

ESTUDO HIDROLÓGICO DA BACIA DO ACARAÚ: UMA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO NÍVEL DE DISCRETIZAÇÃO DA BACIA, COM O USO DO SOFTWARE HEC-HMS.

Tales Nardel Barbosa Viana¹; José Sérgio dos Santos²; Raquel Jucá de Moraes Sales³

RESUMO – A utilização de modelos hidrológicos, para o controle de cheias, vem sendo adotada com bastante frequência, podendo-se obter respostas rápidas e com menores incertezas. Desta maneira, esta pesquisa analisa a influência do nível de discretização de uma bacia, a partir do estudo hidrológico da bacia do Acaraú, utilizando o software HEC-HMS. Para tanto, foram realizadas simulações para três níveis de discretização, cujo primeiro simula a bacia como um todo, sem nenhuma subdivisão, o segundo simula a bacia com o nível de discretização em oito sub-bacias, e o terceiro simula a bacia com o nível de discretização do arroio em oito trechos. Estes dados foram verificados e comparados com o modelo empírico de Aguiar. Dos resultados, observou-se que a diferença entre o primeiro modelo, sem a discretização, e os demais modelos, foi bastante significativa. Quanto à discretização do arroio, observou-se que a diferença entre os resultados das simulações foram mínimas. Pelos resultados, entende-se que o nível de discretização da bacia é de fundamental importância, visto que as características de cada sub-bacia devem ser consideradas de maneira independente, evitando desprezar possíveis perdas.

ABSTRACT – The use of hydrological models for flood control, has been adopted quite often, allowing to get fast answers with less uncertainty. Thus, this research analyzes the influence of the level of discretization of a watershed, based on the study of the hydrological basin Acaraú using the HEC-HMS software. For this purpose, simulations were performed for three levels of discretization, which first simulates the basin as a whole, without subdivision, the second simulates the watershed with the level of discretization in eight sub-basins, and the third simulates it with the level of discretization of the stream into eight reaches. These data were verified and compared with the empirical model of the Engineer Aguiar. From the results, it was observed that the difference between the first model without discretization, and other models, was very significant. Regarding the discretization of the stream, it was observed that the difference between the simulation results were minimal. The results mean that the level of discretization of the basin is of fundamental importance, since the characteristics of each sub-basin should be considered independently, avoiding ignoring possible losses.

Palavras-Chave: Discretização da bacia hidrográfica, modelagem hidrológica, HEC-HMS.

¹ Aluno do curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Departamento de Construção Civil. Av. Treze de Maio, 2081, Fortaleza/CE, CEP: 60040-531, E-mail: talesnardel@gmail.com.br

² Doutor, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Departamento de Construção Civil. Av. Treze de Maio, 2081, Fortaleza/CE, CEP: 60040-531, E-mail: sergio@ifce.edu.br

³ Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Campus do Pici - Bloco 713, Fortaleza/CE, CEP: 60451-970, E-mail: raqueljuca@gmail.com

01. INTRODUÇÃO

Os estudos hidrológicos, especialmente os relacionados ao fenômeno chuva-deflúvio, tem sido objeto de inúmeras pesquisas, as quais muitas vezes não são aprofundadas pela falta de recursos ou de dados. A falta de dados ou a simplificação do sistema pode acarretar em falsas conclusões.

Como o auxílio de programas computacionais, podem-se desenvolver modelos hidrológicos que possibilitem a representação do fenômeno chuva-deflúvio de maneira rápida e com menor risco de falhas. Outro ponto fundamental a ser considerado no estudo hidrológico de uma bacia hidrográfica, é a subdivisão da bacia em sub-bacias, considerando a sua contribuição de maneira independente. Deixar de considerar a influência causada por cada uma das sub-bacias, sobre o conjunto, pode conduzir a resultados equivocados.

A fim de analisar a influência entre os níveis de discretização de uma bacia, fez-se uma avaliação comparativa entre as vazões máximas e os tempos de pico (T_p) para três diferentes níveis de discretização, e para os períodos de recorrência de 100, 1.000 e 10.000 anos. Nesse trabalho foi utilizado o software desenvolvido pelo Grupo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos, Hydrologic Modeling System - HEC-HMS, e comparados os resultados obtidos por este software com os resultados obtidos a partir do método empírico de Aguiar.

A bacia hidrográfica escolhida para o estudo foi a bacia do Acaraú, devido a sua ampla relevância na oferta hídrica do estado do Ceará, sendo constituída por oito sub-bacias, tendo o rio Acaraú como rio principal.

02. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A origem do escoamento superficial está, fundamentalmente, nas precipitações. Ao chegar ao solo, parte da água se infiltra, parte é retida pelas depressões do terreno e parte se escoar pela superfície. Os escoamentos realizados pela água, proveniente da precipitação, podem ser definidos em escoamento rápido ou superficial e escoamento lento ou subterrâneo.

O processo de transformação da chuva em escoamento superficial pode ser entendido da seguinte maneira: ao iniciar a precipitação, as primeiras águas caídas são retidas no solo. O solo tem capacidade de infiltração f que absorve toda a precipitação, se a intensidade i for igual ou inferior a

f. Essa diferença (*i-f*) é denominada excesso de chuva (*excess rainfall*) que também recebe o nome de chuva efetiva (Campos, 2009).

Um dos principais fatores que influenciam na propagação do escoamento superficial, está relacionado à capacidade de infiltração do solo. Luna (2002), através da utilização associada de ferramentas de Sensoriamento Remoto (SERE) e dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), obteve um mapeamento das classes de solos para o estado do Ceará.

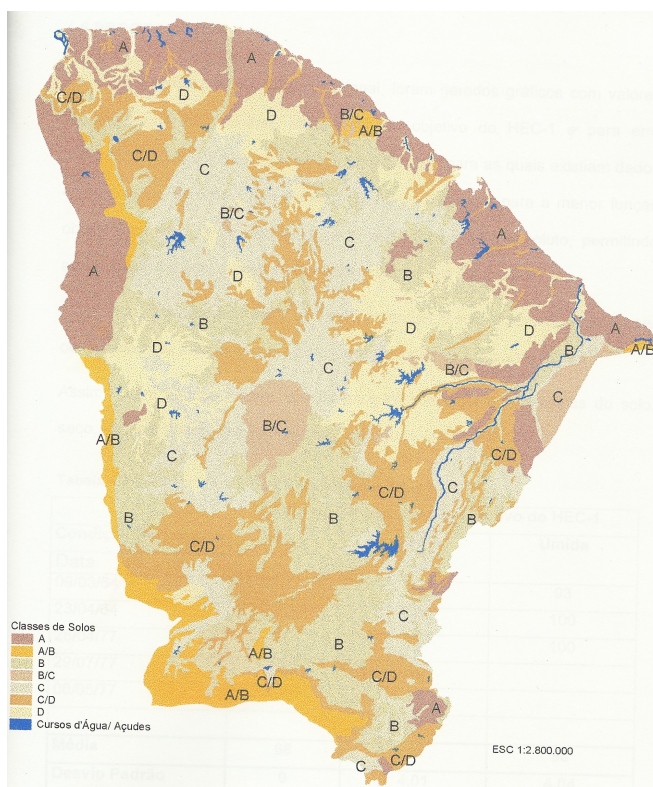


Figura 1: Classes de Solos para o Estado do Ceará.

Fonte: Luna (2002)

O escoamento superficial tem grande importância nos estudos de hidrogramas, pois através destes obtemos a representação gráfica da vazão em relação ao tempo, observada numa seção de um curso d'água (Studart, 2006).

Em se tratando de simulação, a modelagem hidrológica surge como uma ferramenta utilizada para simular os processos de chuva-deflúvio em bacias hidrográficas. A criação de modelos computacionais é obtida através da utilização de programas que simulem os eventos de chuvas com aplicações em estudo de cheias. Um dos programas, muito aplicado e analisado em todo mundo,

que vem sendo muito utilizado em trabalhos relacionados à modelagem hidrológica é o Hydrologic Modeling System - HEC-HMS.

O HEC-HMS é um programa desenvolvido com a finalidade de simular os processos de chuva de flúvio em bacias hidrográficas. Segundo Campos (2009) as cheias simuladas nesse programa podem ser para eventos de chuva de curta duração (escala de dias) e de longa duração (escala de anos).

Através das várias possibilidades existentes para a realização da simulação, temos como dado de saída hidrogramas de escoamento para bacias de redes complexas, utilizando-se dos diversos métodos de cálculo da proporção de cheias para calcular os hidrogramas de chuva.

Os hidrogramas produzidos pelo programa são usados diretamente ou conjuntamente com outro software para estudos da disponibilidade da água, da drenagem urbana, da previsão do fluxo, do impacto futuro da urbanização, do projeto de vertedouro do reservatório, da redução de dano de inundação, do regulamento da zona sujeita a inundações e da operação de sistemas (HEC, 2009).

Além da análise feita pelo HEC-HMS, também, foi desenvolvida uma metodologia, muito utilizada na área de engenharia para a determinação dos cálculos hidrológicos, para a análise da região nordeste do Brasil. Essa metodologia é proposta pelo Engenheiro Aguiar.

Os estudos realizados pelo engenheiro Francisco Gonçalves de Aguiar, no Nordeste do Brasil, possibilitaram a determinação de dados empíricos que serviram de base a diversos outros estudos da região. Um de seus estudos levou na determinação de um formulário empírico, onde os parâmetros correspondentes às características locais são integrados. A partir deste estudo, foi desenvolvida a Equação (1), que determina a vazão de projeto.

$$Q = \frac{1150A}{\sqrt{LC(120 + KLC)}} \quad (1)$$

Fonte: Aguiar (1969)

Onde:

Q: vazão de projeto (m³/s);

A: área da bacia hidrográfica (Km²);

L: linha de fundo, isto é, o comprimento do riacho desde a seção exutória em estudo, até as nascentes (Km);

K,C: parâmetros referentes as características da bacia.

03 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho propõe como área de estudo a região da bacia do rio Acaraú, que tem uma área de 14.427,00 Km² e 315,00 Km de extensão, em seu rio principal. A bacia se localiza na zona noroeste do Estado do Ceará, conforme ilustrado na Figura 2.

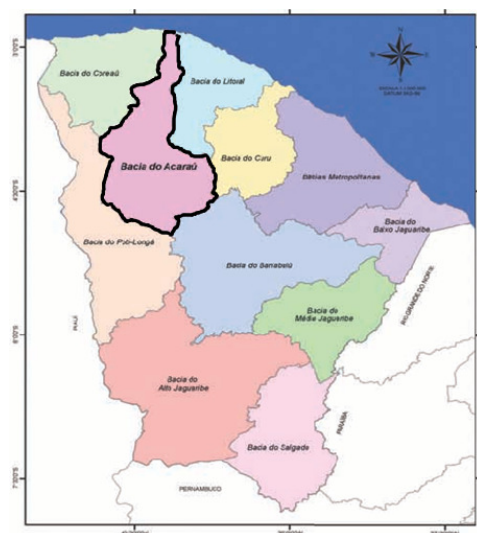
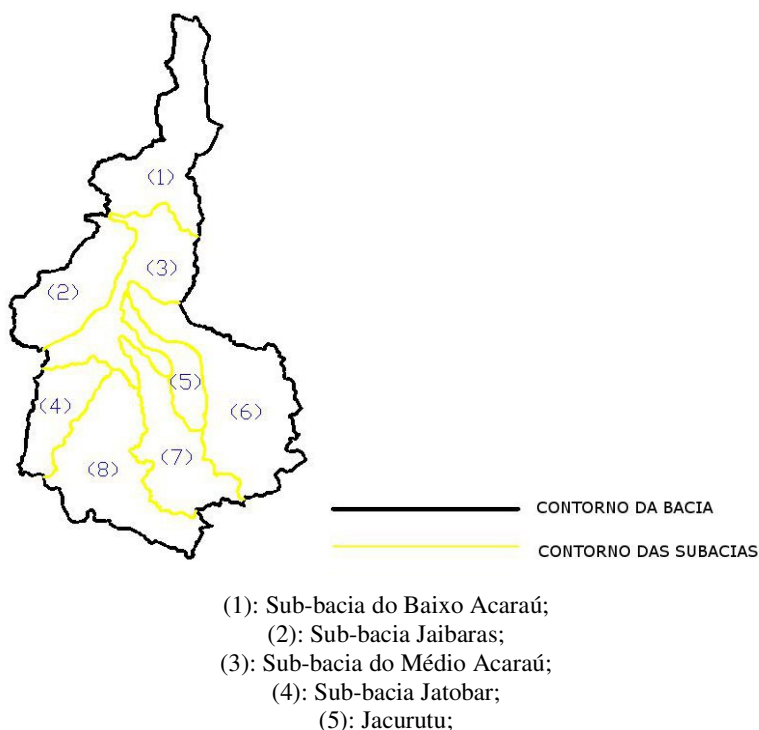


Figura 2: Localização da Bacia do Acaraú

Fonte: Pacto das águas (2009).

A Figura 3 ilustra a representação das subacias pertencentes à bacia do rio Acaraú.



- (6): Sub-bacia Groaíras;
- (7): Sub-bacia Macacos;
- (8): Sub-bacia do Alto Acaraú.

Figura 3: Representação das sub-bacias da bacia hidrográfica do Acaraú.

A metodologia foi desenvolvida tendo como base os seguintes critérios:

- Foram coletados dados específicos da bacia e dados pluviométricos:
 1. Base cartográfica digital do Estado do Ceará da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), com intervalos entre curvas de níveis de 15 m.
 2. Dados pluviométricos da região, obtidos a partir do banco de dados da SUDENE e da Fundação Cearense de Meteorologia e Recurso Hídricos (FUNCEME);
 3. Arquivo digital da tipologia do solo do Estado do Ceará obtido através do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (DEHA) da Universidade Federal do Ceará (UFC).
- A partir dos dados, foi possível definir o modelo de estudo;
- Definido o modelo, pode ser feita a base de cálculos hidrológicos, que foi posteriormente inserida no HEC-HMS;
- A partir daí fez-se a simulação utilizando o HEC-HMS. As simulações foram aplicadas para três diferentes discretizações:
 1. Modelo I - Neste modelo foi considerada a simulação sem a sua subdivisão da bacia;
 2. Modelo II - Neste modelo considerou-se a subdivisão da bacia em 8 sub-bacias, e a discretização do arroio em 3 trechos;
 3. Modelo III - Neste modelo considerou-se tanto a subdivisão da bacia em 8 sub-bacias, e a subdivisão do arroio em 8 trechos.
- E, finalmente, a análise dos resultados.

3.1 Dados metodológicos

Alguns parâmetros foram determinados através do auxílio de ferramentas de geoprocessamento e de programas que utilizam a interface CAD. Os principais parâmetros da bacia estão representados nas Tabelas 1 e 2 a seguir.

Tabela 1: Parâmetros da bacia do Acaraú.

Bacia	Área (Km ²)	Lp (Km)	Tc (h)	Tlag (h)	CN	Declividade (m/m)	n	Lci (m)
Acaraú	14427	315	75,30	45,18	76,01	0,001095	0,043	188

Tabela 2: Parâmetros das sub-bacias do Acaraú.

Sub-bacia	Área (Km ²)	Área (%)	Lp (Km)	Lr (Km)	Lr (%)	Tc (h)	Tlag (h)	CN	Declividade (m/m)	n	Lci (m)
Baixo Acaraú	2253,51	15,62	94,71	28,391	9,01	33,71	20,23	78,24	0,000845	0,043	110
Jaibaras	1582,68	10,97	77,65	58,740	18,65	24,50	14,70	70,39	0,001301	0,043	145
Médio Acaraú	1925,42	13,35	97,25	45,151	14,33	31,19	18,71	74,51	0,00109	0,043	188
Jatobar	1040,57	7,21	70,71	25,323	8,04	17,45	10,47	60,30	0,002602	0,043	165
Jacurutu	672,69	4,66	81,3	25,706	8,16	20,64	12,38	81,14	0,002226	0,043	196
Groaíras	2826,08	19,59	153,16	17,310	5,50	28,59	17,15	81,68	0,003389	0,043	205
Macacos	1623,95	11,26	110,83	19,665	6,24	18,64	11,19	81,14	0,005387	0,043	235
Alto Acaraú	2498,85	17,32	134,73	94,714	30,07	23,99	14,40	74,15	0,004134	0,043	255
TOTAL	14423,75	100	-	315,00	100	-	-	-	-	-	-

Onde:

Lp: comprimento do rio principal;

Lr: trecho de contribuição para o rio principal da bacia;

Lci: comprimento inferior do canal;

n: coeficiente de Manning.

O período de análise dos dados pluviométricos foi de 1912 a 2011. A partir dos dados coletados, foi escolhida a precipitação máxima diária de cada ano e feita à análise dos valores de intensidades extremas.

Em resumo, os postos pluviométricos estudados, encontram-se expostos na Tabela 3:

Tabela 3: Postos pluviométricos analisados.

Sub-bacia	Posto	Latitude	Longitude	Nº de anos*
Baixo Acaraú	Acaraú	253	4007	83
Jaibaras	Mucambo	354	4046	75
Médio Acaraú	Sobral	342	4021	95
Jatobar	Ipu	419	4042	65
Jacurutu	Santa Quitéria	420	4009	91
Groaíras	Santa Rita dos Galdinos	419	3949	13
Macacos	Betânia	431	4018	12
Alto Acaraú	Nova Russas	443	4034	91

*Não foram considerados nas séries de dados, os valores com indicação 999 e 888, pois representavam dados não observados.

A Figura 4 ilustra a representação dos postos pluviométricos na bacia do Acaraú e os polígonos de Thiessen.

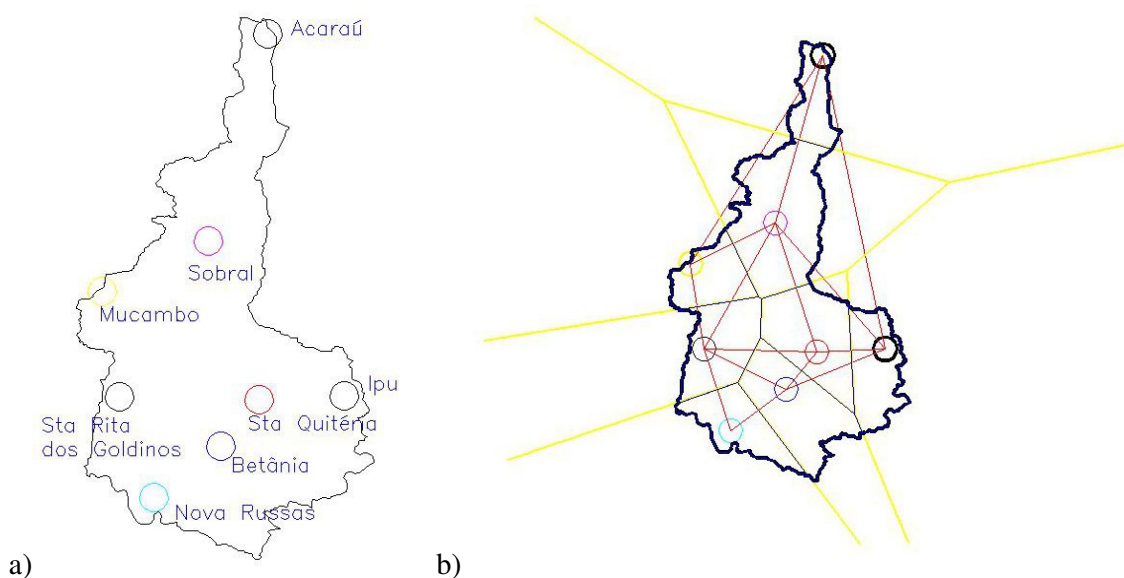


Figura 4: a) Representação dos postos pluviométricos; b) Representação dos polígonos de Thiessen.

A Figura 5 ilustra, respectivamente, a representação do rio principal e as classes de solos pertencentes à bacia do Acaraú.

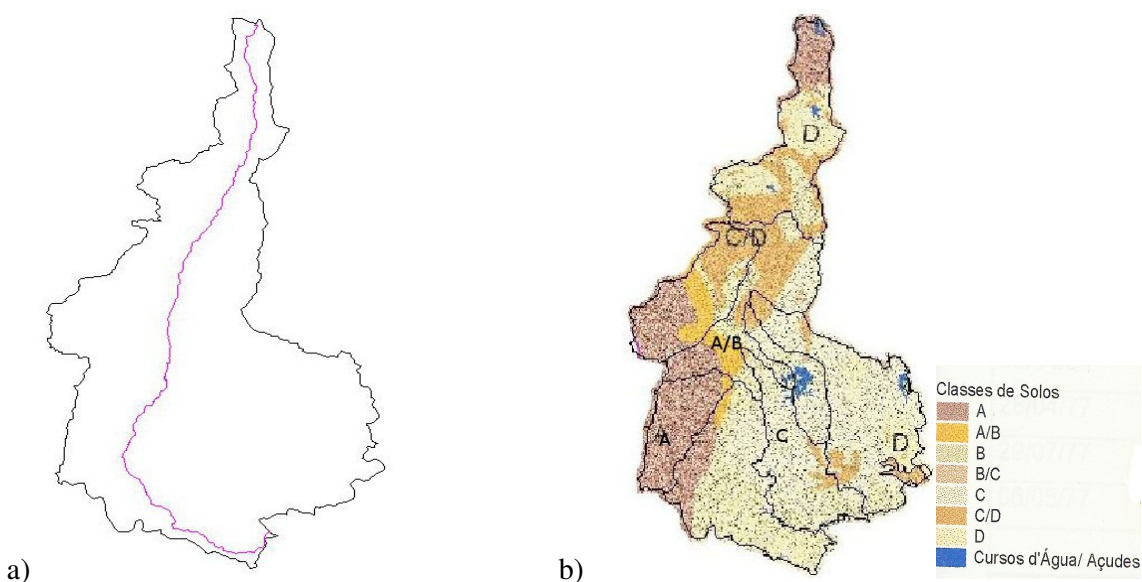


Figura 5: a) Representação do rio principal; b) Classificação do solo da bacia.

As Tabelas 4 e 5 ilustram, respectivamente, as classes de solo, com seus respectivos valores de CN, e as isozonas pertencentes à bacia do Acaraú.

Tabela 4: Classe de solo pertencente à bacia.

Classe de solo	Área (Km ²)	CN	Porcentagem de área (%)
A	3209,96	60	22,26
A/B	869,35	66	6,03
C/D	2537,34	82,5	17,59
C	6105,81	81	42,34
D	1651,35	84	11,45
B/C	47,16	76,5	0,33
Média ponderada	-	76,01	-

Tabela 5: Classe de isozonas pertencente à bacia.

Isozona	Área (Km ²)	Tr		
		100	1000	10000
C	2253,51	38,4	37,2	36,2
D	6058,47	40,3	39	37,8
E	4371,67	42,2	40,9	39,6
F	1739,93	44,1	42,7	41,3

A representação dos modelos simulados I, II e III, estão ilustradas nas Figuras 6, 7 e 8, respectivamente.

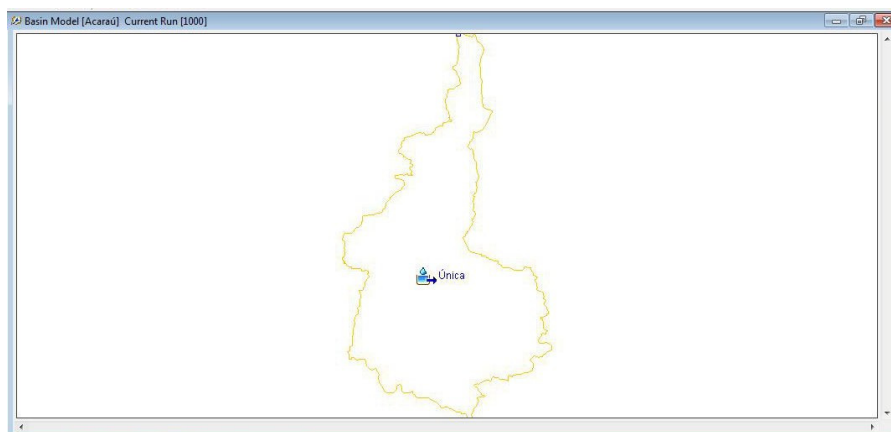


Figura 6: Representação do modelo I no programa HEC-HMS.

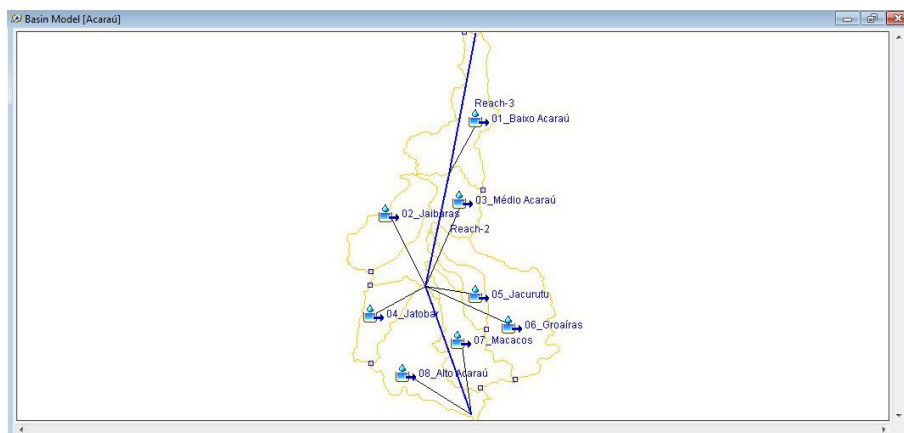


Figura 7: Representação do modelo II no programa HEC-HMS.

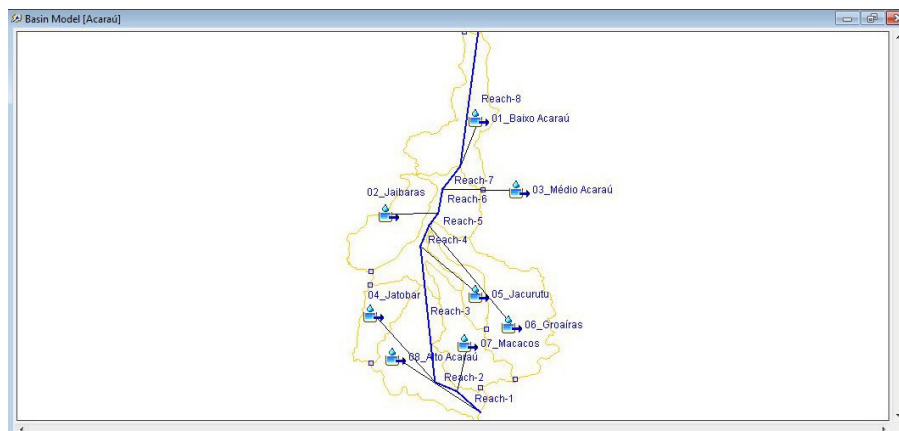


Figura 8: Representação do modelo III no programa HEC-HMS.

IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise de resultados foi feita a partir da comparação das vazões obtidas pelo HEC-HMS e comparada ao modelo empírico de Aguiar, para o período de retorno de 100 anos, já que a metodologia de Aguiar é específica para este período de recorrência.

Na Tabela 6, encontram-se os resultados obtidos pela simulação do modelo I, em que não há a subdivisão da bacia do Acaraú em sub-bacias.

Tabela 6: Resultados do Modelo I.

Bacia do Acaraú	Vazão de pico (m³/s)		
	Tr = 100 anos	Tr = 1000 anos	Tr = 10000 anos
	12871,9	16550,4	20283,2

Nas tabelas 7 e 8, estão apresentados os resultados das simulações do modelo II e do modelo III, cujos níveis de discretização da bacia e do arroio são de 8 sub-bacias e 3 trechos, e 8 sub-bacias e 8 trechos, respectivamente.

Tabela 7: Resultados referentes às sub-bacias do Modelo II.

Sub-Bacias	Vazão de pico (m³/s)		
	Tr = 100 anos	Tr = 1000 anos	Tr = 10000 anos
Baixo Acaraú	5501,5	7039,7	8586,6
Jaibaras	4280,0	5616,4	6973,1
Médio Acaraú	4673,5	6049,5	7439,1
Jatobar	2827,3	3862,7	4935,7
Jacurutu	2550,5	3229,9	3907,6
Groaíras	8368,6	10595,6	12824
Macacos	6649,3	8417,7	10176,8
Alto Acaraú	7423,2	9616,0	11826,7
Acumulada	42273,9	54427,5	66669,6

Tabela 8: Resultados referentes às sub-bacias do Modelo III.

Sub-Bacias	Vazão de pico (m³/s)		
	Tr = 100 anos	Tr = 1000 anos	Tr = 10000 anos
Baixo Acaraú	5501,5	7039,7	8586,6
Jaibaras	4280	5616,4	6973,1
Médio Acaraú	4673,5	6049,5	7439,1
Jatobar	2827,3	3862,7	4935,7
Jacurutu	2550,5	3229,9	3907,6
Groaíras	8368,6	10595,6	12824
Macacos	6649,3	8417,7	10176,8
Alto Acaraú	7423,2	9616	11826,7
Acumulada	42273,90	54427,50	66669,60

A partir das Tabelas 6, 7 e 8, podemos determinar a vazão máxima para o modelo I e a máxima acumulada para os modelos II e III, conforme a Tabela 9. A vazão determinada pelo método de Aguiar foi obtida através da expressão matemática citada na revisão bibliográfica, pressupondo que a bacia seja do tipo 7, de acordo com sua classificação de solo.

Tabela 9: Análise das vazões máximas acumuladas.

Vazão acumulada	Modelo I	Modelo II	Modelo III	Modelo de Aguiar
Q (m³/s)	12871,9	42273,9	42273,9	41709,45

Pela Tabela 9, observa-se que os resultados dos modelos II e III estão bem próximos dos resultados obtidos pelo modelo de Aguiar. Verifica-se também que os resultados do modelo I são menores do que a metade dos resultados obtidos pelos outros dois modelos.

Quanto à análise dos modelos II e III, pelos resultados semelhantes, entende-se que o nível de discretização do rio tem influência mínima. No estudo de Sales (2011), que avaliou a aplicabilidade do HEC-HMS em bacias urbanas, foi observado que o software HEC-HMS não é sensível a discretização do arroio. Desta maneira, constatou-se que o mesmo acontece para bacias de grande porte, como é o caso da bacia do Acaraú.

Foi calculado também o potencial hídrico, que é determinado pela razão entre a vazão máxima e a área da bacia, para os três modelos analisados e para o modelo empírico de Aguiar, de maneira a se obter uma melhor veracidade dos dados, Tabela 10.

Tabela 10: Análise do potencial hídrico.

Potencial Hídrico	Modelo I	Modelo II	Modelo III	Modelo de Aguiar
P (m³/s/km)	0,89	2,93	2,93	2,89

Pelos resultados observados na Tabela 10, constata-se o que já foi dito anteriormente, em que apenas o modelo I, sem nenhuma subdivisão da bacia em demais sub-bacia, leva a dados imprecisos, o que leva a crer a importância em se fazer a discretização da sub-bacia de maneira detalhada, levando em consideração a forma de contribuição de cada sub-bacia.

V - CONCLUSÕES

Pelo estudo, conclui-se que a caracterização de uma bacia hidrográfica não deve ser feita de maneira simples, isto é, sem considerar a influência de cada sub-bacia sobre o conjunto. Os resultados da vazão de pico obtidos pelos modelos II e III estão próximos dos resultados

encontrados pela aplicação do método empírico de Aguiar, enquanto que os resultados do modelo I foram significativamente menores, tanto dos modelos II e III, como do modelo de Aguiar.

Constatou-se ainda que nos modelos II e III, a maneira como é feita a discretização dos rios da bacia hidrográfica não interfere, significativamente, no valor da vazão acumulada por cada sub-bacia. Entende-se que este resultado é devido à falta de sensibilidade do programa quanto a influência da subdivisão do rio em trechos representativos.

Segue algumas recomendações para futuros estudos na mesma temática:

- Sugere-se a aplicação de outros programas que envolvem simulação de fenômenos de chuva-deflúvio, possibilitando assim um maior número de resultados para análise;
- Ser feito um estudo detalhado para os pontos de enchentes pertencentes à bacia, identificando as áreas mais afetadas;
- Em estudos de cheias, faz-se necessário a modelagem hidráulica para a determinação das cotas de cheias.
- Também se sugere que outras pesquisas sejam elaboradas com uma possível inclusão de reservatórios, buscando identificar a influência no amortecimento de cheias.

VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, Francisco Gonçalves de. Estudo **Hidrométrico do Nordeste Brasileiro – Deflúvio Médio Anual (Curva de Rendimento Médio)**. Fortaleza 1969. Departamento Nacional de Obras Contra as Sêcas (DNOCS).

Campos, José Nilson B. **Lições em modelos e simulação hidrológica**. Fortaleza 2009 ASTEF/EXPRESSÃO GRÁFICA 166..il.

Luna, Renata Mendes. **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas em estudo de eventos de cheia**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2002.

Pacto das Águas. Caderno regional da bacia do Acaraú – Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos. Assembleia Legislativa do Estado do Ceará. Fortaleza: INESP, 2009.

Sales, Raquel Jucá de Moraes. **Estudos hidráulicos e hidrológicos de amortecimento de cheias do riacho alagadiço, Fortaleza, Ce**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2011.

Studart, Ticiana M. Carvalho. **Notas de Aula de Introduzindo Hidrologia**. Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2000.

U.S. Army Corps Of Engineers, 2009 "HEC-HMS, Hydrologic Model System. Technical Reference". Water Resources Support Center. Hydrologic Engineering Center.