

Vazões Consumidas pela Irrigação e pelos Abastecimentos Animal e Humano (Urbano e Rural) na Bacia do Paracatu no Período de 1970 a 1996

Renata del Giudice Rodriguez, Fernando Falco Pruski, Luciano Farias de Novaes,
Demetrius David da Silva, Márcio Mota Ramos, Alessandro Freitas Teixeira

Departamento de Engenharia Agrícola – UFV - Viçosa, MG.

ms45944@vicosa.ufv.br; ffruski@ufv.br; lnovaes@vicosa.ufv.br; david@ufv.br; mmramos@ufv.br; aft@cientec.br.

Recebido: 04/02/05 revisado: 05/05/05 aceito: 10/03/06

RESUMO

O rio Paracatu é o afluente com a maior contribuição para o rio São Francisco. Conflitos pelo uso da água na bacia do Paracatu iniciaram, a partir da década de 1970, com a intensificação do processo de sua ocupação econômica. Tendo em vista o crescente uso dos recursos hídricos na bacia do Paracatu, o presente trabalho teve como objetivo analisar o comportamento das vazões consumidas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano (urbano e rural) de 1970 a 1996 nesta bacia e o impacto das vazões consumidas pelos segmentos analisado. A estimativa das vazões consumidas pela irrigação e pelo abastecimento animal foram realizadas com base nos dados dos censos agropecuários, enquanto as vazões consumidas pelo abastecimento humano (urbano e rural) foram estimadas com base nos dados dos censos demográficos. As vazões consumidas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e urbano tiveram crescimento durante o período estudado, enquanto a vazão consumida pelo abastecimento rural diminuiu com o tempo. A taxa de crescimento do consumo de água na bacia foi de $0,20\text{m}^3\text{ s}^{-1}\text{ ano}^{-1}$, sendo $0,19\text{ m}^3\text{ s}^{-1}\text{ ano}^{-1}$ correspondente ao aumento do consumo de água pela irrigação. Embora a vazão consumida no mês de maior demanda, para as 18 seções analisadas, tenha representado de 3,8% a 71,2% da $Q_{7,10}$ no ano de 1996, a vazão consumida apresentou pouca influência na vazão média de longa duração.

Palavras-chave: Usos consuntivos; gestão de recursos hídricos; demanda de água.

INTRODUÇÃO

Entre 1900 e 1995 o consumo de água em atividades humanas cresceu seis vezes, enquanto a população mundial não chegou a triplicar (IRC, 1997). Atualmente, mais de um bilhão de habitantes não tem acesso ao abastecimento de água de boa qualidade, sendo que 40% da população mundial vive em regiões onde a disponibilidade de água já impõe restrições para o seu uso, percentual que deve atingir 65% em 2025 (Cunha, 2003). Segundo Selborne (2001), se a população mundial aumentar 65% nos próximos cinquenta anos, cerca de 70 % dos habitantes do planeta enfrentarão deficiências no suprimento de água, e 16% deles não terão água bastante para satisfazer sua alimentação básica.

O conhecimento das vazões consumidas pelos diversos usuários da água é de suma importância para subsidiar a tomada de decisão na gestão de recursos hídricos, uma vez que permite determinar a sua disponibilidade no tempo e no espaço, ou seja, identificar áreas em que este recurso encontra-se ou pode vir a se tornar escasso.

A bacia do rio Paracatu, situada no Médio São Francisco, embora represente apenas 7,3% da área da bacia do São Francisco, drenando uma área de aproximadamente 45.600 km^2 (Brasil, 1996), apresenta a maior proporção de contribuição (20,8%) para a formação da vazão do rio São Francisco (Pereira, 2004).

Conflitos pelo uso da água na bacia do Paracatu iniciaram, a partir da década de 1970, com o início do processo de sua ocupação econômica, advindo, principalmente, de ações governamentais, como o Plano de Desenvolvimento Integrado do Noroeste Mineiro (PLANOROESTE), sendo evidenciado, a partir daí, um grande crescimento da agricultura irrigada na região (Brasil, 1996).

Tendo em vista o crescente uso dos recursos hídricos na bacia do Paracatu, o presente trabalho teve como objetivo analisar o comportamento das vazões consumidas nesta bacia pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano (urbano e rural) de 1970 a 1996 e o impacto das vazões consumidas pelos segmentos analisado.

Tabela 1 - Estações fluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km ²)	Curso d'Água
42250000	Faz.Limociro	17° 54' 56"	47° 00' 38"	470	Rio Claro
42251000	Faz. Cor. do Ouro	17° 36' 48"	46° 51' 31"	1840	Rio Escuro
42255000	Faz. Nolasco	17° 13' 48"	47° 01' 20"	257	Ribeirão Santa Isabel
42257000	Barra do Escurinho	17° 30' 45"	46° 38' 46"	2.013	Ribeirão Escurinho
42395000	Santa Rosa	17° 15' 19"	46° 28' 26"	12.880	Rio Paracatu
42435000	Faz. Barra da Égua	16° 52' 28"	46° 35' 12"	1.594	Ribeirão Barra da Égua
42440000	Faz. Poções	17° 02' 31"	46° 49' 04"	533	Ribeirão São Pedro
42460000	Faz. Limeira	16° 12' 35"	47° 13' 58"	3.830	Rio Preto
42490000	Unai	16° 20' 58"	46° 52' 48"	5.250	Rio Preto
42540000	Sto Ant. do Boqueirão	16° 31' 47"	46° 43' 16"	5.840	Rio Preto
42545500	Faz. o Resfriado	16° 30' 10"	46° 39' 46"	704	Ribeirão Roncador
42546000	Faz. Santa Cruz	16° 08' 06"	46° 44' 52"	530	Rio Salobro
42600000	Porto dos Poções	16° 50' 23"	46° 21' 26"	9.370	Rio Preto
42750000	Caatinga	17° 08' 45"	45° 52' 49"	30.230	Rio Paracatu
42840000	Veredas	18° 08' 19"	45° 45' 32"	190	Rio Santo Antônio
42850000	Cachoeira das Almas	17° 21' 02"	45° 31' 57"	4.350	Rio do Sono
42860000	Cachoeira do Paredão	17° 07' 16"	45° 26' 08"	5.660	Rio do Sono
42980000	Porto Alegre	16° 46' 29"	45° 22' 55"	40.300	Rio Paracatu

MATERIAL E MÉTODOS

Estimativa das vazões consumidas pelos quatro segmentos de usuários

A estimativa das vazões consumidas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano (urbano e rural) foi realizada para o Distrito Federal e para cada um dos 21 municípios pertencentes à bacia do Paracatu. Foram estimadas as vazões consumidas para a área de drenagem correspondente a 18 estações fluviométricas pertencente à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA) situada na bacia do Paracatu (Tabela 1). A vazão consumida por cada tipo de usuário foi obtida pelo somatório das vazões relativas a todos municípios pertencentes à área de drenagem considerada.

No cálculo da vazão consumida para o abastecimento urbano considerou-se que se a sede do município encontra-se na área de drenagem analisada toda a população atendida está na área de drenagem e, portanto, toda a vazão consumida foi computada nesta área de drenagem. Para o cálculo da vazão consumida pela irrigação e para os abastecimentos animal e rural foi considerado o critério de proporcionalidade da área do município localizada na área de drenagem considerada.

Na Tabela 2 estão apresentados os municípios pertencentes à bacia, as suas respectivas áreas e a porcentagem dessas áreas dentro da bacia.

As vazões consumidas pela irrigação e pelo abastecimento animal foram estimadas com base nos dados dos censos agropecuários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para os anos de 1970, 1975, 1980 e 1996 (último ano do censo agropecuário) e as vazões consumidas pelo abastecimento humano (urbano e rural) foram estimadas com base nos dados dos censos demográficos do IBGE para os anos de 1970, 1980, 1991 e 2000 (último ano do censo demográfico).

Na seqüência descreve-se o procedimento utilizado para o cálculo das vazões consumidas por cada um dos quatro segmentos de usuários considerados neste estudo.

Irrigação

A vazão de retirada pela irrigação foi estimada com base na irrigação total necessária e na área irrigada para cada cultura em cada mês no município, sendo determinada pela equação

$$Q_{m,i} = \sum_{i=1}^{en} \left[\frac{ET_{rc,m,m} - P_{ef,m,m}}{E_a} \right] A_{m,i,c,m} 10.000 \quad (1)$$

em que

- $Q_{m,i}$ = vazão de retirada pela irrigação no município, L d⁻¹;
 $ET_{rc,m,m}$ = evapotranspiração real da cultura para cada mês no município, mm d⁻¹;
 $P_{ef,m,m}$ = precipitação efetiva mensal no município, mm d⁻¹;
 E_a = eficiência de aplicação, adimensional;
 $A_{m,i,c,m}$ = área irrigada para a cultura no município em cada mês, ha; e
 cn = número de culturas irrigadas no município.

A evapotranspiração real das culturas foi estimada com base na evapotranspiração potencial da cultura de referência, calculada pelo método de Penman-Monteith, nos coeficientes das culturas (K_c), no coeficiente que depende da umidade do solo (K_s) e no coeficiente que considera a percentagem de área molhada (Kl) para o caso da irrigação localizada.

Para cada cultura foi associado o método de irrigação de uso mais freqüente, sendo o método de irrigação por aspersão associado às culturas temporárias e o de irrigação localizada às culturas permanentes. Considerando os resultados obtidos por Ramos e Pruski (2003) em estudo pertinente à quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na bacia do São Francisco foram adotados os valores de 0,81 e 0,88 para o K_s e de 0,70 e 0,79 para a E_a para as irrigações por aspersão e localizada, respectivamente. A precipitação efetiva foi obtida pelo método proposto pelo boletim 24 da FAO (Doorenbos e Pruitt, 1977).

Em relação ao valor kl (coeficiente de percentagem de área molhada) este foi considerado igual a 1, conforme recomendado por Fereres (1981) para condições em que a percentagem de sombreamento é superior a 65%.

Em virtude da ausência de dados censitários referentes à área irrigada de cada cultura em cada mês no município, necessitou-se proceder à sua estimativa a partir das informações existentes. Para tal foi necessário estimar um valor inicial da área irrigada para cada cultura no município, sendo esse valor posteriormente corrigido pela multiplicação por um fator de correção que permitiu que a soma das áreas irrigadas para cada cultura fosse igual à área irrigada total do município (apresentada no censo).

Tabela 2 - Municípios pertencentes à bacia do Paracatu, suas respectivas áreas e as porcentagens destas áreas dentro da bacia no ano de 2000

Estado	Municípios	Área do Município (km ²)	% da Área do Município Pertencente à Bacia
MG	Bonfinópolis de Minas	1.778	9,2
	Brasilândia de Minas	7.226	96,9
	Buritizeiro	2.515	47,5
	Cabecira Grande	1.026	100,0
	Dom Bosco	8.22	98,9
	Guarda Mor	2.066	56,0
	João Pinheiro	10.717	100,0
	Lagamar	1.473	77,9
	Lagoa Grande	1.220	100,0
	Natalândia	471	100,0
	Paracatu	8.232	77,0
	Patos de Minas	3.189	2,6
	Presidente Olegário	3.531	85,7
	Santa Fé de Minas	2.917	77,7
	São Gonçalo do Abaeté	2.687	0,6
Unaí	8.464	64,7	
Varjão de Minas	653	4,0	
Vazante	1.903	100,0	
GO	Cabeciras	1.128	50,4
	Cristalina	6.161	5,4
	Formosa	5.807	21,4
DF	Distrito Federal	5.802	22,9

A área irrigada de cada cultura e em cada ano no município foi estimada pela equação

$$A_{m,i,c,a} = A_{m,i,c,a,vi} \cdot fc \quad (2)$$

em que

- $A_{m,i,c,a}$ = área irrigada da cultura em cada ano no município, ha;
 $A_{m,i,c,a,vi}$ = estimativa inicial da área irrigada da cultura a cada ano no município, ha; e
 fc = fator de correção da área irrigada no município, adimensional.

A estimativa inicial da área irrigada de cada cultura e cada ano no município foi feita pela equação

$$A_{m,i,c,a,vi} = \frac{A_{e,i,c,a}}{A_{e,c,c,a}} A_{m,c,c,a} \quad (3)$$

em que

- $A_{e,i,c,a}$ = área irrigada da cultura em cada ano no estado, ha (obtida nos censos agropecuários do IBGE);
 $A_{e,c,c,a}$ = área colhida da cultura em cada ano no estado, ha (obtida nos censos agropecuários do IBGE); e
 $A_{m,c,c,a}$ = área colhida da cultura em cada ano no município, ha (obtida nos censos agropecuários do IBGE).

O fator de correção foi determinado pela equação

$$fc = \frac{A_{m,i,t,a}}{\sum_{i=1}^{em} A_{m,i,c,a,vi}} \quad (4)$$

em que $A_{m,i,t,a}$ é a área total irrigada no município no ano, ha (obtida nos censos agropecuários do IBGE).

Para as culturas permanentes, a área irrigada da cultura em cada ano no município foi mantida constante em cada mês, entretanto para as culturas temporárias foi necessária a estimativa da área irrigada de cada cultura em cada mês no município, sendo o procedimento dessa estimativa descrito a seguir.

Em virtude da ausência de dados censitários referentes à área colhida de cada cultura, em cada mês no município e no censo, essa área foi determinada pela equação

$$A_{m,c,c,m} = A_{m,c,c,a} fc_{e,c,c,mi} \quad (5)$$

em que

- $A_{m,c,c,m}$ = área colhida da cultura em determinado mês no município, ha (obtida nos censos agropecuários do IBGE); e
 $fc_{e,c,c,mi}$ = fator de correção da área colhida da cultura no mês i no estado.

O fator de correção da área colhida da cultura do mês i no estado foi estimado pela equação

$$fc_{e,c,c,mi} = \frac{A_{e,c,c,mi}}{A_{e,c,c,a}} \quad (6)$$

em que $A_{e,c,c,mi}$ é a área colhida da cultura do mês i no estado, ha (obtida nos censos agropecuários do IBGE).

A fim de caracterizar a distribuição da área irrigada no transcorrer do ano somaram-se, da menor para a maior, as áreas colhidas da cultura, em cada mês, no município até a obtenção da área total irrigada da cultura por ano no município. As áreas colhidas que não foram computadas para a obtenção da área total irrigada foram consideradas áreas onde não ocorreu irrigação.

Depois de obtidas as áreas irrigadas por mês da cultura no município, procedeu-se a uma defasagem correspondente ao ciclo da cultura, visando à obtenção da data de plantio, a partir da qual se fez o cálculo de vazão requerida pela irrigação.

A área irrigada por mês no município foi obtida considerando todas as áreas irrigadas por mês de cada cultura existente, entretanto 20% dessa área foi considerada ociosa, o que corresponde a dizer que essa área permaneceu sem a presença de cultura durante 20% do tempo.

As perdas por percolação e escoamento ocorridas na aplicação da água para cada tipo de irrigação foram consideradas como retorno, não sendo consideradas as perdas ocorridas na condução da água. Portanto, a vazão de retorno foi obtida pela equação

$$Q_{m,i,r} = \sum_{i=1}^{em} \frac{ET_{rc,m,m} P_{ef,m,m}}{E_a} A_{m,i,c,m} 10.000 (P_p + P_{esc}) \quad (7)$$

em que

- $Q_{m,i,r}$ = vazão de retorno referente à irrigação no município, $L d^{-1}$;
 P_p = perdas por percolação, adimensional;
 P_{esc} = perdas por escoamento, adimensional.

As perdas por percolação mais as perdas por escoamento foram estimadas pela equação

$$(P_p + P_{esc}) = 1 - P_{evp} - E_a \quad (8)$$

em que P_{evp} são as perdas por evaporação, adimensional.

Para os sistemas de irrigação por aspersão foi adotada uma perda por evaporação igual a 10,9% (Ramos e Pruski, 2003), enquanto para os sistemas de irrigação localizada esta perda foi considerada nula.

A vazão consumida pela irrigação foi determinada pela diferença entre a vazão de retirada e a vazão de retorno.

Abastecimento animal

A vazão de retirada para o abastecimento animal foi obtida pela equação

$$Q_{m,a} = \sum (P_{m,ay} q_{a,y}) \quad (9)$$

em que

- $Q_{m,a}$ = Vazão de retirada para o abastecimento animal no município, L d⁻¹;
 $P_{m,ay}$ = número de cabeças do rebanho para cada espécie animal no município, cab (obtido no censo agropecuário do IBGE); e
 q_{ay} = Vazão “per capita” para cada espécie animal, L d⁻¹cab⁻¹.

Para a determinação da vazão per capita correspondente a cada espécie animal foram utilizados os critérios propostos pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA (2003) no documento “Base de Referência para o Plano Nacional de Recursos Hídricos”, no qual foi adotada a vazão per capita por espécie animal contida em Rebouças et al. (1999). A vazão per capita para aves, não disponível em Rebouças et al. (1999), foi obtida em CORSAN (1991). A vazão de retorno foi considerada igual a 20% da vazão de retirada e a vazão consumida foi obtida pela diferença entre a vazão de retirada e a vazão de retorno.

Abastecimento humano urbano

A vazão de retirada para o abastecimento urbano em cada município foi obtida pela equação

$$Q_{m,u} = (P_{m,u,a} q_{m,u}) \quad (10)$$

em que

- $Q_{m,u}$ = vazão de retirada para o abastecimento humano urbano no município, L d⁻¹;
 $P_{m,u,a}$ = população urbana do município abastecida pelo Sistema Público de Abastecimento de Água, hab; e
 $q_{m,u}$ = vazão “per capita” para o município, L hab⁻¹ d⁻¹.

Quando a população abastecida foi maior que a urbana, considerou-se como população urba-

na abastecida pelo Sistema Público de Abastecimento de Água a própria população urbana, porém quando a população abastecida foi menor que a urbana, considerou-se toda a população abastecida como a população urbana abastecida.

Tendo em vista a inexistência de dados referentes à população abastecida pelo Sistema Público de Abastecimento de Água nos censos demográficos, esta foi estimada pela equação

$$P_{m,a} = D_{m,a} \frac{P_{m,u}}{D_{m,u}} \quad (11)$$

em que

- $P_{m,a}$ = população abastecida pelo Sistema Público de Abastecimento de Água no município, hab;
 $D_{m,u}$ = domicílios urbanos no município, unidade (obtidos nos censos demográficos do IBGE);
 $D_{m,a}$ = domicílios abastecidos pelo Sistema Público de Abastecimento no município, unidade (obtidos nos censos demográficos do IBGE); e
 $P_{m,u}$ = população urbana no município, hab (obtida nos censos demográficos do IBGE).

A vazão “per capita” para os municípios cujas sedes se localizam dentro da bacia do Paracatu foi estimada pela equação

$$q_{m,u} = \frac{V_{m,u,d}}{P_{m,u,a}} \quad (12)$$

em que

- $q_{m,u}$ = vazão “per capita” no município, L hab⁻¹ d⁻¹; e
 $V_{m,u,d}$ = volume de água distribuído no município, L d⁻¹ (obtido da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do IBGE, 2000).

A Norma Brasileira 9649 da ABNT recomenda, na falta de valores experimentais, o valor de 0,8 para o coeficiente de retorno (Alem Sobrinho e Tsutiya, 1999). A vazão consumida foi obtida pela diferença entre a vazão de retirada e a vazão de retorno.

Abastecimento humano rural

A vazão de retirada para abastecimento rural, por município, foi estimada considerando duas situações, conforme os itens subseqüentes.

a) População abastecida pelo sistema público maior que a população urbana

Neste caso, parte da população rural do município esta sendo abastecida pelo Sistema Público de Abastecimento de Água. Logo, a população considerada no abastecimento rural do município foi estimada considerando toda a população rural, tanto a abastecida quanto a não-abastecida. Portanto, a vazão retirada para o abastecimento rural no município foi estimada pela equação

$$Q_{m,r} = P_{m,r,a} q_{m,u} + P_{m,r,\tilde{a}} q_{m,r} \quad (13)$$

em que

- $Q_{m,r}$ = vazão de retirada para o abastecimento rural no município, L d⁻¹;
- $P_{m,r,a}$ = população do meio rural abastecida pelo Sistema Público de Abastecimento de Água, hab;
- $P_{m,r,\tilde{a}}$ = população do meio rural não-abastecida pelo Sistema Público de Abastecimento de Água, hab; e
- $q_{m,r}$ = vazão “per capita” no meio rural, L hab⁻¹ d⁻¹.

A população rural abastecida pelo Sistema Público de Abastecimento de Água no município foi obtida pela equação

$$P_{m,r,a} = P_{m,a} - P_{m,u} \quad (14)$$

A população rural não-abastecida pelo Sistema Público de Abastecimento de Água foi estimada pela equação

$$P_{m,r,\tilde{a}} = P_{m,t} - P_{m,a} \quad (15)$$

em que $P_{m,t}$ é a população total do município, hab (obtida nos censos demográficos do IBGE).

A vazão “per capita” no meio rural foram utilizados os critérios propostos pela ANA (2003), no documento “Base de Referência para o Plano Nacional de Recursos Hídricos”.

b) População abastecida pelo sistema público menor que a população urbana

A vazão retirada para o abastecimento rural no município foi estimada pela equação

$$Q_{m,r} = P_{m,rt} q_{m,r} \quad (16)$$

em que $P_{m,rt}$ é a população total considerada para o abastecimento rural no município, hab.

A população considerada no cálculo do abastecimento rural no município foi estimada pela equação

$$P_{m,rt} = P_{m,r} + P_{m,u,\tilde{a}} \quad (17)$$

em que

- $P_{m,r}$ = população residente no meio rural no município, hab (obtida nos censos demográficos do IBGE); e
- $P_{m,u,\tilde{a}}$ = população urbana não-abastecida pelo Sistema Público de Abastecimento de Água no município, hab.

A população urbana não-abastecida foi estimada pela equação

$$P_{m,u,\tilde{a}} = P_{m,u} - P_{m,a} \quad (18)$$

O fato de geralmente inexistirem sistemas para a condução das vazões de retorno aos mananciais de águas superficiais no meio rural não implica na inexistência do retorno das vazões de retiradas, uma vez que este passa a ocorrer através do reabastecimento do lençol freático e conseqüente escoamento subterrâneo. Embora se reconheça que o retorno deva ser inferior ao do abastecimento urbano, considera-se que ele não deva ser desprezado. Pela consulta à literatura não foi possível identificar nenhum valor de referência para este coeficiente, entretanto acredita-se que um valor da ordem de 0,5 possa constituir em um referencial para início de análise. Portanto, a vazão de retorno foi considerada igual a 50% da vazão de retirada e a vazão consumida foi obtida pela diferença entre a vazão de retirada e a vazão de retorno.

Estimativa das vazões médias de longa duração e das vazões mínimas de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos

Estimou-se, com base no período de 1970 a 1996, a vazão média anual de longa duração e a vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) para 18 estações fluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da

Agência Nacional de Águas (ANA), situadas na bacia do Paracatu (Tabela 1).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comportamento das vazões consumidas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano no período de 1970 a 1996

Na Figura 1 apresenta-se o comportamento das vazões consumidas pela irrigação, pelo abastecimento animal e pelo abastecimento humano (urbano e rural) no período de 1970 a 2000, na estação Porto Alegre, a qual corresponde a 88% da área de drenagem total da bacia e até onde se encontra 99,6% da área irrigada da bacia. Nas demais estações analisadas evidenciou-se comportamento semelhante ao descrito para a estação Porto Alegre. A vazão consumida pela irrigação é representada, nessa figura, por uma linha de tendência relativa às vazões médias anuais consumidas por esse setor. A análise das vazões consumidas pela irrigação e pelo abastecimento animal foi feita até o ano de 1996, tendo em vista ser esse o ano de realização do último censo agropecuário.

Evidenciou-se que em 1970, ano de realização do primeiro censo no período considerado, o principal consumidor era o abastecimento animal, sendo esse correspondente a 63% do total consumido ($0,44 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), a irrigação responsável por 17% do consumo, o abastecimento rural 19% e o abastecimento urbano 2%, o que indica a predominância da população rural em relação à população urbana nessa época.

Em 1975, ano correspondente ao segundo censo considerado no estudo, o consumo pela irrigação superou o abastecimento animal, refletindo os incentivos governamentais implantados na bacia visando a expansão da fronteira agrícola. A taxa média de crescimento da vazão consumida pela irrigação no período de 1970 a 1996 foi de $0,19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, muito superior às taxas médias de crescimento dos demais consumos, que foram de $0,0029 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para o abastecimento urbano e $0,010 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para o abastecimento animal. Para o abastecimento rural houve a redução de $0,00092 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O consumo médio pela irrigação em 1996 foi de 87% do consumo total, sendo a taxa de crescimento do consumo de água na bacia de $0,20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Visando uma melhor representação do comportamento das vazões consumidas pelos abastecimentos animal e humano (urbano e rural), não

visualizado adequadamente na Figura 1, em função da sua pequena ordem de grandeza em relação à irrigação, na Figura 2 se apresenta apenas o comportamento relativo a esses três segmentos. As acentuadas mudanças nas linhas de tendência das vazões consumidas pelos três segmentos de usuários estudados estão associadas aos anos de realização dos censos, uma vez que as vazões dos anos intermediários àqueles em que houve censos foram obtidas pela interpolação linear das vazões correspondentes aos censos imediatamente anterior e posterior ao ano considerado.

A vazão consumida pelo abastecimento animal aumentou aproximadamente 50% no período de 1970 a 1996, com uma taxa de crescimento de $0,010 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

O maior crescimento é evidenciado no período de 1970 a 1975, correspondendo a um aumento de 27% no consumo de água e a uma taxa de crescimento da vazão de $0,021 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, podendo este ser justificado, sobretudo, pelo crescimento expressivo da pecuária de corte na bacia, com um aumento de mais de 63% do rebanho bovino nos municípios de João Pinheiro, Unaí e Paracatu. No período de 1975 a 1980, a taxa de crescimento diminuiu para $0,0069 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, aumentou para $0,0116 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no período de 1980 a 1985 e voltou a diminuir para $0,0068 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ no período de 1985 a 1996.

Em relação à vazão consumida para o abastecimento rural, evidenciou-se que esta cresceu apenas no período de 1970 a 1980, sendo a taxa de crescimento de $0,0018 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, decorrente do crescimento tanto da população rural abastecida (65 hab ano^{-1}) quanto da população rural não-abastecida (262 hab ano^{-1}). A partir de 1980, a vazão consumida passou a decrescer a uma taxa de $0,0022 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo essa redução decorrente da diminuição tanto da população rural não-abastecida (743 hab ano^{-1}) como da população rural abastecida (18 hab ano^{-1}), resultante da migração da população do meio rural para os núcleos urbanos, em virtude do acentuado crescimento econômico evidenciado na bacia nesse período. Como reflexo dessa migração, a vazão consumida para o abastecimento urbano cresceu no período de 1970 a 2000 a uma taxa de $0,0029 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo esta praticamente mantida constante ao longo do período considerado.

A Figura 3 representa a variação das vazões médias mensais consumidas pela irrigação e a linha representativa da vazão média anual consumida por esse segmento na estação Porto Alegre, no período de 1970 a 1996.

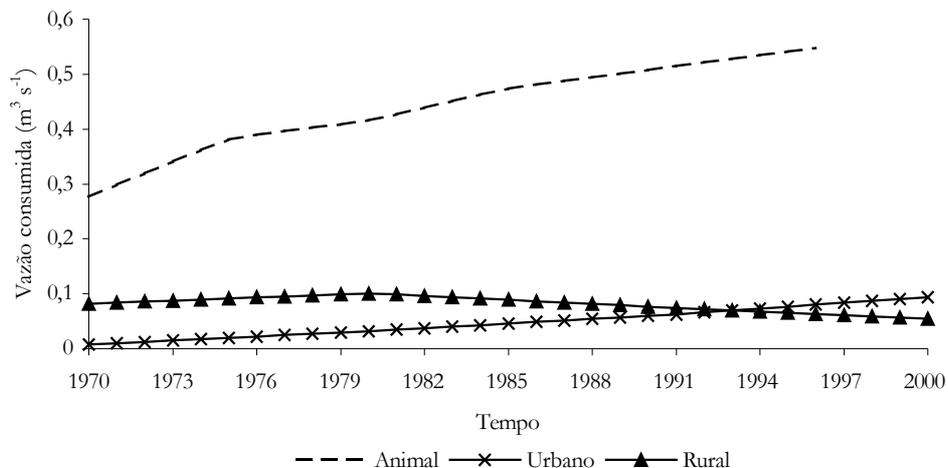


Figura 1 - Vazão consumida, até a seção Porto Alegre, pela irrigação, pelo abastecimento animal e pelo abastecimento humano (urbano e rural) no período de 1970 a 2000.

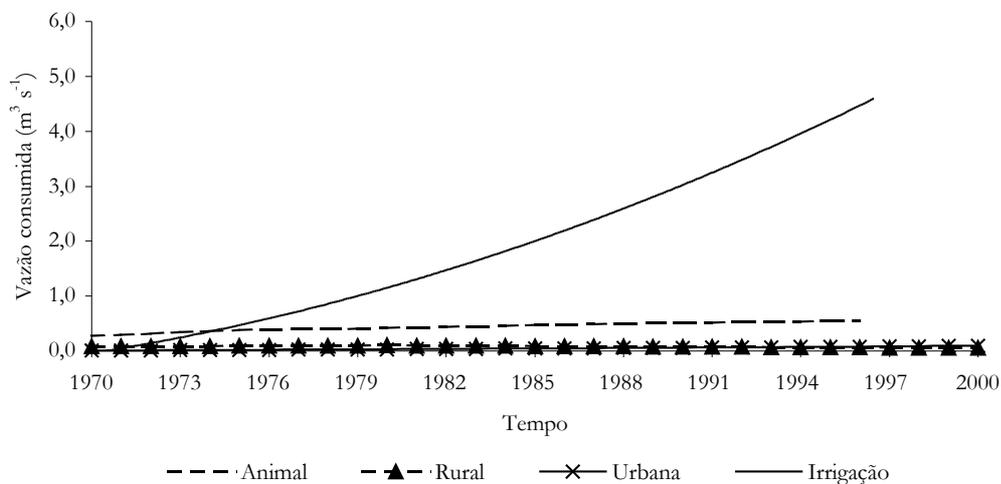


Figura 2 - Vazões consumidas pelos abastecimentos animal e humano (urbano e rural) na estação Porto Alegre no período de 1970 a 2000.

As grandes variações das vazões médias mensais consumidas pela irrigação são decorrentes das expressivas mudanças das variáveis climáticas que interferem diretamente na disponibilidade natural de água para as culturas ao longo do tempo, visto que a bacia apresenta, segundo a classificação de Köppen, um clima tropical chuvoso típico, com as chuvas concentradas na primavera, no verão (outubro a fevereiro) e sendo a estação seca bem definida e evidenciada no período de junho a setembro.

A vazão média anual consumida pela irrigação apresenta, conforme mencionado anteriormente, acentuada tendência de crescimento, sendo o comportamento dessa variável determinado, principalmente, pelo crescimento da área irrigada (Figura 4) no período de análise. De 1970 a 1996, a vazão média anual consumida pela irrigação na seção Porto Alegre aumentou de 0,072 para 4,46 m³ s⁻¹, representando um crescimento de 62 vezes, enquanto a área irrigada cresceu de 5 para 365 km², correspondendo a um aumento de 73 vezes.

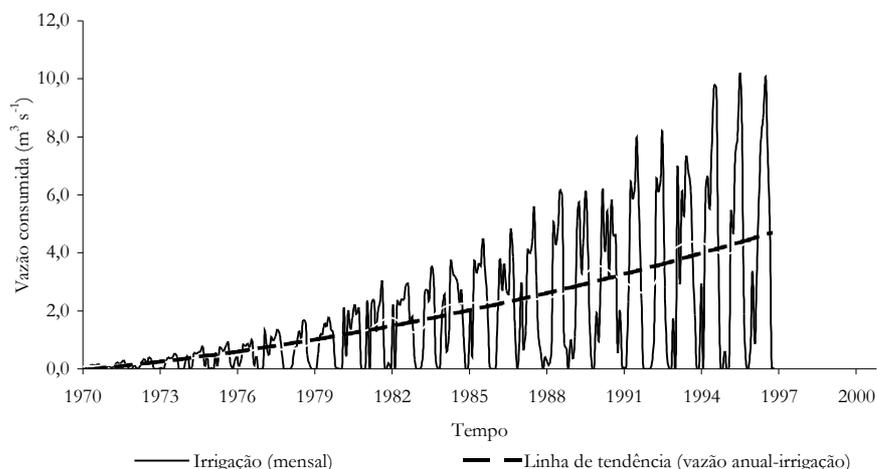


Figura 3 - Vazões médias mensais e anuais consumidas pela irrigação na estação Porto Alegre, no período de 1970 a 1996.

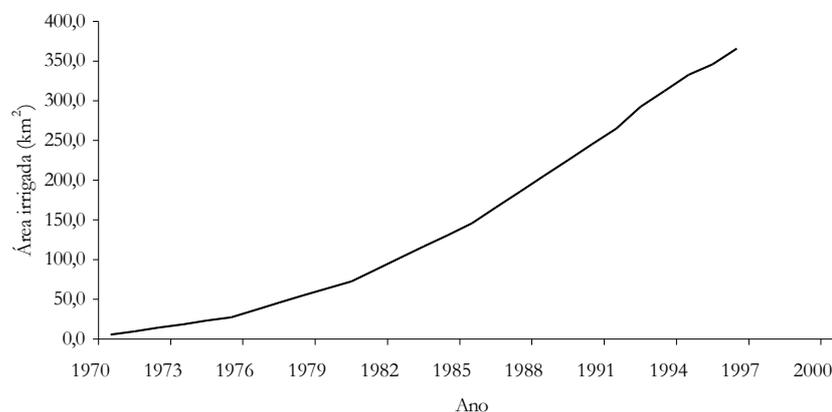


Figura 4 - Área irrigada na área de drenagem da estação Porto Alegre, no período de 1970 a 1996.

Cabe salientar que a área irrigada estimada até a estação de Porto Alegre em 1996 (366,3 km²) representa 98,6% da área irrigada mencionada no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Paracatu – PLANPAR nesse mesmo ano, a qual foi estimada a partir de dados obtidos em levantamento realizado no campo, ao contrário do valor utilizado neste trabalho, conseguido de dados censitários.

Impacto na vazão média de longa duração e na $Q_{7,10}$

Para a análise do impacto da vazão consumida na vazão média de longa duração e na $Q_{7,10}$, selecionou-se a estação Porto Alegre, por representar um comportamento geral da bacia; as estações Fazenda Entre Ribeiros e Veredas onde se verificaram o maior e o menor impacto das vazões consumidas, respectivamente. Na Tabela 3, apresentam-se,

para estas estações as vazões consumidas nos anos de 1970, 1980 e 1996 (anos de realização dos censos) pelos quatro segmentos de usuários, as vazões médias de longa duração e as proporções das vazões consumidas em relação às vazões médias de longa duração. Nesta tabela, verifica-se que as vazões consumidas foram, em geral, pouco expressivas em relação à vazão média de longa duração do rio, representando de 0,04 a 2,1% das vazões dos rios nas seções analisadas no ano de 1996.

O impacto das vazões consumidas na vazão média de longa duração chegou a crescer de 1970 a 1996, 21 vezes, na estação Fazenda Barra da Égua, tendo um crescimento de dez vezes na Estação Porto Alegre, a qual se localiza mais próxima à seção de deságüe da bacia do Paracatu.

A pequena proporção das vazões médias de longa duração, consumidas pelos quatro segmentos,

indicou a existência de um potencial para a construção de reservatórios de acumulação, os quais poderão permitir o crescimento das atividades econômicas na bacia sem comprometer a sustentabilidade desse desenvolvimento.

Tabela 3 - Vazão consumida (Q_c) nos anos de 1970, 1980 e 1996, vazão média de longa duração (Q_{mld}) e porcentagem das vazões consumidas em relação à vazão média de longa duração

Estações	Ano	Q_c	Q_{mld}	$\frac{Q_c}{Q_{mld}} \cdot 100$
Veredas	1970	0,001	3,45	0,04
	1980	0,005		0,1
	1996	0,017		0,5
Faz. Barra da Égua	1970	0,017	18,86	0,1
	1980	0,037		0,2
	1996	0,394		2,1
Porto Alegre	1970	0,438	494,56	0,1
	1980	1,699		0,3
	1996	5,154		1,0

Na Tabela 4 se apresentam as vazões consumidas pelos quatro segmentos no mês de maior demanda (agosto) dos anos de 1970, 1980 e 1996, as vazões referentes à $Q_{7,10}$, e os percentuais das vazões consumidas em relação à $Q_{7,10}$. Nessa Tabela, evidencia-se que as vazões consumidas no mês de maior demanda variaram de 3,8% (Veredas) a 71,2% (Fazenda Barra da Égua) no ano de 1996.

Tabela 4 - Vazão consumida no mês de maior consumo ($Q_{c,m}$) nos anos de 1970, 1980 e 1996, $Q_{7,10}$ e porcentagem das vazões consumidas em relação às $Q_{7,10}$

Estações	Ano	$Q_{c,m}$	$Q_{7,10}$	$\frac{Q_{c,m}}{Q_{7,10}} \cdot 100$
Veredas	1970	0,002	0,81	0,2
	1980	0,008		1,0
	1996	0,030		3,8
Faz. Barra da Égua	1970	0,019	1,24	1,6
	1980	0,050		4,0
	1996	0,883		71,2
Porto Alegre	1970	0,528	64,04	0,8
	1980	2,763		4,3
	1996	10,743		16,8

Até 1980 a vazão consumida tinha pouca influência na $Q_{7,10}$, entretanto a vazão consumida em 1996 chegou a representar 71,2% na estação Fazenda

da Barra da Égua, localizada no Ribeirão Entre Ribeiros.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

- as vazões consumidas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e urbano tiveram crescimento durante o período estudado, enquanto a vazão consumida pelo abastecimento rural diminuiu com o tempo;
- a taxa de crescimento do consumo de água na bacia foi de $0,20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo $0,19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ correspondente ao aumento do consumo pela irrigação;
- as vazões consumidas tiveram pouca influência na vazão média de longa duração, indicando a existência de um potencial para a construção de reservatórios de acumulação;
- as vazões consumidas chegaram a representar 71,2% da $Q_{7,10}$ na estação localizada no ribeirão Entre Ribeiros.

REFERÊNCIAS

- ALEM SOBRINHO, P., TSUTIYA, M.T. *Coleta e transporte de esgoto sanitário*. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1ª ed, 548 p. 1999.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Memorial descritivo do cálculo da demanda humana de água contidas no documento "Base de referência do plano nacional de recursos hídricos"*. Nota Técnica 010/SPR/2003. Brasília: Superintendência de Outorgas da Agência Nacional de Águas, 2003b. 30 p.
- BRASIL – Governo Federal. MINAS GERAIS - Governo do Estado. DISTRITO FEDERAL. *Plano Diretor de recursos hídricos da bacia do rio Paracatu – PLANPAR*. S.l.: 1996. v. 1. T. 1. CD-ROM.
- CORSAN. *PRÓ-GUAÍBA: esgotamento sanitário na bacia hidrográfica do Guaíba*. [S. l.: s. n.]: Secretaria do Interior de Obras Públicas, 1991.
- CUNHA, L.V. *O novo paradigma da água. Debate sobre "Água: novos desafios e oportunidade"*. Centro de Informação Européia Jacques Delors. Lisboa, 2003.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. *Las necesidades de agua de los cultivos; FAO irrigation and drainage*. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1977. 144 p. (Paper, 24).

- FERERES, E. *Papel de la fisiología vegetal en la microirrigación. Recomendaciones para el manejo mejorado.* Ponencia em IV Seminário Latinoamericano d Microirrigacion. Barquisimeto, 1981, Venezuela.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Agropecuário*, (1970, 1975, 1980 e 1996).
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Censo Demográfico*, (1970, 1975, 1980, 1991 e 2000).
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*, 2000.
- IRC. “*The World’s Water: is there enough? World water day for 1997*”, Water Newsletter, n. 247, February 1997. International water supply and sanitation centre. The Hague: The Netherlands, 1997.
- MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Base de referência do plano nacional de recursos hídricos.* Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/ srh/ pnrh/ documento /docbase/agrop.doc>>. Acesso em: 15 mar. 2003.
- PEREIRA, S.B. *Evaporação no lago Sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco.* Viçosa: UFV, 2004. 103 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Ambientais) – Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa.
- RAMOS, M.M.; PRUSKI, F.F. Subprojeto 4.3 – *Quantificação e análise da eficiência do uso da água pelo setor agrícola na bacia do São Francisco.* In: Projeto gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco. Viçosa, MG: UFV; ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003. 190 p. (Relatório Final).
- REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.* São Paulo: Ed. Escrituras, 1999. 717 p.
- SELBORNE, L. *A ética do uso da água doce: um levantamento.* Brasília: UNESCO, 2001. 80 p.

catu basin from 1970 to 1996. Estimates of the irrigation and animal supply were performed using data from agricultural censuses. Data from demographic censuses were used for human (urban and rural) supply. The water demand for irrigation and for animal and urban supply grew during the period, while the water demand for rural human supply decreased with time. The rate of growth of water demand in the basin was $0.20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ year}^{-1}$, $0.19 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ year}^{-1}$ corresponding to irrigation.

Key-words: water uses; water resources management; water demand.

Water Demand For Irrigation And For Animal And Human Supply (Urban And Rural) In The Paracatu Basin, 1970- 1996

ABSTRACT

Paracatu river is the tributary with the largest contribution to San Francisco river. Water use conflicts in the Paracatu basin began in the 70's, as economic activities increased in the basin. The main objective of this paper was to analyze the water demand for irrigation and for animal and human supply (urban and rural) in the Para-