

ESTIMATIVA DA DESCARGA FLUVIAL PARA OS ESTUÁRIOS DO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

Estimation of the freshwater river discharge to estuaries in Ceará State, Brazil

Mauricio Mussi Molisani¹, André Luiz Viana Cruz², Luís Parente Maia³

RESUMO

O presente estudo visa à aplicação de equações semi-empíricas para a estimativa quantitativa e qualitativa da descarga fluvial para os estuários do Estado do Ceará. A transferência de água doce para os estuários está relacionada em parte às condições meteorológicas da região que apresentam uma grande variabilidade na intensidade de chuvas, sendo os fluxos de muitos dos rios para os respectivos estuários intermitentes durante o período da seca. Do mesmo modo, a maior parte dos rios do Estado do Ceará vem sofrendo profundas modificações nas suas características devido à construção de açudes que em muitos casos torna a vazão dos rios para os estuários controlados pela afluência dos açudes de acordo com a rotina de operação das barragens.

Palavras-chaves: estuário, descarga fluvial, modelagem numérica.

ABSTRACT

This work aimed, applying numerical models, to perform quantitative and qualitative analyses of the freshwater river discharge into estuaries in Ceará State. The freshwater discharges into estuaries are highly influenced by specific semi-arid / tropical hydroclimatological conditions which provide periods of rainfall absence. During drought periods the rivers are ephemeral and freshwater discharge into estuaries is reduced. At the same time, Ceará State Rivers have suffered enormous modification of discharge regime due to damming, and thus, for most estuaries, regulated dam discharges control the freshwater inflow.

Key words: estuary, freshwater discharge, numerical modeling.

¹ Bolsista do Programa de Desenvolvimento Científico e Regional (FUNCAP/CNPq), Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, CEP: 60165-081, Fortaleza, CE, Brasil, E-mail: mauricio@labomar.ufc.br

² Bolsista CNPq e Mestrando do Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, CEP: 60455-760, Fortaleza, CE, Brasil.

³ Professor Adjunto do Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará.

INTRODUÇÃO

A descarga fluvial é um importante parâmetro na determinação da circulação hidrodinâmica dos estuários, e a interação dinâmica entre esta grandeza e a componente marinha estabelecem condições que estimulam a produtividade biológica destes ambientes, ao mesmo tempo em que tornam estas áreas muito atrativas e intensamente utilizadas para o desenvolvimento das sociedades humanas ao longo dos tempos (Ketchum, 1983).

Por outro lado, a quantificação do aporte fluvial para os estuários é de difícil determinação devido à reduzida malha amostral para a obtenção de dados fluviométricos representativos de longo período, ao mesmo tempo em que a localização das redes de medição disponíveis está muitas vezes a montante dos estuários, inserindo erros consideráveis na estimativa da vazão resultante para estas áreas (Miranda *et al.*, 2002). Deste modo, a utilização de modelos matemáticos vem sendo uma alternativa prática e relativamente precisa na estimativa da descarga fluvial para os estuários, onde há carência de informações sobre a vazão dos rios para a zona costeira.

O cenário descrito acima é perfeitamente aplicável para os estuários do Estado do Ceará em que a ocupação humana se faz cada vez mais intensa, ao mesmo tempo em que informações sobre suas características (*e.g.* aporte fluvial), a susceptibilidade e capacidade suporte diante das pressões ambientais de origem antrópica são escassas. Deste modo, considerando a importância e limitação na geração de séries temporais sobre a descarga fluvial para os estuários, o presente estudo visa à aplicação de equações semi-empíricas para uma estimativa quantitativa e qualitativa do fluxo fluvial de água doce para os estuários do Estado do Ceará, que irá disponibilizar informações referenciais sobre esta grandeza para a utilização em estudos oceanográficos em estuários.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

Este estudo visa à caracterização do aporte fluvial de água para os principais estuários do Estado do Ceará. Esta estimativa foi realizada para os estuários dos rios Timonha, Remédios/Tapuí, Coreaú, Acaraú, Zumbi, Aracatimirim, Aracatiaçu, Mundaú, Curú localizados no litoral oeste do estado; os estuários dos rios Ceará, Cocó e Pacoti localizados na região metropolitana de Fortaleza; e dos estuários dos rios Malcozinhado, Choró, Pirangi e Jaguaribe localizados no litoral leste do estado.

Metodologia para o cálculo dos fluxos fluviais para os estuários

Por definição, a taxa de escoamento superficial (Δf) é a parcela da taxa de precipitação (r) que, escoando da bacia de drenagem para os rios, irá fornecer um volume hídrico para o sistema estuarino (ou qualquer ambiente costeiro). A fração adimensional ($\Delta f/r$) pode ser calculada empiricamente com a clássica equação estabelecida por Schreiber (1904):

$$\frac{\Delta f}{r} = e^{-E_0/r} \quad (\text{Eq. 1})$$

em que E_0 e r indicam taxas médias anuais de evapotranspiração potencial e de precipitação, respectivamente.

O primeiro membro da Equação 1 é denominado razão de escoamento superficial, que é dependente da precipitação e da evaporação. Esta última, por sua vez, depende da intensidade da radiação solar e , em consequência, da temperatura do ar. A razão de escoamento superficial é um número adimensional que decresce exponencialmente entre os valores extremos de 0 e 1 quando $E_0 > r$ e $E_0 < r$, respectivamente, e representa a fração da água da chuva que vai ser escoada superficialmente. A taxa de evapotranspiração potencial decresce acentuadamente com o decréscimo da temperatura. A dependência da razão de escoamento superficial com a latitude foi obtida experimentalmente com dados de bacias de drenagem representativas da Europa, Ásia, Austrália, América do Norte e América do Sul, incluindo as bacias dos Rios Amazonas e São Francisco. Embora essa dependência apresentasse um maior espalhamento em baixas latitudes, foi possível confirmar a base científica da equação de Schreiber (1904) e estabelecer, com o ajuste de uma curva média, a seguinte equação de E_0 em função da média da temperatura absoluta do ar (T) na superfície (Holland, 1978).

$$E_0 = 1.0 \times 10^9 \times e^{-4620/T} \quad (\text{Eq. 2})$$

Nessa equação, a temperatura é expressa em graus Kelvin (K) e E_0 é calculada em cm/ano. Esse método somente fornece valores representativos quando são utilizados dados de temperatura e precipitação médios mensais ou anuais de longos períodos de tempo (Kjerfve, 1990).

Assim a estimativa da razão de escoamento superficial requer o conhecimento da temperatura superficial do ar e da precipitação médias. Sendo assim, conhecendo-se a área total da bacia de drenagem (A) e o intervalo de tempo Δt utilizado no cálculo dos valores médios anuais de E_0 e r , a descarga fluvial é dada pela seguinte equação:

$$Q = \iint r \times \frac{\Delta f}{r} \times dA \quad (\text{Eq. 3})$$

É oportuno observar nessa equação que a descarga fluvial calculada pelo produto da taxa de precipitação pela área (rA), muitas vezes utilizada como uma estimativa menos rigorosa da descarga, é corrigida pela razão de escoamento superficial ($\Delta f/r$). O cálculo de Q com essa equação expressada em volume por tempo (L^3/T), ou seja, em cm^3/ano de acordo com as unidades indicadas acima. Entretanto, com um fator de conversão de unidades conveniente, pode-se obter a descarga fluvial em m^3/s e, portanto, no Sistema Internacional de Unidades (SI).

Para bacias de drenagem muito extensas, os resultados da descarga fluvial são mais representativos se forem utilizados dados médios de temperatura do ar e da precipitação em sub-bacias. Dessa forma, cada bacia de drenagem adjacente ao estuário estudado foi dividida em sub-bacias com a mesma faixa de altitude (0-200, 200-400, 400-600, 600-800 m, etc). Para cada sub-bacia foi feita a medição da área e determinando um valor médio de pluviosidade e temperatura para as estações de chuvas (janeiro - junho) e seca (julho - dezembro). A medição da área de cada bacia e sub-bacia foi realizada utilizando o Programa ArcView e uma base cartográfica digitalizada e geo-referenciada, produto resultante da interpolação de curvas de nível e pontos cotados extraídos da base cartográfica digital do Estado do Ceará (escala 1:100.000) criada pela COGERH (Cia. de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará) e consistida e complementada pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil).

Os dados de pluviosidade foram obtidos de uma extensa malha amostral distribuída ao longo dos municípios do Estado do Ceará que é operada pela Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME, 2004). Os dados correspondentes a cada sub-bacia são relativos a valores médios mensais de precipitação oriundos de séries temporais que variam de 5 até 30 anos. Os dados de temperatura também são oriundos de informações obtidas também pela FUNCEME. Para áreas sem informações sobre temperatura, principalmente regiões em maiores altitudes, foram utilizadas um fator de correção dos dados das estações meteorológicas considerando, em condições adiabáticas, a diminuição da temperatura em -0.97°C a cada elevação de 100 m (List, 1996). Os valores de descarga fluvial para todos os estuários foram obtidos a partir de resultados parciais de cada sub-bacia, cuja somatória é a estimativa da descarga média de longo período.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Validação do modelo

Para a validação do modelo e a verificação da sua aplicabilidade para a região, descargas simuladas através do método utilizado foram comparadas com vazões medidas em uma seção fluvial monitorada por estação fluviométrica. A área escolhida foi a bacia de drenagem do Rio Jaguaribe, na região de Iguatu, onde havia um posto fluviométrico que coletava dados mensais de vazão durante o período de 1970 até 1992 (Duursma, 2002). Segundo os dados medidos, o fluxo fluvial médio \pm desvio padrão na seção fluvial do Rio Jaguaribe obtido para o período amostrado foi $33 \pm 44 \text{ m}^3/\text{s}$. Os resultados da aplicação do modelo proposto para este trecho do Rio Jaguaribe para o mesmo período mostraram uma vazão de $44 \pm 85 \text{ m}^3/\text{s}$. Como a vazão calculada a partir do modelo não foi considerada estatisticamente diferente ($t = 0,33$; $p = 1,80$; $P > 0,05$) da descarga média medida, conclui-se que o modelo é robusto e aplicável para as outras bacias de drenagem sob a influencia do clima semi-árido/tropical, tendo sido aplicado com sucesso em diversos ambientes costeiros no Brasil (Medeiros & Kjerfve, 1993; Kjerfve *et al.*, 1997; Molisani *et al.* In press) e no exterior (Patchineelam *et al.*, 1999; Restrepo & Kjerfve, 2000).

Análise de sensibilidade do modelo

A análise de sensibilidade do modelo mostra que a variação simulada de $\pm 1^\circ\text{C}$ nos valores de temperatura $\pm 10 \text{ mm}$ nos valores de precipitação resultam em correspondentes variações de 14% e 4%, respectivamente, nos valores de descarga.

Estimativa do aporte fluvial para os principais estuários do Estado do Ceará

Os resultados apresentados na Tabela I mostram que as bacias de drenagem dos rios Aracatimirim e Zumbi têm vazões $< 1 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo o fluxo fluvial para o estuário adjacente intermitente durante as estações de chuva e seca. As bacias de drenagem dos rios Malcozinhado, Remédios/Tapuio, Timonha contribuem com uma descarga fluvial média para seus estuários na ordem de 2, 1 e $22 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente, durante o período de chuvas. Segundo o modelo proposto estes rios apresentam vazões $< 1 \text{ m}^3/\text{s}$, sendo considerados intermitentes durante o período de estiagem.

As bacias analisadas são caracterizadas como não possuidoras de açudes segundo a base cartográfica utilizada, porém não se pode descartar a presença açudes que nela não foram incluídos, o que pode ocasionar em modificações no fluxo fluvial estimado para os estuários como, por exemplo, ocorreu com o Rio

Malcozinhado. Portanto, é de se esperar que o fluxo fluvial calculado para seu estuário não seja representativo da estimativa do presente estudo, principalmente no período de seca, onde o fluxo para o estuário passa ser regularizado pela afluência do açude. Por outro lado, considerando a ordem de grandeza das afluências apresentadas para outros açudes monitorados pela COGERH, pode-se esperar que os resultados apresentados sejam uma razoável aproximação das condições atuais do aporte do Rio Malcozinhado para o estuário.

Os fluxos de água do Rio Timonha foram comparados com a vazão média obtida através do monitoramento realizado pela Agência Nacional de Águas para este ambiente fluvial (ANA, 2004), sendo uma validação adicional do modelo. Segundo estas informações, as vazões estão em concordância, sendo as diferenças entre os valores medido ($6 \text{ m}^3/\text{s}$) e calculado pelo modelo ($\sim 11 \text{ m}^3/\text{s}$) devidas ao reduzido período de amostragem (2000 - 2002), enquanto que as médias obtidas pelo modelo são relativas a uma série temporal de até 30 anos, englobando uma maior variação de eventos meteorológicos e hidrológicos da bacia de drenagem. Do mesmo modo, as diferenças podem estar relacionadas ao efeito da pequena açudagem que não foi detectada pela base cartográfica e/ou à posição da estação fluviométrica na bacia do Rio Timonha (a montante do estuário). Portanto, as validações do modelo mostraram que os dados de vazão calculados são representativos do aporte das bacias estudadas para seus estuários.

As vazões para os estuários onde as bacias de drenagem apresentam a formação de açudes ao longo do curso fluvial detectados pela base cartográfica foram calculadas através do somatório da vazão das seções fluviais a jusante dos reservatórios, obtidas segundo o modelo empregado, e dos dados sobre a afluência e descargas dos reservatórios monitorados pela COGERH.

A vazão resultante da bacia de drenagem para o estuário do Rio Cocó foi estimada considerando o escoamento superficial da bacia a jusante do açude Gavião e a afluência do açude regularizada e monitorada pela COGERH (Tabela II). Segundo o balanço proposto, a vazão média de longo período resultante para o estuário do Rio Cocó foi estimada em 6 e $3 \text{ m}^3/\text{s}$ durante os períodos de chuva e seca, respectivamente. De acordo com a estimativa durante o período de chuvas o escoamento da bacia de drenagem a jusante do açude Gavião e a afluência do açude têm importâncias similares no fluxo resultante para o estuário. Por outro lado, no período de seca a vazão fluvial para o estuário é controlada principalmente pela descarga regularizada do açude, pois, segundo o cálculo do escoamento superficial da bacia de drenagem, o Cocó torna-se um rio intermitente durante o período de seca.

A bacia de drenagem do Rio Pacoti é em grande parte regularizada pela construção de açudes ao longo da bacia, muitos construídos sequencialmente ao longo do canal fluvial, como os açudes Acarapé do Meio e Pacoti. A vazão fluvial para seu estuário foi calculada através do somatório do escoamento superficial da área a jusante do açude Pacoti (açude mais a jusante da bacia de drenagem) e da afluência do açude, que é regularizada e monitorada pela COGERH (Tabela III). De acordo com os resultados, a vazão fluvial média resultante para o estuário do Rio Pacoti foi calculada em 19 e $1 \text{ m}^3/\text{s}$ para os períodos de chuva e de estiagem, respectivamente, sendo controlada pela afluência do açude Pacoti durante o período de chuvas.

A vazão fluvial para o estuário do Rio Coreau foi calculada considerando o escoamento superficial da área a jusante do açude Angicos, que é o principal açude da bacia, e a afluência regularizada deste açude (Tabela IV). O escoamento superficial relativo à área a jusante do açude Angicos (em torno de 3.828 km^2) é de $30 \text{ m}^3/\text{s}$ durante o período de chuva, enquanto que no período de seca esta seção do rio se torna intermitente. O aporte fluvial para o estuário foi estimado em 32 e $< 1 \text{ m}^3/\text{s}$ durante os períodos de chuva e seca, respectivamente, tendo como principal agente controlador o escoamento superficial da seção fluvial a jusante do açude Angicos.

Os açudes ao longo da bacia de drenagem do Rio Choró tornam a vazão na bacia regularizada, sendo sua estimativa baseada no escoamento superficial da área a jusante do açude Pacajus. A Tabela V apresenta os dados meteorológicos usados para o cálculo do escoamento superficial da área a jusante do açude Pacajus, bem como a afluência do açude e a vazão resultante para o estuário do Rio Choró.

O escoamento superficial da bacia de drenagem do Rio Acaraú é regularizado por vários açudes dispostos ao longo do curso fluvial, de modo que a vazão resultante para o estuário foi calculada considerando o escoamento superficial relativo à área a jusante do conjunto de açudes ao longo da bacia de drenagem e o somatório das afluências dos açudes Acaraú-Mirim, Ayres de Souza, Arrebita, Forquilha. O somatório das afluências utilizado na estimativa não considera açudes da bacia de drenagem do Rio Acaraú, como os açudes Paulo Sarasate e Edison Queiroz, que não são monitorados pela COGERH. Portanto, as vazões estimadas para o estuário podem estar subestimadas, embora as descargas destes reservatórios tenham importância significativa no aporte para o estuário somente no período de estiagem (Tabela VI). O aporte para o estuário do Rio Acaraú foi estimado em 31 e $< 1 \text{ m}^3/\text{s}$ durante os períodos de chuva e estiagem, respectivamente, sendo este fluxo preferencialmente determinado pela vazão relativa à área da bacia de drena-

gem a jusante dos açudes no período de chuvas, enquanto que no período de seca a vazão seja controlada pela afluência dos açudes.

A vazão fluvial para o estuário do Rio Curú foi estimada considerando a afluência dos açudes que regularizam grande parte da bacia de drenagem e do escoamento superficial da área da bacia de drenagem a jusante dos açudes (Tabela VII). Segundo os dados obtidos, as afluições dos açudes Frios, Caxitoré, General Sampaio, Tejuçuoca transferem uma vazão de 15 e $<1 \text{ m}^3/\text{s}$, e a bacia de drenagem a jusante dos açudes contribui para o estuário com uma vazão de 6 e $<1 \text{ m}^3/\text{s}$ durante os períodos de chuva e seca, respectivamente. Desse modo, o aporte fluvial para o estuário do Rio Curú totaliza um fluxo médio que varia de 21 e $1 \text{ m}^3/\text{s}$ entre os períodos de chuva e seca, respectivamente, sendo a vazão resultante em grande parte determinada pelas afluições dos açudes ao longo da bacia.

Para os estuários cujas bacias de drenagem contribuintes possuem açudes de afluência não monitorada, o fluxo fluvial foi estimado considerando somente o escoamento superficial relativo área da bacia a jusante dos açudes (Tabela VIII). Assim, os estuários do Rio Aracatiaçu, Rio Ceará, Rio Mundaú e Rio Pirangi recebem, respectivamente, aportes de 9, 5, 12

e $15 \text{ m}^3/\text{s}$ durante o período de chuvas. No período de estiagem, esses rios tornam-se intermitentes com vazões médias de $< 1 \text{ m}^3/\text{s}$. Por ter-se considerado somente o escoamento natural da bacia a jusante dos açudes, os fluxos de água para estes estuários podem estar subestimados. Porém, devido à localização dos açudes em áreas a montante da bacia de drenagem rios estudados (as áreas regularizadas pelos açudes variam de 1 a 20% da área total das bacias) e considerando as ordens de grandeza das afluições de outros açudes monitorados pela COGERH, pode-se esperar que as descargas dos açudes destas bacias tenham um papel importante somente no período de seca, enquanto que no período de chuvas, os aportes fluviais sejam mais representativos no fluxo resultante para os respectivos estuários.

Considerando a complexidade da bacia de drenagem do Rio Jaguaribe, que possui 11 grandes açudes e outros tantos de menor porte, o presente estudo optou pela utilização dos dados de Campos *et al.* (2000), que estimou a descarga líquida para o estuário para uma série temporal de longo prazo. Segundo este trabalho, até a década de 60 o estuário do Rio Jaguaribe recebia uma descarga líquida média de $112 \text{ m}^3/\text{s}$, que decresceu para $48 \text{ m}^3/\text{s}$ devido à construção de alguns açudes que aumentaram a regularização da bacia.

Tabela I - Sumário dos dados meteorológicos e da vazão calculada para os períodos de chuva/estiagem para os estuários cujas bacias de drenagem não possuem açudes detectados pela base cartográfica usada pelo presente estudo.

Bacia de drenagem	Área (km ²)	T (°C)	Precipitação (mm)	E_0 (mm)	$\Delta f/r$	Q(m ³ /s)
Rio Aracatimirim	166	27,7 / 26,0	841 / 76	213 / 195	0,08 / ~ 0	< 1
Rio Malcozinhado	279	27,7 / 26,0	914 / 127	210 / 195	0,10 / ~ 0	2 / < 1
Rio Remédios/ Tapuio	171	27,7 / 26,3	956 / 36	213 / 195	0,11 / ~ 0	1 / < 1
Rio Timonha	1862	26,2 / 25,2 ^a	1089 / 81 ^a	197 / 187 ^a	0,17 / ~ 0 ^a	22 / < 1
Rio Zumbi	30	27,7 / 26,0	1009 / 66	205 / 195	0,13 / ~ 0	< 1

^a Média ponderada pela área da bacia de drenagem.

Tabela II - Sumário dos dados meteorológicos e hídricos utilizados para a estimativa da vazão fluvial nos períodos de chuva/seca para o estuário do Rio Cocó.

Bacia de drenagem do Rio Cocó	Área (km ²)	T (°C)	Precipitação (mm)	E_0 (mm)	$\Delta f/r$	Q (m ³ /s)
Área a jusante do açude Gavião	308	27,0 / 26,0 ^a	1089 / 234 ^a	205 / 194 ^a	0,15 / ~ 0 ^a	3 / < 1
Afluência do açude Gavião ^b						3 / 3
Vazão resultante para o estuário ^c						6 / 3

^a Média ponderada pela área da bacia de drenagem.

^b Monitorada pela COGERH.

^c Somatório entre o escoamento superficial da bacia de drenagem e a afluência do açude.

Tabela III - Sumário dos dados meteorológicos e hídricos utilizados para a estimativa da vazão fluvial nos períodos de chuva/seca para o estuário do Rio Pacoti.

Bacia de drenagem do Rio Pacoti	Área (km ²)	T (°C)	Precipitação (mm)	E ₀ (mm)	Δf/r	Q (m ³ /s)
Área a jusante do açude Pacoti	141	27,2 / 26,3	1140 / 247	205 / 195	0,17 / ~ 0	2 / <1
Afluência do açude Pacoti ^a						17 / 1
Vazão resultante para o estuário ^b						19 / 1

^a Monitorada pela COGERH.

^b Somatório entre o escoamento superficial da bacia de drenagem e a afluência do açude.

Tabela IV - Sumário dos dados meteorológicos e hídricos utilizados para a estimativa da vazão resultante nos períodos de chuva/seca para o estuário do Rio Coreaú.

Bacia de drenagem do Rio Coreaú	Área (km ²)	T (°C)	Precipitação (mm)	E ₀ (mm)	Δf/r	Q (m ³ /s)
Área a jusante do açude Angicos	3.828	26,5 / 25,1 ^a	947 / 75 ^a	195 / 184 ^a	0,13 / ~ 0 ^a	30 / <1
Afluência do açude Angicos ^b						2 / <1
Vazão resultante para o estuário ^c						32 / <1

^a Média ponderada pela área da bacia de drenagem.

^b Monitorada pela COGERH.

^c Somatório entre o escoamento superficial da bacia de drenagem e a afluência do açude.

Tabela V - Sumário dos dados meteorológicos e hídricos utilizados para a estimativa da vazão resultante nos períodos de chuva/seca para o estuário do Rio Choró.

Bacia de drenagem do Rio Choro	Área (km ²)	T (°C)	Precipitação (mm)	E ₀ (mm)	Δf/r	Q (m ³ /s)
Área a jusante do açude Pacajus	250	27,0 / 26,1	784 / 101	205 / 195	0,07 / ~ 0	1 / <1
Afluência do açude Pacajus ^a						8 / 1
Vazão resultante para o estuário ^b						9 / 1

^a Monitorada pela COGERH.

^b somatório entre o escoamento superficial da bacia de drenagem e a afluência do açude.

Tabela VI - Sumário dos dados meteorológicos e hídricos utilizados para a estimativa da vazão resultante nos períodos de chuva/seca para o estuário do Rio Acaraú.

Bacia de drenagem do Rio Acaraú	Área (km ²)	T (°C)	Precipitação (mm)	E ₀ (mm)	Δf/r	Q (m ³ /s)
Área a jusante dos açudes	6688	26,5/25,5 ^a	758/58 ^a	200/194 ^a	0,07/ ~0 ^a	24/<1
Afluência do açude Acaraú-Mirim ^b						1/<1
Afluência do açude Ayres Souza ^b						3/<1
Afluência do açude Arrebita ^b						1/<1
Afluência do açude Forquilha ^b						2/<1
Vazão resultante para o estuário ^c						31/1

^a Média ponderada pela área.

^b Monitorada pela COGERH.

^c Somatório entre o escoamento superficial da bacia de drenagem e a afluência dos açudes.

Tabela VII - Sumário dos dados meteorológicos e hídricos utilizados para a estimativa da vazão resultante para o estuário do Rio Curú nos períodos de chuva/seca.

Bacia de drenagem do Rio Curú	Área (km ²)	T (°C)	Precipitação (mm)	E ₀ (mm)	Δf/r	Q (m ³ /s)
Área a jusante dos açudes	1891	26,9 / 25,9	765 / 93	205 / 197	0,26 / ~ 0	6 / <1
Afluência do açude Frios ^a						2 / <1
Afluência do açude Caxitoré ^a						5 / <1
Afluência do açude General Sampaio ^a						7 / <1
Afluência do açude Tejuçuoca ^a						1 / <1
Vazão resultante para o estuário ^b						21 / 1

^a Monitorada pela COGERH

^b somatório entre o escoamento superficial da bacia de drenagem e a afluência dos açudes

Tabela VIII - Sumário dos dados meteorológicos e da vazão calculada para os períodos de chuva/seca para os estuários os quais as bacias de drenagem contribuintes possuem açudes de afluência não monitorada.

Bacia de drenagem	Área (km ²)	T (°C)	Precipitação (mm)	E ₀ (mm)	Δf/r	Q (m ³ /s)
Rio Aracatiaçu (açude Aracatiaçu ^b)	2.069	26,9 / 25,9 ^a	807 / 67	204/194 ^a	0,09 / ~ 0 ^a	9 / < 1
Rio Ceará (açude Toque e Macacos ^b)	406	26,8 / 25,8 ^a	980 / 189	203/194 ^a	0,13 / ~ 0 ^a	5 / < 1
Rio Mundaú (açude Poço Verde ^b)	1.758	26,5 / 25,5 ^a	926 / 103 ^a	201/191 ^a	0,12 / ~ 0 ^a	12 / < 1
Rio Pirangi (açude Medeiros ^b)	3.791	27,0 / 26,0	793 / 91	205/195	0,08 / ~ 0	15 / < 1

^aMédia ponderada pela área.

^bOs dados são representativos da área a jusante dos açudes até o estuário.

CONCLUSÕES

O aporte fluvial para os estuários é determinado em parte pelas condições meteorológicas da região, que apresentam uma grande variabilidade anual e interanual da intensidade de chuvas proporcionando uma reduzida precipitação principalmente durante a estação de seca, o que reduz de forma significativa a vazão dos rios, sendo muitos deles intermitentes durante o período da seca, e conseqüentemente do fluxo fluvial para os estuários. Por outro lado, a maior parte dos rios estudados vem sofrendo profundas modificações nas suas características devido à formação de açudes que, em muitos casos, torna a vazão dos rios e do fluxo para o estuário controlado por sua afluência de acordo com a rotina de operação das barragens. Portanto, fatores naturais e antrópicos são importantes condicionantes no transporte fluvial de água para os estuários estudados.

A aplicação do modelo matemático para a estimativa da descarga fluvial para os estuários do Estado do Ceará se mostrou um método prático devido à extensa malha amostral de dados meteorológicos para o estado. Porém, é importante salientar as limitações da aplicação de modelos matemáticos, que sugerem que os resultados obtidos pelo presente estudo não sejam considerados como uma estimativa final das descargas fluviais para os estuários do estado, mas uma hipótese a ser testada novamente por outros trabalhos envolvendo a física estuarina. Entretanto o método empregado se mostrou eficiente na estimativa de ordem de grandeza do fluxo fluvial para a zona costeira sendo perfeitamente considerado para estudos da oceanografia física estuarina.

Agradecimentos - Este estudo faz parte do projeto "Zoneamento Ecológico e Econômico da Zona Costeira do Estado do Ceará" financiado Superintendência Estadual de Meio Ambiente do Estado do Ceará. Os autores agradecem à Fundação Cearense de Meteorologia (FUNCEME) e à Cia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) pela disponibilização dos dados meteorológicos e hidrológicos

utilizados nesse estudo; e CNPq/FUNCAP-CE pela concessão de bolsa DCR (MM Molisani). Este trabalho faz parte do projeto Instituto do Milênio (CNPq/MCT/420050/2005-1).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA, Sistema de informações hidrológicas [on-line]. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/hidroweb/> <acessado em 30 de Novembro de 2004>.
- Duursma, E. *Rainfall, river flow and temperature profile trends: consequences for water resource*, Heineken, Amsterdam, Netherlands, 2002.
- FUNCEME, Fundação Cearense de Meteorologia. Séries históricas dos dados pluviométricos. Disponível em <http://www.funceme.br> <acessado em 20 de Novembro de 2004>.
- Holland, H.D. *The chemistry of the atmosphere and oceans*. Wiley, 351 p., New York, 1978.
- Ketchum, B.M. *Estuaries and enclosed seas*. Elsevier (Ecosystems of the World), 500 p., Amsterdam, 1983.
- Kjerfve, B. *Manual for investigation of hydrological processes in mangrove ecosystems*. Unesco/United Nations Development Program Regional Mangrove Project RAS 79/002 and RAS/86/120, p.79, 1990.
- Kjerfve, B.; Ribeiro, C.H.; Dias, G.T. & Fillippo, A.M. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. *Contin. Shelf Res.*, v.17, n.13, p.1609-1643, 1997.
- Medeiros, C. & Kjerfve, B. Hydrology of a tropical estuarine system: Itamaracá, Brazil. *Est. Coast. Shelf Sci.*, v. 36, p.495-515, 1993.
- Miranda, L.B.; Castro, B.M. & Kjerfve, B. *Princípios de Oceanografia Física de estuários*. Editora da Universidade de São Paulo, 414 p., São Paulo, 2002.
- Molisani, M.M; Kjerfve, B.; Silva, A.P.; Lacerda, L.D. Water discharge and sediment load to Sepetiba Bay from an anthropogenically-altered drainage basin, SE Brazil. *J. Hydrol.* (In Press).

Campos, J.N.B.; Studart, T.M.C.; Franco, S. & Luna, R. *Hydrological transformations in Jaguaribe River basin during the 20th Century*. Hydrology Days, Colorado State University, Denver, 2000.

List, R. J. *Smithsonian meteorological tables - 6th edition.*, Smithsonian Institution, 527 p., Washington, 1966.

Patchineelam S.M.; Kjerfve, B. & Gardner, L.R. A preliminary sediment budget for the Winyah Bay

estuary, South Carolina, USA. *Mar.Geol.* v.162, n.1, p.133-144, 1999.

Restrepo, J.D. & Kjerfve, B. Water discharge and sediment load from the western slopes of the Colombian Andes with focus on Rio San Juan. *J. Geol.*, v.108, p.17-33, 2000.

Schreiber, P. Ueber die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserführung der Flüsse in Mitteleuropa. *Meteorologische Zeitungen*, v.21, p.441-52, 1904.