

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

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

Patrícia Freire Chagas

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

Maria Patricia Sales Castro

Universidade Federal do Ceará
Fortaleza - CE

Fernando José Araújo da Silva

Universidade Federal do Ceará
Fortaleza – CE

Mário Ângelo Nunes de Azevedo Filho

Universidade Federal do Ceará
Fortaleza - CE

Raimundo Oliveira de Souza

Universidade Federal do Ceará
Fortaleza - CE

RESUMO: A aplicação de modelos hidrológicos de chuva-vazão em bacias hidrográficas rurais aliadas ao estudo da propagação de cheias é fundamental para análise e previsão em áreas susceptíveis a enchentes. Esta pesquisa tem como objetivo aplicar um sistema de modelo hidrológico HEC-HMS associado a um programa computacional de propagação de cheia em uma pequena bacia hidrográfica do rio Potengi, localizada no município de São Pedro (RN), a fim de se verificar o comportamento da propagação da onda cinemática ao longo do tempo nesse trecho do rio. A partir dos resultados gerados

se observa que a declividade tanto exerce influência propagação da onda cinemática quanto nos modelos hidrológicos de chuva-vazão.

PALAVRAS-CHAVE: Enchentes, onda cinemática, modelo hidrológico.

ABSTRACT: The application of rainfall-runoff models in rural watersheds hydrological combined with the study of the propagation of flood wave is essential for analysis and forecasting in areas susceptible to flooding. This research aims to apply a hydrologic modelling system HEC-HMS associated with a computer program of flood routing on stretch in the Potengi river basin, located in the San Pedro city (RN), in order to verify the behavior of the kinematic wave routing over time in this river. From the results generated can be observed that the slope both influences kinematic wave routing as the hydrological models of rainfall-runoff.

KEYWORDS: Flooding, kinematic wave routing, hydrologic model.

1 | INTRODUÇÃO

Durante a estação chuvosa, são frequentes nos noticiários, tanto regionais quanto internacionais, notícias sobre enchentes. Estes eventos frequentemente

causam grandes prejuízos econômicos e sociais para a população atingida, tais como: interrupção da atividade econômica nas áreas inundadas; perdas materiais e humanas; contaminação por doenças de veiculação hídrica; inúmeras pessoas desabrigadas, etc.

Neste contexto, o estudo de propagação de ondas de cheias, através de modelos matemáticos, tem se tornado uma alternativa na busca por soluções. Os modelos hidrodinâmicos têm sido usados, por várias décadas, nos estudos da propagação das ondas de cheias. Há, na literatura, um rico material propondo diferentes abordagens para o tratamento destas equações (SHEN e YEN, 1984).

Smith (1980) propôs um algoritmo e vários métodos de propagação da onda cinemática, em uso comum. O autor apresentou, de forma sintética, a equação de propagação de cheia pela onda cinemática, discutindo e estabelecendo as condições necessárias para o sucesso de sua aplicação.

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 à extensão da inundação (HORRITT E BATES, 2001).

Szymkiewicz (1999) aplicou o método de Musking-Cunge no estudo de ondas de cheias, com o objetivo de avaliar a eficiência do mesmo na solução da equação de Saint-Venant. Os resultados mostraram que sua eficiência depende do número de Courant (Co), que é definido pela relação $u\Delta x/\Delta t$, onde u é a velocidade, Δx é o incremento no espaço, Δt é o incremento no tempo.

Castilho *et. al.* (2009) calibraram e validaram o modelo de transformação de chuva em vazão (HEC/HMS) para a previsão de vazões afluentes à cidade de Ponte Nova, no Estado de Minas Gerais, Brasil, utilizando dados de pluviógrafos e de previsão de chuva obtidos através do modelo ETA (modelo atmosférico que fornece previsão de precipitação com maior resolução espacial. Estas previsões são geradas em valores totais diários), com o objetivo de aumentar o tempo de antecedência na previsão de vazão que atualmente é da ordem de 8 horas. Os resultados mostram que a antecedência pode aumentar em até 72 horas, porém não descartam a utilização do modelo atual, já que este fornece resultados mais precisos.

Souza *et. al.* (2012) compararam os modelos *Storm Water Management Model* (SWMM) e o *Engineering Center-Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) para simulação do processo de escoamento superficial, a partir de uma precipitação de projeto. Os resultados mostraram que a forma de representação espacial da bacia e sub-bacias considerada pelo modelo HEC-HMS é mais adequado para a modelação do processo de escoamento superficial em bacias rurais, visto que a quantidade de parâmetros envolvidos na simulação garante um maior detalhamento das características apresentadas por essas áreas. Quanto à representação adotada pelo

SWMM, se adequa mais a modelação do sistema de drenagem de bacias urbanas.

Segundo Tucci (1993), essa previsão pode ser realizada em longo ou curto prazo. A estimativa em longo prazo somente pode ser realizada por meio de modelos probabilísticos. Já a previsão em curto prazo ou em tempo real, pode ser realizada ao longo da ocorrência dos processos, com base no conhecimento de algumas variáveis ou em sua previsão, como a precipitação, a cota ou a vazão a montante da seção de interesse do curso de água.

O objetivo do presente estudo é aplicar no Nordeste do Brasil um modelo hidrológico associado a um programa computacional, em uma pequena bacia hidrográfica. Trata-se do rio Potengi, junto ao município de São Pedro, Estado do Rio Grande do Norte, com o propósito de verificar o comportamento da propagação da onda cinemática ao longo do tempo nesse trecho do rio.

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 cinemática é um método comumente utilizado para este tipo de aplicação. A equação da onda cinemática pode ser resolvida pelo método das diferenças finitas explícito. Para a solução de suas respectivas equações diferenciais parciais foi desenvolvido um programa computacional, em linguagem Python, para determinar comportamento propagação da onda cinemática ao longo do tempo em um rio a partir de uma hidrógrafa obtida pela precipitação.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Equação da Continuidade

A primeira equação fundamental do escoamento em rios e canais é a equação da continuidade. Na aplicação a rios, como o princípio original refere-se à conservação de massa, os volumes de água serão multiplicados pela massa específica, de maneira que o balanço resultante seja feito em termos de massa, através do mesmo elemento de controle (ANDRADE, 2006).

O enunciado da equação da continuidade diz que a diferença entre a taxa de escoamento da massa saindo e a taxa de escoamento da massa entrando em uma secção é igual à taxa do fluxo de massa resultante através do volume de controle. Assim, a equação da continuidade é dada na sua forma diferencial por:

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

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 a soma da taxa da variação do

momentum dentro do volume de controle e a taxa de fluxo de *momentum* resultante, através da superfície de controle. Logo, a equação da quantidade de movimento é dada na sua forma diferencial por:

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

Em que: Q é a vazão (m³/s); x é a extensão longitudinal (m); t é o tempo (s); A é a área da seção transversal do fluxo (m²); y é a profundidade da água no canal (m); S₀ 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 (m²/s).

2.3 Equação da Propagação da Onda Cinemática

As ondas cinemáticas descrevem escoamentos onde as forças de pressão e as forças inerciais são desprezíveis, assim a equação 2 torna-se:

$$S_f = S_0 \quad \dots\dots\dots(3)$$

A equação 3, associada com a equação 1, fornece a formulação básica da onda cinemática, em que a linha de energia é paralela a linha de fundo do canal.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + C \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \quad \dots\dots\dots(4)$$

Em que: x (m) é a distância a jusante, t (s) de tempo, $C = \alpha \beta Q^{\beta-1}$ (m.s⁻¹) são funções não lineares de descarga Q (x, t) (m³.s⁻¹) e são geralmente conhecidas como celeridade. Para este estudo considera-se que a contribuição lateral é igual a zero.

3 | METODOLOGIA

A modelagem hidrológica foi realizada com do programa HEC-HMS (Hydrologic Modeling System), desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América (USACE-HEC, 2000). Os parâmetros foram separados em variáveis e fixos. Os parâmetros variáveis criaram diferentes cenários a serem analisados.

Para simulação de pico de vazão no HEC – HMS 4.0 foram utilizados os dados do pluviômetro localizado no município de São Pedro disponível no site Hidroweb da ANA. Estes dados são referentes à cheia ocorrida em maio de 2015. Arbitrou-se um tempo de concentração (tc) da chuva na bacia com valor de 40 minutos como representação típica em bacias do semiárido.

Para análise do comportamento da propagação da onda cinemática um esquema numérico, baseado no Método das Diferenças Finitas Explícita, foi utilizado para calcular as equações diferenciais parciais. (ANDERSON *et al.*, 1984). Como mostrado na equação 4, a equação da onda cinemática é uma equação com uma única variável dependente Q, sendo assim possível determinar o valor de Q (x,t) em cada ponto da malha x – t (GOMES, 2006).

Segundo Chow (1988) as derivadas discretizadas no tempo e no espaço, para a onda cinemática, são dadas por:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} \approx \frac{Q[i+1, j+1] - Q[i+1, j]}{\Delta t} \dots\dots\dots(7)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \approx \frac{Q[i+1, j+1] - Q[i, j+1]}{\Delta x} \dots\dots\dots(8)$$

Para resolver as equações diferenciais enredadas no modelo matemático de propagação da onda cinemática, foi desenvolvido um programa computacional. Assim, sendo possível calcular as variáveis pertinentes ao controle de escoamento de um fluido em um rio.

No presente estudo as variáveis determinadas foram vazão máxima gerada com uma precipitação uniforme pelo programa HMS e o comportamento propagação de cheia ao longo do tempo em um rio.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira simulação foi realizada para o canal natural conforme descrito no item anterior. Para uma precipitação de 62,5 mm diária e valor do número de Manning n=0,010 e declividade S₀=0,0001, tem-se o pico de vazão máxima da onda cinemática de 198,5 m³/s. Para uma lâmina de 253,56 mm, conforme pode ser averiguado na Figura 1.

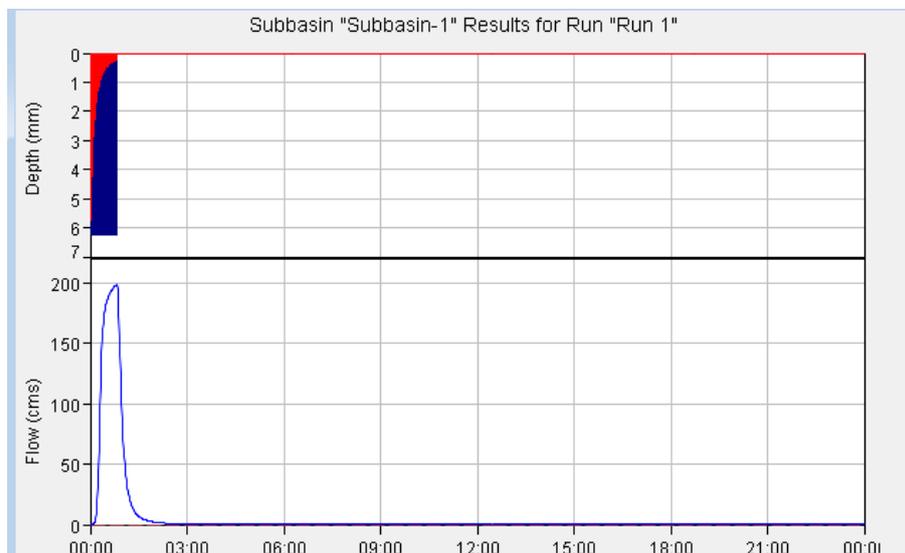


Figura 1 – Pico de vazão para onda cinemática do dia 31/05/2015,

Na Figura 2 é possível verificar, a propagação da onda cinemática ao longo do tempo.

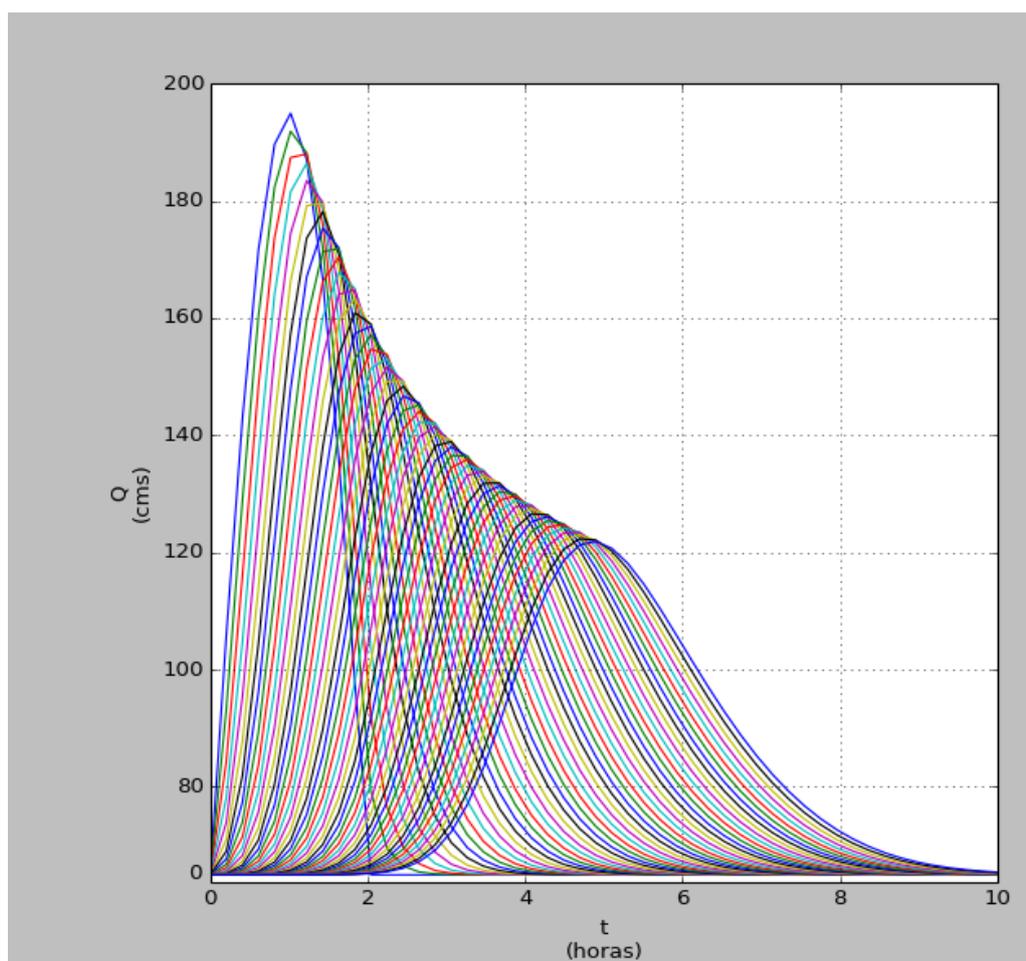


Figura 2 – Comportamento da propagação da onda cinemática para $n= 0,01$ e $S_0= 0,0001\text{m/m}$

Na Figura 2 o pico de vazão máxima ocorre em valores muito próximos do que foi simulado no programa HMS, e, com o passar o tempo o pico de vazão máxima

vai diminuindo.

As simulações a seguir foram feitas para o mesmo canal natural, variando-se apenas as declividades, conforme pode ser verificado nas Figuras 3 a 6.

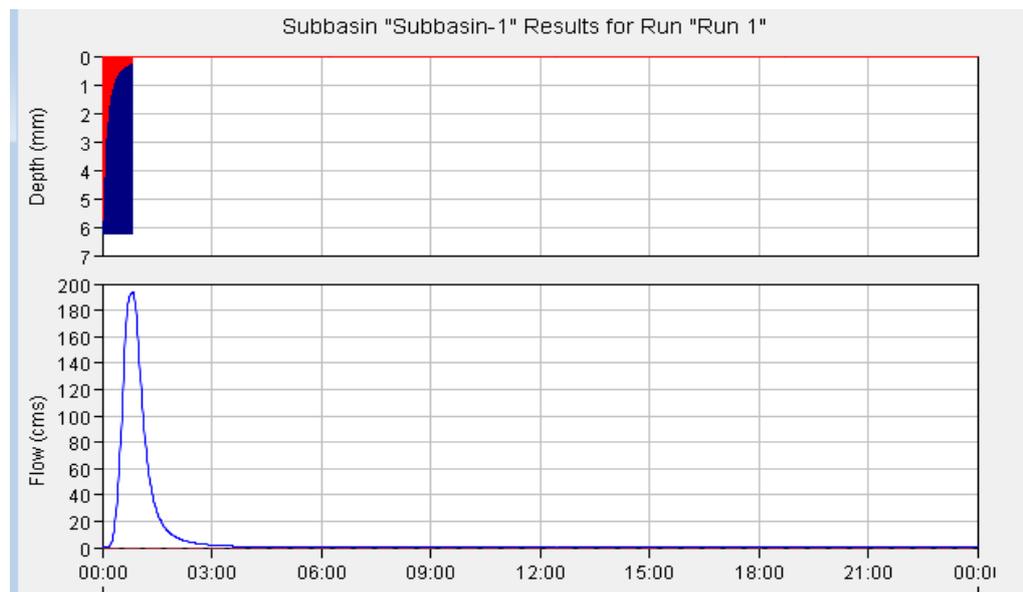


Figura 3 – Hidrograma para onda cinemática, $n=0,010$ e $S_0=0,00005\text{m/m}$.

A Figura 3 para o valor da declividade para $S_0=0,00005\text{m/m}$ temos um valor de vazão máxima igual a $194,3\text{ m}^3/\text{s}$. Com uma lâmina de $253,18\text{ mm}$.

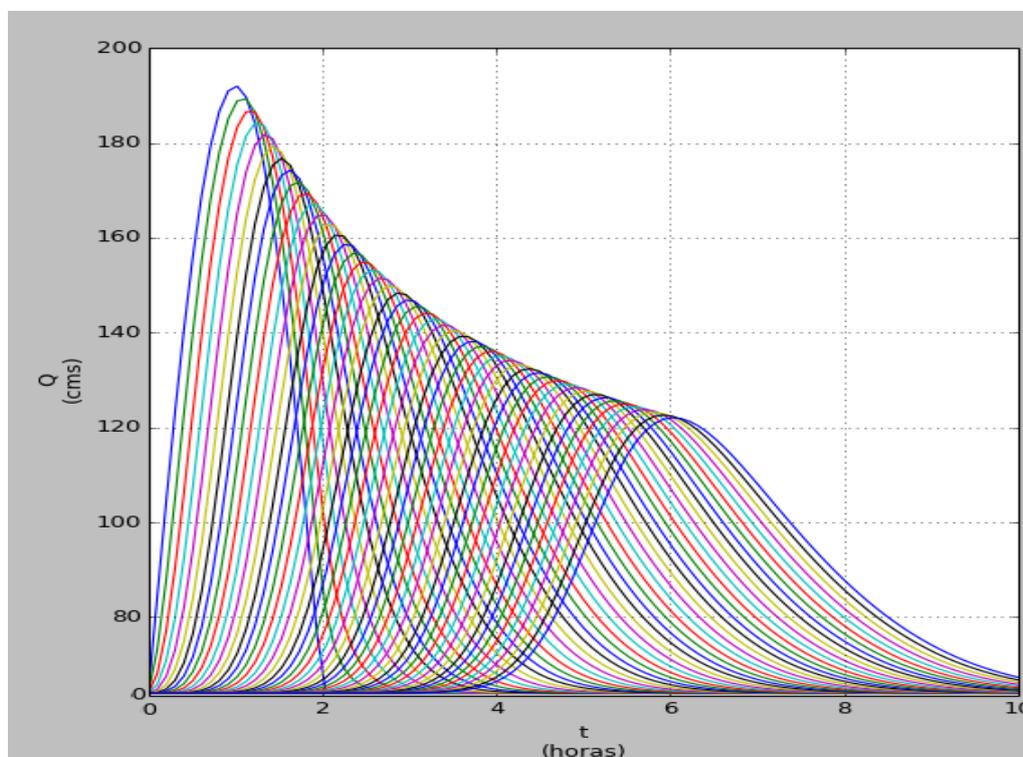


Figura 4 - Comportamento da propagação da onda cinemática para Manning 0,01 e $S_0=0,00005\text{m/m}$.

Na Figura 4 verifica-se que o pico de vazão máxima para uma declividade $S_0 = 0,00005\text{ m/m}$ é aproximadamente igual a $190\text{ m}^3/\text{s}$. Conforme aconteceu na simulação

anterior, Figura 4, ao diminuirmos o valor da declividade para $S_0=0,00005\text{m/m}$, o valor de vazão máxima também diminui. Assim, quanto menor a declividade menor será a vazão com o passar do tempo.

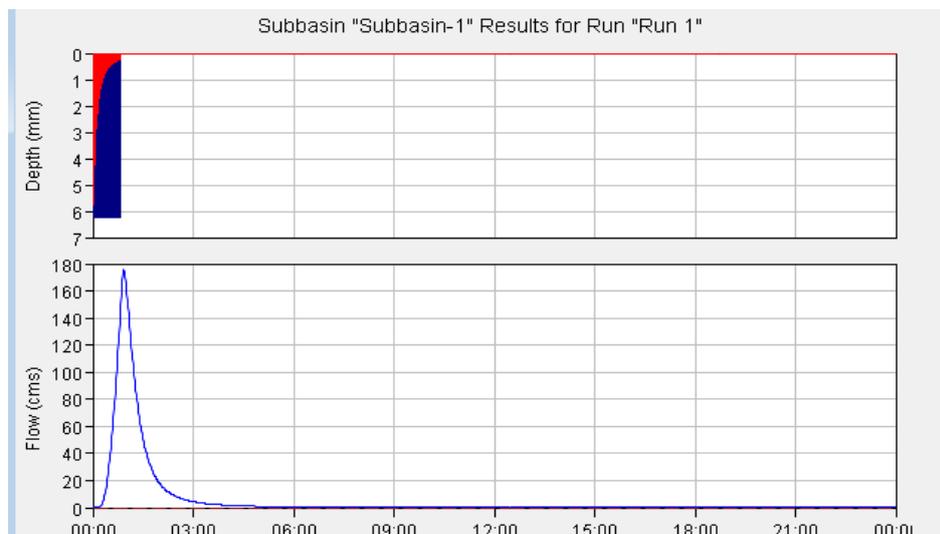


Figura 5 - Hidrograma para onda cinemática, Manning=0,010 e declividade 0,0001m/m, em função do tempo de base

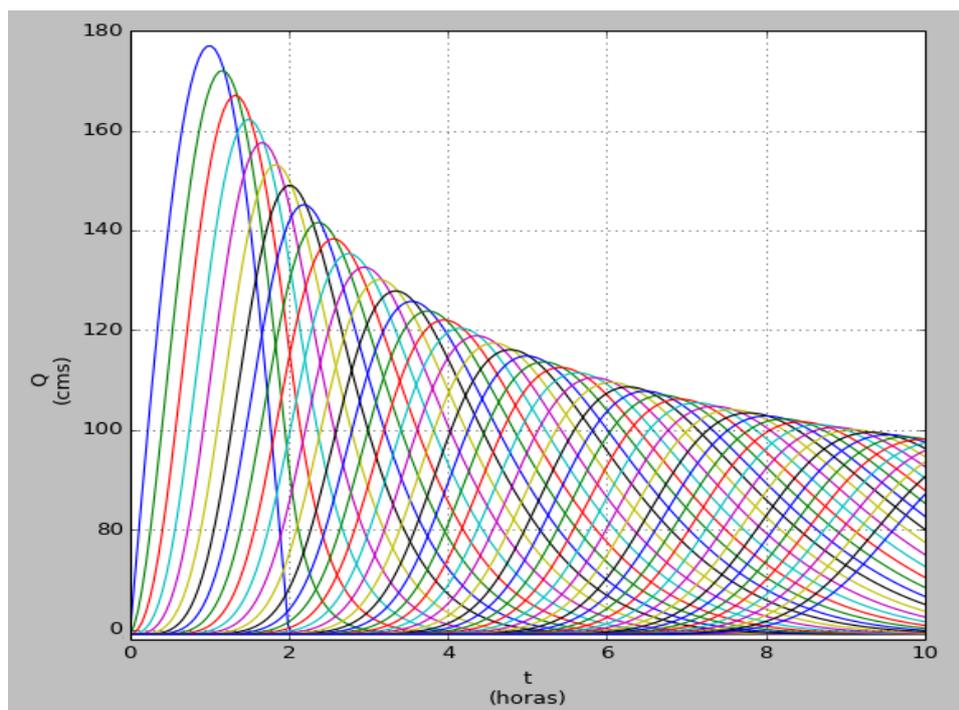


Figura 6 - Comportamento da propagação da onda cinemática para $n=0,01$ e $S_0=0,00001\text{m/m}$.

A Figura 5 para os mesmos valores de precipitação ocorridos no dia 31/05/2015, onde variou-se apenas o valor da declividade para $S_0=0,00001\text{m/m}$ tem-se um valor de vazão máxima igual a $174,9\text{ m}^3/\text{s}$. Com uma lâmina de $253,01\text{mm}$.

Na Figura 6 ilustra o comportamento da vazão de escoamento da onda cinemática. Comparando a Figura 6 com a Figura 2, temos um maior tempo de passagem pela extensão do rio e uma menor vazão, caracterizando que a onda cinemática é sensível ao parâmetro declividade.

5 | CONCLUSÕES

Os resultados apresentaram que a declividade apresenta papel importante na propagação da onda cinemática. Os mesmos mostram que quanto menor o valor da declividade menor será a pico da vazão máxima da onda e maior será tempo de passagem da onda, aumentando os riscos de enchentes.

O programa computacional desenvolvido para resolver as equações diferenciais da onda cinemática, responde com eficiência aos objetivos desta pesquisa, permitindo que a metodologia apresentada fosse testada, e assim apresentando excelentes resultados para as mais diversas situações práticas encontradas no seu campo de 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.

CASTILHO, A. S., PINTO, E. J. A., DAVIS, E. G. Resultados preliminares da utilização da previsão de precipitações na simulação hidrológica da bacia do rio Piranga até Ponte Nova. In XVIII Simpósio de Recursos Hídricos, Campo Grande, Mato Grosso do Sul, Nov. 2009. **Anais ...** Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2009.

CHOW, V. T. **Applied Hydrology**, New York: MacGraw-Hill, 1988.572p.

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.

HIDROWEB SISTEMAS DE INFORMAÇÕES HIDROLÓGICAS. **Dados Hidrológicos Séries Históricas**. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?Tocltem=1080&TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=true>> Acesso: 03 junho 2015

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

SMITH, A. A. A Generalized Approach to Kinematic Flood Routing, **Journal of Hydrology**, Elsevier Science, 45, pp 71-89.1980.

SOUZA, R. M., CRISPIM, D. C., FORMIGA, K. T. M. Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-HMS para simulação de escoamento superficial – caso de estudo bacia do Córrego Samambaia. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, volume 5, 2, pp.1-11. 2012.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, Porto Alegre, ABRH, 943p. 1993.

SHEN, H., YEN, B.C. Advances in Open-Channel Hydraulics after Ven Te Chow, **Journal of Hydrology**, vol.64, pp 333-348.,1984.

SZYMKIEWICZ, R. Similarity of Kinematic and Difuse Waves: a Comment on Accuracy Criteria for Linearised Diffusion Wave Flood Routing by K. Bajracharya and D. A. Barry. **Journal of Hydrology**, Elsevier Science,206, pp.248-251.1999.

YEN, B. C. Open–channel flow equations revisited. **Journal of Engeneering Mechanics Division**, ASCE, n. 51, p. 979–1009.1973.

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

