

CONSUMO DE ÁGUA TRATADA: UMA APLICAÇÃO DE MODELOS DE SÉRIES TEMPORAIS EM PIRACICABA ¹.

Ana Maria Pereira Amaral²

Ricardo Shiota³

1. INTRODUÇÃO

O objetivo do presente trabalho é estimar uma função consumo de água residencial e total em Piracicaba, estado de São Paulo, analisando os efeitos de variáveis sócio-econômicas e climáticas na quantidade consumida. O conhecimento destes efeitos pode auxiliar no planejamento de abastecimento de água e contribuir com dados para a implementação da Lei 9.433, que prevê cobrança para todos os usos da água.

A necessidade de planejamento do uso da água decorre, fundamentalmente, do descompasso entre a crescente demanda requerida pela concentração populacional e a sua disponibilidade na natureza. A oferta de água é variável no tempo e no espaço. O consumo de água no mundo triplicou no período entre 1950 e 1999, tornando-se escassos em 23 países e atingindo mais de 230 milhões de habitantes. Em alguns países como Tunísia, Israel, Jordânia, Líbia, Malta e territórios palestinos a escassez atinge níveis abaixo de 500 m³/hab/ano, enquanto a necessidade mínima é estimada em 2 mil m³/hab/ano⁴ (França, 1998).

No mundo, 25% da população não tem acesso à água potável com qualidade aceitável e 66% não possui saneamento básico, considerando o ano de 1996 (Hespanhol, 1999).

Estima-se que em 30 anos, a Terra deverá ter uma população de cerca de 8 bilhões. Segundo previsões da Organização das Nações Unidas (ONU), nos próximos 25 anos, 2 bilhões e 800 milhões de pessoas viverão em regiões de seca crônica (Novaes, 1999).

A redução de perdas com a melhoria dos sistemas de distribuição, e a diminuição dos desperdícios pelos usuários pode resultar em uma economia considerável de água. Projetos financiados pelo Banco Mundial, em países em desenvolvimento, apontam que em média,

¹ Este trabalho é uma versão atualizada da tese de doutorado da primeira autora orientado pelo segundo.

² Engenheiro Agrônomo, Dr. Em Economia Aplicada, Pesquisadora Científica do IEA/APTA/SAA. Av. Miguel Stéfano, 3900. São Paulo, CEP 04301903. e-mail: apmaral@iea.sp.gov.br.

³ Engenheiro Agrônomo, Prof. Dr. do Departamento de Economia, Administração e Sociologia Rural, ESALQ/USP. Av. Pádua Dias, 11. Piracicaba, CEP 13418900. CP 9. e-mail: rshiota@esalq.usp.br

36% da água tratada são desperdiçadas, enquanto em sistemas eficientes e bem administrados, as perdas variam entre 10 e 15%. No Brasil existe uma diferença da ordem de 40% entre a água tratada e o valor faturado (Salati et al., 1999). Metade disso é perda física decorrente de má operação, tecnologia inadequada e má conservação na rede de distribuição. A outra é devido a perdas de caráter gerencial e administrativo ou fraude (Romano, 1998).

Segundo o Banco Mundial, está cada vez mais difícil o aproveitamento de novas fontes de abastecimento, a partir de águas superficiais, para atender à demanda crescente. O custo de construção cada vez maior, a oposição de ambientalistas e os limitados recursos disponíveis são razões apontadas para que o custo da água para fins domésticos em projetos futuros seja estimado em duas a três vezes maior que o de projetos atuais (Salati et al., 1999).

O Brasil é extremamente rico em recursos hídricos, porém têm uma distribuição geográfica bastante irregular. Cerca de 80% desse potencial está localizado na Bacia Amazônica, onde residem apenas 5% da população brasileira. Os restantes 20% da água estão disponíveis em regiões onde residem 95% da população. O Nordeste, em particular, apresenta historicamente os maiores problemas de carência hídrica. Tendo mais de 30% da população brasileira essa região possui apenas 3,3% da água disponível do Brasil.

A água é um recurso vulnerável, uma substância simples, capaz de diluir inúmeros produtos, inclusive de esgotos. Para tentar modificar o tratamento dado aos recursos hídricos no Brasil, a gestão deixa de considerar a água como bem livre⁵. O uso da água é passível de cobrança, justificada por dois aspectos: o primeiro é que a água tornou-se um recurso cada vez mais caro e escasso e o segundo é que a qualidade dos dejetos despejados no rio pode inviabilizar outros usos a jusante (Cordeiro⁶). Segundo a Constituição a água é um bem de domínio público, portanto a cobrança se justifica como receita patrimonial. Se a água é usada como insumo para gerar produção, renda ou lucro, os agentes econômicos podem pagar por seu uso.

A água é um recurso natural de múltiplos usos, essencial à vida, promove paisagem e lazer, é insumo para produção de inúmeras atividades agrícolas e industriais. Cobre três

⁴ O Banco Mundial considera como situação de estresse de água disponibilidade inferior a 2 mil m³/hab/ano.

⁵ Bem livre é definido como aquele em que sua disponibilidade é ilimitada em relação a sua demanda.

⁶ Citado por Novaes (1999).

quartos da superfície do planeta, com um volume total de 1.386 milhões de km³, tendo permanecido constante nos últimos 500 milhões de anos⁷ (Rebouças, 1999). Abaixo da superfície, infiltrada na terra, existem cerca de 4 milhões de km³ de água, permeando solos e rochas. Existe ainda cerca de 5.000 km³ de água na atmosfera, em sua maior parte na forma de vapor (Rutkowski, 1999).

A água pode ter dois tipos de uso. O uso consuntivo há redução efetiva da disponibilidade de água. Estão nesta categoria o a maior parte do uso doméstico, industrial e para irrigação. No consumo doméstico, somente 70% da água captada retorna aos mananciais e somente uma pequena porcentagem do esgoto urbano passa por algum tratamento antes de retornar aos rios, afetando a qualidade (Romano, 1998). No uso industrial, alguns setores geram grande quantidade de poluição⁸. A agricultura irrigada é a atividade que demanda água em maior quantidade e também é exigente em termos de qualidade, podendo causar outros danos se não for conduzida corretamente⁹.

O segundo, o uso não-consuntivo da água não reduz a disponibilidade do recurso hídrico, nem afeta diretamente a qualidade. São exemplos a navegação, geração de energia elétrica, natação, pesca, composição paisagística. Mas o uso não consuntivo pode criar externalidades¹⁰, como é o caso de construção de barragem para as usinas hidroelétricas¹¹, ou vazamento de óleo na navegação.

O espaço geográfico também exerce influência na água, pois as diferenças climáticas, geológicas, topográficas, entre outras existentes entre regiões, podem alterar a sua quantidade e qualidade. A unidade de estudo ideal para manejo de recurso hídrico é a bacia hidrográfica,

⁷ As quantidades estocadas nos diferentes reservatórios individuais de água podem variar ao longo do tempo. Durante a Grande Idade do Gelo, a massa de gelo retirou 47 milhões de km³ de água dos oceanos para os continentes. Esse volume de água é quase o dobro da existente nos continentes.

⁸ A indústria de açúcar e álcool produz 12 litros de vinhaça para cada litro de álcool, que não retornam ao curso d'água. Os setores de papel e celulose, frigoríficos, siderurgia e metalúrgica, indústria química causam problemas com metais pesados e outras substâncias tóxicas de difícil decomposição, entre outros.

⁹ Pode haver carreamento de fertilizantes e defensivos agrícolas, assoreamento dos lençóis freáticos e cursos d'água. Afeta também a temperatura, velocidade da água, fluxo, entre outros.

¹⁰ Externalidade é quando uma atividade econômica resulta em custos ou benefícios econômicos que não são apropriados pela atividade que causou.

¹¹ A barragem pode trazer problema por impedir a passagem de sedimentos, impedir a subida dos peixes para a desova e afeta a fauna e flora aquática.

pois a água precipitada dentro de uma bacia, sofre uso consuntivo ou escoar por cursos de água até desembocar no leito do curso principal (Giansanti, 1993).

Um problema extremamente grave para a saúde é a falta de saneamento básico. Esse é o caso para 1 bilhão e 700 milhões de habitantes, quase 30% da população mundial. Outro dado preocupante é que a poluição das águas está associada a 33% das mortes em todo o planeta (Boyayan, 1998).

A água serve para veículo de doenças, se usada sem tratamento, causando um dano de cerca de US\$ 400 milhões anuais de recursos do Sistema Único de Saúde - SUS (Teixeira, 2000), além de responsável por 60% das internações hospitalares. No mundo, estima-se que 100 milhões de pessoas morram anualmente de doenças transmitidas pelas águas, como: tifo, dengue, malária, cólera, infecções diarreicas e esquistossomose (Boyayan, 1998).

No Brasil, estima-se que menos de 40% da população tenham água tratada adequadamente e 23% utilizam serviço de esgoto¹², gerando um aumento da mortalidade infantil (Teixeira, 2000). Parte desse problema está relacionado ao custo de cerca de US\$ 450 para ligar uma casa à rede de água e de US\$ 800 para a conexão à rede de esgoto.

Vários municípios estão tendo problemas com abastecimento urbano, começando pela capital paulista. A cidade cresceu em torno da nascente do rio Tiête e hoje a oferta desse e outros rios da região, atendem precariamente a quantidade demandada (Teixeira, 2000). Já, na década de 60, em função da necessidade de maior quantidade de água para a região metropolitana de São Paulo, foi criado o Sistema Cantareira. O Sistema é composto por três grandes reservatórios na Bacia do rio Piracicaba (Jaguari, Cachoeira e Atibainha), interligados por túneis, permitem a transferência para São Paulo, de 31 m³/s.

A construção do Sistema Cantareira trouxe problemas na quantidade e na qualidade da água da bacia do rio Piracicaba. A retirada de parte da vazão dos rios aumentou a concentração dos agentes poluidores. A cidade de Piracicaba sempre teve o rio Piracicaba

¹² Segundo a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - Abes, somente 5% dos esgotos urbanos passam por algum tratamento no Brasil (Pereira Jr., 1998). Já Romano em entrevista para o Agroanalysis, diz que 10% dos esgotos urbanos gerados são devidamente tratados e o Censo Demográfico de 1991 apresenta dados diferentes, onde 86% da população têm serviço de água e 49% de esgoto.

como sua principal fonte de abastecimento público de água. Ele nasce na cidade de Americana, no encontro dos rios Atibaia e Jaguari. As nascentes do rio Jaguari localizam-se em Camanducaia, estado de Minas Gerais. O rio Atibaia é formado da junção dos rios Atibainha e Cachoeira. O Atibainha nasce nas proximidades de Nazaré Paulista e o Cachoeira, na região de Piracicaba.

Na cidade de Piracicaba, a poluição crescente do rio, foi necessário buscar nova fonte de captação. Assim, foi feito um investimento para conseguir captar água junto ao rio Corumbataí, outro manancial de melhor qualidade, que fica a quilômetros de distância. Ele entrou em operação no ano de 1983. Inicialmente, o volume captado representava 33% da água consumida, crescendo até atingir os 100% nos dias atuais.

O Corumbataí não tem águas represadas, ou seja, há ausência de algas, as quais liberam substâncias que provocam odor e gosto. Entretanto, existe uma tendência de queda da qualidade ao longo dos anos, que somado com a crescente demanda, não só para uso doméstico, como também industrial e agrícola poderão comprometer a disponibilidade e a qualidade, principalmente nos períodos de estiagem.

Todos os dados hidrológicos e de qualidade da água demonstram a urgente necessidade de uma ação efetiva em toda a Bacia do Corumbataí, para preservar a qualidade de sua água e manter sua disponibilidade de vazão mínima suficiente para atender toda a demanda da bacia.

Piracicaba conta hoje com um sistema de abastecimento público que atende a praticamente 100% da população urbana. A rede atende a 86.338 ligações de água que demandam 105.000.000 litros de água por dia, para uma população estimada em cerca de 350.000 habitantes.

Assim sendo, informações sobre a quantidade consumida de água são de suma importância na gestão dos recursos hídricos e o principal objetivo deste trabalho é o de desenvolver um modelo para auxiliar na previsão de crescimento de seu consumo nos diversos setores e de quais fatores influenciam esse crescimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os estudos sobre estimação da curva de demanda residencial de água podem ser classificados de diferentes formas. Os primeiros trabalhos testaram a hipótese da inelasticidade-preço¹³ da demanda de água residencial. Nessa linha estão os trabalhos publicados até a década de setenta, onde a preocupação era determinar quais variáveis eram relevantes para explicar sua demanda. A partir dos trabalhos de Taylor (1975) e Nordin (1976), devido à estrutura da tarifa ser em blocos, surge outra questão bastante discutida na literatura, ou seja, sobre qual preço o consumidor reage, se é o preço médio ou marginal. Além da percepção do preço pelo consumidor, existe o problema econométrico da simultaneidade na determinação do preço pago e da quantidade consumida.

Outra questão bastante interessante está relacionada com o nível de desagregação dos dados. Isto é, se o apropriado seria utilizar os valores médios para o município ou por residência. Além disso, os dados podem ser de série temporal, cross-section, ou uma combinação de ambos. Podem ser municipal, regional ou nacional.

Parte do debate sobre demanda de água resulta do sistema de sua cobrança, normalmente conhecido como estrutura tarifária em blocos. Esse sistema determina preços diferenciados de acordo com as faixas de consumo. Para o Brasil, no caso de água, as tarifas são crescentes. Além disso, no primeiro bloco de consumo (até 10m³) todos pagam pelo consumo máximo do bloco, apresentando uma conta única, mesmo para os que consomem menos de 10m³ (ver figura 1). Esse sistema, além de não ser consistente com a teoria do consumidor, pois na primeira faixa de consumo, qualquer consumo inferior ao máximo não seria racional, ainda impõe um custo adicional para consumo na faixa de baixa renda e estimula o aumento do consumo.

¹³Como acreditavam que fossem quase todos os serviços de utilidade pública, não respondendo a variação de

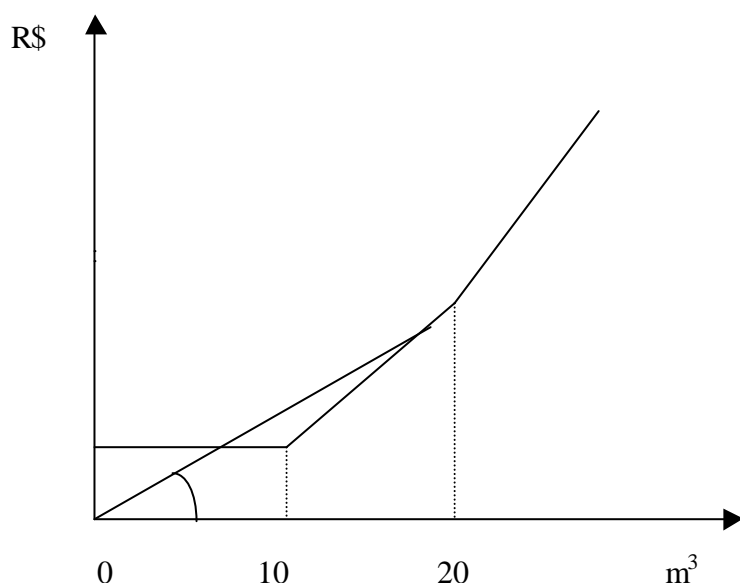


Figura 1. Valor da fatura de água, preço médio, preço marginal e diferença.

Dado que o valor cobrado varia por faixa de consumo, resta a dúvida de qual preço o consumidor leva em consideração, se é o preço médio ou o preço marginal. Gottfried (1963), usa o preço médio na determinação da curva de demanda de água. Howe & Linawever (1967) discutem que se o preço não tem efeito significativo sobre a demanda, decisões sobre tarifas teriam duas finalidades: a) cobrir os custos do sistema de abastecimento de água; e b) ter algum poder de equilíbrio entre os consumidores. Os autores usaram o preço marginal e uma série *cross-section* do consumo médio e dos picos de consumo diário e semanal. Os resultados mostram que a demanda de água externa foi elástica, enquanto as demais, isto é, a demanda interna e a demanda nos picos diário e semanal foram relativamente inelásticas em relação ao preço.

Morgam (1973) estimou um modelo para Santa Barbara, Califórnia, usando dados por residência obtidos através de amostragem. As variáveis relevantes para o modelo encontrado foram valor da propriedade e número de residentes e encontrou economia de escala no uso da

água para tamanho da residência. O autor criticou o trabalho de Howe & Linaweaver (1967) devido ao uso de dados médios para estimar o consumo residencial, pois diminui a variância das estimativas. Dado que o modelo é feito num corte no tempo esses autores não usaram variável preço.

Esta discussão acirrou-se depois que Taylor (1975) publicou o clássico artigo sobre demanda por eletricidade nos Estados Unidos, onde constatou que quase todos os artigos publicados sobre demanda, usavam o preço médio como variável explicativa, o que contradiz a teoria econômica¹⁴. Porém, além da inclusão do preço marginal nos modelos, esse autor defende a utilização de uma outra variável, preço médio ou despesa total, para captar o efeito da mudança na renda, causada pela alteração de preço entre a faixa de consumo.

Nordin (1976) concorda com Taylor de trabalhar com PMg , só que defende a inclusão de mais uma variável chamada diferença, d^* , que é a diferença entre a conta paga e o produto do preço marginal pela quantidade consumida (Figura 1). Desta forma, é possível captar o efeito-renda proveniente da mudança da faixa de consumo.

Wong (1972) usou duas séries de dados para Chicago, a primeira é uma série temporal (1951-61) com dados de Chicago e região metropolitana (*outside communities*) e a segunda é um corte no tempo (*cross-section*), para 103 cidades estratificadas segundo tamanho da população. Na análise da região metropolitana, a demanda de água *per capita* foi função do preço médio anual, da renda média da residência e da média de temperatura nos meses de verão. Para a série seccional, a temperatura não foi incluída na análise, pois dentro de uma mesma região a variação não foi significativa. A regressão na forma logarítmica foi estimada através do método de Mínimos Quadrados Ordinários (OLS). Os resultados indicaram que

para a região metropolitana, tanto temperatura, quanto renda foram mais importantes que o preço para explicar o consumo de água¹⁵. O coeficiente do preço tem o sinal previsto pela teoria, isto é, negativo, porém não significativo. No corte no tempo (*cross-seccional*), preço e renda são significativos nas cidades maiores. Nas menores, somente o preço tem influência na demanda de água.

Foster & Beattie (1979) em outra linha de análise, usaram OLS para estimarem o modelo para a quantidade de água demandada por residência. As variáveis explicativas do modelo foram: preço médio anual da água, renda média das famílias, precipitação durante a estação e o número médio de residentes por metro quadrado. A diferença de consumo entre regiões, é captada pela presença de variáveis *dummies*. Foram usados dados *cross-section* de 218 cidades em um modelo geral de demanda residencial de água onde os determinantes do consumo são diferenças regionais e tamanho das cidades. Os trabalhos que usam dados agregados de um determinado município não captam muitos fatores que influenciam a demanda de água, pois são constantes na amostra. Segundo esses autores, os antigos modelos assumiam que as características das indústrias regionais e o tamanho da população determinariam a quantidade demandada de água e que a demanda futura dependia apenas do crescimento populacional e tipo de desenvolvimento urbano. A hipótese de que o consumo não varia entre regiões foi rejeitada e que as variáveis importantes para explicar a demanda foram: preço, renda, precipitação e número de pessoas por metro.

Billings & Agthe (1980) mostram que quando os blocos apresentam preços crescentes, o impacto pode ser dividido em efeito renda e substituição. Porém, no caso da água o efeito

¹⁴ Segundo a teoria neoclássica, no equilíbrio, o consumidor iguala os benefícios marginais ao custo marginal, sendo este igual ao preço marginal, e não o preço médio.

substituição é reduzido. O modelo utiliza as variáveis preço marginal (PMa); diferença (D); renda (Y); e clima (diferença entre a evapotranspiração e a quantidade de chuva) com modelos na forma linear e logarítmica, para a cidade de Tucson, Arizona. Os resultados obtidos apresentam elasticidade-preço negativa e significativa nos dois modelos. Porém, a variável diferença apresenta elasticidade negativa, mas não com o valor previsto pela teoria, que prevê o mesmo valor e sinal contrário ao encontrado para a elasticidade-preço.

Griffin e Martin (1981) criticam o trabalho de Billings e Agthe (1980) por acreditar que pela maneira como foi calculada a função de demanda, vai existir viés nas estimativas. Os modelos propostos por Taylor e Nordin foram resultados de trabalhos teóricos sobre o comportamento do consumidor, não envolvendo estudos empíricos. As análises de Nordin e Taylor mostram que a quantidade de água consumida por um consumidor, face a uma tarifa em múltiplas partes, depende do preço marginal encontrado pelo consumidor na faixa de seu consumo e do imposto ou subsídio resultante do preço intramarginal. Mudanças na parte intramarginal (diferença) e na renda têm exatamente o mesmo efeito na quantidade de água consumida. Como o preço pago pelo consumidor varia com o consumo de acordo com a regra tarifária, o uso de OLS pode resultar em estimativas viesadas. Desta forma o resultado de uma análise de regressão não será uma curva de demanda, relacionando preço e quantidade, e sim o resultado da regra tarifária (*rate schedule*) e a função de demanda atual. As variáveis, preço e diferença observada não correspondem aos pontos onde a curva de demanda corta a regra tarifária. Dessa diferença aparece o erro da regressão. O viés é correlacionado positivamente com a variância do erro. E, quando a última cresce, cresce também o número de observações de quantidade consumida que mudam indevidamente de faixa de preço. Isso acarretará uma

¹⁵ Parte da razão da insignificância do preço como variável explicativa é a baixa tarifa, que não estimula a

mudança na direção da regra tarifária e dos coeficientes, superestimando o efeito da variável diferença e diminuindo o da variável preço marginal.

Billings e Agthe (1981) em réplica às críticas feitas por Griffin e Martin (1981) sobre o uso de OLS para estimar a regressão de demanda de água, justificam que foram 2 os casos onde houve mudança de bloco e que retirando da amostra e recalculando o modelo, a elasticidade preço da demanda é maior e a elasticidade da variável diferença é menor neste novo modelo linear. Contudo, devido à alta significância obtida, sugerem que os resultados sejam usados para prever os efeitos de uma variação de preços sobre o consumo.

Griffin, Martin e Wade (1981) criticam o trabalho realizado por Foster e Beattie (1979), que usaram preço médio, renda e precipitação para explicar a variação do consumo de água em duzentas cidades americanas. A crítica é baseada no fato do preço médio variar inversamente com o consumo e do preço marginal não ter alta correlação com o preço médio. Assim, os três autores concluem que a relação encontrada por Foster e Beattie é uma função de oferta, refletindo a regra tarifária, pois onde o preço médio é alto, o consumo é baixo devido à tarifa decrescente usada na amostra. A sugestão é para os dois autores refazerem seus cálculos levando em consideração a função tarifa.

Na mesma revista Foster e Beattie, rebatendo as críticas defendem o uso do preço médio para estimar o consumo residencial anual de água, como feito em trabalho anterior, com o uso de dados agregados e que o problema de identificação da regra tarifária não é sério. Devido à complicada estrutura da tarifa, alegam a má informação do consumidor e sendo o preço médio determinado *ex-post*, a dependência negativa entre preço e quantidade é mero cálculo.

Foster e Beattie (1981), citando ainda as questões levantadas por Griffin, Martin e Wade, discordam da perfeita informação contida nos trabalhos de Taylor e Nordin. Parte desse problema é devido à pequena participação da conta da água nas despesas domésticas e parte devido à estrutura tarifária com vários preços. Esses autores, usando os mesmos dados de seu artigo anterior publicado em 1979 calculam o modelo proposto por Nordin, com o procedimento sugerido por Griffin, Martin e Wade (1981). Com exceção da variável diferença, que teve sinal inverso ao esperado e valor diferente do coeficiente da renda, os valores estão conforme a teoria, com significância a 1% e R^2 explicando 50% da regressão. Porém, os resultados do trabalho anterior, de Foster e Beattie (1979), foram superiores nos dois critérios analisados, R^2 e teste F. No outro teste, se existe diferença significativa nos parâmetros dos dois modelos, um com preço médio e outro com preço marginal, não foi encontrada diferença em nível de 10%. A conclusão do trabalho é que usando dados agregados, o preço médio é um bom indicador de preço.

O uso de OLS para estimar o modelo proposto por Taylor e modificado por Nordin foi criticado por muitos autores, que indicam viés nas estimativas dos parâmetros (Griffin e Martin, 1981; Terza e Welch 1982 ; Griffin, Martin e Wade, 1981). Foster e Beattie (1981) discutem se o consumidor conhece a estrutura tarifária de cobrança em blocos, onde cada faixa de consumo apresenta diferente preço marginal. Se os consumidores não conhecerem a estrutura tarifária, talvez o preço médio fosse o mais correto. Para tentar provar esta afirmação, refazem a curva de demanda de água, com os mesmos dados do trabalho anterior e usando o modelo de Nordin. Os resultados usando preço médio são superiores ao do modelo de Nordin, apresentando tanto R^2 como o teste F superior ao modelo usando preço marginal.

Henson (1984) discute que nos modelos usando OLS para calcular o modelo proposto por Nordin, os valores encontrados para os coeficientes são inconsistentes. Com tarifa sob

estrutura de blocos crescentes, o coeficiente do preço marginal tende a ser viesado para zero e o coeficiente da variável diferença tende a ser viesado para valores distantes de zero.

Um dos primeiros trabalhos realizado no Brasil sobre demanda de água é o de Andrade et al. (1996) com dados obtidos através de amostragem em 27 municípios do Paraná, onde foram levantadas 5.417 residências. As variáveis explicativas do modelo são: preço marginal, diferença intramarginal, renda familiar e o número de pessoas residentes. Devido ao valor da variável diferença ser negativo no primeiro bloco¹⁶, não foi possível usar a especificação na forma logarítmica, sendo testada somente a forma linear. Para corrigir o problema causado pela simultaneidade entre consumo e preço, foram usados os métodos de Mínimos Quadrados em Dois Estágios e o de Variável Instrumental. O modelo foi calculado para amostra geral e para sub-amostras de acordo com as classes de renda¹⁷. A elasticidade-preço em todas as amostras foi, em módulo, menor que um, e maior na camada de baixa renda. As variáveis renda e número de pessoas residentes apresentam elasticidades muito próximas de zero, significando que essas variáveis têm pouca influência no consumo de água para os dados usados neste trabalho. O coeficiente da variável diferença é negativo e, em módulo, muitas vezes superior ao da variável renda, não comprovando a teoria de sinais contrários e valores iguais para essas variáveis. Esse resultado está de acordo com vários outros autores, entre eles: Billing e Agthe (1980), Mattos (1998); Foster e Beattie (1981); Jones e Morris (1989). Ainda, segundo os autores, a principal crítica que pode ser feita na análise é que não houve variação de preço na amostra e os preços diferiram somente entre blocos.

¹⁶ Devido ao valor mínimo da conta para o consumo até 10m³, podendo ser interpretado esse resultado como um imposto cobrado ao consumidor.

¹⁷ Renda até 2 salários mínimos; de 2 a 10 salários mínimos; e mais de 10 salários mínimos.

Mattos (1998) estima a equação de demanda residencial de água para o município de Piracicaba, usando o modelo proposto por Nordin. Apesar da limitação de dados existente, ela utiliza os diferentes métodos de estimação: OLS, Variável Instrumental e Mínimos Quadrados em Dois Estágios. Os métodos de variáveis instrumentais foram superiores ao OLS, confirmado pelo teste de Hausman¹⁸. As únicas variáveis significativas foram *P_{Ma}* e *D*. Os resultados encontrados para o Brasil são semelhantes aos demais, isto é, não existe igualdade dos valores absolutos e sinais contrários nos coeficientes estimados para diferença e renda.

Para a região de Sabaé, estado da Bahia, Carrera-Fernandez e Menezes (2000) estudaram os determinantes da disponibilidade a pagar pelo serviço de abastecimento de água e a demanda de água potável pelo método de valoração contingencial. Constatam que a disposição a pagar dos consumidores do serviço de água é inferior ao necessário para melhorar o abastecimento e atender a toda a população. O estudo constata ainda que deve haver uma grande participação do poder público para melhoria e ampliação dos sistemas de abastecimento público de água potável, pois os consumidores não estão dispostos a aumentarem os preços da fatura para poder cobrir os investimentos necessários.

Nazen (1996) sugere o uso de modelo de séries temporais para estudo de demanda de água. Isso devido à demanda urbana por água ser dependente de inúmeros fatores incontroláveis relativo ao clima, tornando a demanda de curto-prazo bastante volátil. Outro fator é a sazonalidade do consumo nos meses de verão. Sugere que modelos de séries temporal podem trazer bons resultados para o planejamento para o uso da água.

¹⁸ Maiores detalhes a seguir, no item dos testes de hipótese.

3. METODOLOGIA

Para explicar o consumo de água no município de Piracicaba, foram selecionadas as seguintes variáveis:

<i>CRT</i>	Consumo Residencial Total, em m^3 , fornecido pelo Serviço Municipal de Água e Esgoto de Piracicaba (SEMAE);
<i>CRM</i>	Consumo Residencial Médio, em m^3 /residência, obtido pela divisão do consumo residencial total pelo número de ligações residenciais;
<i>PM_e</i>	Preço Médio, em R\$/ m^3 , obtido pela divisão do valor da fatura do CRM pelo consumo;
<i>PM_g</i>	Preço Marginal, em R\$/ m^3 é o valor da tarifa no CRM;
<i>nL</i>	Número de Ligações, e número de residências ligadas na rede de distribuição de água no município;
<i>T</i>	Temperatura Média Mensal no município de Piracicaba, obtido no Boletim Meteorológico do Depto. De Física e Meteorologia, ESALQ/USP; e

O consumo residencial médio tem um comportamento sazonal como a temperatura¹⁹, porém com menor amplitude (Figura 2). Outra coisa a ser notada na figura 2 é uma tendência decrescente no consumo médio.

3.1 - Método X11

Dado o comportamento sazonal das séries de consumo, essas serão decompostas pelo método X11 (U.S. Department of Commerce, 1976)²⁰. Esse método baseia-se na decomposição da série original (O_t) em quatro componentes: sazonal (S_t), ciclo-tendência (C_t), efeitos do calendário (D_t) e irregular (I_t). Assim, o componente sazonal capta os ciclos sistemáticos de período igual ou inferior a um ano, que é repetida constantemente ou em desenvolvimento de ano para ano. O componente ciclo-tendência inclui variação de tendência de longo prazo, ciclos econômicos e outros fatores cíclicos de longo prazo. O terceiro componente, efeito de calendário é devido à diferença de dias entre os meses do ano ou efeitos de calendário, como sábado, domingo ou feriado. O último é responsável pela variação residual final (SAS Institute, 1994). O método X11 consiste em sucessivas filtragens²¹, pela

¹⁹ Porém com menor variância.

²⁰ A base do método foi desenvolvida no final da década de 20, e baseia-se na razão (ou diferença) de médias móveis (U.S. Department of Commerce, 1976).

²¹ Para maiores detalhes ver Pino et al. (1994).

aplicação de filtros lineares. O modelo a ser usado para separar os componentes da série é multiplicativo (1), como segue:

$$O_t = S_t \cdot C_t \cdot D_t \cdot I_t \quad (1)$$

onde, O_t representa cada uma das três séries de consumo.

Nesse modelo, C_t tem a mesma unidade que O_t . S_t , C_t e I_t são expressos em % e tem valores ao redor de 100.

O método X11 usa um conjunto de médias móveis centradas para estimar os componentes sazonais. Essa média móvel aplica pesos simétricos para todas as observações, exceto para aquelas do início e final das séries.

3.2 - Os Modelos Box-Jenkins

Nazen (1996) justifica o uso de modelos SARIMA (auto-regressivo integrado sazonal de média móvel) para estimar a demanda de água, pois o uso da água depende de muitos fatores relacionados ao tempo e também um componente sazonal, com aumento de consumo no verão. A água consumida em uma residência é função de características pessoais e de hábitos locais. Boa parte deste consumo é para higiene básica da casa, apresentando um componente auto-regressivo.

O modelo univariado utiliza o método desenvolvido por Box, Jenkins e Reinsel (1994) para séries temporais. Inicialmente desenvolvido por Box e Jenkins (1976), o método baseia-se na idéia que a série temporal pode ser parcialmente explicada por ela mesma, através de parâmetros auto-regressivos que podem explicar realizações anteriores. As médias móveis servem para explicar os erros passados.

3.3 - Função de Transferência

Apesar de alguns trabalhos no Brasil não terem encontrado significância para as variáveis relacionadas a clima (temperatura e precipitação) espera-se que para o modelo de séries temporais essas variáveis expliquem parte da variação no consumo de água, especialmente a temperatura (Mattos, 1999 e Andrade et al., 1996). Por essa razão, é necessário um modelo com abordagem multivariada ou mais comumente conhecido como modelo de função de transferência.

O modelo de função de transferência é baseado no modelo de defasagem distribuída. (Vandaele 1983). Esse modelo é representado pelo nível da variável dependente Y_t como sendo função direta do número de valores passados da variável independente X_t . Uma mudança na série de entrada pode não se manifestar de forma imediata sobre a série de saída,

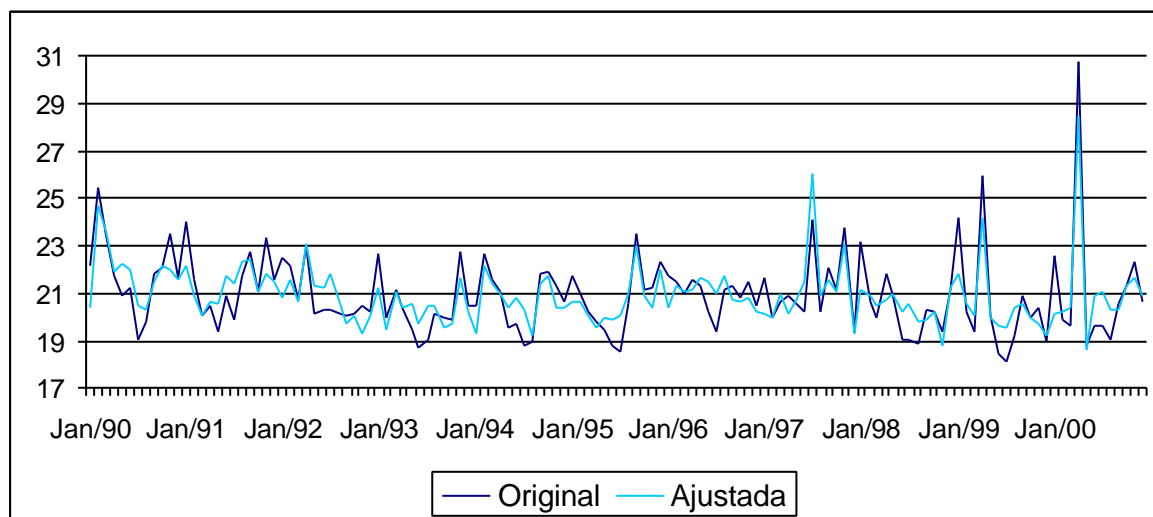
assim, pode existir uma defasagem temporal entre a variação ocorrida na variável exógena e seu efeito sobre a variável endógena (Pino, 1980).

4 - RESULTADOS

4.1 - O método X11

Analisando a série de consumo residencial médio pode-se perceber a forte influência sazonal. Esse fato é confirmado pelo teste F para a sazonalidade estável entre meses. Esse fato não é confirmado para a sazonalidade móvel.

A comparação gráfica entre a série original e a série sazonalmente ajustada pelo método X11 é apresentada na Figura 2. A série sazonalmente ajustada apresenta menores picos que a original, como o previsto pelo método. Os fatores sazonais estão plotados na Figura 3. Existe um pico de consumo nos meses quentes de verão e um vale, representando uma queda no consumo, nos meses frios. A diferença entre o maior e menor consumo está em torno de 15%, abaixo da diferença de consumo observado por Griffin e Chang (1990) para o Texas, onde essa diferença chegou a mais de 70% (de 130,8 a 226,0 gal/capita/dia). A Figura 3 mostra ainda uma tendência de queda nas duas séries, original e sazonalmente ajustada, com exceção para o pico no início de 2000.



Fi

Figura 2: Série original e sazonalmente ajustada do consumo residencial médio mensal residencial de água, em m^3 /ligação, Piracicaba, janeiro de 1990 a dezembro de 2000.

Fonte: Resultados da pesquisa.

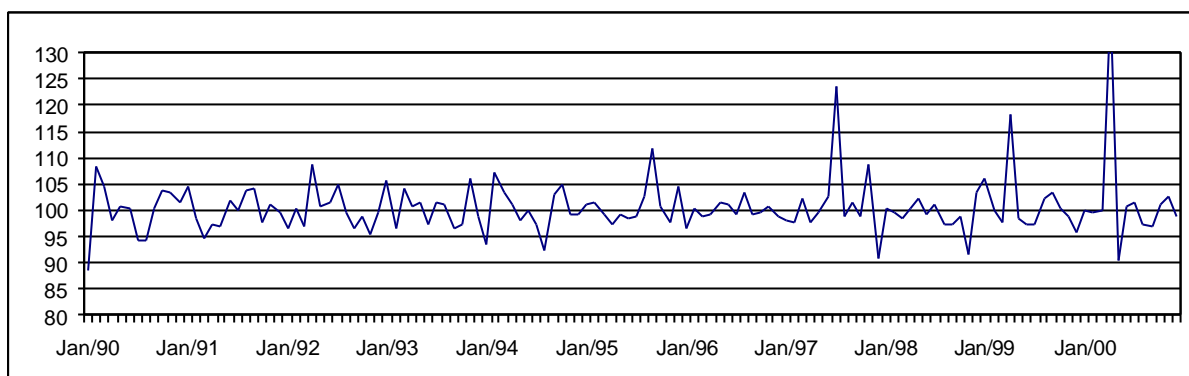


Figura 3: Fatores sazonais para do consumo médio residencial mensal de água, em %, Piracicaba, janeiro de 1990 a dezembro de 2000.

Fonte: Resultados da pesquisa.

4.2 - Modelos univariados

O modelo ARIMA apresentou melhor ajuste para a variável CMR, pelo critério de AIC (486,7498) e SBC (492,5154), foi um auto-regressivo de ordem 12 e uma constante (θ_0), ou seja:

$$(1 - 0,54356B^{12})CMR = 21,13404 + a_t$$

Sua representação gráfica e as previsões do modelo podem ser vistos na tabela 4.

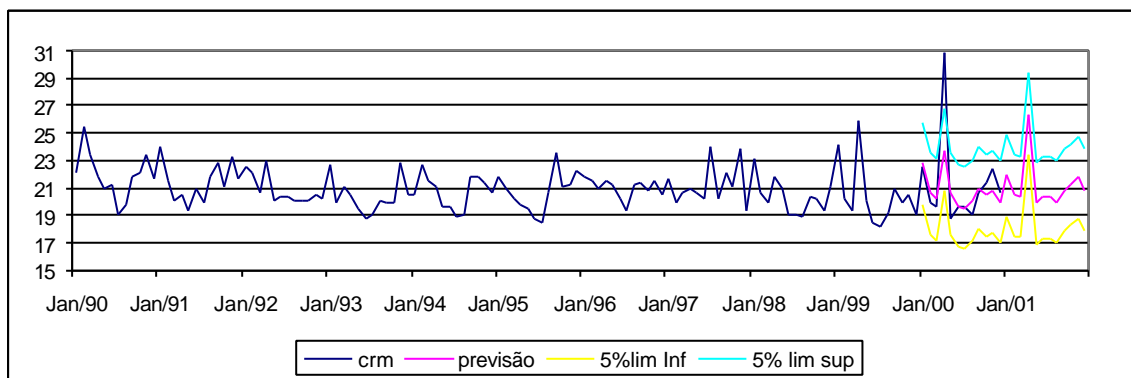


Figura 4: Consumo médio residencial mensal de água observado e previsão do consumo pelo modelo de arima, Piracicaba, janeiro de 1990 a dezembro de 2001.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Este modelo sazonal é melhor que o modelo ARIMA, pelos critérios de AIC e SBC (449,1843 e 454,7593 respectivamente):

$$(1 - 0,36790 B^{12})CMR(12) = 0,07816 + a_t$$

As estatísticas do modelo são encontradas na Tabela 1 e os dados e previsões do modelo estão no gráfico 5.

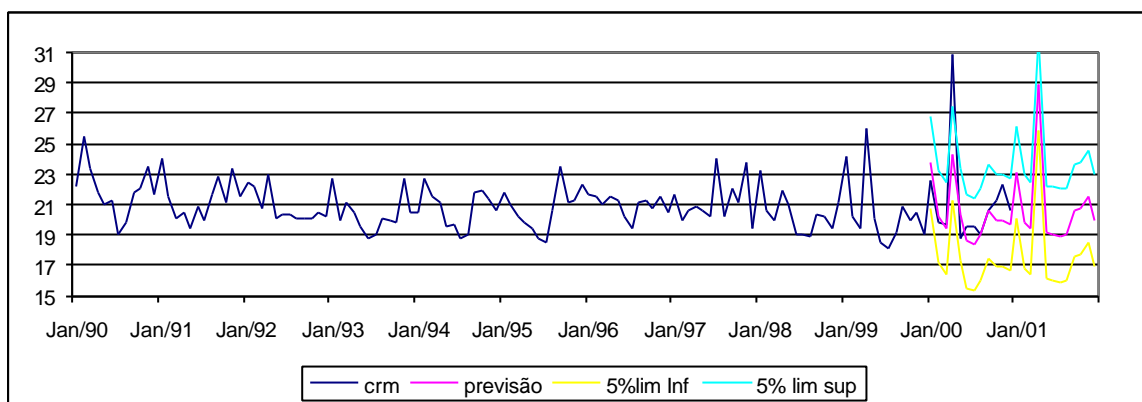


Figura 5: Consumo médio residencial mensal de água observado e previsão do consumo pelo modelo de arima sazonal, Piracicaba, janeiro de 1990 a dezembro de 2001.

Fonte: Resultados da pesquisa.

4.3 - Função de transferência

Os modelos de função de transferência testaram as seguintes variáveis: Temperatura, Precipitação, Preço Médio e Preço Marginal. Somente a variável temperatura foi significativa para explicar a quantidade consumida de água,. O modelo que apresentou melhor resultado foi o modelo sazonal:

$$(1 - 0,56051B^{12})CMR = 15,75258 + 0,23987T + a_t$$

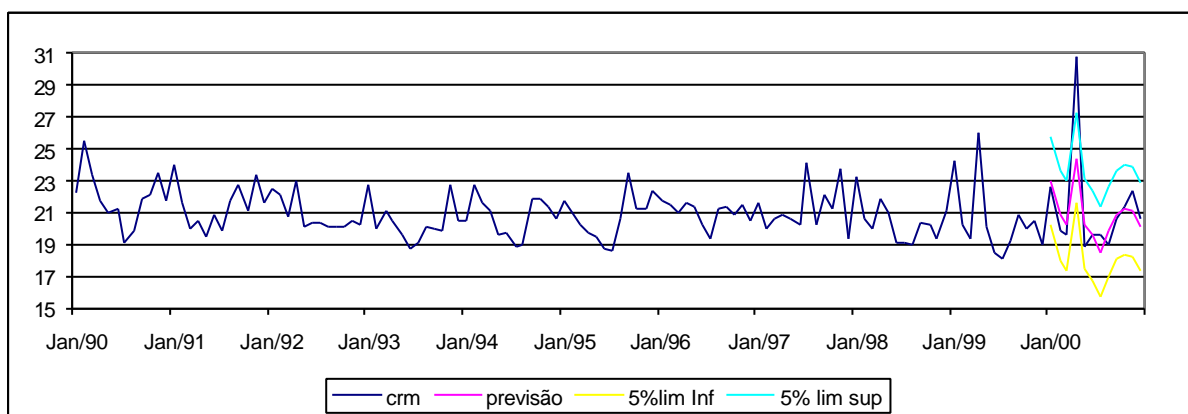


Figura 6: Consumo médio residencial mensal de água observado e previsão do consumo pelo modelo função de transferência, Piracicaba, janeiro de 1990 a dezembro de 2000.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Essa equação mostra que a temperatura tem relação direta com o consumo médio de água em Piracicaba e os pelos critérios de AIC e SBC (477,4822 e 486,1306

respectivamente). Os detalhes do resultado podem ser visto em detalhes na Tabela 1, onde estão as estatísticas dos modelos. O gráfico 6 mostra os dados até dezembro de 2000 e as previsões do modelo para o ano de 2000.

Tabela 1. Estimativas dos parâmetros dos modelos univariado e função de transferência para o consumo médio residencial de água, Piracicaba, janeiro de 1990 a dezembro de 2000.

Modelo	Parâmetro	Estimativa	Teste t
ARIMA	ϕ_{12}	0,54356 (0,09482)	5,73
	Constante	21,13404 (0,25138)	84,07
ARIMA sazonal	ϕ_{12}	-0,36790 (0,09275)	-3,97
	Constante	-0,07816 (0,10632)	-0,74
Função de Transferência	ϕ_{12}	0,56051 (0,09544)	5,87
	$\omega_0 (T)$	0,23987 (0,07429)	3,23
	Constante	15,75258 (1,66313)	9,47

Fonte: Resultado da pesquisa.

5 - CONCLUSÃO

Os resultados econométricos do presente trabalho mostram que o consumo residencial médio de água em Piracicaba, SP, apresenta um forte componente sazonal. A variação do consumo é diretamente proporcional à temperatura, aumentando nos meses de verão e diminuindo nos meses de inverno.

Como tendência de longo prazo, é possível observar que o consumo total cresce no período analisado. Grande parte deste aumento tem como fonte o crescimento do consumo residencial. Esse aumento ocorre juntamente com o crescimento do número de ligações residenciais. Os demais consumos pouco se alteram nesses dez anos.

A série de consumo residencial médio apresenta uma tendência de significativa queda no período. Uma das possíveis explicações para este fato seria que a expansão recente da rede de abastecimento de água ter ocorrido nas regiões periféricas da cidade, onde predominam famílias de menor poder aquisitivo e que demandam água em quantidade mais reduzida.

Outra possível explicação seria a conscientização da população para a problemática da água no município e região, principalmente nos meses mais secos. É interessante observar,

nesse sentido, que existe uma tendência de queda dos fatores sazonais de consumo de água nos meses de vale, correspondendo aos meses de inverno. Esta é a época mais crítica para o abastecimento devido à menor vazão dos rios e durante a qual a população está mais sensível ao problema.

BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, A.M.P. Consumo total e residencial de água tratada: aplicação de um modelo de séries temporais em Piracicaba, SP. Piracicaba, 2000. 92p. Tese – ESALQ/USP
- ANDRADE, T.A.; BRANDÃO, A.S.P.; WHITCOMB, J.B. *et. al.* **Estudos da Função Demanda por Serviços de Saneamento e Estudos da Tarificação do Consumo Residencial.** Texto para discussão n. 415, IPEA, 1996. 61p
- BILLINGS, B.R.; AGTHE, D.E. Price elasticities for water: a case of increasing block rates. **Land Economics**, v. 56, p.73-84, Feb. 1980.
- BILLINGS, B.R.; AGTHE, D.E. Price elasticities for water: a case of increasing block rates: reply. **Land Economics**, v. 57, n.2, p.276-8, May 1981.
- BOX, G.E.P.; JENKINS, G.M. **Time series analyses:** forecasting and control. San Francisco: Holden-day, 1976. 575p.
- BOX, G.E.P.; JENKINS, G.M.; REINSEL, G. **Time series analysis:** forecasting and control New Jersey: Prentice Hall/Englewood Cliffs, 1994. 598p.
- BOYAYAN, M. Como tratar a água suja. **Globo Ciência**, Ano 8, n.85, p.55-61, Ago 1998.
- DAGUM, E.B. Revisions of time varying seasonal filters. **Journal of Forecasting**, n.1, p.173-187, 1982
- FOSTER, H.; BEATTIE, B.R. Urban residential demand for water in the United States: reply. **Land Economics**, v.57, n.2, p.257-65, May 1981.
- FOSTER, H.; BEATTIE, B.R. Urban residential demand for water in the U.S. **Land Economics**, v.55, n. 1, p.43-58, Feb. 1979.
- FRANÇA, D. O planeta água está secando, **Globo Ciência**, Ano 8, n. 85. p.57, Ago 1998.
- GIANSANTI, A.E. A Água como um Bem Econômico. São Paulo, 1993. 431p. Tese - Escola Politécnica/USP.
- GOTTLIED, M. Urban domestic demand for water: a Kansas study. **Land Economics**, v. 39, p. 204-210, May 1963.
- GRIFFIN, A.H.; MARTIN, W.E. Price elasticities for water: a case of increasing block rate: comment. **Land Economics**, v.57, n.2, p. 266-75, May 1981.

GRIFFIN, A.H.; MARTIN, W.E.; WADE, J.C. Urban residential demand for water in the United States: comment. **Land Economics** v.57, n.2, p.252-256, May 1981.

GRIFFIN, R.C.; CHANG, C. Pretest Analyses of Water Demand in Thirty Communities. **Water Resources Research**, v. 26, n.10, p.2251-2255. Oct. 1990.

HAUSMAN, J.A. Specification Tests in Econometrics. **Econometrica**, v.46, p.1251-1271, Nov. 1978.

HENSON, S.E. Electricity demand estimates under increasing block rates. **Southern Economic Journal**, v.61, p.262-289, Aug. 1984.

HESPAHOL, I. Água e saneamento básico – uma visão realista. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Água doce no Brasil**. São Paulo: Escrituras Editora, 1999. capítulo 7, p.249-303.

HOWE, C.W.; LINAWEVER Jr., F.P. The impact of price on residential water demand and its relation to system design and price structure. **Water Resource Research**, v.3, n.1, p.13-32, 1967.

JONES, C.V.; MORRIS, J.R. Instrumental price estimates and residential water demand. **Water Resources Research**, v.20, n.2, p.197-202, Feb. 1984.

MATTOS, Z.P.B. Uma análise da demanda residencial por água usando diferentes métodos de estimação. **Pesquisa e Planejamento Econômico**. V.28, n.1, p.207-223, jan. 1998.

NAZEM, S.M. **Applied time series analysis for business and economic forecasting**. New York: ED.M.Dekker, 1998.

NORDIN, J.A. A proposed modification of Taylor's demand analysis: comment **The Bell Journal of Economics**, v.7, p.719-721, autumn 1976.

NOVAES, R. Água: o que falta é qualidade. **Banas Ambiental**, ano 1, n. 1, Ago. 1999.

PINO, F.A. Análise de intervenção em séries temporais: aplicações em economia agrícola. São Paulo, 1980. Dissertação. IME/USP

REBOUÇAS, A.C. Água doce no mundo e no Brasil. P:1-36. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Água doce no Brasil**. São Paulo: Escrituras Editora, 1999. capítulo 1, p.1-36

ROMANO, P.A. A cultura da abundância levou a acomodação. **Agroanalysis**, v.18, n.3, p.7-11, Mar.1998.

RUTKOWSKI, E. Desenhando a bacia ambiental – Subsídios para o planejamento das águas doces metropolitan(izadas). Tese Doutorado – FAU-USP. 1999. 160p.

SALATI, E.; LEMOS, H.M.; SALATI, E. Água e o desenvolvimento sustentável. In: REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Água doce no Brasil**. São Paulo: Escrituras Editora, 1999. capítulo 2, p.39-62.

- SAS INSTITUTE. **SAS/ETS** user's guide, version 6. 2nd ed. Cary, NC, 1994. 1022p.
- TAYLOR, L.D. The demand for electricity: a survey. **The Bell Journal of Economics**, v.6, p.74-110, Spring 1975.
- TEIXEIRA, J.L. Futuro Ameaçado: vem aí a cobrança pelo uso da água. Será o fim do desperdício? **Problemas Brasileiros**, n. 338, mar/abr 2000.
- TERZA, J.V.; WELLCH, W.P. Estimating demand under block rates: electricity and water. **Land Economics**, v.58, p.181-188, May 1982.
- VANDAELE, W. **Applied time series and Box-Jenkins models**. New York. Academic Press, 1983. 417p.
- WONG, S.T. A model of municipal water demand: a case study of Northeastern Illinois. **Land Economics**. v.48, n.2, p.181-188, Feb. 1972.