



XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



ESTUDO DA INFLUENCIA DA RUGOSIDADE NOS MODELOS DE ONDAS CINEMÁTICAS E DIFUSAS.

Raquel Jucá de Moraes Sales
Juliana Alencar Firmo de Araújo
Karla de Carvalho Vasconcellos

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Oliveira de Souza





XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



OBJETIVO GERAL

Estudar o parâmetro de rugosidade do rio, analisando a influência do revestimento interno do leito no processo de propagação das ondas de cheias.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Comparar os resultados obtidos pela simulação do modelo de onda cinemática, com os da simulação do modelo de onda difusiva, verificando a influência de cada modelo em relação à celeridade da onda.



XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS

1. Modelos que simulam ondas de cheias podem ser usados para transformar uma chuva torrencial em escoamento superficial;
2. Em escoamento em **rios naturais**, pela equação do movimento, são fundamentadas as equações de onda dinâmica, onda gravitacional, **onda difusiva e onda cinemática**.

EQUAÇÃO DA ONDA DINÂMICA

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0$$

Onda Dinâmica
Permanente



XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



EQUAÇÃO DA ONDA DIFUSIVA

$$\cancel{u \frac{\partial x}{\partial x}} + g \frac{\partial y}{\partial x} - g(S_0 - S_f) = 0$$

Ou ainda:

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{dQ}{dA} \frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{Q}{2BS_0} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2}$$

EQUAÇÃO DA ONDA CINEMÁTICA

$$\cancel{g \frac{\partial y}{\partial x}} - g(S_0 - S_f) = 0$$

Ou ainda:

$$S_0 = S_f$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha \beta Q^{\beta-1} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) = 0$$



XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



FUNDAMENTOS NUMÉRICOS

EQUAÇÃO DA ONDA DIFUSIVA

Aproximação das derivadas parciais de forma implícita, método de Crank-Nicolson. De maneira que os pontos conhecidos são $(i-1, j)$, (i, j) e $(i+1, j)$ e os desconhecidos são $(i-1, j+1)$, $(i, j+1)$ e $(i+1, j+1)$.

- A derivada parcial de Q , com relação a x é:
$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{1}{2} \left[\frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_{i-1}^{j+1}}{2\Delta x} + \frac{Q_{i+1}^j - Q_{i-1}^j}{2\Delta x} \right]$$
- A derivada parcial de Q , com relação a t é:
$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{Q_i^{j+1} - Q_i^j}{\Delta t}$$
- Na forma matricial, a equação é: $[A][Q] = [FF]$ ou ainda: $[Q] = [FF][A]^{-1}$



XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



EQUAÇÃO DA ONDA CINEMÁTICA

A vazão (Q), e as derivadas parciais de Q no tempo e no espaço, são substituídas por expressões aproximadas, por diferenças finitas. Neste esquema são conhecidos os valores de Q_{i+1}^j e Q_i^{j+1} .

- A derivada parcial de Q , com relação a x é:
$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta x}$$

- A derivada parcial de Q , com relação a t é:
$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{Q_{i+1}^{j+1} - Q_i^{j+1}}{\Delta t}$$

- Substituindo na equação geral, tem-se:
$$Q_{i+1}^{j+1} = \frac{\frac{\Delta t}{\Delta x} Q_i^{j+1} + \alpha \beta Q_{i+1}^j \left(\frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1}}{\frac{\Delta t}{\Delta x} + \alpha \beta \left(\frac{Q_{i+1}^j + Q_i^{j+1}}{2} \right)^{\beta-1}}$$



XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



SOLUÇÃO NUMÉRICA

Programa computacional, em linguagem FORTRAN:

Leitura dos dados de entrada;

Cálculo do modelo de onda difusiva;

Cálculo do modelo de onda cinemática.

Tabela 1: Parâmetros matemáticos das equações de onda cinemática e difusiva.

Parâmetros		Un.
Vazão inicial no canal	10,00	m ³ /s
Comprimento do canal	50.000,00	m
Largura do canal	20,00	m
Declividade do canal	0,00005	m/m



XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



Tabela 2: Parâmetro de rugosidade, para cada tipo diferente de revestimento do rio.

Rugosidade	
Canal de terra	0,018
Canal de pedras	0,035
Canal com alta vegetação	0,050
Canal de fundo com ranhuras	0,100
Canal com vegetação alta e densa	0,150

Fonte: Adaptado de Vem Te Chow, (1959).



XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

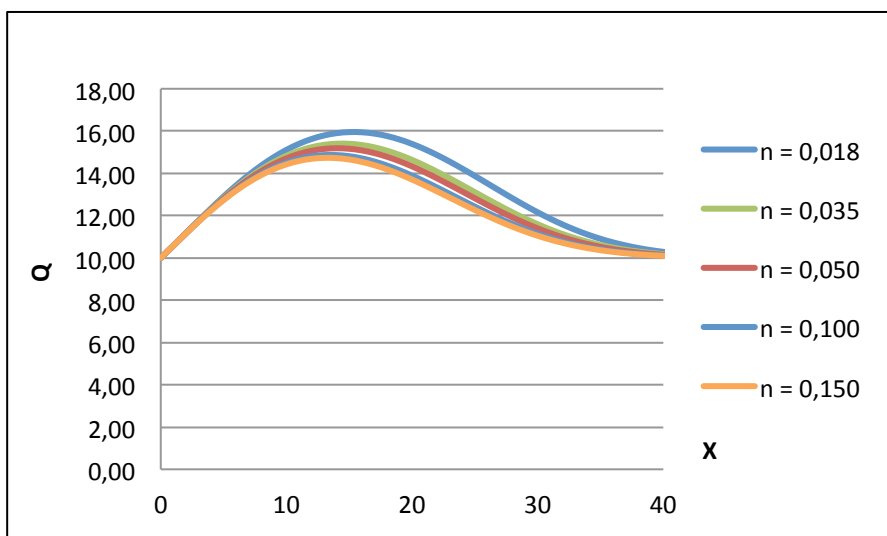
27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



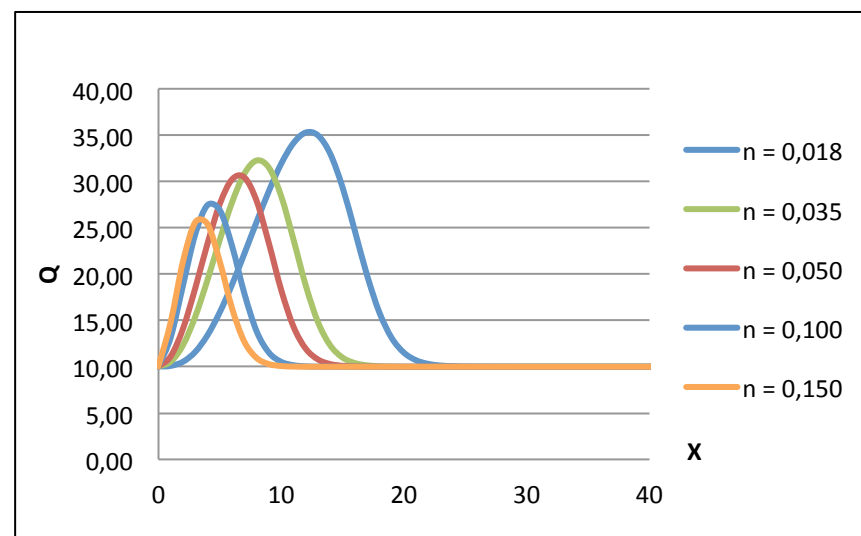
RESULTADOS

Hidrogramas das ondas difusiva e cinemática, para o tempo de 4h, considerando diferentes coeficientes de rugosidade.

ONDA DIFUSIVA



ONDA CINEMÁTICA





XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

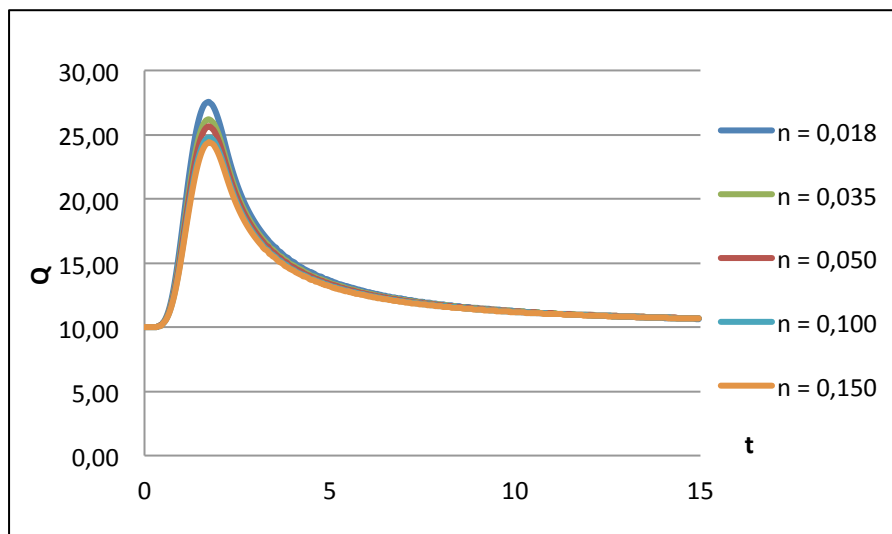
27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



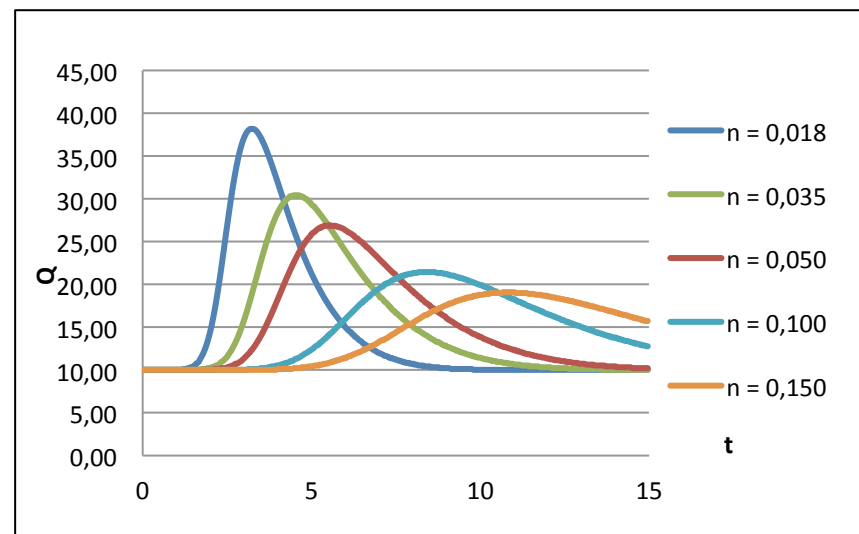
RESULTADOS

Comportamento das ondas cinemática e difusiva, em função do tempo, para uma seção de 10 km à jusante da seção inicial de observação do rio, considerando diferentes rugosidades.

ONDA DIFUSIVA



ONDA CINEMÁTICA





XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

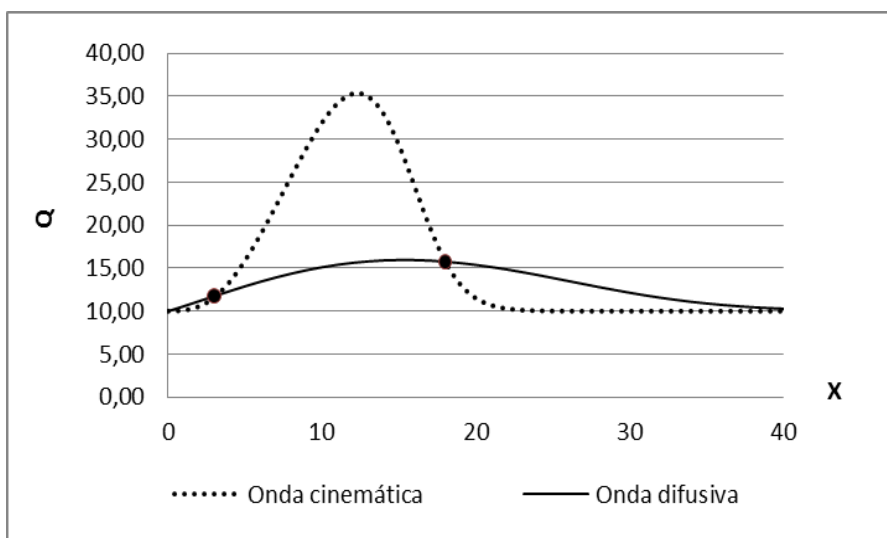
27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



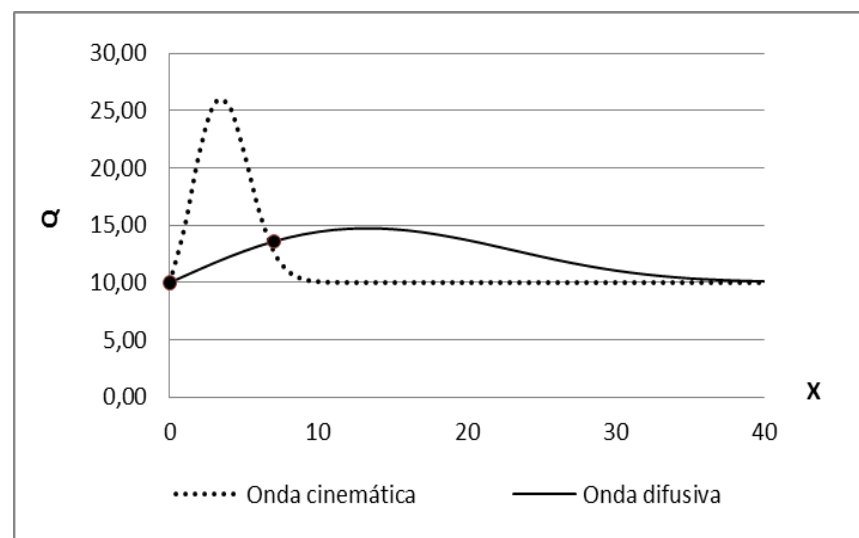
RESULTADOS

Comparação entre os dois modelos estudados, para os valores extremos do Número de Manning estudados, no espaço.

$n = 0,018$



$n = 0,15$





XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

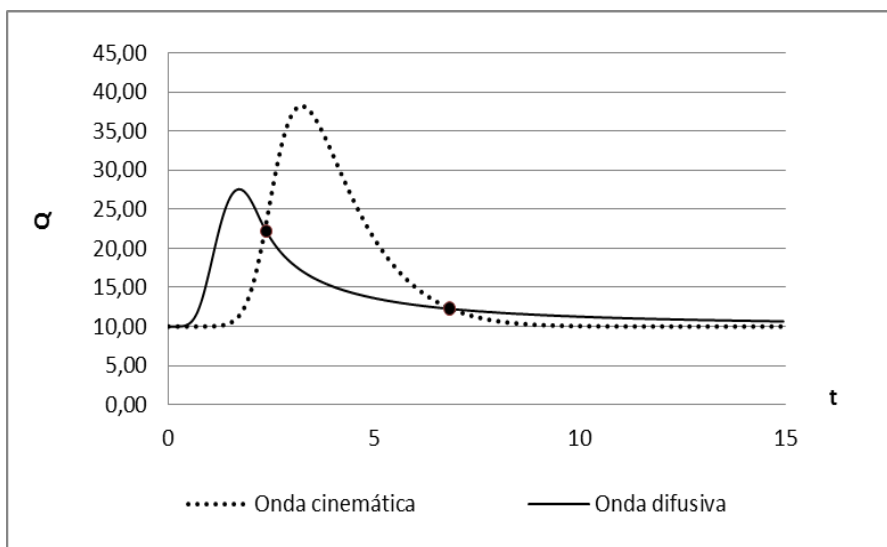
27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



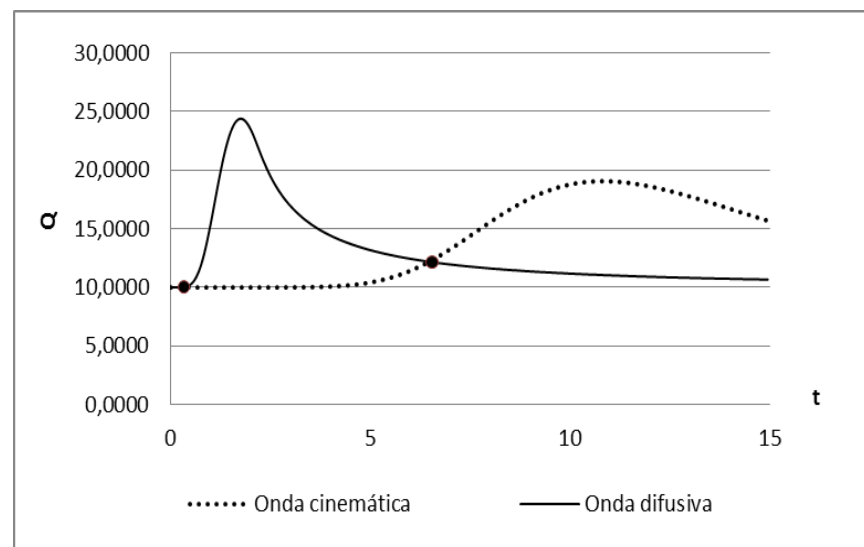
RESULTADOS

Comparação entre os dois modelos estudados, para os valores extremos do Número de Manning estudados, no tempo.

$n = 0,018$



$n = 0,15$





XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



CONCLUSÕES

- O **coeficiente de rugosidade** exerce considerável influência no comportamento da propagação da **onda cinemática**, tanto no tempo como no espaço;
- Tratando-se da **onda cinemática** viu-se que, quanto maior for o coeficiente de rugosidade do leito, ou seja, quanto maior, e mais espessa for a cobertura do leito, menor será o valor do pico da onda, fazendo com que a celeridade desta onda também diminua;



XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



- Pelos resultados da **onda difusiva**, que leva em consideração a difusividade do processo de propagação da onda, observou-se **menor influência** do parâmetro de **rugosidade**, sendo menos sensível tanto do ponto de vista da amplitude da onda, quanto do ponto de vista da celeridade da onda, tanto no espaço, quando no tempo;
- A **onda difusiva tem maior poder dissipativo**. Isto se deve a presença da difusividade, que provoca maior espalhamento da propagação da onda ao longo do canal, o que faz com que o pico da onda seja diminuído;



XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

27 a 30 de novembro de 2012, João Pessoa – PB



- Por fim, o modelo de **onda difusiva**, que sofre menor influência na propagação de ondas, quanto ao parâmetro rugosidade do leito, a aplicação deste modelo **se adapta melhor as condições em que a cobertura do leito não é bem definida**. Outros estudos de comparação destas duas ondas devem ser feitos para verificar sob que condições devem ser aplicadas, avaliando quais destes métodos melhor se adapta aos recursos hídricos.

OBRIGADA!