

Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade

Luis Miguel Schiebelbein
(Organizador)

Luis Miguel Schiebelbein
(Organizador)

Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G393 Gestão de recursos hídricos e sustentabilidade / Organizador Luis Miguel Schiebelbein. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018.
– (Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade; v.1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-024-7

DOI 10.22533/at.ed.247190901

1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Política ambiental – Brasil. 3. Sustentabilidade. I. Schiebelbein, Luis Miguel. II. Título. III. Série.

CDD 343.81

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

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.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “Gestão de Recursos Hídricos e Sustentabilidade” aborda uma série de artigos e resultados de pesquisa, em seu Volume I, contemplando em seus 21 capítulos, os novos conhecimentos científicos e tecnológicos para as áreas em questão.

Estrategicamente agrupados na grande área temática de GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, ne nas seções de Meteorologia, Modelagem, Conceitos Aplicados & Estudos de Caso, traz à tona informações de extrema relevância para a área dos Recursos Hídricos, assim como da Sustentabilidade.

Os capítulos buscam de maneira complementar, abordar as diferentes áreas além de concentrar informações envolvendo não só os resultados aplicados, mas também as metodologias propostas para cada tipo de estudo realizado.

Pela grande diversidade de locais e instituições envolvidas, na realização das pesquisas ora publicadas, apresenta uma grande abrangência de condições e permite, dessa forma, que se conheça um pouco mais do que se tem de mais recente nas diferentes áreas de abordagem.

A todos os pesquisadores envolvidos, autores dos capítulos inclusos neste Volume I, e, pela qualidade e relevância de suas pesquisas e de seus resultados, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Ressalta-se ainda e indica-se a consulta ao Volume II, o qual aborda as grandes áreas temáticas de QUALIDADE DA ÁGUA, RECURSOS HÍDRICOS NO ABASTECIMENTO, UTILIZAÇÃO AGRÍCOLA DOS RECURSOS HÍDRICOS & SUSTENTABILIDADE.

Complementarmente, espera-se que esta obra possa ser de grande valia para aqueles que buscam ampliar seus conhecimentos nessa magnífica área da Gestão de Recursos Hídricos, associada à Sustentabilidade. Que este seja não só um material de apoio, mas um material base para o estímulo a novas pesquisas e a conquista de resultados inovadores.

Luis Miguel Schiebelbein

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A FLORESTA E A DINÂMICA HIDROLÓGICA DE NASCENTES	
Jéssica Fernandez Metedieri	
Mariana Santos Leal	
Kelly Cristina Tonello	
DOI 10.22533/at.ed.2471909011	
CAPÍTULO 2	17
REQUALIFICAÇÃO FLUVIAL: CONCEITOS E CASOS DE ESTUDO	
Aline Pires Veról	
Bruna Peres Battemarco	
Matheus Martins de Sousa	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.2471909012	
CAPÍTULO 3	34
ANÁLISE DA VARIABILIDADE TEMPORAL DE BASE NA PROPAGAÇÃO DA ONDA DIFUSA EM UM RIO	
Maria Patricia Sales Castro	
Patrícia Freire Chagas	
Karyna Oliveira Chaves de Lucena	
Raimundo Oliveira de Souza	
DOI 10.22533/at.ed.2471909013	
CAPÍTULO 4	43
PLANO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL PARA OS ASSENTAMENTOS DOS MUNICÍPIOS DE DELMIRO GOUVEIA E ÁGUA BRANCA NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO CANAL DO SERTÃO ALAGOANO	
Eduardo Jorge de Oliveira Motta	
DOI 10.22533/at.ed.2471909014	
CAPÍTULO 5	53
ZONEAMENTO DE ÁREAS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE RELEVANTES PARA A CONSERVAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA APLICADA À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VELOSO (SUB-BACIA DO RIO PARAPEBA), MINAS GERAIS, BRASIL	
Joselaine Aparecida Ribeiro	
Thiago Vieira da Silva Matos	
Antônio Pereira Magalhães Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.2471909015	
CAPÍTULO 6	65
PROJETO DA PAISAGEM NOS SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA - CASO DA BACIA DO RIO JOANA	
Isadora Tebaldi	
Ianic Bigate Lourenço	
Aline Pires Veról	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.2471909016	

CAPÍTULO 7	82
GESTÃO DA DRENAGEM URBANA EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE: ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ITAJAÍ AÇU	
Fabiane Andressa Tasca Roberto Fabris Goerl Jakcemara Caprário Aline Schuck Rech Alexandra Rodrigues Finotti	
DOI 10.22533/at.ed.2471909017	
CAPÍTULO 8	92
ANÁLISE AMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESPAÇO URBANO DE CAMPO GRANDE/MS	
Eva Faustino da Fonseca de Moura Barbosa	
DOI 10.22533/at.ed.2471909018	
CAPÍTULO 9	108
APLICAÇÃO DO MÉTODO SIMPLIFICADO A BARRAGENS DO ESTADO DE MINAS GERAIS	
Carlos Eugenio Pereira Maria Teresa Viseu Marcio Ricardo Salla Kevin Reiny Rocha Mota	
DOI 10.22533/at.ed.2471909019	
CAPÍTULO 10	117
INFLUÊNCIA PLUVIOMÉTRICA NA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS NO MUNICÍPIO DE IPOJUCA - PE	
Fernanda Soares de Miranda Torres Enjôlras de Albuquerque Medeiros Lima Margarida Regueira da Costa Alexandre Luiz Souza Borba Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff Roberto Quental Coutinho	
DOI 10.22533/at.ed.24719090110	
CAPÍTULO 11	125
CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DOS AQUÍFEROS JUROCRETÁCEOS DO OESTE DO RIO GRANDE DO SUL	
Guilherme Vargas Teixeira Antonio Pedro Viero Romelito Regginato	
DOI 10.22533/at.ed.24719090111	
CAPÍTULO 12	134
AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO ESTADO DO TOCANTINS	
Fernán Enrique Vergara Viviane Basso Chiesa Cecília Amélia Miranda Costa	
DOI 10.22533/at.ed.24719090112	

CAPÍTULO 13 143

ATENUAÇÃO DE ONDAS EM MARGENS DE RESERVATÓRIOS DE BARRAGENS PELA PRESENÇA DE VEGETAÇÃO NO FUNDO – ANÁLISE NUMÉRICA ATRAVÉS DO MODELO SWAN-VEG

Adriana Silveira Vieira
Germano de Oliveira Mattosinho
Geraldo de Freitas Maciel

DOI 10.22533/at.ed.24719090113

CAPÍTULO 14 153

MODELO DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS COMO INSTRUMENTO DE TOMADA DE DECISÃO PARA CONTROLE DE CHEIAS NA ÁREA URBANA DE ITAQUI-RS

Francisco Lorenzini Neto
Marcelo Jorge de Oliveira
Nájila Souza da Rocha
Raul Todeschini
Rafael Cabral Cruz

DOI 10.22533/at.ed.24719090114

CAPÍTULO 15 163

PREVISÃO DE VAZÃO DE CHEIA EM UM TRECHO DA BACIA DO RIO POTENGI

Patrícia Freire Chagas
Maria Patricia Sales Castro
Fernando José Araújo da Silva
Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho
Raimundo Oliveira de Souza

DOI 10.22533/at.ed.24719090115

CAPÍTULO 16 173

SENSIBILIDADE DOS PARÂMETROS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS DO MODELO SWAT EM UMA BACIA NA AMAZÔNIA OCIDENTAL: BACIA DO RIO MACHADINHO/RO

Vinicius Alexandre Sikora de Souza
Marcos Leandro Alves Nunes
Otto Corrêa Rotunno Filho
Claudia Daza Andrade
Vitor Paiva Alcoforado Rebello

DOI 10.22533/at.ed.24719090116

CAPÍTULO 17 183

ABASTECIMENTO HUMANO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CEARÁ MIRIM RN

Vera Lucia Rodrigues Cirilo
João Abner Guimarães Junior
Lara Luana Cirilo Silva
Priscila Gosson Cavalcanti

DOI 10.22533/at.ed.24719090117

CAPÍTULO 18	191
ELABORAÇÃO DE CONSISTÊNCIA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS: ESTUDO DE CASO DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA DE TUCURUÍ- PARÁ	
Alcione Batista da Silva	
Laysse Alves Ferreira	
Lucas Rodrigues do Nascimento	
Andressa Magalhães Gonçalves	
Rafael Oliveira da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.24719090118	
CAPÍTULO 19	200
ANÁLISE DO IMPACTO DO USO DE DADOS DIÁRIOS OU MÉDIAS CLIMATOLÓGICAS NA SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA COM O MODELO MGB-IPH	
Bibiana Rodrigues Colossi	
Daniela Santini Adamatti	
Fernando Mainardi Fan	
Paulo Rógenes Monteiro Pontes	
DOI 10.22533/at.ed.24719090119	
CAPÍTULO 20	211
MÉTODOS NUMÉRICOS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADOS À DETECÇÃO DE ANOMALIAS EM DADOS HIDROLÓGICOS	
Alana Renata Ribeiro	
Mariana Kleina	
DOI 10.22533/at.ed.24719090120	
CAPÍTULO 21	220
CONCEPÇÃO SISTÊMICA PARA SOLUÇÕES DE CONTROLE DE CHEIAS URBANAS EM VILA VELHA, ES	
Paulo Canedo de Magalhães	
Matheus Martins de Sousa	
Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira	
Osvaldo Moura Rezende	
Victor Augusto Almeida Fernandes de Souza	
Marcelo Gomes Miguez	
DOI 10.22533/at.ed.24719090121	
SOBRE O ORGANIZADOR	236

ANÁLISE DA VARIABILIDADE TEMPORAL DE BASE NA PROPAGAÇÃO DA ONDA DIFUSA EM UM RIO

Maria Patricia Sales Castro

Universidade Federal do Ceará
Fortaleza – CE

Patrícia Freire Chagas

Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande
do Norte
Natal - RN

Karyna Oliveira Chaves de Lucena

Instituto Federal do Ceará – Campus Quixadá
Quixadá - CE

Raimundo Oliveira de Souza

Universidade Federal do Ceará
Fortaleza - CE

RESUMO: O estudo da propagação de cheias é fundamental para análise e previsão em áreas susceptíveis a enchentes. Esta pesquisa tem como objetivo analisar a variabilidade temporal de base na propagação de uma onda difusa em um rio, verificando de que forma estes podem influir nos riscos de enchentes. Baseado nas equações da hidrodinâmica formulou-se um modelo matemático, capaz de identificar a influência dos parâmetros de declividade no tempo de base para a equação da onda difusiva. Para encontrar a solução das equações diferenciais parciais contidas no modelo, foi utilizado o Método das Diferenças Finitas, usando um esquema implícito e elaborando um programa computacional para sua solução

matemática. A partir dos resultados gerados se observa que a declividade exerce influência no tempo de base da propagação da onda no tempo, tornando este modelo uma ferramenta viável para previsão de enchentes em áreas susceptíveis.

PALAVRAS-CHAVE: Enchentes, Equação da Onda difusa, propagação da onda.

ABSTRACT: The study of the flood routing is essential for analysis and forecasting in areas susceptible to flooding. This research aims to analyze the temporal variability of base diffuse wave routing in a river, checking how these can influence the risk of flooding. Based on the hydrodynamic equations was formulated a mathematical model capable of identifying the influence of slope bed parameters in the time base for the diffusive wave equation. To find the solution of partial differential equations contained in the model, it was used the Finite Difference Method, using an implicit scheme and developing a computer program for mathematical solution. From results generated can be observed that the slope influences the time base of wave propagation in time, making this model a viable tool for forecasting flooding in susceptible areas.

KEYWORDS: Flooding, Diffusive wave equation, Flood routing.

1 | INTRODUÇÃO

Os problemas de cheias em uma região susceptível a este evento são agravados pelo impacto humano no ambiente e, portanto, não podendo evitar que aconteça. A aplicação de modelos hidrodinâmicos para propagação de cheias em rios é uma atividade necessária no contexto de sistemas de previsão de enchentes.

Segundo Chow (1959), o movimento da cheia pode ser tratado simplesmente como um escoamento uniforme progressivo se o canal é regular, a resistência é baixa e a onda permanece inalterada. Se, entretanto, o canal é irregular e a resistência é alta, a configuração da onda será apreciavelmente modificada com a sua movimentação através do canal. A determinação desta modificação do escoamento é chamada de propagação de cheias.

Os modelos hidrológicos e hidráulicos espacialmente distribuídos para determinação das zonas inundáveis são uma ferramenta importante que permite a oportunidade de um bom planejamento e gestão da análise de risco. A representação da superfície do terreno é um fator crítico na modelação hidrológica e hidráulica de inundações, pois, como dado de entrada do modelo, condiciona a vazão de entrada e a extensão da inundação (Horritt e Bates, 2001).

Lal (2005) declarou que estudos mostram que os modelos de onda difusa podem ser utilizados com sucesso para simular uma variedade de condições de fluxo natural. Uma aproximação da onda difusa foi aplicada para área de inundação e vazão de fluxo em um sistema de canal em loop. (Luo, 2007).

Segundo Moussa and Bocquillon (2008) a equação da onda difusa também tem sido usada para modelar eventos extremos de inundação, onde os fluxos de canal e as áreas de inundação são roteados.

A propagação de onda de cheias é descrita pelo sistema de equações de Saint-Venant. As simplificações das equações de Saint-Venant até a equação da onda difusa é um método comumente utilizado para este tipo de aplicação. A equação da onda difusa pode ser resolvida pelo método das diferenças finitas implícito. Para solução de suas respectivas equações diferenciais parciais foi desenvolvido um programa em linguagem FORTRAN que permitiu simulações para diversos cenários a fim de avaliar o comportamento da onda difusa para diferentes tempos de base e declividades.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Porto (2006) as leis básicas que servem base para os estudos relativos aos transitórios hidráulicos em escoamentos livres, são a equação da continuidade (conservação da massa) e a equação dinâmica (equação da quantidade de movimento).

2.1 Equação da Continuidade

A primeira equação fundamental do escoamento em rios e canais é a equação da continuidade. (Andrade, 2006). Considerando um volume de controle na seção transversal de comprimento Δx muito pequeno, conforme figura 1, temos que as vazões Q_1 e Q_2 não são necessariamente as mesmas, diferem na quantidade.

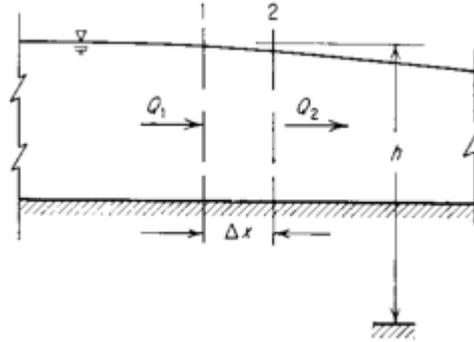


Figura 1 – Esboço para a definição da equação da continuidade

Sendo h a altura da superfície da água do volume de controle e o volume entre as seções 1 e 2 estão aumentando a uma taxa de $B \frac{\partial h}{\partial t} \Delta x$, onde B é a largura da superfície da água. Temos, a equação da continuidade é dada na sua forma diferencial por (Henderson, 1966):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

2.2 Equação da Quantidade do Movimento

O enunciado da equação da quantidade de movimento diz que o somatório das forças atuantes sobre um volume de controle é igual a soma da taxa da variação do momentum dentro do volume de controle e a taxa de efluxo de momentum resultante através da superfície de controle. (Henderson, 1966). Logo, a equação da quantidade de movimento é dada na sua forma diferencial por:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + g \left(\frac{\partial y}{\partial x} - S_0 + S_f \right) = 0 \quad \dots\dots\dots(2)$$

Onde: Q é a vazão (m^3/s); x é o comprimento longitudinal (m); t é o tempo (s); A é a área da seção transversal do fluxo (m^2); y é a profundidade da água no canal (m); S_0 é a declividade de fundo do canal (m/m); S_f é a declividade de linha de energia; e g é a aceleração da gravidade (m^2/s).

2.3 Equação da Onda Difusa

Segundo Cunge *et. al.*(1980) o sistema formado pelas equações da continuidade

(equação 1) e da quantidade de movimento (equação 2) é conhecido como equações de Saint-Venant, nome este dado ao seu formulador. Se os termos de inercia na equação de Saint-Venant são desprezíveis, a equação será convertida em equação da onda difusiva, dada pela equação:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C \frac{\partial Q}{\partial x} = D \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \dots\dots\dots(3)$$

Onde: x (m) é a distância a jusante, t (s) de tempo, C (m.s⁻¹) e D (m².s⁻¹) são funções não lineares do descarga Q (x, t) (m³.s⁻¹) e são geralmente conhecido como celeridade e difusividade, respectivamente.

2.4 METODOLOGIA

Para o cálculo da equação da onda difusiva foi utilizado o Método das Diferenças Finitas Implícitos. Mais especificamente, o Método de Crank-Nicolson, pelo fato deste método dispor de um tipo de discretização que garante a estabilidade numérica no processo de solução (Anderson et. al.,1984).

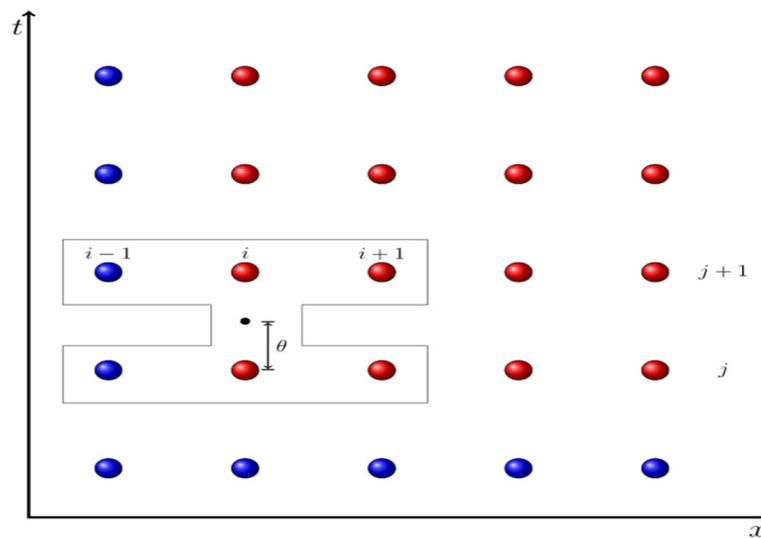


Figura 2 – Malha de discretização Método das Diferenças Implícitos
Método Crank-Nicolson

De acordo com a Figura 2, os pontos em vermelhos são os valores desconhecidos e os pontos em azuis são os valores conhecidos. As linhas são representadas pelo índice i e as colunas representadas pelo índice j. De acordo com Gomes (2006) as derivadas discretizadas no tempo e no espaço são dadas:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} \approx \frac{Q[i, j+1] - Q[i, j]}{\Delta t} \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \approx \frac{1}{2} \left[\frac{Q[i+1, j+1] - Q[i-1, j+1]}{2\Delta x} + \frac{Q[i+1, j] - Q[i-1, j]}{2\Delta x} \right] \dots\dots\dots(5)$$

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} \approx \frac{1}{2} \left[\frac{Q[i+1, j+1] - 2Q[i, j+1] + Q[i-1, j+1]}{\Delta x^2} + \frac{Q[i+1, j] - 2Q[i, j] + Q[i-1, j]}{\Delta x^2} \right] \dots\dots\dots(6)$$

Com o intuito, de resolver as equações diferenciais envolvidas no modelo matemático de propagação da onda difusiva, foi desenvolvido um programa computacional em linguagem FORTRAN 90. Assim, sendo possível calcular as variáveis pertinentes ao controle de escoamento de um fluido em um rio.

Para cada declividade do leito foi realizada uma simulação onde se variou o tempo de base da onda, com o intuito de estudar o comportamento do campo de escoamento, ou seja, onde a variabilidade afeta os parâmetros hidráulicos como vazão e profundidade do mesmo.

Para cada simulação foi considerado como dados de entrada: um canal natural de seção retangular, comprimento igual a 50 km, largura de 50 m, número de Manning (n) de 0,01 e uma vazão inicial uniforme (Q_0) de 50 m³/s. A variação temporal da vazão é expressa pela função senoidal (CHAPRA, 1997):

$$Q = Q_0 \left(1 + k \cdot \text{sen} \frac{\pi t}{T} \right), \text{ para } 0 \leq t \leq T \dots\dots\dots(7)$$

e,

$$Q = Q_0, \text{ para } t \geq T \dots\dots\dots(8)$$

Para este trabalho as variáveis determinadas foram vazão e a profundidade da superfície livre da água no rio.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira simulação foi realizada para o canal natural conforme descrito no item anterior. Para este cenário, a declividade foi de $S_0=0,001$ m/m e os tempos de base foram de 3600 s, 7200 s, 10800 s e 14400 s. Assim é possível, entender como a vazão e a profundidade da onda difusa se comporta ao longo do tempo de passagem no canal para os diferentes tempos de base.

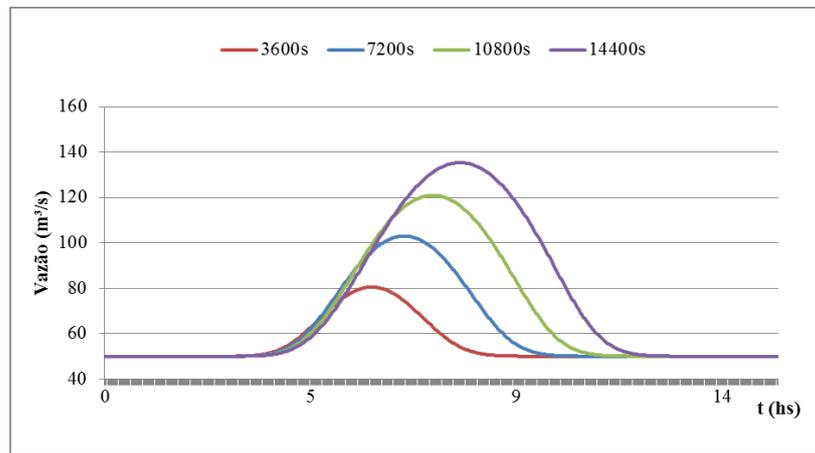


Figura 3 - Hidrograma para onda difusiva, na seção 30 km e declividade $S_0=0,001$ m/m, em função do tempo de base

Na Figura 3 é possível verificar, para os diferentes tempos de base, o amortecimento da onda difusiva ao longo do tempo. A figura indica que o parâmetro tempo de base influencia na propagação da onda difusiva. Quanto maior o tempo de base da onda difusiva maior é pico de vazão dessa onda. Isto é, após decorrer certo tempo do início da precipitação, a vazão começa a elevar-se, até atingir seu valor máximo.

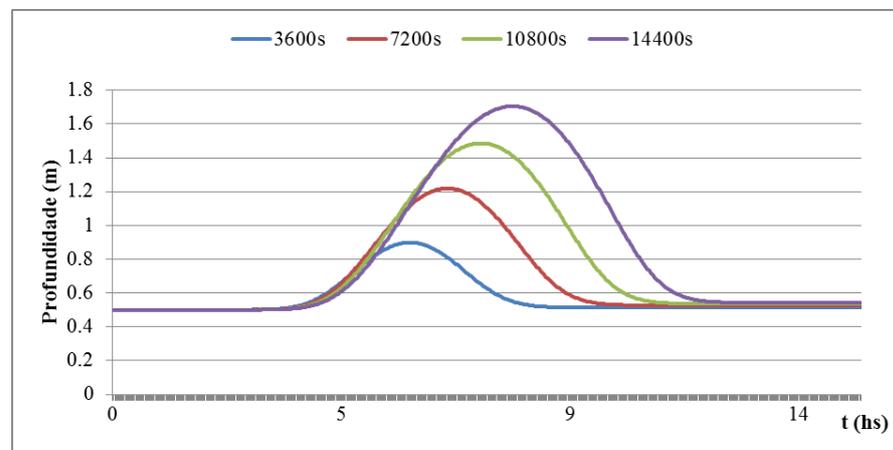


Figura 4 – Comportamento da profundidade, na seção 30 km e declividade $S_0=0,001$ m/m, em função do tempo de base

O mesmo ocorre para a profundidade (Figura 4), onde o tempo de início da elevação do nível de água é o mesmo para os diferentes valores de tempo de base, até chegar ao seu nível máximo. Como a vazão é muito grande e a velocidade não aumenta na mesma proporção, a profundidade da linha d'água tende a aumentar.

As simulações a seguir foram feitas para o mesmo canal natural, variando apenas as declividades, conforme pode ser verificado nas Figuras 5 a 8.

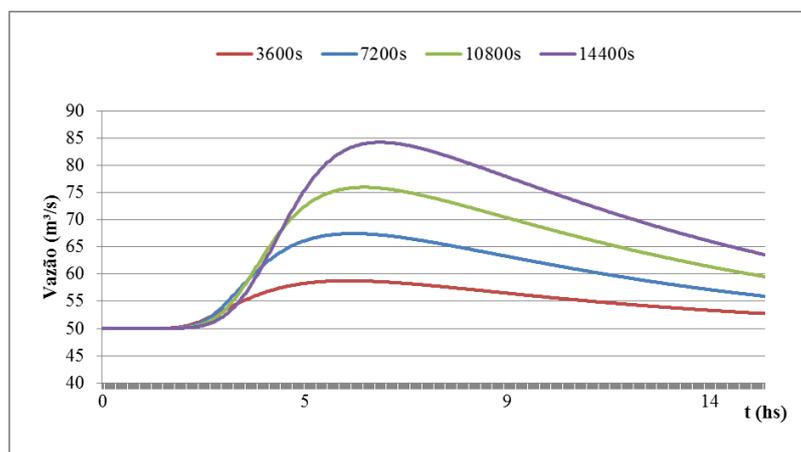


Figura 5 - Hidrograma para onda difusiva, na seção 30 km e declividade $S_0=0,0001$ m/m, em função do tempo de base

A Figura 5 ilustra o comportamento da vazão de escoamento da onda difusiva, para quatro valores de tempo de base e uma declividade fixa. Comparando a Figura 5 com a Figura 3, temos um maior tempo de passagem pela extensão do rio e uma menor vazão, caracterizando que a onda difusiva é sensível ao parâmetro declividade.

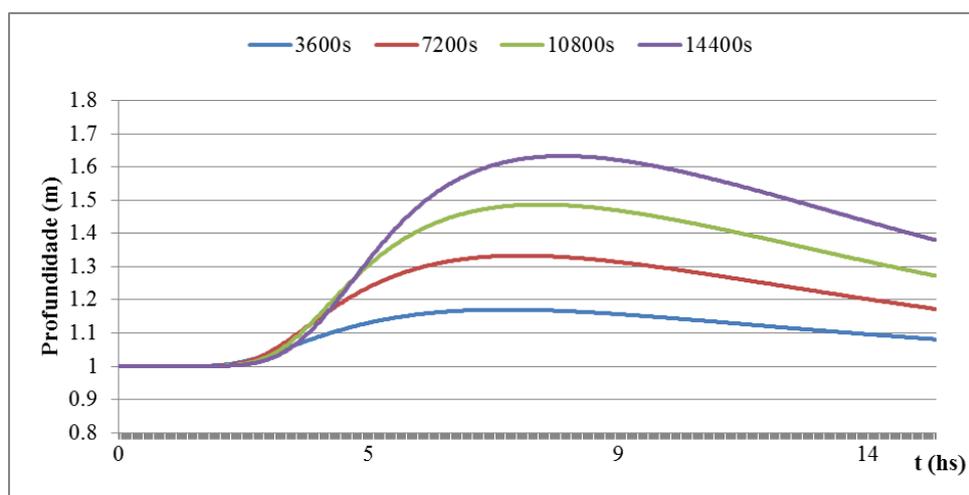


Figura 6 – Comportamento da profundidade, na seção 30 km e declividade $S_0=0,0001$ m/m, em função do tempo de base

Na Figura 6, é possível averiguar o amortecimento no pico da onda para um valor de declividade menor. Devido ao efeito difusivo da onda difusiva temos que a onda de cheia se distribui ao longo do canal, reduzindo o impacto concentrado em uma única seção.

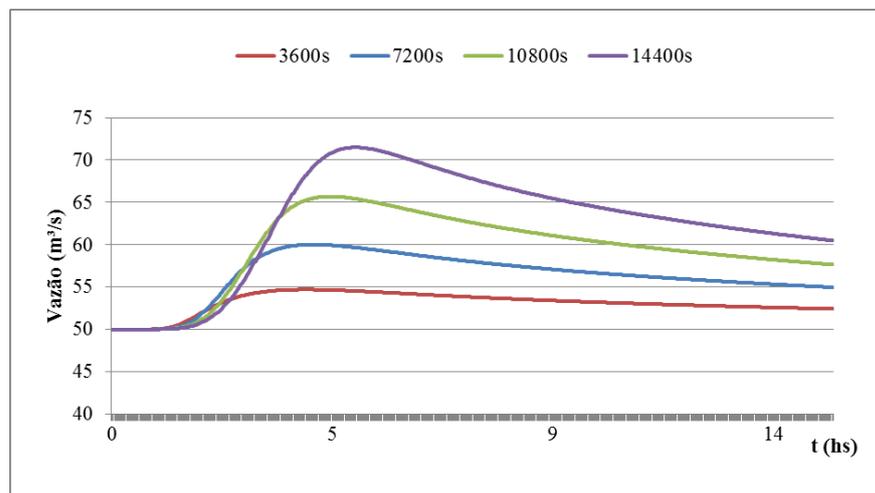


Figura 7 - Hidrograma para onda difusiva, na seção 30 km e declividade $S_0=0,00005$ m/m, em função do tempo de base

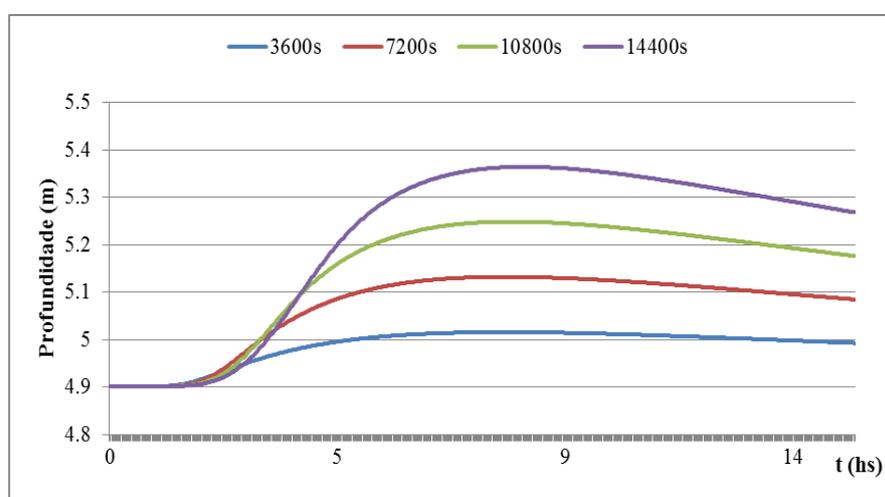


Figura 8 – Comportamento da profundidade, na seção 30 km e declividade $S_0=0,00005$ m/m, em função do tempo de base

Na Figura 8 verifica-se que o pico de profundidade para uma declividade $S_0 = 0,00005$ é igual a 5,3 m enquanto que na Figura 6 com declividade $S_0 = 0,0001$ o pico da profundidade tem valor igual a 1,75 m. Assim, quanto maior a declividade menor será o nível da cota de água ao longo do canal. Isto ocorre devido às forças gravitacionais do escoamento atuam de forma mais intensa.

4 | CONCLUSÕES

Os resultados apresentaram que a declividade apresenta papel importante na propagação da onda difusiva. Os mesmos mostram que quanto menor o valor da declividade maior será a dispersão da onda ao longo da extensão do rio, já que quanto menor a declividade do leito do rio maior será tempo de passagem da onda, aumentando os riscos de enchentes.

O programa computacional desenvolvido para resolver equações difusivas,

responde com eficiência aos objetivos da pesquisa, apresentando excelentes resultados para as mais diversas situações práticas encontradas no seu campo de trabalho.

5 | AGRADECIMENTOS

Registra-se aqui o agradecimento ao CNPq pela concessão da Bolsa de Pesquisa que muito tem auxiliado a realizar nossas pesquisas. E em especial, ao professor Raimundo Oliveira de Souza, por todo incentivo, apoio e orientação prestado que tornaram possível a conclusão deste trabalho.

REFERENCIAS

ANDRADE, C. F. **Estudo de planícies de inundação através da análise dos parâmetros hidráulicos do canal principal e sua influência na avaliação do risco *fuzzy* de enchentes**. Tese – Universidade Federal do Ceará, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2006, pp 56-66.

ANDERSON, D. A.; TANNEHILL, J. C.; PLETCHER, R. H. **Computational Fluid Mechanics and Heat Transfer**. Hemisphere Publishing Corporation, 3, 1984, pp.63-65.

CUNGE, J. A., HOLLY, F.M.JR, AND VERWEY,A. **Practical Aspects of Computational River Hydraulics**. Pitman Publishing Ltd., London, UK. ISBN: 0273084429, 1, pp 7-23.1980.

CHAPRA, S.C., **Surface Water-Quality Modeling**, McGraw-Hill, New York, N.Y., 1997

CHOW, Ven Te. **Open Channel Hydraulics**. 1st Ed., McGraw -Hill Book Co,New York, N.Y.,1959. 680p.

GOMES, V. U. **Estudo comparativo dos modelos da onda cinemática e da onda difusiva na análise de propagação de cheias, em função dos parâmetros hidráulicos da bacia**. Dissertação – Universidade Federal do Ceará, Programa de pós-graduação em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, 2006, pp.47-49.

HENDERSON, F. M. **Open Channel Hydraulics**. 1st Ed., Mcmillan Publishing Co. Inc.,New York, N.Y.,1966. pp 4-7.

HORRITT, M. S.; BATES, P.D. Predicting floodplain inundation: raster-based modelling versus the finite-element approach. **Hydrological Processes**, 15, pp. 825-842. 2001.

LAL, A. M. W. Performance Comparisons of Overland Flow Algorithms, South Florida Water Management District, Office of Modeling, “Regional Simulation Model (RSM)”, **Theory Manual**, May 16, West Palm Beach, Florida 3340. 2005.

LUO, Q. A distributed surface flow model for watersheds with large water bodies and channel loops. **Journal of Hydrology** 337, 172–186. 2007.

MOUSSA, R., BOCQUILLON, C. On the use of the diffusive wave for modeling extreme flood events with overbank flow in the floodplain. **Journal of Hydrology** 374, 116–135. 2008.

PORTO, R. M. **Hidráulica** Básica. Publicação EESC – USP,4º ed., p. 473. 2006.

SOBRE O ORGANIZADOR

LUIS MIGUEL SCHIEBELBEIN Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (1997) e mestrado em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná (2006), Doutorado em Agronomia - Fisiologia, Melhoramento e Manejo de Culturas, pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2017). Atualmente é Professor dos Cursos de Agronomia, Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo e Superior Tecnológico em Radiologia e de Pós-Graduação em Agronegócio e Gestão Empresarial do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE). É revisor da Revista de Ciências Agrárias - CESCAGE, Professor Colaborador do Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) . Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Agricultura de Precisão, atuando principalmente nos seguintes temas: Agricultura de Precisão, Geoprocessamento, Modelagem e Ecofisiologia da Produção Agrícola, Agrometeorologia, Hidrologia, Mecanização, Aplicação em Taxa Variável, Fertilidade do Solo e Qualidade.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-024-7

