



APRH

ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS  
NUCLEO REGIONAL DO SUL

DEBATE  
**RIO GUADIANA**  
PASSADO PRESENTE FUTURO

**A EVOLUÇÃO NO TEMPO DO CONTROLE DE CAUDAIS NO  
RIO GUADIANA E A CONSEQUENTE ALTERAÇÃO DO  
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS**

João Soromenho Rocha

# A EVOLUÇÃO NO TEMPO DO CONTROLE DE CAUDAIS NO RIO GUADIANA E A CONSEQUENTE ALTERAÇÃO DO TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

ROCHA, João Soromenho

Laboratório Nacional de Engenharia Civil  
Departamento de Hidráulica, Núcleo de Hidrologia e Hidráulica Fluvial

Av. Brasil, 101  
1799 Lisboa Codex

**RESUMO:** Após uma caracterização sumária da bacia do rio Guadiana, descreve-se a metodologia geral utilizada para a previsão do material sólido afluente à albufeira de Alqueva, bem como o material afluente à foz do rio. Esta estimativa teve em consideração a análise efectuada há cerca de 15 anos, corrigida pelos dados que entretanto foram sendo compilados. São de realçar, para esta correcção, a intensa construção de barragens em Espanha, as quais controlam os caudais afluentes a Portugal, e por consequência, a disponibilidade de sedimentos no rio Guadiana. Daí resulta que a influência de Alqueva, em cuja albufeira serão depositados os sedimentos, é relativamente menor do que aquela que tem decorrido nos últimos 40 anos, resultante da sucessiva construção de barragens na bacia hidrográfica do rio Guadiana. Com efeito, até à presente data, o total das cerca de 60 barragens espanholas e 5 barragens portuguesas controlam 68 % da área da bacia hidrográfica, e podem armazenar até pouco mais de 9 400 hm<sup>3</sup>.

## 1 - INTRODUÇÃO

A construção de qualquer barragem, com as dimensões das de Alqueva, origina uma alteração muito mais drástica no transporte sólido do que no caudal líquido do rio, porque, em geral, os sedimentos ficam quase todos retidos na albufeira. Verifica-se também que o assoreamento sofrido pela albufeira provoca uma perda da sua capacidade útil antes de se ter esgotado a capacidade morta. A fim de se poderem prever as interferências desse assoreamento

com a implantação de estruturas de exploração do aproveitamento, tais como tomadas de água, comportas de comando das descargas de fundo, etc, ou com outras estruturas marginais na albufeira, é necessário estimar a distribuição espacial e temporal dos sedimentos depositados na albufeira, e nomeadamente prever a cota por eles atingida junto à barragem e junto a qualquer estrutura situada na albufeira.

Tendo em consideração o exposto, foram apresentadas em 1979, por mim conjuntamente com o J. P. Cárcamo Lobo Ferreira, então ambos assistentes de investigação, durante o Simpósio sobre o Aproveitamento de Alqueva, realizado pela Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, duas comunicações, as 17 e 18, respectivamente sobre “A erosão e o transporte sólido na bacia do rio Guadiana” e sobre “O assoreamento da albufeira de Alqueva”. Posteriormente foi publicada em 1980 a Memória do LNEC nº 541 que reuniu as duas comunicações.

Passados 15 anos verifica-se que o tema continua actual, tanto mais que se verifica que o último estudo desenvolvido para a decisão da construção do Empreendimento do Alqueva, “Empreendimento de Fins Múltiplos”, elaborado para a Direcção-Geral das Políticas Regionais, da Comissão das Comunidades Europeias, pelo consórcio HP-Hidrotécnica Portuguesa, Tractebel Engineering e SEIA- Sociedade de Estudos de Impacte Ambiental, em 1992, ainda remete para a referida Memória a análise da erosão na bacia e do assoreamento na albufeira de Alqueva. Por esse motivo, julgou-se oportuna a elaboração desta comunicação que apenas procura actualizar aquela que foi feita há já 15 anos, tendo em consideração a existência de mais dados climáticos e considerando a solução do Empreendimento escolhida recentemente.

Sendo uma actualização da comunicação de há 15 anos, procurar-se-á dar mais importância às alterações, do que propriamente à apresentação de todos os passos dos métodos apresentados então.

De um modo geral, conhecida a quantidade do sedimento afluente à albufeira a utilização de modelos matemáticos permitiria o cálculo relativamente correcto da sedimentação na albufeira, ou seja do seu assoreamento. Contudo, os modelos matemáticos, que permitem este tipo de cálculo, são complexos e exigem grande número de dados para que possam ser utilizados de uma forma eficiente. Não existindo todos os dados necessários, nem se justificando para o fim específico da elaboração desta comunicação, a estimativa do assoreamento da albufeira de Alqueva baseou-se em modelos empíricos, que resultaram de uma análise da observação de um número elevado de assoreamentos de albufeiras.

Os modelos utilizados nos cálculos foram os seguintes:

- 1) modelo para a previsão da capacidade de retenção das albufeiras;
- 2) modelo para a previsão do peso específico dos sedimentos depositados nas albufeiras;
- 3) modelos para a previsão da distribuição dos sedimentos nas albufeiras.

Os cálculos efectuados não pretendem determinar com segurança a quantidade e a qualidade dos sedimentos afluentes à albufeira, mas somente continuar a fazer uma análise de sensibilidade da ordem de grandeza que os fenómenos sedimentológicos podem apresentar no aproveitamento de Alqueva. Durante o projecto de construção, a análise deste problema deverá necessariamente ser pormenorizada.

Simultaneamente, a retenção do material sólido a montante de uma barragem pode originar uma alteração do leito do rio a jusante da mesma causada pela diminuição da disponibilidade de sedimentos no rio que, no entanto, continua a apresentar uma capacidade de transporte semelhante à situação anterior.

## 2 - CARACTERIZAÇÃO GERAL DA BACIA DO RIO GUADIANA

Os sedimentos afluentes às albufeiras provêm da erosão em toda a bacia hidrográfica e da erosão e transporte das aluviões das linhas de água. Um primeiro passo para a caracterização duma bacia no seu aspecto sedimentológico deve consistir numa recolha de dados, suficientes, que permitam caracterizar a sua topografia, orografia, hidrografia, clima e vegetação. Não estando a bacia do Guadiana no estado natural torna-se ainda necessário inventariar a existência de quaisquer obras que interfiram na sedimentologia, tais como barragens, estradas, transferência de caudais entre bacias, corte de florestas, etc.

Não se torna justificável repetir mais uma vez a descrição da bacia do rio Guadiana, a qual já foi feita em muitas ocasiões. Todavia deve chamar-se a atenção para a disparidade dos números apresentados por diferentes publicações. Em 1979 apresentámos o valor de 67 840 km<sup>2</sup> para a área total da bacia. Outros autores apresentam respectivamente 66 960 km<sup>2</sup>, CUNHA et al. 1974, e 71 573 km<sup>2</sup>, HENRIQUES 1985. A diferença estará essencialmente ligada ao valor da área da bacia em Espanha, 55 260 km<sup>2</sup> para os primeiros e 59 873 km<sup>2</sup> para o segundo. O Inventário dos Recursos Hidráulicos, elaborado pela Dirección General de Obras Hidráulicas, com dados até ao

ano de 1960, apresenta uma área espanhola do rio Guadiana, até à primeira entrada em Portugal, de 48 218 km<sup>2</sup>, e um total na foz de 55 261 km<sup>2</sup>. A Síntese da Documentação Básica para o Plano Hidrológico de Espanha, DGOH 1990, por sua vez indica uma área do Guadiana I de 53 040 km<sup>2</sup>, o qual inclui o rio Ardila. O anterior documento espanhol com dados até 1960 apresentava uma área total até ao Ardila de 52 234 km<sup>2</sup>. A área espanhola remanescente até à foz, segundo o mesmo DGOH 1990 será da ordem dos 440 km<sup>2</sup>, o que daria um total até à foz de 53 480 km<sup>2</sup>.

Verifica-se, pela comparação destes valores, que a variação da área total da bacia em Espanha é da ordem dos 3 %, valor compatível com o rigor da presente análise. Foi adoptado nesta comunicação o valor da área da bacia de 65 180 km<sup>2</sup> resultante da soma de 53 480 km<sup>2</sup> com 11 700 km<sup>2</sup>.

Se se considerarem as cartas das isolinhas da precipitação anual média na bacia do rio Guadiana, comparando as que foram apresentadas em 1979 com as que figuram no PHNE 1993, verificam-se alterações da sua distribuição espacial, Figura 1. Enquanto em 1979, com dados anteriores a 1964, foi apresentado um máximo anual da ordem dos 800 mm na encumeada norte da bacia em Espanha, os mapas recentes indicam 1000 mm. A área definida pelas curvas dos mínimos inferiores a 400 mm distribuía-se fundamentalmente pela encumeada norte da bacia, em 1979, enquanto que em 1993 se encontra concentrada no interior da zona alta da bacia. Paralelamente, em 1979 foi considerada uma precipitação média da bacia espanhola, até Alqueva, de cerca de 490 mm, sendo considerado em 1993 um valor de 550 mm. Em CUNHA et al. 1974 foi apresentado um valor de 560 mm. Atendendo ao facto de estarem a ser comparados séries temporais diferentes, e ainda que área em análise não é exactamente a mesma, diferenças da ordem dos 12 % são perfeitamente aceitáveis para a presente análise.

Por último, são comparadas as existências de barragens na bacia hidrográfica do rio Guadiana. Em 1979 foram consideradas na análise apenas 18 barragens. Embora as barragens com importância relevante sejam apenas cerca de 10, julgou-se relevante a apresentação de todas as grandes barragens, as quais em número de 49 são apresentadas nas Figura 2 e Quadro 1. É no Quadro 1, que apresenta as barragens por ordem de construção, que se revela a importância relativa de cada barragem, bem como a área de controle. São de realçar pela sua importância, e por ordem cronológica, as barragens de Cijara. Orellana e García de Sola, no troço principal do rio Guadiana, a de Zújar e La Serena, no afluente Zújar, a do Chanza, e, por último, a de Alange, no afluente Matachel.

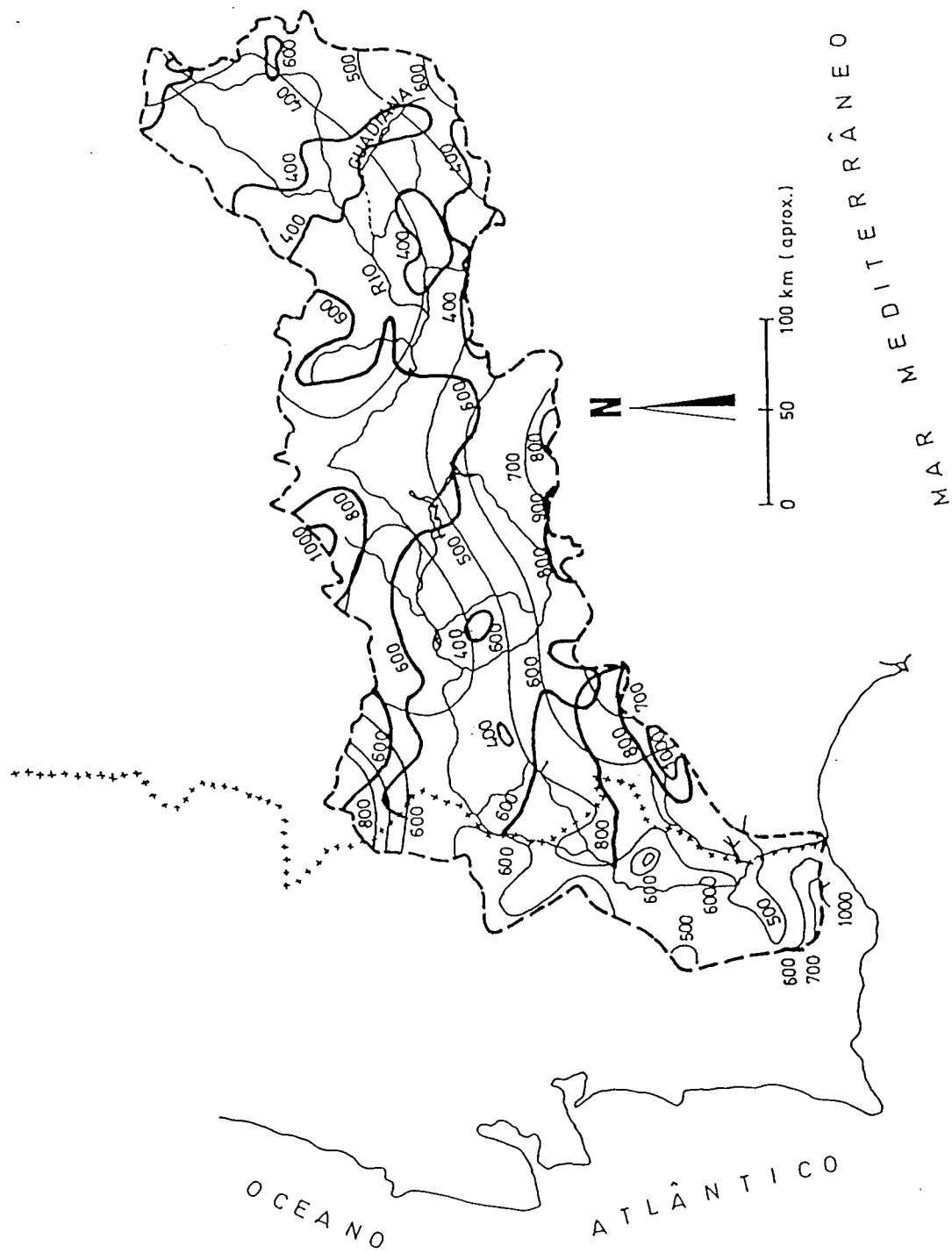


Figura 1 - Carta das isolinhas da precipitação anual média na bacia do Guadiana



Quadro 1

Nome	Rio	Capacidade (hm3)	Afluência (hm3)	Area (km2)
Cornalvo	Albarregas	10	3	137
Proserpina	Pardillas	4	2	59
Albuera Feria	Feria	1	2	30
Albuera Casabaya	Casabaya	0	4	25
Cementación la Joya	Cementacio	0	1	3
Pena del Aquila	Zapatón	18	98	1814
Minas Herrerias 3	Chorizo	0	1	3
Solana	Guadajira	4	47	0
Gasset	Becea	23	26	274
Montijo	Guadiana	8	3104	42431
Cijara	Guadiana	1670	1292	24354
Piedra Aguda	Olivenza	16	29	230
Penarroya	Guadiana	48	106	1933
Valuengo	Ardila	20	216	1560
Brovales	Brovales	7	16	110
Orellana	Guadiana	824	1428	25257
Guadajira	Guadajira	1	9	60
Garcia de Sola	Guadiana	554	1396	24907
La Jarilla	Cavera	20	122	400
Zújar	Zújar	723	900	7700
Caia	Caia	203	80	640
El Mosquil	Labrados	0	3	30
El Vicario	Guadiana?	32	457	16036
El Risco	Viguera	0	1	4
Torre de Abraham	Bullaque	60	98	400
Campoameno	Matachel	0	2	10
Zafrá	Alconera	240	3	20
Rincón de Ballesteros	Lácara	3	3	20
Vigia	V. Vasco	17	27	170
Lucefecit	Lucefecit	10	41	220
Monte Novo	Degebe	15	27	50
Quejigo Gordo	Guadalmez	3	3	20
Los Molinos	Matachel	34	90	1200
Entredicho	Guadalmez	25	65	520
Beliche	Beliche	48	19	30
Vallehermoso	Azuer	33	42	322
Puente Navarro	Ciguella	1	382	10581
Chanza	Chanza	386	270	1480
La Serena	Zújar	3219	833	7500
Cancho del Fresno	Ruecas	15	3	40
Horno Tejero	Lácara	24	11	85
El Boqueron	Lácara	6	2	15
Mari Sanchez	Jabalón	20	130	450
Vega del Jabalón	Jabalón	33	86	2000
Alange	Matachel	852	268	2546
Los Canchales	Lácara	14	46	400
Castiiseras	Guadalmez	50	84	670
Villar del Rey	Zapatón	132	98	1814
Alqueva	Guadiana	4150	2800	54960



### 3 - A EVOLUÇÃO DO CONTROLE DE CAUDAIS NA BACIA DO RIO GUADIANA

Para a análise do transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Guadiana é essencial compreender a evolução do controle de caudais, a qual é feita pela sucessiva construção de barragens para armazenar a água. Partindo dos elementos apresentados no Quadro 1 foi possível elaborar o Quadro 2 que apresenta simultaneamente evolução do controle de caudais, expressa pelas evoluções temporais da capacidade de armazenamento em albufeiras e da área controlada pelas barragens que originam aquelas. Nos Quadros 1 e 2 também se apresentam os elementos referentes à futura barragem de Alqueva.

A análise do Quadro 2 permite verificar que na presente data todas as albufeiras existentes têm uma capacidade total de armazenamento até cerca de  $9\,400\text{ hm}^3$ , sendo a área controlada de pouco mais de  $45\,000\text{ km}^2$ . O referido volume corresponderá a mais do dobro da afluência anual média de toda a bacia, e a área corresponde a 68% do total da bacia.

Verificando-se uma muito maior capacidade de armazenamento em Espanha, a partir do mesmo Quadro 2 foi determinada a evolução dos caudais e das áreas controladas pelas barragens nesse país. Os valores obtidos passam a ser respectivamente cerca de  $9\,100\text{ hm}^3$  e de  $43\,900\text{ km}^2$ . Estes valores correspondem respectivamente a quase três vezes a afluência anual média de toda a bacia espanhola, e a área corresponde a 81% do total da bacia em Espanha. Nas Figuras 3 a 6 são apresentadas em gráficos as mesmas evoluções no tempo.

Por consequência, pode afirmar-se que, se a capacidade de armazenamento em Alqueva faz incrementar substancialmente a capacidade total da bacia, com um acréscimo de cerca de 44 %, já o acréscimo de área controlada não é tão significativo, apenas mais 33%.

### 4 -ESTIMATIVA DA QUANTIDADE DE SEDIMENTOS AFLUENTES À ALBUFEIRA DE ALQUEVA E À FOZ DO RIO GUADIANA

Em 1979 foi feita uma estimativa da afluência de sedimentos à albufeira de Alqueva baseada numa determinação expedita com as equações de Fournier. Presentemente, tal método não tem sentido, sendo preferível, embora mantendo o carácter expedito, basear a estimativa em dados mais recentes.

Quadro 2

Nome	C/A	Ano	Acumula (hm3)	Acumula r (km2)	Volume retido (%)	Retenção (%)
Cornalvo	3.33	200	10	137	100	0
Proserpina	1.75	1617	14	196	100	0
Albuera Feria	0.35	1747	14	226	100	0
Albuera Casabaya	1.00	1840	14	251	100	0
Cementación la Joya	1.00	1894	14	254	100	0
Pena del Aquila	0.18	1897	32	2068	99	3
Minas Herrerías 3	1.00	1900	33	2071	100	3
Solana	0.09	1903	37	2071	77	3
Gasset	0.88	1909	60	2345	100	4
Montijo	0.00	1954	68	2345	35	4
Cijara	1.29	1956	1738	26699	100	41
Piedra Aguda	0.56	1956	1754	26929	100	41
Penarroya	0.45	1959	1802	26929	100	41
Valuengo	0.09	1959	1822	28489	78	43
Brovales	0.44	1960	1829	28599	100	43
Orellana	0.58	1961	2653	29502	100	45
Guadajira	0.16	1962	2654	29562	93	45
García de Sola	0.40	1963	3208	29562	100	45
La Jarilla	0.16	1964	3228	29962	95	45
Zújar	0.80	1964	3951	37662	100	57
Caia	1.00	1967	4154	38302	100	58
El Mosquil	1.00	1971	4155	38332	100	58
El Vicario	0.07	1973	4187	38332	71	58
El Risco	1.00	1973	4187	38336	100	58
Torre de Abraham	0.61	1974	4247	38736	100	59
Campoameno	1.00	1975	4247	38746	100	59
Zafra	1.00	1975	4487	38766	100	59
Rincón de Ballesteros	1.00	1980	4490	38786	100	59
Vigia	1.00	1981	4507	38956	100	59
Lucefecit	1.00	1982	4517	39176	100	60
Monte Novo	1.00	1982	4532	39226	100	60
Quejigo Gordo	1.00	1983	4535	39246	100	60
Los Molinos	1.00	1983	4569	40446	100	61
Entredicho	1.00	1986	4594	40446	100	61
Beliche	1.00	1986	4642	40476	100	62
Vallehermoso	0.79	1988	4675	40476	100	62
Puente Navarro	0.00	1988	4676	40476	35	62
Chanza	1.43	1988	5062	41956	100	64
La Serena	3.86	1989	8281	41956	100	64
Cancho del Fresno	4.55	1989	8296	41956	100	64
Horno Tejero	1.00	1990	8320	42041	100	64
El Boqueron	1.00	1990	8326	42056	100	64
Mari Sanchez	1.00	1991	8346	42056	100	64
Vega del Jabalón	0.38	1991	8379	42056	100	64
Alange	3.18	1991	9231	44602	100	68
Los Canchales	0.30	1992	9245	45002	100	68
Castilseras	1.00	1993	9295	45002	100	68
Villar del Rey	1.00	1993	9427	45002	100	68
Alqueva	1.00	2000	13577	60123	100	92

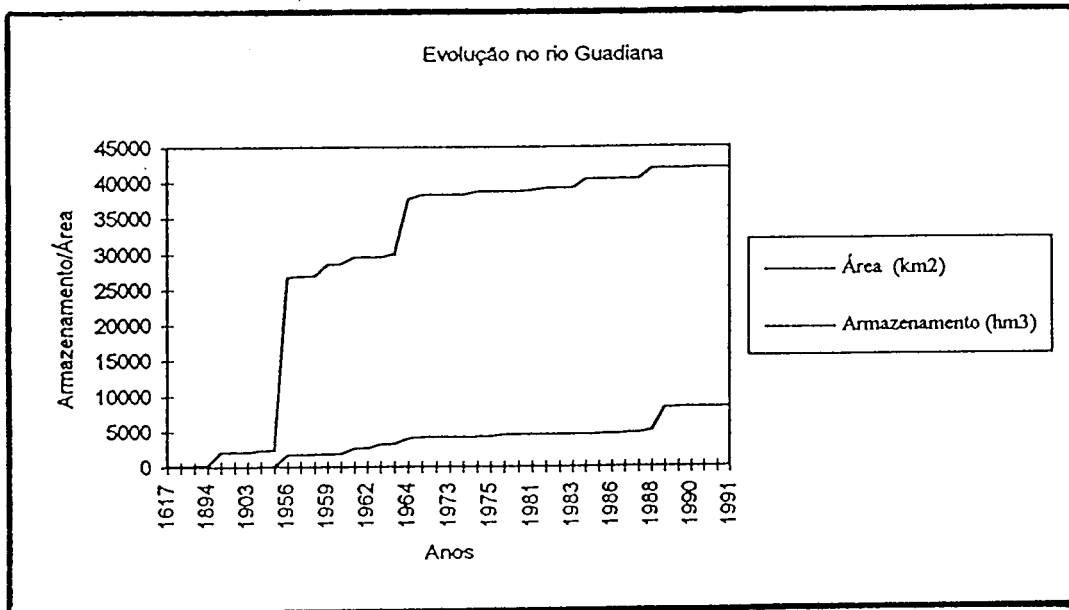


Figura 3

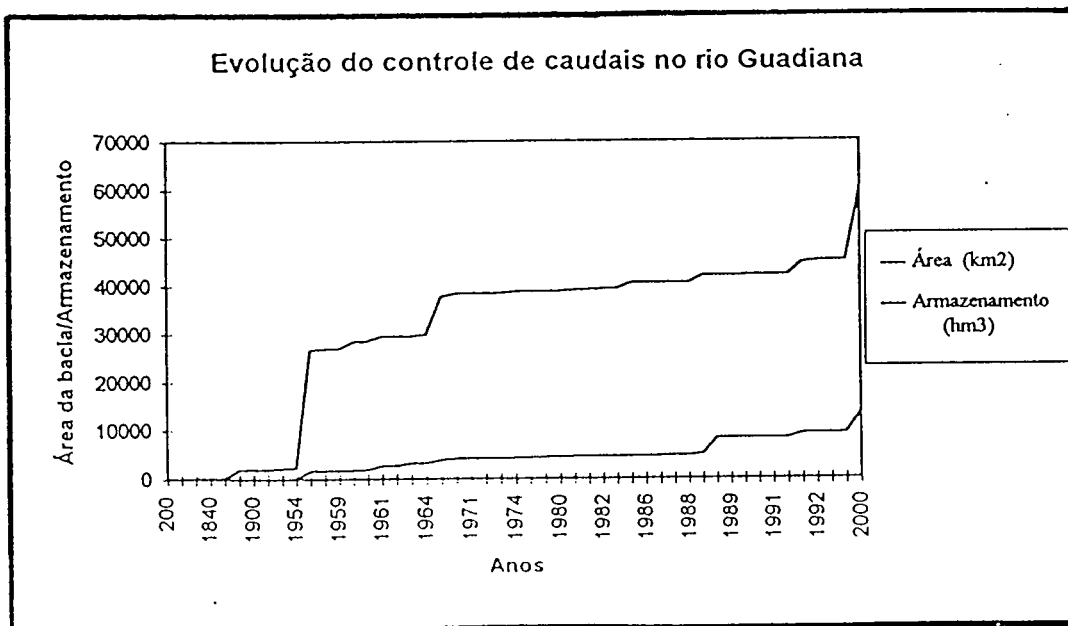


Figura 4

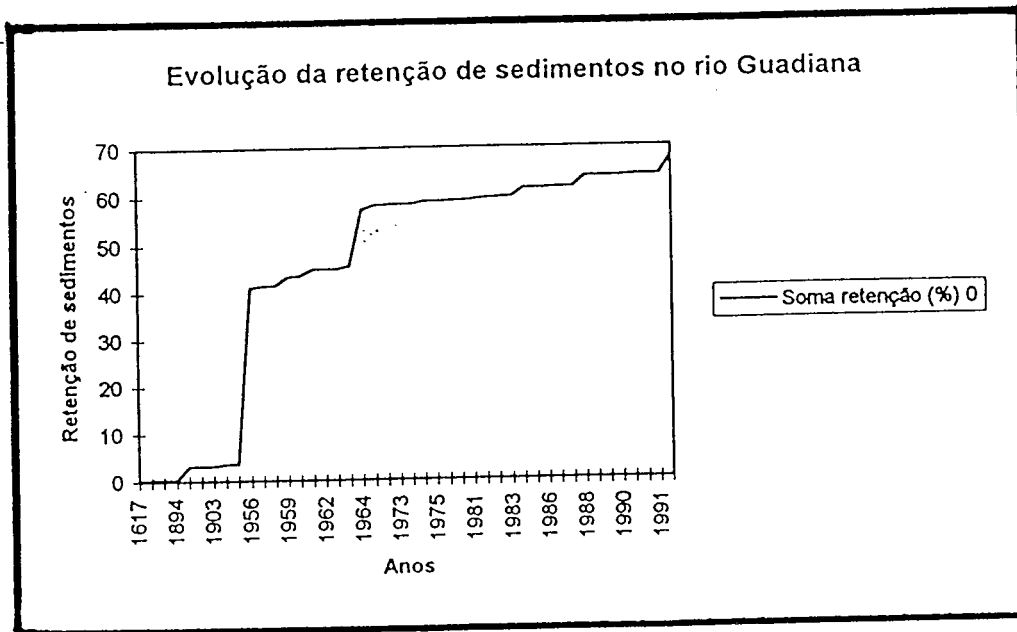


Figura 5

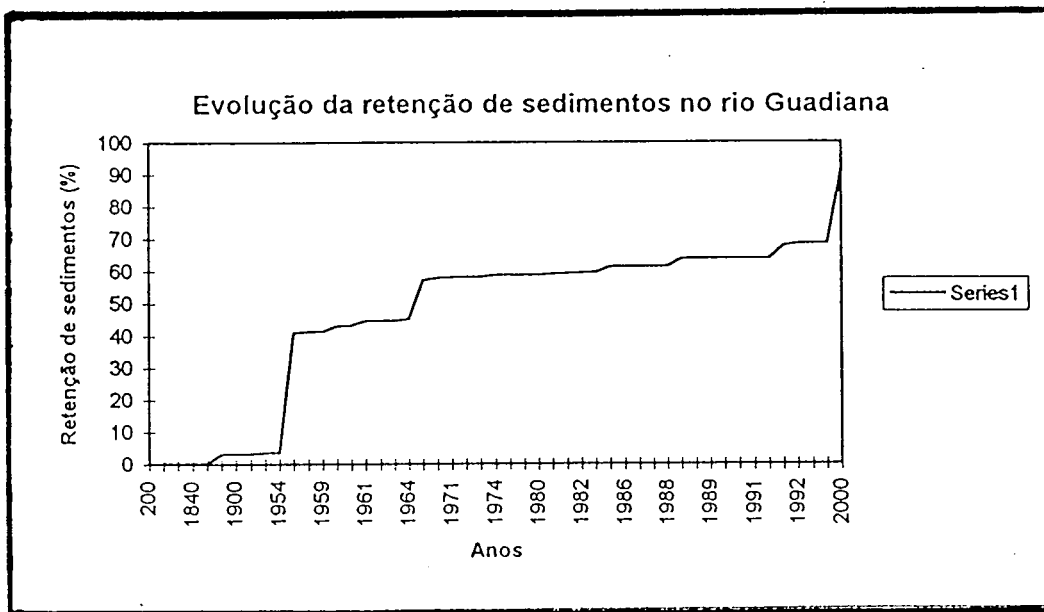


Figura 6

Os dados mais recentes são os valores de assoreamento observados em três albufeiras espanholas, a análise teórica do estudo de erosão da Serra do Algarve, e numa indicação genérica proveniente de Espanha. Os dois últimos casos correspondem à utilização da equação de Wischemeier, ou equação universal de perda de solo, também referida no trabalho de 1979.

As três albufeiras espanholas com observação de assoreamento são as apresentadas no Quadro 3.

QUADRO 3 - Assoreamento de albufeiras

Albufeira	Anos de funcionamento	Volume assoreado (hm <sup>3</sup> )	Assoreamento específico (hm <sup>3</sup> /ano)	C/A	Erosão estimada (m <sup>3</sup> /ano/km <sup>2</sup> )
Pena del Aguila	93	0,05	0,0005	0,08	0,33
Cijara	27	138	5,11	1,21	210
Valuengo	26	2,11	0,081	0,070	61

Verifica-se pela Figura 1 que, por coincidência, as albufeiras observadas encontram-se bem distribuídas pela bacia dando bons elementos para a estimativa da erosão, e da produção de sedimentos afluentes à albufeira de Alqueva.

No estudo da erosão da serra do Algarve foi determinada uma erosão média de 13 m<sup>3</sup>/ano/km<sup>2</sup>, o que é comparável com os valores acima indicados no Quadro 3.

Numa estimativa muito expedita, utilizando apenas os valores acima indicados, poder-se-ia estimar uma afluência geral da bacia entre 10 e 100 m<sup>3</sup>/ano/km<sup>2</sup>. Considerando toda a área da bacia sem nenhum controle daria uma afluência média entre 0,54 e 5,4 hm<sup>3</sup>/ano à albufeira de Alqueva, e de 0,65 e 6,5 hm<sup>3</sup>/ano à foz do Rio Guadiana.

Considerando a situação referida à data de 1979 em que cerca de 60% da bacia era controlada pelas albufeiras tais valores teriam baixado para respectivamente entre 0,22 e 2,2 hm<sup>3</sup>/ano à albufeira de Alqueva, e de 0,26 e 2,6 hm<sup>3</sup>/ano à foz do Rio Guadiana. Consta-se que por métodos relativamente diferentes o valor então adoptado em 1979 de 2,8 hm<sup>3</sup>/ano se enquadra perfeitamente na actual estimativa, ligeiramente por excesso.

Considerando a presente situação em que há cerca de 68% de controlo da área da bacia os valores ainda se tenham reduzido para respectivamente 0,17 a 1,7 hm<sup>3</sup>/ano à albufeira de Alqueva, e de 0,21 e 2,1 hm<sup>3</sup>/ano à foz do Rio Guadiana.

Pode considerar-se, então, razoável admitir um valor de  $2,0 \text{ hm}^3/\text{ano}$  para o projecto do empreendimento de Alqueva, isto é, os cálculos então apresentados em 1979 poderão estar cerca de 30% por excesso.

Após a construção da barragem de Alqueva será de esperar que afluência à foz do rio Guadiana se reduza para  $0,05$  a  $0,5 \text{ hm}^3/\text{ano}$ .