 - Carta Geológica da Ilha de Santiago, Cabo Verde, digitalizada a partir de Serralheiro,1977 (Pina, 2009).	30
Figura 3.11 - Sequência hidrogeológica geral da ilha de Santiago (Gomes & Pina, 2004 <i>in</i> Gomes, 2007).	32

Capítulo 4

Figura 4. 1 - Localização da Bacia Hidrográfica dos Engenhos - Carta Geológica da Ilha de Santiago na escala 1:100000 (Alves <i>et al.</i> ,1979).	37
Figura 4.2 - Distribuição da população da Bacia Hidrográfica dos Engenhos por grupo etário, elaborado com base nos dados do INE de Cabo Verde, censo 2010.	39
Figura 4. 3 - Bacia Hidrográfica dos Engenhos com representação da linha principal de drenagem e afluentes.	41
Figura 4. 4 - Localização das estações meteorológicas de Assomada e Telhal (Coordenadas UTM em metros).	42
Figura 4.5 - Retas de regressão e coeficientes de correlação entre os valores de precipitação observados nas estações meteorológicas de Assomada e Telhal, nos meses de janeiro e julho.	43
Figura 4.6 - Retas de regressão e coeficientes de correlação entre os valores de precipitação observados nas estações meteorológicas de Assomada e Telhal, nos meses de agosto e setembro.....	44
Figura 4.7 - Retas de regressão e coeficientes de correlação entre os valores de precipitação observados nas estações meteorológicas de Assomada e Telhal, nos meses de, outubro e novembro.....	44
Figura 4.8 - Reta de regressão e coeficiente de correlação entre os valores de precipitação observados nas estações meteorológicas de Assomada e Telhal, no mês de dezembro.	44
Figura 4.9 - Distribuição temporal da precipitação média anual nas estações meteorológicas de Assomada e de Telhal (1961-2011).....	45
Figura 4.10 - Precipitações médias mensais nas estações de Assomada, Telhal e Bacia Hidrográfica dos Engenhos, para uma série de 51 anos.	46
Figura 4.11 - Distribuição das temperaturas médias mensais nas estações meteorológicas de Assomada e Telhal.	47
Figura 4.12 - Comparação entre valores da ETP, calculados pelos métodos de Thornthwaite e Penman nas estações de Assomada (A) e de Telhal (B).	50
Figura 4. 13 - Unidades litostratigráficas na Bacia Hidrográfica dos Engenhos - Carta Geológica da Ilha de Santiago na escala 1:100000 (Alves <i>et al.</i> ,1979).	51
Figura 4.14 - Modelo concetual do fluxo subterrâneo e do funcionamento hidráulico da nascente de Chão de Cana, na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.....	53
Figura 4. 15 - Exemplos de práticas agrícolas de sequeiro na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 12/11/2012).	54
Figura 4. 16 - Exemplos de agricultura irrigada na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 12/11/2012).	54
Figura 4. 17 - Alguns exemplos de transporte de água na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 27/04/2013).	56
Figura 4. 18 - Exemplos de aplicação do sistema de rega gota-gota na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 27/04/2013).....	57

Figura 4. 19 - Exemplos de criação de bovinos e suínos na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado no dia 27/04/2013).	57
---	----

Capítulo 5

Figura 5.1 - Disponibilidade de água e cobertura vegetal na época húmida na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 11/03/2013).	60
Figura 5.2 - Carência de água e ausência de cobertura vegetal na época seca na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 11/03/2013).	60
Figura 5. 3 - Distribuição mensal de excedente hídrico, em ano médio na estação de Assomada.....	66
Figura 5. 4 - Distribuição mensal de excedente hídrico, em ano húmido na estação de Assomada.....	66
Figura 5. 5 - Distribuição mensal de excedente hídrico, em ano médio na estação de Telhal...67	
Figura 5. 6 - Distribuição mensal de excedente hídrico, em ano húmido na estação de Telhal.68	

Capítulo 6

Figura 6.1 - Caudais da Ribeira no mês de setembro 2012, em Pinha dos Engenhos e Chão de Cana na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 25/10/2012).....	73
Figura 6.2 - Representação em diagrama de Stiff da composição iónica da água da nascente, poço, e ribeira em Chão de Cana.	78
Figura 6.3 - Representação em diagrama de Stiff da composição iónica da água da nascente de Chão de Coelho.	78
Figura 6.4 - Localização da nascente de Chão de Cana e indicação da área para a injeção da água no aquífero.....	81
Figura 6.5 - Reservatório coletor da água da nascente de Chão de Cana (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 30/05/2013).	83

ÍNDICE DE QUADROS

Capítulo 2

Quadro 2.1 - Vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de recarga artificial de aquíferos (Diaz <i>et al.</i> , 2000).	12
Quadro 2.2 - Inventário do número de casos de recarga artificial de aquíferos no mundo, por continente.	19

Capítulo 3

Quadro 3.1 - Distribuição da população na ilha de Santiago, por concelhos (INECV, censo 2010).	21
Quadro 3.2 - Relação cronológica e estratigráfica (das mais recentes para as mais antigas) entre episódios magmáticos terrestres e marinhos do <i>Complexo Eruptivo do Pico de Antónia</i> , segundo Alves <i>et al.</i> (1979).	27
Quadro 3.3 - Estimativa das águas superficiais e águas subterrâneas na ilha de Santiago, segundo os estudos efetuados.	35

Capítulo 4

Quadro 4.1 - Caracterização da população das principais localidades situadas da Bacia Hidrográfica dos Engenhos.	39
Quadro 4.2 - Evapotranspiração potencial, em mm, nas estações de Assomada e de Telhal, calculada pelo método de Thornthwaite.	48
Quadro 4.3 - Evapotranspiração potencial nas estações de Assomada e de Telhal, pelo método de Penman (Pina, 2009).	49
Quadro 4.4 - Ocupação do solo na Bacia Hidrográfica dos Engenhos segundo DGASP (2005).	55

Capítulo 5

Quadro 5.1 - Balanço hidrológico de água no solo para o ano médio, utilizando valores de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Thornthwaite e de Penman para a estação de Assomada.	62
Quadro 5.2 - Balanço hidrológico de água no solo para o ano húmido, utilizando valores de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Thornthwaite e de Penman na estação de Assomada.	63

Quadro 5.3 - Balanço hidrológico de água no solo para o ano seco, utilizando valores de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Thornthwaite e de Penman na estação de Assomada.....	63
Quadro 5.4 - Balanço hidrológico de água no solo para o ano médio, utilizando valores de evapotranspiração potencial estimados pelo método de Thornthwaite e de Penman na estação de Telhal.....	64
Quadro 5.5 - Balanço hidrológico de água no solo para o ano húmido, utilizando valores de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Thornthwaite e de Penman na estação de Telhal.....	64
Quadro 5.6 - Balanço hidrológico de água no solo para o ano húmido, utilizando valores de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Thornthwaite e de Penman na estação de Telhal.....	65
Quadro 5.7 - Disponibilidade hídrica anual na Bacia Hidrográfica dos Engenhos, estimada a partir da aplicação dos métodos de Thornthwaite e Penman no cálculo da evapotranspiração potencial.	68
Quadro 5.8 - Infiltração/recarga de aquíferos e escoamento superficial na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.	70
Quadro 5.9 - Escoamento superficial e subterrâneo na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.	70

Capítulo 6

Quadro 6.1 - Composição físico-química da água na Bacia Hidrográfica dos Engenhos e comparação com os valores máximos recomendados (VMR) e valores máximos admissíveis (VMA) estabelecidos no DL n.º 8/2004.	74
---	----

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1. Enquadramento geral e escolha do tema

O Arquipélago de Cabo Verde pertence às regiões semiáridas do Planeta. É caracterizado por possuir precipitações escassas e irregulares e, por isso, é um país com reduzida disponibilidade de recursos hídricos. Esta situação constitui um dos mais graves problemas para o seu desenvolvimento socioeconómico.

Segundo Gomes (2007), em Cabo Verde, os recursos hídricos subterrâneos são muito explorados enquanto os superficiais são pouco, devido à inexistência de infraestruturas para o seu aproveitamento. Os diversos usos da água são bastante dependentes da precipitação em grande parte das ilhas. Nas ilhas menos pluviosas a água potável é obtida a partir de sistemas de dessalinização.

A área escolhida para o desenvolvimento da dissertação encontra-se situada na ilha de Santiago, a maior do Arquipélago de Cabo Verde. Aqui, a maioria das utilizações de água potável depende das águas subterrâneas, com exceção para a cidade da Praia, capital de Cabo Verde, onde existe um sistema de dessalinização, e na Ribeira Seca onde, em 2006, foi construída a primeira barragem em Cabo Verde.

Para este estudo escolheu-se a Bacia Hidrográfica dos Engenhos, uma das maiores do concelho de Santa Catarina, onde as fontes de abastecimento são de origem subterrânea e provenientes de furos, poços e nascentes.

A falta de água na Bacia Hidrográfica dos Engenhos agravou-se nos últimos anos com o aumento da população e da atividade agrícola. Foi ainda agravada pela falta de infraestruturas que permitam o armazenamento das águas da chuva e das nascentes durante a estação húmida. A falta de água é tanta, de modo que, todos os anos entre maio e julho secam as ribeiras, algumas nascentes e a maioria dos poços.

A prática agrícola é a principal atividade económica existente na região, sendo fortemente influenciada pela existência de água condicionando, a escassez, o seu desenvolvimento.

Na Bacia Hidrográfica dos Engenhos os consumos, doméstico e agrícola assentam em recursos hídricos subterrâneos a tal ponto que o aumento da população e a diminuição da precipitação têm acentuado significativamente a escassez de água nas regiões das ribeiras, concomitantemente com a sobreexploração de aquíferos em resultado da captação desregulada de água subterrânea.

Para fazer face à escassez de água, o Governo de Cabo Verde tem apostado fortemente na construção de infraestruturas para aproveitamento de água superficial, edificando barragens e reservatórios nalgumas bacias hidrográficas do Arquipélago.

Na Bacia Hidrográfica dos Engenhos foi realizado um estudo no âmbito do Projeto de Valorização das Bacias Hidrográficas de Picos e Engenhos que deu origem à realização de diversas obras,

nomeadamente à construção de inúmeros reservatórios superficiais para armazenamento de água para irrigação e de infraestruturas para correção do regime fluvial.

A construção de reservatórios superficiais veio minimizar a falta de água na região. No entanto, a água armazenada não é suficiente para fazer face às necessidades no período seco, uma vez que a partir de maio estas encontram-se esgotadas. Estando secos, os reservatórios correm sérios riscos de degradação, mais ainda, devido à falta de preservação e mau uso por parte das populações locais. Muitas vezes são usados por crianças para a prática de futebol.

Por estas razões torna-se necessário avaliar os recursos hídricos existentes na Bacia e procurar medidas que aumentem a disponibilidade hídrica. A viabilização do processo de recarga artificial de aquíferos é uma das vias possíveis. Esta técnica tem vindo a ser usada, com resultados positivos, em muitos países com condições climáticas semelhantes, contribuindo assim para o aumento das reservas hídricas subterrâneas. Mesmos com os benefícios resultantes do projeto iniciado em 2005, grande parte das localidades situadas na Bacia não possui rede de distribuição de água potável e em nenhuma localidade existem redes coletoras de águas residuais. Nas localidades onde existe rede de abastecimento esta é alimentada por água de origem subterrânea, em dias alternados, devido à reduzida disponibilidade do sistema em termos de quantidade e qualidade.

Por tudo isto se justifica a escolha deste tema de investigação que terá por finalidade contribuir para a melhoria de vida da população residente, na medida em que o desenvolvimento socioeconómico é bastante dependente da existência ou não de água disponível em quantidade e qualidade. De alguma forma o uso racional dos recursos hídricos e o seu incremento através de técnicas sofisticadas indutoras da recarga poderão fazer a diferença num futuro próximo.

1.2. Objetivos e metodologia

Este trabalho tem por objetivo avaliar a disponibilidade em recursos hídricos da Bacia Hidrográfica dos Engenhos, bem como, equacionar a utilização de métodos alternativos para viabilizar a recarga artificial de aquíferos na Bacia. Consiste em:

- Caracterizar os usos da água;
- Estimar as perdas por evapotranspiração na Bacia;
- Analisar as disponibilidades hídricas existentes na Bacia, tanto subterrâneas como superficiais;
- Estudar a viabilidade de recorrer a técnica de recarga artificial de aquíferos na Bacia e localizar fontes e áreas propícias para a injeção e/ou indução de água;
- Avaliar a qualidade da água em alguns locais na Bacia.

Para alcançar os objetivos a metodologia a seguir parte em primeiro lugar da pesquisa bibliográfica sobre a temática da recarga artificial de aquíferos e da área em estudo, consistindo esta na recolha e análise de artigos científicos em revistas especializadas, leitura de dissertações de mestrado e de doutoramento, consulta de grupos sociais, internet, sites e outras publicações relacionadas com o tema, de forma a adquirir e consolidar o conhecimento dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica dos Engenhos e da técnica de recarga artificial de aquíferos. A obtenção de uma cópia do relatório do estudo realizado pela Direção Geral da Agricultura, Silvicultura e Pecuária (DGASP) na Bacia Hidrográfica dos Engenhos, em 2005, no âmbito do Projeto de Ordenamento e Valorização das Bacias Hidrográficas de Picos e Engenhos, só foi possível graças à amabilidade do Higinio Lopes e ulterior envio pelo meu tio Ady.

Em seguida, procedeu-se à recolha de dados climatológicos e populacionais indispensáveis ao desenvolvimento da temática abordada no âmbito da dissertação, muitas vezes contrariando a distância, mediante a solicitação direta (via email e outros) aos responsáveis e trabalhadores dos serviços públicos em Cabo Verde.

- Ao Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica de Cabo Verde (INMG) foram solicitados os registos de precipitação e temperatura das estações meteorológicas de Assomada e Telhal, para o cálculo do balanço hídrico na Bacia Hidrográfica dos Engenhos e caracterização climática. Estes dados foram enviados pelo Engenheiro do INMG, João Spencer.
- No Instituto Nacional de Estatística de Cabo Verde (INECV), através da sua página na web, procedeu-se à recolha de dados da população da Bacia para caracterização populacional.

No Instituto de Investigação Científica Tropical (ICT), foi feita a aquisição da folha nº 54, de Santa Catarina, da carta geológica da ilha do Santiago, para a análise geológica e hidrogeológica da Bacia Hidrográfica dos Engenhos.

A caracterização da qualidade da água da Bacia Hidrográfica dos Engenhos só foi possível fazer-se em algumas amostras de água, devido à impossibilidade de ir a Cabo Verde para a realização de trabalhos de campo.

Na Bacia procedeu-se à colheita *in situ* de amostras de água superficial e subterrânea, com a ajuda de familiares que as enviaram por avião. Na localidade de Chão de Cana foram recolhidas quatro amostras de água, designadamente, no poço, na nascente de Chão de Cana e na ribeira a jusante e a montante da nascente de Chão de Cana. Na localidade de Chão de Coelho foi recolhida uma amostra da água da nascente de Chão de Coelho.

As colheitas das amostras foram realizadas no dia 30 de outubro de 2012 e analisadas no dia 6 de novembro de 2012 no laboratório do Departamento de Ciências da Terra da FCT/UNL.

No local não foi possível fazer a medição do pH, temperatura e condutividade elétrica, normalmente parâmetros analisados *in situ*.

No laboratório, procedeu-se à determinação de iões maiores, cloreto, nitrato, sulfato, sódio, potássio, cálcio e magnésio por cromatografia iónica, bicarbonato e alcalinidade por titulação e a condutividade elétrica e pH por eletrodo seletivo.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Problemática associada aos recursos hídricos na ilha de Santiago, Cabo Verde

A escassez de recursos hídricos tem sido um grande impasse ao desenvolvimento económico e social do Arquipélago que atormenta, desde sempre, o povo cabo-verdiano. Por isso tem motivado a realização de vários estudos e trabalhos sobre os recursos hídricos no país e incentivado à pesquisa de novas técnicas para a produção e armazenamento de água. Na ilha de Santiago, onde se situa a Bacia Hidrográfica dos Engenhos, são escassos os recursos superficiais de água devido à irregularidade da precipitação e às insuficientes infraestruturas para o seu aproveitamento durante o período das chuvas. Na região, a água subterrânea é a principal fonte de abastecimento para os diversos usos, doméstico e agrícola, com exceção para a cidade da Praia, onde existe um sistema de dessalinização.

Neste contexto, podem ser destacadas opiniões de alguns autores relativamente à problemática que envolve a disponibilidade hídrica na ilha de Santiago.

Gomes & Pina (2003), referem que desde 1968 Cabo Verde tem sofrido com as secas prolongadas, situação que esteve na origem da realização de alguns estudos importantes sobre recursos hídricos realizados no país nomeadamente o encomendado, em 1969, pelo Centro de Estudos de Cabo Verde à empresa francesa BURGEAP, especialista em águas subterrâneas, para a realização do reconhecimento dos recursos hídricos existentes nas ilhas de Santiago, Fogo, Boavista e São Nicolau, tendo concluído que existia água suficiente para a realização de alguns furos. Outro importante estudo foi solicitado pelo Governo de Cabo Verde, após a independência, às Nações Unidas (PNUD), integrado no Projeto CVI 1975 - 1979, para a realização de trabalhos nas ilhas de Santiago, Maio, S. Vicente, Boavista e Sal, donde resultou a perfuração e equipamento de furos, totalizando cerca de 200 furos dos quais 62 equipados. Os trabalhos realizados contribuíram para a definição da política da água no país e foram um exemplo de extrema importância a seguir pelos responsáveis pela gestão da água em Cabo Verde.

Segundo INGRH (2000), o problema da falta de água conduz à necessidade de evitar que o aumento da sua escassez possa constituir entrave ao desejável desenvolvimento socioeconómico do país. A necessidade em procurar novas formas de mobilização dos recursos e a adoção de boas políticas de gestão, porque é insustentável o desenvolvimento enquanto a procura de água aumenta e os recursos hídricos escasseiam, visto que os diversos setores de atividade económica, como agricultura, indústria, comércio, saneamento básico, ambiente, obras públicas e turismo deles dependem.

Gomes (2007) salienta que a água é um fator importante ao desenvolvimento socioeconómico de Cabo Verde, mesmo sendo limitada. Considera que, este não tem sido acompanhado pelo controlo da exploração e gestão dos recursos existentes uma vez que, desde os anos setenta, as utilizações

de água na ilha de Santiago são bastante dependentes das águas subterrâneas provenientes de furos, poços e nascentes, com conseqüente sobreexploração de aquíferos. Por isso, para se conseguir na ilha de Santiago a tão desejada e esperada gestão integrada e sustentável de recursos hídricos, torna-se necessário apostar na construção de infraestruturas para armazenamento de águas superficiais, na dessalinização da água do mar e na recarga artificial de aquíferos, bem como na sensibilização das populações para a importância da utilização estratégica da água, sua valorização e proteção.

Segundo Pina (2009) a pressão sobre os recursos hídricos em Cabo Verde tem vindo a aumentar, devido à escassa precipitação ocorrida nos últimos anos, ao incipiente aproveitamento de águas superficiais e à gradual contaminação das águas subterrâneas.

Este assunto não é estranho a Ventura & Mascarenhas (2009) que admitem ser a falta de água na ilha de Santiago e a sobreexploração das águas subterrâneas razões suficientes para a necessidade de implementar uma gestão sustentável dos recursos hídricos, para resolver a falta de quantidade e qualidade da água. É urgente desenvolver uma nova visão estratégica sobre os recursos hídricos da ilha para ser possível satisfazer as necessidades face à demanda. A adoção de medidas para o uso sustentável dos recursos hídricos, a melhoria da exploração dos recursos existentes e a procura de novas fontes alternativas são caminhos a ter em conta para fazer face às necessidades.

Segundo Gominho (2010) o aumento da população, o desenvolvimento urbano, o crescimento da demanda para irrigação, turismo e indústria, aliados à seca prolongada nos últimos anos em Cabo Verde, têm agravado situações de escassez de água que tendem a aumentar se não forem tomadas medidas no âmbito da gestão. Chama a atenção para a importância da adoção, em Cabo Verde, de políticas de gestão que sejam capazes não só de melhorar o aproveitamento dos recursos hídricos existentes, mas também de conseguirem uma gestão sustentável bem como de confirmarem a água como um bem essencial e imprescindível ao desenvolvimento dos vários setores económicos. Reforça ainda que uma gestão adequada dos recursos hídricos passa, também, pela existência de um sólido enquadramento legal e jurídico.

Os problemas levantados por estes autores mostram bem a gravidade da escassez de água na ilha de Santiago e a necessidade de mais investimento no domínio dos recursos hídricos, uma vez que o desenvolvimento do país depende da sua existência. Para a resolução deste grande problema, talvez o maior do país, de forma a mitigar a falta de água, o Governo de Cabo Verde tem feito vários investimentos na construção de barragens para aproveitamentos da água da chuva para fins agrícolas e no processo de dessalinização.

De acordo com o site do Ministério do Desenvolvimento Rural (MDR) de Cabo Verde, na ilha de Santiago, o Governo de Cabo Verde tem feito avultados investimentos na construção de barragens superficiais de forma a mitigar a falta de água face às crescentes necessidades. A primeira barragem construída foi a barragem de Poilão, situada na Bacia Hidrográfica da Ribeira Seca, construída em 2006 para fins agrícolas, com um volume útil de albufeira de 1 200 000 m³ e o volume máximo de armazenamento de 1 700 000 m³. Atualmente na ilha de Santiago encontra-se em construção a barragem de Salineiro, situada a cerca de 2 km da localidade de Salineiro na Ribeira Grande, com capacidade de armazenamento na albufeira, à cota máxima, de 701 840 m³ e um volume útil de 561

464 m³, a barragem de Faveta, situada na Bacia Hidrográfica de Picos, com capacidade de armazenamento anual de 670 000 m³ e a barragem de Saquinho, situada na Bacia Hidrográfica de Escadas de Saquinho no concelho de Santa Catarina, com capacidade de armazenamento de 704 830 m³. Ainda está prevista a construção da barragem da Figueira Gorda situada na Ribeira de Boaventura, no conselho de Santa Cruz, com capacidade de armazenamento na albufeira, à cota máxima, de 1 819 090 m³ e um volume útil de 1 455 272 m³.

Segundo Correia (2010) na Bacia Hidrográfica dos Engenhos, no âmbito do Projeto de Ordenamento e Valorização das Bacias Hidrográficas de Picos e Engenhos, financiado pelo Banco Africano de Desenvolvimento (BAD), Banco Árabe para o Desenvolvimento Económico em África (BADEA), Fundo Africano de Desenvolvimento (FAD) e pelo Governo de Cabo Verde, foram construídos vários reservatórios para armazenamento de água superficial para aproveitamento agrícola. Foram também construídas infraestruturas para correção do escoamento torrencial característico de zonas montanhosas insulares com o intuito de reduzir a velocidade e aumentar a infiltração. As Figuras 2.1 e 2.2 mostram algumas das obras efetuadas na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.



Figura 2.1 - Reservatórios superficiais construídos na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.

Fonte: Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 25/06/2012.



Figura 2.2 - Infraestruturas de correção torrencial construídos na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.

Fonte: Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 25/06/2012.

A construção dos reservatórios permitiu minimizar a falta de água na Bacia principalmente para a agricultura, contribuindo assim na melhoria da produção agrícola e conseqüentemente melhoria da condição financeira de muitas famílias, chefiadas apenas por mulheres, que vivem principalmente da prática da agricultura de regadio. Mesmo assim, a principal fonte de água na região é de origem subterrânea, explorada através de furos, poços e nascentes de forma desregulada, com conseqüente sobreexploração de aquíferos. Apesar de tudo é importante referir que muito está por fazer nomeadamente na sensibilização da população para a importância do uso racional da água, bem como para a sua preservação, no controlo da qualidade da água, na avaliação dos recursos hídricos disponíveis e na formação dos jovens. Em suma, na implementação de uma nova cultura da água e na procura de novas formas de armazenamentos como, por exemplo, apostar na recarga artificial de aquíferos.

2.2. Recarga artificial de aquíferos

A recarga artificial de aquíferos é uma técnica com alguns anos. É recentemente considerada como sendo uma importante ferramenta na gestão dos recursos hídricos. Esta está a ser utilizada em diversos países e por isso têm sido desenvolvidos muitos trabalhos científicos sobre esta temática, que serão referências bibliográficas relevantes para o desenvolvimento desta dissertação.

Em Portugal, a Lei da Água nº 58/2005 considera a recarga artificial de aquíferos como sendo uma técnica adequada para conseguir alcançar os objetivos previstos até 2015, no que refere a conseguir alcançar um bom estado das massas de águas subterrâneas.

A recarga artificial de aquíferos é uma técnica inédita em Cabo Verde constituindo, por isso, um grande desafio. Apesar de serem inexistentes os estudos académicos sobre o tema, o Plano de Ação e Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (PAGIRE) de Cabo Verde considera a recarga artificial de aquíferos como uma das soluções estratégicas a seguir para o aumento da disponibilidade de água em algumas bacias hidrográficas de Cabo Verde.

Neste subcapítulo apresenta-se uma descrição detalhada sobre a técnica de recarga artificial de aquíferos, passando por definir a recarga artificial e os seus fundamentos; estudar os diversos sistemas de recarga artificial; enumerar os aspetos a considerar num projeto de recarga artificial e descrever alguns exemplos de aplicação da técnica de recarga artificial de aquíferos no mundo.

2.2.1. Definição e fundamentos da recarga artificial de aquíferos

As definições e fundamentos da recarga artificial de aquíferos nem sempre coincidem. Foi, este processo, definido como um conjunto de técnicas cujo principal objetivo é permitir uma melhor exploração dos aquíferos com o aumento dos seus recursos e criação de reservas, mediante a intervenção direta ou indireta no ciclo natural da água (Freeze & Cherry, 1979).

A recarga artificial consiste em introduzir água no aquífero de forma artificial, para aumentar a disponibilidade e ou melhorar a qualidade das águas subterrâneas (Custodio & Llamas, 1983).

Para Bouwer (2002) a recarga artificial de aquíferos consiste em colocar água superficial em bacias de inundação, sulcos, valas ou outras depressões topográficas para induzir a infiltração natural de água no solo e subsequente recarga de aquíferos.

Reddy (2008, *in* Sayit & Yazicigil, 2012) considera que a recarga artificial de aquíferos consiste num sistema de engenharia concebido para introduzir e armazenar água no subsolo.

Roseiro (2009) define a recarga artificial de aquíferos como sendo o armazenamento de excedentes hídricos em meio subterrâneo nos períodos de maior disponibilidade para serem utilizados em períodos de seca ou escassez.

A recarga artificial de aquíferos tem sido utilizada para aumentar a qualidade e quantidade de recursos hídricos (Bouwer, 2002; SEWRPC, 2006; Reddy, 2008 *in* Sayit & Yazicigil, 2012) e, em diversos campos de atuação, para prevenir fenómenos de intrusão salina em aquíferos costeiros, reciclagem de águas residuais, controlo de cheias, armazenamento de água em períodos de superávit hídrico e em projetos de gestão integrada e sustentável da água (Lehr, 1982; Lee *et al.*, 1992; Philips, 2003, *in* Reddy, 2008).

Dillon (2005) considera que a recarga artificial é uma ferramenta importante na gestão da recarga de aquíferos, constituindo a forma mais barata para o abastecimento a pequenos aglomerados populacionais e constituir a solução viável para alcançar os objetivos do Milénio decretado pelas Nações Unidas, no ano 2000, no tocante à água potável acessível a todas as pessoas, principalmente em zonas semiáridas e áridas.

Outros fundamentos para a recarga artificial de aquíferos são a gestão de abastecimento de água a curto e a longo prazo e o cumprimento de determinada legislação (SEWRPC, 2006). É uma técnica cada vez mais utilizada no armazenamento de água subterrânea a curto e a longo prazo, uma vez que apresenta várias vantagens em relação ao armazenamento superficial, no que se refere a questões económicas e a perdas por evapotranspiração. Estas, em sistemas superficiais, são muito elevadas e praticamente nulas em sistemas subterrâneos (Bouwer, 2002; Dillon, 2005).

Para além da recarga artificial existem outras formas de recarga de aquíferos, designadamente a recarga natural, facilitada, induzida e acidental (Bouwer, 2002; Roseiro, 2009).

A recarga natural representa a quantidade de água que se infiltra no subsolo sem nenhuma interferência do ser humano. Esta constitui uma componente do ciclo hidrológico e resulta da diferença entre as entradas de água no solo, através da precipitação e da infiltração a partir de rios, lagos e cursos de águas naturais, e as saídas pela evapotranspiração e escoamento superficial. É o

processo responsável pela formação e manutenção das águas subterrâneas e que está dependente das condições climáticas (Bouwer, 2002; Roseiro, 2009).

A recarga facilitada é conseguida principalmente pela substituição da vegetação com raízes profundas por vegetação com raízes superficiais ou mesmo optar por solos sem cobertura vegetal. Ainda pode ser obtida mudando para plantas que interceptem menos a precipitação com a sua folhagem, aumentando assim a quantidade de água que chega ao solo. Estas intervenções permitem melhorar a capacidade de infiltração do solo (Querner, 2000 *in* Bouwer, 2002).

A recarga induzida consiste em colocar furos, relativamente perto de cursos de água ou rios, possibilitando a recarga do aquífero subjacente com uma boa quantidade da água proveniente destes, através do rebaixamento do nível de água no aquífero. Este processo é muito usado como sistema de pré-tratamento da água do rio, antes do bombeamento para sistemas de tratamentos de água superficial para abastecimento. Também é utilizada em rios contaminados e ainda quando há preferência da água subterrânea em relação à água superficial para abastecimento público (Kühn, 1999 *in* Bouwer, 2002).

A recarga accidental é resultante de atividades antropogénicas que não se destinam a recarga de água subterrânea. Estas atividades incluem o uso de fossas sépticas não impermeabilizadas, a lixiviação, drenagem e ou percolação profunda a partir de campos irrigados, as escorrências em zonas urbanas em época de chuva e ainda a ocorrência de fenómenos de rotura de sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais (Bouwer *et al.*, 1999a; Bouwer, 2000b *in* Bouwer, 2002; SEWRPC, 2006).

2.2.2. Sistemas de recarga artificial de aquíferos

A recarga artificial de aquíferos é utilizada mundialmente onde são aplicados e experimentados diversos sistemas. Por isso, os métodos aplicados diferem de autor para autor.

Embora existam diversos estudos sobre os sistemas de recarga artificial de aquíferos, somente são destacados alguns dos publicados.

Segundo Diaz *et al.* (2000), os métodos de recarga artificial podem ser agrupados em dois grandes grupos, à superfície e em profundidade. A escolha e a definição dos sistemas diferem se a recarga é feita por infiltração através da superfície do solo e/ou por introdução direta da água no aquífero através de furos. Os métodos de recarga artificial à superfície consistem em conseguir uma grande superfície de contacto água/terreno e são utilizados normalmente em aquíferos livres, com baixos níveis de permeabilidade nas proximidades dos terrenos. Estes incluem as represas, enchimentos permeáveis e o remeximento superficial dos leitos, no caso dos leitos dos rios e depressões, e as sanjas ou buracos pouco profundos, campos extensos e canais, se aplicados fora dos leitos dos rios.

Os métodos de recarga em profundidade podem ser definidos como a introdução de água no aquífero, geralmente, através de poços, furos e outros. São utilizados em terrenos com níveis entre permeável e impermeável e incluem os furos de injeção, os drenos e galerias, as valas, as sondagens

e ainda as depressões calcárias do tipo dolinas (Figura 2.3). É importante referir que a água a ser injetada através de dolinas deve ser de boa qualidade ou potável.



Figura 2.3 - Injeção em dolinas como exemplo de recarga em profundidade.

Fonte: www.panoramio.com/photo/68707856.

Os métodos devem ser bem analisados de modo que as escolhas tenham em conta as características do meio onde se pretende aplicar a técnica, considerando que poços e sondagens são sistemas aplicados em aquíferos que se encontrem a maior profundidade e ainda em casos onde existe pouca disponibilidade de terreno, mesmo sabendo que os sistemas aplicados à superfície apresentam menor complexidade técnica. Destacam-se ainda, de uma forma genérica, alguns fatores e aspetos que devem ser analisados na escolha de um determinado tipo de método (superficial e/ou em profundidade), designadamente o preço e a disponibilidade do terreno, fatores estéticos e ambientais, permeabilidade do aquífero, construção de instalações, volume de recarga, perdas por evapotranspiração, qualidade da água, colmatação e grau de depuração da água pelo solo. O Quadro 2.1 resume as vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de recarga artificial de aquíferos segundo Diaz *et al.* (2000).

Fatores	Métodos	
	Superficiais	Em profundidade
Preço e disponibilidade do terreno	Custo de terreno elevado, devido a necessidade de grandes áreas de infiltração	Custo baixo, devido a necessidade de pouco espaço
Fatores estéticos e ambientais	Pode apresentar problemas de proliferação de insetos e roedores. Requer cerca para proteger as pessoas e animais	Escasso
Permeabilidade do aquífero	Média a grande, pois permeabilidade baixa exige maior área para poder recarregar volume apreciável de água	Variável. Empregados quando existe alternância de níveis permeáveis/impermeáveis ou quando existe níveis pouco permeável entre a superfície do solo e o aquífero
Construção de instalações	Pode requerer terrenos para a construção de algumas instalações, como por exemplo de transporte de água. O que pode tornar o sistema muito complexo	Não exige sistemas complicados
Volume de recarga	Pode ser muito grande	Notavelmente inferior quando comparada com instalações superficiais
Perdas por evapotranspiração	Em certos casos, pode ser importante, dependendo do tamanho das instalações	Nulas
Requisitos de qualidade de água	Pequeno, uma vez que pode aproveitar o poder auto depurador da zona não saturada	Grande, uma vez que a água é introduzida diretamente no aquífero. As vezes implicam um custo de pré-tratamento significativo
Colmatação	Os problemas derivados da colmatação podem ser significativos. Por isso, a água de recarga deve apresentar baixo conteúdo de sólidos em suspensão	Apresenta grande suscetibilidade de colmatação
Depuração da água pelo solo	Grande. A passagem de água em meio não saturado é decisiva para se conseguir uma boa eliminação dos contaminantes	Pouca ou nula

Quadro 2.1 - Vantagens e desvantagens dos diferentes sistemas de recarga artificial de aquíferos (Diaz *et al.*, 2000).

Bouwer (2002), considera que os métodos de recarga artificial incluem a infiltração superficial, a infiltração na zona não saturada, os furos e os sistemas de recarga combinados.

Para Phillips (2003, *in* Sayit & Yazicigil, 2012), os métodos de recarga artificial podem ser sintetizados em métodos por alagamento, injeção direta e construção de barragens subterrâneas. Muitas vezes o processo baseia-se na conjugação de dois ou mais métodos.

Para Galle & Dillon (2005), existem muitos métodos para aumentar a recarga de aquíferos, em que os conhecimentos associados à sua construção e operação são variáveis. Para estes autores as metodologias utilizadas podem ser agrupadas nas seguintes categorias: a) métodos de distribuição, incluindo bacias de infiltração e tratamento solo-aquífero (TSA), inundações controladas e recarga acidental por irrigação; b) métodos que modificam os leitos dos rios, como bacias de percolação associadas às represas; c) métodos de recarga através de poços, túneis e perfurações, incluem os poços abertos e túneis para armazenamento e recuperação do aquífero; d) métodos por infiltração induzida nas margens dos rios, filtração nas margens e inter-dunas, e) recolha de água da chuva nas construções e em telhados.

Segundo SEWRPC (2006), os métodos de recarga artificial de aquíferos podem ser classificados de uma forma geral nas seguintes categorias: a) Infiltração superficial através de bacias e lagoas de infiltração e valas; b) Infiltração subsuperficial por meio de poços e trincheiras para introdução de água na zona não saturada; c) injeção direta, através de furos de injeção e que pode ser usada na recuperação do aquífero, designada por “ *Aquifer Storage and Recovery (ASR)* ”; d) recarga facilitada, alterando a superfície do solo de modo a aumentar a infiltração; e) filtração *riverbank*, incluindo a recarga induzida através de furos próximos de rios com o objetivo de induzir a infiltração de águas superficiais no aquífero; f) *Water banking*, onde a recarga de aquífero é feita através da aplicação dos métodos anteriores para futura recuperação. Ainda admite os diques, açudes e barragens subterrâneas como outras formas de recarga do aquífero.

A recarga induzida e facilitada são consideradas como outras formas de recarga de aquíferos (Bouwer, 2002; Roseiro, 2009), mas Diaz *et al.* (2000) consideram estas como um tipo de recarga artificial ou um caso particular do método da recarga artificial à superfície. Para SEWRPC (2006) a recarga facilitada é um tipo de recarga artificial.

Existem novos métodos de recarga artificial a serem estudados e experimentados, nomeadamente através de aquíferos artificiais, poços secos e trincheiras (Diaz *et al.*, 2000).

A escolha da técnica de recarga artificial a aplicar num determinado local deve ser bem analisada e adequada para se alcançar o objetivo pretendido, a nível técnico, económico e ambiental (Diaz *et al.*, 2000; SEWRPC, 2006).

2.2.3. Aspetos a considerar num projeto de recarga artificial de aquíferos

Um projeto de recarga artificial de aquíferos é concebido para alcançar um determinado objetivo face às necessidades de água, quer para uso doméstico, agrícola e industrial. Porém, antes de considerar qualquer hipótese de aplicação, devem ser analisadas as necessidades e a demanda atual e futura de água, os elementos de regulação, tanto a nível da extração superficial como subterrânea e avaliar a hipótese de enraizamento na gestão de maior regulamentação, o aumento da garantia de abastecimento ou na aplicação de critérios e técnicas que permitam a gestão conjunta ou coordenada da água, nas diversas origens (Diaz *et al.*, 2000).

Admitida a utilidade e o interesse da técnica como ferramenta válida e competitiva dentro dos diversos sistemas de regulação face às necessidades hídricas, torna-se imperioso avaliar a viabilidade da sua aplicação. O sucesso de um projeto de recarga artificial passa pela análise criteriosa e estudo dos seguintes fatores (Diaz *et al.*, 2000): quantidade e qualidade da água de recarga na sua origem, características do aquífero recetor, tipo de sistema de recarga a ser implementado, bem como, a existência de condições auxiliares, nomeadamente o tratamento, controlo, monitorização e transporte da água de recarga, compreensão do processo de colmatação, volume de água infiltrada, viabilidade económica e aspetos legais e de gestão. Por outro lado, na elaboração de um projeto de recarga artificial também devem ser incluídos alguns trabalhos, nomeadamente estudos hidrogeológicos prévios e detalhados, modelação matemática, construção de uma instalação piloto e o seu acompanhamento, e por fim a elaboração do projeto final e construção da instalação com carácter industrial (ASCE, 2001 *in* Roseiro, 2009)

A duração de um projeto de recarga artificial, desde do início do estudo hidrogeológico até o fim da construção da última instalação, normalmente é de 2 a 5 anos (Diaz *et al.*, 2000).

Água de recarga na sua origem

Num estudo de recarga artificial de aquíferos a disponibilidade de água, tanto em quantidade como em qualidade, constitui um fator primordial a ter em conta, não apenas numa perspetiva espacial mas também temporal. É fundamental durante os estudos a análise da sua natureza, localização dos pontos de água, caudal disponível e sua variação ao longo do tempo, qualidade e variabilidade temporal (Diaz *et al.*, 2000).

A água a usar na recarga artificial de aquíferos pode ser proveniente de várias fontes, designadamente da água superficial contínua ou descontínua, residual doméstica tratada e ainda proveniente de outro aquífero, águas importadas de outras áreas, água da chuva e de escoamento de águas pluviais (Diaz *et al.*, 2000; SEWRPC, 2006).

A disponibilidade de água para recarga está dependente das condições hidrológicas de um determinado local. Em regiões áridas, a recarga artificial de aquíferos é condicionada tanto pela variabilidade da precipitação quanto pela sua qualidade, devido à distribuição irregular da precipitação e ao regime torrencial (Tubbs & Pereira, 2003).

No que se refere à qualidade da água os principais controlos periódicos efetuados devem centrar-se no estudo da composição físico-química dos principais componentes, na composição em compostos azotados, fosfatados e orgânicos, em metais pesados, elementos radioativos e aspetos bacteriológicos. O estudo da qualidade da água de recarga deve ser controlado periodicamente mediante técnicas analíticas adequadas (Diaz *et al.*, 2000).

Características dos aquíferos recetores

A aplicação da técnica de recarga artificial de aquíferos requer a existência de formação permeável, que reúna condições de armazenamento e transmissão da água. Sua efetividade está profundamente ligada às características hidrogeológicas, hidrodinâmicas e de armazenamento do aquífero recetor, bem como do regime de exploração a que se encontra submetido. Por estas razões nem todos os aquíferos apresentam condições adequadas para aplicação desta técnica (Bouwer, 2002; Diaz *et al.*, 2000). Contudo, a sua aplicação requer a determinação da taxa de infiltração do solo e da permeabilidade do aquífero, sendo imprescindível a caracterização de zonas poluídas e que o aquífero seja suficientemente transmissível. Para isso torna-se necessário obter o conhecimento detalhado das características do aquífero recetor, o que requer investigação pormenorizada de campo (Bouwer, 2002; Diaz *et al.*, 2000).

Análise dos diferentes sistemas de recarga assim como dos auxiliares de tratamento, controlo, monitorização e transporte da água de recarga

Na escolha de um determinado tipo de sistema de recarga artificial de aquíferos devem ser analisadas detalhadamente, caso a caso, todas as possibilidades. No entanto há que equacionar e escolher o sistema mais adequado tanto a nível económico, técnico e ambiental. Daí numa abordagem geral torna-se necessário analisar os diferentes tipos de instalação de infiltração, necessidade e tipo de instalação auxiliar, designadamente de tratamento, controlo, monitorização e de transporte de água para a recarga (Diaz *et al.*, 2000, Roseiro, 2009).

Os métodos de recarga artificial existentes são variáveis e distintos, por isso a sua escolha depende do objetivo pretendido e/ou se a recarga é feita através de infiltração ou introdução direta de água no aquífero por meio de furo. O tamanho da instalação de recarga artificial é determinado pelo método de recarga artificial adotado, superficial ou em profundidade, bem como de aspetos hidráulicos do terreno e característica hidrodinâmica do aquífero. Ainda é importante referir que, para o dimensionamento de dispositivo de recarga, é fundamental a determinação da taxa de infiltração, fator que condiciona o tamanho e o desenho das obras (Diaz *et al.*, 2000).

A maioria das fontes de água para recarga artificial requer algum tipo de tratamento antes da recarga. Por isso, tanto em sistemas à superfície como em profundidade, torna-se necessário a instalação de dispositivos de decantação e sedimentação, o que se reflete no custo total das obras.

Em pequenas instalações pode-se optar por colocar filtros no fundo, uma vez que o investimento económico supostamente não deve ser agravado. Quando a recarga artificial é feita com água residual tratada, devido às suas características, é necessário recorrer a instalações, normalmente ETARs, para o tratamento primário e secundário (Diaz *et al.*, 2000; SEWRPC, 2006).

O sucesso da técnica de recarga artificial de aquíferos passa também pela existência de operações de controlo e monitorização. Estas operações permitem, por um lado, quantificar os efeitos produzidos em quantidade e qualidade da água do aquífero e, por outro, influenciar na tomada de decisões, de uma forma rápida e adequada para se conseguir uma boa gestão da operação de infiltração assim como a ulterior recuperação da água recarregada. Os parâmetros a serem monitorizados com maior rigor são o nível piezométrico, a hidroquímica da água subterrânea, o caudal e a qualidade de água da recarga (Diaz *et al.*, 2000).

Para conduzir a água de recarga para as instalações de infiltração é necessário dispor de uma infraestrutura de condução adequada. Podem ser utilizados tubos, valas e canais para o transporte e, em alguns casos, poderá ser necessário construir depósitos ou estruturas de armazenamento de água (Diaz *et al.*, 2000).

Colmatação

A colmatação é definida como sendo a diminuição da capacidade de infiltração, provocada pela acumulação de materiais sobre a superfície de infiltração da água. Esta constitui uns dos mais graves problemas que surgem no processo de recarga artificial e são provocados por processos físicos, químicos e biológicos (Diaz *et al.*, 2000; Bouwer, 2002).

Na elaboração de um projeto de recarga torna-se necessário estudar e implementar medidas que minimizem este processo, nomeadamente analisar com maior rigor a qualidade da água de recarga, projetar sistemas de limpezas, bem como de descolmatação das instalações de recarga artificial e ainda projetar um sistema com baixa concentração de sólidos suspensos (Diaz *et al.*, 2000; Bouwer, 2002).

Água infiltrada

Na elaboração de um projeto de recarga artificial é fundamental a análise da água a usar na recarga pois é preciso que esta permaneça no aquífero o tempo suficiente para permitir a sua utilização futura. Assim como a sua qualidade final deve ser adequada para os usos a que se destina. Daí ser necessário proceder a uma análise pormenorizada do tempo de armazenamento, grau de recuperação da água da recarga infiltrada e qualidade da água resultante (Diaz *et al.*, 2000).

Avaliação económica

A realização e implementação de um projeto de recarga artificial de aquíferos pode ter custos elevados, mas na escolha desta alternativa não deve ser considerado substancialmente o aspeto económico. Pelo contrário, deve atender-se às vantagens sociais e ambientais resultantes da sua implementação. O estudo da viabilidade económica deve ser separado em duas fases distintas, pois a primeira fase é dedicada ao armazenamento da água e a segunda à fase de exploração. O custo de um projeto de recarga artificial deve incluir o custo dos estudos hidrogeológicos prévios, da água de recarga, do terreno, da instalação de pré-tratamento da água, quando necessária, das instalações auxiliares de controlo e de monitorização, da instalação de recarga artificial e de exploração e manutenção. O custo final é variável e dependente do local onde irá ser implementado e do tipo de sistema escolhido (Diaz *et al.*, 2000).

Aspetos legais e de gestão

A implementação da técnica de recarga artificial de aquíferos e sua eficiência requerem a existência de uma boa base legislativa, bem como de boas práticas e estratégicas medidas de gestão.

2.2.4. Aplicações da técnica de recarga artificial de aquíferos no mundo

A recarga artificial tem sido desenvolvida e experimentada em vários países por todo o mundo e considerada, nos últimos anos, como sendo uma importante ferramenta para gestão dos recursos hídricos subterrâneos. O objetivo da sua aplicação é determinado pela necessidade de cada local (Fernández & Garcia, 2004).

A recarga artificial foi e é utilizada em mais de 32 estados e 26 países (Topper *et al.*, 2004 *in* SEWRPC, 2006). Segundo Weeks (2002, *in* SEWRPC, 2006) os Serviços Geológicos dos Estados Unidos da América (*United States Geological Survey-USGS*) estão envolvidos nestes projetos há mais de 100 anos, tendo sido a maioria de recarga artificial de aquífero realizada nas regiões áridas e semiáridas do oeste ou em regiões onde o aumento da população e a agricultura provocaram escassez de água, como na Califórnia, Arizona, Nevada, Florida, Kansas, Colorado, New Jersey e New York (ASCE, 2001 *in* SEWRPC, 2006).

Segundo Roseiro (2009), foi realizado um inventário sobre o número de casos de recarga artificial de aquíferos no mundo, num projeto piloto designado por "*Artificial Recharge of Groundwater in the World*", coordenado pelo *Acacia Institute* e *International Groundwater Resources Assessment Centre* (IGRAC). Deste trabalho resultou um mapeamento preliminar do número de experiências de gestão de recarga artificial de aquíferos existentes no mundo através da ferramenta *Global Groundwater Information System* (2004), criada pelo IGRAC. No Quadro 2.2 encontra-se o número de casos sobre

a aplicação da técnica de recarga artificial de aquíferos no mundo, por continente e por número de ocorrências, numa escala que varia entre, mais de 30, 10 a 30, 5 a 10 e menos de 5 casos, permitindo constatar que esta técnica é praticada em mais de 50 países, principalmente nos EUA, Austrália, Índia, China, Espanha e Holanda. Apesar dos números, é salientada a existência de algumas lacunas nesta ferramenta.

Em Espanha, são conhecidas várias aplicações da técnica de recarga artificial. Segundo De la Orden *et al.* (2003), o Instituto Geológico e Mineiro de Espanha (IGME) é o organismo que mais tem efetuado experiências de recarga artificial de aquíferos, destacando-se a recarga artificial no aquífero do rio Oja no vale do rio Verde, na região de Guadix, no aquífero de calcarenitos de Carmona e no aquífero aluvial do rio Guadalquivir, nos aquíferos profundos no vale do rio Esqueva e em muitos outros. Estas experiências foram realizadas maioritariamente em aquíferos detríticos.

Em Cabo Verde desconhece-se a existência desta técnica de recarga artificial de aquíferos, mas muitos autores já a tem referido como sendo uma das soluções para aumentar a disponibilidade de água em algumas bacias hidrográficas.

Em Portugal, Roseiro (2009) estudou a possibilidade de aplicação da recarga artificial ao sistema aquífero de Campina de Faro, situado no Algarve, onde desencadeou uma série de experiências com o objetivo de o reabilitar, visando a aplicação *in situ* de diferentes metodologias de recarga artificial de forma a mitigar as consequências provocadas pela poluição difusa oriunda de práticas agrícolas na região.

Destacam-se ainda os estudos realizados recentemente por Tizro, Vondouris & Akbari (2010) e Sayit & Yazicigil (2012). Tizro, Vondouri & Akbari (2010), desenvolveram um modelo de simulação de recarga artificial no aquífero Bahar, um dos mais importantes do ponto de vista económico, situado na parte ocidental da região semiárida do Irão. O bombeamento intensivo de água subterrânea para irrigação provocou o rebaixamento do nível freático e para recuperação foi feita recarga artificial com água do rio através da injeção em 13 poços. Foi usado um modelo tridimensional de forma a simular a resposta do aquífero. Os resultados serviram de apoio às autoridades locais na tomada de decisões no planeamento e gestão de águas subterrâneas. Concluíram que a recarga artificial do aquífero constituía uma solução ambiental, como parte integrante na gestão dos recursos hídricos.

Sayit & Yazicigil (2012) estudaram a possibilidade de conciliar o alagamento com a construção de uma barragem subterrânea para a recarga artificial de aquífero na bacia do rio Kucuk Menderes, na Turquia. Para estes autores, os passos e os fatores que devem ser tidos em conta para localizar e conceber um projeto de recarga artificial, já enumerados por muitos, passam por escolher o local com a geologia mais adequada, especificar a textura do solo e a área de recarga e existência de área disponível para que o processo se efetue, controlo de finos, manutenção da taxa de infiltração/percolação, qualidade da água de recarga e dimensão de pré-tratamentos. Do ponto de vista hidrogeológico interessa conhecer o tipo de aquífero, a permeabilidade, a litologia acima do aquífero, as características da zona não saturada, existência de heterogeneidades e outros fatores que possam afetar a taxa de recarga.

Continente/ nº de casos	> 30	10 a 30	5 a 10	<5
América	✓ Estados Unidos			<ul style="list-style-type: none"> ✓ Canadá ✓ México ✓ Peru ✓ Brasil ✓ Paraguai ✓ Argentina
Ásia	✓ Índia	✓ China	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nepal ✓ República Islâmica do Irão ✓ Emirados Árabes Unidos ✓ Omã ✓ Jordânia 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Rússia ✓ Arábia Saudita ✓ Israel ✓ Territórios Ocupados da Palestina ✓ República Árabe Síria ✓ Japão
África			<ul style="list-style-type: none"> ✓ Etiópia ✓ África do Sul ✓ Burkina Faso 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Marrocos ✓ Tunísia ✓ Egipto ✓ Sudão ✓ Chade ✓ Nigéria ✓ Mali ✓ Serra Leoa ✓ Camarões ✓ Somália ✓ Quênia ✓ Republica Unida da Tanzânia ✓ Malawi ✓ Namíbia
Europa	✓ Holanda	✓ Espanha	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Alemanha ✓ Hungria 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reino Unido ✓ França ✓ Suíça ✓ Áustria ✓ Polónia ✓ Finlândia ✓ Eslovénia ✓ Sérvia e Montenegro ✓ Roménia ✓ Eslováquia ✓ Republica Checa ✓ Letónia
Oceânia	✓ Austrália			

Quadro 2.2 - Inventário do número de casos de recarga artificial de aquíferos no mundo, por continente.

Fonte: Global Groundwater Information system-IGRAC (2004, in Roseiro, 2009).

CAPÍTULO 3 - ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO E GEOGRÁFICO DA ILHA DE SANTIAGO

3.1. Localização e população da ilha de Santiago

A ilha de Santiago está situada na parte sul do Arquipélago, entre os paralelos 15° 20' e 14° 50' de latitude norte e os meridianos 23° 50' e 23° 20' de longitude oeste do meridiano de Greenwich. Pertence ao grupo das ilhas do sotavento e é nesta ilha que se localiza a cidade da Praia, capital de Cabo Verde. Sendo a maior ilha de Cabo Verde, possui uma superfície de 991 km².

Administrativamente, divide-se em nove concelhos a designar: Tarrafal, Santa Catarina, Santa Cruz, Praia, São Domingos, São Miguel, São Salvador do Mundo, São Lourenço dos Órgãos e Ribeira Grande de Santiago (Figura 3.1).

De acordo com o Recenseamento Geral da População e Habitação do Instituto Nacional de Estatística de Cabo Verde (INECV), de 2010, tem uma população de 274 044 habitantes, o que corresponde a cerca de 55,7% da população total de Cabo Verde, que se cifra em 491 875 habitantes. Encontra-se distribuída da seguinte forma (Quadro 3.1): O concelho de Tarrafal com uma população de 18 565 habitantes na freguesia de Santo Amaro Abade; o de Santa Catarina com 43 297 habitantes na freguesia de Santa Catarina; o de Santa Cruz com 26 617 habitantes, na freguesia de Santiago Maior; o da Praia com 131 719 habitantes, na freguesia de Nossa Senhora da Graça; o de São Domingos tem uma população de 13 808 habitantes, divididos pelas freguesias de Nossa Senhora da Luz e São Nicolau Tolentino; o concelho de São Miguel com 15 648 habitantes na freguesia de São Miguel Arcanjo; o de São Salvador do Mundo possui uma população de 8 677 habitantes na freguesia de São Salvador do Mundo; o de São Lourenço dos Órgãos com 7 388 habitantes na freguesia de São Lourenço dos Órgãos; por último o concelho de Ribeira Grande de Santiago tem 8 325 habitantes, repartidos pelas freguesias de Santíssimo Nome de Jesus e São João Baptista.

Concelhos	Nº de habitantes
Tarrafal	18 565
Santa Catarina	43 297
Santa Cruz	26 617
Praia	131 719
São Domingos	13 808
São Miguel	15 648
S. Salvador do Mundo	8 677
S. Lourenço dos Órgãos	7 388
Ribeira Grande de Santiago	8 325
População total de Santiago	274 044
População total de Cabo Verde	491 875

Quadro 3.1 - Distribuição da população na ilha de Santiago, por concelhos (INECV, censo 2010).



Figura 3. 1 - Distribuição geográfica dos concelhos na ilha de Santiago.

3.2. Clima

O clima tropical seco caracteriza a ilha de Santiago, correspondendo ao clima da zona saheliana. Possui duas estações, uma curta estação de chuva e os restantes meses secos. A estação das chuvas normalmente decorre de julho a outubro, com precipitações torrenciais e variáveis no espaço e no tempo, sendo a precipitação média na ilha de Santiago de 321 mm/ano (Pina, 2009).

Os ventos, de vários tipos, são determinados pelas massas de ar predominantes, designadamente os ventos alísios de nordeste, vento harmatão e ventos de monção de sudeste. Os ventos constituem fator primordial na ocorrência e distribuição das precipitações na ilha (Pina, 2009).

O clima é variável e influenciado pela altitude, isto é, as precipitações médias anuais variam consoante a cota. Em altitudes, entre 300 m a 400 m, as precipitações variam de 200 mm a 300 mm e nas zonas sobre influência dos ventos alísios, as precipitações variam de 100 mm a 150 mm e nas encostas expostas aos mesmos ventos, as precipitações podem variar de 600 mm a 700 mm, podendo chegar aos 1000 mm (Gomes & Pina, 2003).

A temperatura na ilha de Santiago oscila entre 25 °C e 27 °C nos meses mais quentes e 22 °C a 24 °C nos meses mais frios (Gomes & Pina, 2003).

3.3. Geologia

A ilha de Santiago bem como todas as ilhas de Cabo Verde são de origem vulcânica. Os trabalhos realizados por Serralheiro, em 1976, conducentes à elaboração da carta geológica da ilha de Santiago, na escala 1:25 000 (Figura 3.10), bem como a contribuição do estudo efetuado por Alves *et al.* (1979) com o título *Estudo geológico, petrológico e vulcanológico da ilha de Santiago*, permitiram definir a sequência vulcano-estratigráfico na ilha de Santiago.

As principais unidades geológicas, das mais antigas às mais recentes, segundo Alves *et al.*, 1979, que podem ser observadas na ilha de Santiago são: I - *Complexo Eruptivo Interno, Antigo (CA)*; II - *Conglomerados Ante-formação dos Flamengos (cong.)*; III - *Formação dos Flamengos ($\lambda\rho$)*; IV - *Formação dos Órgãos (CB)*; V - *Formação Lávica pós-Formação dos Órgãos*; VI - *Sedimentos Posteriores à Formação dos Órgãos e Anteriores às Lavas Submarinas Inferiores (LRi) do Complexo do Pico de Antónia*; VII - *Complexo Eruptivo do Pico de Antónia (PA)*; VIII - *Formação de Assomada (A)*; IX - *Formação do Monte das Vacas (MV)* e X - *Formações Sedimentares Recentes de Idade Quaternária (a, e, d, dv, c, casc.)*.

I - Complexo Eruptivo Interno, Antigo (CA)

Segundo Alves *op. cit.*, o *Complexo Eruptivo Interno, Antigo* é a formação mais antiga da parte emersa da ilha de Santiago e diz respeito, principalmente, à densíssima rede filoniana que forma como que o esqueleto do vulcão no nível atual da erosão. Os afloramentos desta unidade geológica podem ser encontrados até uma altitude de 650 m, evidenciando que o crescimento do aparelho

eruptivo terá sido feito por atividade central e, depois, filoniana difusa, o que justifica a dispersão deste por quase toda a superfície atual da ilha. Referem estes autores que os filões predominantes são os basálticos, que teriam destruído quase totalmente as escoadas. São visíveis também filões fono-traquíticos e intrusões de rochas granulares. Tendo por base uma cronologia relativa, sem que sejam claras as relações entre as várias unidades, esta formação é subdividida, pelos mesmos autores, em: a) *Complexo filoniano de base de natureza essencialmente basáltica (CA)*; b) *Intrusões de rochas granulares silicatadas (γ)*; c) *Brechas intravulcânicas e filões brechóides (B)*; d) *Intrusões e extrusões fonolíticas e traquíticas (φ)* d) *Carbonatitos (Cb)*.

Os afloramentos das rochas do *Complexo Eruptivo Interno, Antigo* são visíveis principalmente a norte, na baía do Tarrafal, Chão de Arruela e baía de Angra, no centro, na vasta depressão ladeada pelas serras do Pico de Antónia, da Malagueta, de Palha Carga e de Monte Pedroso e a sul, nos vales das ribeiras de Santa Ana, de S. Martinho Grande, da Trindade, do Forno, de Veneza, de S. Domingos, de Portete, de S. Francisco e do Lobo.

A Figura 3.2 mostra exemplos de afloramentos da Formação do *Complexo Eruptivo Interno, Antigo* nas ribeiras do Charco e São João Baptista.

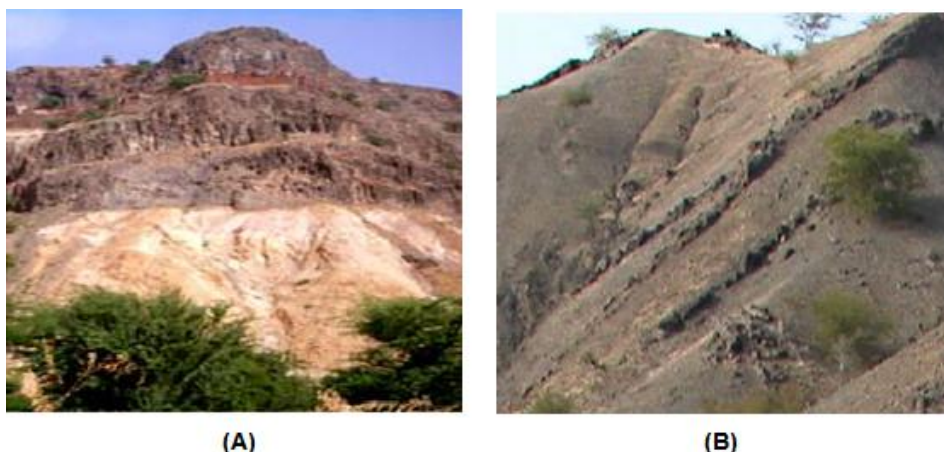


Figura 3. 2 - Fotografias da Formação do *Complexo Eruptivo Interno, Antigo*, na ribeira do Charco (A) e na ribeira de São João Baptista (B) (Pina, 2009 e Gomes & Pina, 2004 in Gomes, 2007).

II - Conglomerados Ante-Formação dos Flamengos (cong.)

Correspondem às formações conglomeráticas que repousam sobre o *Complexo Eruptivo Interno, Antigo*, mostrando-se em alguns casos em concordância com a *Formação dos Flamengos*. Os afloramentos de conglomerado encontram-se em vários locais a sul na ilha e apenas num local a norte, mais concretamente na baía de Angra (Alves *et al.*, 1979).

III - Formação dos Flamengos ($\lambda\rho$)

A natureza submarina caracteriza a *Formação dos Flamengos* que sobrepõe o *Complexo Eruptivo Interno, Antigo*, em situação de grande discordância. É constituída por mantos, brechas e piroclastos, básicos, uniformes e extensos, de natureza submarina. No entanto, existe o convencimento de que tenha ocorrido vulcanismo subaéreo síncrono com aquela atividade, mas não foi possível encontrar os seus testemunhos. Provavelmente teriam sido encobertos pelos grandes empilhamentos lávicos da série do Pico da Antónia (Alves *et al.*, 1979).

Os afloramentos desta unidade podem ser encontrados em grande parte da ilha, nomeadamente, desde a ribeira do Linho, na vertente oeste até à ribeira do Milhafre, situada na parte leste. Na parte sul da ilha estão localizadas desde o nível do mar até à altitude de cerca de 450 m, principalmente na ribeira de Águas Podres e Achada (Alves *et al.*, 1979).

A Figura 3.3 mostra exemplos de afloramentos da *Formação dos Flamengos*, na zona de Boa Entradinha e ribeira dos Flamengos.

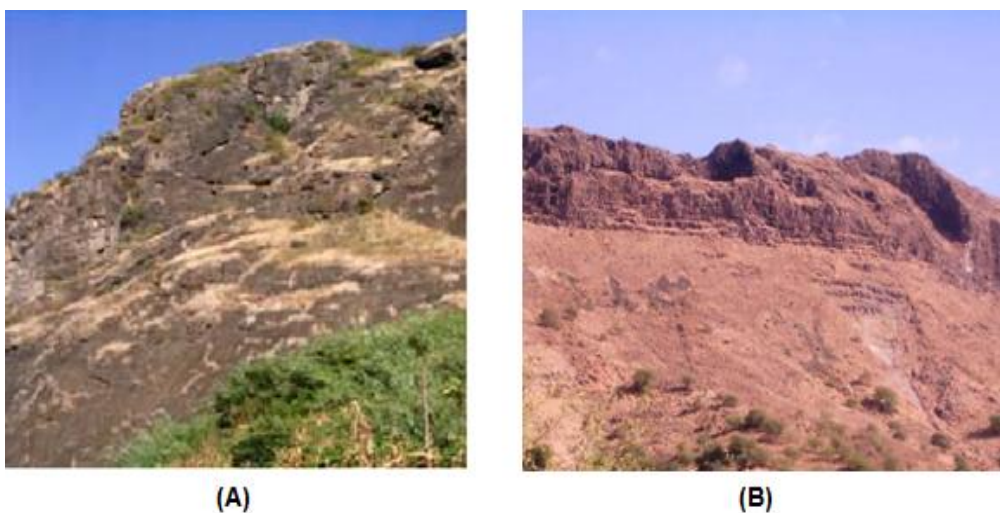


Figura 3. 3 - Exemplos da *Formação dos Flamengos*, na zona de Boa Entradinha (A) e ribeira de Flamengos (B) (Pina, 2009 e Gomes & Pina, 2004 *in* Gomes, 2007).

IV - Formação dos Órgãos (CB)

Segundo Alves *et al.* (1979), a *Formação dos Órgãos* é caracterizada por ser muito espessa e constituída por elementos angulosos, subangulosos e arredondados. É uma formação complexa e heterogénea, incluindo intercalações arenosas e puramente conglomeráticas e ainda alguns episódios lávicos (embora escassos). Para estes autores, esta formação é formada principalmente por elementos de origem basáltica. Os afloramentos desta formação podem ser encontrados, com maior expressão, na parte sudoeste da ilha e em menor quantidade na parte norte e oeste.

A Figura 3.4 mostra exemplos de afloramentos da *Formação dos Órgãos*, em São Jorge e Poilão (local onde foi construída a barragem de Poilão).

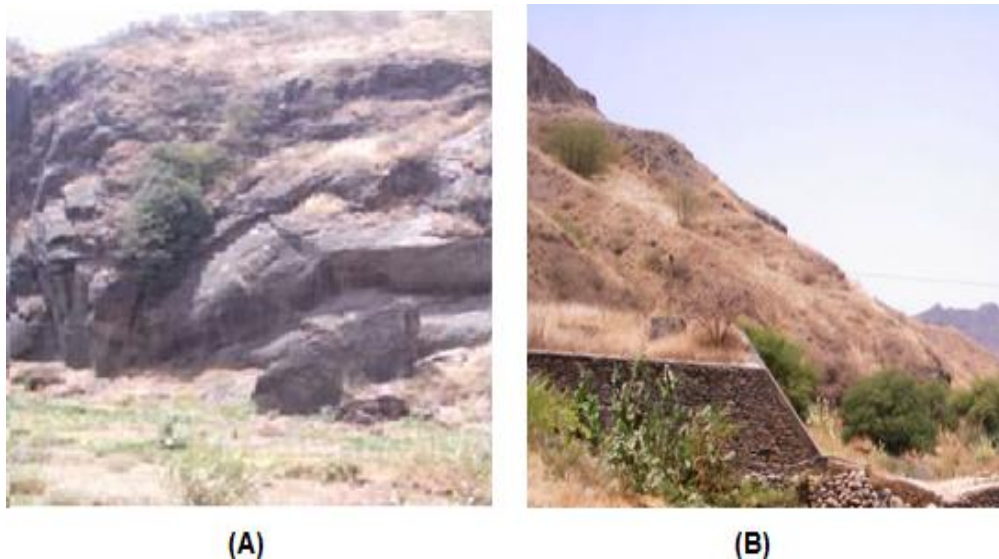


Figura 3. 4 - Exemplos de *Formação dos Órgãos*, em São Jorge (A) e em Poilão (B) (Pina, 2009 e Gomes & Pina, 2004 in Gomes, 2007).

V - Formação Lávica Pós-Formação dos Órgãos

Corresponde à fase traquítica *pós-formação dos Órgãos*. Os afloramentos desta formação podem ser observados no Monte Branco (Figura 3.5), localizado a menos de 1,5 km a oeste de Belém, entre duas linhas de água tributárias da ribeira de São João. A sul da ilha encontra-se o único e pequeno prolongamento de brecha de crescimento (Alves *et al.*,1979).

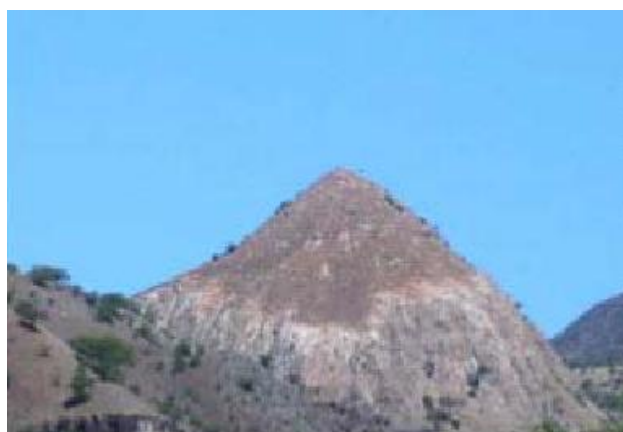


Figura 3. 5 - Monte Branco, exemplo de afloramento da *Formação Lávica Pós-Formação dos Órgãos* (Gomes, 2007).

VI - Sedimentos Posteriores à Formação dos Órgãos e Anteriores às Lavas Submarinas Inferiores (LRi) do Complexo do Pico de Antónia

De acordo com Alves *et al.* (1979), esta formação é constituída por rochas sedimentares, designadamente conglomerados e calcarenitos fossilíferos. Os afloramentos desta formação não podem ser representados no mapa da ilha de Santiago numa escala de 1:100 000, no entanto, podem ser encontrados na parte sul da ilha, na linha de água que sai do Monte Vermelho e Achada de Baixo, em Ribeirão Fundo, ribeira Boa Ventura, na ribeira de Fontão e na Ponta Preta.

VII - Complexo Eruptivo do Pico da Antónia (PA)

Segundo Alves *et al.* (1979), o *Complexo Eruptivo do Pico da Antónia* é o mais desenvolvido complexo vulcânico da ilha de Santiago, depois do *Complexo Eruptivo Interno, Antigo*, quer na duração, quer no volume dos produtos emitidos. Na ilha de Santiago está representado sob a forma de enorme empilhamento de escoadas, como pode ser observado nas serras de Pico de Antónia e da Malagueta. Ainda explicam que no decorrer dos períodos vulcânicos correspondentes à formação das séries deste complexo houve acontecimentos sedimentares que se encontram intercalados nos episódios magmáticos (Alves *et al.*, 1979).

O Quadro 3.2 mostra a sequência cronológica (das mais recentes para as mais antigas) e a correlação estratigráfica entre episódios magmáticos marinhos e terrestres do *Complexo Eruptivo do Pico de Antónia*.

Episódios magmáticos subaéreos e sedimentos terrestres	Episódios magmáticos submarinos e sedimentos marinhos
a) Mantos subaéreos e alguns níveis de piroclastos intercalados	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Conglomerados e calcarenitos fossilíferos ✓ Lavas submarinas em almofadas (Superiores, LR_s) ✓ Conglomerados e calcarenitos fossilíferos ✓ Lavas submarinas em almofadas (inferiores, LR_i)
b) Tufo-brecha (TB)	
c) Fonólitos, tranquitos e rochas afins (φ)	
d) Mantos subaéreos e alguns níveis de piroclastos intercalados	

Quadro 3.2 - Relação cronológica e estratigráfica (das mais recentes para as mais antigas) entre episódios magmáticos terrestres e marinhos do *Complexo Eruptivo do Pico de Antónia*, segundo Alves *et al.* (1979).

A Figura 3.6 mostra exemplos de afloramentos do *Complexo Eruptivo do Pico da Antónia*, em Serra Malagueta e Pico de Antónia.



Figura 3. 6 - Exemplo de *Complexo eruptivo do Pico da António*, em Serra da Malagueta (A) e Pico da Antónia (B) (Gomes & Pina, 2004 in Gomes, 2007).

VIII - Formação de Assomada (A)

Para Alves *et al.* (1979), a *Formação de Assomada* emerge após prolongado período de acalmia vulcânica e, conseqüentemente, actividade erosiva importante, em que surge um novo período eruptivo, exclusivamente subaéreo, de lavas de fácies basálticas, e os escassos piroclastos, que vêm repousar em discordância sobre o derrame do *Complexo Eruptivo do Pico de Antónia*. Esta formação apresenta características semelhantes aos depósitos recentes da formação do *Complexo Eruptivo do Pico de Antónia*, constituído por lavas e tufos. Afloramentos desta formação podem ser encontrados na zona que compreende o planalto de Assomada, achada Falcão, Fundura, achada Baixo, Charco, Ribeira da Barca, em alguns locais na descida da ribeira dos Engenheiros.

A Figura 3.7 mostra exemplos de afloramentos da *Formação dos Assomada*, em Carrismorto e Achada Falcão.



Figura 3. 7 - Exemplo de *Formação de Assomada*, no concelho de Santa Catarina, em Carrismorto (A) e Achada Falcão (B) (Gomes & Pina, 2004 in Gomes, 2007).

IX - Formação do Monte das Vacas (MV)

Para Alves *et al.*, (1979), esta formação é a mais recente, consequente da última manifestação vulcânica. São formadas por 50 cones de piroclastos basálticos, designadamente tufos, bagacina, bombas e escórias e pequenos derrames, usualmente de pequenas dimensões. Os maiores cones que se podem observar na ilha são o Monte Volta, com uma altura de 230 m e o Monte das Vacas, com 200 m de altura (Figura 3.8).

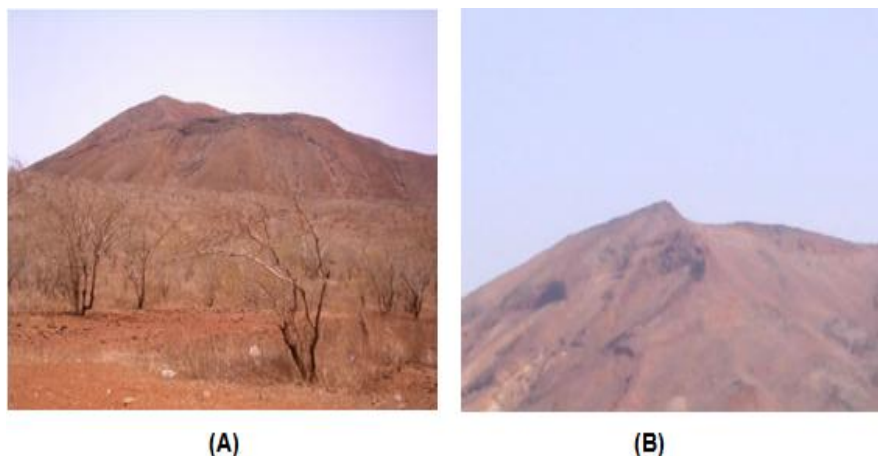


Figura 3. 8 - Exemplos de *Formação do Monte das Vacas*, em Monte das Vacas (A) e Monte Volta (B) (Pina, 2009 e Gomes & Pina, 2004 *in* Gomes, 2007).

X - Formações Sedimentares Recentes de Idade Quaternária (a, e, d, dv, c, casc.)

Formações de Idade Quaternária que abundam na ilha de Santiago são de tipo terrestre e marinho, compreendem antigas e modernas aluviões, formando ou não terraços, depósitos de vertente, de enxurrada, areias de duna e praias marinhas em vários níveis até 100 metros de altitude (Serralheiro, 1976 *in* Alves *et al.*, 1979).

A Figura 3.9 mostra exemplo de afloramento da *Formação Sedimentar Recente de Idade Quaternária*, no vale da ribeira de Achada Baleia.



Figura 3. 9 - Exemplo da *Formação Sedimentar Recente de Idade Quaternária*, no vale da ribeira de Achada Baleia (Pina, 2009).

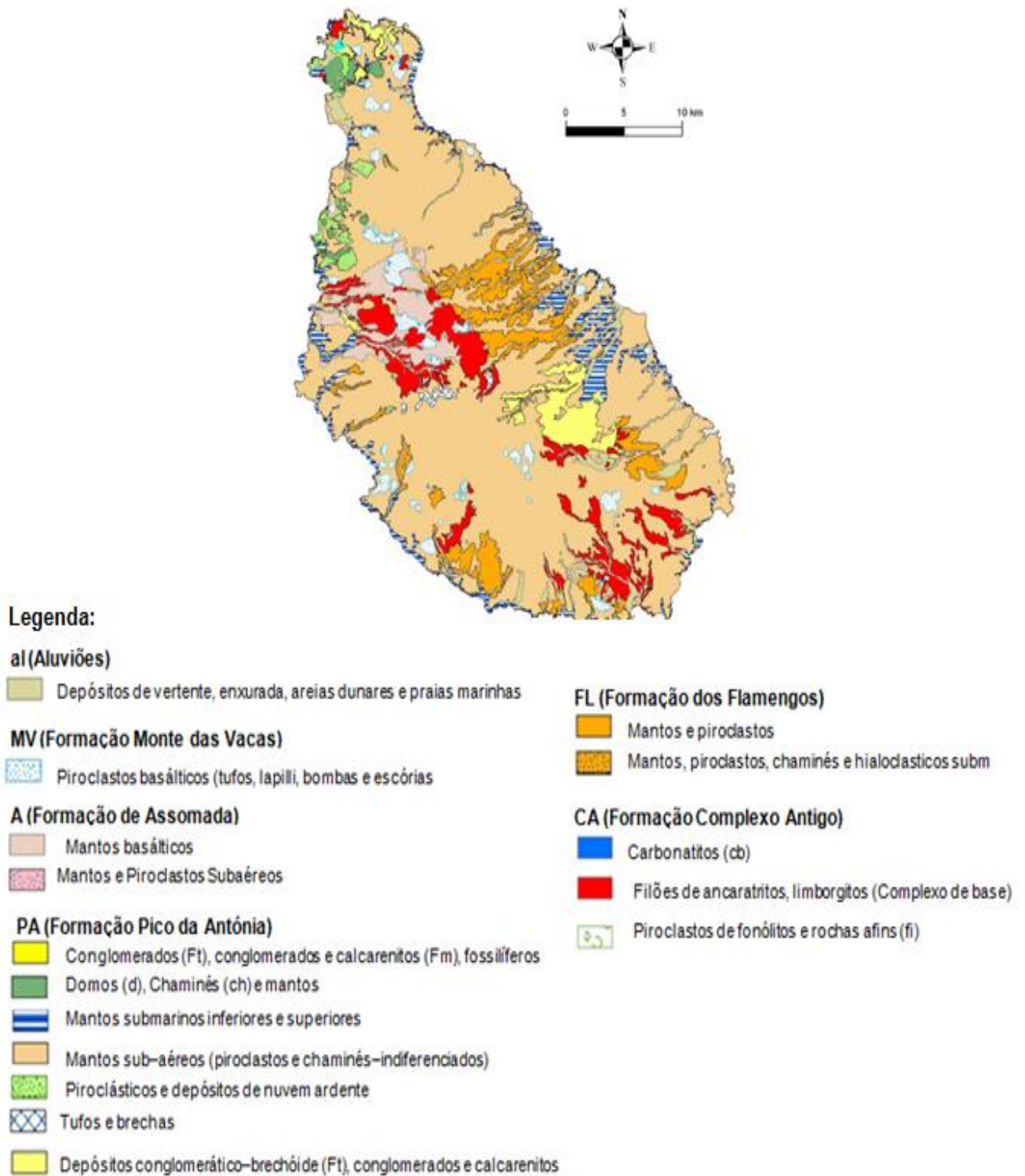


Figura 3. 10 - Carta Geológica da Ilha de Santiago, Cabo Verde, digitalizada a partir de Serralheiro, 1977 (Pina, 2009).

3.4. Geomorfologia

A geomorfologia da ilha de Santiago é complexa e caracterizada por grandes altitudes, terrenos de grandes inclinações, orografia acentuada e extensas achadas. Estas características geomorfológicas constituem fator primordial na hidrologia da ilha, especialmente na escorrência superficial e na hidrodinâmica subterrânea (Pina, 2009).

A ilha de Santiago é constituída por sete unidades geomorfológicas, designadamente *Achadas Meridionais (I)*; *Maciço Montanhoso do Pico da Antónia (II)*; *Planalto de Santa Catarina (III)*; *Flanco Oriental (IV)*; *Maciço Montanhoso da Malagueta (V)*; *Tarrafal (VI)*; *Flanco Ocidental (VII)* (Marques, 1990 in Pina, 2009; Gomes, 2007).

As *Achadas Meridionais (I)* iniciam-se no sopé meridional do maciço do Pico de Antónia e desce até ao mar, de uma altura de 500 m até ao litoral, formando achadas de declives médios de 2% a 12%. São definidas como sendo superfícies estruturais e/ ou subestruturais formadas por escoadas basálticas, intercaladas por tufos, da *Formação do Pico de Antónia* (Pina, 2009; Gomes, 2007).

O *Maciço Montanhoso do Pico da Antónia (II)* situa-se praticamente no terço central de Santiago. É constituído por importante área montanhosa que culmina no Pico da Antónia, aos 1392 m, fortemente erodida, de cimos recortados e pontiagudos, representando assim o relevo de maior altitude na ilha (Pina, 2009; Gomes, 2007).

O *Planalto de Santa Catarina (III)* é delimitado, a norte e a sul, pelos maciços montanhosos do Pico da Antónia e da Serra Malagueta. A oeste ainda se destacam os relevos de Palha Carga, Monte Brianda e Pedroso, constituindo a região central da ilha de Santiago (Pina, 2009; Gomes, 2007).

O *Flanco Oriental (IV)* está localizado entre Porto Formoso e Praia Baixo, formado pelas bacias hidrográficas das ribeiras de São Domingos, Praia Formosa, Seca, Picos, Santa Cruz, Salto, Flamengos e São Miguel (Pina, 2009; Gomes, 2007).

O *Maciço Montanhoso da Malagueta (V)* situa-se no extremo norte da superfície de Santa Catarina, e culmina aos 1063 m. Na base da sua encosta norte estende-se a região de Tarrafal e é constituído por formações do *Complexo Eruptivo do Pico de Antónia* (Pina, 2009; Gomes, 2007).

O *Tarrafal (VI)* localiza-se na ponta setentrional da ilha e caracteriza-se por “achadas” (Grande, Tomás, Bilim, etc.) escalonadas entre 20 e 300 m de altitude, com declives médios compreendidos entre 2% e 5% e constituídas por formações do Pico da Antónia. A estrutura vulcânica mais imponente é a estrutura de fonólitos e traquitos do Monte Graciosa (Pina, 2009; Gomes, 2007).

O *Flanco Ocidental (VII)* representa a transição entre o *Planalto de Santa Catarina* e o mar. Trata-se de uma região extremamente árida, muito declivosa, e que desce abruptamente para o mar. Os declives médios das encostas variam em geral entre 12% e 25% (Pina, 2009; Gomes, 2007).

3.5. Hidrogeologia e recursos hídricos

3.5.1. Hidrogeologia

O conhecimento detalhado da hidrogeologia em meios vulcânicos, caso da ilha Santiago, é bastante complexo. Este requer uma análise conjunta de diversas áreas científicas, nomeadamente da geologia, hidrogeologia e geofísica. A escassez de recursos hídricos de boa qualidade caracteriza as ilhas vulcânicas devido aos seus condicionantes geográficos (localização das ilhas em meios áridos ou semiáridos com precipitações reduzidas) e geológicos (constituídas por formações com permeabilidades muito baixas e fraturadas). Esta falta é ainda provocada pela intensa exploração dos recursos subterrâneos para os diversos fins, principalmente o turismo, contribuindo muitas vezes para a intrusão salina (Pina, 2009).

Estudos e trabalhos, no campo da geologia e hidrogeologia, realizados na ilha de Santiago permitiram a definição de uma sequência hidrogeológica geral da ilha em três unidades hidrogeológicas (Figura 3.11), denominadas por *Unidade de Base*, *Unidade Intermédia* e *Unidade Recente* (BURGEAP, 1984 in Pina, 2009).

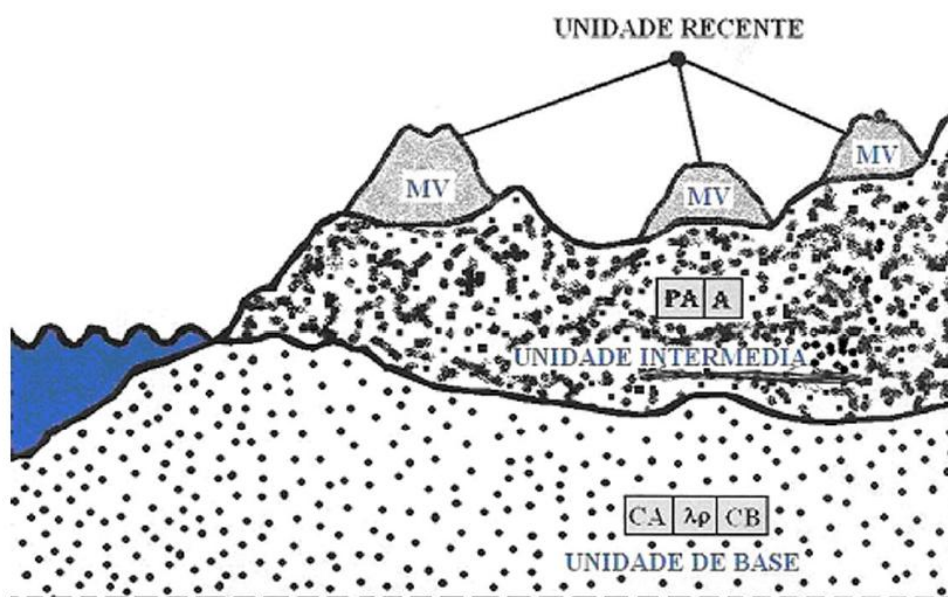


Figura 3.11 - Sequência hidrogeológica geral da ilha de Santiago (Gomes & Pina, 2004 in Gomes, 2007).

Unidade de Base - Constituída pelas *Formações de Órgãos, Flamengos e o Complexo Eruptivo Interno, Antigo*. Esta unidade apresenta um elevado grau de compacidade, forte alteração dos afloramentos e baixa permeabilidade em relação às formações geológicas mais recentes, dependente da rede de fraturação e da presença de filões. As águas desta formação, em geral, apresentam elevado grau de mineralização (Gomes, 2007).

Estudos geofísicos realizados por Rabadan (1992, in Pina, 2009) mostram que em zonas de afloramento da *Formação do Complexo Eruptivo Interno, Antigo* existe uma camada alterada com

espessura variável. Por baixo desta, encontra-se a rocha alterada, muito fraturada, com espessura variável de 10 a 20 metros e apresenta uma elevada porosidade, de 5 a 10 %. Na parte inferior desta zona encontra-se a rocha “mãe”, muito compacta e pouco produtiva.

Os poços situados em zonas de alteração apresentam produtividade superior à média. Os valores variam entre 5 m³/h e 15 m³/h, com um funcionamento média de 8 a 10 horas por dia, no entanto o caudal médio explorado varia de 3 m³/h a 5 m³/h. No caso dos furos, a produtividade geralmente varia entre 2 m³/h a 7 m³/h, com um funcionamento de 8 a 10 horas por dia. Quando as perfurações interseccionam filões basálticos em profundidade, a produtividade dos furos aumenta para valores superiores à média de 7 m³/h a 15 m³/h, com um funcionamento médio de 8 a 10 horas. Os filões atuam como drenos dentro da formação. Esta formação apresenta transmissividade média que pode variar de 0,2 a 5×10^{-5} m²/s (Pina, 2009).

A *Formação de Flamengos* apresenta características hidrogeológicas muito semelhantes às do *Complexo Eruptivo Interno, Antigo*. Aqui os caudais não ultrapassam os 15 m³/h e a transmissividade é baixa, de cerca de 0,2 a 5×10^{-5} m²/s, exceto quando predominam as *pillow* lavas, onde se pode obter um caudal superior ao médio, 20 m³/h, com uma exploração média de 10 a 12 horas por dia com rebaixamentos pouco significativos. Os filões nesta formação desempenham um papel importante, uma vez que se comportam como barreiras ou drenos (Pina, 2009).

A *Formação dos Órgãos* também apresenta características semelhantes às outras que constituem a unidade. No entanto, verifica-se que a produtividade varia de acordo com a quantidade de piroclastos e ocorrência de filões e fraturas. As captações desta formação podem alcançar produtividade de 10 m³/h, com caudal média de 3 m³/h (Pina, 2009).

Unidade Intermédia - Formada pela *Formação do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia e Formação de Assomada (A)*.

A *Formação do Complexo Eruptivo do Pico da Antónia* é constituída especialmente por mantos basálticos subaéreos e submarinos com intercalações de piroclastos, atingindo o conjunto, por vezes, espessuras de dezenas de metros e uma extensão significativa. Esta formação constitui o principal aquífero da ilha, caracterizada por possuir permeabilidades muito variáveis devido à sua grande heterogeneidade litológica. Em zonas onde predominam as *pillow* lavas, de fácies submarina, nesta formação as transmissividades são elevadas na ordem de 10^{-1} m²/s a 2×10^{-2} m²/s e onde os caudais de exploração atingem valores superior à média da ilha, que é de 40 m³/h, com uma exploração média de 12 horas por dia, podendo chegar a 20 horas por dia com rebaixamento pouco significativo. Em zonas onde predominam brechas de base das grandes camadas, de fácies subaérea, o caudal de exploração médio diminui para valores entre 20 a 30 m³/h, para as mesmas condições. Ainda que existam camadas de rochas basálticas com intercalações de piroclastos e tufos e predominância de tufos e brechas, o caudal passa a variar de 3 a 5 m³/h, muito abaixo da média da ilha (Pina, 2009).

A *Formação de Assomada* é formada por mantos basálticos subaéreos e piroclastos, que podem atingir por vezes espessuras de dezenas de metros, na parte central (planalto de Assomada). Nesta

unidade, o caudal de exploração em média varia de 20 a 25 m³/h, com exploração média de 10 a 12 horas por dia e transmissividade variável de 10⁻⁴ m²/s a 5 × 10⁻⁴ m²/s (Pina, 2009).

Unidade Recente - é constituída pela *Formação do Monte das Vacas (MV)* e *Sedimentar Recente de Idade Quaternária*, constituída particularmente por aluviões (a). Do ponto de vista geológico a *Formação do Monte das Vacas* é constituída especialmente por cones de piroclastos basálticos (tufos, bombas e escórias). Por isso, desempenha um papel importante na recarga das unidades aquíferas subjacentes devido à sua elevada permeabilidade (Pina, 2009).

A produtividade e transmissividade das formações aluviais são variáveis e dependentes da granularidade, espessura e percentagem de argila. Pina (2009), explica que quando as aluviões são espessas, grosseiras e isentas de argila apresentam porosidade e permeabilidade elevadas e transmissividade entre 10⁻¹ m²/s e 2 × 10⁻² m²/s. Os furos situados nestas zonas são muito produtivos, onde os caudais médios de exploração podem atingir 40 m³/h, com uma exploração média de 12 horas por dia. Quando as aluviões apresentam menores espessuras e granulometrias mais finas, a transmissividade varia entre 10⁻⁴ m²/s a 10⁻⁵ m²/s e caudais médios de exploração de 8 m³/h.

Em Santiago, estes depósitos são muito heterogéneos, apresentando características aquíferas variáveis em profundidade. Devido à sua proximidade à costa, encontram-se em conexão hidráulica com o mar, facilitando assim, quando sobreexplorados, a intrusão marinha (Pina, 2009).

3.5.2. Recursos hídricos

A disponibilidade hídrica na ilha de Santiago é dependente, na sua maioria, da precipitação. Nesta ilha são conhecidas várias estimativas, o que permite ter uma ideia geral sobre a quantidade de água da ilha. Destacam-se os estudos realizados por alguns autores.

A empresa francesa BURGEAP no seu estudo (1974) chegou à conclusão que a disponibilidade bruta em água subterrânea na ilha de Santiago é de 21,9 milhões de m³/ano. Esta foi estimada através da fórmula empírica, representada na equação 3.1, tendo em conta a natureza da cobertura vegetal e o declive do terreno (INGRH, 2000).

$$I = 0,25(P - 300) \quad (3.1)$$

Onde:

I - Infiltração útil (mm/ano)

P - Precipitação média (mm/ano)

Utilizando o método da curva de solo do Departamento de Conservação do Solo, dos Estados Unidos da América, corrigido com a fórmula do balanço químico do Cloro, Dennis Fernandpoulé, no âmbito do projeto CVI/75/001, financiado pelo PNUD/UNDTCD, concluiu que da precipitação que cai na ilha de Santiago, 50% perde-se por evaporação, 33 % constitui o escoamento superficial e 17%

representa a recarga dos aquíferos. Isto significa que na ilha a disponibilidade superficial é estimada em 108 milhões de m³/ano e a disponibilidade subterrânea em 55 milhões de m³/ano (INGRH, 2000).

Em 1992, na elaboração do esquema diretor para recursos hídricos, financiado pelo PNUD/ONUDES CV-87-001, chegou-se à conclusão que da precipitação que cai na ilha de Santiago 20% representa as águas superficiais, 13% produz a recarga do aquífero e 67% evapora-se, ou seja, a disponibilidade de água superficial na ilha é estimada em 56,6 milhões de m³/ano e subterrânea em 42,4 milhões de m³/ano (INGRH, 2000).

No âmbito do projeto que deu origem ao estudo sobre o desenvolvimento da água subterrânea na ilha de Santiago, financiado pela JICA/Cooperação Japonesa e executado pela KOKUSAI KOGIO CO. LTD, chegou-se à conclusão que na ilha de Santiago a disponibilidade em água superficial é de 138,476 milhões de m³/ano e em subterrânea de 34,9 milhões de m³/ano (INGRH, 2000). O Quadro 3.3 mostra as estimativas das disponibilidades superficiais e subterrâneas na ilha de Santiago, segundo os diversos autores.

Recurso Hídrico	Disponibilidade hídrica (em milhões de m ³ /ano)			
	BURGEAP	PNUD/Dennis Fernandpoulé	PNUD/INGHR-Esquema diretor	JICA-JAPÃO
Superficial	----	108	56,6	138,47
Subterrâneo	21,9	55	42,4	34,9

Quadro 3.3 - Estimativa das águas superficiais e águas subterrâneas na ilha de Santiago, segundo os estudos efetuados.

Como se pode verificar (Quadro 3.3), os valores para a disponibilidade hídrica na ilha de Santiago através dos diversos autores, nem sempre são concordantes, o que torna difícil definir qual dos métodos é o mais adequado à sua estimativa. Por isso é importante referir que tratando-se de estimativas, o valor da disponibilidade de recursos hídricos a considerar em quaisquer estudos, realizados na ilha, devem situar-se num intervalo compreendido entre um valor máximo e mínimo dos valores estimados.

Na ilha de Santiago a exploração dos recursos subterrâneo é feita através de poços, furos, e nascentes. Segundo Pina (2009), na ilha de Santiago estão inventariados pelo INGRH 1074 poços, 1199 nascentes e 780 furos alguns dos quais são piezómetros.

CAPÍTULO 4 - BACIA HIDROGRÁFICA DOS ENGENHOS

4.1. Enquadramento regional

A Bacia Hidrográfica dos Engenheiros situa-se na parte central da ilha de Santiago, no concelho de Santa Catarina, e estende-se de este para oeste, desde a região de Assomada situada a norte da costa ocidental do Porto Rincão (Figura 4.1). A montante é limitada pelas encostas íngremes do maciço de Assomada, a este, nordeste, sul e sudeste pelas colinas de Monte Pobre, Gôto Bravo e Monte Graciosa. Apresenta forma irregular, visto que é muito mais vasta e larga a montante do que a jusante.

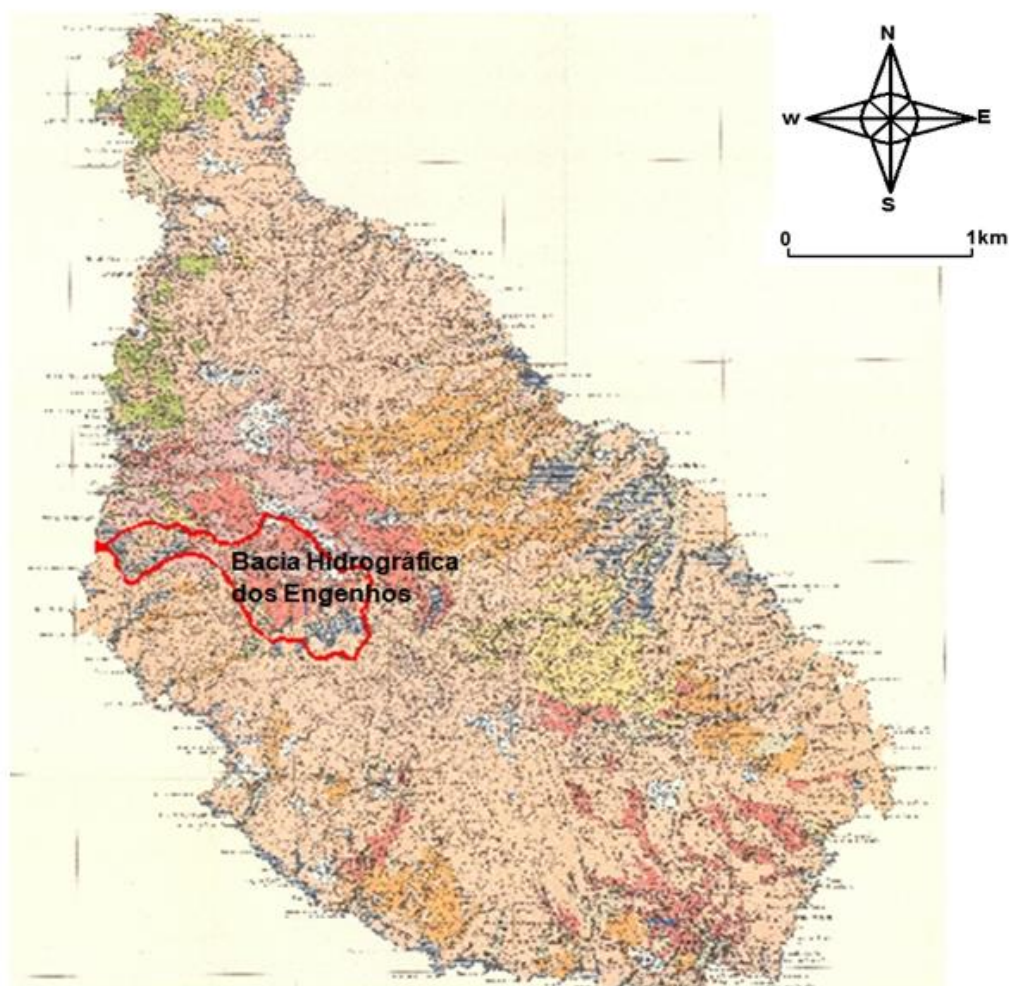


Figura 4. 1 - Localização da Bacia Hidrográfica dos Engenheiros - Carta Geológica da Ilha de Santiago na escala 1:100000 (Alves *et al.*,1979).

4.2. Caracterização da população

Segundo o censo de 2010, a população da Bacia Hidrográfica dos Engenhos é de 8 873 habitantes, o que corresponde a cerca de 20,5 % da população do concelho de Santa Catarina, com uma população total de 43 297 habitantes. Da população total da Bacia, 4 093 habitantes são do sexo masculino, representando 46,1% do total e 4 780 são do sexo feminino, correspondendo a 53,9%. No Quadro 4.1 encontram-se os dados populacionais das localidades que constituem a Bacia Hidrográfica dos Engenhos.

A população da região é relativamente jovem. Cerca de 35,9% tem menos de quinze anos, 55,5% tem entre quinze e sessenta e quatro anos e 8,8% tem mais de sessenta o que corresponde a uma percentagem muito baixa de idosos (Figura 4.2). Caracteriza-se por ser rural e agrícola, visto ser a principal ocupação dos residentes a agricultura e atividades afins, constituindo estas a principal fonte de rendimento das famílias. No entanto, os rendimentos provenientes desta atividade mostram-se insuficientes faces às despesas e necessidades das pessoas, por isso têm sido desenvolvidas outras atividades como por exemplo a pecuária, o pequeno comércio e os serviços públicos, ocupando principalmente os que não têm acesso à propriedade agrícola. Outras fontes de rendimento, não menos importantes, são as remessas enviadas pelos emigrantes às suas famílias (DGASP, 2005).

O grau de escolaridade dos adultos continua a ser baixo. Porém, os mais novos têm facilitado o acesso à educação, principalmente ao nível do ensino primário. Segundo a DGASP (2005), 38% da população da Bacia Hidrográfica dos Engenhos é analfabeta, 51,3% tem o nível primário e 8,8% conclui o ensino secundário. O acesso ao ensino secundário é muito mais difícil, uma vez que só existe liceu na cidade de Assomada. Muitas famílias não reúnem condições financeiras para manterem os filhos a estudar devido a dificuldades económicas para assegurarem as despesas relacionadas com transporte, alimentação, material escolar, propinas e outras.

Principais localidades	População total residente	População residente do sexo masculino	População residente do sexo feminino
Achada Galego	865	401	464
Achada Gomes	743	347	396
Bombardeiro	914	419	495
Chão de Lagoa	381	164	217
Chão de Tanque	1164	540	624
Fonte Lima	894	389	505
João Bernardo	317	150	167
Junco	336	159	177
Librão	391	179	212
Mato Gege	704	331	373
Mato Sancho	414	186	228
Palha Carga	978	465	513
Pinha	650	301	349
Sedeguma	122	62	60
Total na Bacia	8 873	4 093	4 780
Percentagem (%)	20,5	46,1	53,9
Cidade de Assomada	12 332	5 900	6 432
População total no Município de Santa Catarina			43 297

Quadro 4.1 - Caracterização da população das principais localidades situadas da Bacia Hidrográfica dos Engenhos.

Fonte: Elaborado com base nos dados do INE de Cabo Verde, censo 2010.

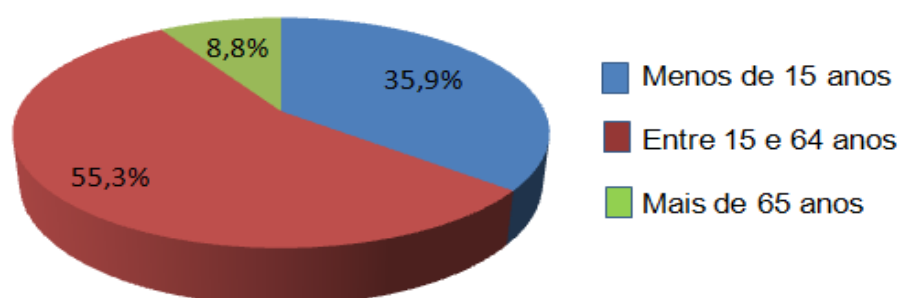


Figura 4.2 - Distribuição da população da Bacia Hidrográfica dos Engenhos por grupo etário, elaborado com base nos dados do INE de Cabo Verde, censo 2010.

4.3. Caracterização hidroclimatológica

4.3.1. Hidrografia

A Bacia Hidrográfica dos Engenhos tem uma área de aproximadamente 40 km² e compreende nove sub-bacias, a citar: Engenhos, Sedeguma, Água Grande, Mato Gégé, Água Sanches, Laranginha, Palha Carga, Águas Belas e Chupadeira, sendo os principais cursos de água os das ribeiras dos Engenhos, Sedeguma e Águas Belas (Figura 4.3).

As sub-bacias apresentam as seguintes características (DGASP, 2005):

- A ribeira dos Engenhos constitui o curso de água principal, drena uma área de 8,53 km² e tem um perímetro de 16,66 km. O comprimento da linha de água é de 7,13 km e a largura de 1,20 km.
- A ribeira de Sedeguma é o principal afluente da margem direita. A superfície de drenagem é de 7,15 km², tem um perímetro de 15,13 km, sendo o comprimento da linha de água de 6,46 km e largura de 1,11 km.
- A sub-bacia da ribeira de Água Grande, afluente situado na cabeceira da Bacia, tem uma superfície de 3,61 km² e um perímetro de 9,12 km. O comprimento da linha de água é de 3,54 km e a largura de 1,02 km.
- A ribeira de Mato Gégé, afluente da margem esquerda, drena uma área de 3,21 km², com o perímetro de 9,18 km, sendo o comprimento da linha de água de 3,73 km e a largura de 0,86 km.
- A sub-bacia da ribeira de Água Sanches, afluente situada na cabeceira da Bacia, tem uma área de 2,86 km² e perímetro de 7,43 km. O comprimento da linha de água é de 2,63 km e a largura de 1,09 km.
- A sub-bacia da ribeira de Laranginha, afluente da margem esquerda, drena uma superfície de 1,51 km². Possui um perímetro de 5,37 km, sendo o comprimento da linha de água de 1,88 km e a largura de 0,80 km.
- A sub-bacia da ribeira de Palha Carga, afluente da margem esquerda 3,13 km², tem perímetro de 7,87 km, sendo o comprimento da linha de água e a largura de 2,83 km e 1,11 km, respetivamente.
- Após a confluência das ribeiras dos Engenhos e de Sedeguma, a sub-bacia da ribeira de Águas Belas, corresponde ao troço jusante da Bacia e drena uma área de 7,53 km². O perímetro é de 19,29 km e o comprimento da linha de água de 8,79 km, sendo a largura de 0,86 km.
- A sub-bacia da ribeira de Chupadeira, afluente da margem direita, drena uma superfície de 2,78 km² e tem o perímetro de 7,80 km. O comprimento da linha de água e a largura são de 2,96 km e 0,94 km respetivamente.

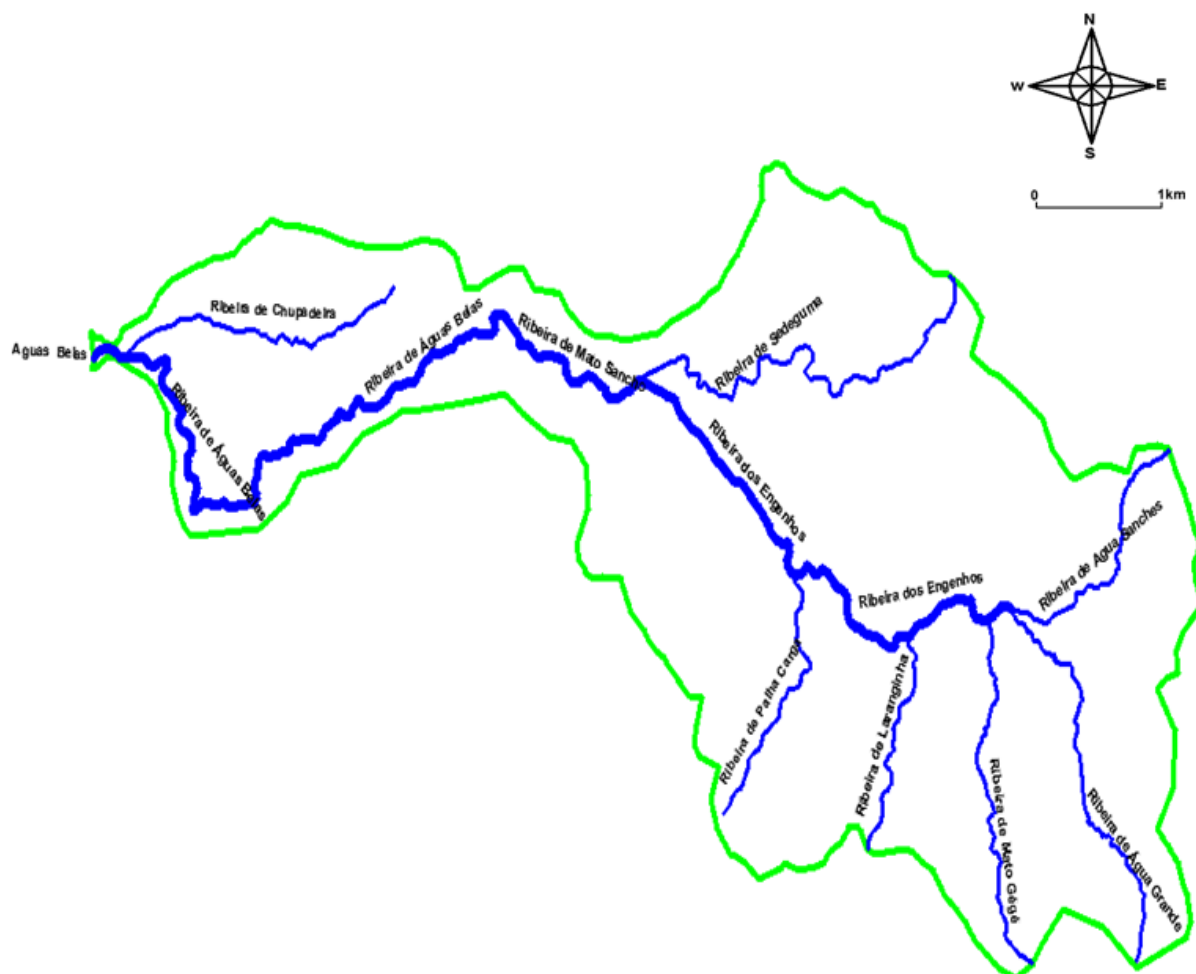


Figura 4. 3 - Bacia Hidrográfica dos Engenheiros com representação da linha principal de drenagem e afluentes.

4.3.2. Precipitação

Na Bacia Hidrográfica dos Engenheiros apenas existem duas estações meteorológicas, em Assomada e Telhal, estando situadas próximo uma da outra, o que não permite uma boa distribuição espacial da precipitação. A estação de Assomada encontra-se a uma altitude de 462 metros e a de Telhal a 335 metros (Figura 4.4). Na zona litoral não existe nenhuma estação meteorológica. Tendo por base os registos destas duas estações, o estudo da precipitação foi efetuado a partir dos dados fornecidos pelo INMG de Cabo Verde (Delegação da Praia) das estações de Assomada, registos de 1961 a 2011, e de Telhal, registos de 1970 a 2001. As séries são descontínuas em alguns anos, por isso foi necessário recorrer a correlações entre estações para as completar.



Figura 4. 4 - Localização das estações meteorológicas de Assomada e Telhal (Coordenadas UTM em metros).

A Organização Meteorológica Mundial recomenda para a análise dos “valores normais” de precipitação um período de 30 anos, exceto em climas áridas e semiáridas, onde este pode ser, no mínimo, de 20 a 30 anos (Lencastre & Franco, 2010).

Uma vez que Cabo Verde pertence às regiões semiáridas do planeta, os registos de precipitação existentes, de 28 anos, para a estação do Telhal seriam suficientes para a análise da precipitação. No

entanto, optou-se por trabalhar sobre uma série de 51 anos, de forma a identificar a regularidade de ocorrência, em termo da precipitação, os períodos secos e húmidos, aspetos relevantes em climas áridas e semiáridas.

Para completar as séries a fim de perfazer 51 anos de registos continuados nas duas estações utilizou-se o método da regressão linear, determinando a equação da reta de regressão (equação 4.1) e o coeficiente de correlação (R^2), com o programa Excel. Nos meses em que a precipitação é nula na série completa, também se admitiu nulo o valor da precipitação na série a completar, independentemente do valor estimado pela equação da reta de regressão, uma vez que, nestas circunstâncias o valor do coeficiente de correlação é muito baixo e, por isso, serem irreais os valores da precipitação estimados.

Para os meses de fevereiro e abril, não foi possível estabelecer uma boa correlação linear entre os dados das duas estações, porque onde existem valores de precipitação na estação de Telhal em Assomada este valor é nulo e vice-versa. Por isso, tratando-se de meses em que a maior parte dos registos da precipitação são nulos, considerou-se por precaução nulos os valores da precipitação nestes meses na série a completar, desprezando os valores obtidos pela reta de regressão.

Nas Figuras 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8 encontram-se as retas de regressão e os coeficientes de correlação utilizadas para extrapolar os valores de precipitação em falta nos meses de janeiro, julho, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro.

$$y = bx + a \quad (4.1)$$

Onde:

y - Representa o valor a estimar

x - Valor correspondente, na série completa

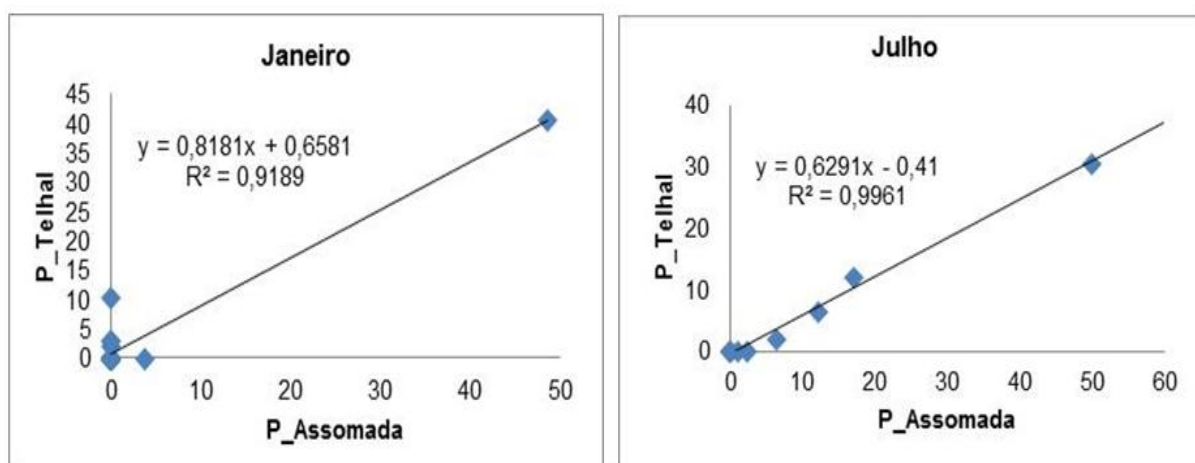


Figura 4.5 - Retas de regressão e coeficientes de correlação entre os valores de precipitação observados nas estações meteorológicas de Assomada e Telhal, nos meses de janeiro e julho.

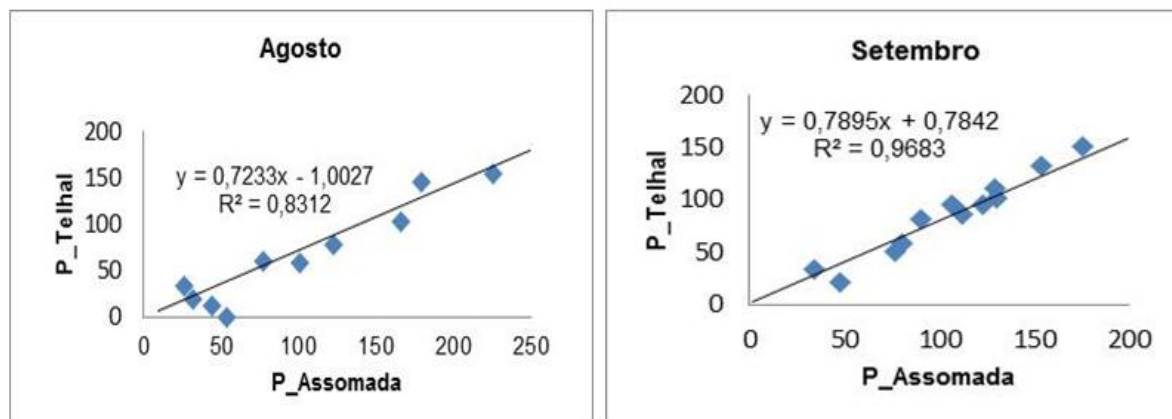


Figura 4.6 - Retas de regressão e coeficientes de correlação entre os valores de precipitação observados nas estações meteorológicas de Assomada e Telhal, nos meses de agosto e setembro.

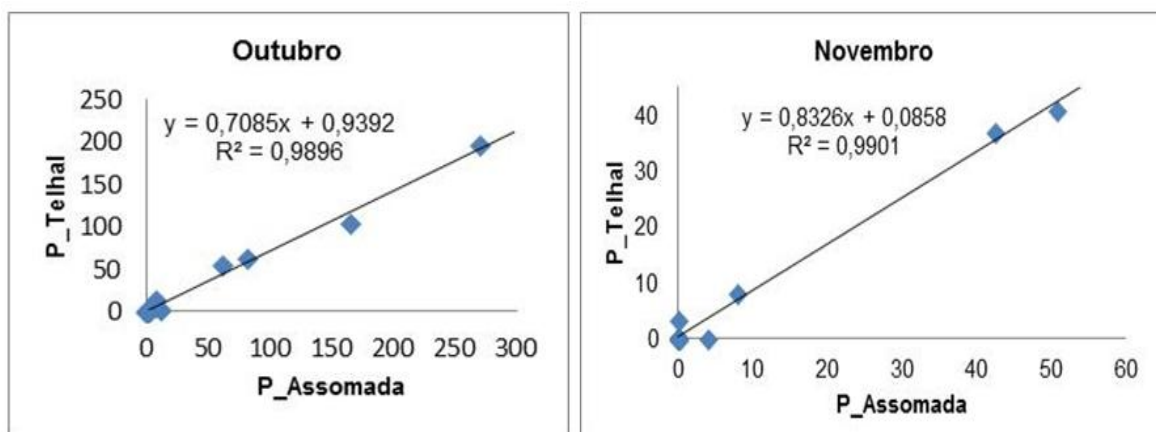


Figura 4.7 - Retas de regressão e coeficientes de correlação entre os valores de precipitação observados nas estações meteorológicas de Assomada e Telhal, nos meses de, outubro e novembro.

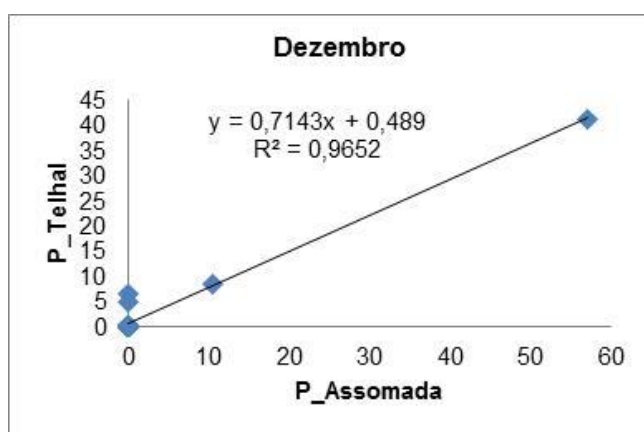


Figura 4.8 - Reta de regressão e coeficiente de correlação entre os valores de precipitação observados nas estações meteorológicas de Assomada e Telhal, no mês de dezembro.

A partir das séries completas com 51 anos de registos de precipitação nas duas estações (anexo I), procedeu-se ao estudo da precipitação mensal e anual na região.

Precipitação anual

A precipitação média anual para o período de observação de 51 anos na estação de Assomada e de Telhal é de 495,6 mm e 388,7 mm, respetivamente. O valor máximo da precipitação registado na estação de Assomada é de 1327 mm (ocorreu em 1967) e o mínimo de 18,1 mm (ocorreu em 1972). Na estação de Telhal o máximo registado foi de 1003,9 mm (ocorreu em 1967) e o mínimo de 14,1 mm (ocorreu em 1972).

Para o cálculo da precipitação na Bacia Hidrográfica dos Engenhos não interessam só os valores registados nas estações meteorológicas, mas sim o valor ponderado sobre toda a área. Este valor é determinado normalmente através dos métodos de Thiessen e das Isoietas. No entanto, na Bacia em estudo, devido à existência de apenas duas estações meteorológicas, próximas, e inexistência de carta de isoietas, não se achou adequado aplicar os métodos mencionados para determinar a precipitação ponderada. Por estas razões, a precipitação média anual foi calculada fazendo a média das precipitações médias anuais das estações de Assomada e de Telhal, tendo-se obtido o valor de 442,2 mm, para o período de 51 anos.

A Figura 4.9 mostra a distribuição da precipitação média anual no período compreendido entre 1961 e 2011 nas estações meteorológicas de Assomada e de Telhal.

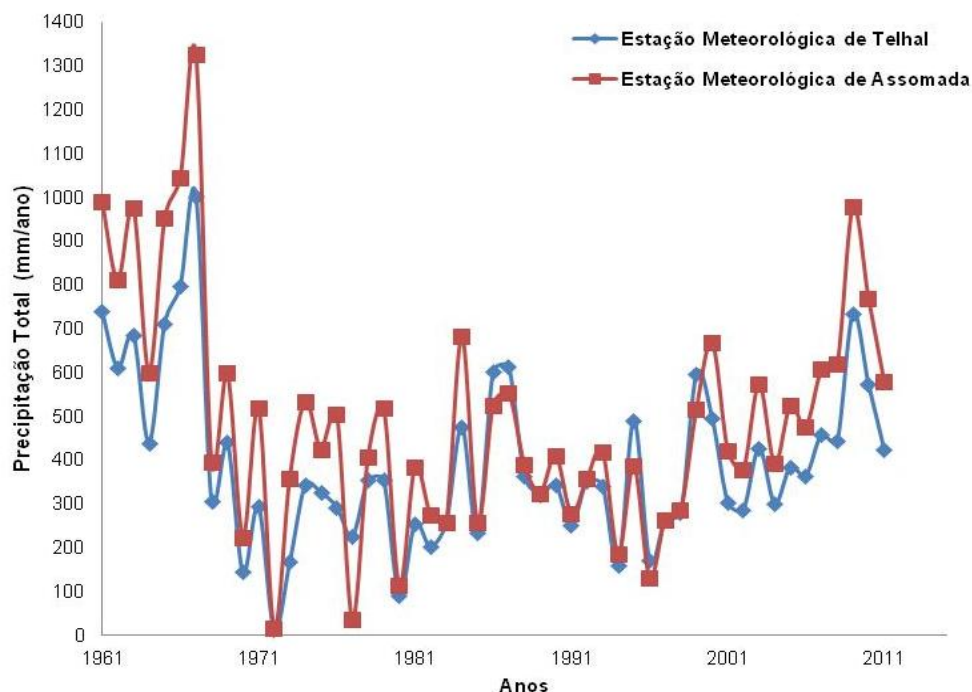


Figura 4.9 - Distribuição temporal da precipitação média anual nas estações meteorológicas de Assomada e de Telhal (1961-2011).

Precipitação mensal

As precipitações médias mensais são quase nulas durante os primeiros 6 meses do ano. Quando ocorrem concentram-se num curto período de tempo, especificamente de julho a outubro. Os meses mais pluviosos são agosto, setembro e outubro, com médias mensais de 144,1 mm, 206,2 mm e 93,3 mm na estação de Assomada e 113,4 mm, 165,2 mm e 73,7 mm na estação de Telhal.

No período dos 51 anos de registos, as precipitações médias mensais variam entre 0 mm a 206,2 mm na estação de Assomada e de 0 mm e 185,7 mm na de Telhal.

A diferença das precipitações médias mensais entre as estações de Assomada e de Telhal é baixa nos meses de janeiro, fevereiro, março, abril e dezembro, e nula nos meses de maio e junho. No entanto esta diferença nos meses de julho a novembro, pode chegar a valores que variam entre 3,8 mm (no mês de novembro) e 41,1mm (no mês de setembro) (Figura 4.10).

As precipitações médias mensais na Bacia Hidrográfica dos Engenhos foram determinadas fazendo a média das precipitações médias mensais nas estações de Assomada e de Telhal, adotando o mesmo critério seguido no caso da precipitação média anual.

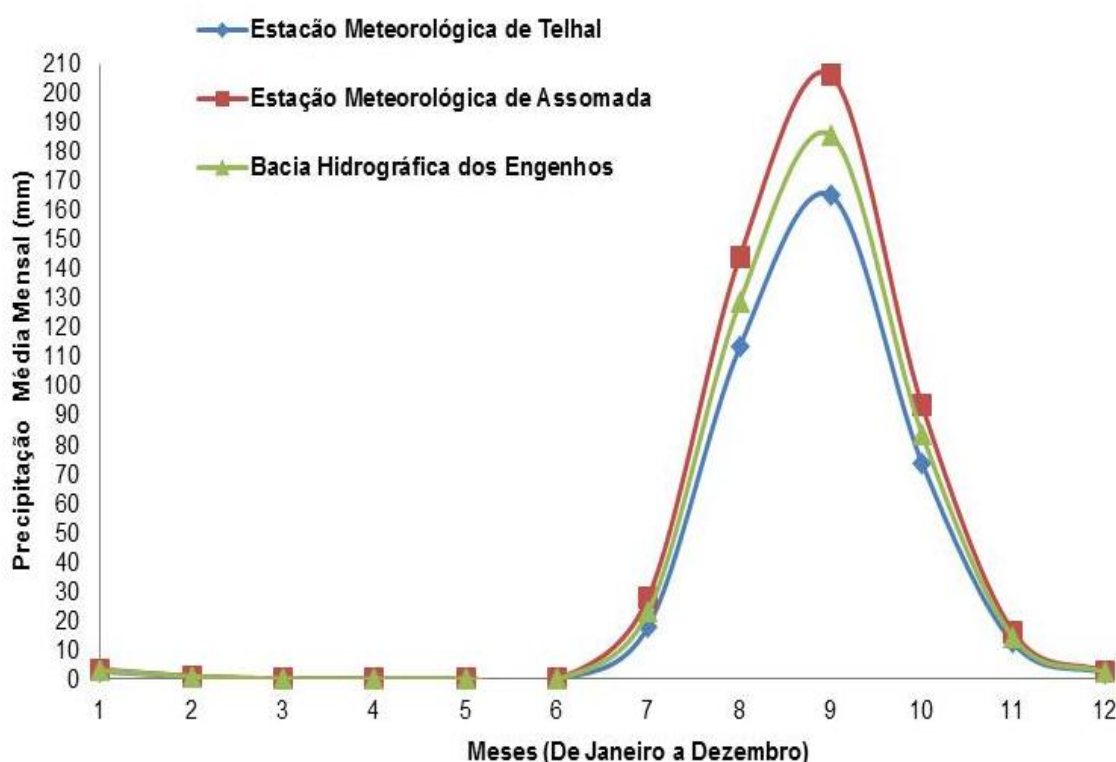


Figura 4.10 - Precipitações médias mensais nas estações de Assomada, Telhal e Bacia Hidrográfica dos Engenhos, para uma série de 51 anos.

4.3.3. Temperatura

Para o estudo da temperatura na Bacia Hidrográfica dos Engenhos foram considerados os registos fornecidos pelo INMG de Cabo Verde (Delegação da Praia) das temperaturas observadas nas estações meteorológicas de Telhal e Assomada.

No período de observação, de 1987 a 2001 na estação de Assomada, e de 1984 a 2001 na estação de Telhal, a média anual dos valores registados é de 21,05 °C e 23,01 °C, respetivamente. Na estação meteorológica de Assomada, a temperatura média anual máxima registada foi de 21,96 °C (em 1998) e a mínima de 20,39 °C (em 1992 e 1993). Contudo, na estação meteorológica de Telhal a temperatura média anual oscilou entre o valor médio mínimo de 22,44 °C (em 1993) e o máximo de 23,9 °C (em 1987).

A nível mensal, em Assomada o mês mais frio foi o mês de janeiro, com temperatura média mensal de 18,67 °C e o mês mais quente o de setembro, com temperatura média mensal de 23,38 °C. Na estação de Telhal, o mês menos quente foi também o mês de janeiro, com temperatura média mensal de 20,55 °C e o mais quente o de setembro, com temperatura média mensal de 24,96°C.

Verifica-se uma diferença na ordem de 2 °C nas temperaturas médias mensais em Assomada relativamente a Telhal. As temperaturas mais elevadas foram registadas no estação de Telhal, que se encontra a menor altitude e os valores mais baixos foram registadas na estação de Assomada, que se encontra a maior altitude.

A média anual na Bacia Hidrográfica dos Engenhos é de 22,03 °C.

A Figura 4.11 mostra a distribuição das temperaturas médias mensais nas estações meteorológicas de Assomada e de Telhal.

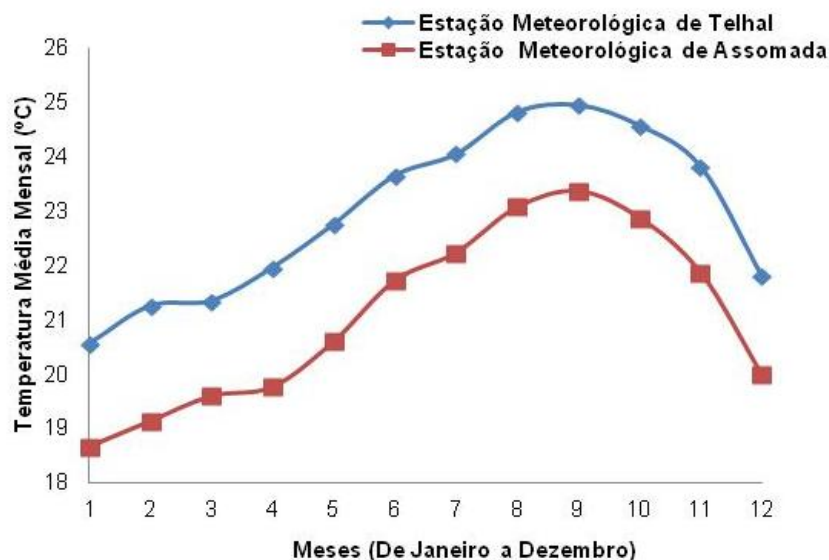


Figura 4.11 - Distribuição das temperaturas médias mensais nas estações meteorológicas de Assomada e Telhal.

4.3.4. Evapotranspiração

Grande parte da água que precipita sobre a superfície, nos continentes e ilhas, retorna à atmosfera sob a forma de vapor através da evaporação e transpiração das plantas. A dificuldade em estimar cada uma das parcelas levou a considerá-las em conjunto sob a designação de evapotranspiração. O conceito da evapotranspiração potencial foi introduzido por Thornthwaite, em 1948, em resultado dos estudos desenvolvidos para solucionar problemas de irrigação no México, durante a última guerra (Cunha, 1961). É o limite máximo da evapotranspiração real se definida como a evapotranspiração que ocorreria se não existisse limitação de água no solo para satisfação plena das necessidades da vegetação. A quantidade de água que na realidade se perde por evaporação do solo e transpiração das plantas num determinado período tempo, sendo depende das condições de cada local, é definida por evapotranspiração real. Sempre que a precipitação supera a evapotranspiração potencial, esta toma o seu valor, caso contrário assume o valor da precipitação ocorrida acrescido ou não da humidade do solo.

Bastante dependente da temperatura e da precipitação, a evapotranspiração pode ser estimada por métodos diretos em tinas evaporimétricas, evapotranspirómetros ou lisímetros, por métodos empíricos e semi-empíricos com recurso a fórmulas mais ou menos complexas como as propostas por Penman, Thornthwaite e Blaney-Criddle. O método do balanço de água no solo aplicado sequencialmente, em períodos mensais, diários ou à escala da ocorrência de precipitação, permite estimar com certa aproximação à realidade a evapotranspiração real e a fração da precipitação que constitui no período considerado o escoamento superficial e a infiltração.

Neste estudo utilizou-se o método de Thornthwaite, para determinar a evapotranspiração potencial nas estações de Assomada e de Telhal. Este método baseia-se na temperatura do ar em graus célsius ($^{\circ}\text{C}$), na latitude e na época do ano, mediante a adoção de um termo corretivo dependente da duração teórica da insolação. Tratando-se de estimativas, é de extrema importância a determinação do mesmo parâmetro por outros métodos baseados nestas e noutras variáveis, que apesar da sua utilidade, na maior parte das vezes, inviabilizam a sua utilização uma vez que não se encontram disponíveis os dados necessários.

Para o cálculo da evapotranspiração potencial partiu-se das temperaturas médias mensais, estimadas no ponto 4.3.3 e considerando para a região 15° de latitude norte. Da aplicação deste método obtiveram-se valores de evapotranspiração total de 1 011 mm/ano na estação de Assomada e de 1 136 mm/ano na estação de Telhal.

Os resultados obtidos pelo método de Thornthwaite mostram que, tanto na estação de Assomada como na de Telhal, os meses de julho, agosto, setembro e outubro, apresentam valores de evapotranspiração potencial elevados. Contudo os meses de dezembro, janeiro e fevereiro apresentam valores de evapotranspiração potencial mais baixos (Quadro 4.2).

Estação Meteorológica	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
Assomada	105,03	112,68	102,18	100,80	82,65	67,27	60,86	53,68	72,68	69,75	88,84	94,25	1011
Telhal	118,80	123,61	112,09	115,76	94,05	76,24	69,99	60,63	77,52	79,05	100,80	107,25	1136

Quadro 4.2 - Evapotranspiração potencial, em mm, nas estações de Assomada e de Telhal, calculada pelo método de Thornthwaite.

Pina (2009) estimou a evapotranspiração potencial na ilha de Santiago pelo método de Penman. Segundo este autor, foi possível aplicar o método mediante a subdivisão da ilha por zonas climáticas consoante a altitude. Considerou três zonas climáticas: zona árida e semiárida até aos 400 m, semi-húmida dos 400 m aos 600 m e para altitudes superiores a 600 m a zona húmida. Utilizou dados de precipitação, temperatura, velocidade do vento, insolação, humidade na estação meteorológica mais representativa de cada zona climática. Considerou que a estação meteorológica da Praia pertencia à zona árida e semiárida, a de S. Jorge dos Órgãos à zona semi-húmida e da Serra Malagueta à zona húmida.

O Quadro 4.3 mostra as estimativas de Pina (2009), pelo método de Penman, para a evapotranspiração potencial nas três zonas climáticas.

Zonas Climáticas	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
Árida e Semiárida (até 400 m de altitude)	117,3	117,4	103,4	110,3	83,1	77,9	83,3	85,9	122,4	123,2	145,3	128,7	1298
Semi-húmida (400 a 600 m de altitude)	79,1	75,6	60,9	62,7	40,4	34,7	34,9	39,9	60	64,7	79,6	81,6	714
Húmida (superior a 600 m de altitude)	81	79,7	70,2	69,4	46,2	41,1	45,5	51	72	76,8	89,8	89,8	811

Quadro 4.3 - Evapotranspiração potencial nas estações de Assomada e de Telhal, pelo método de Penman (Pina, 2009).

Tendo em conta as altitudes das estações de Assomada e de Telhal e uma vez que estas duas zonas apresentam características climáticas semelhantes, incluíram-se as estações de Assomada e de Telhal na zona semi-húmida, de acordo com o critério definido por Pina (2009), para assim ser possível a comparação dos dados obtidos pelo método de Thornthwaite e os valores propostos por Pina (2009) para a zona semi-húmida. Da análise resulta que tanto na estação de Assomada como de Telhal os valores de ETP obtidos pelo método de Thornthwaite são superiores aos calculados pelo método de Penman. Na estação de Assomada é mais visível a diferença entre os valores calculados pelos métodos de Thornthwaite e Penman a partir do mês de julho e até dezembro. E na estação de Telhal esta diferença começa a ser mais notável a partir do mês de junho e até dezembro (Figura 4.12).

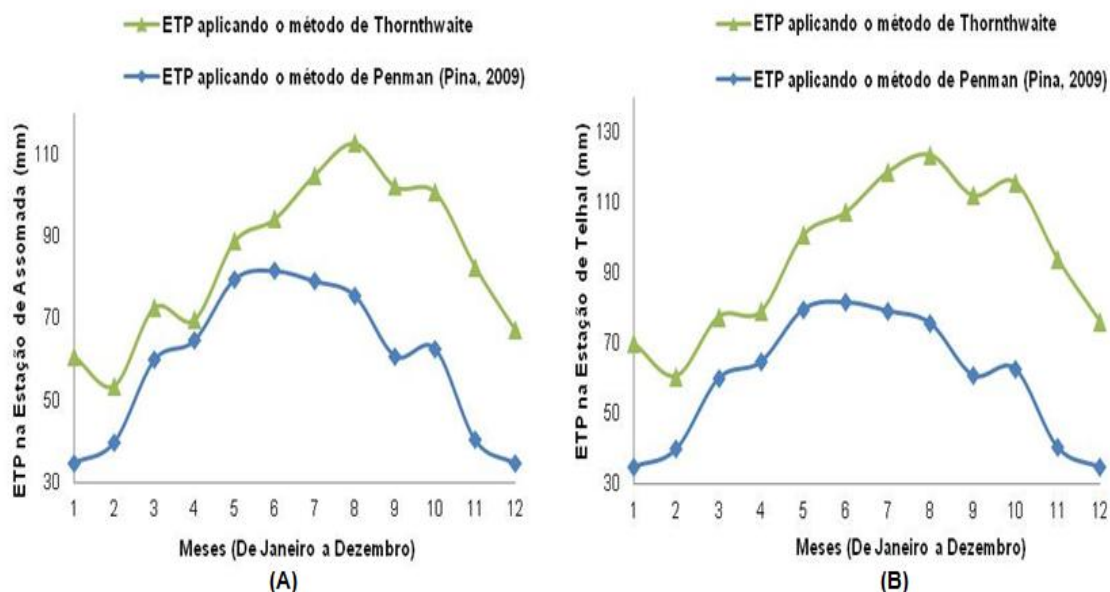


Figura 4.12 - Comparação entre valores da ETP, calculados pelos métodos de Thornthwaite e Penman nas estações de Assomada (A) e de Telhal (B).

4.4. Caracterização geomorfológica, geológica e hidrogeológica

4.4.1. Geomorfologia

A Bacia Hidrográfica dos Engenhos é contornada a montante e a jusante por relevos acentuados. Na parte central, a norte, são de salientar as montanhas piroclásticas provenientes das últimas fases vulcânicas do Pliocénico, como por exemplo os montes Mascarenhas, Vermelho e Brianda e do penhasco do planalto de Tomba Touro. A sul, temos a encosta do planalto de Achada Grande. Na parte sul da Bacia, depois da confluência das ribeiras de Sedeguma e dos Engenhos, surgem os penhascos que limitam os altos planaltos de Achada Baixa e de Achada Figueira Nova e, a norte, a planície de Achada Leite.

A Bacia, a montante, tem forma retangular alongada na direção sudoeste/nordeste, com aproximadamente 8 km por 4 km de largura. Eleva-se entre o planalto de Assomada e o maciço de Pico de Antónia, a uma altitude de 1000 m a 2000 m, e de aproximadamente 200 m a 300 m de altitude em direção à Mina de Ouro. A jusante, a Bacia é muito alongada, entende-se desde a aldeia de Mina de Ouro ao litoral ao longo de 2 km por 0,8 km de largura. A planície litoral situa-se a uma altitude compreendida entre 0 m e 200 m, enquanto o troço entre Mato Sancho e Mina de Ouro se eleva dos 300 m aos 400 m de altitude (DGASP, 2005).

Os relevos da Bacia são bastante acidentados e constituídos por um grande número de encostas com forte inclinação, sendo a maior parte da inclinação na ordem de 40%, mas noutras partes da Bacia, nomeadamente no extremo a montante, os relevos apresentam inclinações superiores a 60% (DGASP, 2005).

4.4.2. Geologia

Na Bacia Hidrográfica dos Engenheiros afloram as unidades litostratigráficas do *Complexo Eruptivo Interno, Antigo (CA)* do *Ante-Miocénico Médio* e do *Complexo Eruptivo de Pico de Antónia (PA)* do *Mio-Pliocénico*, da *Formação de Assomada (A)* do *Pliocénico* e da *Formação de Monte das Vacas* do *Plio-Quaternário* e *Aluviões (a)* do *Quaternário* (Figura 4.13).

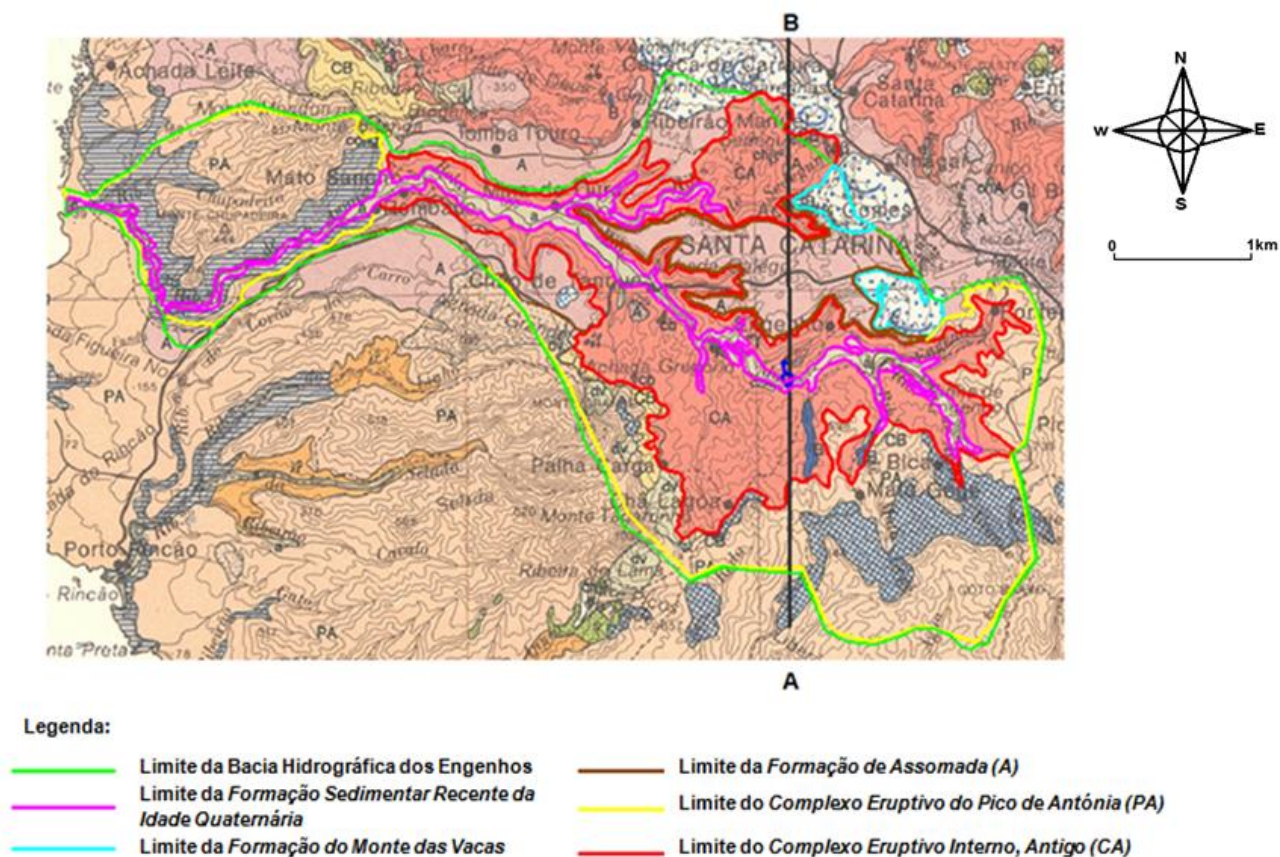


Figura 4. 13 - Unidades litostratigráficas na Bacia Hidrográfica dos Engenheiros - Carta Geológica da Ilha de Santiago na escala 1:100000 (Alves *et al.*,1979).

Complexo Eruptivo Interno, Antigo (CA)

Esta unidade ocupa a maior extensão da Bacia Hidrográfica dos Engenheiros, aflora na sua maioria às cotas médias e superiores, é formada maioritariamente pelo *Complexo Filoniano do CA*, de idade Ante-Miocénico médio.

Segundo DGASP (2005), os afloramentos do CA encontram-se fortemente alterados e são constituídos por argilas amareladas, avermelhadas e castanhas e níveis filonianos basálticos muito alterados, com espessuras variáveis entre 5 m e 10 m e porosidade entre 5% e 10%.

Complexo Eruptivo do Pico de Antónia (PA)

É visível principalmente no confim sudeste da Bacia, nomeadamente de Palha Carga ao Monte Pobre e a jusante da Bacia, na zona da Chupadeira. É composto maioritariamente por rochas basálticas, brechas e depósitos piroclásticos. Segundo DGASP (2005), as camadas basálticas são bastante regulares com porosidade entre 1% e 2%, podendo alcançar 4 a 5%. As brechas exibem porosidade e permeabilidade elevadas.

Formação de Assomada (A)

É visível na zona do planalto de Santa Catarina e na descida da ribeira dos Engenhos. É constituída por brechas e tufos, caracterizados por serem bons canais de circulação para a água subterrânea.

Formação do Monte das Vacas

Um pequeno afloramento é observável na zona do planalto de Santa Catarina, sendo representado por cones de piroclastos. Por serem muito permeáveis facilitam a infiltração e constituem uma importante área de recarga.

Aluviões quaternárias (a)

Estas unidades encontram-se nos fundos dos vales das ribeiras da Bacia Hidrográfica dos Engenhos. Estas, a partir de Chão de Tanque e principalmente depois da confluência com a ribeira de Sedeguma, ocupam maior área e segundo DGASP (2005) a sua espessura pode variar entre 30 m e 40 m. Trata-se de depósitos bastante grosseiros na base. Tornam-se mais finos, quase siltosos, no topo. A permeabilidade é elevada e, por isso, favorecem a infiltração (DGASP, 2005).

4.4.3. Hidrogeologia

Do ponto de vista hidrogeológico o planalto de Santa Catarina constitui uma importante zona de recarga. Após infiltração a água flui através das fraturas e segue em direção às ribeiras dos Engenhos e de Sedeguma segundo o modelo conceptual proposto na Figura 4.14, dando origem às nascentes no sopé do vale.

A precipitação no planalto de Santa Catarina é significativa durante a estação húmida. Por outro lado, a morfologia plana e a porosidade das formações favorecem a infiltração.

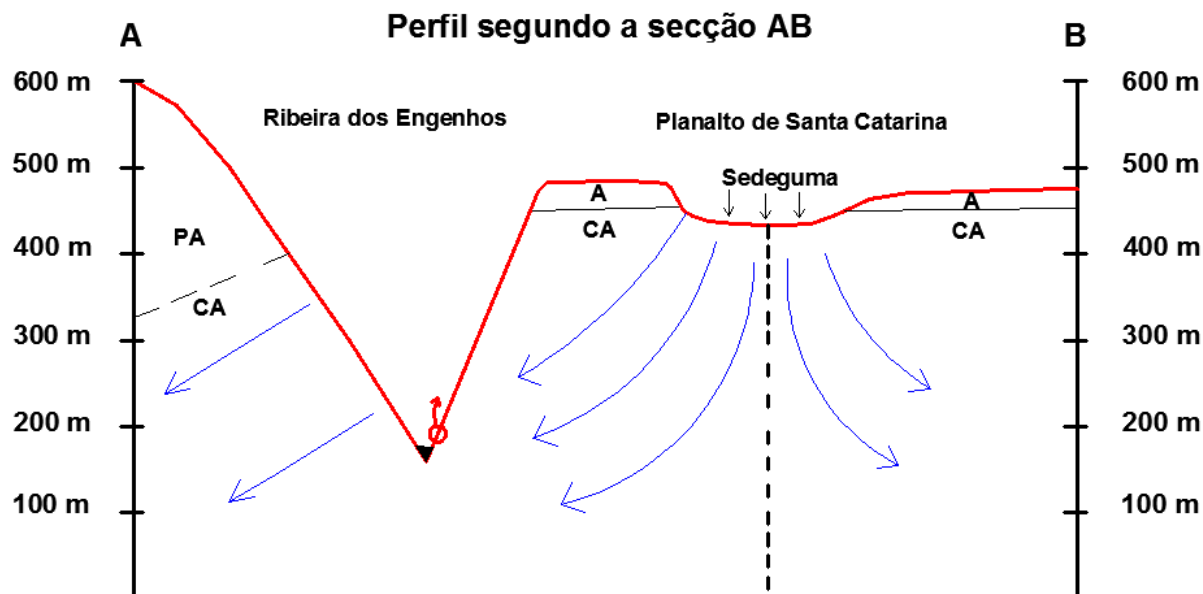


Figura 4.14 - Modelo conceitual do fluxo subterrâneo e do funcionamento hidráulico da nascente de Chão de Cana, na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.

A DGAPS (2005) menciona outras zonas de recarga, designadamente: a) a montante da Bacia, mais concretamente na região de Água Grande onde existem contribuições de águas subterrâneas provenientes de bacias adjacentes, nomeadamente nas encostas setentrionais e ocidentais do maciço de Pico de Antónia. Aí surgem numerosas nascentes do contato entre os basaltos fissurados e os tufos do *Complexo Eruptivo Interno, Antigo*; b) na região de Mato Sancho os aluviões assentam diretamente sobre o *Complexo Eruptivo Antigo (CA)*. Estes aluviões são muito permeáveis, constituindo assim um canal de escoamento sub-superficial importante, canalizando para a superfície descargas do substrato CA. Uma parte significativa de água subterrânea da Bacia concentra-se ao longo dos leitos dos Engenhos e de Chupadeira.

4.5. Tipo e ocupação do solo

Os solos da Bacia Hidrográfica dos Engenhos podem ser agrupados em três categorias distintas (DGAPS, 2005):

- Solos das encostas com inclinações variáveis;
- Solos de zonas planas conhecidas por achadas;
- Solos de leitos dos cursos de água (aluviões recentes).

Os dois primeiros grupos são utilizados para a prática de agricultura de sequeiro e para pequenas culturas irrigadas através de técnicas de terraplanagem. As achadas apresentam normalmente características razoáveis para a prática agrícola de sequeiro (milho, feijão etc.). A Figura 4.15 mostra

alguns exemplos da utilização do solo na agricultura de sequeiro, na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.



Figura 4. 15 - Exemplos de práticas agrícolas de sequeiro na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 12/11/2012).

Os depósitos de aluvião que constituem o leito das ribeiras apresentam fertilidade frequentemente elevada e são normalmente espessos e constituídos por argila lodosa. Estes solos são usados para a agricultura irrigada, para o cultivo de alface, couve, banana, batata-doce, mandioca, cana-de-açúcar, e outras.

A Figura 4.16 mostra alguns exemplos da utilização do solo na agricultura irrigada, na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.



Figura 4. 16 - Exemplos de agricultura irrigada na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 12/11/2012).

Na Bacia Hidrográfica dos Engenhos 1,5% dos solos são ocupados por culturas irrigadas, 44,5% por culturas de sequeiro e 54% por baldios, florestas, culturas de sequeiros e pastagens dispersas. O Quadro 4.4 mostra os diferentes tipos de ocupação dos solos existentes na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (DGASP, 2005).

Ocupação do solo	Importância	
	ha	%
Culturas de irrigação dominantes	61	1,5
Baldio, Pastagens e culturas de sequeiros dispersos	2177	54,1
Culturas de sequeiros dominantes	1784	44,4
Total	4021	100

Quadro 4.4 - Ocupação do solo na Bacia Hidrográfica dos Engenhos segundo DGASP (2005).

A ocupação do solo é dependente das diferentes zonas agroclimáticas de Cabo Verde. Na região de Sedeguma, 34,8% da área, compreende as áreas mais importantes de terrenos baldios e pastagens que, em Fonte Lima, representam cerca de 10,4% da área. O troço médio da Bacia constitui as zonas silvo-pastoral tradicional, onde a percentagem de superfície de baldios ou de pastagem representa, respetivamente, cerca de 52% e 37% da superfície total (DGASP, 2005).

Em Palha Carga e Telhal, em respetivamente 70 % e 99% da área total, são praticadas a agricultura de sequeiro. Estas regiões não dispõem de grande quantidade de recursos hídricos, mas têm bons solos e estão situadas em zonas agroclimáticas sub-húmidas a sub-áridas. A zona situada na extremidade, a jusante da Bacia, é árida e livre de cobertura vegetal (DGASP, 2005).

4.6. Usos da água

Na Bacia Hidrográfica dos Engenhos a água é utilizada para o abastecimento da população, agricultura e pecuária. Estes usos estão dependentes principalmente da água subterrânea, explorada normalmente através de furos, poços e nascentes. No entanto, é importante salientar que a maioria das habitações da Bacia dispõe de pequenas cisternas para a recolha e armazenamento de água pluvial dos telhados, durante as chuvas, constituindo uma ajuda imprescindível no combate à escassez, principalmente durante a época seca.

4.6.1. Abastecimento público

O abastecimento público na Bacia Hidrográfica dos Engenhos é feito de diversas formas, designadamente através de rede de distribuição, nascentes, poços, furos, camião-cisterna e fontanários. Aqui, apenas algumas localidades dispõem de rede pública de abastecimento, no entanto, a distribuição de água é feita de forma irregular devido à escassez.

O uso da água na Bacia, por parte das populações, é feito de forma desregulada e, conseqüentemente, os consumos são variáveis de acordo com as necessidades de cada família e a

disponibilidade de recursos hídricos. No entanto, segundo INGRH (2000) os consumos, em meio rural, característico da Bacia em estudo, são variáveis, na ordem de 5 a 15 L/hab/dia nos fontanários e de 25 a 50 L/hab/dia nas ligações domiciliares.

É importante salientar que em algumas localidades da Bacia a água é transportada maioritariamente por mulheres e crianças, muitas vezes por longas distâncias, em condições precárias e com imensa dificuldade (Figura 4.17).



Figura 4. 17 - Alguns exemplos de transporte de água na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 27/04/2013).

4.6.2. Agricultura e pecuária

A agricultura é a principal actividade económica na Bacia Hidrográfica dos Engenhos, sendo a principal fonte de rendimento de muitas famílias.

Na Bacia é praticada a agricultura de sequeiro e irrigada, sendo classificada de subsistência. A agricultura de sequeiro é dependente da precipitação, enquanto a irrigada depende da água subterrânea.

As áreas irrigadas destinam-se ao cultivo de banana, cana-de-açúcar, produtos hortícolas e outros. Contudo, muitas vezes a prática agrícola irrigada é condicionada pela falta de água, principalmente na época seca.

A agricultura irrigada constitui um dos principais consumidores de água. A rega é feita normalmente através de alagamento, com grande consumo de água. Mas atualmente é visível a implementação de técnicas com menos consumo de água de tipo gota-a-gota (Figura 4.18).



Figura 4. 18 - Exemplos de aplicação do sistema de rega gota-gota na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 27/04/2013).

No que concerne à pecuária esta é também uma atividade importante porque está associada à agricultura e é feita através de explorações familiares.

A pecuária assenta principalmente na criação de bovinos, suínos (Figura 4.19), caprinos e aves, representando também uma importante consumidora de água.



Figura 4. 19 - Exemplos de criação de bovinos e suínos na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado no dia 27/04/2013).

4.7. Processos erosivos

De acordo com DGASP (2005), a Bacia Hidrográfica dos Engenhos é caracterizada por possuir cerca de 70% das terras com inclinação superior a 15%, regime torrencial e falta de cobertura vegetal, que provocam e agravam, atuando em conjunto, o processo erosivo. Este processo é muito mais intenso nas encostas a montante, ao nível da ribeira de Água Grande e durante as primeiras chuvas, sendo favorecido pela natureza dos solos, topografia e, ainda, pela prática de agricultura de sequeiro, desmatamento e queimadas.

Na Bacia existem várias obras de conservação de águas e solos, nomeadamente os socalcos, os muros e os diques de correção torrencial. Porém, estes mostram-se insuficientes e muitas vezes inadequados para minimizar o problema da erosão na Bacia, uma vez que, muitas destas obras encontram-se em mau estado e ao abandono ou totalmente danificadas e muitas sem a manutenção necessária. Estima-se que por ano, na Bacia, se perdem 12 ton/ha de solo (DGASP, 2005).

CAPÍTULO 5 - AVALIAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS ENGENHOS

O conhecimento da disponibilidade de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica dos Engenhos é determinante e fundamental ao desenvolvimento social e económico de forma sustentável. Sendo a distribuição espacial e temporal da precipitação variável na Bacia em estudo, condiciona a existência de disponibilidade de água ao longo do ano.

Na época húmida muitas nascentes brotam, o nível piezométrico dos poços sobe e em muitas ribeiras existe escoamento superficial, com um caudal que se pode considerar significativo e razoável visto à escala de Cabo Verde. No entanto, os valores do escoamento superficial são desconhecidos devido à inexistência de medidores de caudal instalados na rede hidrográfica. A disponibilidade de água na Bacia nesta época cobre as necessidades da população e da agricultura. Em alguns locais o recurso é utilizado para lazer. A cobertura vegetal é notável em toda a Bacia na estação húmida (Figura 5.1).

Na época seca, em especial a partir do mês de maio, a maioria dos poços da Bacia secam, bem como a maioria das nascentes e as ribeiras. O aumento da temperatura e aridez é significativo e a cobertura vegetal é praticamente inexistente. A necessidade de água para a agricultura irrigada aumenta em relação à disponibilidade existente e em muitos casos a situação atinge um patamar crítico, onde a disponibilidade não cobre as necessidades da população. Existem casos, nesta época, em que a população não dispõe de água para satisfazer as necessidades básicas mínimas, para cozinhar, higiene pessoal, lavagem de roupa, sedentação de animais e limpeza doméstica. A procura de água nesta época é um desafio, uma vez que o transporte é feito a grandes distâncias, muitas vezes, por crianças (Figura 5.2).



Figura 5.1 - Disponibilidade de água e cobertura vegetal na época húmida na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 11/03/2013).



Figura 5.2 - Carência de água e ausência de cobertura vegetal na época seca na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 11/03/2013).

Neste capítulo procede-se à avaliação dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica dos Engenhos, seguindo a metodologia do balanço hídrico sequencial mensal para calcular as disponibilidades hídricas em termos de escoamento superficial e subterrâneo, partindo da precipitação e da evapotranspiração potencial e real nas estações de Assomada e de Telhal.

5.1. Balanço hídrico sequencial mensal em Assomada e Telhal

O método do Balanço Hídrico é um método usado para determinar o balanço de água no solo, com base na relação entre a quantidade de água resultante da precipitação, o escoamento superficial, o escoamento subterrâneo, a evaporação e a transpiração. Em geral, para uma dada região o balanço hídrico pode ser traduzido pela equação 5.1 (Lencastre & Franco, 2010).

$$P - R - G - E - T = \Delta S \quad (5.1)$$

Sendo:

P – Precipitação que atinge a superfície do solo

R - Escoamento superficial

G - Escoamento subterrâneo

E - Evaporação

T - Transpiração

ΔS - Variação do Armazenamento

Ainda pode ser escrita com base na relação entre o volume de água resultante da precipitação (P), a variação da reserva (dR), a evapotranspiração real (ETR) e os excedentes (E) ou défices (D) gerados, traduzido pela equação simplificada 5.2.

$$P = dR + ETR + E + D \quad (5.2)$$

Sendo:

P - Precipitação

dR - Variação da reserva

ETR - Evapotranspiração real

E - Excedente

D - Défices

Este método também pode ser apresentado na forma diferencial, segundo a equação 5.3.

A equação do balanço hídrico satisfaz o princípio da conservação de massa num sistema fechado, isto é, o fluxo à entrada é igual ao fluxo de saída mais o que fica guardado no sistema.

A precisão deste método está associada à qualidade dos dados de entrada nos parâmetros da equação, uma vez que em grande parte é difícil medi-los ou estimá-los com precisão.

$$P - R = \frac{dS}{dt} \quad (5.3)$$

Onde:

P - Precipitação

R - Escoamento superficial

dS/dt – Variação do armazenamento no sistema

Fez-se o balanço hidrológico para a Bacia Hidrográfica dos Engenhos a partir da precipitação média mensal de 51 anos de registos consecutivos nas estações de Telhal e de Assomada, fazendo coincidir o início do ano hidrológico com o mês de julho, marcado pela queda das primeiras chuvas na Bacia.

A evapotranspiração potencial considerada no cálculo do balanço foi a determinada pelos métodos de Thornthwaite e de Penman estimada por Pina (2009), para a zona semi-húmida.

Foi considerada a capacidade máxima de água retida no solo igual a 50 mm, uma vez que a região possui solos pouco espessos e com incipiente composição orgânica.

Para cada estação, de Assomada e de Telhal, fizeram-se balanços para o ano médio, seco (1972) e húmido (1967) considerando os valores de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Penman e Thornthwaite. Pela análise dos Quadros 5.1 a 5.6 são de salientar as seguintes observações para cada uma das estações mencionadas.

Balanço Hídrico (ETP segundo Thornthwaite)	Ano Médio												
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
Precipitação (mm)	28,10	144,14	206,24	93,33	16,07	2,63	3,50	1,11	0,24	0,15	0,08	0,00	495,59
Evapotranspiração Potencial (mm)	105,03	112,68	102,18	100,80	82,65	67,27	60,86	53,68	72,68	69,75	88,84	94,25	1010,67
Variação da Reserva (mm)	0,00	31,46	18,54	7,47	42,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Reserva Utilizável (mm)	0,00	31,46	50,00	42,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Evapotranspiração Real (mm)	28,10	112,68	102,18	100,80	58,60	2,63	3,50	1,11	0,24	0,15	0,08	0,00	410,07
Excedente (mm)	0,00	0,00	85,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	85,52
Défice (mm)	76,93	0,00	0,00	0,00	24,05	64,64	57,36	52,57	72,44	69,60	88,76	94,25	600,60
Balanço Hídrico (ETP segundo Penman)	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
Precipitação (mm)	28,10	144,14	206,24	93,33	16,07	2,63	3,50	1,11	0,24	0,15	0,08	0,00	495,59
Evapotranspiração Potencial (mm)	79,10	75,60	60,90	62,70	40,40	34,70	34,90	39,90	60,00	64,70	79,60	81,60	714,10
Variação da Reserva (mm)	0,00	50,00	0,00	0,00	24,33	25,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Reserva Utilizável (mm)	0,00	50,00	50,00	50,00	25,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Evapotranspiração Real (mm)	28,10	75,60	60,90	62,70	40,40	28,30	3,50	1,11	0,24	0,15	0,08	0,00	301,07
Excedente (mm)	0,00	18,54	145,34	30,63	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	194,51
Défice (mm)	51,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,40	31,40	38,79	59,76	64,55	79,52	81,60	413,03

Quadro 5.1 - Balanço hidrológico de água no solo para o ano médio, utilizando valores de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Thornthwaite e de Penman para a estação de Assomada.

Balço Hídrico (ETP segundo Thornthwaite)	Ano Húmido (1967)												
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
Precipitação (mm)	0,00	69,20	705,50	514,10	38,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1327,00
Evapotranspiração Potencial (mm)	105,03	112,68	102,18	100,80	82,65	67,27	60,86	53,68	72,68	69,75	88,84	94,25	1010,67
Varição da Reserva (mm)	0,00	0,00	50,00	0,00	44,45	5,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Reserva Utilizável (mm)	0,00	0,00	50,00	50,00	5,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Evapotranspiração Real (mm)	0,00	69,20	102,18	100,80	82,65	5,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	360,38
Excedente (mm)	0,00	0,00	553,32	413,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	966,62
Défice (mm)	105,03	43,48	0,00	0,00	0,00	61,72	60,86	53,68	72,68	69,75	88,84	94,25	650,29
Balço Hídrico (ETP segundo Penman)	Ano Húmido (1967)												
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
Precipitação (mm)	0,00	69,20	705,50	514,10	38,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1327,00
Evapotranspiração Potencial (mm)	79,10	75,60	60,90	62,70	40,40	34,70	34,90	39,90	60,00	64,70	79,60	81,60	714,10
Varição da Reserva (mm)	0,00	0,00	50,00	0,00	2,20	34,70	13,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Reserva Utilizável (mm)	0,00	0,00	50,00	50,00	47,80	13,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Evapotranspiração Real (mm)	0,00	69,20	60,90	62,70	40,40	34,70	13,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	281,00
Excedente (mm)	0,00	0,00	594,60	451,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1046,00
Défice (mm)	79,10	6,40	0,00	0,00	0,00	0,00	21,80	39,90	60,00	64,70	79,60	81,60	433,10

Quadro 5.2 - Balço hidrológico de água no solo para o ano húmido, utilizando valores de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Thornthwaite e de Penman na estação de Assomada.

Balço Hídrico (ETP segundo Thornthwaite)	Ano Seco (1972)												
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
Precipitação (mm)	0,00	9,40	1,20	0,00	5,10	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,10
Evapotranspiração Potencial (mm)	105,03	112,68	102,18	100,80	82,65	67,27	60,86	53,68	72,68	69,75	88,84	94,25	1010,67
Varição da Reserva (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Reserva Utilizável (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Evapotranspiração Real (mm)	0,00	9,40	1,20	0,00	5,10	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,10
Excedente (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Défice (mm)	105,03	103,28	100,98	100,80	77,55	64,87	60,86	53,68	72,68	69,75	88,84	94,25	992,57
Balço Hídrico (ETP segundo Penman)	Ano Seco (1972)												
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
Precipitação (mm)	0,00	9,40	1,20	0,00	5,10	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,10
Evapotranspiração Potencial (mm)	79,10	75,60	60,90	62,70	40,40	34,70	34,90	39,90	60,00	64,70	79,60	81,60	714,10
Varição da Reserva (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Reserva Utilizável (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Evapotranspiração Real (mm)	0,00	9,40	1,20	0,00	5,10	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,10
Excedente (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Défice (mm)	79,10	66,20	59,70	62,70	35,30	32,30	34,90	39,90	60,00	64,70	79,60	81,60	696,00

Quadro 5.3 - Balço hidrológico de água no solo para o ano seco, utilizando valores de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Thornthwaite e de Penman na estação de Assomada.

Balanço Hídrico (ETP segundo Thornthwaite)	Ano Médio												
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
Precipitação (mm)	18,16	113,38	165,17	73,66	12,31	2,17	2,74	0,97	0,12	0,02	0,03	0,00	388,73
Evapotranspiração Potencial (mm)	118,80	123,61	112,09	115,76	94,05	76,24	69,99	60,63	77,52	79,05	100,80	107,25	1135,79
Variação da Reserva (mm)	0,00	0,00	50,00	42,10	7,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Reserva Utilizável (mm)	0,00	0,00	50,00	7,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Evapotranspiração Real (mm)	18,16	113,38	112,09	115,76	20,21	2,17	2,74	0,97	0,12	0,02	0,03	0,00	388,65
Excedente (mm)	0,00	0,00	3,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,08
Défice (mm)	100,64	10,23	0,00	0,00	73,84	74,07	67,25	59,66	77,40	79,03	100,77	107,25	750,14
Balanço Hídrico (ETP segundo Penman)	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
Precipitação (mm)	18,16	113,38	165,17	73,66	12,31	2,17	2,74	0,97	0,12	0,02	0,03	0,00	388,73
Evapotranspiração Potencial (mm)	79,10	75,60	60,90	62,70	40,40	34,70	34,90	39,90	60,00	64,70	79,60	81,60	714,10
Variação da Reserva (mm)	0,00	37,78	12,22	0,00	28,09	21,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Reserva Utilizável (mm)	0,00	37,78	50,00	50,00	21,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Evapotranspiração Real (mm)	18,16	75,60	60,90	62,70	40,40	24,08	2,74	0,97	0,12	0,02	0,03	0,00	285,72
Excedente (mm)	0,00	0,00	92,05	10,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	103,01
Défice (mm)	60,94	0,00	0,00	0,00	0,00	10,62	32,16	38,93	59,88	64,68	79,57	81,60	428,38

Quadro 5.4 - Balanço hidrológico de água no solo para o ano médio, utilizando valores de evapotranspiração potencial estimados pelo método de Thornthwaite e de Penman na estação de Telhal.

Balanço Hídrico (ETP segundo Thornthwaite)	Ano Húmido (1967)												
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
Precipitação (mm)	0,00	49,05	557,78	365,18	31,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1003,90
Evapotranspiração Potencial (mm)	118,80	123,61	112,09	115,76	94,05	76,24	69,99	60,63	77,52	79,05	100,80	107,25	1135,79
Variação da Reserva (mm)	0,00	0,00	50,00	0,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Reserva Utilizável (mm)	0,00	0,00	50,00	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Evapotranspiração Real (mm)	0,00	49,05	112,09	115,76	81,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	358,79
Excedente (mm)	0,00	0,00	395,69	249,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	645,11
Défice (mm)	118,80	74,56	0,00	0,00	12,16	76,24	69,99	60,63	77,52	79,05	100,80	107,25	777,00
Balanço Hídrico (ETP segundo Penman)	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
Precipitação (mm)	0,00	49,05	557,78	365,18	31,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1003,90
Evapotranspiração Potencial (mm)	79,10	75,60	60,90	62,70	40,40	34,70	34,90	39,90	60,00	64,70	79,60	81,60	632,50
Variação da Reserva (mm)	0,00	0,00	50,00	0,00	8,51	34,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Reserva Utilizável (mm)	0,00	0,00	50,00	50,00	41,49	6,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Evapotranspiração Real (mm)	0,00	49,05	60,90	62,70	40,40	34,70	6,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	254,54
Excedente (mm)	0,00	0,00	446,88	302,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	749,36
Défice (mm)	79,10	26,55	0,00	0,00	0,00	0,00	28,11	39,90	60,00	64,70	79,60	81,60	377,96

Quadro 5.5 - Balanço hidrológico de água no solo para o ano húmido, utilizando valores de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Thornthwaite e de Penman na estação de Telhal.

Balanço Hídrico (ETP segundo Thornthwaite)	Ano Seco (1972)												
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
Precipitação (mm)	0,00	5,80	1,73	0,00	4,33	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,06
Evapotranspiração Potencial (mm)	118,80	123,61	112,09	115,76	94,05	76,24	69,99	60,63	77,52	79,05	100,80	107,25	1135,79
Varição da Reserva (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Reserva Utilizável (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Evapotranspiração Real (mm)	0,00	5,80	1,73	0,00	4,33	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,06
Excedente (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Défice (mm)	118,80	117,81	110,36	115,76	89,72	74,04	69,99	60,63	77,52	79,05	100,80	107,25	1121,73
Balanço Hídrico (ETP segundo Penman)	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Total
Precipitação (mm)	0,00	5,80	1,73	0,00	4,33	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,06
Evapotranspiração Potencial (mm)	79,10	75,60	60,90	62,70	40,40	34,70	34,90	39,90	60,00	64,70	79,60	81,60	714,10
Varição da Reserva (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Reserva Utilizável (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
Evapotranspiração Real (mm)	0,00	5,80	1,73	0,00	4,33	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,06
Excedente (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Défice (mm)	79,10	69,80	59,17	62,70	36,07	32,50	34,90	39,90	60,00	64,70	79,60	81,60	700,04

Quadro 5.6 - Balanço hidrológico de água no solo para o ano húmido, utilizando valores de evapotranspiração potencial estimados pelos métodos de Thornthwaite e de Penman na estação de Telhal.

Assomada

Em relação ao ano médio (Figura 5.3), usando a evapotranspiração potencial calculada pelo método de Thornthwaite, somente estão reunidas condições para a existência de excedentes no mês de setembro, com valor de 85,52 mm. Nos restantes meses a evapotranspiração potencial é sempre superior à precipitação e, conseqüentemente, a evapotranspiração real iguala a precipitação.

O resultado do balanço na mesma estação, mas utilizando a evapotranspiração potencial calculada pelo método de Penman, mostra que poderá haver excedente nos meses de agosto, setembro e outubro no valor de 18,54 mm, 145,34 mm e 30,63 mm, respetivamente. Nos restantes meses a situação é semelhante ao mencionado anteriormente.

No ano húmido (Figura 5.4), como o de 1967, utilizando os valores de Thornthwaite para a evapotranspiração potencial resultam excedentes nos meses de setembro e outubro, com valores de 553,32 mm e 413,30 mm, respetivamente. Utilizando a evapotranspiração potencial estimada pelo método de Penman, a situação é semelhante, mas diferenciada nos valores obtidos para os excedentes. No mês de setembro o excedente é de 594,60 mm e em outubro de 451,4 mm.

Em ano seco, como sucedeu em 1972, não existem condições para ocorrência de excedentes, em nenhum dos meses, independentemente dos valores tomados para a evapotranspiração potencial em qualquer dos métodos. É de salientar ainda que podem ocorrer condições propícias à infiltração e

escoamento superficial na sequência de chuvas torrenciais ocasionais, não contempladas no método adotado, uma vez que o balanço é feito à unidade temporal mensal.

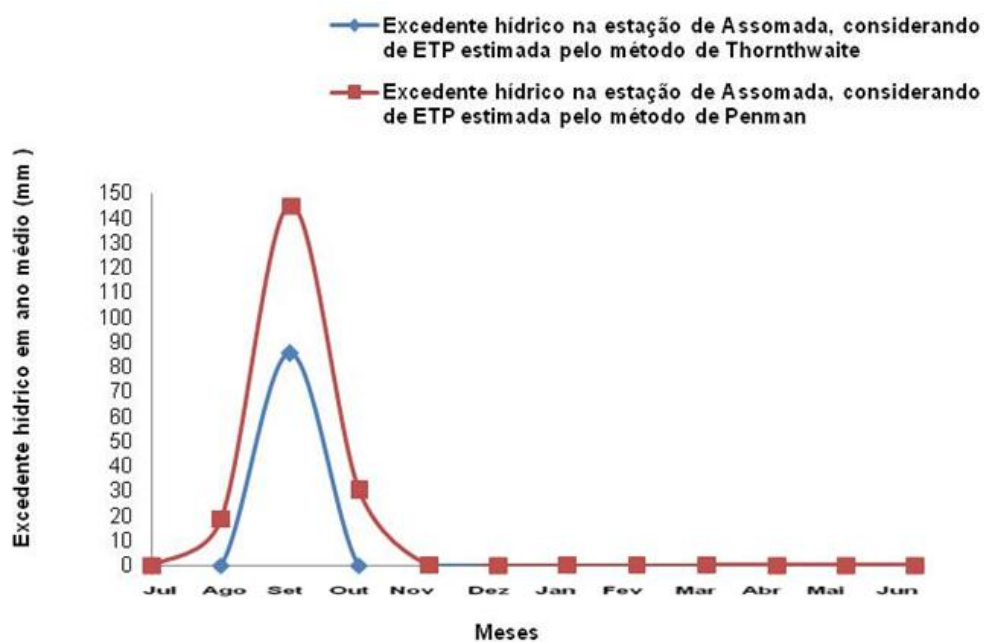


Figura 5. 3 - Distribuição mensal de excedente hídrico, em ano médio na estação de Assomada.

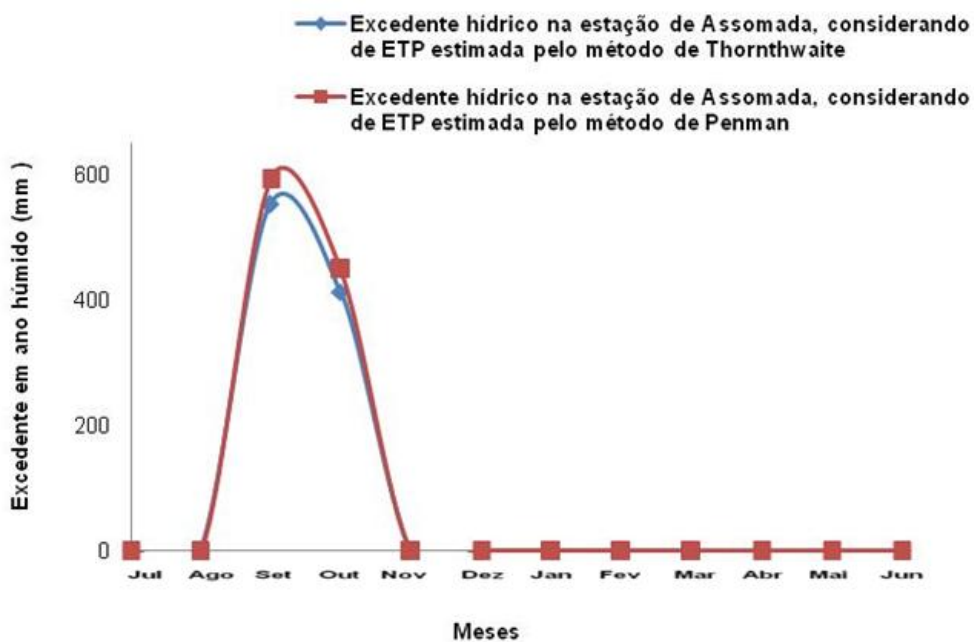


Figura 5. 4 - Distribuição mensal de excedente hídrico, em ano húmido na estação de Assomada.

Telhal

Estando proximamente situadas as estações de Assomada e Telhal, da análise dos resultados obtidos, em ambas, verifica-se semelhança nos mesmos, em termos de ocorrência e distribuição temporal. No entanto são de assinalar diferenças nos valores de excedentes encontrados.

Em ano médio (Figura 5.5), usando a evapotranspiração potencial calculada pelo método de Thornthwaite, verifica-se ocorrência de excedente hídrico apenas no mês de setembro, com valor de 3,08 mm. Utilizando a evapotranspiração potencial estimada pelo método de Penman, mostra condições para a ocorrência de excedente nos meses de setembro e outubro no valor de 92,05 mm e 10,96 mm, respetivamente.

Em ano húmido (Figura 5.6), como o de 1967, aplicando o método de Thornthwaite no cálculo da evapotranspiração potencial resultam excedentes nos meses de setembro e outubro, com valores de 395,69 mm e 249,42 mm, respetivamente. Utilizando a evapotranspiração potencial calculada pelo método de Penman, a situação é semelhante, mas diferenciada nos valores. No mês de setembro o excedente é de 446,88 mm e em outubro de 302,48 mm.

Em ano seco, como sucedeu em 1972, não há condições para existência de excedente hídrico em nenhum dos meses, independentemente do tipo e método utilizado para o cálculo da evapotranspiração potencial.

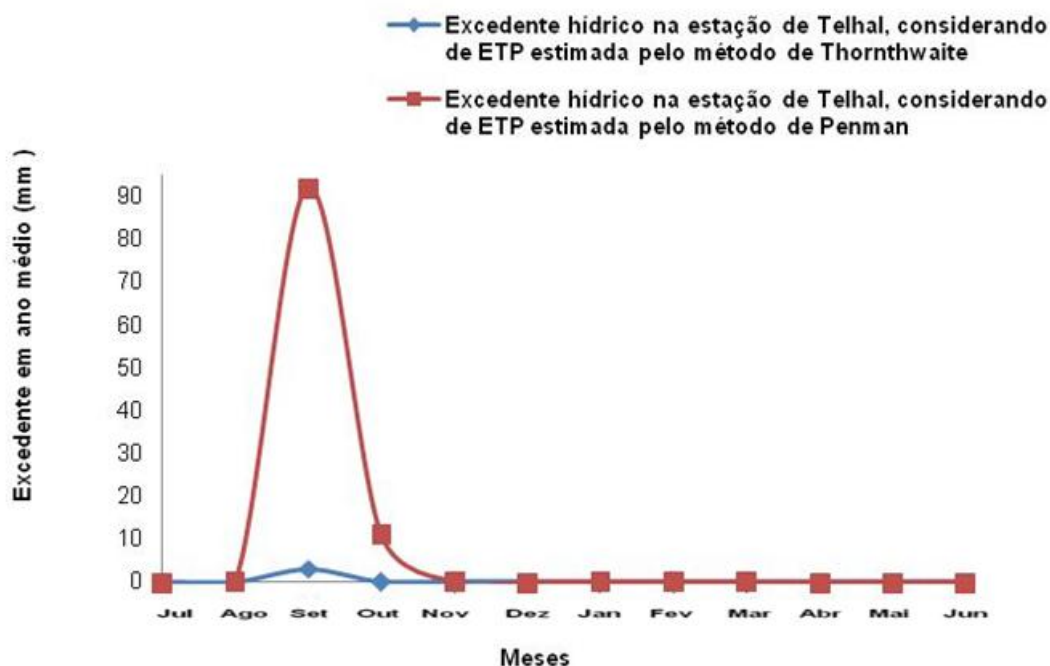


Figura 5. 5 - Distribuição mensal de excedente hídrico, em ano médio na estação de Telhal.

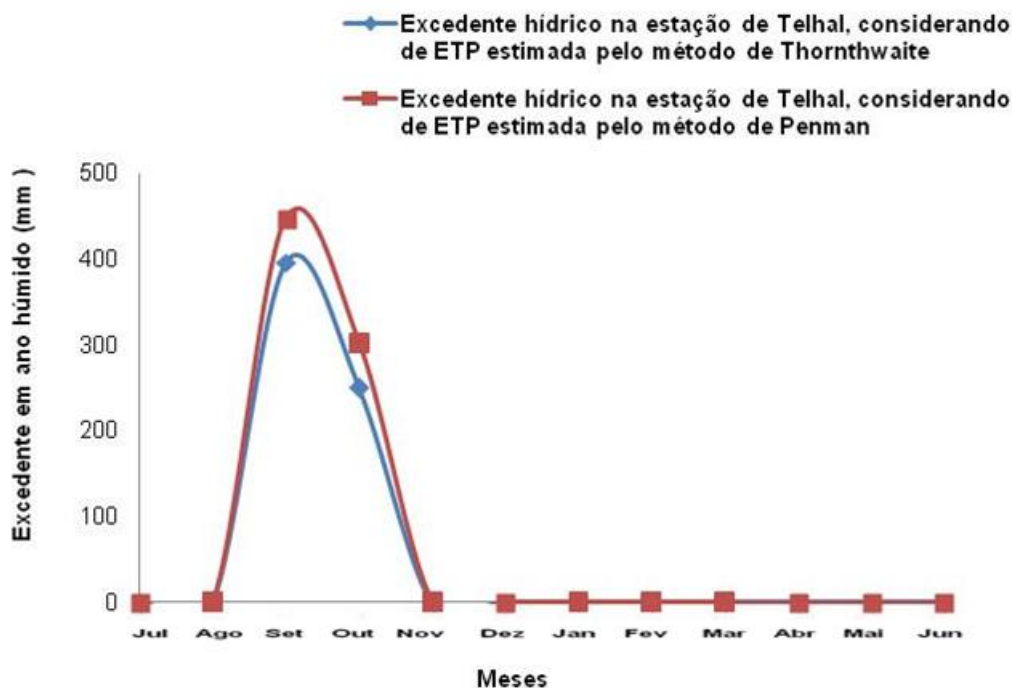


Figura 5. 6 - Distribuição mensal de excedente hídrico, em ano húmido na estação de Telhal.

5.2. Volume de água disponível na Bacia Hidrográfica dos Engenhos

A disponibilidade hídrica (em escoamento superficial e subterrâneo) na Bacia Hidrográfica dos Engenhos foi estimada a partir do excedente médio obtido pelo método do balanço hidrológico sequencial mensal de água no solo aplicado às estações de Assomada e Telhal e depois multiplicado pela área da Bacia. Obteve-se a ordem de grandeza do volume anual de disponibilidade hídrica na região em resultado da precipitação anual na Bacia e da subtração das perdas por evapotranspiração real, numa dinâmica de balanço entre entradas e saídas de água no solo.

Os valores encontrados variam entre 0 hm³/ano, em ano seco, e 35,91 hm³/ano (35 910 000 m³/ano), em ano húmido, com média aproximada na Bacia de 3,86 hm³/ano ou 3 860 000 m³/ano (Quadro 5.7).

Método utilizado para calcular a ETP	Disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica dos Engenhos		
	Ano Seco	Ano Médio	Ano Húmido
	(hm ³ /ano)		
Thornthwaite	0,0	1,77	32,83
Penman	0,0	5,95	35,91

Quadro 5.7 - Disponibilidade hídrica anual na Bacia Hidrográfica dos Engenhos, estimada a partir da aplicação dos métodos de Thornthwaite e Penman no cálculo da evapotranspiração potencial.

Os resultados mostram que a Bacia Hidrográfica dos Engenhos recebe anualmente um considerável volume de água, em comparação com a situação de escassez hídrica característica de Cabo Verde. Contudo, apenas uma pequena parte desta disponibilidade está ao alcance da população, devido à condicionante relacionada com a irregularidade temporal e espacial das variáveis climatológicas às quais se juntam as características geológicas e geomorfológicas da Bacia, ainda associadas à ausência de infraestruturas para o seu armazenamento.

A maior parte deste volume perde-se para o mar ao longo do ano hidrológico sob a forma de escoamento superficial. Este é favorecido pelo regime torrencial característico da ilha, resultante em parte da geomorfologia e reduzida cobertura vegetal. Só parte do volume excedentário alcança a zona saturada constituindo a recarga do aquífero. A recarga aquífera relaciona-se com a taxa de infiltração, variável consoante o tipo de solo, vegetação, natureza do subsolo e a profundidade da zona saturada.

Na Bacia Hidrográfica dos Engenhos desconhece-se, com precisão, o valor da taxa de infiltração, mas o relatório da DGASP (2005), considerando-a muito variável, admite que oscile entre 1% e 50%, de acordo com a litologia e a geomorfologia.

Para separar o escoamento subterrâneo do superficial, procurou-se relacionar a produtividade da nascente de Chão de Cana, situada na Bacia, e a infiltração resultante da precipitação que a alimentaria de modo a manter um caudal constante e igual ao valor médio observado no terreno. Relacionou-se o caudal anual da nascente com a área de recarga e este com a precipitação média anual na região. O resultado aponta para uma taxa de infiltração na ordem de 4,30%.

O caudal da nascente de Chão de Cana foi estimado em 2 L/s, permanecendo, embora reduzido quando se aproxima do esgotamento, em média, durante sete meses do ano. Foi medido *in situ* no dia 28 de março de 2013 por um familiar do autor desta dissertação.

Foi considerada a área de recarga da nascente de Chão de Cana a correspondente à área de afloramento da unidade CA no planalto de Santa Catarina e igual a 1,92 km², medida com o programa Autocad sobre a base geológica da ilha de Santiago, na escala 1:100 000.

Considerando a precipitação eficaz igual a 4,30% e os excedentes, calculados tendo como referência a evapotranspiração potencial calculada pelo método de Penman, estimaram-se os escoamentos superficial e subterrâneo (Quadro 5.8). A análise foi feita para o ano húmido e médio, não sendo adequado aplicar o mesmo critério para o ano seco, visto que o excedente é nulo. Significando porém que, pontualmente, possa ocorrer algum excedente hídrico na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.

Foram escolhidos os valores obtidos pelo método de Penman para calcular a evapotranspiração mensal porque os resultados obtidos no balanço sequencial mensal mostram mais plausíveis estes valores. Outros estudos realizados na ilha de Santiago aconselham também a utilização do método de Penman para calcular a ETP.

Os resultados mostram que, tanto no ano médio como no ano húmido, na Bacia Hidrográfica dos Engenhos, com taxa de infiltração de 4,3% o volume infiltrado é inferior ao escoamento superficial. No ano médio, a percentagem de infiltração em relação ao excedente representa cerca de 12,8% sendo

o escoamento superficial de 87,2%. Assim para ano húmido, a percentagem de infiltração em relação ao excedente diminui, cifrando-se em 5,6% e o escoamento superficial de 94,4%.

Seguindo o mesmo princípio, os volumes anuais envolvidos em escoamento superficial e subterrâneo são em ano médio de 5,1 hm³/ano (5 190 000 m³/ano) e de 0,76 hm³/ano (760 000 m³/ano) respetivamente (Quadro 5.9). Contudo, em ano húmido, estes valores aumentam para 33,9 hm³/ano (33 910 000 m³/ano) e 2,0 hm³/ano (2 000 000 m³/ano).

Ano	Precipitação anual (mm/ano)	Taxa de Infiltração (%)	Excedentes (mm/ano)	Infiltração/Recarga		Escoamento superficial	
				(mm/ano)	% em relação ao excedente	mm/ano	% em relação ao excedente
Médio	442,16	4,30	148,76	19,01	12,78	129,75	87,22
Húmido	1 163,95		897,68	50,05	5,58	847,63	94,42

Quadro 5.8 - Infiltração/recarga de aquíferos e escoamento superficial na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.

Ano	Escoamento superficial	Escoamento subterrâneo	Total
	(hm ³ /ano)		
Médio	5,19	0,76	5,95
Húmido	33,91	2,00	35,91

Quadro 5.9 - Escoamento superficial e subterrâneo na Bacia Hidrográfica dos Engenhos.

CAPÍTULO 6 - VIABILIDADE DA RECARGA ARTIFICIAL DE AQUÍFEROS NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS ENGENHOS

Na Bacia Hidrográfica dos Engenhos a água subterrânea é a principal fonte de água. Nos últimos anos o aumento das necessidades para o abastecimento humano e agricultura, com consequente sobreexploração dos aquíferos, aliado ao uso desadequado da terra, podem pôr em causa a sustentabilidade deste recurso, devido ao impacto negativo sobre a recarga natural de aquífero e no armazenamento subterrâneo. Por isso, para se conseguir uma boa gestão do recurso subterrâneo e de forma sustentável, há que aplicar medidas preventivas da exaustão do recurso e promover, simultaneamente, a pesquisa para identificação de novas fontes de água, onde se pode incluir o recurso à técnica de recarga artificial de aquíferos que permite aumentar a quantidade e a qualidade da água subterrânea disponível.

A eficácia e sucesso do uso da técnica de recarga artificial de aquíferos dependem de vários fatores que atuam interligados. O clima, a geologia, a hidrogeologia, a topografia, a existência de água em quantidade e qualidade para a recarga, para além dos aspetos legais e de gestão, as considerações ambientais e socioeconómicos condicionam, impedindo mesmo, o recurso a esta técnica.

A viabilização da recarga artificial de aquíferos na Bacia Hidrográfica dos Engenhos constituiria um grande desafio. Porém, a sua aplicação exige a existência de uma formação permeável, com capacidade para armazenar e transmitir água, bem como o conhecimento detalhado de aspetos relacionados com a geologia, hidrologia, hidrogeologia e hidroquímica. Na região em estudo, este conhecimento encontra-se aquém do desejável. Apesar das dificuldades esta técnica abre caminhos para o futuro ao permitir aumentar a quantidade e a qualidade de água disponível, numa região de grande escassez. Assim torna-se crucial avaliar as condições para a recarga, tais como, as fontes de água a utilizar para a recarga, analisar a sua qualidade, determinar as condições hidrogeológicas, identificar e/ou criar os locais para a injeção e salvaguardar os aspetos legais.

6.1. Avaliação das fontes de água a utilizar na recarga artificial de aquíferos

Na avaliação/análise da viabilização da recarga artificial de aquíferos, a existência de água disponível na região, em quantidade e qualidade, constitui uns dos principais condicionantes do processo e, por isso, deve ser convenientemente equacionada.

A análise da disponibilidade de água requer estudos detalhados da sua natureza, qualidade, caudal e oscilações temporais.

A água usada na recarga artificial de aquíferos pode ser de origem superficial contínua ou descontínua, residual doméstica tratada ou subterrânea, proveniente de outro aquífero, importada de outras regiões ou da chuva.

Na Bacia Hidrográfica dos Engenhos as fontes disponíveis de água que podem ser utilizadas na recarga artificial de aquíferos podem compreender as águas de escorrência superficial ou de excedentes das nascentes naturais durante a época das chuvas. Nestas últimas inclui-se o excedente da nascente de Chão de Cana que poderá ser injetado em poços situados no aquífero aluvial.

6.1.1. Água de escorrência superficial

Na Bacia Hidrográfica dos Engenhos a água de escorrência superficial durante a época da chuva constitui um importante recurso, que se perde anualmente para o oceano por falta de infraestruturas para o seu aproveitamento. O volume anual de água de escorrência superficial estimado na Bacia é da ordem de 5,19 hm³/ano. Parte deste volume poderia ser utilizado para a recarga de aquíferos se contornados alguns problemas inerentes à característica torrencial do escoamento.

A distribuição irregular da precipitação, concentrada num curto período do tempo, originando grandes caudais de cheias, dificulta o seu aproveitamento, uma vez que para a recarga se desaconselham águas com elevadas concentrações de partículas sólidas. Quando assim acontece a sua utilização obriga à implementação de instalações auxiliares para decantação e pré-tratamento, o que encarece o processo, inviabilizando mesmo o recurso à recarga artificial nestas condições.

6.1.2. Água subterrânea de nascentes

Na Bacia Hidrográfica dos Engenhos não se conhece, com precisão, o caudal das nascentes, muito menos o que se perde anualmente sem ser aproveitado, devido à inexistência de registos de caudais. Os residentes junto aos locais de emergência assistem todos os anos à drenagem pelas linhas de água do caudal excedentário à capacidade dos reservatórios instalados para a sua contenção, principalmente após o início da época das chuvas (Figura 6.1).

Nesta Bacia existem vários reservatórios superficiais para armazenamento do escoamento superficial construídos com o intuito de represar águas para fins agrícolas. No entanto a sua capacidade fica muito aquém do caudal debitado anualmente pelas nascentes, sendo por isso

insuficientes face às necessidades e à produtividade das nascentes, razão pelas quais seria interessante proceder ao armazenamento subterrâneo, mais económico e ambientalmente eficaz.

Os excedentes que se perdem todos os anos poderiam representar importante fonte de recurso para diversos fins, principalmente para uso agrícola. O seu armazenamento subterrâneo tornaria possíveis utilizações após o esgotamento das nascentes, na época seca. Contudo, este processo de injeção subterrânea requer um conhecimento detalhado sobre o funcionamento hidráulico das nascentes, do caudal e da qualidade da água. Para isso é fundamental a instalação de medidores de caudais em todas as nascentes, bem como a monitorização periódica e regular da composição físico-química da água.



Figura 6.1 - Caudais da Ribeira no mês de setembro 2012, em Pinha dos Engenhos e Chão de Cana na Bacia Hidrográfica dos Engenhos (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 25/10/2012).

6.2. Avaliação da qualidade da água

A saúde pública e as doenças propagadas pela água quando esta não tem qualidade ou escasseia são das principais preocupações da sociedade. Para além dos aspetos estéticos, que limitam a aceitabilidade dos consumidores, constituem também motivação para o tratamento da água para consumo humano.

Também para a recarga artificial de aquíferos, a qualidade de água é tão ou mais importante que a quantidade, inviabilizando mesmo a sua concretização.

A água utilizada na recarga artificial de aquíferos deve ser de boa qualidade, de forma que a sua interação com o meio recetor não provoque a sua contaminação.

No processo de viabilização desta técnica devem ser analisados periodicamente alguns aspetos, nomeadamente a composição físico-química dos principais componentes, compostos de azoto e fósforo, compostos orgânicos, metais pesados, elementos radioativos a bacteriologia e virologia.

Em Cabo Verde a qualidade de água é feita com grande deficiência, apesar da existência do DL n.º 8/2004 de 23 de fevereiro, que estabelece os critérios e as normas de qualidade da água para consumo humano. Apesar de tudo, na Bacia Hidrográfica dos Engenhos a água é consumida sem qualquer tratamento, a não ser a desinfecção tradicional com clorina no domicílio.

Relativamente à qualidade da água para a recarga artificial de aquíferos, em Cabo Verde não existe nenhuma legislação que estabeleça os critérios de qualidade de água a utilizar.

Assim, procedeu-se ao estudo da composição físico-química da água de poços e nascentes na Bacia dos Engenhos, nos parâmetros estabelecidos pelo DL n.º 8/2004.

6.2.1. Análise e discussão dos resultados

Procedeu-se à determinação de parâmetros físico-químicos de amostras de água captadas em poços, nascentes e de escorrência superficial na Bacia Hidrográfica dos Engenhos, como condutividade elétrica, pH, alcalinidade e concentração em iões sódio, potássio, cálcio, magnésio, bicarbonato, cloreto, sulfato e nitrato, cujos boletins de análise se disponibilizam no anexo III.

Os resultados obtidos foram comparados com os valores recomendados pelo DL n.º 8/2004 de 23 de fevereiro para a qualidade da água a usar no consumo humano.

O Quadro 6.1 mostra os resultados obtidos, bem como os valores máximos recomendados e admissíveis pelo referido Decreto-Lei.

Parâmetros	Unidade	DL 8/2004		Composição físico-química da água na Bacia Hidrográfica dos Engenhos				
		VMR	VMA	Nascente de Chão de Cana	Nascente de Chão de Coelho	Poço de Chão de Cana	Ribeira a Jusante da Nascente de Chão de Cana	Ribeira a montante da Nascente de Chão de Cana
pH	Escala Sorensen	6,5 - 8,5	9,5	7,8	8,1	7,8	8,1	8,1
Condutividade	µS/cm (20 °C)	400	-	727	426	837	763	714
Alcalinidade		-	-	55	35	55	54,1	53
Sódio	mg/L	20	200	49,4	54,9	53,3	53,6	52,6
Potássio	mg/L	10	12	5,7	7,8	7,4	8,2	8,9
Cálcio	mg/L	100	-	93	29,9	92	98,2	101,6
Magnésio	mg/L	30	50	48	19,8	49,3	53,9	50,4
Bicarbonato	mg/L	-	-	335,5	210,4	335,5	329,4	323,3
Cloreto	mg/L	25	250	98,3	46,8	105,5	111,2	113,7
Sulfato	mg/L	25	250	23,1	9,4	30,1	34,6	35,4
Nitrato	mg/L	25	50	62,7	12,5	65,9	71,7	71,4

Quadro 6.1 - Composição físico-química da água na Bacia Hidrográfica dos Engenhos e comparação com os valores máximos recomendados (VMR) e valores máximos admissíveis (VMA) estabelecidos no DL n.º 8/2004.

Condutividade elétrica

Corresponde à capacidade que a água possui para transmitir a corrente elétrica. Dependendo da concentração de sais dissolvidos sob a forma de iões e da temperatura. Sendo variável com a temperatura este parâmetro é medido para temperatura padrão de 20 °C e/ou 25°C.

A condutividade elétrica obtida varia entre o mínimo de 426 $\mu\text{S/cm}$ para a nascente de Chão de Coelho e o máximo de 837 $\mu\text{S/cm}$ para o poço de Chão de Cana. Os valores medidos são superiores ao valor máximo recomendado, de 400 $\mu\text{S/cm}$ a 20 °C para água de consumo humano (DL n.º 8/2004). No entanto todos eles estão dentro dos valores mais frequentes para água doce, entre 10 e 1000 $\mu\text{S/cm}$.

pH

Mede a concentração hidrogeniônica da água ou solução, sendo dependente do gás carbônico dissolvido e alcalinidade da água. Varia entre 0 e 14, sendo o meio ácido para valores do pH inferiores a 7 e básico quando superiores.

Os valores de pH obtidos, entre 7,8 e 8,1, estão de acordo com os valores estabelecidos pelo DL n.º 8/2004.

Alcalinidade

É a capacidade que a água tem para neutralizar ácidos, consequência direta da presença ou ausência de carbonatos e bicarbonatos.

Os valores obtidos variam entre 35 mg/L e 55 mg/L. O DL n.º 8/2004 não impõe nenhum valor limite para este parâmetro, uma vez que a alcalinidade não representa qualquer perigo para a saúde pública. No entanto, é importante referir que águas alcalinas são desagradáveis ao paladar.

Sódio (Na^+)

É o catião mais importante e abundante em águas subterrâneas, onde as concentrações variam normalmente entre 0,1 mg/L e 100 mg/L. Águas com elevados teores de sódio são prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, uma vez que reduzem a permeabilidade dos solos.

Os valores obtidos encontram-se na mesma ordem de grandeza, variando entre 49,4 mg/L e 54,9 mg/L. Todos os valores estão acima do VMR para o consumo humano que é de 20 mg/L e abaixo do VMA de 200 mg/L (DL n.º 8/2004).

Potássio (K^+)

Segundo Feitosa & Filho (2000), em águas subterrâneas o potássio (K^+) encontra-se em reduzidas concentrações devido à sua grande participação no processo de troca iônica e por ser absorvido facilmente pelas argilas presentes no solo e muito é utilizado pelos vegetais. A sua concentração em águas subterrâneas é inferior a 10 mg/L. Tem a particularidade de, no corpo humano, para além de regular o batimento cardíaco, ser responsável por controlar os impulsos nervosos e as contrações musculares. Quando em excesso pode causar fadiga, paralisia muscular e diarreia, em falta pode provocar insónia, fadiga e baixa de açúcar no sangue.

Os valores obtidos, entre 5,7 e 8,9 mg/L, encontram-se abaixo dos estabelecidos no DL n.º 8/2004.

Cálcio (Ca²⁺)

É o catião mais abundante nas águas e nas rochas, sendo em água subterrânea a concentração do cálcio variável entre 10 mg/L e 100 mg/L. Este é responsável por manter os ossos saudáveis, bem como atuar no mecanismo de coagulação do sangue e controlar os impulsos nervosos e as contrações. A falta de cálcio provoca raquitismo e osteoporose. O seu excesso pode provocar dores musculares, fraqueza, sede, desidratação e ainda o envelhecimento da célula. Também é muito importante para o crescimento dos vegetais (Feitosa & Filho, 2000).

Os valores obtidos, com exceção da amostra recolhida na ribeira a montante da nascente de Chão de Cana, encontram-se abaixo do VMR para o consumo humano que é de 100 mg/L (DL n.º 8/2007). O Decreto-Lei em vigor não define um valor para máximo admissível.

Magnésio (Mg²⁺)

Em águas subterrâneas a concentração do magnésio varia entre 1 a 40 mg/L. Este desempenha um papel muito importante no corpo humano, sendo responsável pela conversão de açúcar em energia. É ainda necessário para o bom funcionamento dos nervos e músculos. A sua carência provoca nervosismos e tremores e em excesso atua como laxante. Ao nível da agricultura o magnésio é benéfico, uma vez que é dos principais componentes da clorofila. No entanto o seu excesso é maléfico (Feitosa & Filho, 2000).

Os valores obtidos para as águas analisadas variam entre o mínimo de 19,8 mg/L para a nascente de Chão de Coelho e máximo de 53,9 mg/L para a água recolhida na ribeira a jusante da nascente de Chão de Cana. Exceto a água da nascente de Chão de Coelho, todas as restantes analisadas apresentam concentrações de magnésio acima do VMR (DL n.º 8/2007). As águas superficiais da ribeira possuem concentração em magnésio acima VMA para o consumo humano que é de 50 mg/L.

Bicarbonato (HCO₃⁻)

Em águas doces a concentração do ião bicarbonato varia entre 50 e 350 mg/L, podendo chegar a 800 mg/L (Feitosa & Filho, 2000).

As águas analisadas mostram valores entre 210,4 mg/L e 335,5 mg/L. O DL n.º 8/2004 não impõe nenhum valor limite para o este parâmetro.

Cloreto (Cl⁻)

Segundo Feitosa & Filho (2000) a concentração de cloreto em águas subterrâneas é inferior a 100 mg/L. Este é um bom indicador de poluição para aterros sanitários e lixeiras. Elevadas concentrações deste ião torna as águas tóxicas para a maioria dos vegetais, impedindo o seu crescimento.

Os valores obtidos para as águas analisadas variam entre o mínimo de 46,8 mg/L para a nascente de Chão de Coelho e máximo de 113,7 mg/L para a água recolhida na ribeira a montante da nascente de Chão de Cana. Todos os valores estão acima do VMR para o consumo humano que é de 25 mg/L (DL n.º 8/2004). Contudo, estão abaixo o VMA de 250 mg/L.

Sulfato (SO₄²⁻)

Os valores obtidos variam entre 9,4 mg/L e 35,4 mg/L. Exceto as águas das nascentes de Chão de Coelho e de Chão de Cana, todas as restantes analisadas apresentam concentrações de sulfato acima do VMR para o consumo humano que é de 25 mg/L (DL n.º 8/2004). No entanto, estão abaixo do VMA de 250 mg/L.

Nitrato (NO₃⁻)

Ocorre em pequenas concentrações variáveis, normalmente, entre 0,1 a 10 mg/L. A água subterrânea com concentrações superiores a 5 mg/L indicam contaminação resultante de atividades antropogénicas (Feitosa & Filho, 2000).

As águas analisadas, com exceção da nascente de Chão de Coelho, mostram concentrações do ião nitrato superiores ao valor máximo admissível (VMA) de 50 mg/L (DL nº 8/2004).

Segundo a OMS (2004) a presença de nitrato em água pode surgir da aplicação excessiva de fertilizantes ou da lixiviação de águas residuais. Altas concentrações de nitrato podem provocar intoxicação em recém-nascidos por metahemoglobinemia, conhecida também por doença de bebês azuis. A água com elevada concentração de nitrato é prejudicial à saúde, contudo favorável para a agricultura.

Na Bacia Hidrográfica dos Engenhos o excesso de nitrato nos pontos de água analisados pode estar associado à contaminação produzida pelas fossas sépticas, a inexistência de rede de drenagem de águas residuais e da utilização de fertilizantes e pesticidas na agricultura irrigada.

Representação da composição iónica da água em diagrama poligonal de Stiff

As análises químicas de água também podem ser simplificadas através da representação gráfica. Existem inúmeras formas de apresentação gráfica, vulgarmente em diagramas colunares, circulares, poligonais, logarítmicos e triangulares.

Neste estudo optou-se pela representação gráfica dos resultados em diagrama de Stiff utilizando o programa AquaChem. As concentrações iónicas foram representadas sobre linhas paralelas horizontais, em meq/L. Ligando todos os pontos obtiveram-se polígonos característicos para cada tipo de água analisada.

Da Figura 6.2 ressalta que a composição química da água da nascente, do poço e da ribeira de Chão de Cana são quimicamente semelhantes, sendo todas de tipo bicarbonatada-cálcica-magnesianas. Nestas águas o catião predominante é o cálcio, seguido do magnésio e sódio e o anião predominante é o bicarbonato, seguido do cloreto e sulfato.

A água da nascente de Chão de Coelho (Figura 6.3) apresenta características diferentes das restantes águas analisadas. A sua composição química é de tipo bicarbonatada-sódica-magnésiana.

Das amostras analisadas, a água da nascente de Chão de Coelho é a que apresenta melhor qualidade, porque todos os parâmetros analisados encontram-se de acordo com estabelecidos pelo DL nº 8/2004. Por isso, esta constitui uma importante fonte a ser utilizada para o abastecimento. No entanto, do conhecimento do local, a nascente possui um caudal durante o ano muito baixo, chegando a ser quase nulo na época seca.

Para a recarga artificial de aquíferos na Bacia Hidrográfica dos Engenheiros o estudo da qualidade da água deve ser aprofundado e estendido a outros locais, de modo a fazer-se a caracterização global da hidroquímica da Bacia Hidrográfica dos Engenheiros.

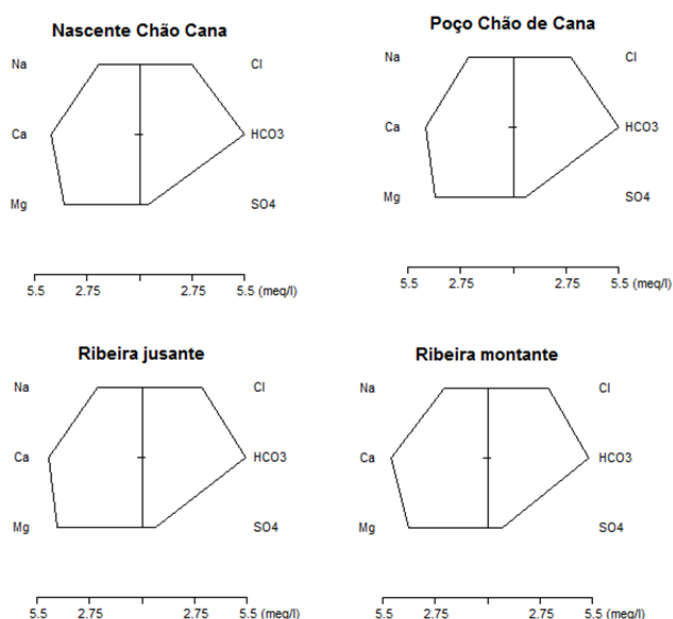


Figura 6.2 - Representação em diagrama de Stiff da composição iónica da água da nascente, poço, e ribeira em Chão de Cana.

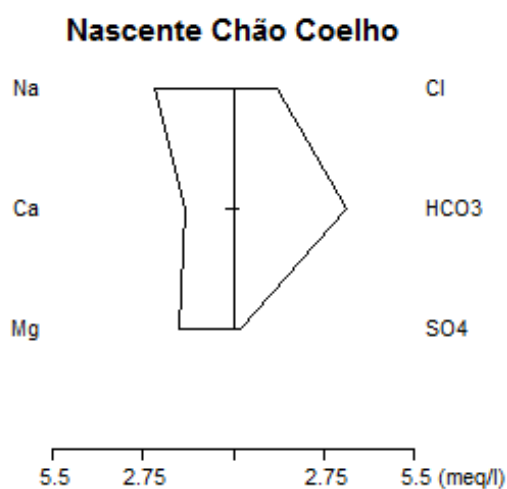


Figura 6.3 - Representação em diagrama de Stiff da composição iónica da água da nascente de Chão de Coelho.

6.3. Condições hidrogeológicas para a recarga artificial de aquíferos

A viabilização da recarga artificial de aquíferos carece de um estudo detalhado sobre as condições hidrogeológicas do local ou locais onde se pretende injetar a água, uma vez que a escolha de uma determinada área para a recarga artificial de aquíferos depende do comportamento hidrogeológico e do grau de conhecimento.

Na Bacia Hidrográfica dos Engenhos a análise e escolha de possíveis áreas para a recarga artificial de aquíferos constitui um importante passo para a sua viabilização.

Do ponto de vista hidrogeológico, nesta Bacia, a circulação de água em meio subterrâneo é feita através de pontos privilegiados, sendo dependentes do grau de fraturação das rochas e das áreas e espessura das aluviões.

O planalto de Santa Catarina é uma zona plana e é constituído por formação permeável. Este planalto recebe todos os anos uma quantidade significativa de precipitação durante a estação húmida. Por isso, todo o planalto constitui uma importante zona de recarga natural da Bacia. Atualmente a maior parte desta área encontra-se ocupada por edificações e, estando longe de fontes de água a serem utilizadas na recarga, tornam problemática a seleção deste planalto para a recarga artificial. No entanto, tratando-se de uma área com boas condições para a recarga natural de aquíferos chama-se a especial atenção para a sua preservação, como tal. O aumento da área urbanizada com conseqüente impermeabilização superficial do solo, em Achada Galego, Cumbem e Achada Gomes tem contribuído para a diminuição do recurso subterrâneo da Bacia Hidrográfica dos Engenhos.

A aluvião, na base dos vales das ribeiras da Bacia Hidrográfica dos Engenhos, apresenta condições hidrogeológicas propícias ao armazenamento de água, visto que são constituídas por materiais permeáveis. A área total da aluvião que se distribui pela Bacia ocupa aproximadamente 1,82 km².

É importante salientar que podem existir outras áreas na Bacia com condições hidrogeológicas favoráveis para a aplicação desta técnica, contudo é necessário um estudo local mais detalhado.

A recarga artificial de aquíferos na Bacia parece viável, à partida, porém para a sua concretização é necessária a recolha de dados e informações suplementares sobre:

- Litologia dos materiais que constituem o aquífero aluvial;
- Geometria do aquífero;
- Piezometria;
- Hidroquímica e qualidade de água;
- Parâmetros hidráulicos, designadamente a transmissividade, porosidade eficaz, condutividade hidráulica, permeabilidade, coeficiente de armazenamento, taxa de infiltração;
- Velocidade de escoamento e fluxo subterrâneo;
- Reserva permanente e reguladora do aquífero;
- Zonas de descarga natural;
- Usos, carências e consumos de águas;
- Balanço hídrico.

Por estas razões, há um longo caminho a percorrer para a aplicação da técnica de recarga artificial na Bacia em estudo, uma vez que o conhecimento disponível está muito aquém do requerido.

6.4. Instalações de recarga artificial de aquíferos na Bacia Hidrográfica dos Engenhos

Cada experiência de recarga artificial de aquíferos apresenta característica específica, por isso a análise deve ser feita para cada caso, em concreto. A escolha de um determinado processo e instalação devem resultar de uma análise criteriosa, conjunta, de aspetos técnicos e económicos. A escolha deve incluir a análise das diferentes alternativas de infiltração, necessidade e tipo de instalações auxiliares, método e equipamentos de controlo e monitorização e instalação de transporte de água para a recarga (Diaz *et al.*, 2000).

No entanto, Diaz *et al.* (2000) referem que, na escolha de um determinado método, é necessário ter em consideração os seguintes fatores, designadamente o preço e disponibilidade do terreno, fatores estéticos e ambientais, permeabilidade do aquífero, construção de instalações, caudal de recarga, perdas por evapotranspiração, requisitos de qualidade de água, colmatação e grau de depuração da água e do solo.

Na Bacia Hidrográfica dos Engenhos os possíveis métodos que poderiam ser utilizados são:

- Poços ou furos de injeção;
- Bacia de infiltração;
- Barragem subterrânea.

As infraestruturas existentes na Bacia, como poços e furos, poderiam ser aproveitadas para a injeção num processo de recarga artificial de aquíferos.

6.5. Aspetos legais

Em Cabo Verde e conseqüentemente na Bacia em estudo, a inexistência de uma lei unitária sobre a recarga artificial de aquíferos, a escassa experiência e estudos sobre esta técnica dificultam o processo de viabilização. Por estas razões, propõe-se a criação de uma regulação específica, sistemática e unitária sobre a recarga artificial. Segundo Beceiro (2009) esta norma deve incluir todos os aspetos sobre a recarga artificial de aquíferos, designadamente o conceito, os tipos de recarga artificial (por origem da água de recarga e por método empregado), obras necessárias e o seu mecanismo de financiamento (público ou privado).

6.6. Proposta de recarga artificial do aquífero aluvial utilizando caudal excedentário da nascente de Chão de Cana

Na Bacia Hidrográfica dos Engenhos, a aluvião que se situa ao longo do vale principal reúne, em princípio, condições para a recarga artificial, visto que é constituída por material permeável. Por isso, resulta deste estudo a proposta para aplicação da técnica de recarga artificial no aquífero aluvial da ribeira, utilizando como fonte de água o caudal excedentário da nascente de Chão de Cana durante a estação húmida. A Figura 6.4 mostra a localização da Nascente de Chão de Cana e possível área para injeção da água no aquífero.

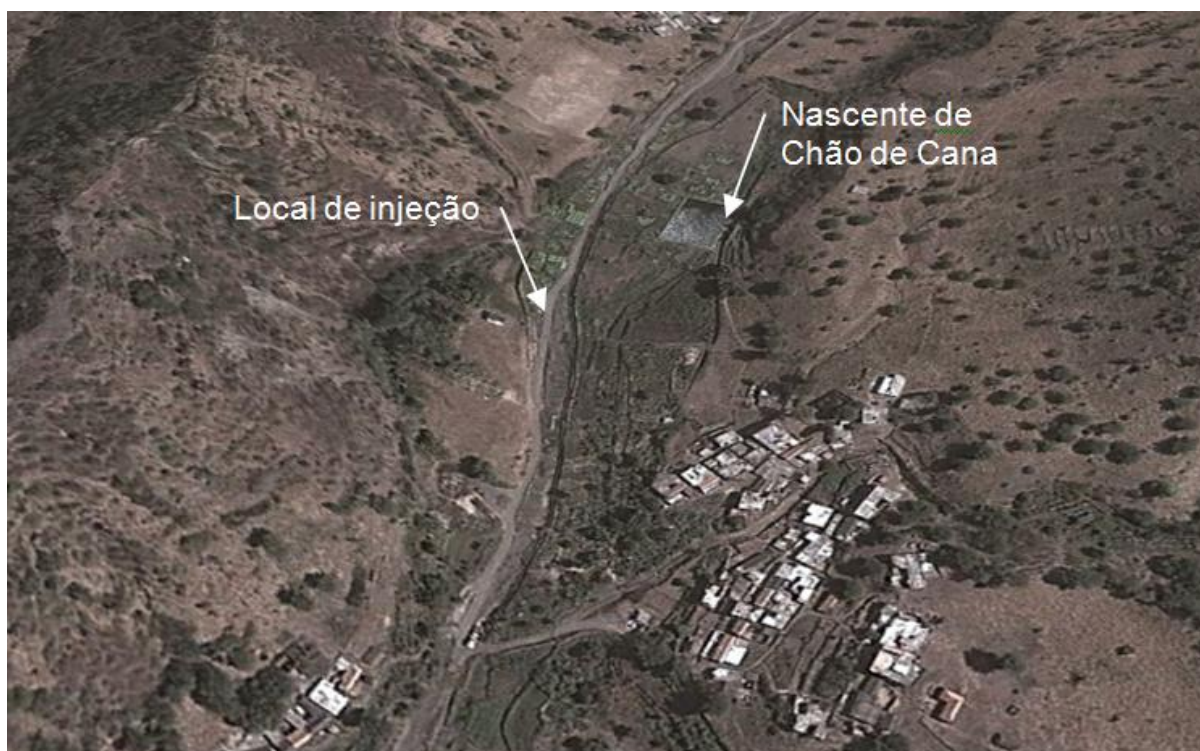


Figura 6.4 - Localização da nascente de Chão de Cana e indicação da área para a injeção da água no aquífero.

6.6.1. Caracterização do aquífero aluvial

A partir da nascente de Chão de Cana e até Águas Belas a aluvião ocupa uma área de aproximadamente 1,63 km². Desconhece-se a variação da espessura do aquífero aluvial, mas segundo DGASP (2005) em Mato Sancho as aluviões atingem espessuras da ordem dos 30 a 40 m.

Considerando 30 m de espessura, estima-se o volume total da aluvião, a partir da equação 6.1, no valor de 48 600 000 m³.

$$V = A \times e \quad (6.1)$$

Onde:

V - Volume total da aluvião (m³)

A - Área superficial do aquífero (m²)

e - Espessura do aquífero (m)

Para calcular o volume de armazenamento considerou-se uma porosidade eficaz de 20%, tendo em conta os valores característicos das rochas granulares que constituem a aluvião. O volume de armazenamento do aquífero aluvial a partir da nascente de Chão de Cana obtido pela equação 6.2 é de 9 720 000 m³.

$$V_a = A \times e \times ne \quad (6.2)$$

Onde:

V_a - Volume de Armazenamento (m³)

A - Área superficial do aquífero (m²)

e - Espessura do aquífero (m)

ne - Porosidade eficaz

Para efetivar a técnica de recarga artificial no aquífero aluvial utilizando o volume excedentário da nascente de Chão de Cana é necessário conhecer a taxa de infiltração, condutividade hidráulica, transmissividade, porosidade, permeabilidade, velocidade de escoamento e coeficiente de armazenamento, bem como conhecer a reserva permanente e variável do aquífero aluvial através da instalação de piezómetros. O conhecimento da variação da espessura ao longo do curso principal da ribeira, a partir de Chão de Cana, é fundamental para conhecer o volume real de armazenamento deste aquífero aluvial.

Com o conhecimento hidrogeológico detalhado seria possível simular o comportamento do aquífero face à recarga através de modelos matemáticos do fluxo subterrâneo.

6.6.2. Caracterização da nascente de Chão de Cana

A nascente de Chão de Cana é temporária, o seu caudal varia ao longo do ano. O conhecimento da variação sazonal não é possível saber-se porque não existem medidores de caudal instalados.

Para este estudo estimou-se um caudal de aproximadamente 2 L/s, valor medido no local, e constante durante 7 meses, resultando o volume anual de água de 36288 m³.

No local existe um reservatório superficial com capacidade de 5000 m³ para armazenamento da água desta nascente para fins agrícolas (Figura 6.5).

Para armazenar o volume debitado anualmente pela nascente de Chão de Cana seriam necessários mais seis reservatórios com a mesma capacidade do já existente. Em alternativa, poder-se-ia aproveitar o caudal não represado para a recarga artificial do aquífero aluvial injetando-o nos poços existentes na aluvião.

Relativamente à qualidade de água efetuada em Chão de Cana mostra que o aquífero aluvial tem concentração de nitratos acima do VMA para o consumo humano. No entanto, esta água pode ser

utilizada para a recarga do aquífero aluvial, uma vez que a concentração de nitrato no aquífero é superior à da nascente, como se pode verificar através da análise de qualidade de água do poço de Chão de Cana. A água armazenada no aquífero aluvial só poderia ser utilizada na agricultura.

Para diminuir a concentração de nitrato no aquífero há que definir medidas preventivas e de remediação, nomeadamente no que se refere às boas práticas agrícolas e bom uso do solo, e o caso da localização e construção adequadas de fossas sépticas.

Para efetivar a utilização desta água para a recarga do aquífero seria conveniente um conhecimento detalhado sobre a quantidade e qualidade da água desta nascente, por isso, propõe-se a instalação de medidores de caudal, bem como a monitorização da qualidade da água.



Figura 6.5 - Reservatório coletor da água da nascente de Chão de Cana (Grupo Ribeira dos Engenhos, consultado em 30/05/2013).

6.6.3. Método de recarga artificial de aquíferos a utilizar

O método de recarga artificial proposto para aproveitamento dos volumes excedentários da nascente de Chão de Cana consiste na introdução da água em poços de injeção.

De forma a retardar o escoamento subterrâneo, devido à reduzida expressão do depósito aluvial, seria necessário estudar a possibilidade de conciliar o poço de injeção com a construção de barragens subterrâneas ou seja a construção de cortinas verticais ao longo da aluvião, entre Chão de Cana e Águas Belas. A quantidade e a concepção de barragens a construir ao longo da aluvião devem ter em conta a eficiência pretendida, isto é, conter sem obstruir o fluxo subterrâneo, sendo construídas em materiais semipermeáveis.

CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. Conclusões

Tendo em conta o objetivo desta dissertação, o de avaliar a disponibilidade de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica dos Engenhos bem como estudar a viabilização na Bacia da técnica de recarga artificial de aquíferos, tiram-se as seguintes conclusões.

Recursos Hídricos

Em termos de disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica dos Engenhos ressalta que esta surge variável, de acordo com o método utilizado para estimar a evapotranspiração potencial. Aplicando o método Thornthwaite o volume anual de disponibilidade hídrica é avaliado em $0 \text{ h}^3/\text{ano}$ em ano seco, $1,77 \text{ hm}^3/\text{ano}$ em ano médio e $32,83 \text{ hm}^3/\text{ano}$ em ano húmido. Utilizando o método de Penman a disponibilidade é na ordem de $0 \text{ h}^3/\text{ano}$ em ano seco, $5,95 \text{ hm}^3/\text{ano}$ em ano médio e $35,91 \text{ hm}^3/\text{ano}$ em ano húmido.

Considerando o método de Penman no cálculo evapotranspiração potencial e uma taxa de infiltração de 4,3% separou-se o escoamento superficial do subterrâneo. Na Bacia os volumes anuais envolvidos em escoamento superficial são na ordem de $5,19 \text{ h}^3/\text{ano}$ em ano médio e $33,91 \text{ hm}^3/\text{ano}$ em ano húmido. O escoamento subterrâneo é de $0,76 \text{ hm}^3/\text{ano}$ em ano médio e $2,00 \text{ hm}^3/\text{ano}$ em ano húmido.

Na Bacia só uma pequena parte desta disponibilidade se encontra ao alcance da população, devido à distribuição desigual da precipitação na Bacia, a nível espacial e temporal, aliada às características geológicas e à falta de infraestruturas para o seu armazenamento e aproveitamento.

No que concerne ao uso da água, na Bacia Hidrográfica dos Engenhos esta destina-se ao abastecimento da população, agricultura e pecuária. Os consumos são fortemente dependentes de águas subterrâneas, exploradas de forma desregulada através de poços, furos e nascentes.

Recarga artificial do aquífero aluvial

Na Bacia hidrográfica dos Engenhos parece viável o recurso à técnica de recarga artificial de aquíferos. Porém, a sua implementação carece de um conhecimento hidrogeológico, hidrológico e hidrogeoquímico, bem como, de enquadramento legal adequado que regule o uso desta técnica

À luz do conhecimento disponível, o sistema mais adequado para a injeção de água e recarga artificial são as aluviões situadas na base dos vales das ribeiras. Identificou-se o volume excedentário da nascente de Chão de Cana como recurso hídrico a utilizar na recarga artificial, otimizando o caudal debitado anualmente por esta nascente, armazenando-o subterraneamente.

O estudo efetuado à qualidade da água da bacia, mostrou que a água da nascente, poço e ribeira de Chão de Cana possui concentração de nitrato acima do máximo admissível para o consumo humano. As fossas sépticas, o uso de fertilizantes e pesticidas na agricultura, a falta de rede de drenagem de águas residuais e a deposição do lixo sem controlo, são consideradas as principais causas da elevada concentração de nitrato na água.

7.2. Recomendações

O Governo de Cabo Verde deve dar mais atenção a esta problemática de sobrevivência e desenvolvimento da Bacia Hidrográfica dos Engenhos. Deve implementar medidas para mitigar situações de carência hídrica investindo mais ao nível da gestão, conservação e construção de obras hidráulicas e sobretudo assumir uma nova cultura da água.

A realização desta dissertação deparou-se com a falta de informação consistente necessária à abordagem da temática desenvolvida. Muitas questões ficaram em aberto e suspensas para futuros estudos, cujas recomendações, como contributo para o desenvolvimento social e económico da Bacia Hidrográfica dos Engenhos, se justificam fazer.

É ponto assente que a precisão dos resultados da avaliação dos recursos hídricos é determinada pela qualidade dos dados climatológicos, tanto mais quanto se situe em regiões áridas e semiáridas como é o caso. Por isso, recomenda-se a implementação de redes de monitorização dos parâmetros do clima que condicionam a recarga, bem como, a criação de condições para avaliação rigorosa da recarga, da quantidade e dos locais onde se processa.

O conhecimento do circuito subterrâneo e os volumes envolvidos são fundamentais na preservação da recarga natural e manutenção da qualidade da água, bastante comprometidos com o crescimento urbano e atrasos na instalação de redes e tratamento de águas residuais e resíduos. A monitorização e controlo da qualidade da água ingerida pelas populações são de igual modo essenciais a fim de evitar a propagação de doenças e melhorar a saúde pública. A água do poço e das nascentes analisadas são regularmente consumidas pelos residentes, num completo desconhecimento da sua composição. A sua ingestão é feita com indiferença em relação à concentração de nitrato acima dos valores máximos admissíveis pela legislação do país e à margem do que é recomendado pela OMS. Pelas consequências gravosas que acarretam para a saúde humana, devem ser proibitivas aos recém-nascidos e bebés.

O estudo da composição físico-química da água na Bacia mostrou que a água da nascente, poço e das ribeiras de Chão de Cana se encontra com concentração de nitrato acima do máximo admissível para consumo humano. Por isso, recomenda-se o não consumo destas águas, principalmente por recém-nascidos.

Sendo a água um bem escasso e imprescindível à vida, é necessário implementar uma gestão integrada dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica dos Engenhos, no que toca à exploração, preservação e conservação do recurso. Propõem-se assim:

- A criação de um organismo responsável pela gestão dos recursos hídricos desta Bacia;

- Sensibilizar a população para a necessidade de seguirem boas práticas agrícolas, através da implementação da técnica de rega com menor consumo de água, por exemplo a implementação de sistema de rega gota-a-gota;
- Incentivar a participação das populações da Bacia nestas questões da água, uma vez que esta é um bem público;
- Investir na construção de redes de drenagem de águas residuais;
- Sensibilizar as populações para a necessidade do uso racional da água e para a proteção dos recursos hídricos e infraestruturas existentes. E investir na formação dos jovens;
- Sensibilizar as populações para o não lançamento de lixo para as linhas de água, alertando para o fato destes serem responsáveis pela contaminação das águas subterrâneas;
- Rever a construção das fossas sépticas de forma a não constituírem uma fonte de contaminação das águas subterrâneas.

No que concerne à aplicação da técnica de recarga artificial na Bacia Hidrográfica dos Engenhos ainda há um longo caminho a percorrer. Para tal é de recomendar a:

- Realização de um estudo hidrológico e hidrogeológico detalhado da região e criação de modelos matemáticos de simulação do fluxo subterrâneo para melhor compreender e prever o funcionamento hidráulico dos aquíferos;
- Instalação de piezómetros na Bacia para a monitorização da quantidade e qualidade da água subterrânea;
- Legislar para enquadrar do ponto de vista legal a utilização da recarga artificial de aquíferos;
- Desenvolver ensaios, a título experimental, tipo estações piloto, de injeção de água da nascente de Chão de Cana na aluvião através de poços existentes, bem como a construção de algumas pequenas barragens subterrâneas ao longo do leito das ribeiras;
- Desenvolver mais estudos sobre a possibilidade da utilização desta técnica na Bacia Hidrográfica dos Engenhos e alargar a outros locais no Arquipélago de Cabo Verde.

De forma a minimizar a sobreexploração dos recursos hídricos subterrâneos também seria aconselhável a pesquisa de novas fontes de água, designadamente na recolha e armazenamento da água da chuva, ou na investigação para tornar mais eficiente o processo de dessalinização da água do mar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves**, C. A. M., Macedo, J. R., Silva, L.C., Serralheiro, A. & Faria, A. F.P. (1979). Estudo Geológico, Petrológico e Vulcanológico da Ilha de Santiago (Cabo Verde). Garcia de Orta, Sér. Geol., 3 (1-2), p 47-74. Lisboa.
- ASCE** (2001). Standard Guidelines for Artificial Recharge of Groundwater. American Society of Civil Engineers, EWRI/ASCE 34-01.
- Beceiro**, M.S. (2009). Aspectos Jurídicos de la Recarga Artificial de Acuíferos: Regulación Actual y Retos. Boletín Geológico y Mineiro, 120 (2):279-288.ISSN:0366-0176.
- Bouwer**, H. (2002). Artificial Recharge of Groundwater: Hydrogeology and Engineering. Hydrogeology Journal 10(1):121-142. Doi:10.1007/s10040-001-0182-4.
- Bouwer**, H. (2000b). Groundwater Problems Caused by Irrigation with Sewage Effluent. J Environ Health 63 (5): 17-20.
- Bouwer**, H., Fox, P., Westerhoff, P. & Drewes, J.E (1999a). Integrating Water Management and Reuse: Causes for Concern? Water Qual Int, January-February, pp 19-22.
- BURGEAP** (1984). Étude Générale du Massif de Serra Malagueta (Santiago). Praia.
- BURGEAP** (1974). La Mise en Valeur des Eaux Souterraines dans l' Archipel du Cap Vert, Rapport de Fin de Mission. Praia.
- Correia**, Y. N. (2010). BAD e Cabo Verde: Construindo Juntos, uma África Melhor. Grupo do Banco Africano do Desenvolvimento. Consultado em 07/11/2012. Disponível em http://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Publications/Cap_Vert_Yol_portuguais_ok.pdf.
- Cunha**, F.R. (1961). O Balanço Hidrológico na Ilha de Santiago (Cabo Verde). Garcia de Orta (Lisboa), Vol. 9 (nº 2): 359-379.
- Custodio**, E. & Llamas, M.R. (1983). Hidrología Subterránea. Ed Omega. Barcelona. 2 vols: 1-2450.
- De La Ordem**, J. A., Geta, J. A. L. & Murillo, J. M. (2003). Experiencias de Recarga Artificial de Acuíferos Realizadas por el IGME en Acuíferos Detríticos. Boletín Geológico y Mineiro, 114 (2): 203-212. ISSN:0366-0176.
- Diaz**, J.M.M., Gomez, J.A.O., Armayor, J.L. & Catano, S.C. (2000). Recarga Artificial de Acuíferos. Síntesis Metodológica. Estudios y Actuaciones Realizadas en la Provincia de Alicante. Editores López Geta, J.A. & Hernandez, L.R. Consultado em 28/11/2012. Disponível em URL: <http://aguas.igme.es/igme/libros2.htm>.
- Dillon**, P. (2005). Future Management of Aquifer Recharge. Hydrogeol J 13(1): 313-316. Doi:10.1007/s10040-004-0413-6.
- DGASP** (2005). Projet D' Aménagement et de Valorisation des Bassins Versants de Picos et Engenhos dans l'Ille de Santiago-Bassin Versant de Engenhos: Phase I- Etudes d'avant Projet Détaillé. Tunisie.
- Feitosa**, F. A. C. & Filho, J. M. (2000). Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações. 2º Edição. Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e Laboratório de Hidrogeologia da UFPE.

- Fernández**, A.E.E. & Garcia, M. R. (2004). La Recarga Artificial de Acuíferos en el Mundo. Primera Parte: Estado de la Cuestión y Experiencias. VII Simposio de Hidrogeología, AEH. Zaragoza. pp. 223 - 233. Consultado em 25/12/2012. Disponível em <http://www.dina-mar.es/pdf/estado%20y%20Experiencias%20de%20AR%20en%20el%20Mundo.pdf>.
- Freeze**, R.A. & Cherry, J.A. (1979). Groudwater . Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 604 pp.
- Gale**, I. & Dillon, P.(2005). Strategies for Managed Aquifer Recharge in Semi-Arid areas". Edited by Ian Gale. Compiled by the International Association of Hydrogeologists Commission on Management of Aquifer Recharge IAH - MAR, with the support of UNESCO International Hydrological Programme (IHP), Project on Artificial Recharge and Management of Water Resources in Arid and Water Scarce Zones (UNESCO G-WADI) and the British Department for International Development (DFID). Consultado em 10/10/2012. Disponível em <http://r4d.dfid.gov.uk/PDF/Outputs/Water/R8169-MAR-Strategies.pdf>.
- Gomes**, A. da M. (2007). Hidrogeologia e Recursos Hídricos da Ilha de Santiago (Cabo Verde). Dissertação Apresentada à Universidade de Aveiro para o efeito de obtenção do Grau de Doutor no Ramo de Geociências especialidade em Hidrogeologia. Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. 296 p.
- Gomes**, A. da M. & Pina, A. F. L. (2003). Problemas de Recursos Hídricos em Ilhas: Exemplo da Ilha de Santiago, Caso da Bacia Hidrográfica da Ribeira Grande da Cidade Velha e da Ribeira Seca. 6º SILUSBA - Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Cidade da Praia, Cabo Verde. Consultado em 23/07/2012. Disponível em http://www.aprh.pt/6_silusba/vol3_APRH_LF_697_750.pdf.
- Gomes**, A. da M. & Pina, A. F. L. (2004). Contribuição Fotográfica, Praia.
- Gominho**, Ma. F. de A. (2010). Gestão dos Recursos Hídricos no Processo de Desenvolvimento Sustentável de Cabo Verde: Uma Proposta. Projeto de Mestrado em Gestão de Empresas. ISCTE Business School, Departamento de Gestão. Instituto Universitário de Lisboa.113 p.
- Grupo Ribeira dos Engenhos** (2013). Consultado em 25/06/2012, 25/10/2012, 12/11/2012, 11/03/2013, 27/04/2013, 30/05/2013. Disponível em <http://www.facebook.com/groups/engenhos/>.
- IGRAC** (2004). Global Groundwater Information System. Consultado em www.igrac.nl.
- INGRH** (2000).Visão Nacional sobre a Água, a Vida e o Ambiente no Horizonte de 2025. Praia.
- INGRH** (2008). Plano de Ação e Gestão Integrada dos Recursos Hídricos. PAGIRH.
- INECV** (2012). Recenseamento Geral da População e Habitação de Cabo Verde 2010. Praia. Consultado em 16/11/2012. Disponível em <http://www.ine.cv/censo/censo2010.aspx>.
- Kühn**, W. (1999). Overview of Riverbank Filtration Issues. Proc Int Riverbank Filtration Conf, Louisville, Kentuckt, USA, Sponsored by Nat Water Res Inst, Fountain Valley, California, USA, pp 1-4.
- Lee**, T.C., Williams, A. E. & Wang, C. (1992). An Artificial Experiment in the San Jacinto Basin, Riverside, Southern California. J. Hydrology 140:235-259.
- Lehr**, J. H. (1982). Artificial Ground-Water Recharge: a Solution to Many U.S. Water-Supply Problems. Ground Water 20 (3): 262-266.

- Lencastre & Franco** (2010). Lições de Hidrogeologia. 3ª Edição revista - 2ª Reimpressão. Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Lisboa.
- Marques**, M. M. (1990). Caracterização das Grandes Unidades Geomorfológicas da Ilha de Santiago (República de Cabo Verde). Contribuição para o Estudo da Compartimentação da Paisagem. Centro de Estudos de Pedologia (IICT), Lisboa.
- OMS** (2004). Guidelines for Drinking-Water Quality: Recommendations. Vol. 1: 3rd ed. ISBN 92 4 1546387.
- Philips**, S. P. (2003). Aquifers, Artificial Recharge of. In: Encyclopedia of Water Science, Dekker, New York, pp 33-66.
- Pina**, A. F. L. (2009). Hidroquímica e Qualidade das Águas Subterrâneas da ilha de Santiago-Cabo Verde. Dissertação Apresentada à Universidade de Aveiro para o efeito de obtenção do Grau de Doutor em Geociências. Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. 231 p.
- Rabdan**, E. (1992). Estudio sísmico del eje de la presa de Trindade. Inédito. Madrid.
- Querner**, E. P. (2000). The Effects of Human Intervention in the Water Regime. Ground water 38:167-171.
- Reddy** K. R. (2008). Enhanced Aquifer Recharge . In: Darnault CJG(ed) Overexploitation and Contamination of Shared Groundwater Resources. Springer, Heidelberg, Germany.
- Roseiro**, C. M. S. D. (2009). Recarga Artificial de Aquíferos: Aplicação ao Sistema de Aquífero da Campina de Faro. Doutoramento em Geologia (Hidrogeologia). Departamento de Geologia da Faculdade de Ciências. Universidade de Lisboa.
- Sayit.**, A. P. & Yazicigil, H. (2012). Assessment of Artificial Aquifer Recharge Potential in the Kucuk Menderes River, Turkey. Hydrogeology Journal, 20: 755-766. doi:10.1007/s10040-012-0850-6.
- Serralheiro**, A. (1976). Carta geológica da Ilha de Santiago (Cabo Verde) na escala 1:25 000 (folhas 48 a 59). Junta de Investigações Científicas do Ultramar. Laboratório de Estudos Petrológicos e Paleontológicos do Ultramar. Lisboa.
- Serralheiro**, A. (1977). Carta Geológica da Ilha de Santiago (Cabo Verde) na escala 1:100 000. Junta de Investigações Científicas do Ultramar. Laboratório de Estudos Petrológicos e Paleontológicos do Ultramar. Lisboa.
- SEWRPC** (2006). State-of-the-Art of Water Supply Practices. Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission (SEWRPC). Technical Report N.º 43, Chapter VI-Artificial Groundwater Recharge and Management. Consultado em 06/06/2013. Disponível em http://www.sewrpc.org/SEWRPCFiles/Publications/TechRep/tr-043_water_supply_practices.pdf.
- Tizro**, A. T., Voudouris, K. S., & Akbari, K. (2010). Simulation of a Groundwater Artificial Recharge in a Semi-Arid Region of Iran. Irrigation and Drainage, 60(3), 393-403. doi:10.1002/ird.567.
- Topper**, P. E. R., Barkmann, D. R. B., Matthew, A. S. (2004). Artificial Recharge of Ground Water In Colorado-A Statewide Assessment. Colorado Geological Survey Department of Natural Resources
- Tabbes**, D. & Pereira, S. Y. (2003). Fundamentos da Recarga Artificial de Aquíferos. I Simpósio de Hidrogeologia do Sudeste e XIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. Consultado em 14/12/12. Disponível em URL: <http://aguassubterraneas.emnuvens.com.br/asubterraneas/article/view/23954/>

Ventura, J. E., & Mascarenhas, J. M. (2009). A Problemática dos Recursos Hídricos em Santiago. Redes e Desenvolvimento Regional / 1º Congresso de Desenvolvimento Regional de Cabo Verde / 15º Congresso da APDR / 2º Congresso Lusófono de Ciência Regional / 3º Congresso de Gestão e Conservação da Natureza. Cidade da Praia, Cabo Verde. Consultado em 24/04/2012. Disponível em <http://www.apdr.pt/congresso/2009/pdf/Sess%C3%A3o5/200A.pdf>.

Weeks, E.P. (2002). A Historical Overview of Hydrological Studies of Artificial Recharge in the U.S. Geological Survey, U.S. Geological Survey Open File Report 02-89.

Sites Consultados

- Instituto Nacional de Estatística de Cabo Verde: www.ine.cv
- Ministério do Desenvolvimento Rural de Cabo Verde (consultado em 26/10/12): www.mdr.gov.cv
- www.panoramio.com/photo/68707856
- International Association of Hydrogeologists (IAH): <http://www.iah.org>
- International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC): <http://www.un-igrac.org>
- <http://www.dina-mar.es>

ANEXOS

Anexo I - Dados de Pluviometria Mensal e Anual

Dados de precipitação da estação meteorológica de Assomada

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1961	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,6	407,9	479,4	4,2	0,0	0,0	992,1
1962	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,5	322,7	279,8	131,1	73,6	0,0	811,7
1963	0,0	37,3	0,0	0,0	0,0	0,0	59,6	485,6	211,1	175,3	0,0	8,2	977,1
1964	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	168,6	127,1	305,8	0,0	0,0	0,0	601,5
1965	0,0	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	244,6	185,1	365,2	154,7	0,0	953,1
1966	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	141,8	242,9	392,1	269,5	0,0	1046,3
1967	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,2	705,5	514,1	38,2	0,0	1327,0
1968	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	56,9	288,0	18,8	7,3	22,4	397,5
1969	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	114,2	92,5	287,9	106,3	0,0	0,0	600,9
1970	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,1	123,3	80,3	8,2	0,0	0,0	224,9
1971	0,0	13,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	436,9	47,7	22,4	0,0	0,0	520,2
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	1,2	0,0	5,1	2,4	18,1
1973	0,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	201,0	112,0	41,0	0,0	0,0	360,2
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,5	52,9	353,7	90,2	0,0	0,0	534,3
1975	21,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	157,5	245,8	0,0	0,0	0,0	425,1
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	72,9	433,2	0,0	0,0	0,0	506,1
1977	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,5	7,0	0,0	0,0	0,0	37,5
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,5	172,7	158,0	45,0	0,0	407,2
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	50,0	122,0	77,0	271,0	0,0	0,0	520,0
1980	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	101,0	0,0	12,7	0,0	113,7
1981	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	65,0	55,0	153,5	110,0	0,0	0,0	383,5
1982	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	164,9	56,7	54,0	0,0	0,0	275,6
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	99,7	160,0	0,0	0,0	0,0	259,7
1984	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	104,0	54,5	396,0	47,9	46,7	33,6	682,7
1985	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	47,4	76,6	123,0	0,0	0,0	10,5	257,5
1986	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,2	224,2	189,6	100,2	0,0	0,0	526,2
1987	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	220,4	90,2	243,2	0,0	0,0	554,8
1988	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,3	238,5	84,6	8,1	50,7	0,0	390,2
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	237,8	56,1	7,8	23,6	0,0	325,3
1990	31,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,0	43,4	221,5	81,8	0,0	0,0	410,5
1991	0,0	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	25,3	237,9	11,6	0,0	0,0	278,9
1992	0,0	0,0	0,0	4,1	4,1	0,0	66,3	34,4	130,6	115,7	3,9	0,0	359,1
1993	48,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,1	201,5	138,4	0,0	0,0	0,0	419,6
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	76,0	106,4	1,6	0,0	0,0	186,4
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,7	135,1	142,6	17,0	0,0	57,1	388,5
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,4	69,9	33,9	13,7	7,9	0,0	131,8
1997	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,1	137,9	103,9	7,8	0,0	0,0	265,4
1998	0,0	0,0	12,2	0,0	0,0	0,0	20,1	78,7	175,6	1,2	0,0	0,0	287,8
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	21,2	292,2	189,1	0,0	0,0	517,5
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	178,4	309,8	164,8	0,0	0,0	670,0

Legenda:

	Precipitação estimada
	Precipitação observada

Fonte: INMG: Delegação da Praia

Dados de precipitação da estação meteorológica de Assomada (continuação)

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,7	164,7	129,4	62,0	42,4	0,0	423,2
2002	19,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80,0	181,1	98,9	0,0	0,0	379,4
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	59,8	120,8	288,0	105,8	0,0	0,0	574,4
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	92,8	217,5	43,7	38,0	0,0	392,0
2005	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,2	120,0	183,7	105,0	0,0	0,0	524,9
2006	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	156,0	304,0	17,5	0,0	0,0	477,5
2007	28,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,5	164,0	289,5	115,0	0,0	0,0	608,0
2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	168,5	229,5	180,0	42,0	0,0	0,0	620,0
2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	17,0	243,0	468,0	251,0	0,0	0,0	979,0
2010	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	192,0	302,5	276,0	0,0	0,0	770,5
2011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,0	229,0	155,0	169,5	0,0	0,0	580,5

Legenda:

	Precipitação estimada
	Precipitação observada

Fonte: INMG: Delegação da Praia

Dados de precipitação da estação meteorológica de Telhal

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1961	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,9	294,0	379,3	3,9	0,0	0,0	740,1
1962	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	232,4	221,7	93,8	61,4	0,0	611,7
1963	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,1	350,2	167,4	125,1	0,0	6,3	686,2
1964	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	105,7	90,9	242,2	0,9	0,0	0,0	439,7
1965	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	175,9	146,9	259,7	128,9	0,0	711,4
1966	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	101,6	192,6	278,7	224,5	0,0	797,3
1967	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,0	557,8	365,2	31,9	0,0	1003,9
1968	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	40,2	228,2	14,3	6,2	16,5	307,4
1969	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	71,4	65,9	228,1	76,3	0,0	0,0	441,7
1970	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	55,3	58,0	28,4	0,0	0,0	145,4
1971	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	274,2	20,8	0,0	0,0	0,0	295,0
1972	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,8	1,7	0,0	4,3	2,2	14,1
1973	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	82,8	85,4	0,0	0,0	0,0	168,2
1974	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	280,0	64,8	0,0	0,0	344,8
1975	18,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	112,9	194,8	0,0	0,0	0,0	326,3
1976	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,7	224,2	0,0	0,0	0,0	293,9
1977	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,1	6,3	0,0	0,0	0,0	27,4
1978	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,6	137,1	70,5	0,0	0,0	227,2
1979	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,6	77,0	50,6	196,8	0,0	0,0	355,0
1980	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	80,5	0,0	10,7	0,0	91,2
1981	10,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	40,7	70,8	132,6	0,0	0,0	0,0	254,7
1982	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	118,3	45,5	39,2	0,0	0,0	203,0
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	58,1	198,9	0,2	0,1	0,2	257,5
1984	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,4	26,6	313,4	34,9	39,0	24,5	476,8
1985	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	69,8	59,2	94,6	0,0	3,3	8,4	235,7
1986	2,2	6,7	0,0	0,2	1,6	0,0	3,1	153,5	243,4	191,4	0,0	0,0	602,1
1987	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	265,8	81,7	266,2	0,0	0,0	613,7
1988	3,0	42,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7	207,9	51,3	15,4	41,0	0,0	364,1
1989	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	205,7	95,2	13,7	0,0	6,4	321,0
1990	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,5	12,0	225,0	63,8	0,0	0,0	344,3
1991	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,1	217,9	2,2	0,0	0,0	253,2
1992	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,4	58,9	101,1	166,5	0,0	4,8	352,7
1993	40,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,1	217,5	50,5	0,0	0,0	0,0	341,8
1994	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	66,3	95,1	0,0	0,0	0,0	161,4
1995	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,2	158,4	178,7	76,2	0,0	41,2	491,7
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,1	88,8	33,5	41,0	8,0	0,0	173,4
1997	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,5	216,6	34,9	6,5	0,0	0,0	264,5
1998	0,0	0,0	6,1	0,8	0,0	0,0	17,9	104,2	151,5	0,0	0,0	0,0	280,5
1999	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	48,5	127,5	194,5	223,2	0,0	0,0	596,7
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	145,8	234,1	104,9	0,0	0,0	496,8

Legenda:

	Precipitação estimada
	Precipitação observada

Fonte: INMG: Delegação da Praia

Dados de precipitação da estação meteorológica de Telhal (continuação)

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
2001	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	102,0	110,2	56,0	37,0	0,0	305,2
2002	16,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	56,9	143,8	71,0	0,0	0,0	288,2
2003	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,2	86,4	228,2	75,9	0,0	0,0	427,6
2004	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	66,1	172,5	31,9	31,7	0,0	302,2
2005	21,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	57,0	85,8	145,8	75,3	0,0	0,0	385,0
2006	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	111,8	240,8	13,3	0,0	0,0	366,0
2007	23,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,8	117,6	229,3	82,4	0,0	0,0	459,8
2008	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	105,6	165,0	142,9	30,7	0,0	0,0	444,2
2009	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,3	174,8	370,3	178,8	0,0	0,0	734,1
2010	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	137,9	239,6	196,5	0,0	0,0	574,0
2011	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,6	164,6	123,2	121,0	0,0	0,0	425,4

Legenda:

	Precipitação estimada
	Precipitação observada

Fonte: INMG: Delegação da Praia

Anexo II - Dados de Temperatura Média (°C) Mensal e Anual

Dados de temperatura da estação meteorológica de Assomada

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1987	**	**	**	**	**	**	22,6	23,7	23,7	22,2	22,5	20,8	22,583
1988	18,8	18,1	20,8	20,2	20,7	21,2	22,4	22,5	23,5	22,6	21,0	19,1	20,908
1989	17,9	17,6	17,8	18,0	20,9	22,5	22,1	22,1	23,3	22,7	21,0	20,1	20,500
1990	17,3	20,6	21,3	19,3	20,8	20,6	22,2	23,8	23,6	23,1	21,3	19,8	21,142
1991	18,1	17,4	17,6	19,4	19,7	20,9	21,5	22,4	23,4	22,6	22,1	19,8	20,408
1992	19,2	18,1	19,0	19,3	20,4	21,2	21,3	22,1	22,7	21,7	21,1	18,6	20,392
1993	17,7	17,9	18,5	19,5	20,4	21,2	22,1	23,1	23,0	22,2	20,0	19,1	20,392
1994	17,3	18,4	17,7	19,8	19,8	21,3	22,0	22,7	22,8	22,4	22,2	20,2	20,550
1995	18,9	19,2	17,8	18,6	21,2	22,5	22,5	23,7	23,5	23,7	23,4	20,4	21,283
1996	20,1	18,7	19,3	20,7	21,6	22,2	22,8	23,4	23,1	23,6	22,0	20,2	21,475
1997	19,6	21,2	20,4	20,6	21,6	22,5	22,0	23,0	23,3	23,3	22,4	19,9	21,650
1998	19,9	22,0	21,3	20,2	20,4	22,1	22,9	23,7	23,7	24,0	23,3	20,0	21,958
1999	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	
2000	**	19,3	21,9	20,6	19,9	22,1	22,3	23,3	23,7	22,4	21,4	20,1	21,545
2001	19,2	20,3	21,4	20,8	20,5	22,2	22,7	23,7	24,0	23,9	22,5	21,8	21,917

Legenda: (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

Dados de temperatura da estação meteorológica de Telhal

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1984	19,4	21,6	19,9	21,1	22,2	23,6	24,2	25,3	24,6	24,7	22,7	20,6	22,49
1985	19,6	20,7	20,4	20,6	21,0	24,0	24,1	24,2	24,7	26,0	24,3	21,5	22,59
1986	19,1	**	20,1	21,8	23,1	22,5	23,4	25,1	25,1	24,1	22,6	20,8	22,52
1987	20,7	20,8	23,3	24,7	24,8	25,4	24,4	25,6	25,6	24,0	24,5	22,4	23,85
1988	19,7	20,2	22,1	**	22,7	23,6	24,6	24,6	25,0	24,3	23,4	21,1	22,85
1989	20,7	20,5	19,5	20,1	22,3	**	23,7	25,0	25,2	24,7	**	22,7	22,44
1990	20,0	23,0	23,9	21,9	23,3	23,5	23,4	25,6	25,2	25,2	23,1	21,9	23,33
1991	20,9	19,6	20,0	22,3	22,0	23,7	24,8	24,6	25,2	24,0	24,6	22,1	22,82
1992	21,8	20,9	22,0	21,6	22,8	23,6	23,6	24,1	24,5	23,5	23,6	22,1	22,84
1993	20,3	20,4	21,3	21,2	22,7	23,6	23,5	24,5	24,8	23,6	21,9	21,5	22,44
1994	19,3	21,0	20,1	21,9	21,9	22,9	23,8	24,4	24,7	24,1	24,3	**	22,58
1995	21,1	21,5	19,7	20,7	23,4	24,5	24,4	25,3	24,8	25,1	25,3	22,0	23,15
1996	22,0	20,8	21,4	22,9	23,6	20,1	24,5	24,7	24,9	25,5	24,1	22,2	23,06
1997	21,5	23,0	22,5	22,4	23,6	24,4	23,9	24,5	25,0	25,0	24,1	21,9	23,48
1998	21,9	24,3	23,6	22,0	22,4	23,9	24,6	25,3	25,0	25,6	25,1	22,1	23,82
1999	19,9	19,6	19,8	22,8	23,3	24,6	23,8	24,3	24,4	23,8	22,9	22,1	22,61
2000	20,2	20,9	23,3	22,2	21,5	23,8	23,5	24,8	**	23,8	**	**	22,67
2001	21,8	22,5	**	23,2	23,2	24,6	24,9	25,2	25,7	25,6	24,7	**	24,14

Legenda: (**) Dados não disponíveis

Fonte: INMG - Delegação da Praia

Anexo III - Resultados da Análise Físico-Química de Água

Boletim de análise físico-química de água da nascente de Chão de Cana

Ponto de Água: Nascente Chão de Cana

Local: Bacia Hidrográfica dos Engenhos, Santiago-Cabo Verde

Data da colheita: 30 de outubro de 2012 às 8h50

Analisada no laboratório de hidroquímica do Departamento de Ciências da Terra da FCT/UNL

Temperatura (°C)	<i>in situ</i> ar * água *	em laboratório da água	14,3
pH	<i>in situ</i> *	em laboratório	7,8
Condutividade (µS/cm)	<i>in situ</i> *	em laboratório	727
Dureza (mg/L CaCO ₃)			
Alcalinidade (mL de solução N/10 por litro)	(Titulação) 55		

ANIÕES	(mg/L)	(meq/L)	Método	CATIÕES	(mg/L)	(meq/L)	Método
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	335,5	5,5	Titulação	Sódio (Na ⁺)	49,4	2,1	Cromatografia Iónica
Cloreto (Cl ⁻)	98,3	2,8	Cromatografia Iónica	Potássio (K ⁺)	5,7	0,1	Cromatografia Iónica
Nitrato (NO ₃ ⁻)	62,7	1,0	Cromatografia Iónica	Cálcio (Ca ²⁺)	93,0	4,6	Cromatografia Iónica
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	23,1	0,5	Cromatografia Iónica	Magnésio (Mg ²⁺)	48,0	4,0	Cromatografia Iónica
Fluoreto (F ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica	Férrico (Fe ²⁺)	*	*	Cromatografia Iónica
Nitrito (NO ₂ ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica	Amónio (NH ₄ ⁺)	*	*	Fotometria
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica	TOTAL	196,1	10,8	
Brometo (Br ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica				
TOTAL	519,6	9,8					

OBSERVAÇÕES:**DATA:** 6/11/2012

Boletim de análise físico-química de água do nascente de Chão de Coelho

Ponto de Água: Nascente Chão do Coelho

Local: Bacia Hidrográfica dos Engenhos, Santiago-Cabo Verde

Data da colheita: 30 de outubro de 2012 às 15h12

Analisada no laboratório de hidroquímica do Departamento de Ciências da Terra da FCT/UNL

Temperatura (°C)	in situ ar * água *	em laboratório da água	16,0
pH	in situ *	em laboratório	8,1
Condutividade (µS/cm)	in situ *	em laboratório	426
Dureza (mg/L CaCO ₃)			
Alcalinidade (mL de solução N/10 por litro)	(Titulação)		35,0

ANIÕES	(mg/L)	(meq/L)	Método	CATIÕES	(mg/L)	(meq/L)	Método
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	210,4	3,5	Titulação	Sódio (Na ⁺)	54,9	2,3	Cromatografia Iónica
Cloreto (Cl ⁻)	46,8	1,3	Cromatografia Iónica	Potássio (K ⁺)	7,8	0,2	Cromatografia Iónica
Nitrato (NO ₃ ⁻)	12,5	0,2	Cromatografia Iónica	Cálcio (Ca ²⁺)	29,9	1,4	Cromatografia Iónica
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	9,4	0,2	Cromatografia Iónica	Magnésio (Mg ²⁺)	19,8	1,6	Cromatografia Iónica
Fluoreto (F ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica	Férrico (Fe ²⁺)	*	*	Cromatografia Iónica
Nitrito (NO ₂ ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica	Amónio (NH ₄ ⁺)	*	*	Fotometria
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica	TOTAL	112,4	5,5	
Brometo (Br ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica				
TOTAL	279,1	5,2					

OBSERVAÇÕES:**DATA:** 6/11/2012

Boletim de análise físico-química de água do poço de Chão de Cana

Ponto de Água: Poço em Chão de Cana

Local: Bacia Hidrográfica dos Engenhos, Santiago-Cabo Verde

Data da colheita: 30 de outubro de 2012 às 10h40

Analisada no laboratório de hidroquímica do Departamento de Ciências da Terra da FCT/UNL

Temperatura (°C)	in situ ar * água *	em laboratório da água	17,0
pH	in situ *	em laboratório	7,8
Condutividade (µS/cm)	in situ *	em laboratório	837
Dureza (mg/L CaCO ₃)			
Alcalinidade (mL de solução N/10 por litro)	(Titulação)		55

ANIOES	(mg/L)	(meq/L)	Método	CATIOES	(mg/L)	(meq/L)	Método
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	335,5	5,5	Titulação	Sódio (Na ⁺)	53,3	2,3	Cromatografia iónica
Cloreto (Cl ⁻)	105,5	3,0	Cromatografia iónica	Potássio (K ⁺)	7,4	0,1	Cromatografia iónica
Nitrato (NO ₃ ⁻)	65,9	1,1	Cromatografia iónica	Cálcio (Ca ²⁺)	92,0	4,6	Cromatografia iónica
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	30,1	0,6	Cromatografia iónica	Magnésio (Mg ²⁺)	49,3	4,1	Cromatografia iónica
Fluoreto (F ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia iónica	Férrico (Fe ²⁺)	*	*	Cromatografia iónica
Nitrito (NO ₂ ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia iónica	Amónio (NH ₄ ⁺)	*	*	Fotometria
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	0,0	0,0	Cromatografia iónica	TOTAL	202,0	11,1	
Brometo (Br ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia iónica				
TOTAL	537	10,2					

OBSERVAÇÕES:**DATA:** 6/11/2012

Boletim de análise físico-química de água na ribeira dos Engenhos a jusante da nascente de Chão de Cana

Ponto de Água: Ribeira dos Engenhos a jusante da nascente Chão de Cana

Local: Bacia Hidrográfica dos Engenhos, Santiago-Cabo Verde

Data da colheita: 30 de outubro de 2012 às 8h58

Analisada no laboratório de hidroquímica do Departamento de Ciências da Terra da FCT/UNL

Temperatura (°C)	in situ ar * água *	em laboratório da água	13,0
pH	in situ *	em laboratório	8,1
Condutividade (µS/cm)	in situ *	em laboratório	763
Dureza (mg /L CaCO ₃)			
Alcalinidade (mL de solução N/10 por litro)	(Titulação)		54,1

ANIÕES	(mg/L)	(meq/L)	Método	CATIÕES	(mg/L)	(meq/L)	Método
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	329,4	5,4	Titulação	Sódio (Na ⁺)	53,6	2,3	Cromatografia Iónica
Cloreto (Cl ⁻)	111,2	3,2	Cromatografia Iónica	Potássio (K ⁺)	8,2	0,2	Cromatografia Iónica
Nitrato (NO ₃ ⁻)	71,7	1,2	Cromatografia Iónica	Cálcio (Ca ²⁺)	98,2	4,9	Cromatografia Iónica
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	34,6	0,7	Cromatografia Iónica	Magnésio (Mg ²⁺)	53,9	4,4	Cromatografia Iónica
Fluoreto (F ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica	Férrico (Fe ²⁺)	*	*	Cromatografia Iónica
Nitrito (NO ₂ ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica	Amónio (NH ₄ ⁺)	*	*	Fotometria
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica	TOTAL	213,9	11,8	
Brometo (Br ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica				
TOTAL	546,9	10,5					

OBSERVAÇÕES:

DATA: 6/11/2012

Boletim de análise físico-química de água na ribeira dos Engenhos a montante da nascente de Chão de Cana

Ponto de Água: Ribeira dos Engenhos a montante da nascente Chão de Cana

Local: Bacia Hidrográfica dos Engenhos, Santiago-Cabo Verde

Data da colheita: 30 de outubro de 2012 às 8h50

Analisada no laboratório de hidroquímica do Departamento de Ciências da Terra da FCT/UNL

Temperatura (°C)	in situ ar * água *	em laboratório da água	10,3
pH	in situ *	em laboratório	8,1
Condutividade (µS/cm)	in situ *	em laboratório	714
Dureza (mg /L CaCO ₃)			
Alcalinidade (mL de solução N/10 por litro)	(Titulação)		53,0

ANIOES	(mg/L)	(meq/L)	Método	CATIÕES	(mg/L)	(meq/L)	Método
Bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	323,3	5,3	Titulação	Sódio (Na ⁺)	52,6	2,2	Cromatografia Iónica
Cloreto (Cl ⁻)	113,7	3,3	Cromatografia Iónica	Potássio (K ⁺)	8,9	0,2	Cromatografia Iónica
Nitrato (NO ₃ ⁻)	71,4	1,2	Cromatografia Iónica	Cálcio (Ca ²⁺)	101,6	5,0	Cromatografia Iónica
Sulfato (SO ₄ ²⁻)	35,4	0,8	Cromatografia Iónica	Magnésio (Mg ²⁺)	50,4	4,2	Cromatografia Iónica
Fluoreto (F ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica	Férrico (Fe ²⁺)	*	*	Cromatografia Iónica
Nitrito (NO ₂ ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica	Amónio (NH ₄ ⁺)	*	*	Fotometria
Fosfato (PO ₄ ³⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica	TOTAL	213,3	11,6	
Brometo (Br ⁻)	0,0	0,0	Cromatografia Iónica				
TOTAL	543,8	10,6					

OBSERVAÇÕES:

DATA: 6/11/2012