

PREVISÃO DE CONSUMO DE ÁGUA PARA CURTO PRAZO: ESTUDO DE CASO ETA TIJUCAL, CUIABÁ/MT

*Aílson Vilela¹; Bruno Rodrigo de Moraes¹; Jacqueline Kayser Alkmim¹; Tathiane Dalmut Isoton¹;
Thaís Camila Vacari¹; Welitom Ttatom Pereira da Silva²*

RESUMO – O presente trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo matemático para previsão do consumo de água em curto prazo (previsão para o dia seguinte), melhorando assim as condições operacionais na ETA Tijucal, na cidade Cuiabá/MT. Foi realizada a coleta de dados junto à empresa responsável pelo abastecimento do município (Sanecap) e de dados climatológicos, junto ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso (DESA/UFMT). Os dados referem-se a informações diárias, no período de 2009 a 2010. As variáveis consideradas foram: (1) vazão de captação; (2) precipitação diária; (3) dia da semana; (4) mês; e, (5) de sazonalidade. A técnica de modelagem utilizada foi a Programação Não Linear Fuzzy. Para calibração dos parâmetros do modelo foi utilizado o método dos mínimos quadráticos e os indicadores de ajuste foram o coeficiente de correlação (r), o coeficiente de determinação (R^2), a média do erro absoluto em percentual (MAPE) e gráficos de valores observados *versus* estimados. O modelo desenvolvido deverá ser melhorado antes de sua utilização.

ABSTRACT – The objective of this paper is to develop a mathematical model to predict water consumption in the short term (predict for the next day), thereby improving operating conditions in Tijucal waterwork (i.e., a combined water purification plant and pumping station) in the city Cuiabá/MT. Were collecting data from the company responsible for supplying the city (Sanecap) and climatic data, with the Department of Sanitary and Environmental Engineering, Federal University of Mato Grosso (DESA/UFMT). The data refer to daily information for the period 2009 to 2010. The variables considered were: (1) flow rate; (2) daily precipitation; (3) days of the week; (4) month; and (5) seasonally. The modeling technique used was the Fuzzy Nonlinear Programming. For calibration of model parameters the method of least squares and the adjustment indicators were the correlation coefficient (r), the coefficient of determination (R^2), mean absolute percentage error (MAPE) and graphs of observed *versus* estimated. The results showed that water consumption is related to climatic conditions and on holidays and weekends, water consumption is lower than on weekdays. The model should be much improved before its use.

Palavras-chaves – recursos hídricos, lógica fuzzy, planejamento operacional.

¹ Graduando do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso – DESA/UFMT, Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 – Bairro Boa Esperança. Cuiabá - MT – 78060-900, e-mail: jac_kayser@hotmail.com

² Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso – DESA/UFMT, Av. Fernando Corrêa da Costa, nº 2367 – Bairro Boa Esperança. Cuiabá - MT – 78060-900, e-mail: welitom@cpd.ufmt.br

1 – INTRODUÇÃO

A água é fonte de vida, de onde tudo se originou, é um bem público essencial para a manutenção dos ecossistemas e para a sobrevivência do homem na biosfera. Cada vez mais precisamos de água, começando pela dessedentação, passando pela agricultura e chegando até os mais complexos processos industriais. O crescimento populacional tem aumentado cada vez mais a demanda e conseqüentemente alterado a sua qualidade e quantidade. Dessa forma, a água passou a ser uma preocupação crescente não apenas no que se refere à qualidade, mas também, à sua quantidade. Atualmente os gestores de saneamento tem grande preocupação com a redução das perdas físicas de água, de produtos químicos e dos custos com energia. É pensando em mudar este cenário que se busca obter modelos de previsão de consumo. Segundo Falkenberg (2005), diversas são as vantagens de se obter um modelo de previsão de consumo de água para otimização da distribuição de água, tais como: a identificação imediata de vazamentos; o ganho na qualidade da água distribuída; a redução de custos de energia; e, o planejamento otimizado da operação da estação de tratamento de água de modo a obter os melhores pontos de operação dos sistemas que compõem esta planta, principalmente daqueles relacionados a aplicações de produtos químicos. Como proposto originalmente por Wehenkel (2003) o método que mostra melhor capacidade de tratar variáveis difusas, em ambiente de informações incompletas, de baixa qualidade e com variáveis fortemente dependentes, é aquele da árvore de decisão "*top-down*", com operações entre variáveis nos nós feitas por lógica fuzzy (*soft decision trees*). Na mesma linha Sakawa (1993) menciona que na Programação Não Linear Fuzzy (PNLF) se aceita incertezas, imprecisão e ambigüidade. A técnica de PNLF tem mostrado grande potencial para modelagem de sistemas complexos e mal definidos (Sakawa, 1993). Ao consideramos os fatores influentes no consumo de água (variáveis econômicas, sociais, ambientais, outras) e a atual situação das companhias de saneamento (que enfrentam severas limitações econômicas e gerenciais), pode-se considerar que a modelagem do consumo de água por meio da técnica de PNLF é algo a ser considerado.

Neste trabalho foi utilizado a PNLF para o desenvolvimento de modelos de previsão de consumo de água para curto prazo na ETA Tijucal, na cidade de Cuiabá/MT.

2 – OBJETIVOS

2.1 – Objetivo Geral

Desenvolver um modelo matemático para previsão do consumo de água em curto prazo (para o dia seguinte), contribuindo com a operação da ETA Tijucal, na cidade Cuiabá/MT.

2.2 – Objetivos específicos

Para o desenvolvimento desta pesquisa, os seguintes objetivos específicos são propostos:

- (1) Identificar possíveis relações entre os dados coletados e o consumo de água.
- (2) Propor um modelo de previsão de consumo de água para o curto prazo (para o dia seguinte).
- (3) Verificação do modelo desenvolvido e sua possível aplicabilidade em situação real.

3 – METODOLOGIA

A metodologia consistiu das seguintes etapas: (1) descrição da área de estudo; (2) análise do problema; (3) coleta de dados; (4) análise dos dados; (5) identificação de possíveis formas de associação entre as variáveis; (6) proposição de modelos matemáticos de previsão do consumo de água; (7) calibração dos parâmetros dos modelos; e, (8) verificação do modelo desenvolvido.

Para descrição da área de estudo e análise do problema foi realizada a consulta a informações disponibilizadas pela empresa responsável pelo abastecimento de água no município (Companhia de Saneamento da Capital - Sanecap), a informações disponibilizadas pelo Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano de Cuiabá (IPDU) e a revisão de literatura acerca da área de estudo. A coleta de dados se deu por meio da consulta realizada junto a Sanecap e ao junto ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso (DESA/UFMT). Para análise dos dados foi realizado a análise estatística descritiva (valor de máximo, valor mínimo, valor médio, variância e desvio padrão). Para identificação das possíveis formas de associações entre as variáveis, foram elaborados diagramas de dispersão entre as variáveis possivelmente relacionada ao consumo de água e o consumo de água, seguindo o sugerido por Gujarati (2000). Neste estudo, foi considerado, a fim de simplificação, que o consumo de água da população abastecida pela ETA Tijucal equivale à vazão de captação da ETA. Esta simplificação pode ser justificada pela limitação técnica e operacional da ETA (inexistência de dados acerca de vazões de saída da ETA). Para proposição do modelo matemático de previsão, foi realizada a análise visual da forma de associação entre as variáveis possivelmente relacionada ao consumo de água e o consumo de água, seguindo o sugerido por Gujarati (2000). A técnica de PNLF foi utilizada para desenvolvimento do modelo matemático de previsão, seguindo recomendação de Sakawa (1993), para a modelagem de sistemas complexos e mal definidos. O processo de otimização dos parâmetros, nos modelos fuzzy, seguiu o proposto por Thakre *et al.* (2009) para a solução de problemas de programação fuzzy. Para as variáveis qualitativas foram adotados escalas conforme segue:

- Dia da semana: 1 = segunda-feira, 2 = terça-feira, 3 = quarta-feira, 4 = quinta-feira, 5 = sexta-feira, 6 = sábado, 7 = domingo, 8 = feriado;
- Mês do ano: 1 = janeiro, 2 = fevereiro, 3 = março, 4 = abril, 5 = maio, 6 = junho, 7 = julho, 8 = agosto, 9 = setembro, 10 = outubro, 11 = novembro, 12 = dezembro;
- Sazonalidade: 1 = período seco, 2 = período chuvoso.

Para calibração dos parâmetros dos modelos foi utilizado o métodos dos mínimos quadráticos e um software de otimização acessível, de fácil utilização e de licença livre, denominado Calc-Solver (planilha de cálculo do OpenOffice), desenvolvido pela Sun Microsystems e fundamentado na técnica de otimização não linear *Differential Evolution & Particle Swarm Optimization* (DEPS). A verificação do modelo desenvolvido se deu por meio do emprego de alguns indicadores de ajuste entre eles, o coeficiente de correlação (r) entre os valores observados e estimados, o coeficiente de determinação (R^2), a média do erro absoluto em percentual (MAPE) e gráficos de valores observados *versus* valores estimados.

4 – RESULTADOS

Na sequência estão apresentados os resultados obtidos em cada um das etapas metodológicas propostas.

4.1 – Descrição da área de estudo

Com a expansão da cidade de Cuiabá e a necessidade de novas unidades habitacionais, o governo, após estudos, determinou a construção de um conjunto habitacional na região sul de Cuiabá (Coxipó) composto de mais de 4 mil casas, conhecido hoje como bairro Tijucal.

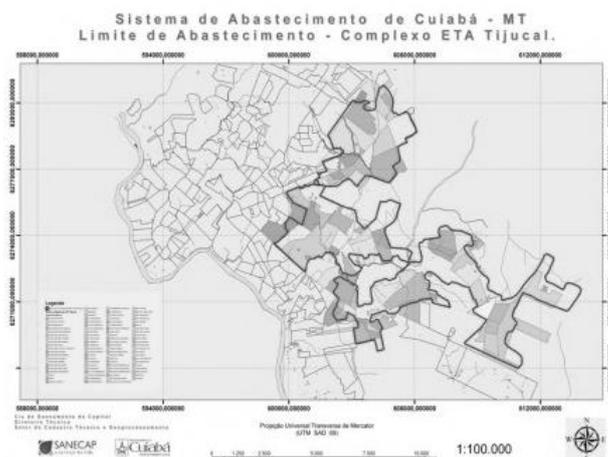


Figura 1 – Complexo ETA Tijucal I
Fonte: Sanecap (2011)

Para dotar esse conjunto de água, a Companhia de Saneamento do Estado de Mato Grosso (SANEMAT) construiu o Sistema Tijucal I. A Figura 1 apresenta o croqui desse complexo. O complexo de tratamento de água do Tijucal é composto por duas estações interligadas através de vasos comunicantes em seus reservatórios. Essa água já tratada é recalçada para o reservatório apoiado com capacidade de 350m³ e em seguida encaminhada a rede de distribuição por bombeamento. As linhas de bombeamento desse complexo incluem os bairros: Boa Esperança; Osmar Cabral; Tijucal; CPA; Nova Esperança; e, Novo Milênio.

4.2 – Análise do problema

De acordo com a Sanecap (2010), o sistema opera atualmente com capacidade de 500 L.s⁻¹, porem a demanda é muito maior, de modo que em alguns bairros o abastecimento seja intermitente, podendo ficar até dois dias água nos períodos de seca, causando enorme insatisfação por parte daqueles que são abastecidos. A Sanecap elaborou um estudo e concluiu que as adutoras de água tratada existentes não atendem às condições hidráulicas de funcionamento, pois já estão operando no seu limite e com alternância nas linhas de abastecimento. O sistema de abastecimento da ETA Tijucal opera na sua capacidade máxima, ainda de forma insuficiente além de gerar um custo de energia elétrico na ordem de R\$ 230.000,00 por mês para a Companhia. O estudo de previsão de consumo auxilia para diagnosticar os eventuais problemas, e a partir disso elaborar medidas mitigadoras como, por exemplo, diminuição dos custos de energia elétrica através do desligamento de bombas e equipamentos nos momentos em que não são necessários.

4.3 – Coleta de dados

A coleta de dados se deu por meio a consulta a informações disponibilizadas pela Sanecap, ao Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Urbano de Cuiabá (IPDU) e a revisão de literatura acerca da área de estudo. A Figura 1 apresenta parte do banco de dados obtido.

	A	B	C	D	E
1	DS	ME	PR	SZ	CO
2	8	1	2,2	2	755
3	6	1	10,4	2	761
4	6	1	42,2	2	761
5	7	1	56,3	2	739
6	1	1	8,3	2	739
7	2	1	17	2	739

DS é o dia da semana; ME é o mês do ano; PR é a precipitação diária; SZ sazonalidade; CO é o consumo de água

Figura 2 – Banco de dados obtido após a realização da coleta de dados

4.4 – Análise dos dados

A análise descritiva deste banco de dados está apresentada na Tabela 3. A vazão média de consumo foi de 887,39 L.s⁻¹ e a precipitação média foi de 4,10 mm.d⁻¹.

Tabela 3 – Análise descritiva das variáveis estudadas (N = 730)

Variável	Unidade	Mínimo	Máximo	Média	Variância	DP
CO	L.s ⁻¹	380,00	1406,00	887,39	43626,09	208,87
PR	mm.d ⁻¹	0,00	94,00	4,10	121,01	11,00

CO é o consumo de água; PR é a precipitação diária

4.5 – Identificação de possíveis formas de associação entre as variáveis

A identificação da forma de associação entre as variáveis se deu por meio da elaboração de diagramas de dispersão, Figuras 3a, 3b, 3c e 3d, seguindo o sugerido por Gujarati (2000).

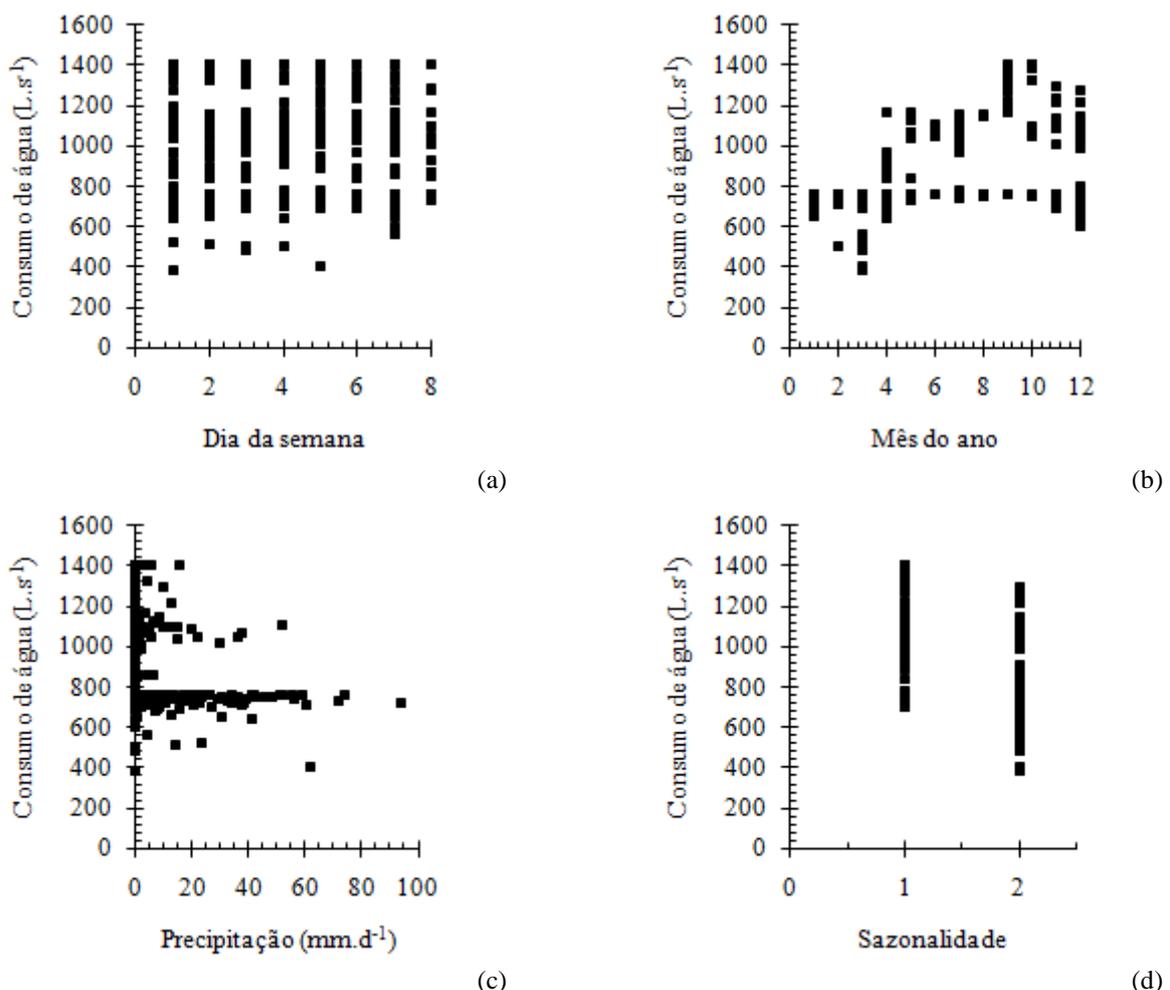


Figura 3 – Diagramas de dispersão: consumo de água versus dia da semana (a); consumo de água versus mês do ano (b); consumo de água versus precipitação (c); consumo de água versus sazonalidade (d)

No sistema de abastecimento de água ocorrem variações de consumo significativas, que podem ser anuais, mensais, diárias, horárias e instantâneas. No projeto do sistema de abastecimento de água, algumas dessas variações de consumo são levadas em consideração no cálculo do volume a ser consumido (FUNASA, 2006). Dependendo do dia da semana e, se é feriado ou não, haverá mudança nos hábitos da população alterando o consumo. O diagrama da Figura 3a apresenta um perfil de consumo diferenciado para os dias de semana, fins de semana e feriados. Uma possível forma de associação entre as variáveis CO e DS é apresentada na Equação 1.

$$CO = \beta_1 \cdot DS + \varepsilon_1 \quad (1)$$

Na qual: CO é o consumo de água ($L \cdot s^{-1}$); β_1 é parâmetro relacionado ao dia da semana; DS é o dia da semana; e, ε_1 é o erro associado ao modelo proposto.

De acordo com FUNASA (2006) as variações climáticas (temperatura e precipitação) promovem uma variação mensal do consumo. Quanto mais quente e seco for o clima maior é o consumo verificado. Conforme Figura 3b observa-se que o consumo de água varia de forma importante com o mês do ano. Sendo que nos meses do período de seca, como Setembro e Outubro, há maior consumo, variando de 800 a 1400 $L \cdot s^{-1}$. Enquanto nos meses do período de chuva Janeiro, Fevereiro e Março o consumo varia de 350 a 800 $L \cdot s^{-1}$. Uma possível forma de associação entre as variáveis CO e ME é apresentada na Equação 2.

$$CO = \beta_2 \cdot ME^3 + \varepsilon_2 \quad (2)$$

Na qual: β_2 é parâmetro relacionado ao mês do ano; ME é mês do ano; e, ε_2 é o erro associado ao modelo proposto.

A Figura 3c demonstra que o consumo de água tende a aumentar quando o índice pluviométrico está baixo, a ausência de chuva contribui para permanência do clima seco, aumentando assim a necessidade da população em usufruir água. Desta forma, foi possível sugerir uma equação subjetiva que comprove essa teoria, contudo esta deve ser examinada e analisada de maneira a encontrar um arranjo que melhor expresse a real associação. A Equação 3 apresenta uma possível forma de associação entre CO e PR.

$$CO = -\frac{\beta_3}{1 + PR} + \varepsilon_3 \quad (3)$$

Na qual: β_3 é parâmetro relacionado a precipitação; PR é precipitação diária (mm.d^{-1}); e, ε_3 é o erro associado ao modelo proposto.

A sazonalidade refere-se as estações do ano (verão, primavera, outono e inverno). No Estado de Mato Grosso estas estações não são definidas, sendo comumente denominadas de período de seca e período chuvoso. A Figura 3d apresenta a relação entre o consumo de água e a sazonalidade. Na seca o consumo é maior, pois é maior a necessidade em consumir água por parte da população, sendo essa vazão próxima de 1000 L.s^{-1} . Enquanto que nos meses chuvosos esta diminui para 800 L.s^{-1} . A Equação 4 apresenta uma forma de associação entre CO e SZ que apresenta essa conclusão.

$$CO = -\beta_4 \cdot SZ + \varepsilon_4 \quad (4)$$

Na qual: β_4 é parâmetro relacionado a sazonalidade; SZ é sazonalidade; e, ε_4 é o erro associado ao modelo proposto.

4.6 - Proposição de modelos matemáticos de previsão do consumo de água

A partir do histórico relacionado de consumo de água e da identificação da possível forma de associação entre as variáveis pode-se propor um modelo inicial para expressar o consumo de água da ETA Tijucal, sendo este influenciado pelo dia da semana (DS), mês (ME), precipitação (PR) e a sazonalidade (SZ). As variáveis consumo de água (CO) e precipitação (PR) passaram por um processo de fuzzificação (conversão de um valor numérico em conjuntos difusos). Os valores de CO e PR, representados por \widetilde{CO} e \widetilde{PR} respectivamente, são dados pelas funções de pertinência triangular e estão apresentados nas Figuras 5a e 5b.

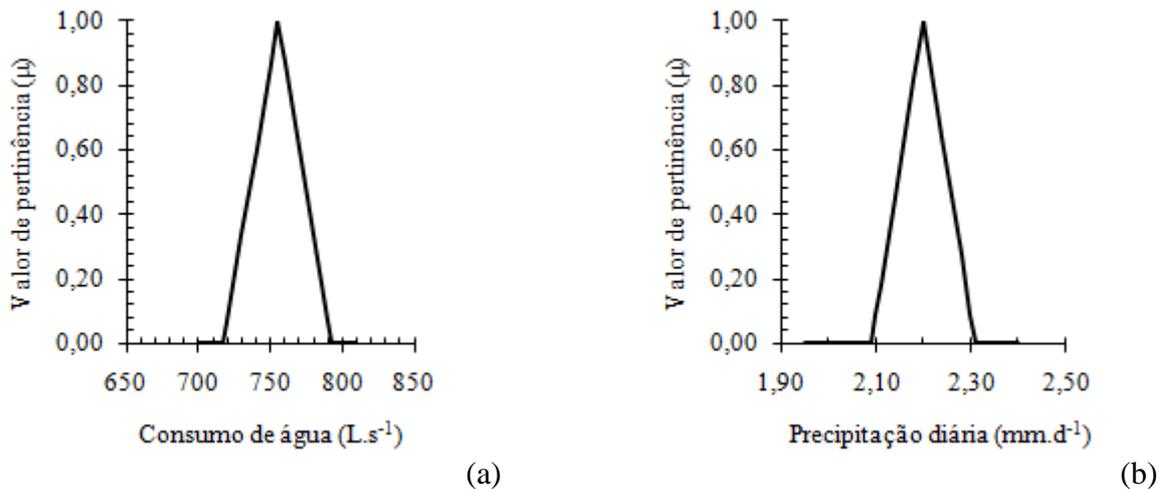


Figura 5 – Fuzzificação de variáveis: número fuzzy para \widetilde{CO} (a); número fuzzy para \widetilde{PR} (b)

Assumiu-se como erros intrínsecos nas variáveis (CO e PR) um percentual de $\pm 5\%$, seguindo o realizado por Altunkaynak *et al.* (2005) e considerando as limitações gerenciais e operacionais das instituições fornecedoras dos dados. A Equação 5 apresenta o modelo matemático inicial (modelo 1) que foi proposto.

$$\tilde{CO} = \beta_0 + \beta_1.DS + \beta_2.ME^3 - \frac{\beta_3}{1 + \tilde{PR}} - \beta_4.SZ \quad (5)$$

Na qual: \tilde{CO} é um número fuzzy que representa o valor médio do consumo de água ($L.s^{-1}$); $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_4$ são os parâmetros dos modelos; DS os dias da semana; ME corresponde os meses; \tilde{PR} é um número fuzzy que representa o valor médio da precipitação diária ($mm.d^{-1}$); e, SZ é a sazonalidade.

A Tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros e os indicadores de ajuste do modelo 1. A avaliação do modelo 1 indicou um resultado não satisfatório do modelo, o coeficiente de correlação (r) apontaram a existência de uma fraca correlação entre os valores observados e estimado ($r = 0,2342$) e o coeficiente de determinação apresentou um valor de $R^2 = 0,0549$, valor que pode ser considerado baixo se considerado alguns trabalhos já desenvolvidos com características similares (Fernandes Neto *et al.* (2004) encontraram valor de $R^2 = 0,3689$; Silva *et al.* (2008) encontraram valor de $R^2 = 0,7947$; Mukhopadhyay *et al.* (2001) encontraram valor de variando $0,010 \leq R^2 \leq 0,650$; e, Fullerton Jr *et al.* (2007) encontraram valor de $R^2 = 0,8433$).

Tabela 4 – Indicadores e parâmetros do modelo 1

R^2	r	MAPE (%)	Parâmetro	Valor
0,0549	0,2342	434,76	β_0	774,521
			β_1	1,042
			β_2	0,046
			β_3	346,087
			β_4	123,270

A Figura 4 apresenta o gráfico de valores observados *versus* estimados (modelo 1), onde também se observa uma fraca associação entre valores observados e estimados pelo modelo 1. Os indicadores de ajuste apontaram que o modelo é insatisfatório do ponto de vista prático (baixos valores de r, R^2 e muito alto valor de MAPE) e há necessidade de adequações no modelo 1.

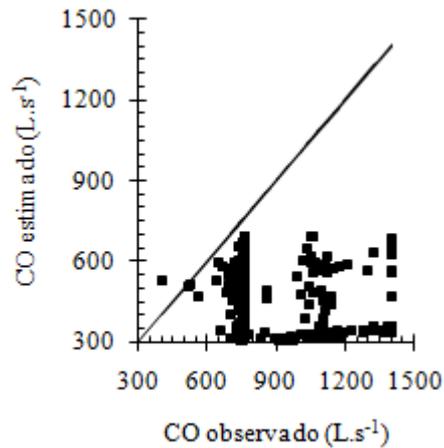


Figura 4 – Valores observados *versus* estimados para o modelo 1

Dessa forma, outro o modelo fuzzy foi proposto, o modelo 2, segundo a Equação 6. O modelo 2 considera a hipótese da existência de uma relação linear e inversamente proporcional entre a precipitação e consumo de água. A Tabela 5 apresenta os valores dos parâmetros e os indicadores de ajuste do modelo 2.

$$\tilde{CO} = \beta_0 + \beta_1.DS + \beta_2.ME^3 - \beta_3.\tilde{PR} - \beta_4.SZ \quad (6)$$

Tabela 5 – Indicadores e parâmetros do modelo 2

R ²	r	MAPE (%)	Parâmetro	Valor
0,0601	0,2451	427,57	β_0	410,457
			β_1	0,120
			β_2	0,055
			β_3	-14,417
			β_4	93,994

A Figura 6 apresenta o gráfico de valores observados *versus* estimados (modelo 2), onde também se observou a não adequação do modelo 2. Assim, da mesma forma que no modelo 1 verifica-se a necessidade de adequações do modelo 2. Nesse sentido, vários outros modelos foram desenvolvidos e testados, os resultados encontrados também não foram animadores. Um destes modelos é apresentado na sequência.

Fundamentando-se na Figura 3c, em se observa uma grande variabilidade do consumo de água em dias em que não há precipitação ($PR = 0 \text{ mm.d}^{-1}$) e uma tendência a redução de consumo à medida que há um aumento da precipitação, foi proposto um modelo composto por dois outros

modelos. Sendo o primeiro modelo para os dias em que não há precipitação ($PR = 0 \text{ mm.d}^{-1}$) e o segundo modelo para os dias em que há precipitação.

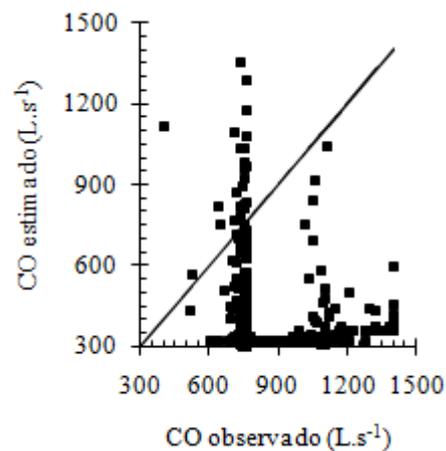


Figura 6 – Valores observados *versus* estimados para o modelo 2

As Equações 7, 8 e 9 apresentam os modelos para os dias em que não há precipitação (não há chuva) e os dias em que há precipitação (há chuva). As Tabelas 6 e 7 apresentam os resultados do modelo 3 e as Figuras 7a e 7b os gráficos de valores observados *versus* estimados referente ao modelo 3.

$$CO = \begin{cases} f(DS, ME, SZ) & \text{se não há chuva} \\ f(DS, ME, PR, SZ) & \text{se há chuva} \end{cases} \quad (7)$$

$$f(DS, ME, SZ) = \beta_0 + \beta_1 \cdot DS + \beta_2 \cdot ME - \beta_3 \cdot SZ \quad (8)$$

$$f(DS, ME, SZ) = \beta_4 + \beta_5 \cdot DS + \beta_6 \cdot ME - \beta_8 \cdot \tilde{PR} - \beta_9 \cdot SZ \quad (9)$$

Na qual: $f(DS, ME, SZ)$ é o modelo para os dias em que não há precipitação; e, $f(DS, ME, PR, SZ)$ é o modelo para os dias em que há precipitação.

Tabela 6 – Indicadores e parâmetros do modelo 3 (dias em que não há precipitação)

R^2	r	MAPE (%)	Parâmetro	Valor
0,2159	0,4647	18,22	β_0	868,0098
			β_1	-0,6361
			β_2	26,2961
			β_3	94,8098

Tabela 7 – Indicadores e parâmetros do modelo 3 (dias em que há precipitação)

R^2	r	MAPE (%)	Parâmetro	Valor
0,2430	0,4930	327,89	β_4	242,119
			β_5	-0,348
			β_6	10,009
			β_7	-16,450
			β_8	49,400

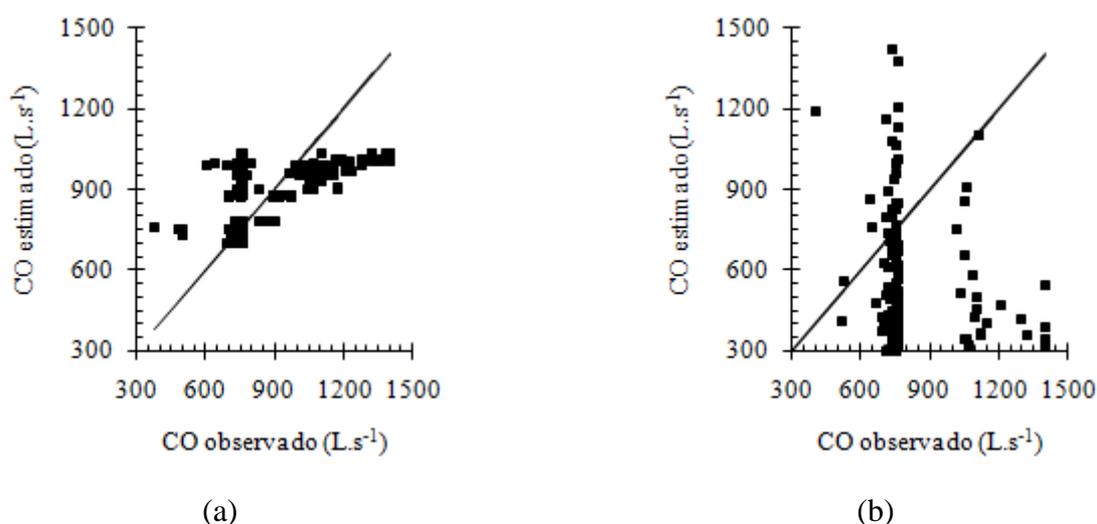


Figura 7 – Valores observados *versus* estimados para o modelo 3: dias em que não há precipitação, Equação 8 (a); dias em que há precipitação, Equação 9 (b)

Os resultados ainda podem ser considerados insatisfatórios, baixos valores de R^2 e altos valores de MAPE. Observa-se ainda a necessidade de adequações importantes no modelo 3. Como possíveis justificativas a inadequação dos modelos desenvolvidos pode-se mencionar a qualidade dos dados de entrada no modelo, a inserção de poucas variáveis influentes no modelo (realizada em função das limitações de dados na em estudo) e um pequeno histórico de dados utilizados (somente dois anos). A fraca relação entre as variáveis de entrada dos modelos e o consumo de água, conforme Figura 3a, 3b, 3c e 3d, também contribuíram para os resultados insatisfatórios.

5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Um modelo matemático para previsão do consumo de água em curto prazo foi desenvolvido. Porém, ficou evidente a necessidade de adequações importantes nos modelos desenvolvidos. A quantidade de dados limitada e qualidade dos dados utilizados para modelagem podem ter contribuído sobremaneira para insucesso dos modelos desenvolvidos. A programação não linear

lógica fuzzy não apresentou bons resultados, no entanto, como mencionado anteriormente, a limitação dos dados de entrada podem ter comprometido severamente os modelos desenvolvidos.

Sugere-se que trabalhos futuros considerem histórico de dados maior (maior número de variáveis e período maior de dados) e a realização de teste de qualidade dos dados de entrada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia de Saneamento da Capital (Sanecap) pela disponibilização de dados e ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso (DESA/UFMT) pela colaboração para o desenvolvimento da pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

ALTUNKAYNAK, A.; ÖZGER, M.; ÇAKMAKCI, M. (2005). “*Water consumption prediction of Istanbul city by using fuzzy logic approach*”. *Water Resources Management*, 19, pp. 641-654.

FALKENBERG, A. V. (2005). “*Previsão de consumo urbano de água em curto prazo*”. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

FERNANDES NETO, M.L.; NAGHETTINI, M.; VON SPERLING, M.; LIBÂNIO, M. (2004). “*Avaliação da relevância dos parâmetros intervenientes no consumo per capita de água para os municípios de Minas Gerais*”. *Revista ABES*, 9(2), pp. 100-107.

FULLERTON JR, T.M.; TINAJERO, R.; COTA, J.E.M. (2001). “*An empirical analysis of Tijuana water consumption*”. *Atlantic Economic*, 35, pp. 357-369.

FUNASA. (2006). *Manual de Saneamento. Orientações técnicas*. Ministério da Saúde do Brasil. Brasília-DF.

GUJARATI, D.N. (2000). *Econometria básica*. 3 ed. Pearson Makron Books. São Paulo-SP, 864 p.

MUKHOPADHYAY, A.; AKBER, A.; AL-AWADI, E. (2001). “*Analysis of flashwater consumption patterns in the private residences of Kuwait*”. *Urban Water*, 3, pp. 53-62.

SAKAWA, M. (1993). *Fuzzy Sets and Interactive Multiobjective Optimization*. Plenum Press. New York.

SANECAP. (2010). “*História ETA Tijucal*”. Disponível em: <<http://www.sanecap.com.br/TNX/conteudo.php?sid=129&cid=3314>> Acesso em: 12 abr. 2011.

SANECAP. (2011). “*Relatório Operacional da ETA Tijucal, Cuiabá*”. Disponível em: <<https://sanecap.locaweb.com.br/produtos.php?IDCategoria=306>> Acesso em: 12 abr. 2011.

SILVA, W.T.P.; SILVA, L.M.; CHICHORRO, J.F. (2008). “*Gestão de recursos hídricos: perspectivas do consumo per capita de água em Cuiabá*”. *Revista ABES*, 13(1), pp. 8-14.

THAKRE, P.A.; SHELAR, D.S.; THAKRE, S.P. (2009). “*Solving fuzzy linear programming problem as multi objective linear programming problem*” in Proceedings of the World Congress on Engineering 2009 Vol II, London, July 2009, 1.

WEHENKEL, L.; OLARU, C. (2003). “*A complete fuzzy decision tree technique*”. Fuzzy Sets and Systems. 138(2), pp. 221–254.