

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3

CLEISEANO EMANUEL DA SILVA PANIAGUA
(ORGANIZADOR)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de
Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena

Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^o Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof^o Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Prof^o Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Prof^o Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof^o Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof^o Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Engenharia sanitária e ambiental: recursos hídricos e tratamento de água 3

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Flávia Roberta Barão
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia sanitária e ambiental: recursos hídricos e tratamento de água 3 / Organizador Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0728-7

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.287220911>

1. Engenharia sanitária e ambiental. I. Paniagua, Cleiseano Emanuel da Silva (Organizador). II. Título.

CDD 628

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

O e-book: “Engenharia sanitária e ambiental: Recursos hídricos e tratamento de água 3” é constituído por cinco capítulos de livro que tratam da disponibilidade, qualidade e principais uso de recursos hídricos para fins potáveis ou não por todos os segmentos da sociedade.

O primeiro capítulo apresenta um estudo no qual se discute a importância do monitoramento constante em relação à segurança de barragens para armazenamento de rejeitos provenientes de atividades de mineração e/ou recursos hídricos, bem como a descrição de todas as legislações nacionais existentes e vigentes no território brasileiro. O capítulo 2 se propôs a apresentar um estudo de comparação de cálculos de vazões por meio do uso do Perfilador Acústico de Corrente por efeito Doppler (ADCP) em modo estático e o método de máxima entropia M em rios brasileiros monitorados pela Rede Hidrometeorológica Nacional – RHN presentes no estado da Bahia e Sergipe.

O terceiro capítulo avaliou a importância da captação de água de chuva, bem como a sua utilização para reduzir à necessidade básica de populações que não possuem acesso a água para fins potáveis ou não, bem como a redução de etapas de tratamento de água que geraria economia para a população beneficiada. O capítulo 4 analisou os diferentes impactos provenientes do Projeto de Integração do rio São Francisco (PISF) em relação ao canal Acauã-Araçagi, bem como estimar as tarifas de água a ser cobrada pela população beneficiária deste adutor com vazão máxima de 10 m³/s e uma extensão de 112 km, utilizando-se testes simulatórios com o ModSIM P32.

Por fim, o quinto capítulo apresenta uma proposta de utilização da argila como adsorvente para a forma mais tóxica do arsênio presente em concentrações traços e/ou ultra-traços em diferentes compartimentos aquáticos a partir da aplicação de um dispositivo de extração miniaturizado em ponteira descartável.

Nesta perspectiva, a Atena Editora vem trabalhando de forma a estimular e incentivar cada vez mais pesquisadores do Brasil e de outros países a publicarem seus trabalhos com garantia de qualidade e excelência em forma de livros, capítulos de livros e artigos científicos.

Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua

CAPÍTULO 1	1
ÍNDICE SUSTENTÁVEL AMBIENTAL DE SEGURANÇA DE BARRAGENS - ISASB	
Maria Bernardete Guimarães	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209111	
CAPÍTULO 2	13
PARÂMETRO M DE ENTROPIA PARA DISTRIBUIÇÕES DE VELOCIDADES EM RIOS DO NORDESTE BRASILEIRO	
George Rodrigues de Sousa Araújo	
André Luiz Andrade Simões	
Rodrigo de Melo Porto	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209112	
CAPÍTULO 3	31
APROVEITAMENTO DAS ÁGUAS METEÓRICAS COMO CONTRIBUIÇÃO PARA A UNIVERSALIZAÇÃO DO ACESSO À ÁGUA POTÁVEL E A RESILIÊNCIA AOS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	
Gabriela Cadete Souza	
Herlane Costa Calheiros	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209113	
CAPÍTULO 4	38
GESTÃO DAS ÁGUAS TRANSPOSTAS PELO PROJETO SÃO FRANCISCO - PISF/ EIXO LESTE: IMPACTOS SOBRE A DISPONIBILIDADE HÍDRICA E ESTIMATIVAS DAS TARIFAS DE ÁGUA PARA O CANAL ACAUÃ-ARAÇAGI, LOCALIZADO NO BAIXO CURSO DO RIO PARAÍBA	
Cícero Aurélio Grangeiro Lima	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209114	
CAPÍTULO 5	51
USO DE UM DISPOSITIVO MINIATURIZADO PARA REMOÇÃO DE ARSÊNIO EM MEIO AQUOSO EMPREGANDO ARGILA EXPANDIDA COMO ADSORVENTE DE EXTRAÇÃO	
Luciano Alves da Silva	
Bruno Elias dos Santos Costa	
Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua	
Nivia Maria Melo Coelho	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.2872209115	
SOBRE O ORGANIZADOR	65
ÍNDICE REMISSIVO	66

PARÂMETRO M DE ENTROPIA PARA DISTRIBUIÇÕES DE VELOCIDADES EM RIOS DO NORDESTE BRASILEIRO

Data de aceite: 01/11/2022

George Rodrigues de Sousa Araújo

Serviço Geológico do Brasil, Recife, PE,
Brasil

André Luiz Andrade Simões

Universidade Federal da Bahia, Salvador,
BA, Brasil

Rodrigo de Melo Porto

Escola de Engenharia de São Carlos –
Universidade de São Paulo, São Carlos,
SP, Brasil

RESUMO: A Rede Hidrometeorológica Nacional - RHN monitora as vazões dos principais rios brasileiros para subsidiar o planejamento da utilização dos recursos hídricos em todo território nacional e utiliza muito frequentemente o equipamento denominado “Perfilador Acústico de Corrente por efeito Doppler” – ADCP em suas operações hidrométricas. O principal objetivo deste trabalho foi comparar as vazões calculadas empregando o ADCP em modo estático e o princípio da máxima entropia, com as vazões medidas pelo ADCP em modo dinâmico. foram realizadas medições de vazão em vinte estações

situadas no estado da Bahia em Sergipe. O intervalo de confiança do parâmetro de entropia M foi estimado valendo-se dos registros históricos de velocidades pontuais medidas com molinete hidrométrico e os demais parâmetros da metodologia alternativa proposta foram ajustados ao perfil de máxima velocidade pontual por regressão não linear. Os resultados evidenciaram que em 79,4% das medições, os valores calculados de vazão divergiram em até $\pm 10\%$ em relação aos medidos com o ADCP em modo dinâmico; o tempo médio de medição, em campo, decresceu 46,34%; ausência de limite físico na magnitude da vazão para aplicação da metodologia da máxima entropia no cálculo da descarga líquida em canais naturais.

PALAVRAS-CHAVE: Medição de vazão; Entropia; ADCP.

ABSTRACT: The National Hydrometeorological Network - RHN monitors the discharge of the main Brazilian rivers to subsidize the planning of the use of water resources throughout the national territory and very often uses the equipment called “Acoustic Doppler Current Profile” -

ADCP in its hydrometric operations. The main objective of this work was to compare the calculated discharge rates using ADCP in static mode and the principle of maximum entropy with the discharge measured by ADCP in dynamic mode. 34 discharges were measured in the interval 6.138 m³/s - 1,326.8 m³/s, distributed in 20 RHN stations in the state of Bahia and 1 in Sergipe. The confidence interval of the entropy parameter M was estimated using the historical records of point velocities measured with an analog current meter, the other parameters of the proposed alternative methodology were adjusted to the profile of maximum point velocity by non-linear regression. The results showed that: in 79.4% of the measurements, the calculated values of flow diverged up to $\pm 10\%$ in relation to those measured with ADCP in dynamic mode; the mean measurement time, in the field, decreased by 46.34%; absence of physical limit on flow magnitude for application of the maximum entropy methodology in the calculation of discharge in rivers.

KEYWORDS: Discharge Measurement, Entropy, ADCP.

INTRODUCTION

Escoamentos turbulentos de fluidos newtonianos são tridimensionais, dependentes do tempo e formados por estruturas internas que compõem uma variedade de escalas, desde as grandes escalas até as microescalas de Kolmogorov. A sua representação física – matemática está consolidada desde 1845, quando Stokes publicou o seu artigo com a versão final das equações hoje conhecidas como equações de Navier-Stokes. Para a turbulência, essas equações em conjunto com a equação de conservação de massa não possuem solução analítica conhecida, condição que estimulou a proposição de modelos para a turbulência, cujos níveis vão desde a modelagem direta das covariâncias que compõem o tensor de Reynolds às representações mais restritas apenas às distribuições de velocidades.

Os modelos de distribuição de velocidades em escoamentos em condutos forçados e condutos livres têm origem em análise estatística de dados experimentais, considerações fenomenológicas e análise dimensional, a exemplo das equações logarítmicas e leis de potência. A formulação logarítmica, amplamente utilizada nos estudos de Prandtl, von Kàrmàn e Nikuradse representa uma importante contribuição ao tema, mas não descreve a distribuição próxima a parede. Nesse contexto, Chiu (1987) propôs uma distribuição sem esta restrição, tendo como base a teoria da informação de Shannon (1948). O emprego da formulação proposta por Chiu (1987, 1988), assim como ocorre com os outros modelos, requer a determinação de um parâmetro de ajuste. O conhecimento desse parâmetro para uma determinada estação fluviométrica proporciona mais uma alternativa à determinação da vazão, além de conduzir a uma metodologia cujo tempo de medição é relativamente reduzido. O presente estudo teve como objetivo a determinação do referido parâmetro da formulação baseada na entropia da informação, para dados experimentais obtidos em 21 estações fluviométricas pertencentes à Rede Hidrometeorológica Nacional - RHN: 20 localizadas no estado da Bahia e 1 em Sergipe. Também foi objetivo deste trabalho o

cálculo da vazão com a formulação baseada na entropia e sua comparação com vazões medidas utilizando ADCP e a análise do tempo de execução de cada método, tendo em vista a proposição de um método alternativo de medição de vazão com tempo reduzido em relação ao convencional, baseado no uso do ADCP.

MATERIAL AND METHOD

A formulação empregada neste trabalho para determinação modelagem da distribuição de velocidades e cálculo de grandezas relacionadas foi apresentada por Chiu (1988). Sua dedução e aspectos conceituais podem também são discutidos em Moraes (2010), Araújo (2017) e Martins e Poletto (2017).

Em conformidade com Chiu (1991), sendo o eixo y a vertical onde se encontra o ponto de máxima velocidade de escoamento na seção, u_{\max} , a distribuição de velocidades é expressa por:

$$u = \frac{u_{\max}}{M} \ln \left(1 + (e^M - 1) \frac{y}{D-h} e^{\left(1 - \frac{y}{D-h}\right)} \right) \quad (1)$$

em que, D é a altura de escoamento na seção transversal, h é a distância vertical desde a superfície livre até o ponto de máxima velocidade e M é o parâmetro de ajuste, cuja definição está trelada à velocidade máxima e a um multiplicador de Lagrange empregado na dedução.

Uma segunda formulação resultante do trabalho de Chiu (1988) empregada neste trabalho é a equação 2, que relaciona a velocidade média, a máxima e M. Esta equação é especialmente útil para determinação da vazão com o uso da velocidade média.

$$\frac{\bar{u}}{u_{\max}} = \frac{e^M}{(e^M - 1)} - \frac{1}{M} = \emptyset \quad (2)$$

Seleção das estações fluviométricas

Foram selecionadas para esta pesquisa 21 estações fluviométricas pertencentes à RHN: 20 localizadas no estado da Bahia e 1 em Sergipe. Estes postos fluviométricos foram selecionados por possuírem profundidade média compatível com a utilização do Perfilador Acústico de Corrente por efeito Doppler – ADCP nos períodos de vazões máximas e mínimas. As estações selecionadas estão elencadas na Figura 1 e na Tabela 1.

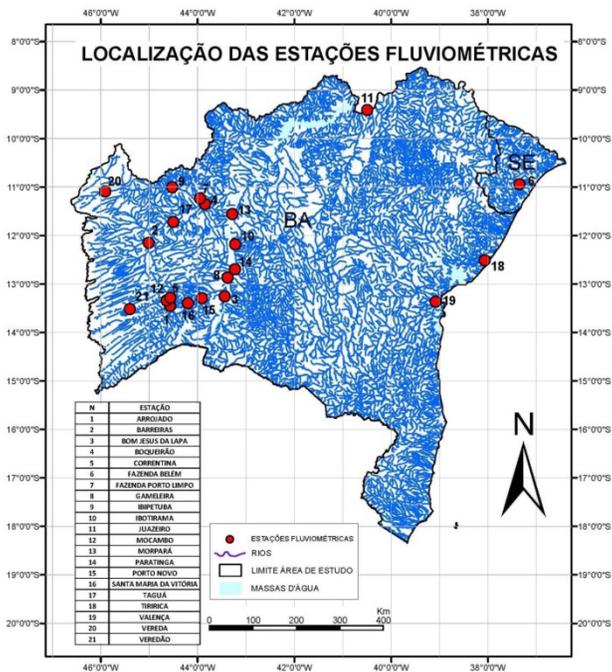


Figura 1. Localização das estações fluviométricas selecionadas para medição de vazão com ADCP, adaptado de Araújo (2017).

Estação	Nome	Rio	Drenagem (km ²)
45770000	Arrojado	Arrojado	5540
46550000	Barreiras	Grande	24400
45480000	Bom Jesus da Lapa	São Francisco	271000
46902000	Boqueirão	Grande	65900
45590000	Correntina	Correntina	3900
50191000	Fazenda Belém	Vaza Barris	15740
46870000	Fazenda Porto Limpo	Preto	22000
46035000	Gameleira	São Francisco	309000
46830000	Ibipetuba	Preto	17900
46150000	Ibotirama	São Francisco	323000
48020000	Juazeiro	São Francisco	510800
45740001	Mocambo	Do Meio	7950
46360000	Morpará	São Francisco	345000
46105000	Paratinga	São Francisco	314000
45960001	Porto Novo	Corrente	29700
45910001	Santa Maria da Vitória	Corrente	28200

46650000	Taguá	Grande	36000
50795000	Tiririca	Pojuca	4860
51795000	Valença	Una	1110
46780000	Vereda	Preto	1900
45580000	Veredão	Corrente	1472

Tabela 1. Estações selecionadas para pesquisa.

Intervalo de confiança de $\bar{\sigma}$ e M

Nas estações da RHN selecionadas para esta pesquisa, foram analisadas as velocidades pontuais, medidas com molinete hidrométrico, em formulários originais de medição de vazão a partir do ano 2001, digitalizados e disponíveis no Sistema de Visualização de Ficha de Campo da ANA, disponíveis em ANA (2016).

As etapas de cálculo para estimativa de M foram:

- Registro das velocidades média e máxima em todos os formulários de uma mesma estação, computando-se o valor de σ em cada medição de acordo com a Equação 2;
- Admitindo-se que os valores de σ tendem a seguir uma distribuição normal de probabilidades, determinou-se o intervalo de variação de σ com base no Intervalo de Confiança-IC (95%) sobre a média ($\bar{\sigma}$) em cada estação, de acordo com a expressão:

$$M(\bar{\sigma} - 1,96 * \frac{\sigma_{\sigma}}{\sqrt{n_{\sigma}}}) \leq M \leq M(\bar{\sigma} + 1,96 * \frac{\sigma_{\sigma}}{\sqrt{n_{\sigma}}}), \quad (3)$$

em que, para cada estação: $\bar{\sigma}$ =média amostral dos valores de σ , σ_{σ} =Desvio padrão amostral de σ e n_{σ} =tamanho da amostra de σ .

- Foram calculados os valores de M(σ) com o método de Newton-Raphson.

Medição de vazão

Para medir a vazão e caracterizar o perfil vertical de máxima velocidade das estações fluviométricas selecionadas, foi empregado um equipamento ADCP com quatro feixes e de dupla frequência M9 (1 e 3 MHz).

A vazão média e a área da seção foram obtidas empregando o ADCP em modo dinâmico e seguindo as recomendações de ANA (2014):

- Travessias aos pares, com igual número de travessias em ambos os sentidos da seção;
- Tempo de medição de no mínimo 720 segundos;
- Velocidade do barco não superior ao dobro da água;
- Coleta de 10 verticais nas margens iniciais;

- Trajeto de medição perpendicular à seção e alinhado;
- Verificação da ocorrência do efeito de fundo móvel.

Considerando a necessidade de identificar a vertical de máxima velocidade e questões de ordem prática e econômica, dividiu-se a seção transversal em subseções, semelhante à medição com molinete, para execução do perfilamento vertical de velocidades com o ADCP em modo estacionário, de acordo com as sugestões de Collischonn & Dornelles (2013) contidas na Tabela 2.

Largura do rio (m)	Número de Verticais
<=30.00	8
30.00-50.00	10
50.00-80.00	13
80.00-150.00	14
150.00-250.00	18
>= 250.00	20

Tabela 2. Distância de perfilamento entre as verticais, adaptado de Collischonn & Dornelles (2013).

O tempo de perfilamento por vertical foi de 60 segundos. Tanto o tempo necessário para executar as travessias da medição em modo dinâmico quanto o tempo total de perfilamento em modo estacionário foram registrados pelo ADCP.

Ajuste numérico

Selecionou-se a vertical cuja velocidade média temporal é máxima durante a medição com ADCP em modo estacionário. A Equação 4 expressa, matematicamente, o ajuste da Equação 1 ao conjunto de pontos (u_i, y_i) da vertical de máxima velocidade média temporal na seção:

$$\text{minimizar } \left(\sum_{i=1}^n (u_i - u)^2 \right), \quad (4)$$

em que,

$$u = u(y_i) = \frac{u_{\text{máx}}}{M} \ln \left(1 + (e^M - 1) \frac{y_i}{D-h} e^{\left(1 - \frac{y_j}{D-h}\right)} \right), \quad (5)$$

e sujeito à restrição da Equação 3.

Não houve restrições de variação em relação à $u_{\text{máx}}$ e h .

Foram calculados também os coeficientes de determinação (R^2) entre as velocidades medidas (ADCP em modo estacionário) e as calculadas com a Equação 1.

Após o ajuste de mínimos quadrados obteve-se o valor de M que melhor descreve o comportamento da distribuição de velocidades na seção; a Equação 2 foi então utilizada para calcular $\phi(M)$, possibilitando o cálculo da vazão com

$$Q_{\text{Calc}} = A * \bar{u} = u_{\text{máx}} * \phi , \quad (6)$$

em que: Q_{Calc} = Vazão na seção calculada pelo método da máxima entropia e A = área da seção transversal.

Análises estatísticas

Calcularam-se erros relativos percentuais entre as vazões medidas com ADCP e as calculadas com a Equação 6.

$$\text{Dif}_Q = \frac{(Q_{\text{Calc}} - Q_{\text{Med}})}{Q_{\text{Med}}} * 100, \quad (7)$$

em que: Dif_Q = erro relativo entre as vazões, Q_{Calc} = vazão calculada pela metodologia da entropia, Q_{Med} = vazão medida com o ADCP em modo dinâmico.

A divergência entre os tempos de medição está de acordo com a Equação 8.

$$\text{Dif}_T = \frac{(T_{\text{Ent}} - T_{\text{Din}})}{T_{\text{Din}}} * 100, \quad (8)$$

em que: Dif_T = divergência relativa entre os tempos de medição em campo, T_{Ent} = tempo de medição empregando a metodologia da entropia com ADCP em modo estacionário, T_{Din} = tempo de medição da vazão com ADCP em modo dinâmico.

Com propósito de verificar uma potencial diferença significativa entre: a média (μ) e a variância (σ^2) das vazões de amostras distintas (ADCP estacionário/entropia e ADCP dinâmico), e o tempo de medição obtido por diferentes metodologias, aplicaram-se análises estatísticas:

- Regressão linear entre as vazões medidas (Q_{Med}) e calculadas (Q_{Calc});
- Correlação linear entre a diferença relativa percentual de vazões (Dif_Q) e as variáveis Q_{Med} e Dif_T ;
- Teste de significância *t-student*, com dados pareados, para igualdade da média das vazões das variáveis Q_{Calc} e Q_{Med} ;
- Teste de significância *F-Snedecor*, com dados pareados, para igualdade da variância das vazões das variáveis Q_{Calc} e Q_{Med} ;
- Teste de significância *t-student* (pareado) para igualdade do tempo médio de execução das medições, T_{Din} e T_{Ent} .

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Tabelas 3 e 4 resumem os resultados da análise da série de velocidades máximas e médias medidas com molinete nas estações com propósito de determinar o intervalo para o parâmetro M no ajuste numérico.

Estação	Série histórica	n	μ (σ)	σ (σ)	$\frac{\mu}{\sigma}$ (%)
45770000	2001-2013	35	0,6449	0,0481	7,46
46550000	2001-2013	34	0,7121	0,0252	3,53
45480000	2001-2013	34	0,6643	0,0767	7,67
46902000	2001-2013	31	0,7378	0,0443	6,00
45590000	2001-2013	31	0,5740	0,0380	6,63
50191000	2001-2013	50	0,6755	0,0914	13,54
46870000	2001-2013	40	0,6297	0,0560	8,89
46035000	2001-2013	35	0,7165	0,0537	5,37
46830000	2001-2016	47	0,6844	0,0439	6,41
46150000	2001-2013	36	0,7458	0,0482	4,82
48020000	2002-2013	25	0,7209	0,0363	5,03
45740001	2001-2013	34	0,5899	0,0612	10,38
46360000	2001-2013	28	0,6719	0,0643	9,57
46105000	2001-2013	33	0,7340	0,0471	6,41
45960001	2001-2013	37	0,7918	0,0338	4,26
45910001	2001-2013	30	0,7068	0,0212	3,00
46650000	2001-2013	33	0,7924	0,0216	2,73
50795000	2001-2012	33	0,5919	0,1044	17,63
51795000	2001-2015	48	0,6092	0,0996	16,35
46780000	2002-2016	38	0,6497	0,0264	4,06
45580000	2001-2013	37	0,6331	0,0331	5,23

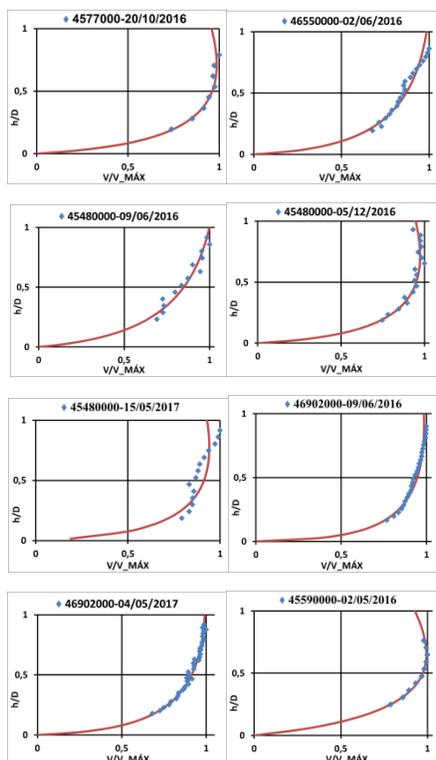
Tabela 3. Estatística descritiva dos valores de σ por estação, elaborado com dados da ANA (2016).

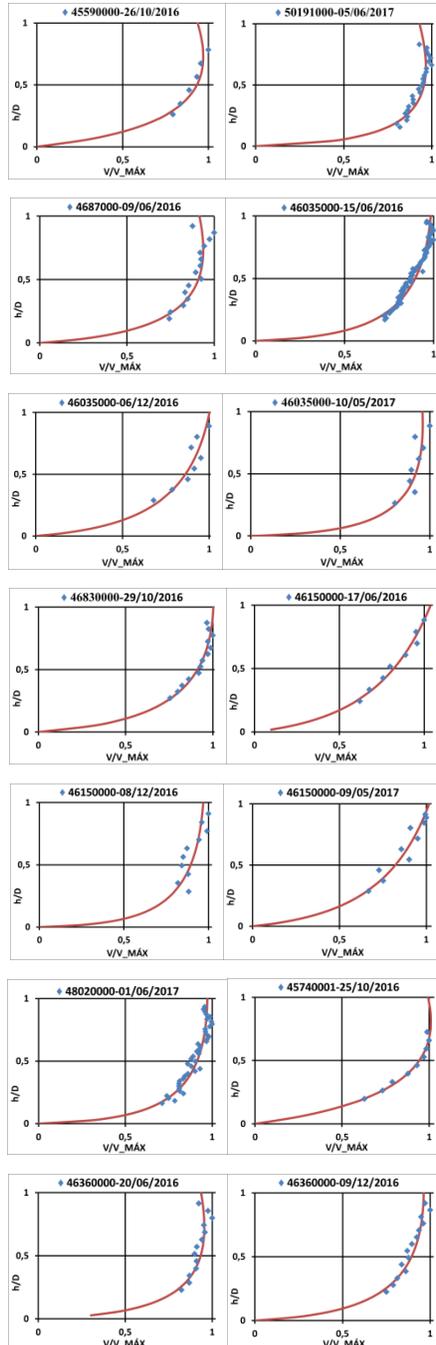
Estação	$\bar{\sigma}/IC-95\%$	IC-M($\bar{\sigma}$)
45770000	0,628-0,661	1,608-2,067
46550000	0,703-0,720	2,730-3,030
45480000	0,638-0,690	1,737-2,520
46902000	0,721-0,753	1,737-2,520
45590000	0,560-0,587	1,737-2,520
50191000	0,650-0,700	3,052-3,672
46870000	0,611-0,647	3,052-3,672
46035000	0,698-0,734	0,730-1,071
46830000	0,671-0,697	0,730-1,075
46150000	0,729-0,761	-0,684-5,234
48020000	0,706-0,735	1,386-1,870
45740001	0,568-0,610	2,644-3,287
46360000	0,647-0,696	2,640-3,287
46105000	0,701-0,750	2,644-3,287
45960001	0,780-0,802	2,222-2,627

45910001	0,699-0,714	3,195-3,847
46650000	0,784-0,799	3,195-3,847
50795000	0,556-0,627	3,195-3,847
51795000	0,580-0,637	1,618-4,636
46780000	0,641-0,658	0,836-1,372
45580000	0,622-0,644	1,871-2,609

Tabela 4. Intervalo de variação de M para o ajuste numérico, elaborado com dados da ANA (2016).

Comparando o valor da razão (ϕ) média entre a velocidade média e a máxima em cada estação nota-se que esse número varia entre 0,5740-0,7924 e o desvio padrão entre 0,0212-0,0996. Em 33% das estações o Coeficiente de Variação ($\frac{s}{\bar{x}}$), CV, foi inferior a 5%, em 52% das amostras esse mesmo coeficiente oscilou entre 5%-11% e nas 15% estações remanescentes o CV oscilou no intervalo 11%-18%. Esses valores podem ser considerados de baixa dispersão, pois em 90,47% as amostras apresentam valores de CV inferior a 15%. Após o cálculo do intervalo de variação de M empregando-se a Equação 3, os resultados dos ajustes numéricos da Equação 1 aos perfis de máxima velocidade pontual em cada estação podem ser visualizados na Figura 2 e na Tabela 5.





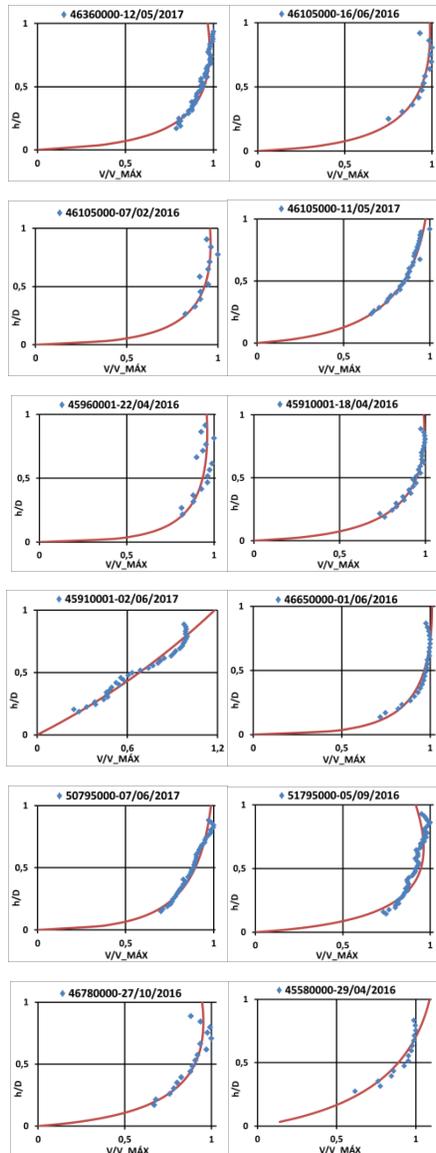


Figura 2. h = distância ao leito, D = profundidade da vertical de máxima velocidade pontual, V = velocidade calculada pela Equação 1, $V_MÁX$ = velocidade máxima pontual medida com ADCP em modo estacionário.

Observando a Figura 2, nota-se há diferentes quantidades de pontos medidos por estação, isso ocorre em função do ADCP discretizar as verticais em número de pontos distintos em cada uma delas, em função de diferentes profundidades médias, velocidades e sedimentos em suspensão. Perfis naturais aproximadamente monotônicos só foram encontrados na estação de 46902000-09/06/2016 e em 4559000-(26/10/2016), evidenciando a pequena probabilidade da ocorrência deste perfil naturalmente. Em 13 perfis analíticos,

a Equação 1 calculou a posição da velocidade máxima na superfície livre (nas estações 46550000-02/06/2016, 45480000-14/06/2016, 46902000-04/05/2017). Nestes cenários, nota-se: o valor da variável h melhor ajustado aos dados é negativo; o valor da velocidade máxima (melhor ajustada) é superior ao valor da velocidade máxima real na seção; a velocidade máxima real é aquela calculada aplicando a Equação 1 à superfície livre no eixo y. A Equação 1 também foi matematicamente convergente ao valor nulo de velocidade nas regiões próximas ao leito. Ainda que a estação 51795000 (Valença) esteja localizada em região costeira, não foram encontrados valores negativos de velocidades medidas nas estações, ou seja, velocidades escoando no sentido de jusante para montante da seção. Analisando conjuntamente todos os perfis adimensionalizados de velocidades máximas medidas e calculadas da Figura 2, percebe-se que a Equação 1 pode ser considerada uma ótima ferramenta para descrever os perfis de velocidade verticais nas seções estudadas.

Estação	Data	Q _{med} m ³ /s	Q _{calc} m ³ /s	Dif _Q (%)	A (m ²)	B (m)	D m	T _{Dir} min	T _{Ent} min	Dif _T (%)	V MÁX m/s	V _{Mealc} m/s	R ²	Melhor ajuste		
														V _{Max} m/s	M	h m
45770000	20/10/2016	32,54	33,78	+3,8	33,8	38	1,18	23	16	-30,4	1,557	1,536	0,983	1,563	1,903	0,339
46550000	02/06/2016	38,81	40,00	+3,1	57,2	38	1,80	22	17	-22,7	0,984	0,969	0,940	0,996	3,030	-1,010
45480000	14/06/2016	411,00	448,68	+9,2	898,0	301	3,51	57	27	-52,6	0,725	0,723	0,913	0,759	2,520	-2,586
45480000	05/12/2016	1239,30	1147,34	-7,4	1768,2	524	4,31	39	27	-30,8	1,008	0,981	0,948	0,981	2,068	1,238
45480000	15/05/2017	417,41	392,82	-5,9	777,6	314	3,56	26	26	0,0	0,7767	0,731	0,559	0,7314	2,520	0,798
46902000	09/06/2016	136,00	126,68	-6,9	201,0	132	2,04	32	19	-40,6	0,848	0,836	0,970	0,836	3,672	0,166
46902000	04/05/2017	172,08	171,15	-0,5	245,1	136	2,43	15	15	0,0	0,973	0,965	0,985	0,967	3,073	-0,346
45590000	02/05/2016	20,77	17,38	-16,3	25,3	27	1,05	25	11	-56,0	1,195	1,187	0,994	1,187	0,946	0,364
45590000	26/10/2016	21,01	19,49	-7,3	25,6	31	0,92	35	13	-62,9	1,334	1,294	0,901	1,294	1,075	0,250
50191000	05/06/2017	6,13	6,07	-1,1	9,8	19	0,71	17	20	+17,6	0,907	0,877	0,817	0,877	2,687	0,249
46870000	09/06/2016	62,40	53,10	-14,9	141,0	49	3,83	35	13	-62,9	0,621	0,582	0,803	0,582	1,870	1,008
46035000	15/06/2016	507,58	499,47	-1,7	1439,0	394	4,72	112	33	-70,5	0,481	0,473	0,936	0,477	3,280	-1,326
46035000	06/12/2016	1326,80	1381,41	+4,1	2068,0	405	5,83	35	24	-31,4	0,955	0,957	0,881	0,994	2,640	-3,753
46035000	10/05/2017	562,97	548,97	-2,5	1078,0	358	5,63	27	27	0,0	0,722	0,693	0,703	0,693	3,280	0,585
46830000	29/10/2016	69,97	72,73	+3,9	83,0	50	1,99	13	19	+46,2	1,301	1,305	0,958	1,306	2,222	-0,150
46150000	17/06/2016	507,60	526,55	+3,7	1207,0	335	5,47	99	34	-65,7	0,556	0,577	0,977	0,800	3,735	-32,851
46150000	08/12/2016	1244,28	1269,60	+2,0	1870,2	527	7,20	36	27	-25,0	0,920	0,891	0,494	0,897	3,840	-1,938
46150000	09/05/2017	549,63	543,20	-1,2	1221,4	332	5,81	27	28	+3,7	0,599	0,609	0,904	0,736	3,201	-15,843
48020000	01/06/2017	684,91	706,88	+3,2	2127,0	685	3,03	50	27	-46,0	0,465	0,4520	0,890	0,4521	3,299	-0,100
45740001	25/10/2016	19,22	18,83	-2,0	34,6	40	0,91	30	14	-53,3	0,944	0,954	0,991	0,954	0,837	0,171
46360000	20/06/2016	525,00	455,14	-13,3	878,0	366	3,50	87	33	-62,1	0,780	0,745	0,757	0,745	2,609	0,947
46360000	09/12/2016	1242,12	1122,00	-9,7	1516,2	428	3,74	30	24	-20,0	1,104	1,063	0,906	1,063	2,609	-0,094
46360000	12/05/2017	544,88	488,70	-10,3	911,4	393	3,06	30	22	-26,7	0,787	0,770	0,918	0,770	2,609	0,645
46105000	16/06/2016	511,00	716,38	+40,2	992,0	596	3,60	142	47	-66,9	1,041	1,030	0,898	1,030	2,690	0,295
46105000	07/12/2016	1263,14	1268,11	+0,4	1879,7	610	3,12	45	38	-15,6	0,945	0,908	0,815	0,908	3,458	0,429

46105000	11/05/2017	555,59	596,98	+7,4	1141,9	605	2,46	49	31	-36,7	0,765	0,7457	0,981	0,7673	2,690	-1,333
45960001	22/04/2016	105,83	111,82	+5,7	234,9	66	4,02	36	16	-55,6	0,635	0,610	0,719	0,610	4,287	0,603
45910001	18/04/2016	110,86	111,46	+0,5	179,9	99	2,23	39	18	-53,8	0,892	0,886	0,970	0,886	2,650	0,268
45910001	02/06/2017	115,60	129,41	+11,9	167,5	88	3,08	30	19	-36,7	0,936	1,105	0,968	5,091	2,650	-135,41
46650000	01/06/2016	85,85	90,57	+5,5	109,6	87	1,89	46	17	-63,0	1,042	1,053	0,949	1,053	4,390	-0,001
50795000	07/06/2017	115,60	129,41	+3,1	34,6	44	1,01	13	17	+30,8	0,318	0,313	0,958	0,3201	4,130	-0,580
51795000	05/09/2016	24,31	25,50	+4,9	110,5	36	3,58	44	14	-68,2	0,376	0,362	0,827	0,362	1,730	1,214
46780000	27/10/2016	22,98	26,96	+17,3	40,7	29	2,23	14	12	-14,3	1,077	1,026	0,909	1,026	1,831	0,357
45580000	29/04/2016	13,24	13,76	+3,9	16,2	13	1,50	30	11	-63,3	1,251	1,361	0,927	1,416	1,522	-0,777
n		34	34					34	34							
μ		401,027	402,320					40,8	22,2							
σ		428,778	425,018					28,6	8,5							

B= largura superficial, **V_{Mcalc}** = Velocidade máxima calculada pela Equação 17 na seção, **V_{Máx}** = velocidade máxima resultante do ajuste numérico, **R²**= Coeficiente de determinação entre velocidades medidas e as calculadas pela equação 1.

Tabela 5. Resumo dos principais parâmetros do ajuste da Equação 1 aos perfis de máxima velocidade.

De acordo com a variável V_MÁX da Tabela 5, percebe-se uma distribuição das velocidades máximas medidas no intervalo 0,318-1,557 m/s com prevalência de velocidades de magnitude 0,5-1,0 m/s representando mais de 55% da amostra; considerando o intervalo 0,5-1,5 m/s, têm-se 83% da amostra. Estes números estão consoantes com os intervalos de dados de velocidades máximas obtidas nos experimentos de Minei (1999), Chen et al. (2013) e Corato et al. (2014).

Os valores de M melhor ajustados aos dados reais estão no intervalo [0,837-4,39]. Comparando-se os valores de M calculados neste trabalho com os obtidos por diferentes pesquisadores percebe-se que aqueles valores são compatíveis com estes, como demonstrado por Minei (1999), Chen (2013), Choo et al. (2013), Farina et al. (2014), cujos valores de M calculados estão no intervalo [1,4-73,63], [0,139-0,206], [4,558-7,71], [1,26-4,03], respectivamente.

Considerando as dezesseis medições realizadas no rio São Francisco como uma só amostra, nota-se que o valor do parâmetro da entropia (M) melhor ajustado aos perfis de velocidade permaneceu no intervalo [2,609-3,840]. Esses dados sugerem que para estações de mesma bacia hidrográfica os valores do parâmetro M podem variar em um espectro específico e característico da própria região hidrográfica.

Os coeficientes de determinação (R²), resultantes do ajuste entre os dados de velocidade medidas (ADCP estacionado) e as calculadas pela Equação 1, variaram no intervalo [0,494-0,994]. Analisando a Figura 2 e a Tabela 5, percebe-se que em 64% (22) das estações analisadas o valor de R² superou 0,9, resultando em um ótimo ajuste entre as velocidades medidas e calculadas; em 20,5% (7) das medições o valor de R² permaneceu no intervalo [0,7-0,8], consideradas de razoável ajuste; e nas estações restantes (5, ou 14,7%) os ajustes foram considerados ruins.

Conforme a Figura 3, as vazões medidas e calculadas estão fortemente alinhadas e correlacionadas ($R^2=0,9864$), principalmente para vazões inferiores a 200 m³/s. A Figura 3 sinaliza que as vazões calculadas pela metodologia alternativa da entropia podem computar vazões em substituição à metodologia do ADCP dinâmico.

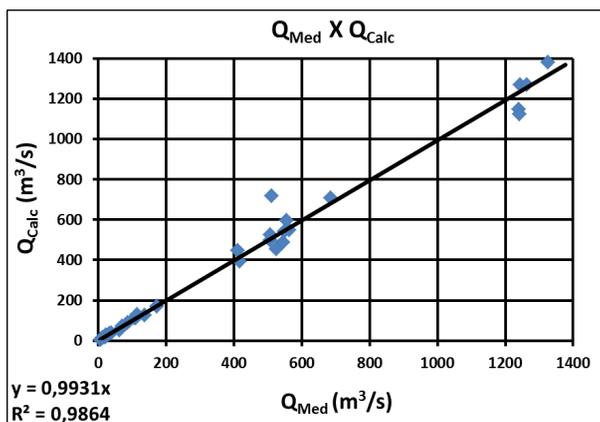


Figura 3. Regressão linear entre vazões medidas e calculadas.

Analisando a Figura 4, percebe-se que essas diferenças relativas entre as vazões se distribuem aleatoriamente no intervalo $\pm 20\%$, sendo a única exceção a estação 46105000 em 16/06/2016, cuja diferença atingiu 40,2%. Analisando a distribuição das diferenças relativas das vazões em função das vazões medidas, percebe-se que não houve correlação ($R^2=0,004$) entre essas variáveis. Portanto, para as vazões pesquisadas (6,138-1326,800 m³/s), nota-se concordância com Diniz (2013), que também não detectou limitações para vazão em relação ao uso da metodologia da entropia para determinação da vazão.

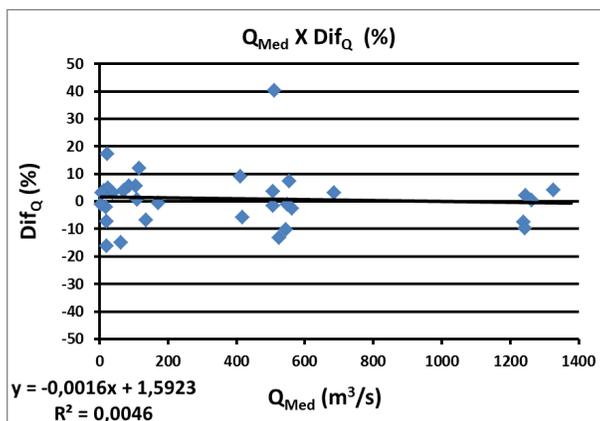


Figura 4. Correlação linear entre as variáveis Q_{Med} e Dif_Q .

De acordo com a Figura 5, a metodologia alternativa proposta reduziu o tempo de execução em 88,3% das medições, mas em 11,7% da amostra acarretou aumento neste tempo. Nota-se na Figura 5 que houve fraca correlação linear ($R^2=0,002$) entre as variáveis Dif_Q e Dif_T , sugerindo que a metodologia da entropia fornece dados de vazão com divergência aceitável ($\pm 10\%$) em relação à metodologia tradicional em 79,41% das estações amostradas independente da redução proporcional do tempo de medição, indicando um ganho de eficiência em quaisquer magnitudes de vazões a serem medidas.

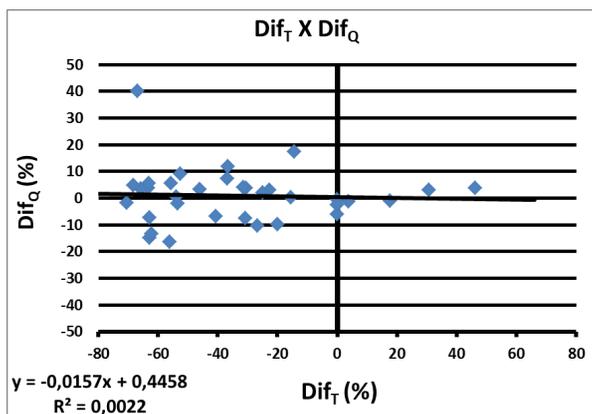


Figura 5. Correlação linear entre as variáveis Dif_T e Dif_Q .

Considerando uma amostra com 33 graus de liberdade (gl), a Tabela 6 indicou uma estatística do teste ($t\text{-calc}=0,101$) com probabilidade de significância ($p\text{-valor}=0,918$) muito superior ao nível de significância ($\alpha =0,05$) adotado. Assim, a hipótese nula não deve ser rejeitada, e conclui-se que não há diferença significativa entre as médias das vazões medidas e calculadas.

Hipótese nula (H0)						
Vazão média medida = Vazão média calculada						
Hipótese alternativa (H1)						
Vazão média medida \neq Vazão média calculada						
μ (Dif_Q)	σ (Dif_Q)	n	gl	t-calc	α	p-valor
0,868	49,868	34	33	0,101	0,05	0,918

Tabela 6. Teste de significância *t-student* (média das vazões)

A estatística do teste F, $F\text{-calc}=1,015$, conduz a um p-valor (0,965) superior ao valor de $\alpha=0,05$, indicando que a hipótese nula (igualdade de variâncias nas amostras) não pode ser rejeitada. Este teste sinaliza que, na amostra pesquisada, não há evidência suficiente para concluir que a metodologia alternativa da entropia estime vazões com variância diferente em relação ao ADCP dinâmico.

Os resultados apresentados na Tabela 8 mostram que ao valor da estatística do teste, $t\text{-calc}=-4,704$, está associado um p-valor muito próximo à nulidade (0,000022) e inferior ao nível de significância. Assim, conclui-se que a hipótese nula deve ser rejeitada em favor da hipótese alternativa. Há evidência estatística suficiente para concluir que o tempo médio de execução de uma medição de vazão utilizando o ADCP em modo estacionário (associado à metodologia da entropia) é menor em relação ao tempo dispendido com o ADCP em modo dinâmico.

Hipótese nula (H0)						
Tempo-medição entropia = Tempo-medição dinâmica						
Hipótese alternativa (H1)						
Tempo-medição entropia < Tempo-medição dinâmica						
μ (Dif.)	σ (Dif.)	n	gl	t-calc	α	p-valor
-18,647	23,110	34	33	-4,704	0,05	0,000022

Tabela 8. Teste de significância *t-student* (tempo de medição)

CONCLUSÕES

Os valores do parâmetro M da distribuição de velocidades foram ajustados com excelentes coeficientes de correlação e boa aderência entre teoria e experimentação. A aplicação da formulação demonstrou haver concordância com as vazões medidas empregando o ADCP. O uso da metodologia alternativa proposta para a determinação da vazão foi capaz de calcular a vazão em 79,4% dos casos, com divergência máxima de $\pm 10\%$ em relação à metodologia convencional, e com redução média de 46,34% do tempo de medição.

A metodologia da entropia com ADCP estacionário pode ser considerada uma alternativa para execução de medições regulares de vazão em redes hidrométricas, principalmente pela potencial redução do tempo de execução das medições em relação à metodologia com ADCP empregado em modo dinâmico.

AGRADECIMENTOS

À Agência Nacional de Águas, entidade que custeia a operação da Rede Hidrometeorológica Nacional. Ao Serviço Geológico do Brasil pelo apoio durante as medições de vazão e demais as atividades de campo. À Universidade Federal da Bahia pela contribuição no planejamento e desenvolvimento desta pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Medição de descarga líquida em grandes rios. 2 ed. Brasília: ANA, 2014. 94 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Sistema de Visualização de Ficha de Campo, (2016). Disponível em: < [http://www.snirh.gov.br/VisualizadorWebLogic/ VisualizadorWeb.html](http://www.snirh.gov.br/VisualizadorWebLogic/VisualizadorWeb.html)>. Acesso em 10 de dezembro de 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Hidroweb - Sistema de Informações Hidrológicas: Séries Históricas, (2017). Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>>. Acesso em 19 de agosto de 2017.

ARAÚJO, G. R. S. Cálculo da vazão em canais naturais utilizando o princípio da máxima entropia: aplicação a estações da rede hidrometeorológica nacional nos estados da bahia e Sergipe. 2017. 201 p. Dissertação Mestrado – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

CHEN, Y. C. Flood discharge measurement of a mountain river – Nanshih River in Taiwan. *Hydrology and Earth System Sciences*. v. 17, p. 1951-1962, 2013. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-17-1951-2013>

CHEN, Y. C.; KUO, J. J.; YU, S. R.; LIAO, Y. J.; YANG, H. C. Discharge Estimation in a Lined Canal Using Information Entropy. *Entropy Journal*. v. 16, i. 3, p. 1728-1742. 2014. <http://dx.doi.org/10.3390/e16031728>

CHIU, C. L. Entropy and Probability Concepts in Hydraulics. *Journal of Hydraulic Engineering*. v. 113, nº 5, p. 583–599. 1987. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1987\)113:5\(583\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1987)113:5(583))

CHIU, C. L. Entropy and 2-D Velocity Distribution in Open Channels. *Journal of Hydraulic Engineering*. v.114, nº 7, p. 738-756. 1988. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1988\)114:7\(738\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1988)114:7(738))

CHIU, C. L. Application of Entropy Concept in Open-Channel Flow Study. *Journal of Hydraulic Engineering*. v. 117, nº 5, p. 615-628. 1991. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1991\)117:5\(615\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1991)117:5(615))

CHOO, T. H.; YOON, H. C.; LEE, S. J. An estimation of discharge using mean velocity derived through Chiu's velocity equation. *Environmental Earth Sciences*. v. 69, i. 1, p. 247-256. 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-012-1952-0>

CHOO, T. H.; YUN, G. S.; YOON, H. C.; NOH, H. S.; BAE, C. Y. Estimation of the maximum velocity using the entropy concept in an open channel. *Environmental Earth Sciences*, v. 75, nº 115, p. 1-8, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-015-4925-2>

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013. 336 p.

CORATO, G.; MELONE, F.; MORAMARCO, T.; SINGH, V. P. Uncertainty analysis of flow velocity estimation by a simplified entropy model. *Hydrol. Process*. v. 28, p. 581–590. 2014. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9590>

DINIZ, V. E. M. G.; PEREIRA, V. O. C.; BISPO, L. P.; SOUZA, P. A. Using Maximum Entropy For Discharge Calculation In Open Channel Flow. *Water Resources Management VII-WIT Transactions on Ecology and the Environment*. v. 171, p. 301-311. 2013. <http://dx.doi.org/10.2495/WRM130271>

FARINA, G.; ALVISI, S.; FRANCHINI, M.; MORAMARCO, T. Three Methods for Estimating the Entropy Parameter M Based on a Decreasing Number of Velocity Measurements in a River Cross-Section. *Entropy Journal*. v. 16, i. 5, p. 2512-2529. 2014. <http://dx.doi.org/10.3390/e16052512>

GRECO, M.; Mirauda, D. Entropy Parameter Estimation in Large-Scale Roughness Open Channel. *J. Hydrol. Eng.* v. 20, i. 2, p.1943-5584. 2015. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001009](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001009)

MARTINS, P. D.; POLETO, C. Principle of maximum entropy in the estimation of suspended sediment concentration. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 22, e. 23, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011716058>

MINEI, N. Um método expedito para a medição de vazão em rios e canais abertos. 1999. 138 p. Tese de Doutorado em Engenharia - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MORAMARCO, T.; CORATO, G.; MELONE, F.; SINGH, V. P. An entropy-based method for determining the flow depth distribution in natural channels. *Journal of Hydrology*, v. 497, p. 176-188. 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.002>.

MORAMARCO, T.; BARBETTA, S.; TARPANELLI, A. From surface flow velocity measurements to discharge assessment by the entropy theory. *Water*, v. 9, nº 2, p. 120-134, 2017. <http://dx.doi.org/10.3390/w9020120>

SHANNON, C. E. A Mathematical Theory of Communication. *The Bell System Technical Journal*, V. 27, p. 379–423, 1948. <http://dx.doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb00917.x>.

SINGH, V. P. *Entropy Theory in Hydrologic Science and Engineering*. McGraw-Hill, 2015. 824 p.

SONG, T. Velocity and turbulence distribution in non-uniform and unsteady open-channel flow. 1994. 127 p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia Civil, Federal Institute of Technology Lausanne, Lausanne.

SONTEK. RIVERSURVEYOR S5 AND M9. Disponível em: <<http://www.sontek.com/productsdetail.php?RiverSurveyor-S5-and-M9-14>>. Acesso em 14/09/2017.

TAZIOLI, A. Experimental methods for river discharge measurements: comparison among tracers and current meter. *Hydrological Sciences Journal*, v. 56, i. 7, p. 1314-1324, 2011. <https://doi.org/10.1080/02626667.2011.607822>.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). How Streamflow is Measured Part 2: The discharge measurement. 2016. Disponível em: <<http://water.usgs.gov/edu/streamflow2.html>>. Acesso em: 15/08/2016.

A

- Absorbância 56, 57, 61
Adsorção 53, 54, 57, 58, 62, 63
Adsorvente 2, 51, 53, 54, 55, 57, 58, 59
Afluência hídrica 39
Água potável 31, 32, 33, 35, 36, 37
Águas atmosféricas 32
Águas meteóricas 31, 32, 34, 36
Águas pluviais 31, 34, 36
Água tratada 31, 32, 33, 34, 36
Analito 54
Argila 2, 51, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 62
Arsênio 2, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 63

B

- Bacia do Rio Paraíba 41
Barragens 2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 40

C

- Cloração 35
Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) 3, 7

D

- Desinfecção 34, 35
Dessorção 51, 57, 58, 59

E

- Ecosistema aquático 51
Entropia M 2, 13
Escassez hídrica 39
Espectrometria de Absorção Atômica por Chama com Geração de Hidretos (HG-AAS) 55
Estações fluviométricas 14, 15, 16, 17

F

- Fundo de Emergência Internacional das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) 33

I

Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) 33

Índice de Segurança de Barragens (ISB) 4, 10, 11

Índice de Sustentabilidade Ambiental de Segurança de Barragens (ISASB) 4

J

Jusante 1, 4, 9, 11, 24, 41, 44

L

Lâmpada de catodo oco 55

M

Mananciais 32

Medição de vazão 13, 15, 16, 17, 28, 30

Micro-organismos 35

Montante 2, 4, 8, 9, 10, 24

O

Organização das Nações Unidas (ONU) 33

Organização Mundial da Saúde (OMS) 32, 33, 53

P

Perfilador Acústico de Corrente por efeito Doppler (ADCP) 2

Plano de Ação de Emergência 2, 8

Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) 1, 2, 7, 11

Projeto de Integração do rio São Francisco 2, 38

R

Recursos hídricos 1, 2, 1, 3, 7, 8, 11, 12, 13, 29, 30, 42, 52, 62

Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) 2, 13, 14

Remediação 51, 53, 65

S

Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) 2

Sistema público de abastecimento de água 35

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL:

RECURSOS HÍDRICOS & TRATAMENTO DE ÁGUA

3



www.atenaeditora.com.br



contato@atenaeditora.com.br



[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)



www.facebook.com/atenaeditora.com.br