

**ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**

# **RECURSOS HÍDRICOS**

**Equipa:**

**Susana Prada**, Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia, Universidade da Madeira

**Joana André Reis**, Faculdade de Ciências Exatas e da Engenharia, Universidade da Madeira

**Vítor Barreto**, Universidade da Madeira

**2015**



## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	4
2. METODOLOGIA .....	6
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	7
3.1 Lacunas de conhecimento .....	7
3.2 Capacidade adaptativa.....	9
3.3 Medidas de adaptação .....	11
3.4 Matrizes de Vulnerabilidades e cadeia de impactos .....	14
4. CONCLUSÃO.....	15
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	16

## 1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos subterrâneos, que apresentam uma importância muito significativa na satisfação das necessidades da população, são muito dependentes das condições climáticas e, portanto, condicionadas por potenciais alterações climáticas futuras (Figura 1).

Evoluções nos valores médios de temperatura, precipitação e nível do mar contribuem para ocorrência de impactos na disponibilidade e qualidade da água dos aquíferos. A subida da temperatura e diminuição da precipitação, para além de eventuais alterações nos níveis de precipitação oculta, potenciados por fatores de sensibilidade como a ocupação e uso do solo, o coberto vegetal, o declive do terreno e a permeabilidade do meio geológico, poderão ter efeitos profundos no ciclo hidrológico nomeadamente ao nível da recarga dos aquíferos, comprometendo a quantidade de água doce disponível. A diminuição de recarga devido a reduções de água infiltrada e aumento da evapotranspiração, resultam numa diminuição das reservas de água subterrânea e dos caudais médios de água subterrânea escoados no sentido terra-mar promovendo também o avanço de água salgada no sentido mar-terra.

Para além da diminuição da recarga, a elevação do nível médio do mar influencia as áreas emersas bem como a salinização dos aquíferos. Dessa alteração do equilíbrio dinâmico água doce/água salgada com subida da interface salina resulta um aumento do teor de cloretos. Com efeito, mesmo para variabilidades positivas do nível médio do mar ainda que ligeiras são expectáveis reduções da espessura da lente de água doce nas zonas costeiras de ilhas como a Madeira.

A origem de desequilíbrios pode ser também promovida quando a exploração de água subterrânea para consumo das populações, resulta em volumes captados superiores à recarga, criando-se um défice de água doce, com redução dos níveis piezométricos para além do avanço perigoso da cunha salina.

Da avaliação da evolução dos caudais das galerias, túneis e nascentes bem como dos níveis piezométricos dos furos, constatou-se a influência da variação da recarga nos valores analisados. No entanto, no caso dos furos, os volumes extraídos para suprir as necessidades de consumo das populações constituem, atualmente e a curto prazo, uma maior influência. Essa maior vulnerabilidade dos furos ao fator humano de extrair água é notória também no que se refere à qualidade da água, particularmente no que se refere à salinização dos aquíferos.

Após a análise dos impactos provocados pelas alterações climáticas na disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos subterrâneos foi essencial compreender quais as medidas já implementadas no sentido de os minimizar e, quais as estratégias necessárias para complementar as atuais medidas no sentido de contrariar a vulnerabilidade atual e futura.

Disponibilidade e Qualidade da Água da Região Autónoma da Madeira

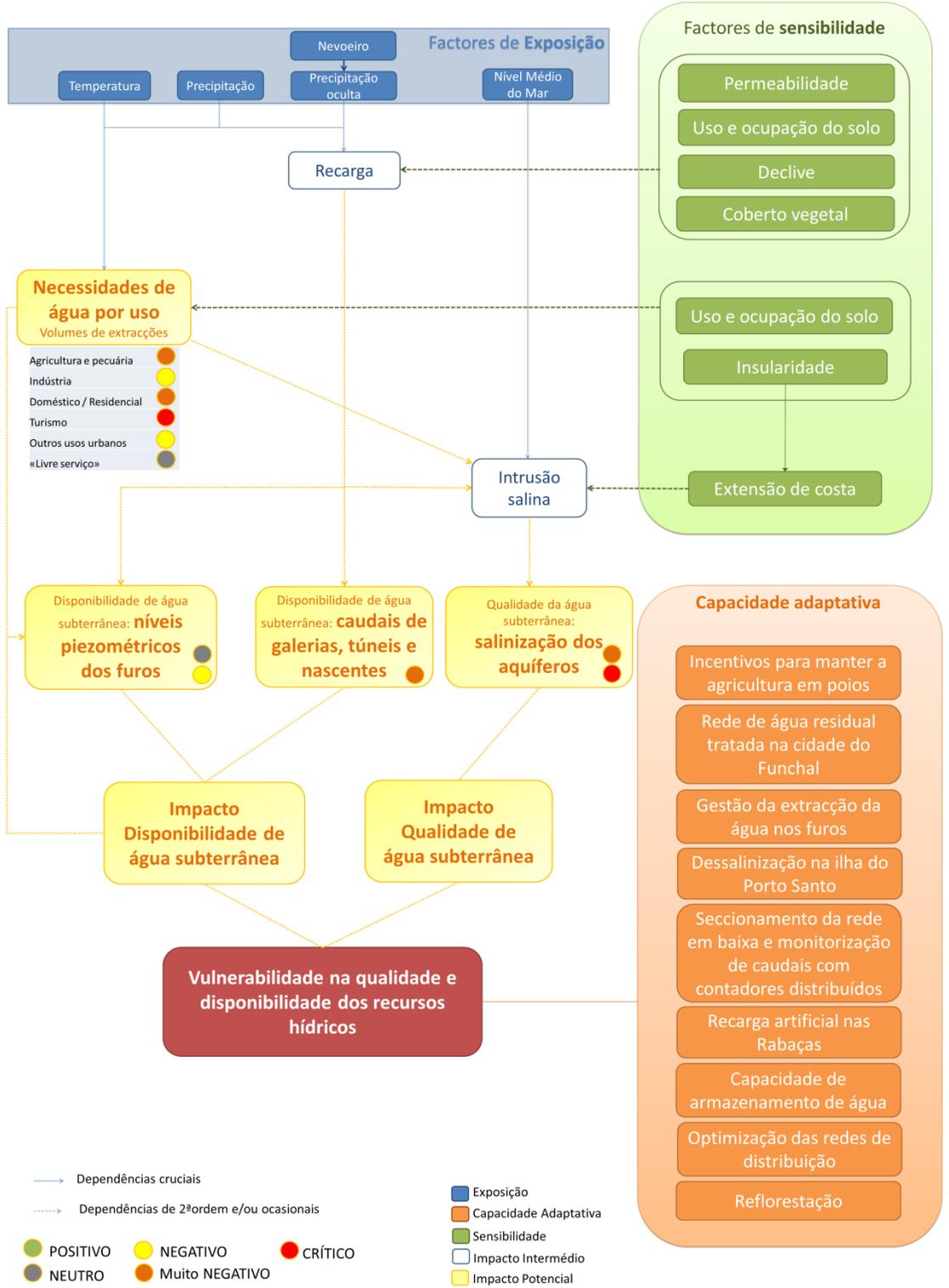


Figura 1 - Esquema conceptual dos Recursos Hídricos

Constituem-se como objetivos principais do presente relatório, integrado no projeto CLIMA-Madeira:

- A validação e exposição da Capacidade Adaptativa (CA) atual dos vários sistemas considerada aquando da avaliação das vulnerabilidades;

- Definição de Medidas de Adaptação (MA) integradas numa estratégia de “Adaptação Planeada”, onde são apresentadas propostas de ações para lidar com as vulnerabilidades futuras identificadas.

## 2. METODOLOGIA

Para cada impacto das alterações climáticas (AC's) identificado na primeira fase do projeto, tal como se apresentam na Tabela 1, foi realizada uma pesquisa de ações ou iniciativas que já tenham sido implementadas ou em curso que permitam moderar os seus efeitos negativos.

Essa consulta foi realizada por inquirição direta da entidade responsável pela exploração, tratamento e abastecimento de água para consumo, a IGA (Investimentos e Gestão da Água, S.A.) e por informações que foram sendo transmitidas pela comunicação social.

**Tabela 1 - Impactos das AC's nos Recursos Hídricos subterrâneos**

Impactos	
Qualidade da água subterrânea	Salinização dos aquíferos
Disponibilidade de água subterrânea	Níveis piezométricos dos furos
	Caudais de galerias, túneis e nascentes
	Necessidades de água por uso - volumes de extrações

A designada capacidade adaptativa (CA) pode atuar direta ou indiretamente num fator de exposição ou sensibilidade, e constituindo-se muitas vezes uma adaptação autónoma as medidas em curso não são uma resposta consciente aos estímulos climáticos, nem pretendem atuar especificamente sobre o impacto particular nos recursos hídricos.

A CA identificada foi validada e complementada por agentes externos convidados, aquando da realização do workshop de 12 de Fevereiro de 2015.

Nesse evento, para além da CA, foi efetuada uma sondagem às possíveis medidas de adaptação (MA) que podem ser definidas para contrariar as vulnerabilidades futuras identificadas na primeira fase do projeto. As MA sugeridas no workshop, complementaram outras já identificadas (Prada *et al.* 2006 e Santos e Aguiar, 2006).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 *Lacunas de conhecimento***

Para identificar e caracterizar os potenciais impactos das AC's sobre o setor Recursos Hídricos, permitindo avaliar as principais vulnerabilidades do território nesse contexto, foi realizada uma pesquisa sobre toda a informação disponível.

Verificou-se que, embora já haja alguma investigação internacional e regional neste domínio, estudos ajustados às particularidades naturais, geográficas e socioculturais da Região Autónoma da Madeira (RAM) são ainda escassos. Salienta-se, que para além da incerteza face aos cenários climáticos, é ainda desconhecido o comportamento futuro da precipitação oculta, se esta poderá aumentar ou diminuir.

Os dados disponibilizados para realizar a análise, de um modo geral, indicavam que a monitorização é relativamente recente e, que em alguns casos não se encontra definido um plano de amostragem regular. As séries de dados temporais apresentavam elevada discontinuidade, com elevado número de observações em falta e/ou registos pouco fidedignos, mesmo quando transformadas em valores médios mensais.

Para contrariar essas limitações, em algumas análises foram adotados métodos de modelação e testes estatísticos não paramétricos. No entanto, previamente foi realizada uma avaliação cuidada dos dados, com cruzamento de informação com outros registos diretamente correlacionáveis, no sentido de aceitar/declinar os registos considerados como potenciais *outliers*. Sempre que ocorriam, ainda assim, dúvidas sobre registos foram contactadas as instituições responsáveis para obter mais informações sobre os mesmos.

O grau de confiança associada aos impactos e vulnerabilidade está intimamente relacionado com limitações associadas aos dados e lacunas na adequabilidade dos estudos às especificidades da RAM e relação com AC's. Como se pode verificar na Tabela 2, o grau foi definido tendo em atenção cada metodologia de análise e qualidade dos dados associados.

**Tabela 2 - Confiança associada aos impactos e vulnerabilidade**

<b>Impacto</b>	<b>Vulnerabilidade</b>	<b>Confiança</b>	<b>Justificação</b>
Qualidade da água subterrânea: Salinização dos aquíferos	Atual	Muito Alta	Análise estatística com resultados significantes efetuada com dados reais e séries temporais com pelo menos 10 anos.
	Futura: curto prazo	Baixa	O teor de cloretos é maioritariamente dependente da extração de água nos furos. Logo, alterações futuras significativas nas tendências históricas dos volumes elevados, resultará numa variação da concentração de cloretos independentemente da alteração climática.
	Futura: médio e longo prazo	Baixa	A avaliação da diminuição futura dos níveis baseou-se apenas no valor do nível estático medido durante a execução dos furos, podendo não ser representativo da evolução posterior do nível piezométrico em repouso.
Disponibilidade de água subterrânea: Níveis piezométricos dos furos	Atual	Média	Os níveis estáticos adotados correspondem a meses em que o volume extraído é muito reduzido, quase desprezável face aos restantes meses do ano.
	Futura: médio e longo prazo	Muito Baixa	A avaliação da diminuição futura dos níveis baseou-se apenas no valor do nível estático medido durante a execução dos furos, podendo não ser representativo da evolução posterior do nível piezométrico em repouso.
Disponibilidade de água subterrânea: Caudais de galerias, túneis e nascentes	Atual	Baixa	<u>Túnel 4 dos Tornos</u> - A contabilização do caudal apenas regista a água fornecida para abastecimento e rega, sendo excluída a água descarregada para a ribeira.
	Atual	Alta	<u>Galerias do Porto Novo, das Fontes Vermelhas, Rabaças e o Túnel do Norte</u> - A análise estatística com resultados significantes teve como base dados reais.
	Atual	Média	<u>Túnel da Encumeada e as galerias do Rabaçal e Fajã da Ama</u> - Dimensão da amostra reduzida.
	Futura: médio e longo prazo	Média	Modelação matemática adotada com um elevado grau de simplificação que poderá não refletir a elevada heterogeneidade do meio vulcânico.
Disponibilidade de água subterrânea: Necessidades de água por uso - volumes de extrações	Atual	Alta	Os resultados obtidos para o ano de 2015 considerados representativos das necessidades reais atuais
	Futura: curto prazo	Baixa	Avaliação baseou-se em indicadores socioeconómicos, não considerando a afetação das alterações climáticas futuras expectáveis.

### 3.2 Capacidade adaptativa

Como referido anteriormente, ainda que uma CA não seja deliberadamente implementada no sentido de atuar sobre um determinado impacto, o facto dessa medida, atualmente em vigor, contribuir para a sua atenuação constitui-se uma resposta positiva para a diminuição da vulnerabilidade. A CA identificada apresenta-se na Tabela 3.

Salienta-se que, sempre que uma CA influenciar direta ou indiretamente a redução da exploração de furos, túneis, galerias e nascentes e/ou permitir um aumento da recarga, o aumento da reserva subterrânea decorrente, desagrava o avanço da cunha salina possibilitando uma redução do teor em cloretos e aumento da qualidade da água dos aquíferos costeiros.

**Tabela 3 - Capacidade adaptativa**

	Qualidade da água subterrânea	Disponibilidade de água subterrânea		
		Níveis piezométricos dos furos	Caudais de galerias, túneis e nascentes	Necessidades de água por uso
<b>Capacidade Adaptativa</b>	Salinização dos aquíferos			
Incentivos para manter a agricultura em poios	✘	✘	✘	✘
Rede de água residual tratada na cidade do Funchal	✘	✘		
Seccionamento da rede em baixa e monitorização de caudais com contadores distribuídos	✘	✘		
Recarga artificial nas Rabaças	✘	✘	✘	
Capacidade de armazenamento de água	✘	✘	✘	
Otimização das redes de distribuição	✘	✘		
Gestão da extração da água nos furos	✘			
Reflorestação	✘	✘	✘	
Dessalinização na ilha do Porto Santo	✘	✘		

Ainda que o objetivo principal não seja o de minimizar os impactos negativos na disponibilidade de água subterrânea, os incentivos verificados para manter a agricultura em poios, demonstra uma gestão no uso e ocupação do solo, permitindo criar zonas de maior infiltração.

Ainda, no sentido de diminuir o impacto do consumo nas disponibilidades de água subterrânea, a Câmara Municipal do Funchal disponibiliza, ainda que com uma abrangência reduzida, uma rede alternativa de águas residuais tratadas para rega de jardins, utilização da protecção civil e outras utilizações que não exijam água potável.

É expectável a conclusão do seccionamento da rede em baixa e colocação de contadores com intuito de monitorizar com mais rigor perdas e consumos ilegais e sua localização.

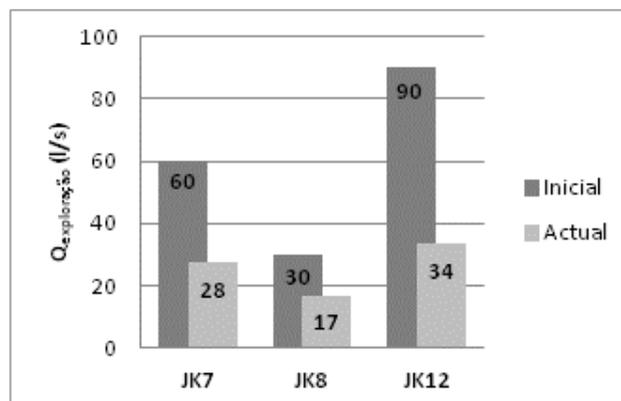
No Paul da Serra, foi efetuado um desvio de caudal de linhas de água para a área plana do mato, permitindo uma recarga artificial da galeria das Rabaças. Esta constitui-se como uma medida adaptativa com impactos benéficos notórios ao nível da disponibilidade de água nessa galeria.

No sentido de garantir abastecimento principalmente para rega em períodos de défice de água, nomeadamente nos meses mais quentes e secos, foram executadas infraestruturas de elevada dimensão para armazenamento de água. Essas construções, sob a forma de lagoas, permitem a retenção de um considerável volume de água nos meses de maior precipitação.

Também, obras nas redes de distribuição de água, nomeadamente em alta, foram executadas no sentido de diminuir as elevadas perdas e, portanto, reduzir a extração de água para suprir as necessidades de consumo.

Verificou-se ainda que, dado o conhecimento empírico da correlação positiva entre a extração e a concentração de cloretos, a IGA tem reagido no sentido de moderar danos potenciais. A capacidade adaptativa tem sido demonstrada pela gestão dos volumes elevados, diminuindo ou suspendendo pontualmente a extração nos furos onde se verificam aumentos da concentração. As necessidades são pois satisfeitas por outros furos com concentrações de cloretos menos críticas.

No caso dos furos da Ribeira de Machico, onde após a execução do Túnel do Norte e, face à constatação de uma redução média superior a 20m dos níveis piezométricos, foram reduzidos substancialmente os caudais de exploração, como apresentado na Figura 2.



**Figura 2 - Caudais de exploração iniciais e atuais dos furos da Ribeira de Machico**

A reflorestação que tem sido realizada, particularmente após os incêndios de 2010, no pressuposto que renova o coberto vegetal endémico com benefícios ao nível da infiltração de água da chuva e aumento da precipitação oculta, constitui-se uma medida com efeitos benéficos no aumento da recarga dos aquíferos.

Este estudo não abrangeu a ilha do Porto Santo onde, devido à sua escassez hídrica, o abastecimento de água se faz quase exclusivamente à custa de uma central dessalinizadora, cuja operação não deverá ser significativamente afetada pelas alterações climáticas. Esta situação constitui-se, no entanto, como uma medida adaptativa à reduzida disponibilidade de água potável para consumo.

### **3.3 Medidas de adaptação**

Através da capacidade adaptativa que vem sendo implementada, para que os sistemas naturais ou humanos se ajustem às alterações climáticas, tem havido uma atitude ativa no sentido de contrariar os impactos sentidos nos recursos hídricos. Deverá ser salvaguardada a continuidade das ações implementadas, fomentando a criação de condições favoráveis para o seu ideal funcionamento e resultado.

#### Instalação de equipamentos de medição para monitorização mais precisa dos caudais e da qualidade ao nível das captações e pontos de entrega

A monitorização das quantidades no início e final da rede permite não só ter um conhecimento mais preciso das disponibilidades de água mas também das perdas e consumos ilegais verificados.

A definição de um plano de amostragem regular para aferição da qualidade da água garante a manutenção das condições necessárias para consumo, bem como identifica eventuais contaminações.

#### Melhoria da rede hidrométrica

A melhoria da rede hidrométrica com recolha permanente de dados permitirá a caracterização de fenómenos climáticos e hidrológicos, no tempo e no espaço, possibilitando, entre outras: a avaliação das disponibilidades hídricas; a análise de eventos extremos de secas e cheias; a disponibilização de informação de base para aplicação de modelos e respetiva calibração.

Todo o desenvolvimento de investigação será consolidado em bases reais rigorosas mas também será possível um controlo ajustado com carácter preventivo em oposição a uma abordagem reativa.

#### Desenvolvimento e aprofundamento da investigação científica para suportar as políticas de gestão da água

A aposta na investigação válida com adequação prática efetiva, permitirá a adoção de medidas e estratégias mais sustentáveis em todos os seus domínios - social, económico e ambiental.

Este desenvolvimento basear-se-á muito no melhoramento dos sistemas de monitorização com registo rigoroso de dados para que a avaliação seja mais precisa.

Aprofundar o conhecimento dos hábitos de consumo de água das populações e do seu conhecimento e sensibilidade face aos impactos associados à disponibilidade e qualidade do recurso

A implementação de políticas que envolvam diretamente a população carece de um conhecimento socio-cultural que permita obter uma maior abrangência, comprometimento e reduzida contestação, resultando em medidas globalmente bem sucedidas.

Elaboração e implementação de um Programa Regional para o Uso Eficiente da Água

A água é um bem precioso que deverá ser utilizado com eficiência e racionalidade para benefício da população em geral e para os diferentes sectores de atividade económica, sem pôr em causa a sustentabilidade do recurso.

Um programa para o uso eficiente da água deverá ser uma ferramenta de gestão, centrada na problemática das perdas de água, no melhor rendimento do seu uso, mas também tendo em vista as alterações climáticas e as situações que esta problemática poderá gerar.

Delimitação dos perímetros de proteção das captações de águas destinadas ao consumo humano

No sentido de salvaguardar a integridade das zonas de captação de água subterrânea é imperioso garantir que o seu acesso seja restrito, vigiado e fiscalizado.

Ajustamento das tarifas da água para consumo

A adequação das tarifas da água, particularmente o seu aumento, servirá como fator desencorajador do consumo desregrado de água pelas populações. Esse aumento deverá ser ajustado à realidade socioeconómica mas, fundamentado pela adoção do princípio do utilizador-pagador, garantindo este recurso natural seja taxado pela sua utilização mas de forma mais consciente.

Sensibilização e educação ambiental das populações

Ainda que se implementem medidas dissuasoras de práticas ambientalmente pouco sustentáveis relacionadas com a água, a eficácia e eficiência das mesmas só é alcançada quando estas se enraízam nas consciências e hábitos gerais das populações. A sua aceitação tem muitas vezes uma duração superior, muitas vezes só conseguida pelas gerações seguintes.

A premência de resultados suporta que a sensibilização e educação das populações seja, ainda que com efeitos imediatos pouco significativos, consistente e contínua.

#### Investimento em soluções e campanhas de poupança de água

Todos os sectores de consumo de água devem adotar soluções que permitam a poupança deste recurso. Face ao desconhecimento geral da população, estas são informações que podem constar em ações de sensibilização e, caso necessário, a disponibilização de linhas de financiamento específicas. Salienta-se, por exemplo, a implementação de sistemas de rega mais eficientes face ao mais amplamente utilizado na ilha da Madeira, o método por alagamento. Das medidas sem custos associados, evidencia-se a adoção de caudais ecológicos nas torneiras das habitações, serviços hoteleiros e outros, com limitação dos caudais.

#### Melhoria das redes de distribuição

Após a otimização das redes de distribuição em alta, a melhoria das mesmas em baixa permitirá diminuir as perdas da rede, em alguns casos muito superiores a 50%, verificadas na maioria do território. A diminuição das perdas (fugas) nas redes de distribuição de água para consumo urbano e para regadio agrícola permitirá uma otimização dos volumes disponibilizados para consumo, reduzindo o sobreconsumo provocado para compensá-las.

#### Reutilização de águas residuais tratadas

A água disponibilizada no sistema de distribuição não deve ser desperdiçada em utilizações que não exijam os padrões de qualidade que esta apresenta. Por exemplo, a rega de jardins, lavagem de espaços exteriores e utilização pela Proteção Civil, poderá ter como base o abastecimento de águas residuais tratadas. Assim, a rede já disponibilizada em zonas restritas do Funchal deverá ser alargada não só a esse concelho mas a toda a região.

#### Relocalização dos furos de captação de água.

No caso da extração de água dos furos ficar comprometida com o avanço da cunha salina, a solução poderá passar por escavar furos a montante dos atuais de modo que seja possível extrair água de melhor qualidade.

#### Recarga artificial

Sempre que se verifique a possibilidade, deverá ser contemplada a possibilidade de reproduzir o que foi realizado na zona da galeria das Rabaças, o desvio de caudais excedentes de linhas de água para uma zona plana, permeável, com reflexos benéficos ao nível da recarga do aquífero.

Reflorestação adequada (espécies indígenas) e sua manutenção; Prevenção da destruição do coberto vegetal endémico; Controlo de espécies invasoras.

Todas estas medidas enquadram-se no grande domínio da gestão do coberto vegetal. Particularmente, afeto aos recursos hídricos, o coberto vegetal deve apresentar as características que promovam o aumento da recarga, incluindo a preservação de níveis elevados de precipitação oculta.

Recurso a águas superficiais armazenadas em altitude em grandes reservatórios

O reforço de armazenamento de águas superficiais em altitude em lagoas de armazenamento poderá permitir menor extracção do volume de água dos furos de captação, com redução do avanço da cunha salina e do consumo energético, com o aproveitamento da queda útil de água das lagoas de armazenamento/albufeiras para a produção de energia eléctrica.

A execução de mais reservatórios deverá ser realizada, tendo em conta a sua localização e respectivas dimensões do reservatório, no sentido de não ficarem comprometidas zonas de infiltração que habitualmente recarregam os aquíferos.

Recurso a águas superficiais armazenadas em pequenos reservatórios

Garantir a quantidade de água necessária ao adequado funcionamento do sector agrícola de regadio é necessário, particularmente nos períodos de défice de água.

O estabelecimento de pequenos reservatórios ou pequenas reservas de água junto a aglomerados parcelares poderá ser uma importante de forma a garantir essa disponibilidade de água sem que ocorra sobrecarga do sistema nesses períodos.

## 4. CONCLUSÃO

Decorrente da realização do presente trabalho, considera-se pertinente acentuar resumidamente os seguintes aspetos:

- São indiscutivelmente necessários mais estudos, nomeadamente nas áreas avaliadas no presente projeto, no sentido de caracterizar adequadamente e com maior grau de confiança a realidade da RAM no contexto dos recursos hídricos subterrâneos. A monitorização deve ser aperfeiçoada no sentido de consubstanciar devidamente a investigação necessária para sustentar o conhecimento e eventuais políticas de gestão de água.
- A auscultação dos participantes do *workshop*, provenientes de várias áreas profissionais do domínio público, empresarial e civil, foi muito pertinente para avaliar não só o nível de conhecimento e envolvimento de uma amostra da população à temática, mas também para obter um contributo muito significativo na identificação de várias medidas com potenciais efeitos positivos sobre os impactos.
- Reconhece-se a sensibilidade demonstrada pelas das entidades relacionadas com a gestão dos recursos hídricos subterrâneos no sentido de implementar medidas que contrariem impactos decorrentes da atividade humana. Para além disso foi demonstrado um manifesto interesse na adoção de estratégias que evitem um agravamento da vulnerabilidade face ao efeito de potenciais alterações climáticas.
- Ainda que as ações atualmente em funcionamento se revelem insuficientes, a capacidade adaptativa identificada demonstra que, nos casos em que a influência nos recursos hídricos é direta e deliberadamente planeada, há uma crescente preocupação com a preservação do recurso água.
- Consideram-se todas as medidas de adaptação apresentadas pertinentes e de elevada relevância dada a possibilidade de, uma vez implementadas, contrariar os impactos negativos expectáveis.

## **5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Prada, S., Silva, M., Figueira, C., Sequeira, M., Gaspar, A., Cruz, J.V., 2006. Impactos das Alterações Climáticas sobre os Recursos Hídricos Subterrâneos da Ilha da Madeira – Medidas de Adaptação. *Livro de Resumos de comunicações e lista de posters do V Congresso Ibérico de Gestão e Planeamento da Água*, Faro, edição da Fundação Nova Cultura da Água e Universidade do Algarve.
- Santos, F. D., Aguiar, R. (Eds.) 2006. Impactos e medidas de adaptação às alterações climáticas no Arquipélago da Madeira – Projecto CLIMAAT II. Direcção Regional do Ambiente da Madeira, Funchal.