

CORRECÇÃO DE VIÉS EM MODELOS REGIONAIS DE CLIMA E IMPACTES NA MODELAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Sandra MOURATO¹; Maria Madalena MOREIRA²; João CORTE-REAL³

¹ Departamento de Engenharia do Ambiente, Escola Superior de Tecnologia e Gestão - Instituto Politécnico de Leiria, Morro do Lena - Alto do Vieiro, Apartado 4163, 2411-901 Leiria, email: smourato@estg.ipleiria.pt

² Universidade de Évora. Herdade da Mitra, 7000 Évora. Telef.: 266760823. Fax: 266760911; email: mmvmv@uevora.pt

³ ICAM. Universidade de Évora. Herdade da Mitra, 7000 Évora. Telef.: 266760907. Fax: 266740831; email: jmcr@uevora.pt

Resumo

O presente artigo pretende mostrar as diferenças entre simulações de temperatura e de precipitação, obtidas directamente de Modelos Regionais de Clima (RCM), sem correcção do viés, e as resultantes da aplicação de várias técnicas de correcção constantes da bibliografia e de uma nova técnica, investigada no presente trabalho, mais adequada às condições climáticas do Sul de Portugal.

Foram utilizados resultados de um *ensemble* proveniente da combinação de quatro RCM, forçados pelas simulações de cinco modelos globais de clima.

Verifica-se que os RCM subestimam os valores de precipitação no período de controlo, o que constitui uma clara indicação da necessidade de correcção para que não se verifique esse desvio nos cenários futuros. O RCM que verificou melhor ajustamento às observações foi o HIRHAM do Danish Meteorological Institute (DMI) forçado pelo modelo de circulação geral HadAM3H sob o cenário de emissões SRES A2.

Os dados de temperatura e precipitação corrigidos foram em seguida utilizados como *input* num modelo hidrológico fisicamente baseado, aplicado à bacia hidrográfica do Rio Cobres, um afluente do Rio Guadiana. De entre as séries de escoamento obtidas para os diferentes modelos, a que apresentou melhor ajustamento, com um coeficiente de Nash-Sutcliffe de 0,99, foi a derivada do modelo do Danish Meteorological Institute (DMI) forçado pelo modelo de circulação geral ECHAM4/OPYC sob o cenário de emissões SRES A2 e com correcção do desvio pelo Método 1, descrito no texto.

Palavras-chave: Alterações climáticas, *Downscaling*, Correcção do viés, Modelos hidrológicos fisicamente baseados, Recursos Hídricos.

1 - INTRODUÇÃO

Actualmente existem vários modelos globais de clima denominados modelos acoplados atmosfera-oceano (AOGCM), com os quais foram gerados cenários do clima futuro, de baixa resolução (dimensão da malha dos modelos da ordem de 300 km). A aplicação de técnicas de regionalização (*downscaling*) por métodos dinâmicos, que assentam na utilização de modelos regionais de clima (RCM), permite obter cenários regionais de clima, os quais são capazes de reproduzir, com melhor qualidade, as características próprias dos climas à escala regional.

No entanto, em estudos de impacto das alterações climáticas nos recursos hídricos a informação relativa a elementos de clima à escala dos modelos regionais (malhas com dimensões da ordem de 50 km) continua a ser insuficiente.

Por outro lado, as simulações dos RCM para um período de referência (simulação de controlo) apresentam desvios sistemáticos ou viés (*bias*) relativamente às séries históricas correspondentes ao mesmo período, assim, os resultados a fornecer pelo RCM devem ser corrigidos do viés (*bias correction*) para evitar interpretações incorrectas dos cenários de clima futuro no que diz respeito aos recursos hídricos.

As técnicas de correcção baseiam-se em relações que se estabelecem entre observações e resultados dos RCM no período de referência (controlo) e que são aplicadas num período futuro (cenário).

Aquelas técnicas permitem determinar factores correctivos dos resultados de RCM, utilizando estatísticas da simulação de controlo (1961-1990) e dos cenários futuros (2071-2100), já que aqueles resultados não reproduzem correctamente os padrões espaciais da média e a sazonalidade (Fowler e Kilsby, 2007).

O presente trabalho pretende mostrar as diferenças entre simulações de temperatura e de precipitação, obtidas directamente de RCM, sem correcção do viés, e as resultantes da aplicação de várias técnicas de correcção constantes da bibliografia e de um método proposto pelos autores, mais adequado às condições climáticas do Sul de Portugal.

Os dados de temperatura e precipitação foram em seguida introduzidos num modelo hidrológico fisicamente baseado, aplicado à bacia hidrográfica do Rio Cobres, um afluente do rio Guadiana, sendo comparado o escoamento simulado com o escoamento medido na secção de referência.

2- METODOLOGIA

2.1 - Dados utilizados

A área de estudo escolhida para este trabalho foi a bacia hidrográfica do Rio Cobres, um afluente do Rio Guadiana. Com base na distribuição dos postos udométricos do Instituto da Água e nas suas áreas de influência na bacia, foram escolhidas as estações udométricas de Almodôvar, Salvada, Castro Verde, Trindade e Mértola e utilizados os dados de precipitação diária para o período 1961-1990.

Com base na distribuição das estações meteorológicas do Instituto de Meteorologia foi seleccionada a estação meteorológica de Mértola e utilizados os dados de temperatura média diária para o mesmo período 1961-1990.

No Quadro 1 apresentam-se os RCM considerados. Neste estudo serão apenas apresentados os resultados obtidos com os modelos DMI_HC, DMI_ec e SMHI_HC.

Quadro 1 – Modelos regionais de clima e modelos globais aplicados.

	RCM	GCM	Acrónimo <i>PRUDENCE</i>
Danish Meteorological Institute (DMI)	HIRHAM	HadAM3H A2	DMI_HC
		ECHAM4/OPYC A2	DMI_ec
Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	RCAO	HadAM3H A2	SMHI_HC
		ECHAM4/OPYC A2	SMHI_MP
Hadley Centre – UK Met Office	HadRM3P	HadAM3P A2	HC
Météo-France, France	Arpège	HadCM3 A2	CNRM

Para os modelos do Quadro 1 foram obtidos os seguintes dados:

- Precipitação diária (mm/dia) e temperatura média diária (°C) para o período 1961-1990 nas células 55_17, 54_16, 55_16, 54_15 e 55_15 (Figura 1);
- Precipitação diária (mm/dia) e temperatura média diária (°C) para o período 2071-2100 nas células 55_17, 54_16, 55_16, 54_15 e 55_15 (Figura 1).

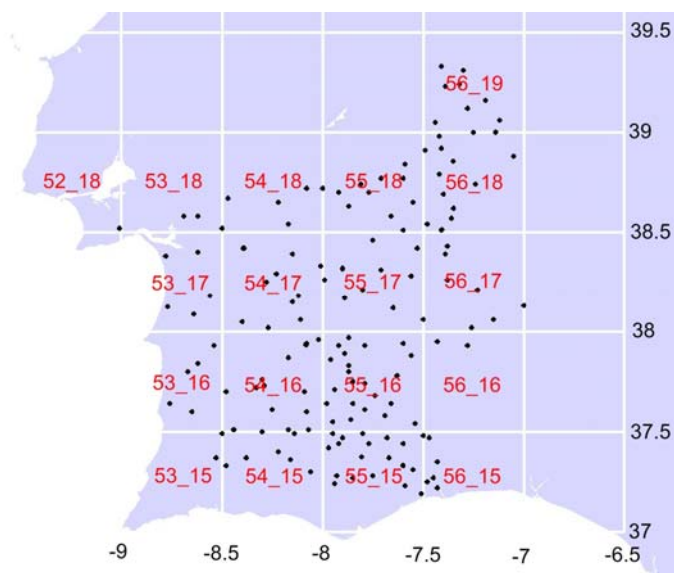


Figura 1 – Grelha dos modelos regionais de clima e localização dos postos udométricos do INAG.

2.2 – Técnicas de correcção do viés

Na bibliografia são apresentadas várias técnicas de correcção de viés dos resultados obtidos pelos modelos climáticos (Kilsby *et al.*, 2007; Hashino, *et al.*, 2007 ; Folland 2005 ; López-Moreno, *et al.*, 2007 ; Leander, *et al.*, 2008 ; Zhang, *et al.*, 2004).

Os factores de viés são calculados assumindo factores multiplicativos para a precipitação e aditivos para a temperatura, numa base mensal.

Consoante as hipóteses simplificativas consideradas podemos ter duas técnicas de correcção de viés para a precipitação e para a temperatura e que são apresentados de seguida.

2.2.1 – Precipitação

Técnica 1

$$\frac{P_{Fut}}{P_{obs}} = \frac{\bar{P}_{RCMFut}}{\bar{P}_{RCMCon}} \quad (1)$$

Onde:

P_{Fut} – Precipitação diária da projecção futura corrigida (mm);

P_{obs} – Precipitação diária observada no período de controlo (mm);

\bar{P}_{RCMFut} – Valor da precipitação mensal do ciclo anual da projecção futura (mm),

\bar{P}_{RCMCon} – Valor da precipitação mensal do ciclo anual no período de controlo (mm).

$$\alpha = \frac{\bar{P}_{RCMFut}}{\bar{P}_{RCMCon}} \quad (2)$$

$$P_{Fut} = \alpha P_{obs} \quad (3)$$

Técnica 2

$$\frac{\bar{P}_{Obs}}{\bar{P}_{RCMCon}} = \frac{P_{Fut}}{\bar{P}_{RCMFut}} \quad (7)$$

Onde:

P_{Fut} – Precipitação diária da projecção futura corrigida (mm);

\bar{P}_{RCMFut} – Precipitação diária da projecção futura (mm);

\bar{P}_{Obs} – Valor da precipitação mensal do ciclo anual observado (mm);

\bar{P}_{RCMCon} – Valor da precipitação mensal do ciclo anual no período de controlo (mm).

$$\alpha = \frac{\bar{P}_{Obs}}{\bar{P}_{RCMCon}} \quad (8)$$

$$P_{Fut} = \alpha \bar{P}_{RCMFut} \quad (9)$$

2.2.1 – Temperatura

Técnica 1

$$T_{Fut} - T_{obs} = \bar{T}_{RCMFut} - \bar{T}_{RCMCon} \quad (4)$$

Onde:

T_{Fut} – Temperatura diária da projecção futura corrigida (°C);

T_{Obs} – Temperatura diária observada (°C);

$\bar{T}_{RCM Fut}$ – Valor da temperatura mensal do ciclo anual da projecção futura (°C),

$\bar{T}_{RCM Con}$ – Valor da temperatura mensal do ciclo anual no período de controlo (°C).

$$\alpha = \bar{T}_{RCM Fut} - \bar{T}_{RCM Con} \quad (5)$$

$$T_{Fut} = \alpha + T_{obs} \quad (6)$$

Técnica 2

$$\bar{T}_{obs} - \bar{T}_{RCM Con} = T_{Fut} - T_{RCM Fut} \quad (10)$$

Onde:

T_{Fut} – Temperatura diária da projecção futura corrigida (°C);

$T_{RCM Fut}$ – Temperatura diária da projecção futura (°C);

\bar{T}_{obs} – Valor da temperatura mensal do ciclo anual observado (°C);

$\bar{T}_{RCM Con}$ – Valor da temperatura mensal do ciclo anual no período de controlo (°C).

$$\alpha = \bar{T}_{Obs} - \bar{T}_{RCM Con} \quad (11)$$

$$T_{Fut} = \alpha + T_{RCM Fut} \quad (12)$$

2.3 – Técnica proposta para a correcção do viés

Na aplicação da Técnica 1 de correcção do viés à simulação da precipitação diária com o RCM, mantém-se o número de dias sem precipitação o que apresenta relevância numa região em que a precipitação tende a concentrar-se num relativamente pequeno número de dias.

Quando se utiliza a Técnica 2, a circunstância referida não se verifica o que se traduz num regime de precipitação diferente daquele que é indicado pelas observações.

No presente estudo considerou-se que, na aplicação quer de uma ou de outra técnica, se deveria ter em conta que, na correcção de um elemento de clima (precipitação ou temperatura) num dado posto udométrico ou estação meteorológica, deve ser considerada a média ponderada com as áreas de influência dos nós da grelha do modelo de clima. O valor final de um elemento de clima, corrigido do viés, é calculado com a média pesada dos resultados obtidos pelas técnicas 1 e 2, equação 1.

$$\text{Série} = \text{Série_técnica_1} * k + \text{Série_técnica_2} * (1-k) \quad (13)$$

k assume valores entre 0 e 1.

O valor de k deve ser otimizado de modo a obter a melhor aproximação aos valores observados. Segundo as hipóteses simplificativas consideradas k toma o valor 1 se foi mais importante preservar as características dos dados observados e será igual a 0 se pelo contrário se considerar mais importante preservar as características dos modelos regionais de clima.

A área de influência de um nó da grelha foi considerada como a área localizada a menor distância de um dado nó. Neste sentido na correcção do viés, pelas diferentes técnica, o valor final corrigido numa dada estação ou posto de medição é obtido de uma média ponderada, das correcções devidas às diferentes células do RCM às quais se estende a área de influência do posto ou estação, os pesos são as percentagens das áreas de influência em cada célula do RCM.

3 – CORRECÇÃO DO VIÉS EM MODELOS REGIONAIS DE CLIMA

Com o objectivo de verificar se os dados das variáveis climatológicas retiradas directamente dos RCM são ou não aproximados dos contidos nas séries históricas correspondentes foi seleccionada a estação de Almodôvar e os modelos regionais de clima DMI_HC; DMI_ec e SMHI_MP.

A série da simulação de controlo (1961-1990) foi, em cada célula, dividida ao meio. A primeira metade (1961-1975) passa agora a ser designada de simulação de controlo e a segunda metade (1976-1990) será designada de cenário futuro. Esta divisão irá permitir avaliar o grau de ajustamento dos dados futuros obtidos pelos métodos de correcção do viés aos dados observados no período (1976-1990).

Na Figura 2 apresenta-se a bacia hidrográfica do Rio Cobres e os postos udométricos que influenciam a precipitação sobre a bacia. As células dos RCM consideradas foram a 54_16, 55_16, 54_15 e 55_15.

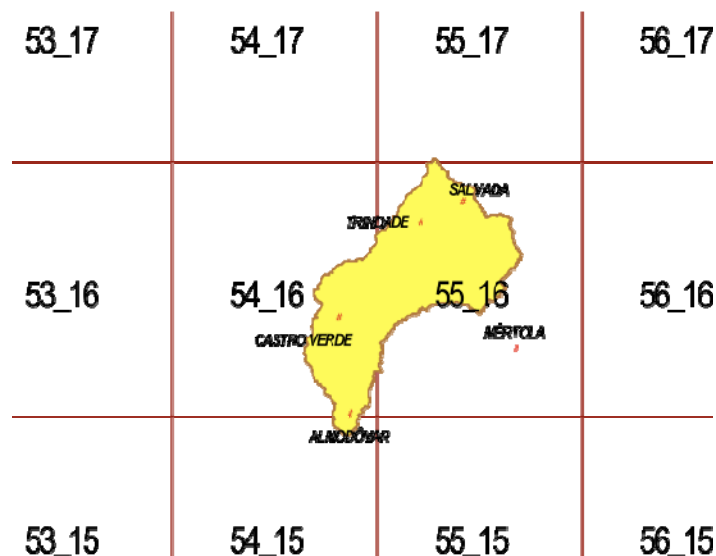


Figura 2 – Grelha com as células dos RCM e os postos udométricos considerados.

No Quadro 2 são apresentadas as áreas ocupadas pelo polígono de Thiessen da estação de Almodôvar em cada uma das células da grelha dos modelos climáticos.

Quadro 2 – Percentagem de área do polígono de Thiessen relativo a Almodôvar, em cada célula dos RCM.

	Célula 54_16	Célula 55_16	Célula 54_15	Célula 55_15
ALMODÔVAR	30,0%	24,6%	30,2%	15,2%

Apresentam-se na Figura 3 o ciclo anual da precipitação relativo aos períodos 1961-1975 e 1976-1990 para uma célula do RCM DMI_HC, obtidos das simulações do RCM e a média mensal observada no posto udométrico de Almodôvar para o mesmo período.

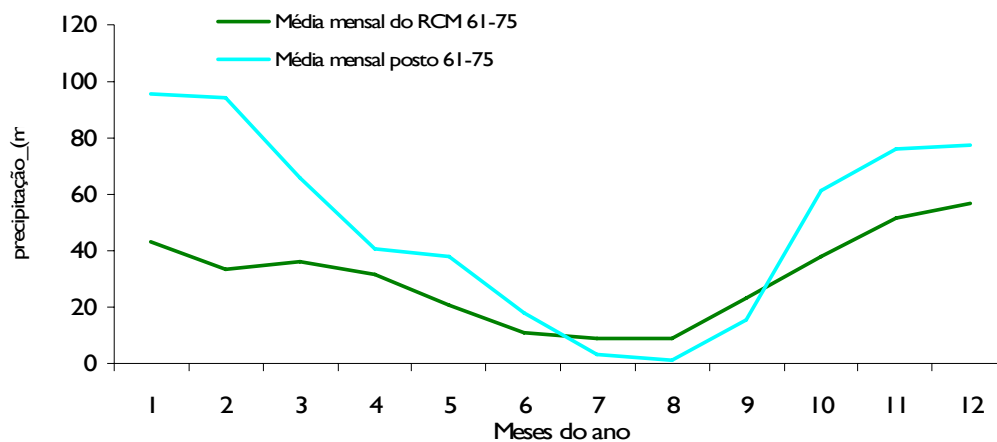


Figura 3 – Ciclo anual de precipitação sem correcção.

Da Figura 3 verifica-se que o RCM subestima os valores de precipitação, excepto para os meses de Julho a Setembro, no período de controlo, o que indica necessidade de correcção do viés para que não se verifique esse desvio nas projecções futuras.

De seguida foram calculados os factores correctivos, para os métodos de correcção de viés e ponderados com os coeficientes do quadro 2 e finalmente calculadas as precipitações futuras (76-90).

Obtiveram-se na optimização do parâmetro k , através da equação (13), onze séries de precipitação corrigidas para o período 76-90.

Essas séries foram posteriormente comparadas com a série de valores observados nos postos udométricos para o período 76-90. Na Figura 4 apresenta-se a série de Almodôvar corrigida para o período 76-90.

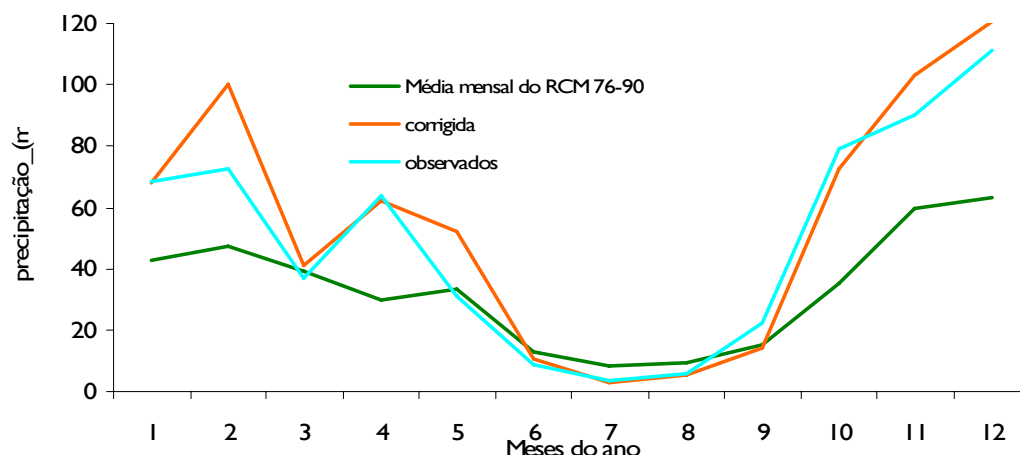


Figura 4 – Ciclo anual de precipitação com correcção.

Para analisar o desempenho dos modelos foi utilizado o coeficiente de eficiência de Nash—Sutcliffe (Nash e Sutcliffe, 1970). Nos Quadros 3 a 5 apresentam-se os valores do coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe para as técnicas 1 e 2 de correcção do viés e para a ponderação das duas técnicas em que 90% da contribuição corresponde à Técnica 1.

Quadro 3 – Coeficiente de Nash Sutcliffe (Técnica 1).

	DMI_HC	DMI_ec	SMHI_MP.
ALMODOVAR	0,95	0,87	0,75
SALVADA	0,95	0,87	0,74
CASTRO VERDE	0,95	0,83	0,71
TRINDADE	0,95	0,85	0,74
MÉRTOLA	0,96	0,90	0,82

Quadro 4 – Coeficiente de Nash Sutcliffe (Técnica 2).

	DMI_HC	DMI_ec	SMHI_MP.
ALMODOVAR	-0,58	-0,46	-0,71
SALVADA	-0,70	-0,38	-10,01
CASTRO VERDE	-0,66	-0,59	-1,24
TRINDADE	-0,77	-0,61	-0,61
MÉRTOLA	-0,49	-0,42	-0,77

Quadro 5 – Coeficiente de Nash Sutcliffe (k=0.9).

	DMI_HC	DMI_ec	SMHI_MP.
ALMODOVAR	0,95	0,86	0,75
SALVADA	0,96	0,85	0,64
CASTRO VERDE	0,95	0,82	0,70
TRINDADE	0,95	0,82	0,50
MÉRTOLA	0,96	0,88	0,80

Segundo os Quadros 3 a 5 é possível verificar que a técnica de correcção de viés que apresenta o melhor ajustamento é a Técnica 1 de determinação dos factores de viés, seguido da técnica ponderada em que o peso de 90% recai sobre a Técnica 1. Deste modo pode concluir-se que não é necessário efectuar a ponderação, mas que para correcção do viés nas séries do cenário futuro (2071-2100) a técnica a considerar deve ser a Técnica 1, porque é esta que demonstrou apresentar uma maior grau de ajustamento às observações.

No Quadro 6 apresentam-se os coeficientes de Nash-Sutcliffe para o ajustamento dos dados de temperatura da estação de Mértola.

Quadro 6 – Coeficiente de Nash Sutcliffe.

	Técnica 1	Técnica 2	k=0.9
DMI_HC	0,99	0,58	0,99
DMI_ec	0,98	0,58	0,98
SMHI_MP.	0,98	0,59	0,98

Do Quadro anterior verifica-se que também para a variável temperatura a utilização da correcção do viés pela Técnica 1 é a que apresenta melhores coeficientes de ajustamento.

Quanto aos resultados do método ponderado verifica-se que existe um aumento do ajustamento à medida que o peso dado à Técnica 1 aumenta.

4 – APLICAÇÃO A MODELOS HIDROLÓGICOS

Para avaliar o efeito do erro obtido com os resultados dos modelos regionais de clima e o efeito das diferentes técnicas de correcção de viés foram comparados os hidrogramas calculados na secção de referência do Rio Cobre através da aplicação do modelo hidrológico fisicamente baseado espacialmente distribuído, SHETRAN (Ewen *et al.*, 2000), com os dados de entrada as séries de temperatura e séries de precipitação diárias, relativos a 1976-1990. Os resultados obtidos foram comparados com os caudais obtidos pela aplicação do mesmo modelo hidrológico com os valores de precipitação e temperatura observados no período 1976-1990.

A aplicação das séries dos RCM sem correcção do viés conduziu aos resultados apresentados na Figura 5 e no Quadro 7.

Foram considerados os seguintes critérios de ajustamento (Legates e McCabe, 1999): Coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS), raiz do erro quadrado médio (RMSE), Desvio dos volumes de escoamento (Dv) e Percentagem de desvio absoluto (Bias).

Quadro 7 – Coeficiente de ajustamento para o escoamento acumulado simulado na bacia do Rio Cobre considerando diferentes RCM sem correcção do viés.

	NS	RMSE	Dv	Bias
DMI_HC	-0,38	704	-51%	51%
DMI_ec	-2,09	1051	-76%	78%
SMHI_MP	-3,27	1237	-90%	91%

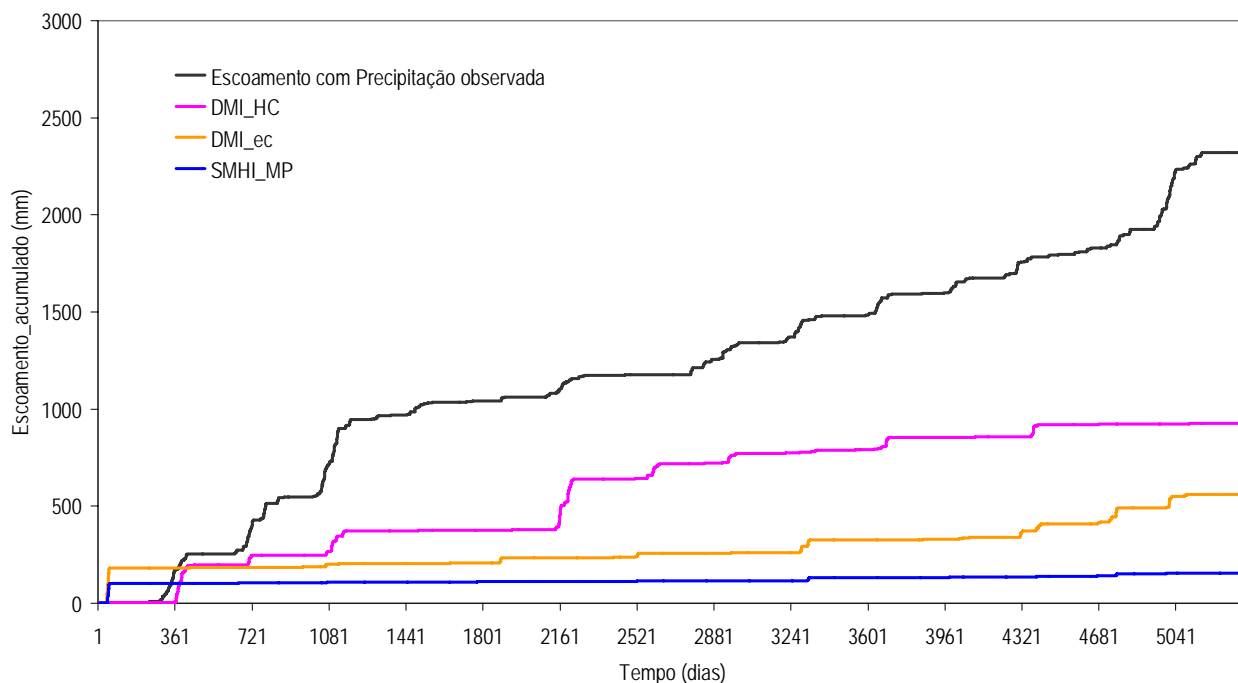


Figura 5 – Escoamento acumulado simulado na bacia do Rio Cobre considerando diferentes RCM sem correcção do viés.

Verifica-se que a aplicação das variáveis climatológicas obtidas directamente dos RCM não apresentam ajustamento satisfatório.

Na Figura 6 comparam-se os escoamentos acumulados ao longo do período 1976-1990 na secção de referência do Rio Cobres, obtidos através do modelo hidrológico, para diferentes técnicas de correcção do viés.

Escoamento com Precipitação observada corresponde à simulação hidrológica efectuada com a precipitação diária observada no período 1976-1990, o índice T1 indica que a correcção do viés da série do modelo climático foi efectuada através da Técnica 1, o índice T2 indica que a correcção do viés foi efectuada através da Técnica 2 e o índice TP indica que a correcção do viés foi efectuada através da Técnica Ponderada com peso de 90% na Técnica 1.

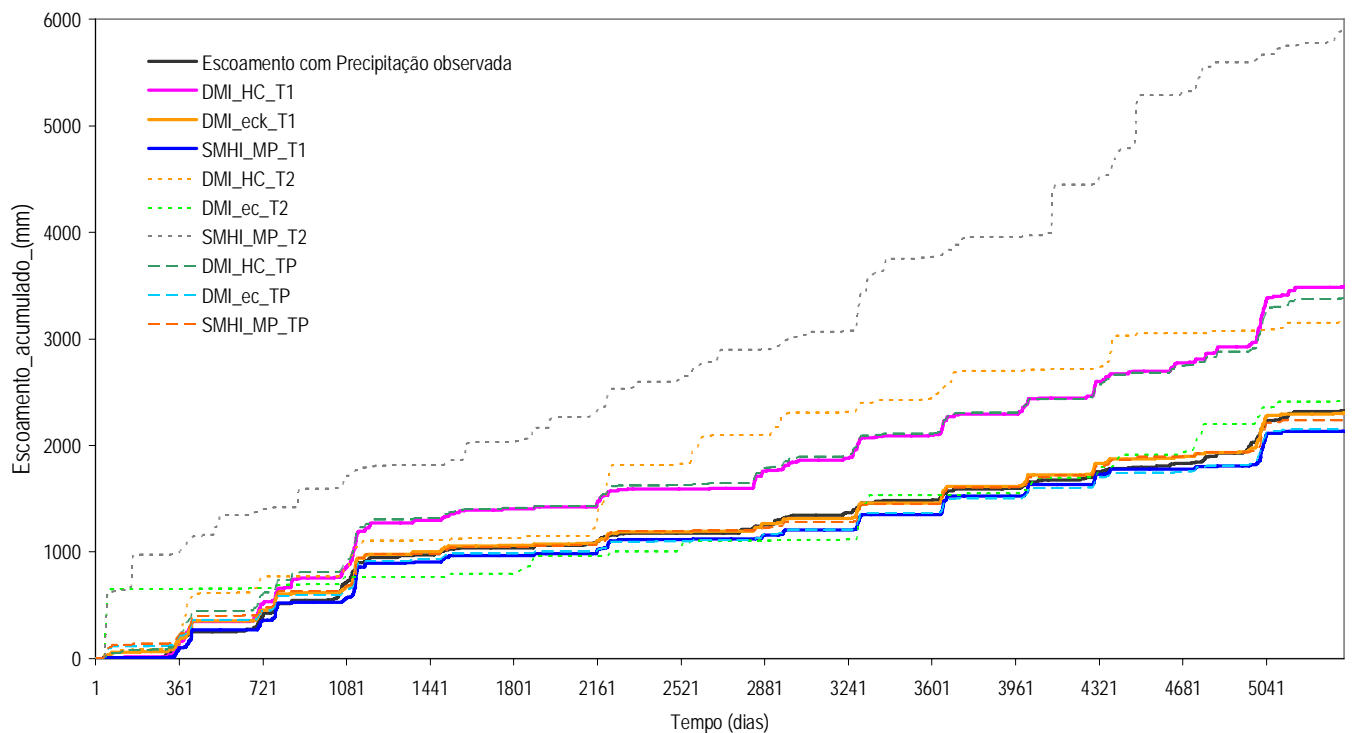


Figura 6 – Escoamentos acumulados simulados para a bacia do Rio Cobres considerando diferentes RCM e diferentes técnicas de correcção do viés.

No Quadro 8 apresentam-se os coeficientes de ajustamento entre a série de escoamento acumulado obtida com a precipitação observada e as séries de escoamento obtidas com os diferentes RCM e diferentes técnicas de correcção do viés, indicam-se a negrito os melhores resultados obtidos.

Quadro 8 – Coeficientes de ajustamento para o escoamento acumulado simulado na bacia do Rio Cobre considerando diferentes RCM e diferentes técnicas de correcção do viés.

	<i>NS (-)</i>	<i>RMSE (mm)</i>	<i>Dv (%)</i>	<i>Bias (%)</i>
<i>DMI_HC_T1</i>	-0,02	602,78	42%	42%
<i>DMI_ec_T1</i>	0,99	45,00	2%	3%
<i>SMHI_MP_T1</i>	0,98	89,95	-6%	6%
<i>DMI_HC_T2</i>	-0,65	769,05	53%	53%
<i>DMI_ec_T2</i>	0,85	233,95	3%	15%
<i>SMHI_MP_T2</i>	-11,08	2078,94	152%	152%
<i>DMI_HC_TP</i>	0,00	597,37	43%	43%
<i>DMI_ec_TP</i>	0,98	91,82	-4%	7%
<i>SMHI_MP_TP</i>	0,99	63,90	2%	4%

As técnicas de correcção que apresentaram um melhor ajustamento foram as técnicas 1 e a técnica ponderada com peso de 90% na Técnica 1. O modelo climático que melhor simulou o escoamento foi o modelo DMI_ec.

5 – CONCLUSÕES

O presente estudo mostra a necessidade de aplicar técnicas de correcção do viés, a séries temporais de temperatura e precipitação directamente resultantes de simulações de modelos regionais de clima, relativa às correspondentes séries observadas.

Foram considerados diferentes técnicas de correcção do viés, para o Sul de Portugal continental, avaliada a sua eficiência e seleccionado o método com maior desempenho. As séries de precipitação e de temperatura corrigidas do viés, foram utilizadas como dados de entrada no modelo hidrológico fisicamente baseado e espacialmente distribuído SHETRAN, tendo sido obtidos valores de escoamento na secção de referência da bacia hidrográfica do Rio Cobre e comparadas com o hidrograma obtido pelo mesmo modelo a partir da séries observadas de temperatura e precipitação.

O estudo desenvolvido estabelece uma metodologia, aplicável a cenários do clima futuro, que garante interpretações mais confiáveis nos regimes de escoamento em bacias hidrográfica no Sul de Portugal continental.

BIBLIOGRAFIA

Ewen, J.; Parkin, G.; O'Connell, E. (2000): SHETRAN: distributed river basin flow and transport modeling system. Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 5, No. 3.

Folland C. (2005). Assessing Bias Corrections In Historical Sea Surface Temperature Using a Climate Model. Int. J. Climatol. 25: 895–911.

Fowler, H. J., Kilsby, C. G.. (2007). Using regional climate model data to simulate historical and future river flows in northwest England. Climatic Change. 80:337–367.



Hashino, T., Bradley, A. e Schwartz, S. (2007). Evaluation of bias-correction methods for ensemble streamflow volume forecasts. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 939–950.

Kilsby, C.G., Jones, P.D., Burton, A., Ford, A.C., Fowler, H.J., Harpham, C., James, P., Smith, A., Wilby, R.L.. (2007). A daily weather generator for use in climate change studies. *Environmental Modelling and Software*. 22 (12), 1705-1719.

Leander, R., Buishand, T., van den Hurk, B., de Wit, M. (2008). Estimated changes in flood quantiles of the river Meuse from resampling of regional climate model output. *J. Hydrol.* (doi:10.1016/j.jhydrol.2007.12.020).

Legates, D. McCabe, G. (1999). Evaluating the use of “goodness of fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*. 35:233-241.

López-Moreno, J., Goyettea, S., e Benistona, M. (2007). Climate change prediction over complex areas: spatial variability of uncertainties and predictions over the Pyrenees from a set of regional climate models. *Int. J. Climatol.* DOI: 10.1002/joc.1645

Nash, JE, Sutcliffe, JV. (1970). River flow forecasting through conceptual model. Part I. A discussion and principles. *Journal of Hydrology* 10: 282–290.

Zhang, Y., Ohata, T., Yang, D. e Davaa, G. (2004). Bias correction of daily precipitation measurements for Mongolia *Hydrol. Process.* 18, 2991–3005.

