

## APLICAÇÃO PARA ESTUDO DO APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM USOS URBANOS NÃO POTÁVEIS

Fedra OLIVEIRA

*Eng.ª, Direcção Geral de Energia e Geologia, fedra.oliveira@dgge.pt*

Maria do Céu ALMEIDA

*Investigadora principal, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, mcalmeida@lnec.pt*

João P. LEITÃO

*Doutor em Engenharia Civil e Ambiente, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, jpleitao@lnec.pt*

### RESUMO

A recolha e utilização das águas pluviais embora tenha sido utilizada em Portugal, em diversas zonas do país, foi sendo abandonada devido à expansão generalizada dos sistemas de abastecimento de água. No entanto, num enquadramento de uso mais eficiente da água, considerando a adequação da qualidade ao tipo de uso, o aproveitamento local da água pluvial é cada vez mais encarado como uma medida adequada.

Neste artigo é apresentada uma aplicação para avaliar os benefícios da instalação de sistemas individuais de recolha, armazenamento e utilização de águas pluviais. A aplicação apresentada utiliza 42 séries de precipitação diárias, representativas de diferentes localizações em Portugal Continental, num período de 10 anos, e dados de custos de instalação de sistemas de armazenamento de água pluvial. A análise custo-benefício simplificada permite também a identificação da capacidade do reservatório mais favorável.

No artigo são apresentados os resultados da aplicação a dois casos de estudo, tendo em conta diferentes localizações em Portugal Continental, utilizando as diferentes métricas previstas na aplicação para a avaliação da melhor alternativa. Os resultados mostram que é essencial ter em atenção na seleção não apenas o potencial de volume aproveitado mas também a análise de custo-benefício e os usos previstos. Naturalmente que o volume mais favorável para os tanques de armazenamento depende da precipitação disponível (i.e. da localização dos sistema), sendo que os benefícios da instalação de sistemas de recolha e utilização de águas pluviais tendem a ser maiores quanto maiores as áreas de recolha e consumo em usos não potáveis.

Com esta aplicação poderá ser facilitada a decisão de implementação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais, tanto em residências como noutros tipos de instalações, sendo um contributo para promover, em Portugal, a recolha de águas pluviais em meio urbano e sua utilização para usos compatíveis.

**Palavras-chave:** aproveitamento de águas pluviais, uso eficiente da água

### 1. INTRODUÇÃO

As antigas práticas de recolha e utilização das águas pluviais têm sido, na sua grande maioria, abandonadas devido à expansão generalizada dos sistemas de abastecimento de água. Em geral, em Portugal estes sistemas proporcionam às populações água de boa qualidade em quantidade adequada e com níveis de comodidade elevados.

No entanto, é reconhecida a importância de adotar abordagens na gestão do ciclo urbano da água que permitam melhorar a sustentabilidade dos sistemas, quer através da gestão da procura, quer ao recurso a outras origens de água com qualidade compatível com a exigida em usos que não requerem água potável. A recolha e utilização de águas pluviais para usos urbanos compatíveis é considerada

uma medida interessante no âmbito do uso eficiente da água (Almeida *et al.*, 2006), estando contemplada no Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA), aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros n.º 113/2005, de 30 de Junho. Assim, revela-se ser de interesse retomar esta prática uma vez que: (a) permite reduzir o consumo de água para consumo humano, com particular interesse em zonas com menores disponibilidades de água; (b) a água recolhida apresenta qualidade adequada para utilizações não potáveis; (c) pode apresentar benefícios ao nível da redução das escorrências pluviais em zonas urbanas; e (d) configura uma origem de água renovável (dependente do regime de precipitação).

Este tipo de medidas pode ser de maior interesse para regiões onde a escassez de água tem ocorrência periódica ou onde os níveis de consumo têm uma tendência crescente (Carlou, 2005) e também para áreas onde os problemas de escassez de água possam ser expectáveis devido a alterações climáticas.

Os benefícios associados à utilização de águas pluviais em usos urbanos não potáveis dependem necessariamente do regime de precipitações, da área de captação, do volume de armazenamento, da magnitude do consumo de água não potável e, em termos globais, da maior ou menor generalização da sua utilização. Os benefícios diretos são, por exemplo, a redução da exploração das origens de água existentes, redução da procura de água potável e dos custos associados à sua produção e, mais genericamente, melhoria da sustentabilidade no ciclo urbano da água. Outros potenciais benefícios indiretos são a redução do escoamento superficial e, conseqüentemente, contribuindo para a diminuição da frequência e da magnitude de cheias em meio urbano, para a redução do volume de afluente a ETAR (aumentando a eficiência de tratamento), para a redução do volume e frequência de descargas e para a atenuação dos efeitos das alterações climáticas.

Apesar da questão da qualidade da água ser de extrema importância, a utilização de água potável para vários usos urbanos pode ser encarada como um gasto supérfluo. Esses usos incluem, por exemplo:

- lavagem de veículos;
- lavagem de pavimentos;
- descargas nos sanitários;
- rega de plantas e jardins;
- limpeza da via pública;
- limpeza de colectores, e
- sistemas de climatização.

A recolha de água pluvial implica, naturalmente, um investimento inicial correspondente à construção dos sistemas de recolha e armazenamento da água. Estes sistemas são normalmente locais e de concepção simples, apresentando tipicamente baixos custos de operação e de manutenção. No entanto, é necessário avaliar qual a capacidade de armazenamento a instalar em função da área de captação disponível, tendo em conta não apenas os benefícios em termos de volume de água utilizados em usos compatíveis, e portanto de redução no consumo de água potável, mas também os custos de investimento e a poupança na factura da água potável.

Existem vários exemplos de aproveitamento de água de origem pluvial em vários países, nomeadamente Austrália, África do Sul, Japão, Alemanha e Estados Unidos da América; em todos eles, existe um benefício claro na utilização de águas pluviais em usos não potáveis (Tomaz, 2003). No entanto, noutros países com grande potencial para aproveitamento de águas pluviais, como é o caso de Portugal, existem apenas alguns casos pontuais.

O clima português é caracterizado por um regime de precipitação com grande variabilidade temporal e espacial, com precipitação ocorrendo maioritariamente entre Outubro e Maio, pelo que apresenta a partida potencial para este tipo de aproveitamento. Em termos espaciais, existem também grandes

variações na precipitação, em linhas gerais mais elevada a Norte que a Sul do país, sendo recomendável avaliar em cada caso o potencial de aproveitamento em função da capacidade do sistema de aproveitamento.

Atualmente, não existem normas portuguesas ou europeias que sirvam de orientação para a implementação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Pelo contrário, existe legislação nacional que limita o uso deste tipo de sistemas. De facto, o Decreto-Regulamentar 23/95, de 23 de Agosto, limita o uso de água não potável à lavagem de pavimentos, rega e combate a incêndios (Art.º 86º) constituindo assim uma barreira à aplicação desta medida limitando a sua eficácia (Almeida *et al.*, 2005).

No entanto, de acordo com o PNUEA (Baptista *et al.*, 2001), a utilização de águas pluviais em usos não potáveis é considerada como uma medida com potencial considerável em termos de uso eficiente dos recursos hídricos, sendo recomendável criar as condições necessárias para viabilizar o uso de água não potável noutros usos compatíveis (por exemplo, descargas de autoclismos) salvaguardando as condições de defesa da saúde pública. A utilização de águas pluviais em usos não potáveis é também identificada no Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais 2007-2013 (PEASAR) (MAOTDR, 2007) como uma linha de ação estratégica.

Um sistema de aproveitamento de águas pluviais (SAAP) é constituído por vários componentes para desempenhar várias funções, nomeadamente: (i) captação; (ii) transporte; (iii) filtração; (iv) armazenamento; (v) distribuição, e (vi) tratamento. O tratamento é normalmente apenas aplicado a sistemas de aproveitamento de águas pluviais para usos potáveis; por esta razão, esta função não é considerada neste estudo. Apesar da falta de normalização e das restrições legais, é possível encontrar em Portugal os componentes para cada uma das funções de um SAAP, acima mencionadas.

Neste artigo é apresentada uma aplicação que permite a avaliação de soluções de SAAP tendo por base o cálculo do balanço hídrico e a análise da viabilidade económica em Portugal Continental, para várias condições de dimensionamento (área de captação, volume disponível, consumo diário em usos não potáveis). A utilidade da aplicação é feita com recurso a dois tipos de instalações, numa configuração típica possível. Adicionalmente, é feita a ilustração da importância de considerar dados locais de precipitação efetuando os cálculos para diferentes localizações em Portugal. Os resultados obtidos mostram claramente o interesse desta aplicação que estará disponível no sítio de internet do LNEC e o potencial destes sistemas em Portugal. Pretende-se deste modo contribuir para promover a utilização de águas pluviais em usos não potáveis em Portugal e para uma gestão mais eficiente no ciclo urbano da água.

## **2. APLICAÇÃO PARA O ESTUDO DO APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAS EM USOS URBANOS NÃO POTÁVEIS**

### **2.1. Geral**

Existem disponíveis ou referidas em bibliografia algumas aplicações para o estudo do aproveitamento de águas pluviais em usos urbanos não potáveis. Alguns exemplos são a designada por RainCycle referida por Roebuck e Ashley (2006), a apresentada por Brodie (2008) e a descrita no manual TWDB (2005). No entanto, estas aplicações têm algumas limitações que podem ser ultrapassadas com benefício para a melhor tomada de decisão relativamente ao sistema mais adequado em cada caso.

Em termos de balanço hídrico, a maioria das aplicações apenas tem em conta dados de precipitação anuais ou mensais, não contemplando a possibilidade de utilização de séries temporais diárias, resultando num nível de simplificação que reduz a identificação do potencial de utilização do volume de

armazenamento disponível. Estas aplicações também não permitem a utilização de dados de precipitação locais (e.g. Dixon, 1999; Fewkes e Warm, 2001).

Por outro lado, algumas das aplicações existentes tem apenas em conta o balanço hídrico para avaliar a melhor configuração de SAAP, essencialmente com base no volume de água poupado. Nestes casos, a análise económica não é tida em conta, apesar da sua relevância para analisar o potencial de um SAAP; as aplicações desenvolvidas por Dixon (1999) e por Roebuck e Ashley (2006) também já incluem um módulo de análise económica.

Assim, foi desenvolvida uma aplicação para o estudo do aproveitamento de águas pluviais em usos urbanos não potáveis, com dados específicos para Portugal Continental, incorporando os aspetos de balanço hídrico e económico, recorrendo a diferentes métricas para a avaliação da eficiência segundo diferentes pontos de vista. Esta aplicação foi desenvolvida em ambiente MS Excel, utilizando a linguagem de programação *Visual Basic for Applications*.

Dada a disponibilidade de séries de precipitação diárias para um número significativo de locais em Portugal, já com um número de anos considerável, foi incluída na aplicação desenvolvida a possibilidade de utilizar estes dados, estando disponíveis 42 séries de precipitação diária, para um período de 10 anos de registos, sendo assim possível efetuar o cálculo do balanço hídrico diário, melhorando os resultados sobre a utilização potencial do volume de água armazenada uma vez que a variabilidade diária dos consumos pode ser bastante significativa e difícil de caracterizar em cada caso específico.

## 2.2. Estrutura geral da aplicação e dados necessários

A aplicação está estruturada em dois módulos (i.e. folhas de cálculo *MS Excel*): o módulo dos dados e o módulo dos resultados. O módulo dos dados permite a introdução dos dados necessários à aplicação, enquanto que o módulo dos resultados apresenta os resultados da mesma. Existe ainda uma folha de cálculo *MS Excel* onde são descritos os dados e o funcionamento básico da aplicação.

Os dados necessários para a aplicação são: (i) localização, para permitir a seleção da série temporal de dados de precipitação; (ii) características físicas do SAAP a avaliar; e (iii) dados de consumo para os usos de água a considerar; e (iii) dados de custos. No Quadro 1 apresentam-se as variáveis para os três últimos tipos de dados. A aplicação tem disponíveis 42 séries temporais de precipitação referentes ao período 1997-2006 e distribuídas pelo território de Portugal Continental (INAG, 2011).

Quadro 1. Dados de entrada da aplicação para aproveitamento de águas pluviais para usos urbanos não potáveis

Características físicas do SAAP	Unidade	Dados de consumo de água	Unidade
Área de captação	m <sup>2</sup>	Factor de consumo	-
Coefficiente de escoamento e de filtração	-	Número diário de descargas de autoclismo por pessoa	-
Capacidade mínima da estrutura de armazenamento	-	Volume de água por descarga de autoclismo	L
Capacidade máxima da estrutura de armazenamento	-	Número de utilizadores do edifício	-
		Número de lavagens de pavimentos por semana	-
Dados de custos	Unidade	Volume de água por lavagem de pavimentos	L
Custo da estrutura de armazenamento em função do volume	€.m <sup>-3</sup>	Número de lavagens de veículos por semana	-
		Volume de água por lavagem de veículos	L
Custo da água de abastecimento público	€.m <sup>-3</sup>	Número de veículos por edifício	-
		Área de jardins;	m <sup>2</sup>
		Consumo diário associado a rega de jardins	L.m <sup>-2</sup>
		Volume diário de água associado a outros usos	L.dia <sup>-1</sup>

### 2.3. Cálculo do balanço hídrico

O cálculo do balanço hídrico é realizado tendo em conta limites de capacidade para o volume de armazenamento (mínimo e máximo) definidos pelo utilizador. Com base nestes valores de capacidade de armazenamento são definidos dez valores de capacidade de armazenamento. O balanço hídrico diário é calculado para cada um destes 10 valores. O cálculo diário permite obter resultados mais representativos das condições reais. No entanto, são feitas algumas simplificações no balanço hídrico, como sejam a não consideração das perdas de água devidas à insuficiente capacidade hidráulica dos componentes de transporte.

### 2.4. Cálculo da eficiência do SAAP

A eficiência do SAAP é avaliada, para cada valor de volume de armazenamento, com base nas seguintes métricas:

- (i)  $E_{tanque}$  - Eficiência na utilização da capacidade da estrutura de armazenamento (%);
- (ii)  $E_{uso}$  - Percentagem da utilização de água não potável em usos compatíveis (%);
- (iii)  $E_{SAAP}$  - Eficiência global do SAAP (%).

Os indicadores (i), (ii) e (iii), mencionados anteriormente, são calculados com base nas Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$E_{tanque} = \frac{\bar{V}_{armazenado}}{V_{tanque}} \times 100 \quad (1)$$

$$E_{uso} = \frac{\bar{V}_{aproveitado}}{\bar{V}_{captado}} \times 100 \quad (2)$$

$$E_{SAAP} = \frac{\bar{V}_{armazenado}}{\bar{V}_{captado}} \times 100 \quad (3)$$

onde,

$\bar{V}_{armazenado}$  - volume médio armazenado no tanque no período em análise (m<sup>3</sup>)

$V_{tanque}$  - volume do tanque (m<sup>3</sup>)

$\bar{V}_{aproveitado}$  - volume médio aproveitado (poupado) (m<sup>3</sup>), no período em análise

$\bar{V}_{captado}$  - volume médio captado pela superfície de captação ao longo do período de análise (m<sup>3</sup>)

### 2.5. Análise económica do SAAP

Na análise económica são considerados os custos relacionados com a aquisição e instalação da estrutura de armazenamento, os benefícios associados à poupança de água potável, para cada uma das 10 capacidades de armazenamento estabelecidas. O período de recuperação do investimento é também calculado neste módulo de análise económica.

### 2.6. Apresentação de resultados

Os resultados são apresentados, em formato tabular e graficamente, para o período de 10 anos referente ao período da série temporal, e para as 10 capacidades de armazenamento definidas com base nos valores de capacidade mínima e capacidade máxima definidos pelo utilizador. Os resultados

são divididos em três blocos, correspondentes ao módulo do balanço hídrico, ao módulo do cálculo da eficiência do SAAP e ao módulo da análise económica.

Em termos de balanço hídrico são apresentadas as seguintes variáveis calculadas: volume armazenado no tanque ( $m^3$ ); volume descarregado ( $m^3$ ); volume não utilizado no tanque ( $m^3$ ); consumo de água potável ( $m^3$ ), e consumo de água não potável ( $m^3$ ). No que respeita a eficiência do SAAP, são apresentados as variáveis descritas na secção 2.4. Os resultados da análise económica são sintetizados em quatro variáveis: custo de aquisição e instalação da estrutura de armazenamento (€); custo total de água poupada (€); diferença entre benefício e custo (€), e período de recuperação do investimento (anos).

### 3. CASOS DE ESTUDO

#### 3.1. Geral

Para validar e mostrar a utilidade da aplicação desenvolvida para o estudo do aproveitamento de águas pluviais em usos urbanos não potáveis, foram definidos dois casos de estudo com base em duas tipologias funcionais de edifícios em termos dos usos da água (Secção 3.2).

Para os dois casos de estudo foram selecionadas três localizações, correspondendo a três séries temporais de precipitação em zonas pluviométricas com características diferenciadas (zonas A, B e C de acordo com o anexo IX do Decreto-Regulamentar 23/95, de 23 de Agosto). As séries selecionadas são referidas na Secção 3.3.

Para se proceder à análise económica do SAAP foram utilizados custos de construção ou aquisição dos tanques de armazenamento disponíveis em Portugal (Oliveira, 2008). Os custos associados à manutenção dos tanques não foram considerados na análise económica, uma vez que foi assumido não variarem com o volume dos mesmos. A taxa de atualização considerada para efeitos de recuperação do investimento foi de 1,8% (2011). O custo da água potável foi assumido ser de  $1 \text{ €} \cdot m^{-3}$ .

#### 3.2. Tipologias funcionais dos edifícios

Neste estudo foram considerados dois casos distintos de tipologias funcionais dos edifícios: (i) moradia unifamiliar e (ii) edifício de escritórios.

- (i) A moradia unifamiliar é constituída por uma garagem, uma cozinha, duas casas de banho, uma sala e quatro quartos, tendo ainda um jardim. A moradia é habitada por uma família de quatro pessoas, a qual tem um automóvel. Os usos considerados para este caso são: descarga de autoclismos, lavagem de pavimentos e automóvel e rega do jardim.
- (ii) O edifício de escritórios considerado para a definição do caso de estudo admite-se ter uma ocupação de cerca de 85 pessoas. Os usos compatíveis com o recurso à água pluvial recolhida são a rega de jardins e a lavagem de pavimentos. A descarga de autoclismos não foi considerada pois assumiu-se que neste caso o edifício já existia e que este uso iria implicar investimento adicional considerável para construir a rede interior de abastecimento de água não potável para alimentar os autoclismos.

Estes dois casos apresentam características bastante diferentes quer em termos das áreas de captação de água pluvial e para a instalação dos reservatórios de armazenamento de água, quer nos usos similares. No Quadro 2 são apresentados os dados utilizados para estes dois casos.

Quadro 2. Características dos equipamentos do SAAP para as tipologias de habitação consideradas neste estudo

	(i) Moradia unifamiliar	(ii) Edifício de escritórios
Volume mínimo do tanque (L)	1000	5000
Volume máximo do tanque (L)	10000	50000
Área de captação (m <sup>2</sup> )	150	3000
Coefficiente de escoamento (-)	0,85	0,85
Coefficiente de filtro (-)	0,90	0,90
Factor de consumo (-)	1,2	1,0
Número de utilizações diárias dos autoclismos por pessoa (-)	4	0
Volume de água associada a cada descarga de autoclismo (L)	9	9
Número de pessoas na instalação	4	85
Número de lavagens de pavimentos realizadas por semana	2	3
Volume de água associado a cada lavagem de pavimento (L)	50	500
Número de lavagens de automóvel por semana	1	0
Volume de água para cada lavagem de automóvel (L)	100	100
Número de automóveis	1	0
Área de jardim (m <sup>2</sup> )	10	1000
Dotação diária para a rega do jardim (mm)	6	6

### 3.3. Localização e dados de precipitação

As três localizações seleccionadas A, B e C correspondem a igual número de regiões pluviométricas tal como atrás foi referido. De acordo com o anexo IX do Decreto-regulamentar referido, as três regiões apresentam diferenças que se poderão resumir em relação à precipitação na região A, a um acréscimo na região B de cerca de 20% e a um decréscimo na região C de cerca de 20%.

As séries temporais diárias de precipitação escolhidas seleccionadas foram: Serpa (Beja), Santa Comba Dão (Viseu) e Folgares (Bragança), para representar, respectivamente, as regiões A, B e C. Na Figura 1 são apresentadas as três localizações.

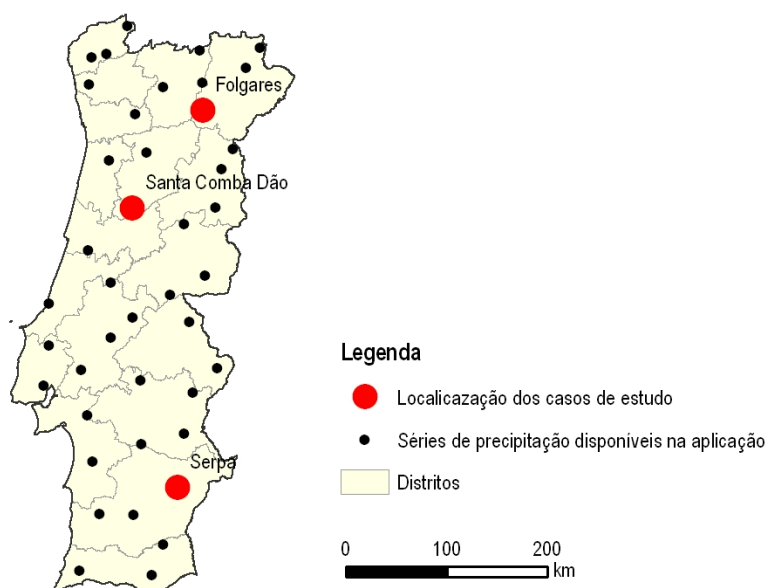


Figura 1. Localização dos postos udométricos correspondentes às séries de precipitação seleccionadas

Os dados de precipitação utilizados correspondem ao período 1997-2006 nos três postos udométricos. No Quadro 3 apresentam-se as estatísticas descritivas (mínimo, máximo, média e desvio padrão) para este período das três séries.

Quadro 3. Estatísticas descritivas dos dados de precipitação utilizados nos casos de estudo

	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Média (mm)	Desvio padrão (mm)
A. Serpa (Beja)	0.0	107.0	1.5	5.5
B. Santa Comba Dão (Viseu)	0.0	105.5	3.0	7.9
C. Folgares (Bragança)	0.0	93.5	1.4	4.8

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Geral

Embora os cálculos do balanço hídrico tenham sido feitos diariamente, os resultados são sintetizados com a média da análise no período de 10 anos das séries de precipitação. Seguidamente apresentam-se estes resultados para cada caso de estudo (i) e (ii) e divididos em resultados do balanço hídrico, da análise económica e da eficiência do SAAP. Nas Secções 4.2, 4.3 e 4.4 são apresentados os resultados para os dois casos de estudo, tendo para a série de precipitação de Serpa (Beja), correspondente à região A.

Na Secção 4.5 são discutidos os resultados obtidos para o caso de estudo (i) moradia unifamiliar, considerando as três regiões pluviométricas A, B e C.

### 4.2 Balanço hídrico

A Figura 2 apresenta os resultados do balanço hídrico para os dois casos de estudo. Como se pode ver pela curva do consumo de água não potável, quanto maior a capacidade da estrutura de armazenamento (tanque), mais quantidade de água não potável é consumida. Este aumento de consumo de água não potável tende, no entanto, a estabilizar para volumes grandes de armazenamento devido ao limite da precipitação disponível.

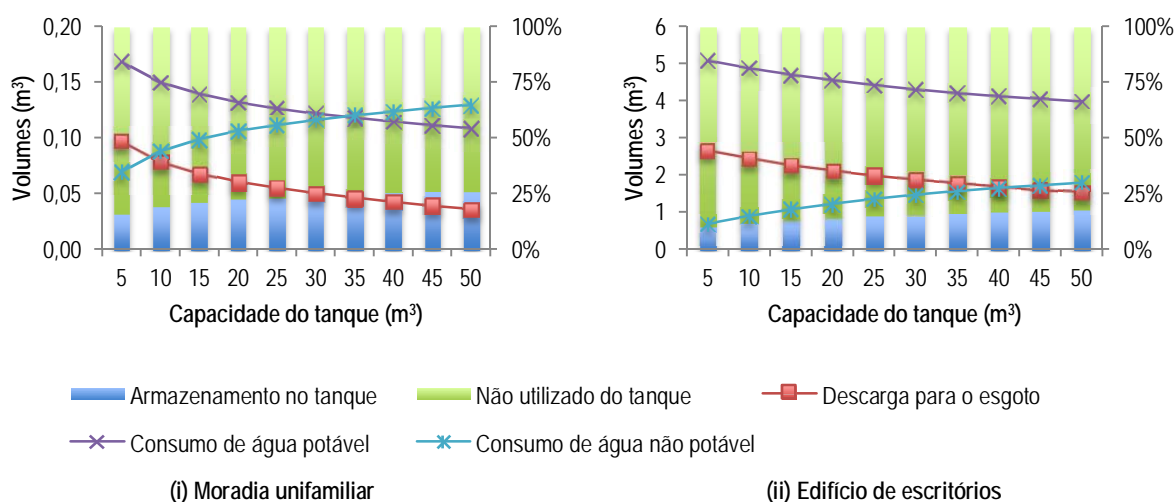


Figura 2. Resultados do módulo de balanço hídrico para os dois casos de estudo



Com base nas curvas da Figura 2, pode inferir-se (estimando a derivada nos pontos das curvas) que, em termos de balanço hídrico, os melhores resultados serão obtidos para capacidades do tanque próximas de 3 m<sup>3</sup> para o caso da moradia unifamiliar e de até, aproximadamente, 20 m<sup>3</sup> para o edifício de escritórios.

No caso particular do edifício de escritórios, o consumo de água não potável é relativamente baixo quando comparado com o consumo de água potável. Este facto pode ser explicado pela não contabilização das descargas de autoclismo neste caso. No entanto, se for equacionado a construção da uma rede predial de abastecimento de água não potável, o volume da estrutura de armazenamento será melhor aproveitado.

### 4.3. Análise económica

Os resultados da análise económica são apresentados na Figura 3 e no Quadro 4. Em termos de análise custo benefício, para o caso de estudo (i), e apenas com base na Figura 2 (a), a capacidade do tanque que maximiza o benefício é a capacidade mínima, i.e. 1 m<sup>3</sup>. No entanto, a capacidades do tanque próximas de 2 m<sup>3</sup> ainda apresentam uma relação custo benefício positiva.

Para o caso de estudo (ii), a capacidade que maximiza a relação custo benefício é de 10 m<sup>3</sup> (que não corresponde à capacidade mínima estudada). A relação custo benefício continua positiva até cerca de capacidades de 45 m<sup>3</sup>.

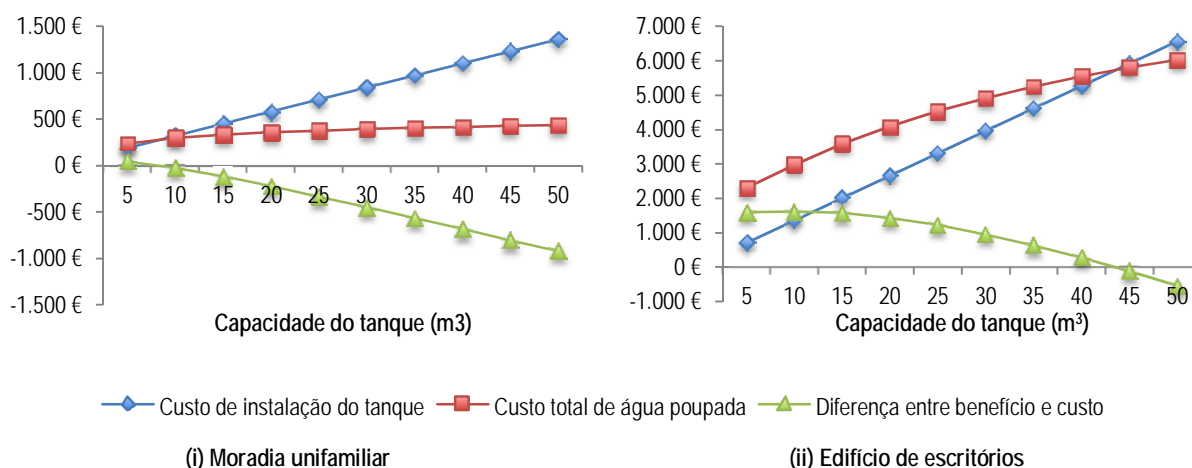


Figura 3. Resultados do módulo de análise económica para os dois casos de estudo

Outro critério económico relevante é o tempo para recuperação do investimento realizado para construir o SAAP. No Quadro 4 são apresentados os resultados dos períodos de recuperação do investimento para cada volume de armazenamento. Para o caso de estudo (i) moradia unifamiliar, a capacidade do tanque que tem um período de recuperação de aproximadamente 10 anos é 2 m<sup>3</sup>. Para o caso de estudo (ii) edifício de escritórios, a capacidade do tanque que corresponde a um período de recuperação do investimento de 10 anos é de, aproximadamente, 45 m<sup>3</sup>.

Quadro 4. Período de recuperação do investimento

(i) Moradia unifamiliar		(ii) Edifício de escritórios	
Capacidade do tanque (m <sup>3</sup> )	Recuperação do investimento (ano)	Capacidade do tanque (m <sup>3</sup> )	Recuperação do investimento (ano)
1	8.1	5	3.1
2	10.8	10	4.6
3	13.6	15	5.6
4	16.2	20	6.5
5	18.9	25	7.3
6	21.5	30	8.1
7	23.9	35	8.8
8	26.4	40	9.5
9	28.8	45	10.2
10	31.1	50	10.9

#### 4.4. Eficiência do SAAP

Como se pode ver na Figura 4, as curvas das várias eficiências têm, aproximadamente, a mesma configuração da curva do consumo de água não potável da Figura 1. Para o caso de estudo (i) moradia unifamiliar, as curvas de eficiência apresentam uma ligeira alteração de declive para valores da capacidade de armazenamento de cerca de 3 m<sup>3</sup>.

No caso de estudo (ii) edifício de escritórios, as curvas de eficiência não apresentam variações significativas. Assim, pode concluir-se que a eficiência é tanto maior quanto maior for a capacidade do tanque.

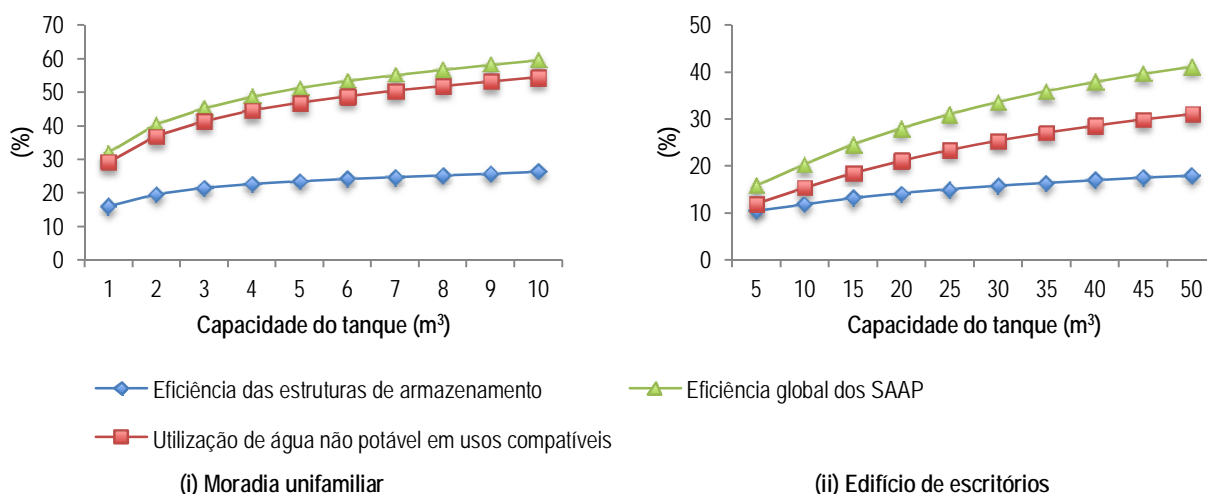


Figura 4. Resultados do módulo de eficiência do SAAP para os dois casos de estudo

Tendo em consideração estes resultados de eficiência, em conjunto com os resultados do balanço hídrico e da análise económica, para o caso de estudo (i) moradia unifamiliar, a capacidade com a qual se obtém uma maior eficiência é cerca de 3 m<sup>3</sup>, para a qual se estima um período médio de retorno do investimento de cerca de 13 anos. No caso (ii) edifício de escritórios, uma solução com recuperação do investimento estimada em cerca de 10 anos seria a correspondente a uma capacidade de cerca de 45 m<sup>3</sup>. Neste caso poderia ser ainda estudada a alternativa de investimento numa rede de distribuição de

água não potável para alimentar os autoclismos, que resultaria num aumento da eficiência na utilização do volume de armazenamento instalado, embora com um investimento superior.

#### 4.5. Avaliação do SAAP para diferentes disponibilidades pluviométricas

Nesta secção é analisado o caso de estudo (i) moradia unifamiliar para as três séries pluviométricas consideradas neste estudo, as quais correspondem a três localizações com características pluviométricas diferentes.

As curvas apresentadas na Figura 5 representam o volume descarregado para o esgoto (balanço hídrico) para as três localizações. Como se pode ver nesta figura, as curvas têm a mesma forma, apresentando apenas uma translação. O volume descarregado para o esgoto é maior para a localização B, pois esta corresponde a uma zona de precipitação mais elevada. Por outro lado, as curvas obtidas para as localizações A e C são bastante semelhantes.

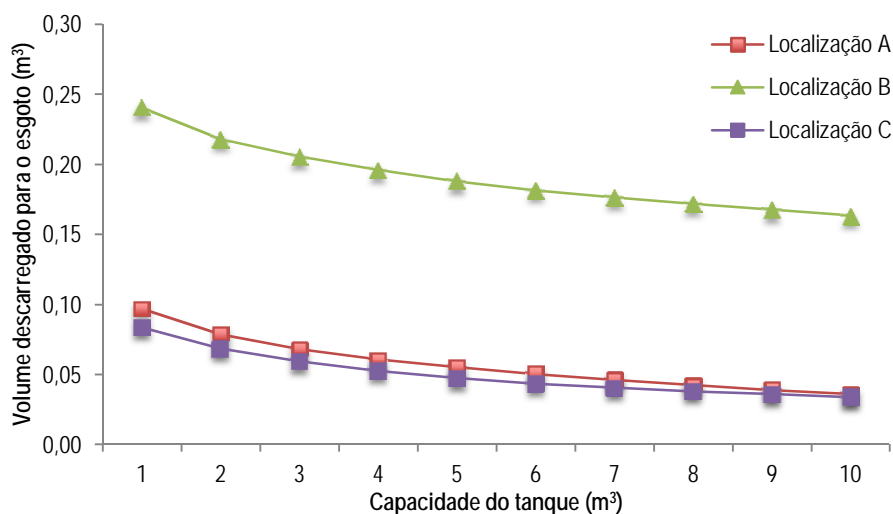


Figura 5. Balanço hídrico do SAAP para diferentes localizações

A Figura 6 apresenta a relação entre o custo e o benefício (análise económica). A localização B apresenta valores mais elevados para a relação benefício custo do que as outras duas localizações. Este facto está também relacionado com a maior quantidade de água pluvial disponível na localização B, quando comparada com as outras duas zonas.

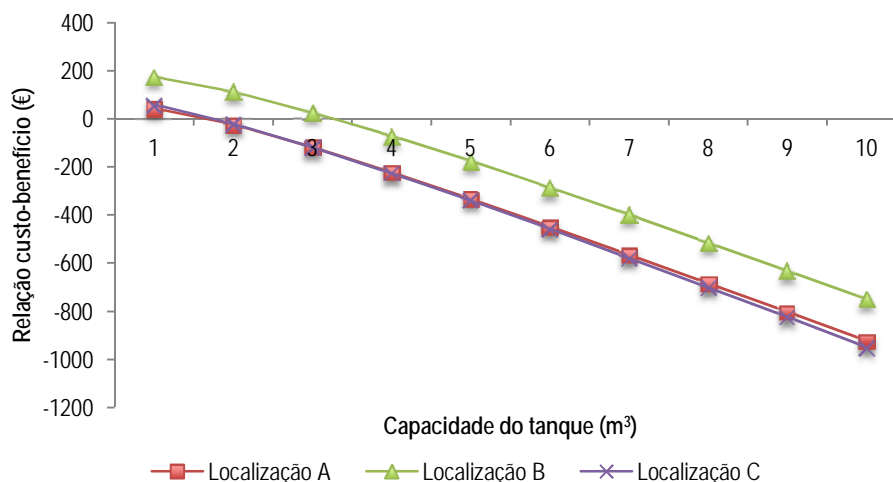
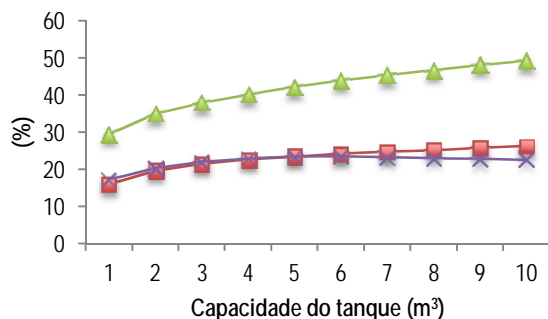
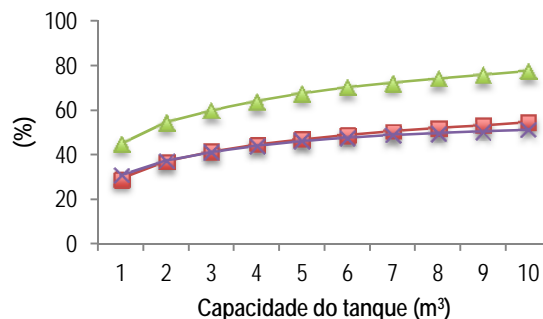


Figura 6. Relação custo-benefício do SAAP para diferentes localizações

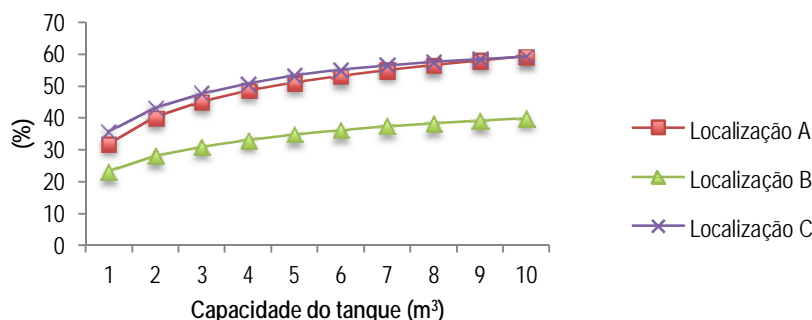
Os resultados do cálculo da eficiência do SAAP que se apresentam na Figura 7 mostram que a eficiência no uso da capacidade das estruturas de armazenamento e na utilização de água não potável em usos compatíveis é sempre mais elevada para a localização B (maior volume de precipitação durante o período de 10 anos em análise).



(a) Eficiência no uso das estruturas de armazenamento



(b) Utilização de água não potável em usos compatíveis



(c) Eficiência global do SAAP

Figura 7. Análise da eficiência do SAAP para diferentes localizações

Por outro lado, quando a eficiência global do SAAP é calculada (Figura 7 c), a eficiência global do SAAP na localização B é inferior à das outras duas localizações. Este resultado poderá ser explicado pelo aumento do volume captado dado o maior volume de água pluvial e maior volume descarregado para o esgoto como se constata na Figura 5, dado que o consumo de água não potável é constante.

## 5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

A aplicação para o estudo do aproveitamento de águas pluviais em usos urbanos não potáveis apresentada neste artigo pretende auxiliar na avaliação deste tipo de soluções sendo facilmente feita por qualquer pessoa. Neste artigo pretende-se mostrar a sua aplicabilidade em diferentes situações: (i) avaliação de soluções SAAP com diferentes configurações, tipologia de consumo e volumes de água consumidos em usos compatíveis com águas não potáveis; e (ii) avaliar o impacto de diferentes disponibilidades de água pluvial nos SAAP.

Os casos de estudo consideraram duas tipologias funcionais de edifícios (i) moradia unifamiliar e (ii) edifício de escritórios – que apresentam consumos de água diferentes. Foram também consideradas três localizações, de forma a representar diferentes disponibilidades de água pluvial.

Com base nos resultados obtidos nos dois casos de estudo apresentados neste artigo ficam bem patentes as vantagens, em termos de balanço hídrico (i.e. ambiental) e económico da construção de SAAP. Nos dois casos de estudo foi considerado o valor de 1 €·m<sup>-3</sup> para o custo da água potável. Se o custo da água potável for mais elevado, como é o caso em muitas regiões de Portugal (e.g. 3,64 € m<sup>-3</sup> na zona de Coimbra), os SAAP podem tornar-se ainda mais rentáveis.

Finalmente, este tipo de análise permite fazer o balanço entre os potenciais investimentos e usos compatíveis. Os resultados mostram também que quanto maior for a capacidade da estruturas de armazenamento (tanque), maior o período de recuperação do investimento. A aplicação apresentada tem em conta apenas os custos de instalação dos SAAP de forma simplificada – custo de aquisição ou construção do tanque de armazenamento. No entanto, podem ser também incluídos outros custos e.g. rede predial, acessórios de segurança, filtros de folhas, sistemas de *first flush* e sistemas de bombagem, custos que podem ter um peso significativo, em alguns casos, na viabilidade do SAAP.

Em Portugal, a variabilidade pluviométrica é bastante significativa. Este facto pode ver-se claramente com base nos resultados de eficiência do SAAP obtidos – quanto maior a disponibilidade de água pluvial, melhor se consegue otimizar a utilização das estruturas de armazenamento. Outro factor associado à disponibilidade de água pluvial que também interessa referir, é o facto de existir em Portugal uma variabilidade inter-anual da precipitação também muito significativa; sendo portanto desejável que os dados de precipitação sejam tão representativos quanto possível da região onde se encontra a instalação.

## BIBLIOGRAFIA

- Almeida, M. C., Vieira, P., Ribeiro, R., Andrade, M. (2005). Needs and barriers in technical regulations and standards for the efficient use of water: situation in Portugal and Brazil. *Water Science and Technology: Water Supply* 5 (3-4), pp. 209 – 217.
- Almeida, M.C., Vieira, P., Ribeiro, R. (2006). *Uso eficiente da água no sector urbano*. Série Guias Técnicos n.º 8. IRAR, INAG e LNEC. ISBN 972-99354-9-1.
- Almeida, M.C., Baptista, J. M., Vieira, P., Ribeiro, R., Silva, A.M. (2004). Efficient use of water in Portugal: a national program. *IWA World Water Conference*, Marrakech.
- Baptista, J.M., Almeida, M.C., Vieira, P., Silva, A.M., Ribeiro, R., Fernando, R.M.C., Serafim, A., Alves, I., Cameira, M.R. (2001). *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*. INAG, Lisboa.
- Brodie, I.M. (2008). *Hydrological analysis of single and dual storage systems for stormwater harvesting*. Faculty of Engineering and Surveying. University of Southern Queensland. Australia.
- Carlson, M.R. (2005). *Percepção dos actores sociais quanto a alternativas de implantação de sistemas de captação e aproveitamento de água de chuva em Joinville*. Universidade do Vale do Itajaí, Brazil.
- Dixon, A.M. (1999). *Simulation of domestic water re-use systems: greywater and rainwater in combination*. PhD Imperial College of Science, Technology and Medicine. London, UK.
- Fewkes, A., Warm, P. (2001). A method of modeling the performance of rainwater collection systems in UK. Em *Proceedings of 1st Nat. Conf. on Sustainable Drainage*. Coventry University, UK, pp 232-242.
- INAG (2011). SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Instituto da Água, Lisboa, Portugal.
- MAOTDR (2007). *PEAASAR II Strategic Plan for Water Supply and Wastewater Sanitation 2007-2013*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (in Portuguese). <<http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/PEAASAR.pdf>>.

Oliveira, F. (2008). *Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental – simulador para avaliação da viabilidade*. Dissertação de Mestrado. IST-UTL, Lisboa, Portugal.

Roebuck, R.M. and Ashley, R.M. (2006). Predicting the hydraulic and life-cost performance of rainwater harvesting systems using a computer based modelling tool. *7<sup>th</sup> International Conference on Urban Drainage Modelling*. Melbourne, Australia.

Tomaz, P. (2003). *Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis*. São Paulo. Navegar Editora.

TWDB (2005) - Texas Water Development Board in Cooperation with Chris Brown, Jan Gerston e Stephen Colley. *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*. Texas Third Edition. Austin, Texas. pp 5 – 26. <[http://www.twdb.state.tx.us/publications/reports/RainwaterHarvestingManual\\_3rdedition.pdf#search=%22The%20Texas%20Manual%20on%20Rainwater%20Harvesting%22](http://www.twdb.state.tx.us/publications/reports/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf#search=%22The%20Texas%20Manual%20on%20Rainwater%20Harvesting%22)>.