

# **1. Introdução**

## **1.1. Nota prévia**

Este documento descreve um conjunto de modelos matemáticos e de simulação que visam contribuir para melhorar a gestão dos recursos hídricos na agricultura na Ilha de Santiago, Cabo Verde, assim como fornecer elementos chave para a construção de um futuro modelo de gestão ao qual se atribuiu a designação de modelo-GRHA (Gestão dos Recursos Hídricos na Agricultura). Este modelo deverá consubstanciar a investigação desenvolvida no âmbito da presente tese bem como de outros desenvolvimentos a nível do país ou de Santiago. O modelo-GRHA deverá ser concebido através da participação das populações interessadas e de entidades técnicas e políticas da referida ilha e ser aplicado a nível das bacias hidrográficas, razão pela qual foram adotadas como casos de estudo as bacias de São Domingos e da Ribeira Seca. A originalidade do estudo decorre do facto de se estimar a gestão de água em situação de escassez para regiões áridas e semiáridas. A inovação desta tese refere-se à determinação cuidada e atual das características climáticas, hidrológicas e pedológicas das bacias estudadas, nomeadamente com aplicação pioneira das funções de pedo-transferência dos solos agrícolas da Ilha de Santiago, assim como à combinação dos diversos modelos de simulação de rega e de balanço hídrico que permitiram estudar com mais detalhe a gestão de água na agricultura. Tais modelos consideram o balanço hídrico do solo, a nível das bacias hidrográficas e das parcelas agrícolas, de forma a permitir uma melhor gestão dos volumes de água disponíveis e dos empregues na rega, o que obrigou a melhorar a informação climática e relativa às propriedades hidráulicas dos solos.

Neste capítulo introdutório apresenta-se uma descrição geral da problemática da gestão dos recursos hídricos, os objetivos da tese, a justificação do tema e, a finalizar o capítulo, a estrutura do presente documento escrito.

## **1.2. Gestão dos recursos hídricos. Considerações gerais**

Nas tarefas da área científica relacionada com a gestão dos recursos hídricos inclui-se a concetualização de modelos matemáticos capazes de representar eficazmente qualquer projeto/ambiente real, de forma a poder controlar aspetos relevantes da disponibilidade, da procura e da gestão água. A nível dos recursos hídricos, o esforço científico tem incidido principalmente na modelação, na otimização e na validação de modelos (e.g., modelos WINISAREG, SIMDualKc e Temez), na construção de indicadores e geradores, na avaliação e projeto dos sistemas de rega (e.g., modelo MIRRIG), na modelação de riscos e na análise estatística dos dados observados, permitindo ao gestor detetar e antecipar problemas e, conseqüentemente, estruturar as ações no sentido de controlar parâmetros importantes. Num modelo de balanço hídrico (e.g., modelos Temez e WINISAREG), na fase de otimização de parâmetros é necessário introduzir restrições de modo a assegurarem-se algoritmos eficientes. Na modelação dos sistemas de rega efetuam-se, por vezes, análises de risco e de sensibilidade de modo a permitir associar respostas aos fatores considerados mais relevantes, tais como as perdas de água, a vida útil dos sistemas de microrrega e os custos, mediante a atribuição a esses fatores de diferentes pesos de forma a apoiar a decisão do utilizador (e.g., modelo MIRRIG).

Uma correta gestão dos recursos hídricos visa garantir, entre outros aspetos, a utilização racional dos recursos disponíveis para atingir determinado objetivo, como seja assegurar,

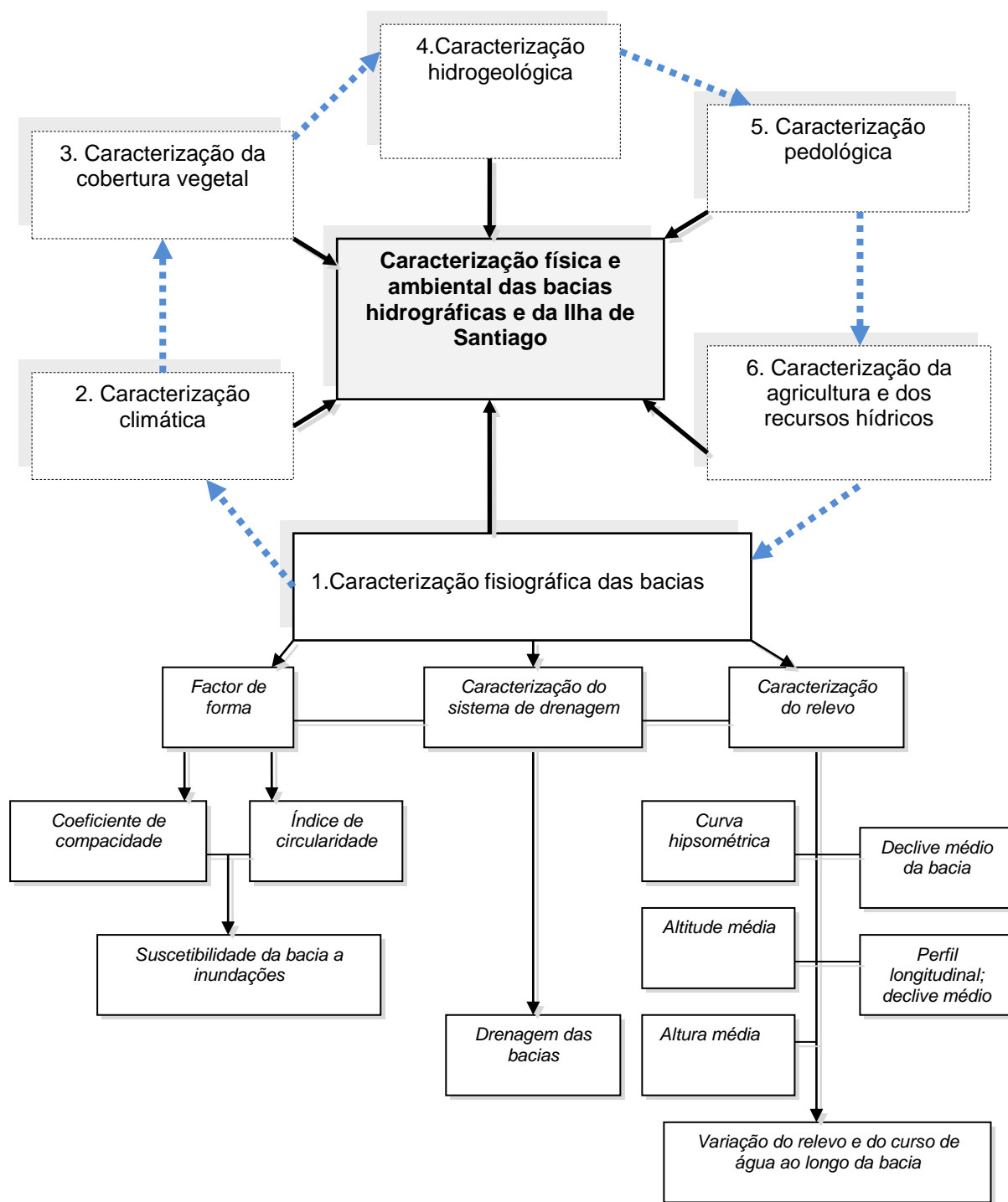
tanto em termos de quantidade, como de qualidade, os usos e consumos de água a nível da bacia hidrográfica, compreendendo, obviamente, a garantia da satisfação das necessidades hídricas das culturas. Para tanto, será necessário dispor de modelos adequados que permitam planejar, projetar e monitorizar de forma sustentável a utilização da água, aspeto tanto mais pertinente quanto mais escasso for esse recurso.

A pressão sobre a água e os vários interesses existentes à sua volta exigem que haja um planeamento, devidamente sustentado e justificado por um modelo, por mais básico e simples que esse modelo seja. Caso contrário, é de esperar que os usos e os desperdícios da água decorram de forma arbitrária, agravando os problemas associados a esse recurso, como sejam os relacionados com a escassez e a desertificação. Particularmente em regiões áridas e semiáridas é conveniente a utilização de um modelo de gestão de água na agricultura que, a cada momento, forneça um quadro tão real quanto possível relativamente à disponibilidade do recurso água e à sua previsível evolução.

### **1.3. Objetivos da tese**

A presente investigação teve por objetivo contribuir para melhorar a gestão dos recursos hídricos na agricultura, recorrendo a modelos matemáticos e de simulação, bem como fornecer elementos chave para a construção de um futuro modelo-GRHA, suscetível de ser utilizado para descrever e para solucionar problemas de escassez de água associados à beneficiação hidroagrícola em bacias hidrográficas da Ilha de Santiago. O modelo deverá combinar em si: i) aspetos ambientais, envolvendo as características física das bacias hidrográficas, o clima, os solos e a vegetação; ii) aspetos hidrológicos, compreendendo a análise da qualidade das séries hidroclimatológicas, bem como a aplicação de modelos de balanço hídrico, recorrendo a formalismos matemáticos e a testes apropriados; iii) aspetos agronómicos, utilizando modelos de rega e de balanço hídrico do solo; e iv) aspetos socioeconómicos avaliando a produtividade da água e os riscos associados à adoção de determinadas estratégias de rega em períodos secos. A conjugação de informação de índole diversa – ambiental, hidrológica, agronómica e socioeconómica – permite identificar e caracterizar alguns aspetos relevantes da escassez hídrica, o que sustenta a projeção do modelo de gestão dos recursos hídricos para as bacias hidrográficas da Ilha de Santiago adotadas como casos de estudo. Além do mais, esta conjugação de informações fornece também pistas para aperfeiçoar a convivência com a escassez de água.

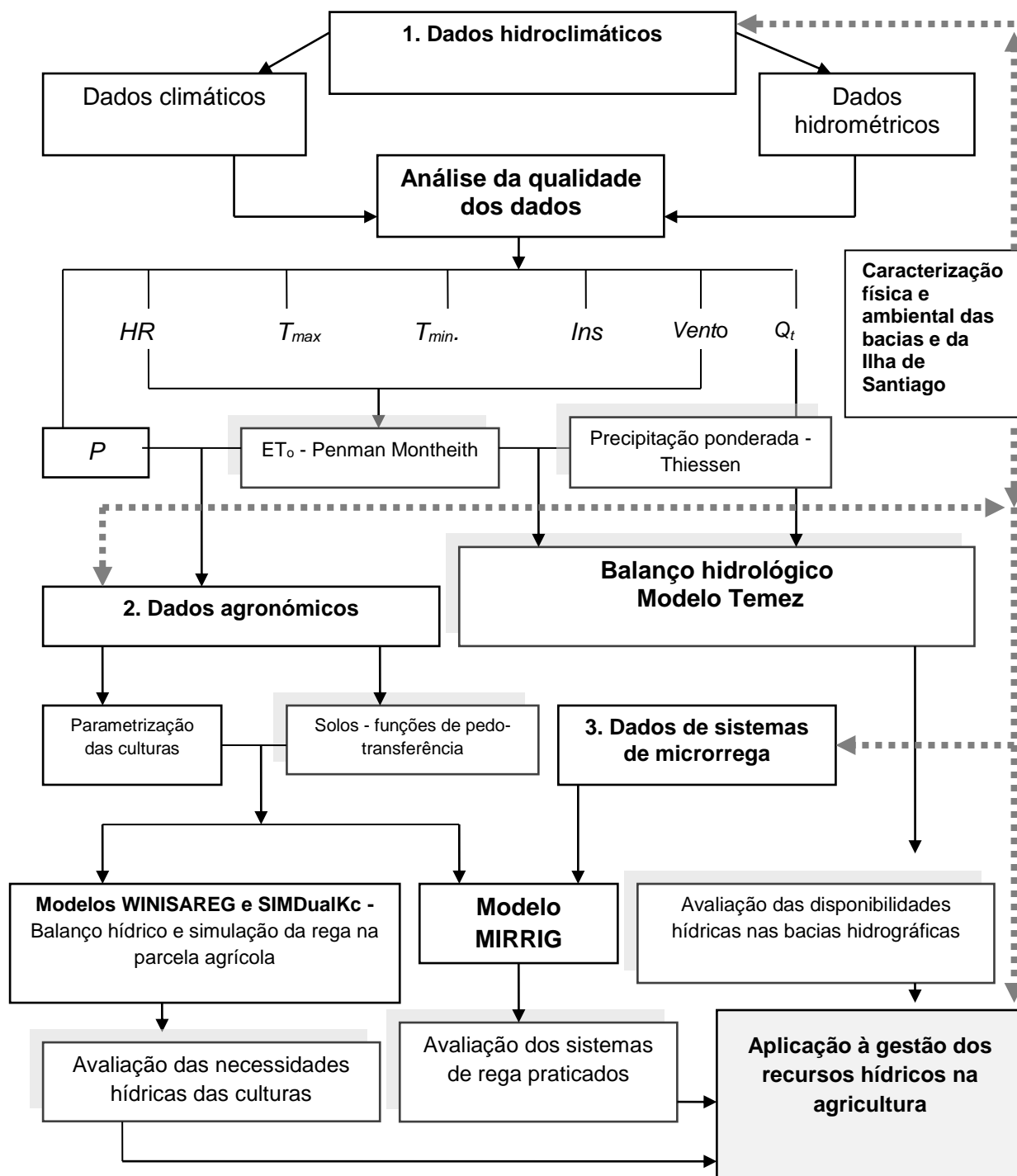
A presente investigação foi direcionada de forma a consolidar os conhecimentos do sector hidroagrícola nos casos de estudo, contribuindo simultaneamente para evidenciar as soluções práticas para alguns desses problemas, e garantir que o modelo-GRHA que se venha a propor possa responder, de facto, aos problemas de escassez identificados. Para tal, recorreu-se ao modelo para determinação das funções de pedo-transferência, a modelos de rega (WINISAREG, SIMDualKc e MIRRIG), a um modelo de balanço hídrico (Temez) e a um modelo de produtividade de água. Esses modelos permitiram determinar as necessidades hídricas das culturas, caracterizar os sistemas de microrrega, avaliar as disponibilidades hídricas das bacias (balanço hídrico do solo), simular calendários de rega deficitária, avaliar a produtividade física e económica da água, assim como analisar o risco associado à produção agrícola em períodos de seca. As Figuras 1.1 a 1.3 ilustram de forma esquemática um conjunto de estudos efetuados que consubstanciam esta tese. Numa primeira fase procedeu-se à caracterização física e ambiental das bacias hidrográficas e da Ilha de Santiago (Figura 1.1).



**Figura 1.1:** Esquema geral de caracterização física e ambiental das bacias hidrográficas casos de estudo e da Ilha de Santiago – primeira fase.

A segunda fase compreendeu a análise da qualidade dos dados hidroclimatológicos necessários aos modelos de rega e de balanço hídrico e incluiu a parametrização dos solos com base na determinação das funções de pedo-transferência (Figura 1.2). A parametrização das culturas exigiu o acompanhamento e avaliação dos sistemas de microrrega instalados, atividades que permitiram quantificar o uso e o desperdício de água na rega. As informações obtidas nesta fase funcionaram como dados de entrada dos modelos (Temez, WINISAREG, SIMDualKc e MIRRIG). Em resultado de aplicação desses

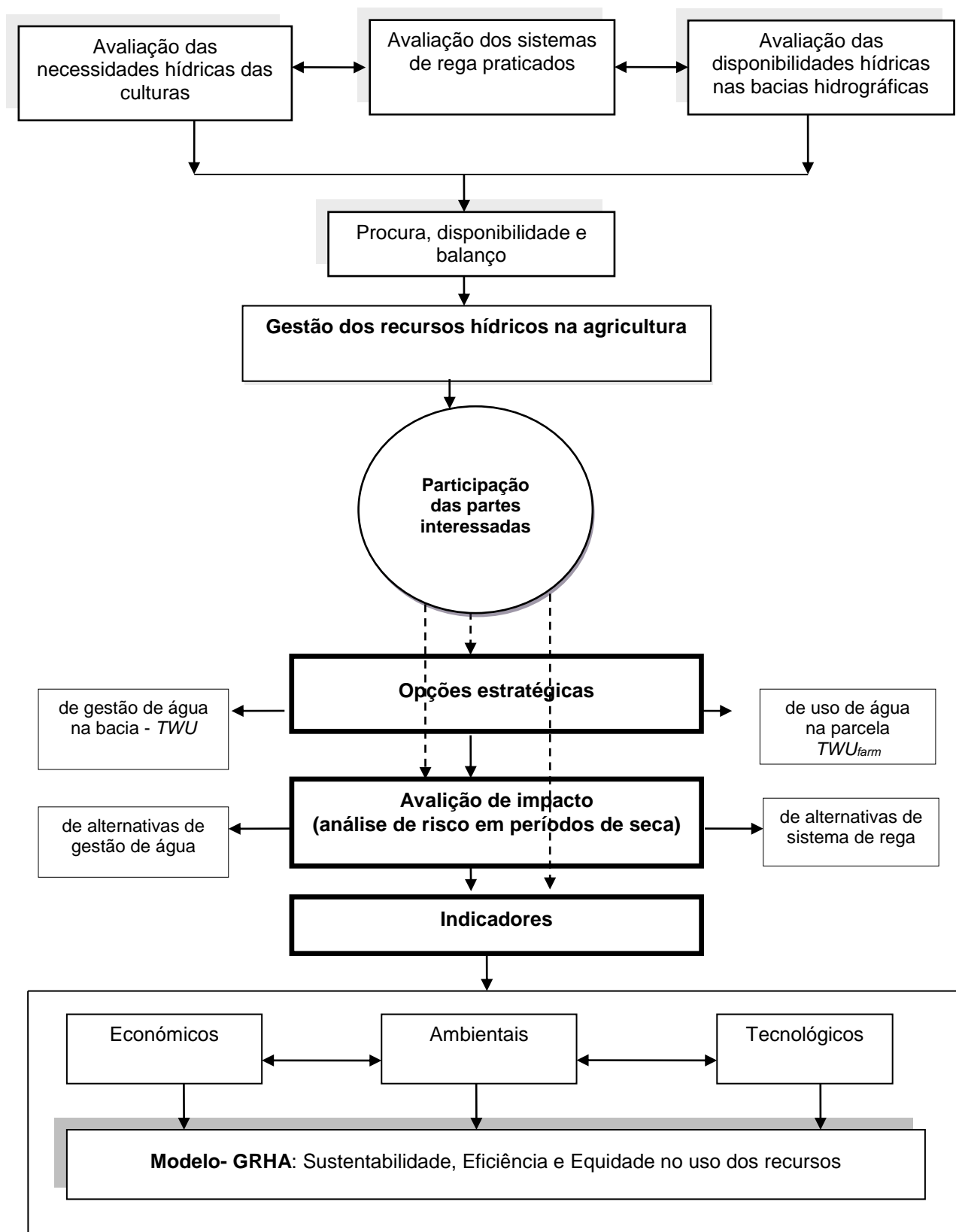
modelos estimaram-se as disponibilidades hídricas nas bacias hidrográficas e as necessidades hídricas das culturas e identificaram-se as melhores alternativas de sistemas de microrrega e as estratégias de rega deficitária.



*HR- humidade relativa,  $T_{max}$  e  $T_{min}$  – temperaturas máximas e mínima;  $Ins$  – insolação;  $Q_t$  – escoamento total;  $ET_o$  – evapotranspiração de referência.*

**Figura 1.2:** Esquema geral para obtenção e tratamento de informações climáticas, pedológica, hidrológica e ambiental – segunda fase.

A terceira fase (Figura 1.3) compreende, assim, a apresentação das relações entre os modelos de simulação e o modelo concetual (modelo-GRHA) visando a gestão dos recursos hídricos na agricultura, a ser desenvolvido posteriormente.



TWU e TWU<sub>farm</sub> – total de água usado e total aplicado na parcela.

**Figura 1.3:** Esquema geral de conceitualização para resolução futura dos problemas de uso de água – terceira fase.

O modelo-GRHA propõe a resolução futura dos problemas de uso de água e deverá incluir um sistema de apoio à decisão visando opções estratégicas de gestão da água, tendo como

suporte a avaliação de impactos e indicadores tanto ambientais como económicos e tecnológicos.

#### 1.4. Justificação do tema

A escassez hídrica foi sempre a maior inquietação e incerteza de manutenção dos povos nas ilhas de Cabo Verde. Essa inquietação serviu de motivo para desenvolver pesquisas relacionadas com os recursos hídricos, visando aquietar as preocupações de insuficiência de água que foram progressivamente acompanhando a prática dos profissionais ligados ao sector. Parece evidente que a escassez de água nessas regiões decorre intrinsecamente da irregularidade e da aleatoriedade das precipitações. No entanto, acredita-se que tal escassez não depende unicamente de fatores naturais, mas também de um conjunto de fatores antrópicos - económicos, ambientais e tecnológicos - que interagem entre si e que influenciam a disponibilidade e a procura hídrica (Pereira *et al.*, 2009). Segundo dados da UNESCO (2010), 70% da superfície do planeta é coberta por água. Quase toda a água que existe na terra (97.5%) é salgada e está nos oceanos, sendo imprópria para o uso direto na agricultura e na indústria. Apenas 2.5% da água no planeta é doce, sendo que maior parte está sob a forma de glaciares. Somente menos de 1% da água doce existente é própria para o consumo, ocorrendo nos rios, nos lagos e nos lençóis subterrâneos, estes últimos frequentemente de difícil acesso. Essa água é suficiente para satisfazer entre seis a sete vezes o consumo mínimo anual dos habitantes do planeta. De entre as principais razões da escassez de água numa dada região mencionam-se: a distribuição irregular do recurso no território; a gestão deficitária devido a irregularidade espacial e temporal do recurso; a densidade e o crescimento populacional com conseqüente aumento da procura e da poluição dos mananciais e degradação progressiva da sua qualidade e as mudanças climáticas. A FAO (2007) previu que, em 2025, 1.8 bilhão de pessoas viverão em países ou regiões com absoluta escassez de água e dois terços da população mundial enfrentarão uma crise relacionada com a escassez desse recurso. Daí o interesse, mas também a absoluta necessidade, em compreender a questão de escassez de água em Cabo Verde, um país insular, situado na extremidade oeste da região do Sahel, conhecido pelos seus sérios problemas hídricos.

#### **Disponibilidade hídrica em Cabo Verde**

Cabo Verde é um país com uma população crescente onde os recursos hídricos *per capita* são cada vez mais escassos. Segundo os dados do Instituto Nacional de Estatística de Cabo Verde, INE, regista-se atualmente no país um aumento acelerado da população (Censo 2010). Com efeito, a população residente em Cabo Verde é atualmente cerca de 492 mil habitantes, sendo que cerca de 62 % vive em zona rural. Mais de 54 % tem menos de 25 anos de idade. Cerca de 50.5 % da população residente é feminina e 49.5% masculina. Segundo as projeções do INE, até 2020 Cabo Verde vai ultrapassar 600 mil habitantes. A Ilha de Santiago possui atualmente mais de metade (56%) da população total residente no país, sendo que, excetuando o concelho da Praia, nos demais concelhos a população rural é superior à urbana. O concelho da Praia, essencialmente urbano, alberga atualmente 48% da população da Ilha de Santiago, devido sobretudo ao êxodo rural e à migração dos povos das ilhas com menos recursos.

Em Cabo Verde, a dinâmica dos fatores climáticos e meteorológicos dominantes não favorecem a ocorrência de pluviosidade. As precipitações ocorrem principalmente entre agosto e setembro (60 % a 80 %), sendo que a quantidade de chuva é variável entre as

ilhas em função da prevalência de fatores favoráveis à sua ocorrência, combinados com a topografia e a altitude. As ilhas montanhosas são as mais chuvosas, com destaque para Fogo (495 mm), Santiago (321 mm), Brava (268 mm) e Santo Antão (237 mm). As ilhas do Sal e Boavista recebem quantidades mínimas de chuva (60 mm e 68 mm) enquanto outras ilhas apresentam valores intermédios: 93 mm em São Vicente, 142 mm em São Nicolau e 150 mm na do Maio. Estes quantitativos referem-se a precipitações anuais médias. Não existem rios permanentes, o regime fluvial é torrencial e, associado ao relevo acidentado, provoca correntes rápidas, com caudais de ponta significativos, que preenchem cursos de água efémeros.

Os recursos subterrâneos têm sido estimados por diversos autores recorrendo, quer a métodos empíricos (BURGEAP, 1974; Fernandopullé 1987; Dittrich, 1982; CNAG/INGRH, 1992), quer a métodos baseados na realização de balanços hidrológicos (PNUD, 1992; BURGEAP, 1983 in MAAP-INGRH, 2000). Todos os estudos indicam que o volume total de águas superficiais é em geral superior ao das águas subterrâneas. Em termos de balanço global e da sua contribuição para os recursos subterrâneos brutos, estima-se que 50 a 67 % da chuva se perde por evapotranspiração, 20 a 33 % origina escoamento superficial e apenas 13 a 17 % contribui para a recarga dos aquíferos. O escoamento superficial anual representa, em média, 181 milhões de m<sup>3</sup>, versus 124 milhões de m<sup>3</sup> de recarga dos aquíferos, dos quais apenas 66 milhões de m<sup>3</sup> são tecnicamente exploráveis em anos húmidos. Deste potencial somente 36 milhões de m<sup>3</sup> (cerca 56 %) são efetivamente explorados, sendo que tal exploração ocorre principalmente em Santo Antão e Santiago. Nessas duas ilhas explora-se cerca de 86 % dos recursos subterrâneos disponíveis. No período seco, existe um excedente de 7.6 milhões contra 29 milhões de m<sup>3</sup> no período húmido, com maior expressão no Fogo, seguido de Santo Antão e Santiago. De acordo com os dados de MAAP-DGA (2004), 90% do potencial de água subterrânea tecnicamente explorável concentra-se nas ilhas com maiores cotas, como Santo Antão, Santiago e Fogo.

Os volumes de água captados nos rios de ocorrência efémera e armazenados em reservatórios são muito reduzidos quando comparados com o volume de origem subterrânea, obtido através de poços horizontais e rasos em aquíferos aluvionares e de poços profundos. As publicações de INE (2000 e 2007) referentes ao Questionário Unificado de Indicadores Básicos de Bem-estar (QUIBB), estimam a existência de cerca de 2304 nascentes e galerias (poços horizontais), 1173 poços rasos e 238 poços profundos para um caudal diário de cerca de 99400 m<sup>3</sup>. Os poços horizontais contribuem com 61 %, os poços rasos com 24 % e os poços profundos com 15 %. Nas ilhas de Santo Antão, Santiago e Fogo, as nascentes de altitude e os aquíferos aluvionares são facilmente acessíveis e daí estarem plenamente explorados ou mesmo sobre-explorados. Nas ilhas onde não existem recursos subterrâneos suficientes – em quantidade e em qualidade – a produção básica é assegurada pela dessalinização da água do mar, com um volume anual estimado em 1800000 m<sup>3</sup>, com a seguinte distribuição: São Vicente – 55 %; Sal – 19 %; Boavista – 1.5%; Santiago (Praia) – 24 % (INE, 2000).

### **Procura / Acesso aos recursos hídricos**

A procura de água potável, tanto no meio rural, como no urbano, é ainda inferior às disponibilidades. Apesar de Cabo Verde estar em vias de atingir a meta de “*reduzir para metade, até em 2015, a percentagem de população sem acesso permanente a água potável*”, a procura é cada vez maior e o custo e o acesso fazem-se de forma desigual, tanto em quantidade, como em qualidade e periodicidade. Esta situação é mais sentida no meio

rural e nas periferias urbanas, onde a escassez hídrica é maior e o acesso à água ainda é muito precário. Em todas as ilhas, o abastecimento em meio rural é feito com recurso às águas subterrâneas, através de poços rasos e profundos, de nascentes e poços horizontais, havendo ilhas em que, adicionalmente, se recorre à água dessalinizada.

Os dados atualizados de QUIBB, INE (2007), confirmam que cerca de 45.5% da população se abastece através de ligações domiciliárias, 38% através de fontanários, 6% através de autotanques, pelo que, no total, 89.5% da população tem acesso a abastecimento de água. Porém, mais de 25% da população ainda se abastece de forma precária. No meio rural, cerca de 75.8% das famílias têm acesso a água potável, percentagem que aumenta para 98.6% no meio urbano. Enquanto as famílias residentes nos centros urbanos têm acesso a ligações domiciliárias e, portanto, têm água de qualidade e em quantidade adequada e assegurada, as famílias rurais e dos subúrbios abastecem-se em chafarizes, poços e camiões-cisternas, para o que, por regra, se têm de deslocar a grandes distâncias e várias vezes ao dia para assegurarem uma quantidade média de água de 30 a 50 litros por dia/família. Esses escassos litros de água são normalmente insuficientes para superarem as necessidades do agregado familiar (6-8 pessoas), além de que as condições do seu transporte e do seu acondicionamento não são, por regra, as mais recomendadas.

Os preços de água nos chafarizes e nos camiões cisternas (7-10 euros  $m^{-3}$ ) são, normalmente, superiores aos das ligações domiciliárias (2.5-3.5 euros  $m^{-3}$ ), em nítida contradição com o facto de grande parte das famílias que se abastece naqueles chafarizes e camiões cisternas ser a mais pobre e vulnerável do país, dependente quase exclusivamente da atividade agrícola. Com efeito, a agricultura é atualmente o sector com maior população pobre empregada, acolhendo cerca de 48% da população rural ativa, integrando 34% de famílias pobres ou muito pobres (INE, 2007). A necessidade de, no meio rural, levar a água para consumo doméstico influencia muito o quotidiano da maioria das mulheres, nomeadamente, as suas atividades domésticas e agrícolas. A participação dessas mulheres na gestão dos ecossistemas e no controle da degradação ambiental tem sido objeto de diferentes projetos e de planos de ação com o intuito de reduzir as desigualdades de género.

### **Balanço dos recursos hídricos**

Segundo os últimos dados publicados pelo MAAP-INGRH (2000), em Cabo Verde a área das terras potencialmente irrigáveis cifra-se entre 2500 e 3000 ha, estando concentrada, sobretudo, nas ilhas de Santo Antão e Santiago. Estima-se, com base no balanço hidrológico, que o volume de água necessário à agricultura é cerca de 28.2 milhões de  $m^3ano^{-1}$ , enquanto que as extrações/captações para essa finalidade são da ordem de 22 milhões de  $m^3 ano^{-1}$ , ou seja, existe um défice de cerca de 6.2 milhões de  $m^3 ano^{-1}$ . A mesma publicação estima ainda que as necessidades globais de água para o consumo humano são cerca de 2 milhões de  $m^3 ano^{-1}$ . Os mesmos dados indicam que a agricultura é o sector com uma procura bastante superior aos demais sectores, utilizando mais de 80% dos recursos hídricos disponíveis: em média, são necessários 60000  $m^3$  de água por dia para regar cerca de 1600 ha explorados. A mesma fonte estima que as necessidades de água para a indústria, turismo e outras atividades são cerca de 5500  $m^3 dia^{-1}$ . As necessidades globais para a pecuária são estimadas em 1900  $m^3 dia^{-1}$ .

Segundo as projeções de MAAP (2000) e PEDA (2004), resumidas no Quadro 1.1, conclui-se que em anos húmidos a exploração das águas subterrâneas é suficiente para suprir as necessidades hídricas, uma vez que a procura total é cerca de 60.3 milhões de  $m^3 ano^{-1}$ ,

ligeiramente inferior às reservas subterrâneas tecnicamente exploráveis (66 milhões de m<sup>3</sup>). Nos anos secos, as reservas subterrâneas exploráveis descem para 44 milhões de m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>, gerando um déficit de cerca de 16 milhões de m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. Assim, a necessidade de desenvolver outras fontes de exploração de água, como as superficiais, as residuais, as dessalinizadas e as coletas e armazenamento no solo, é cada vez mais premente. Por falta, por um lado, de alternativas tecnológicas e de infraestruturas apropriadas que permitam origens de água alternativas e, por outro lado, de um modelo de gestão adequado, as águas subterrâneas vêm sendo sobre-exploradas, agravando o fenómeno de escassez no arquipélago.

**Quadro 1.1:** Projeções do balanço global da procura e recursos em água (hm<sup>3</sup>).

Ano			2010	2020
<b>Procura</b>			60.3	81.9
	Subterrâneos	AH	66.0	66.0
AS		44.0	44.0	
<b>Recursos</b>	Superficiais	AH	27.0	54.3
		AS (<50%)	13.5	27.2
	Reutilização		10.6	12.1
	Dessalinizada		25.0	30.0
	Total dos recursos	AH	129.0	162.0
		AS	93.1	113.3
<b>Balanço</b>	Com a total das disponibilidades	AH	68.3	80.5
		AS	32.8	31.4
	Só com água subterrânea	AH	5.7	-15.9
		AS	-16.3	-37.9

*Adaptado de MAAP – INGRH: Visão 2000, horizonte 2025 e PEDA, 2004.*

Face ao aumento da população, espera-se que o déficit registado de 16.3 milhões de m<sup>3</sup> em 2010 ascenda a 37.9 milhões de m<sup>3</sup> em 2020. Só promovendo outras origens de água, além da subterrânea (águas superficiais, reutilizadas e dessalinizadas), será possível satisfazer o acréscimo da procura hídrica de 60.3 milhões de m<sup>3</sup>, em 2010, para 81.9 milhões de m<sup>3</sup>, em 2020. Antevendo que o fator económico possa não permitir, em tempo real, o aumento da capacidade de resposta dos sistemas, resta desenvolver investigações ligadas ao sector hidroagrícola focadas na gestão, na conservação e na poupança dos escassos recursos atualmente disponíveis.

O balanço negativo entre a procura e disponibilidade de água em anos secos e o acesso desigual ao recurso são típicos de uma gestão em situação de escassez hídrica e carecem ainda de muitas reflexões e soluções ajustadas à realidade. Uma boa gestão dos recursos hídricos constitui, inevitavelmente, uma das principais soluções a adotar para solucionar, pelo menos em parte, os problemas de escassez da água. Daí a necessidade de um plano de gestão adequado que identifique fatores pertinentes e equacione a influência desses fatores na escassez de água nas regiões áridas e semiáridas da Ilha de Santiago. Nesse contexto, espera-se que a presente dissertação conduza a perspectivas pertinentes para uma melhor abordagem dos recursos hídricos em situação de escassez e, assim, contribua para valorizar a água enquanto recurso vital e escasso.

### **Estrutura do documento**

Após o anterior breve apontamento introdutório, sobre o que de mais importante foi realizado ao longo deste estudo para contribuir para a melhoria de gestão dos recursos hídricos na agricultura, e para o futuro modelo-GRHA, focando a problemática de escassez hídrica em Cabo Verde, prossegue-se, no capítulo 2, com um breve apontamento sobre as bases teóricas e metodológicas mais relevantes no âmbito em estudo. O capítulo 3 respeita à caracterização física e ambiental das bacias hidrográficas analisadas e da Ilha de

Santiago. O capítulo 4 foca a obtenção e o tratamento da informação climática, pedológica, hidrológica e ambiental. O capítulo 5 trata da estratégia de gestão de água no regadio considerando as necessidades hídricas das culturas. No capítulo 6, utilizando como informação de base os resultados da aplicação dos modelos de rega e de balanço hídrico, assim como as produções obtidas, estimaram-se as produtividades física e económica da água para as principais culturas praticadas na área de estudo. No capítulo 7 apresenta-se a gestão hidroagrícola e análises de cenários de risco em períodos de seca. Finalmente, no capítulo 8, são sistematizadas as contribuições principais da investigação, bem como anotadas algumas recomendações para investigação futura e conceptualização do modelo-GRHA.