

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

IDENTIFICAÇÃO DE CORRELAÇÃO ENTRE DEMANDA RESIDENCIAL E RENDA MÉDIA A PARTIR DE MODELO DE REGRESSÃO LINEAR MULTINÍVEL POOL REGRESSION.

Thaís Antero de Oliveira²; Francisco de Assis de Sousa Filho¹; Gabriela de Azevedo Reis³; Renata Locarno Frota³; Alyson Brayner Sousa Estacio³;

RESUMO – O aumento de consumo de água foi duas vezes maior que o aumento da população, durante as últimas décadas. Com isso, em decorrência da incerteza da capacidade de oferta de água faz-se necessário maior eficiência no gerenciamento dos recursos hídricos. Para que isso ocorra é relevante que o processo de tomada de decisão tenha embasamento técnico e científico. A fim de auxiliar esse processo, este estudo visa identificar a existência de alguma correlação estatística entre o padrão de variação do consumo da água com a renda média da população em centros urbanos. A análise é feita por setor censitário, utilizando dados da cidade de Fortaleza (CE) a partir da aplicação de modelo de regressão linear multinível. Para desenvolver a análise foram utilizados dados mensais de cada setor censitário de 2009 a 2017, de acordo com as delimitações do IBGE. No final do processo estatístico, desenvolve-se três equações as quais relacionam os coeficientes de intercepto das equações, bem como os coeficientes de variação no tempo, com a renda. Conclui-se que a relação mais forte é da renda média com o valor inicial da demanda (intercepto da equação), contudo, não apresenta forte dependência com os coeficientes de variação da demanda residencial, o que mostra que não é possível estimar uma relação da demanda com o tempo de cada setor a partir do conhecimento da renda média deste.

ABSTRACT– The increase in water consumption was twice as high as the increase in population during the last decades. As a result of the uncertainty of the water supply capacity, it is necessary to increase efficiency in the management of water resources. To occur this it is relevant that the decision-making process has technical and scientific basis. In order to assist this process, this study aims to identify the existence of some statistical correlation between the pattern of variation of water consumption and the average income of the population in urban centers. The analysis was done by census sector, using data from the city of Fortaleza (Ceara) from the application of multilevel linear regression model. To develop the analysis we used monthly data from each census sector from 2009 to 2017. At the end of the statistical process, three equations are developed which relate the intercept coefficients of the equations as well as the coefficients of variation in time with the income. It is concluded that the strongest relation is the average income with the initial value of the demand (intercept of the equation), however, it does not present a strong dependence on the coefficients of variation of the residential demand, which shows that it is not possible to estimate a relation of demand with time of each sector from the knowledge of the average income of this sector.

Palavras-Chave – DEMANDA; ABASTECIMENTO URBANO; SIG.

1) Professor associado na Universidade Federal do Ceará. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental assis@ufc.br.

2) Graduanda em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará. thaís.antero@gmail.com

3) Doutorando/a em Recursos Hídricos. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. gabrielareisazevedo@gmail.com. renata.locarno@hotmail.com. alysonbrayner@gmail.com

INTRODUÇÃO

Diante de crises hídricas cada vez mais frequente, o abastecimento humano torna-se um desafio ainda mais complexo. Nos grandes centros urbanos, devido a alterações nos padrões de consumo, encontram-se altos valores de demanda residencial de água. A busca por uma oferta que atenda essa crescente demanda empurra os tomadores de decisão a uma análise de cenários cada vez mais críticos a fim de atingir um equilíbrio na oferta x demanda (FIELDING et al., 2013). Durante as últimas décadas, o aumento no consumo de água foi duas vezes maior que o aumento da população, e, para os próximos anos, é esperado que o aumento na demanda combinado com a escassez hídrica contribua com a ampliação do quadro de estresse hídrico em diversas regiões do planeta (SUÁREZ-ALMIÑANA et al., 2017; COSGROVE; LOUCKS, 2015). A incerteza na capacidade de oferta da água devido às mudanças na natureza e às lacunas nas observações requer a necessidade por maior eficiência no gerenciamento e uso mais equitativo dos recursos hídricos (PIENAAR; HUGHES, 2017). O processo da tomada de decisão, quando feito a partir de um robusto embasamento técnico e científico, promove benefícios e eficiências que resultam em impactos positivos em todas as camadas: sociais, econômicas e ambientais (LIANQING et al., 2012).

A fim de prover subsídios para o processo da tomada de decisão, este trabalho propõe analisar a variação da demanda em centros urbanos, buscando identificar a existência de alguma correlação estatística entre o padrão de variação do consumo da água com a renda média. A análise é feita por setor censitário, utilizando dados da cidade de Fortaleza (CE) a partir da aplicação de modelo de regressão linear multinível.

OBJETIVO

Identificar uma correlação entre a demanda residencial e a renda média da população em centros urbanos a partir de modelo de regressão linear multinível.

MÉTODO

Para ser realizada a análise foram utilizados dados de demanda mensal em m³ de cada setor censitário dos anos de 2009 a 2017. A divisão espacial dos setores censitários utilizada é a mesma do censo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2010. Com a finalidade de analisar espacialmente a distribuição de IDH e de Renda Média dos setores, foram desenvolvidos dois mapas para

visualização das delimitações destes na cidade. Na primeira etapa, foi realizado o agrupamento dos dados mensais para anuais e a transformação de m³/mês para l/dia. A fim de obter a demanda per capita, cada valor de demanda tratado foi dividido pela população do seu setor correspondente. Após essa fase inicial foi realizado o pré-processamento de dados, onde foram removidos os setores censitários de população zero, que equivalem a áreas verdes não habitadas ou erros tabulares observados na obtenção das informações, bem como as demandas com valor zero e maior que 1000l/hab.dia.

A primeira análise de regressão realizada foi entre os dados de demanda anuais e valores de tempo, sendo estes organizados como ilustra a Tabela 01. Os dados de Demanda são representados como $D_{i,t}$, de forma que o i é índice o qual indica o setor, e o t o ano correspondente, sendo que, para simplificar os dados os anos foram representados com números inteiros começando no 0 (2009) até o 8 (2017).

Tabela 1 - Modelo de Tabela que relaciona cada Setor com as Demandas de cada ano

Código do Setor	Demanda 2009 (t=0)	Demanda 2010 (t=1)	Demanda 2011 (t=2)	Demanda 2012 (t=3)	Demanda 2013 (t=4)	Demanda 2014 (t=5)	Demanda 2015 (t=6)	Demanda 2016 (t=7)	Demanda 2017 (t=8)
Setor 1	$D_{1,0}$	$D_{1,1}$	$D_{1,2}$	$D_{1,3}$	$D_{1,4}$	$D_{1,5}$	$D_{1,6}$	$D_{1,7}$	$D_{1,8}$
Setor 2	$D_{2,0}$	$D_{2,1}$	$D_{2,2}$	$D_{2,3}$	$D_{2,4}$	$D_{2,5}$	$D_{2,6}$	$D_{2,7}$	$D_{2,8}$
...
Setor n	$D_{n,0}$	$D_{n,1}$	$D_{n,2}$	$D_{n,3}$	$D_{n,4}$	$D_{n,5}$	$D_{n,6}$	$D_{n,7}$	$D_{n,8}$

É desenvolvida uma regressão linear do segundo grau, por meio do Software de análise estatística R, visando a obtenção de uma equação de regressão entre a demanda e o ano de cada setor, como na Equação 1 genérica.

$$D_{i,t} = \beta_i^1 + \beta_i^2 t + \beta_i^3 t^2 \quad (1)$$

Dessa maneira são obtidos três coeficientes para cada setor e é possível analisar a correlação de cada um deles com os dados de renda médio dos setores. São desenvolvidas, assim, três equações as quais relacionam por regressão linear cada coeficiente com a renda dessa forma:

$$\beta_i^1 = \alpha R_i + \alpha_0 \quad (2)$$

$$\beta_i^2 = \gamma R_i + \gamma_0 \quad (3)$$

$$\beta_i^3 = \delta R_i + \delta_0 \quad (4)$$

ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Por meio dos mapas gerados é possível visualizar que a distribuição de renda e IDH no centro urbano de estudo é heterogênea, com uma área de concentração de valores elevados evidente na região norte da cidade, onde localizam-se bairros como Aldeota e Meireles.

Figura 1 – Mapa das Classes de Rendas Médias dos setores censitários

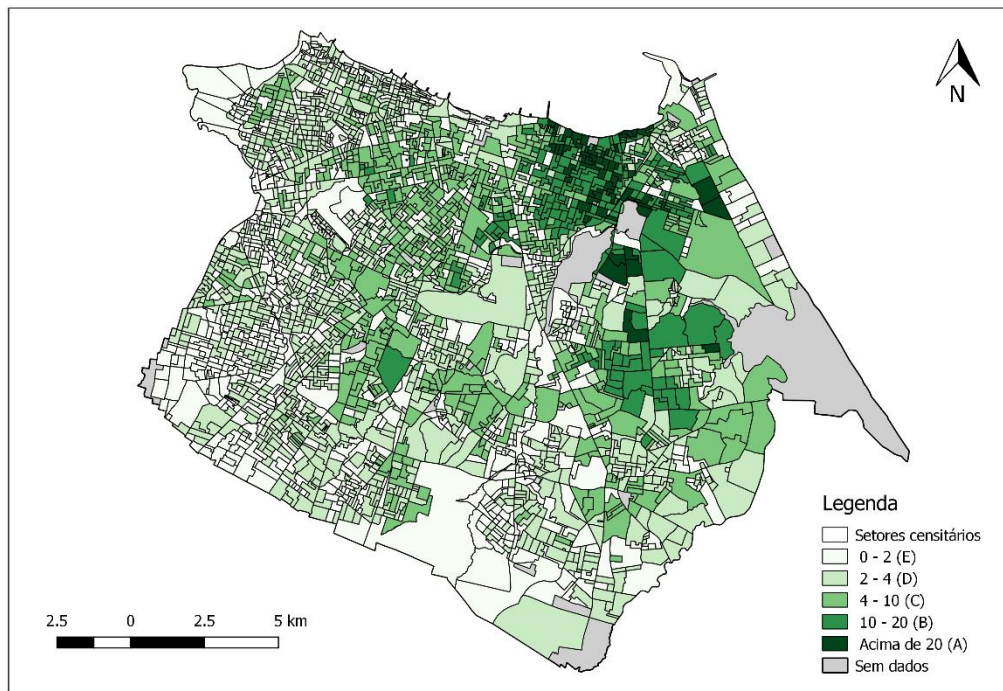
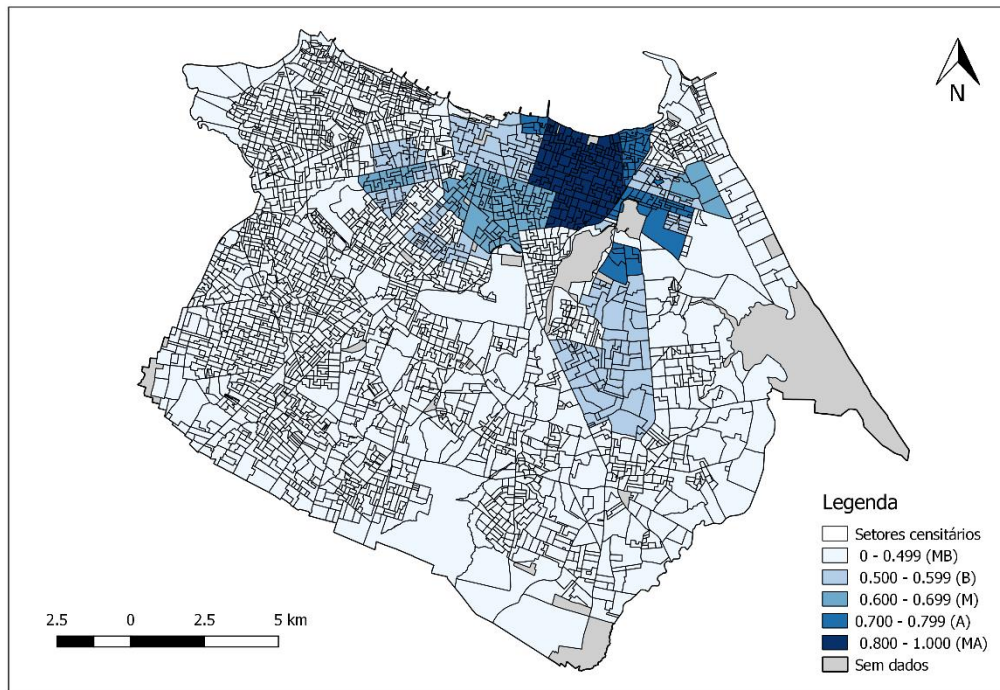


Figura 2 – Mapa das Classes de IDH dos setores censitários



Foram agrupados os dados de demanda de forma a organizar uma grande matriz com 2993 setores e suas respectivas demandas per capita. Devido ao pré-processamento essa planilha foi reduzida a 2952 setores considerados com dados adequados. Após esse processamento foi realizado a regressão linear do segundo grau a fim de obter os três coeficientes, como, pode-se exemplificar, o setor de código 230440005080062, localizado no bairro Centro, o qual apresentou os seguintes valores:

Tabela 2 - Exemplo de coeficientes obtidos para um Setor do Centro de Fortaleza

β^1	β^2	β^3
370,227	8,834	-2,567

Foi encontrado, com isso, a equação de regressão linear entre cada coeficientes e a renda, de maneira a obter as relações abaixo:

$$\beta^1 = 86,102R_i + 0,011 \quad (4)$$

$$\beta^2 = 5,587R_i + 0,0007 \quad (5)$$

$$\beta^3 = -0,8217R_i - 0,0001 \quad (6)$$

Vale ressaltar que o coeficiente β^1 é o interceptor da equação do segundo grau, ou seja, o valor da demanda quando o tempo (t) é 0 (ano inicial de 2009). Para ilustrar de forma representativa as regressões lineares supracitadas, foram gerados os seguintes gráficos:

Figura 3 - Gráfico de Regressão dos Intercepts com as Rendas Médias

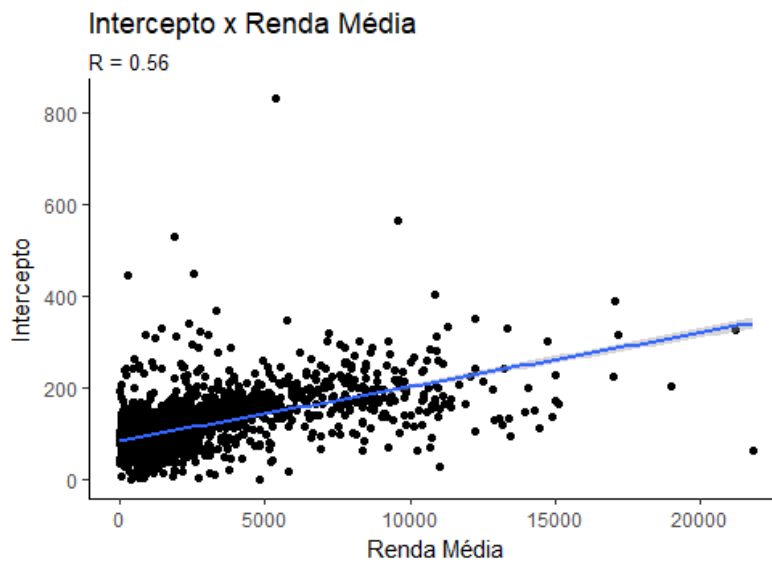


Figura 4 - Gráfico de Regressão dos Coeficientes 1 com as Rendas Médias

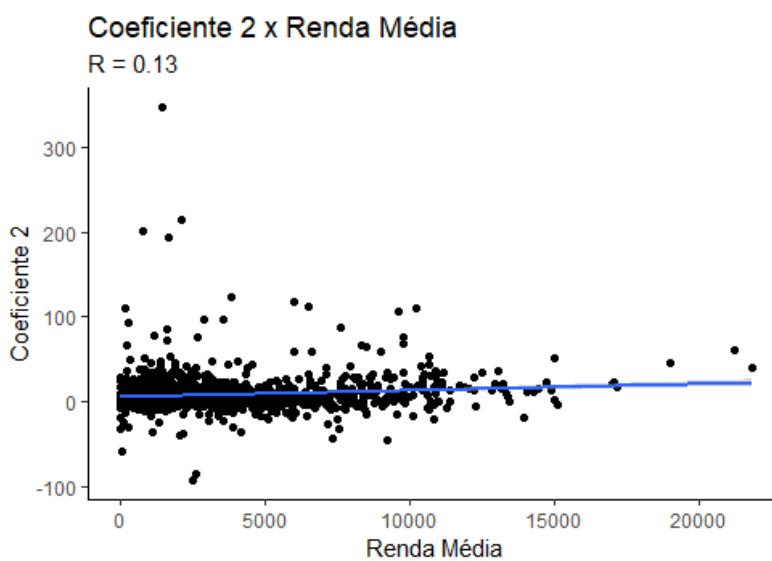
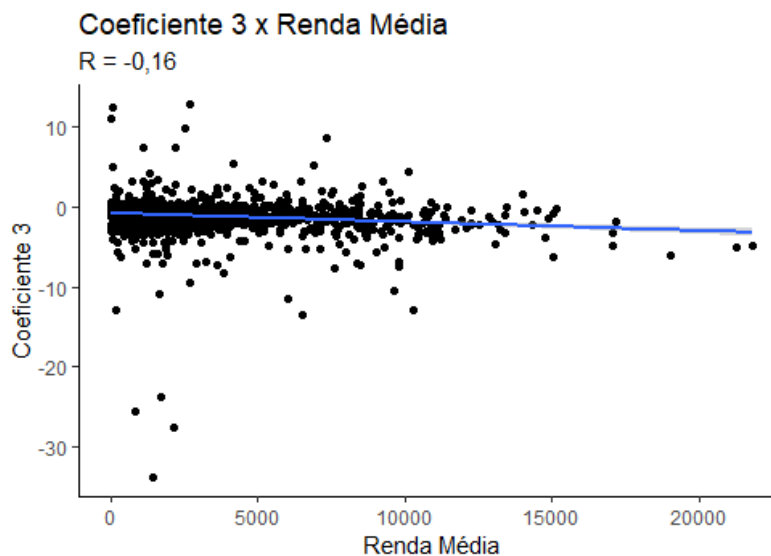


Figura 5 - Gráfico de Regressão dos Coeficientes 3 com as Rendas Médias



Em relação ao coeficiente de correlação (R) de cada regressão é possível analisar que a relação que apresenta uma correlação um pouco significativa ($R=0,56$) é em relação aos interceptos com as rendas médias, contudo, as correlações dos coeficientes 2 e 3 são muito baixas (0,13 e -0,16, respectivamente). Diante dessa conjuntura pode-se inferir que a renda média do setor tem uma relação diretamente proporcional não tão forte com o intercepto da demanda, ou seja, com o valor inicial da demanda. Outro ponto a ser avaliado é que nas regressões dos coeficientes 2 e 3 as retas de regressão apresentam baixa inclinação mostrando que ao variar a renda os coeficientes variam de forma reduzida. Pode-se, assim, deduzir que os coeficientes apresentam valores semelhantes e que, com isso, os setores de Fortaleza nos anos de 2009 a 2017, no geral, apresentaram uma variação similar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A complexidade em se obter o equilíbrio oferta x demanda no que tange o abastecimento de água em grandes centros urbanos, torna-se cada vez maior ao serem adicionados na equação os aspectos físicos, como as mudanças climáticas e eventos de seca, e os aspectos sociais e econômicos, que guiam o comportamento da sociedade e, conseqüentemente, seu padrão de consumo.

A partir da análise estatística que correlaciona os coeficientes de regressão da demanda urbana no tempo com a renda média mensal por setor censitário, foi encontrado que a renda média não apresenta forte dependência com a variação da demanda residencial. A relação é mais forte com o

valor inicial da demanda, mas a correlação decai bastante a partir dos coeficientes de regressão, o que mostra que não é possível estimar uma relação da demanda com o tempo de cada setor a partir do conhecimento da renda média deste, pois esta não explica os coeficientes de variação. Devido à relação maior com o valor inicial da demanda, é possível concluir que há uma tendência dos valores de consumo per capita ser maior de acordo com crescimento da classe de IDH e renda média. Com isso, setores que se localizam na parte norte da cidade, por exemplo, em bairros como Aldeota e Meireles, apresentam um consumo *per capita* mais elevado.

Por fim, recomenda-se para uma análise mais complexa que a série de dados de demanda seja mais extensa, bem como que a renda média considerada de cada setor seja estimada de uma série temporal, não somente de um ano específico, como foi feito nesse estudo, o qual considerou somente a renda média de 2010.

REFERÊNCIAS

COSGROVE, W. J.; LOUCKS, D. P. Water management: current and future challenges and research directions. *Water Resources Research*, v. 51, p. 4823-4839, 2015.

FIELDING, K.S., SPINKS, A., RUSSELL, S., MCCREA, R., STEWART, R., GARDNERS, J. An experimental test of voluntary strategies to promote urban water demand management. *Journal of Environmental Management*, n. 114, p. 343-351. 2013.

LIANQING, X.; YONGKUN, L.; ZHENGHANG, F.; JIEYOU, L. Optimal utilization simulation and decision making on water resources system. *Procedia Environmental Sciences*, v. 12, p. 1097-1103, 2012.

PIENAAR, G. W.; HUGHES, D. A. Linking hydrological uncertainty with equitable allocation for water resources decision-making. *Water Resour Manage*, v. 31, p. 269-282, 2017.

SUÁREZ-ALMIÑANA, S.; PEDRO-MONZONÍS, M.; PAREDES-ARQUIOLA, J.; ANDREU, J.; SOLERA, A. Linking Pan-European data to the local scale for decision making for global change and water scarcity within water resources planning and management. *Science of the Total Environment*, v. 603-604, p. 126-139, 2017.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).