

BALANÇO HÍDRICO ATUAL E SIMULAÇÕES DE CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS PARA O MUNICÍPIO DE TAUBATÉ, SÃO PAULO”

Gilberto Fisch¹, Andréa Sanae Horikoshi²

¹ Meteorologista, Pesq. Titular, Inst. de Aeronáutica e Espaço (IAE), Prof. PG em Ciências Ambientais- UNITAU, gfisch@uol.com.br
² Eng. Ambiental, Mestre em Ciências Ambientais (UNITAU), Taubaté – SP.

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju - SE

RESUMO: O objetivo deste trabalho é realizar o balanço hídrico atual para o município de Taubaté, SP e analisar a questão da disponibilidade hídrica futura. Utilizou-se o método de Thornthwaite-Mather (1955) no cálculo do balanço hídrico, dados observacionais de precipitação e temperatura do ar e dados simulados de temperatura e precipitação gerados pelo modelo HadCM3 (2071 a 2099). De uma forma geral, os cenários climáticos futuros apontam um aumento na temperatura do ar entre + 0,5 °C a + 2,7 °C, associado a um aumento da precipitação entre 80 e 150 mm. Estes resultados provocarão um aumento do déficit de água (ao redor de 50 a 80 mm) e uma diminuição do excedente hídrico (próximo a 200 mm). Este aumento de precipitação não será suficiente para manter os níveis de evapotranspiração, pois este será muito maior, em função do aumento da temperatura do ar.

PALAVRAS-CHAVES: precipitação, evapotranspiração, modelo climático

THE ACTUAL AND FUTURE WATER BUDGET FOR TAUBATÉ, SP

ABSTRACT: The goal of this work is to realize the actual water budget for Taubaté, SP and investigate the future water availability. The Thornthwaite-Mather (1955) methodology was used for the water budget, combined with observations and simulated data of air temperature and precipitation. The future scenarios will have an increase of temperature (ranging from + 0,5 °C up to + 2,7 °C) and precipitation (ranging from 80 up to 150 mm). These results will provoke an increase of the water deficit (ranging from 50 up to 80 mm) and a decrease of the surplus of water (around 200 mm). The increase of the precipitation will not be sufficient for the increase of the water demands from evapotranspiration.

KEY-WORDKS: rainfall, evapotranspiration, climatic simulation

INTRODUÇÃO: A água é um elemento vital para a vida dos seres humanos e a sua disponibilidade possibilita o desenvolvimento tecnológico e social dos países. Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO), um em cada cinco países em desenvolvimento estará sofrendo de escassez de água até o ano de 2030, comprometendo a produção mundial de alimentos e gerando conflitos sociais. Devido à grande demanda por recursos hídricos, faz-se necessário o conhecimento do ciclo da água dentro de uma bacia hidrográfica, principalmente das variáveis de precipitação e evapotranspiração. De acordo com Pereira et al. (2002), a disponibilidade hídrica pode ser quantificada pelo balanço hídrico (BH) climatológico, no qual fica evidenciada a flutuação temporal de períodos com excedente e com deficiência. Além disso, o BH de uma região tende a se manter sem grandes

alterações naturais, mas com o aumento populacional e o uso indiscriminado da água, as ações antrópicas podem acabar interferindo em todas as componentes do ciclo hidrológico. Segundo Nobre e Assad (2005), a temperatura média global do planeta à superfície vem aumentando nos últimos 120 anos, já tendo atingido + 0,6 a 0,7 °C. A maior parte deste aquecimento ocorreu nos últimos 50 anos, sendo que a última década apresentou os três anos mais quentes dos últimos 1000 anos da história recente da Terra. Recentemente, o relatório do IPCC (2007) reforçou estes fatos, associando como sendo muito provável (90 % de probabilidade) de que este aumento de temperatura seja consequência das ações antrópicas. O objetivo deste trabalho é o de apresentar um estudo sobre a disponibilidade de água atual no município de Taubaté, SP e realizar estimativas do BH para cenários climáticos futuros (até o ano de 2099) baseado em dados de temperatura e precipitação gerados por uma simulação climática.

MATERIAL E MÉTODOS: Os dados meteorológicos necessários para a realização do BH são os elementos climáticos de temperatura (1992-2005) e de precipitação (1983 a 2005), coletados no posto meteorológico da Universidade de Taubaté (UNITAU). No caso dos cenários futuros, foram utilizados dados mensais de precipitação e temperatura do ar entre os anos de 1950 até 2099. O modelo HadCM3 (JOHNS et al., 1997) foi desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Britânico (United Kingdom Meteorological Office) e é um modelo acoplado oceano-atmosfera, com resolução de aproximadamente 2,5 X 2,5 graus para a componente atmosférica. Os principais processos de transferência de energia (radiação, convecção, transporte por nuvens, turbulência, etc.) são incorporados neste modelo. O intervalo de tempo é de 30 minutos para a componente atmosférica e de 1 hora para a parte oceânica. Os dados dos cenários futuros foram obtidos a partir de simulações deste modelo, para o ponto de grade mais próximo da cidade de Taubaté, SP. Estas simulações foram realizadas para dois cenários utilizados nos estudos do IPCC, a saber: Cenário A2 – é um cenário com alto índice de crescimento populacional, com altos índices de gases do efeito estufa; Cenário B2 – é um cenário no qual se considera existir sustentabilidade econômica, social e ambiental, no qual a mudança tecnológica é mais difusa com ênfase nas iniciativas comunitárias e inovação social, em lugar de soluções globais, além de possuir baixa emissão de gases do efeito estufa. Utilizou-se o método de Thornthwaite-Mather (1955) para o cálculo do balanço hídrico climatológico do município de Taubaté, assumindo-se um valor de água armazenada no solo (CAD) igual a 100 mm (Sentelhas et al., 1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Segundo a metodologia de Thornthwaite e Mather (1955), a evapotranspiração é calculada em função da temperatura do ar. Como as previsões do modelo HadCM3 são em um ponto de grade que representa uma área grande (250 X 250 km² aproximadamente) e a região de Taubaté possui um desnível topográfico acentuado (Serras do Mar e da Mantiqueira), optou-se por comparar e corrigir os dados de temperatura e precipitação do modelo HadCM3 em função dos dados observacionais do posto meteorológico da UNITAU. A comparação foi feita para o período de 1992-2005 e os resultados estão na Figura 1.

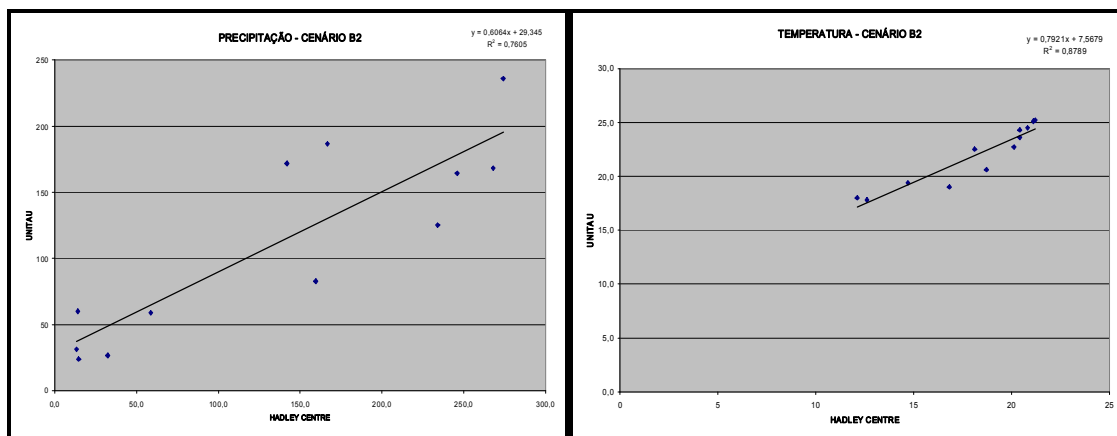


Figura 1: Comparação entre os dados observacionais da UNITAU e as simulações do HadCM3 para o elemento climático precipitação (esquerda) e de temperatura do ar (direita).

Após esta análise observacional dos dados de precipitação e temperatura e sua correção, realizou-se o BH, para o período de 1992-2005 (considerado como sendo o atual regime hidrológico) e outros três períodos futuros: 2010-2029, 2040-2069 e 2070-2099. Todos estes três novos períodos tiveram uma média climatológica de trinta anos de dados, para observar as recomendações da Organização Mundial de Meteorologia (OMM). Por questões de espaço, os dados do BH para os casos futuros não serão apresentados, mas somente a variação em relação ao BH-I (Tabela 2).

Tabela-1. Balanço Hídrico – I: município de Taubaté (1992-2005).

BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO- MUNICÍPIO DE TAUBATÉ (1992-2005)											
MÊS	T	ETT mm	Cor	ETP mm	P mm	P-ETP	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
JAN	25,0	116,75	1,15	134	236	102	100	0	134	0	102
FEV	25,1	117,92	1,00	118	187	69	100	0	118	0	69
MAR	24,2	107,67	1,05	113	172	59	100	0	113	0	59
ABR	22,5	89,80	0,97	87	59	-28	76	-24	83	4	0
MAI	19,4	62,08	0,95	59	60	1	77	1	59	0	0
JUN	18,0	51,52	0,89	46	24	-22	61	-15	39	7	0
JUL	17,8	50,10	0,94	47	31	-16	52	-9	40	7	0
AGO	18,9	58,17	0,98	57	27	-30	39	-14	41	16	0
SET	20,6	72,09	1,00	72	83	11	50	11	72	0	0
OUT	22,7	91,81	1,09	100	125	25	75	25	100	0	0
NOV	23,5	100,08	1,10	110	164	54	100	25	110	0	29
DEZ	24,5	111,02	1,17	130	168	38	100	0	130	0	38
ANO	21,9	-	-	1073	1336	263	-	0	1039	34	297

Fonte: Horikoshi, 2007

Analisando-se o Balanço Hídrico atual (1992-2005), observa-se de que há um total anual de precipitação de 1336 mm, associado a uma evapotranspiração anual de 1073 mm, com um superávit de água de 263 mm. Este BH apresenta quatro meses de deficiência de água (no valor integrado anual de 34 mm) e cinco meses de excedente de água (totalizando 297 mm). O armazenamento mínimo de água no solo foi de 39 mm. Resumindo, não ocorre falta de água, o aporte de água é superior a demanda evapotranspirativa.

A Tabela 2 apresenta um resumo das variações dos componentes do BH para os diferentes cenários (A2 e B2) e períodos de 30 anos, em relação aos elementos climáticos do Balanço Hídrico – I, que representa as condições atuais. Considerando-se o cenário A2 e os Balanços Hídricos para os períodos de 2010-2039 (BH-II), 2040-2069 (BH-IV) e 2070-2099 (BH-VI), observa-se que a precipitação aumenta durante este período, bem como a evapotranspiração, uma vez que este último é função da temperatura do ar (que aumenta também). A diferença de água (precipitação – evapotranspiração) diminui abruptamente, principalmente para os últimos trinta anos, quando a evapotranspiração será superior a precipitação em 16 mm. A deficiência de água chega a ser de até sete meses (para os casos de 2040-2069 e 2070-2099), com déficit integrados de 41 mm e 111 mm, respectivamente. Associado a este comportamento, o excedente diminui continuamente até atingir o valor de 95 mm no período de 2069-2070. Este fato representa que a Deficiência de água chega a atingir um valor de 77 mm a mais do que seu valor no BH-I (atual), associado a uma redução do excedente de 202 mm (Tabela 2). Os números para o caso B2 também são similares, porém um pouco inferior ao caso A2. Para o último período (2070-2099), a precipitação ainda é superior (100 mm) a evapotranspiração, o que provoca déficits de água menores e excedentes de água levemente superiores ao do cenário A2. Mas o comportamento geral é o mesmo.

Tabela 2. Resumo das variações temporais dos componentes do BH para os diferentes cenários A2 e B2, relativos ao Balanço Hídrico – I.

Componentes do Balanço Hídrico	A2			B2		
	BH-II	BH-IV	BH-VI	BH-III	BH-V	BH-VII
Temperatura (°C)	+ 0,5	+2,0	+3,7	+0,8	+1,6	+2,4
Precipitação (mm)	+85	+76	+150	-31	-22	+88
Precipitação - Evapotranspiração (mm)	+300	+133	-16	+165	+83	+100
Deficiência (mm)	-29	+7	+77	+11	+32	+54
Excedente (mm)	+8	-123	-202	-87	-148	-209

CONCLUSÕES: De uma forma geral, os cenários climáticos futuros apontam um aumento na temperatura do ar, variando entre + 0,5 °C a + 2,7 °C para o cenário A2 e entre + 0,8 °C e + 2,4 °C para o cenário B2, aumento na precipitação (entre 85 mm e 150 mm para o cenário A2 e entre -31 mm e 88 mm para o cenário B2). Estes resultados provocarão um aumento do déficit de água (de até 77 mm para o período de 2070-2099 no cenário A2 e um pouco menor (54 mm) para o cenário B2), associado a uma diminuição do excedente hídrico (ao redor de 200 mm para ambos cenários). Em resumo, o clima estará mais quente, sendo que a estiagem será mais longa (de um a dois meses mais). O total anual da precipitação será um pouco mais elevado, com uma diminuição durante o verão e um leve aumento na época do inverno. Este aumento de precipitação não será suficiente para manter os níveis de evapotranspiração, pois este será muito maior, em função do aumento da temperatura do ar. Estes resultados estão coerentes com as estimativas globais realizadas pelo Relatório STERN (2006) e pelo IPCC (2007). Recentemente, o CEIVAP (2006) publicou um relatório sobre o Plano de Recursos Hídricos na região do Rio Paraíba do Sul e apontou que, considerando o ano de 2005, não existe falta de água na Bacia para as atividades atuais. Este fato também foi obtido pela análise do Balanço Hídrico – I e por FISCH (1995). Um ponto a ser considerado é que os estudos do CEIVAP (2006) somente levaram em conta as características hidroclimatológicas atuais (série temporal das vazões e precipitações), associado a um crescimento urbano e demanda de água nas mesmas proporções. O ponto falho é não considerar os cenários climáticos futuros (como, por exemplo, nestas simulações do Hadley Center/CPTEC-INPE), pois a atmosfera tem um papel fundamental no ciclo hidrológico, através da ação do Homem

na liberação de gases do efeito estufa, balanço de radiação da atmosfera e também na formação de nuvens e chuvas correspondentes.

AGRADECIMENTOS: Ao Dr. José Antonio Marengo Orsini (CPTEC/INPE) pela cessão dos dados de temperatura e precipitação provenientes das simulação climática do modelo HadCM3.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- CEIVAP - Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Resumo do Diagnóstico dos Recursos Hídricos – Relatório Final, PSR 010-R, 2006. Disponível em: www.ceivap.org.br. Acessado em: 21 de fevereiro de 2007.
- FISCH, G., 1995. Caracterização climática e balanço hídrico de Taubaté (SP). Universidade de Taubaté, Revista Biociências, vol.1, nº 1.
- HORIKOSHI, A.S. 2007. Balanço Hídrico Atual e perspectivas futuras para Taubaté, SP. Universidade de Taubaté (UNITAU), Programa de Ciências Ambientais. Dissertação, 89 p.
- INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC, 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Summary for policymakers, URL: <http://www.ipcc.ch> (Acesso em 02 de fevereiro de 2007).
- JOHNS, T. C.; et al., 1997. “The second Hadley Centre coupled ocean-atmosphere GCM: Model description, spinup and validation”. *Climate Dynamics*, 16: 103-134.
- NOBRE, C.; SELLERS, P. & SHUKLA, J., 1991. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate* 4: 957-988.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P. C., 2002. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*, Guaíba, Agropecuária, 478p.
- SENTELHAS, P.C., PEREIRA, A.R., et al. *Balanço Hídrico Climatológico no Brasil* (CD-ROM). ESALQ/USP – Piracicaba, 1999.
- THORNTHWAITE, C.W., MATHER, R.J., 1955. *The water balance*. New Jersey: Laboratory of Climatology, v. 8, 104 p. (Publication in Climatology).
- STERN, N., 2006. *Stern Review on the economics of climate change*, URL: <http://www.hm-treasury.gov.uk> (Acesso em 8 de dezembro de 2006).