

## MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA EM SISTEMAS HIDRÁULICOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO MUNICÍPIO DE BELO HORIZONTE – MG

MATH MODELING APPLIED IN WATER SUPPLY HYDRAULIC SYSTEMS IN BELO HORIZONTE - MG

**Matheus César Uelton Marques" <matheus.marx@hotmail.com>**  
**Agnaldo Pereira da Silva Junior" <agnprojeto@gmail.com>**  
**Marcelo Marisa" <marceloautocon@gmail.com>**  
**Rejane Izabel Lima Corrêa" <rejane.correa@feamig.br>**  
**Fernando César Zanette" <fernando.zanette@feamig.br>**

### RESUMO

Este trabalho trata da modelagem matemática e simulação computacional de um sistema hidráulico de abastecimento de água aplicado no município de Belo Horizonte – MG. Fundamentada no consumo, abastecimento de água potável necessária à sustentabilidade da humanidade, se faz necessária uma criteriosa análise de metodologias que tencionem por um uso mais racional e equitativo deste recurso natural. Cada vez mais, o desperdício, a escassez e as despesas decorrentes do mau uso da água tornam-se realidade no mundo todo. Dessa maneira, se apresenta como grande desafio aos órgãos gestores responsáveis pela distribuição e manutenção de água, fornecê-la com a qualidade e quantidade devida a todos os seres vivos. Dentro desse contexto, a modelagem matemática é a técnica que transforma problemas da realidade em problemas matemáticos, propondo sua solução na linguagem do mundo real. O objetivo desta pesquisa é tratar da modelagem matemática aplicada à análise da perda de carga em sistemas hidráulicos de abastecimento. O levantamento de dados foi feito *in loco*, na visita à unidade de abastecimento da COPASA, localizada no bairro Vale do Jatobá, região do Barreiro. Muito embora este estudo apresente um modelo para a análise de perda de carga, é imprescindível a criação de parâmetros reguladores que estabeleçam indicadores de consumo coerentes. Dessa forma, e alinhado a um modelo matemático elaborado, a garantia da prestação do serviço de abastecimento de água acontecerá de modo eficiente e igualitário.

**Palavras-chave:** Modelagem matemática. Sistemas hidráulicos. Sistemas de abastecimento de água. Perda de carga. Análise.

### ABSTRACT

This work deals with the mathematical modeling and computational simulation of a hydraulic water supply system applied in Belo Horizonte - MG. Based on consumption, drinking water supply necessary for the sustainability of humanity, it is necessary a careful analysis of methodologies that aim for a more rational and equitable use of this natural resource. Increasingly waste, scarcity, and expense from water misuse are becoming a reality worldwide. Thus, it presents a major challenge to the management bodies responsible for the distribution and maintenance of water, providing it with the quality and quantity due to all living beings. Within this context, mathematical modeling is the technique that transforms reality problems into mathematical problems, proposing their solution in real world language. The objective of this research is to address the mathematical modeling applied to the pressure drop analysis in hydraulic supply systems. The collection of data was done on site during a visit to the COPASA's Supply unit, located at Vale do Jatobá neighborhood, Barreiro District. Although this study presents a model for the analysis of load loss, it is essential to create regulatory parameters that establish coherent consumption indicators. Through that and aligned to an elaborated mathematics model, the guarantee of the provision of the water supply service will take place efficiently and equally.

**Keywords:** Mathematical modeling. Hydraulic systems. Water supply systems. Cargo loss. Analyze.

#### Correspondência/Contato

FEAMIG

Rua Gastão Braulio dos Santos, 837

CEP 30510-120

Fone (31) 3372-3703

parametrica@feamig.br

<http://www.feamig.br/revista>

#### Editores responsáveis

Wilson José Vieira da Costa

[wilsoncosta@feamig.br](mailto:wilsoncosta@feamig.br)

Raquel Ferreira de Souza

[raquel.ferreira@feamig.br](mailto:raquel.ferreira@feamig.br)

## 1 INTRODUÇÃO

A hidráulica é um ramo da engenharia que denota atenção e estudo peculiar. Ela tem como escopo o tratamento de questões relacionadas à captação, controle, manejo da água. Sua origem está ligada a épocas bastante remotas da humanidade, quando não se apresentava ainda como ciência, mas sim um conjunto de técnicas aplicadas. À medida que sociedades e economia foram se desenvolvendo, sua relevância e atuação foram também se ampliando.

Hoje, sua aplicação permeia diversos setores, mas é no gerenciamento de recursos hídricos que sua importância recebe maior ênfase. Tal notoriedade é legitimada, devido ao consumo, abastecimento e provimento de água potável necessária à sustentabilidade de sociedades, empresas e outros segmentos.

Mas, uma visão sistêmica desta gestão suscita questionar se esse processo que envolve a captação e distribuição de água ocorre de forma adequada e justa. Em linhas gerais, quando se analisa temas relacionados à água, como crise hídrica, e se remonta a fatos de má gerência de recursos hídricos, é premente elaborar medidas mitigadoras a respeito.

A engenharia hidráulica, neste contexto, por se tratar de um campo de estudo bastante abrangente, através do conhecimento da mecânica dos fluidos, da termodinâmica, dentre outras ciências, que compreendem conceitualmente o seu acervo científico, é de grande valia para o desenvolvimento de uma gestão de recursos eficaz.

Dentro da hidráulica, quando se estuda o escoamento dos fluidos, sobretudo no campo da Hidrodinâmica, são apresentados os conceitos de fluidos perfeitos ou ideais e fluidos reais. Os fluidos ideais são modelos hipotéticos de fluidos que não apresentam tensões de cisalhamento atuando no seu movimento.

Em contrapartida, fluidos reais apresentam forças de atrito atuando entre suas partículas, assim como forças atuando entre as partículas e o meio sólido. Pode-se inferir que, se estes fluidos apresentam forças contrárias ligadas ao seu movimento natural, um decréscimo no escoamento ocorre e, essa diminuição, é chamada de perda de carga.

Índices elevados de perda de carga podem impactar políticas públicas de órgãos gestores de saneamento, através de prestação de serviços insuficientes e deficitários ao atendimento da população; onerar indústrias com a necessidade de investimentos financeiros que poderiam ser preteridos e restringir melhorias na saúde pública quando não se consegue erradicar doenças causadas pela falta de água.

A problemática discute em que medida a aplicação da modelagem matemática é capaz de gerar resultados confiáveis para a análise da perda de carga em sistemas hidráulicos de abastecimento de água no município de Belo Horizonte/MG.

Diante do exposto, esta pesquisa tem como objetivo geral aplicar um modelo matemático para análise de perdas de cargas em sistemas hidráulicos de abastecimento de água no município de Belo Horizonte/MG.

A presente pesquisa se justifica, porque a aplicação de modelos matemáticos dentro da engenharia hidráulica é de suma importância, especialmente quando se analisa perdas de carga em escoamentos de fluídos. Comprova esse entendimento o fato de modelos matemáticos entreverem perspectivas do funcionamento de sistemas de abastecimento de água. Essa análise prévia juntamente com um recurso computacional permite aos gestores, uma tomada de decisão com o auxílio de dados fidedignos.

Além da sua importância no emprego de medidas paliativas como manutenções preventivas ou procedimento usual na inspeção de redes e tubulações de água, a modelagem matemática se destaca também pela sua capacidade de atuar por meio de programas computacionais. O uso destes avanços tecnológicos permite respostas mais precisas e em tempo real. Portanto, a modelagem matemática proporciona de maneira eficaz, a determinação de correções de falhas tanto pontuais quanto longitudinais dentro de um sistema de abastecimento.

Desse modo, a execução de um modelo matemático no ambiente da Engenharia Hidráulica atesta a redução de perdas de carga em sistemas de abastecimento de água, garantindo uma redução de gastos para a prestadora de serviços, e a segurança do abastecimento da população futura. O tema proposto também é relevante para os pesquisadores, haja vista a possibilidade de futuras pesquisas. Além de servir como fonte de aprendizado, no que se refere ao assunto em questão.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

De acordo com Serrano (2007), a maior evolução no controle dos sistemas hidráulicos ocorreu no século passado, particularmente na segunda guerra mundial. Este sistema foi progredindo em diversas áreas como agricultura, transporte, aviação, náutica, máquinas para movimento de terra e atualmente continuam evoluindo devido aos avanços da eletrônica e informática.

Conforme Heller (2006, p.58), “os profissionais encarregados de planejar, projetar, implantar, operar, manter e gerenciar as instalações de abastecimento de água devem sempre ter presente essa realidade”. O autor se refere à análise de perdas de cargas em sistemas hidráulicos. Para Tsutiya (2000), os escoamentos podem ser classificados em livres e forçados. Livre em contato com a pressão atmosférica, enquanto os escoamentos forçados caracterizam-se pelo completo preenchimento da tubulação.

Os medidores de vazão em condutos livres são comuns em sistemas de coleta e afastamento de esgotos, descarga de efluentes industriais e em unidades das Estações de Tratamento de Esgotos (ETES), enquanto os de condutos forçados são utilizados em sistemas de abastecimento de água e instalações de recalque (água e esgoto).

O Sistema de Abastecimento de Água (SAA) é definido, de acordo com Barros (1995), como o conjunto constituído pelas obras, pelos equipamentos e pelos serviços destinados ao abastecimento de água potável de uma comunidade para fins de uso doméstico, público, industrial e outros.

Meneses (2011) considera o sistema de abastecimento público de água como um conjunto de sistemas hidráulicos que têm como finalidade captar, tratar e distribuir água para os municípios, em quantidade e com qualidade possível aos anseios da população.

Compete ao Poder Público, a gestão dos Sistemas de Abastecimento de Água (SAAs) nas cidades brasileiras, e é da responsabilidade de seus dirigentes por meio de órgãos competentes a promoção da sua concepção e operação com finalidade de fornecer à população água de qualidade e em medida suficiente de maneira que atenda às suas necessidades.

Para uma melhor compreensão do assunto em questão, é necessário conhecer as unidades constituintes de um SAA. Meneses (2011) enfatiza que o sistema de abastecimento de água de determinada área ou região, é compreendido por algumas unidades, são elas: manancial, captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água, reservatório, e por uma rede de distribuição.

Segundo Tucci (2005), manancial é toda fonte de água que pode ser destinada ao abastecimento humano, animal e industrial. Os mananciais podem ser superficiais ou subterrâneos. São superficiais quando oriundas de cursos d'água como córregos, rios ou lagos, por exemplo (BABBITT *et al.*, 1973). Por outro lado, são ditos mananciais subterrâneos os aquíferos que armazenam água no subsolo e permitem que esta seja bombeada sem que,

no entanto, haja comprometimento de seu balanço de entrada e saída de água (TUCCI, 2005).

De acordo com Moura (2006), a captação é o conjunto de estruturas e métodos construídos ou criados juntamente a um manancial com o propósito de captar a água destinada ao sistema de abastecimento.

A captação tanto pode ser de águas superficiais quanto de águas subterrâneas, sendo o fator determinante para alternativa a ser utilizada em cada região o tipo de recursos hídricos disponíveis na mesma. Barros (1995) salienta que reservatórios de elevação de nível são utilizados para favorecer a retirada da água quando se trata da captação superficial que deve proporcionar a submersão permanente de canalizações e válvulas de todas de pé de bombas, em cursos d'água não muito profundas.

Babbitt *et al.*, (1973) afirmam que os reservatórios nos sistemas de abastecimento de água podem compreender funções variadas, podendo ser usados para conter, ou acumular água, balancear vazões, balancear pressões no sistema de distribuição, além de outros usos. De acordo com as aplicações mencionadas os reservatórios podem ser classificados em: reservatórios de acumulação, reservatórios de compensação e reservatórios de distribuição. Estes últimos podendo ser classificados ainda em função da sua localização e aspecto construtivo (BRASIL, 2004).

A localização topográfica dos reservatórios influencia diretamente nas condições de pressão da rede. Segundo o Ministério da Saúde (2004), as pressões intensas na tubulação podem gerar vazamentos, rompimento das tubulações e conexões, resultando em perdas e desperdício de água, além de proporcionar riscos de contaminação da água. Por outro lado, pressões baixas implicam em interrupção do abastecimento em pontos de consumo distantes ou elevados.

O sistema de abastecimento de água é responsável por fornecer à população a água necessária ao desenvolvimento de suas atividades diárias, isto é, sem a correta distribuição deste recurso os usuários das cidades brasileiras não teriam como se desenvolver uma vez que a água é um bem natural indispensável para a sobrevivência do homem.

Para viabilizar o consumo de água potável à população a contento, em condições que preconiza a Portaria do Ministério da Saúde nº 518 de 25 de março de 2004, os sistemas de abastecimento são a infraestrutura responsável por atender essa demanda. Ante a relevante atribuição, os sistemas de abastecimento não podem prescindir de acompanhamento técnico com o intuito de conhecer seu estado de funcionamento.

Visto a relevância do tema, é imperiosa a verificação desses sistemas de abastecimento por meio de exames e apuração da rede; as perdas precisam ser identificadas por meio de controle. Esta perda pode acontecer não só por infraestrutura danificada, mas também pela forma do terreno que ela se estabelece.

Sumamente difundido na Engenharia, para análise e interpretação de processos, o uso de modelos computacionais matemáticos proporciona uma gama de fatores importantes se compararmos a outros modelos. Essa larga utilização decorre do avanço que a tecnologia, nomeadamente computadores e softwares, engendrou.

Bassanezi (2002), por sua vez, define modelagem matemática como um processo dinâmico utilizado para obtenção e validação de modelos matemáticos.

Segundo Inoue (2005), direcionando a modelagem matemática mais para a foco da Engenharia Hidráulica, observa-se que simulações computacionais de escoamento são feitas em diferentes áreas do conhecimento e nota-se uma intensificação dessa prática nos últimos anos.

### **3 METODOLOGIA**

Segundo Gil (2002), pode-se explicar pesquisa como o procedimento racional e sistemático que tem como fim proporcionar respostas aos problemas que são propostos. Através dessa definição podemos entender que pesquisas científicas são partes inerentes no processo de elaboração do conhecimento. Para que ocorra a metodologia, entretanto, é necessário observar alguns elementos importantes. Partindo desta premissa, que o conhecimento científico deve ser embasado em um estudo metodológico, foi observado as etapas, descritas a seguir, que envolvem a Metodologia Científica, e quais são intrínsecas para a pesquisa sobre Modelagem Matemática aplicada em Sistemas Hidráulicos de Abastecimento de água no Município de Belo Horizonte/MG.

As pesquisas quanto ao objetivo geral se classificam em pesquisa exploratória, descritiva e explicativa. A pesquisa explicativa pode ser empregada no estudo da modelagem matemática aplicada em sistemas hidráulicos de abastecimento de água no Município de Belo Horizonte MG, devido à natureza deste estudo. Nesse caso tem-se um fenômeno, que é o comportamento da água dentro de uma tubulação, e para o qual procura-se saber como ele atua dentro de certas condições, como ele reage submetido a certas mudanças. Entender e explicar esse cenário é o foco da pesquisa explicativa.

A pesquisa ocorreu na unidade da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), localizada no bairro Vale do Jatobá, região do Barreiro, no Município de Belo Horizonte/MG. A COPASA é responsável pelo abastecimento de água e tratamento de esgoto no Estado de Minas Gerais. Compreende o universo da pesquisa o número de domicílios particulares permanentes da região do Barreiro, estimado em 3.261 residências. O espaço amostral será representado por um número em torno de 500 domicílios.

A coleta de dados constitui a etapa da metodologia onde se examina e compila os dados referentes ao problema investigado. Dentro do contexto de abastecimento de água pode-se observar uma particularidade muito comum ligada ao serviço de provimento de água: a perda de carga em sistemas hidráulicos.

O levantamento de dados foi feito *in loco*, em visita à unidade de abastecimento de água da COPASA. Este levantamento teve início com base na análise do relatório gerencial emitido pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais, onde é especificada a vazão de entrada para a região atendida. Com base nesse dado de entrada, no conhecimento da infraestrutura da rede de abastecimento, propôs-se avaliar a perda de carga ocorrida e desenvolver um modelo matemático capaz de definir a perda de carga em sistemas hidráulicos de abastecimento de água.

Os instrumentos computacionais utilizados para a análise dos dados obtidos nesta pesquisa foram o software matemático MATLAB (MATrixLABoratory), que é um software interativo voltado para a computação científica, que, permite a resolução de cálculos numéricos e o Microsoft Office Excel, editor de planilhas que permite a tabulação de dados e também a resolução de cálculos. No estudo da modelagem matemática aplicada a sistemas hidráulicos de abastecimento os dois softwares possuem funcionalidades que se ajustam ao objetivo da pesquisa, por isso a sua utilização neste estudo.

#### **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

O modelo matemático para estudo da perda de carga foi implementado, de acordo com as equações para perdas de carga contínua e localizada.

A Figura 1 representa a planta da região estudada e modelada. De posse das equações das perdas de carga contínua e localizada, é definido este modelo computacional.



Para o cálculo da perda de carga contínua, serão utilizados os cálculos desenvolvidos por Allen Hazen e Gardner Stewart Williams. A fórmula empírica, conhecida como Fórmula de Hazen-Williams, leva em questão as condições de escoamento que tratam de vazão, diâmetro e perda de carga, e é definida pela Equação 1 a seguir:

$$j = \frac{10,64}{C^{1,85}} \cdot \frac{Q^{1,85}}{D^{4,87}} \quad (1)$$

onde  $j$  é a perda de carga unitária em m/m,  $Q$  é a vazão escoada em l/s,  $D$  é o diâmetro do conduto em m, e  $C$  é o coeficiente de perda de carga, no valor de 130, para tubulações de ferro.

A aplicação destes dados solucionados na equação de Hazen-Williams, define matematicamente a perda de carga contínua ( $\Delta h'$ ) dada pela Equação 2:

$$\Delta h' = jL \quad (2)$$

onde  $L$  representa a extensão da tubulação em m.

Para definição da perda de carga localizada ( $\Delta h''$ ), adota-se o Método dos Comprimentos Virtuais que se restringe à substituição das singularidades por uma tubulação de diâmetro igual ao da singularidade.

A modelagem matemática usada para calcular a perda de carga na região e utilizada na implementação do modelo no MATLAB foi realizada de acordo com o seguinte pseudo código:

1. Determinar a vazão per capita:  $Q_p$
2. Definir todas as singularidades por trecho da rede
  - 2.1 Converter as singularidades em extensão (valores padrões tabelados)
3. Para cada trecho da rede
  - 3.1 Definir a extensão:  $L$
  - 3.2 Calcular a vazão:  $Q = L \cdot Q_p$
  - 3.3 Determinar o diâmetro:  $D$

3.4 Resolver a equação de Hazen-Williams (1) obtendo  $j$

3.5 Calcular a perda de carga contínua (2) obtendo  $\Delta h'$

4. Calcular a perda de carga da rede.

A Figura 3 apresenta a interface elaborada para retratar a perda de carga em uma rede de abastecimento de água. No painel Cálculo, da Interface Gráfica, pode-se inserir o valor de cada variável e, definido esses valores, ao apertar o botão Perda de Carga, obtém-se o resultado para cada trecho específico da rede. Foram inseridas e organizadas em tabelas (Tabela 1) todas os cálculos obtidos à rede de tubulação estudada.

**Cálculo**

INFORME O COEFICIENTE C:

INFORME A VAZÃO DO TRECHO (Q):

INFORME O DIÂMETRO (D):

INFORME O COMPRIMENTO DA TUBULAÇÃO:

Comprimento Equivalente (Le)

INFORME O NÚMERO DE PEÇAS E A CONSTANTE PARA O CÁLCULO DO COMPRIMENTO EQUIVALENTE:

**PERDA DE CARGA**

**Equação e Conceitos**

**Equação Hazen Williams (J)**  
 $J = 10,64/C^{1,85} \times Q^{1,85}/D^{4,87}$

**Perda de Carga Contínua ( $\Delta h'$ )**  
 $\Delta h' = J \times L$

D = Diâmetro da Tubulação (m)  
C = Coeficiente de Perda de Carga  
Q = Vazão Escovada (l/s)  
L = Comprimento da Tubulação (m)

Para o Cálculo da Perda de Carga Localizada ( $\Delta h''$ ) foi adotado o Método dos Comprimentos Virtuais

**Modelagem do Ponto de Estudo**

**PERDA DE CARGA NO PONTO DE ESTUDO**

Os dados amostrais referentes a Perda de Carga são inseridos automaticamente por Tabela.

**Figura 3 – Interface para cálculo da Perda de Carga**

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

No painel Modelagem do Ponto de Estudo, estão vinculados os dados do levantamento da rede abastecimento estudada, já definidas perda de carga distribuída e localizada.

A modelagem desta região apresentou como resultado uma perda de carga equivalente a  $5,34 \times 10^{-6}$ . Este valor representa a parcela de energia que se perde ao transitar pela rede de abastecimento de água, não permitindo uma distribuição adequada e impondo um fornecimento de água maior para o atendimento à região.

**Tabela 1: Dados obtidos na interface gráfica do modelo**

Trecho	Vazão (Q)	Perda Unitária (j)	Perda Contínua ( $\Delta h'$ )	Trecho	Vazão (Q)	Perda Unitária (j)	Perda Contínua ( $\Delta h'$ )
1	3,26E-08	1,22E-09	4,38E-08	25	3,82E-08	5,35E-11	2,26E-09
2	5,37E-09	1,42E-12	8,43E-12	26	8,50E-08	2,35E-10	2,22E-08
3	4,28E-08	6,60E-11	3,13E-09	27	3,75E-08	5,16E-11	2,14E-09
4	5,74E-08	1,14E-10	7,25E-09	28	6,14E-08	1,29E-10	8,76E-09
5	5,13E-08	4,38E-13	2,49E-11	29	8,37E-08	1,09E-12	1,01E-10
6	6,22E-09	1,87E-12	1,29E-11	30	8,08E-09	3,03E-12	2,71E-11
7	1,29E-07	5,11E-10	7,32E-08	31	4,30E-08	6,68E-11	3,19E-09
8	4,02E-08	5,89E-11	2,63E-09	32	8,38E-08	2,29E-10	2,13E-08
9	4,48E-08	7,20E-11	3,58E-09	33	3,90E-08	5,56E-11	2,40E-09
10	7,08E-09	2,37E-12	1,68E-20	34	8,51E-08	2,35E-10	2,21E-08
11	5,58E-08	1,08E-10	6,67E-09	35	3,52E-08	4,61E-11	1,80E-09
12	4,44E-08	7,08E-11	3,48E-09	36	8,35E-08	2,27E-10	2,10E-08
13	3,92E-08	5,62E-11	2,44E-09	37	4,48E-08	7,18E-11	3,56E-09
14	4,81E-08	8,21E-11	4,38E-09	38	4,87E-08	8,40E-11	4,53E-09
15	4,13E-08	6,19E-11	2,83E-09	39	2,68E-08	2,79E-11	8,29E-10
16	3,81E-08	5,32E-11	2,24E-09	40	6,00E-09	1,75E-12	1,16E-11
17	4,31E-08	6,70E-11	3,206E-09	41	6,86E-08	1,58E-10	1,20E-08
18	3,26E-08	3,99E-11	1,44E-09	42	4,52E-08	7,33E-11	3,67E-09
19	4,29E-08	6,63E-11	3,15E-09	43	9,31E-08	2,78E-10	2,87E-08
20	4,62E-08	7,62E-11	3,90E-09	44	4,01E-08	5,86E-11	2,60E-09
21	4,49E-08	7,22E-11	3,59E-09	45	7,75E-08	1,98E-10	1,70E-08
22	6,90E-08	1,60E-10	1,22E-08	46	6,11E-09	1,80E-12	1,22E-11
23	1,36E-07	2,67E-12	4,02E-10	47	5,26E-08	4,60E-13	2,68E-11
24	8,10E-09	3,03E-12	2,73E-11				

Fonte: Autores (2019)

## 5. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo abordou, por de meio de modelagem matemática, a perda de carga que ocorre em redes de abastecimento de água. Fazendo uso de formulação numérica e levantamento de campo, descreveu-se um sistema de análise que permite delinear a supressão de recursos hídricos por conta dos aspectos físicos da infraestrutura e os aspectos humanos do consumo de água.

Este modelo implantado veio, a contento, definir a perda de carga de uma localidade de estudo. Isso se deve a princípio a uma rede bem projetada, verificada minimamente nos seus cálculos básicos e na inclusão de dados reais. Deve-se ressaltar também que os métodos adotados para implantação do modelo seguem os mesmos critérios para estudo e análise de redes de tubulação de água.

É pertinente a continuidade do assunto, em meios acadêmicos, organizacionais e sociais, pois que, testifica a importância que se é dada a um recurso inestimável e a responsabilidade no planejamento de abastecimento de água. Além disso, a simulação matemática é válida também como ferramenta estratégica e econômica, para, entre outras medidas, cercear os abusos no consumo de água, vistos nomeadamente em ligações clandestinas, e otimizar o uso de bombas hidráulicas, que demandam alto consumo de energia elétrica.

Muito embora este estudo apresente um modelo para a análise de perda de carga, é imprescindível a criação de parâmetros reguladores que estabeleçam indicadores de consumo coerentes. Dessa forma e alinhada a um modelo matemático elaborado, a garantia da prestação do serviço de abastecimento de água acontecerá de modo eficiente e igualitário.

## REFERÊNCIAS

BABBITT, Harold E.; DOLAND, James J.; CLEASBY, John L. **Abastecimento de água**. Trad. de Zadir Castelo Branco. São Paulo: Edgard Blucher, 1973.

BARROS, Raphael Tobias de V. et al. **Saneamento**. Belo Horizonte: escola de Engenharia da UFMG, 1995. Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios.

BASSANEZI, Rodney Carlos. **Ensino aprendizagem com modelagem matemática: uma nova estratégia**. São Paulo: Contexto, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. Brasília: FUNASA, 2004. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual\\_saneamento.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_saneamento.pdf)>. Acesso em 10 Mai. 2019.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas 2002.

HELLER, Léo. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

INOUE, Fábio Kazu. **Modelagem matemática em obras hidráulicas**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências Tecnológicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MENESES, Ronaldo Amâncio. **Diagnóstico operacional de sistemas de abastecimento de água: o caso de Campina Grande**. 2011. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Civil e Ambiental) - Departamento de Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

MOURA, Vilidiana Morais. **Modelação matemática e sistema de informação geográfica como suporte ao gerenciamento de sistema de abastecimento de água**: subsistema COOPHEMA de Cuiabá – MT. 2006. Dissertação (Mestrado em Física e meio Ambiente). Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente. Cuiabá, 2006.

SERRANO, Miguel Ignácio. **Controle de força de um servomotor hidráulico através da técnica de linearização por realimentação**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica/Automação e Instrumentação Eletro – Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. 3. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Coleta e transporte de esgoto sanitário**. São Paulo: PUSP, 2000.

TUCCI, Carlos E. M. **Curso de gestão das inundações urbanas**. Global Water Partnership South America – Asociación Mundial del Agua. Porto Alegre: UNESCO, 2005. Disponível em: <<http://www.aveagua.org/Manual%20Gestion%20de%20Inundaciones%20Urbanas.pdf>>. Acesso em 18 Mai. 2019.