



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

HELIO VIANA CORREIA LIMA

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DAS BACIAS DO SALGADO, ALTO E MÉDIO
JAGUARIBE UTILIZANDO O HEC-HMS COM VISTAS À OPERAÇÃO DAS
COMPORTAS DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO.**

FORTALEZA

2013

HELIO VIANA CORREIA LIMA

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DAS BACIAS DO SALGADO, ALTO E MÉDIO
JAGUARIBE UTILIZANDO O HEC-HMS COM VISTAS À OPERAÇÃO DAS
COMPORTAS DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO.**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho.

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L698m Lima, Helio Viana Correia.

Modelagem hidrológica das bacias do Salgado, Alto e Médio Jaguaribe utilizando o HEC-HMS com vistas à operação das comportas do reservatório Castanhão / Helio Viana Correia Lima. – 2013.
46 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2013.

Orientação: Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho.

1. Modelagem hidrológica. 2. Castanhão. 3. HEC-HMS. I. Título.

CDD 620

HELIO VIANA CORREIA LIMA

**MODELAGEM HIDROLÓGICA DAS BACIAS DO SALGADO, ALTO E MÉDIO
JAGUARIBE UTILIZANDO O HEC-HMS COM VISTAS À OPERAÇÃO DAS
COMPORTAS DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Samuelson Lopes Cabral
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Francisco Alberto de Assis Teixeira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus queridos pais, Heraldo e Vera.

A toda minha família.

À minha luz, Luana.

AGRADECIMENTO

Ao Prof. Dr. Francisco de Assis de Souza Filho, pela oportunidade concedida em ser orientado e pelo empenho na realização desse trabalho.

Ao Prof. Dr. Francisco Chagas da Silva Filho que contribuiu muito para o meu crescimento como pessoa e profissional, durante boa parte da realização do meu curso.

Aos Mestres participantes da banca examinadora Samuellson Lopes Cabral e Francisco Alberto de Assis Teixeira pelo tempo dedicado, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Aos inúmeros amigos feitos nesses últimos anos, pelo companheirismo e por tornar a difícil jornada mais agradável.

“Um grande homem demonstra sua grandeza pelo modo como trata os pequenos.” (Thomas Carlyle)

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi testar o *Engineering Center-Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) no desenvolvimento de um modelo para a quantificação das afluências no reservatório Castanhão. Para facilitar o uso de dados georreferenciados que foram utilizados na modelagem, utilizou-se o sistema de informações geográficas ArcGIS. As regiões escolhidas para o estudo de caso foram as bacias hidrográficas do Salgado, Alto Jaguaribe e Médio Jaguaribe; que correspondem a boa parte da região centro-sul do Estado do Ceará. O modelo foi testado para um evento de chuva extrema. Os métodos de cálculo usados foram: o *Curve Number* para a precipitação efetiva, o hidrograma unitário do *Soil Conservation Service* para transformação chuva-vazão, a onda cinemática para a propagação da cheia no rio e o método de Pulz para a propagação da cheia nos reservatórios. Os resultados foram satisfatórios, principalmente devido às simplificações adotadas para os métodos de cálculo, mostrando que o mesmo pode se aproximar mais da realidade da situação e poder se usado como um modelo de previsão de afluência, com vistas à operação das comportas do reservatório Castanhão.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica. Castanhão. HEC-HMS.

ABSTRACT

The purpose of this paper was to test the Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) in development of a model to quantify the inflow in Castanhão reservoir. In order to make easier the spatial data handling for hydrology analysis, it was used the ArcGIS geographical information system. The chosen places to the case studies was the watershed of Salgado, Alto Jaguaribe e Médio Jaguaribe; which takes a lot of the south central region of the State of Ceará. This model was tested for a single extremely rainfall event. The calculation methods used was: the *Curve Number* for loss, the unitary hidrogram from *Soil Conservation Service* for the rainfall-runoff transformation, the kinematic wave for routing in rivers and the Pulz's method to routing in reservoir. The results were satisfactory, mainly due to the simplifications adopted for the calculation methods, showing that it can get closer to the reality of the situation and be able to turning a model to flood forecast, with views to the operation of the reservoir Castanhão's floodgates.

Keywords: Hydrological modelling. Castanhão. HEC-HMS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Quadro 3.1 – Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.....	17
Figura 3.1 – Hidrograma unitário do SCS.....	19
Quadro 3.2 – Valores das relações t/tp e q/qp tirados do gráfico adimensional.....	20
Figura 3.2 – Interface do programa HEC-HMS.....	24
Figura 3.3 – Ambiente ArcGIS e obtenção de parâmetros.....	26
Figura 4.1 – Localização da bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe.....	27
Figura 4.2 – Localização da bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe.....	28
Figura 4.3 – Localização da bacia hidrográfica do Salgado.....	28
Figura 4.4 – Modelo criado no programa HEC-HMS.....	29
Figura 4.5 – Ambiente ArcGIS e delimitação das sub-bacias.....	30
Figura 4.6 – <i>Shapes</i> auxiliares no HEC-HMS.....	30
Quadro 4.1 – Elementos hidrológicos do modelo.....	31
Figura 4.7 – Condições adotadas para os rios/riachos.....	33
Quadro 4.2 – Condições dos reservatórios.....	35
Quadro 4.3 – Média Thiessen para as sub-bacias para a chuva do dia 13 de abril de 2009...	36
Figura 4.8 – Especificações de controle no HEC-HMS.....	37
Figura 5.1 – Hidrogramas e gráfico de armazenamento - Açude Orós.....	38
Figura 5.2 – Resumo de volume e vazão – Açude Orós.....	39
Figura 5.3 – Hidrograma para o exutório da Bacia do Salgado.....	40
Figura 5.4 – Hidrogramas e gráfico de armazenamento - Açude Castanhão.....	41
Figura 5.5 – Resumo de volume e vazão – Açude Castanhão.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas.
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos.
DEHA-UFC	Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - Universidade Federal do Ceará.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos.
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System.
SCS	Soil Conservation Service.
SIG	Sistema de Informação Geográfica.
SRH	Secretaria dos Recursos Hídricos.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral.....	12
2.1 Objetivos específicos.....	12
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1 As inundações e o Castanhão.....	13
3.2 Previsão de cheias	14
3.3 Modelagem no HEC-HMS	23
4 METODOLOGIA.....	27
4.1 Áreas de estudo	27
4.2 Modelagem da bacia hidrográfica.....	29
4.3 Modelagem meteorológica	35
4.4 O Uso do modelo e as especificações de controle	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	42
REFERÊNCIAS	43
APÊNDICE A – MODELO COMPLETO NO HEC-HMS.....	45
APÊNDICE B - CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DAS SUB-BACIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

As etapas do ciclo hidrológico podem ser resumidas, para questões de projeto de engenharia, em precipitação, evapotranspiração, infiltração e escoamento. Estuda-los e quantifica-los, no nível de uma bacia hidrográfica, é o primeiro passo para fazer a previsão de enchentes.

Os estudos das enchentes, ou mais precisamente, a análise de cheias são pontos de partida para o dimensionamento ou operação da grande maioria das estruturas hidráulicas. Cada cheia de projeto é vinculado a um período de retorno (T_R) escolhido em função da segurança da obra, já que T_R é inversamente proporcional à probabilidade de excedência do evento.

Para a análise de cheias, existem dois caminhos. O primeiro, conhecido como método direto, pode ser seguido quando se dispõe de séries de vazões e baseia-se no tratamento estatístico desses dados para o cálculo da cheia baseado no período de retorno escolhido. Na ausência desses dados e contando com séries de precipitações, pode-se determinar a chuva de projeto por métodos estatísticos e a partir dessa a estimativa da cheia de projeto por modelo de transformação chuva-deflúvio (CAMPOS, 2009).

Para a obtenção dos hidrogramas sintéticos pelo método indireto são necessários dados sobre características físicas e geomorfológicas da bacia em estudo. Essas informações são úteis para os modelos de transformação chuva-deflúvio.

Um dos modelos desenvolvidos mais usados para a transformação chuva-deflúvio é o *Hydrologic Modeling System* do *Hydrologic Engineering Center (HEC-HMS)*. Com esse programa computacional é possível obter resultados para diversas simulações com maior rapidez e, assim, obter informações sobre picos e volumes de vazão importantes para o projeto/operação das estruturas hidráulicas ou até mesmo para prevenção e controle nas áreas de inundação. Nesse contexto, esse trabalho visa entender e avaliar o uso do programa para a análise de cheias das bacias do Salgado, Alto e Médio Jaguaribe.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver e aplicar modelo hidrológico para a quantificação das afluências com vista à operação das comportas do reservatório Castanhão.

2.1 Objetivos específicos

- Montar o sistema chuva-vazão do HEC-HMS para a bacia hidrográfica do reservatório do Castanhão.
- Simular evento de chuva extrema na bacia com vistas à modelagem das vazões afluentes ao reservatório Castanhão.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 As inundações e o Castanhão

Desde a antiguidade, as enchentes dos rios vêm causando inúmeros prejuízos à humanidade. Perdas materiais e de vidas são uma constante devido às inundações causadas por elas. Com o crescimento populacional e das conglomerações urbanas, que cada vez mais estão próximas dos cursos d'água, o estudo de cheias e a construção de estruturas hidráulicas para o controle dessas enchentes tornou importantíssimo para a diminuição dos transtornos causados.

Segundo Villela e Mattos (1975), as ocorrências dessas variações de vazões dependem de um grande número de variáveis, mas que possivelmente a chuva e a geologia têm as maiores influências. “Um fator agravante deste problema se deve a impermeabilização do solo, que em função da ocupação urbana, a água é impedida de se infiltrar, aumentando ainda mais a magnitude da vazão de escoamento superficial” (MACEDO, 2010).

Mesmo pertencendo ao sertão nordestino e passando boa parte da sua existência sob a influência da estiagem, algumas regiões do Estado do Ceará, como as bacias do rio Jaguaribe, também sofrem com as inundações devido às enchentes causadas pelo excesso de chuvas que atingem a região. De acordo com Borges (2012), em 1985, com um volume de 20,5 bilhões de metros cúbicos de água passando pela seção por onde se localiza hoje o Castanhão, as inundações foram responsáveis pelo deslocamento de inúmeras famílias das suas casas.

Uma solução para amenizar esse problema foi a construção do açude Castanhão, que entre outros usos, teria a função de regularização do rio Jaguaribe, sendo assim, responsável pelo controle das inundações nos períodos de grande chuva. Segundo Araripe (1992), indicações técnicas iniciais, na justificativa de implantar o projeto, o açude protegeria 25.000 hectares de várzeas férteis e irrigáveis e oito núcleos urbanos com população estimada em 150.000 pessoas. Atualmente, esses valores são bem maiores.

3.2 Previsão de cheias

3.2.1 Definições

Segundo Campos (2009, p.71), “Ao se projetar uma estrutura hidráulica, normalmente são estabelecidos critérios para delimitar a cheia que a obra deverá suportar.”. Um desses critérios é justamente o do período de retorno, que é o inverso da probabilidade de excedência dessa cheia em qualquer ano. Com isso, Studart e Campos (2004) apontam que devido à impossibilidade de se construir obras que nunca venham a falhar, devido o seu custo, adota-se um valor de vazão que tenha pouca probabilidade de ser igualada ou superada pelo menos uma vez durante sua vida útil. Essa vazão é denominada de Cheia de Projeto.

“Calcular uma enchente significa dar a máxima vazão de projeto e, se possível, a hidrógrafa, isto é, a distribuição das vazões no tempo desde o início do aumento do escoamento superficial até o fim deste.” (VILLELA; MATTOS, 1975, p.138).

Na hidrologia existem diversos métodos para a estimativa de cheias de projeto, que normalmente são divididas em dois grupos: Os métodos diretos e os indiretos. O primeiro grupo refere-se aos métodos onde são usados, estatisticamente, somente dados de registros fluviométricos, já o segundo grupo refere-se aos métodos que calculam a vazão de enchente com base nos registros pluviométricos. Segundo Naghettini (1999), os métodos indiretos podem ainda ser classificados em quatro grupos principais: fórmulas empíricas (em desuso), método racional, método do hidrograma unitário e, simulação hidrológica por modelos conceituais de precipitações máximas.

O uso de métodos diretos vem diminuindo ultimamente porque as condições das bacias hidrográficas vêm se modificando muito, o que dificulta tratamento estatístico de vazões medidas. Aliado a esse problema, a grande maioria das bacias hidrográficas do país não tem estações para medições de vazões. Em contrapartida ao menor uso dos métodos diretos, os métodos indiretos vêm ganhando espaço. O método indireto do hidrograma unitário é utilizado pelo programa *HEC-HMS* para modelar processos de chuva-vazão e, por isso, adiante será abordado um tópico a respeito do assunto.

A metodologia utilizada pelo programa procura descrever as diversas hipóteses de cálculo para a previsão de cheias para a operação em tempo real: a escolha da chuva de projeto, o hietograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o hidrograma da cheias em cada sub-bacia e por fim a propagação da cheia no canal e nos lagos.

3.2.3 Precipitação e chuvas intensas

Antes de falar de cheias, é necessário entender sobre as precipitações que são a causa principal das enchentes. “A quantificação de chuvas intensas é de grande interesse na engenharia, tendo em vista as obras de drenagem, a segurança de estruturas hidráulicas, como barragens e pontes, e o funcionamento de infraestruturas” (RIGHETTO, 1998, p.211).

Três parâmetros relativos às precipitações são de crucial importância para análises hidrológicas de qualquer espécie. Esses parâmetros são: a intensidade (i), a duração(t) e o período de Retorno(T_R). Existe entre eles uma relação peculiar característica de cada local e é necessário, para uma análise adequada, a sua determinação.

Segundo Botelho (2009), a intensidade é a medida de altura que cai numa área de um m^2 , gerando, a cada milímetro medido, um volume de $0,01 m^3$ de água por metro quadrado da área em estudo num período determinado de tempo.

De acordo com Botelho (2009), a duração da chuva é medida por minutos de ocorrência, horas de ocorrência, dias de ocorrência ou até em anos; conforme o caso específico em estudo (tipo de obra, característica da bacia, etc.), ficando claro que isso não é uma questão de escolha e, sim, de conveniência.

“A fixação do período de retorno, T_R , é feita a partir da importância da obra e da avaliação dos danos causados pela falha do sistema” (RIGHETTO, 1998, p.212). Fica claro, com essa definição, que os vertedouros de barragens devem ser analisados a partir de chuvas intensas com grande período de retorno (500 a 10000 anos), pela possibilidade de causar severos danos.

Do ponto de vista estatístico, considera-se como chuvas intensas, as maiores intensidades observadas para uma duração especificada. Assim, fixando-se uma duração d_c , considera-se a série de precipitações formada pelos maiores valores das intensidades de chuva observadas de cada ano. Dispondo-se de N anos de observações, tem-se N valores de intensidade de chuva máxima anual, de duração especificada d_c . Por meio da análise estatística desses dados, ajusta-se uma distribuição de probabilidades para eventos extremos, o que permite, então, relacionar a duração da chuva, d_c , com o período de retorno, T , e com a intensidade pluviométrica máxima anual, denotada por i_{max} ou, abreviadamente, i . (RIGHETTO, 1998, p.212).

Segundo Righetto (1998), para a obtenção do hietograma a ser utilizado na análise de chuvas intensas, toma-se todos os pluviogramas de cada ano e investiga-se qual a maior intensidade de chuva observada correspondente a uma duração especificada.

Mas de acordo com Villela e Mattos (1975), a precipitação varia geograficamente, temporal e estacionalmente e o conhecimento de sua distribuição e das variações é importante para os estudos hidrológicos. Nesse sentido, é necessário buscar a altura média de precipitação em uma área específica, como uma bacia hidrográfica, funcionando como uma uniformização de uma chuva não uniforme dentro dessa área.

Existem, basicamente, três métodos para determinar essa altura média: o método aritmético, o método de Thiessen e método das isoietas. O método de Thiessen será explanado a seguir, por ter sido utilizado no estudo hidrológico do presente trabalho.

O método de Thiessen consiste em atribuir fatores de pesos aos totais precipitados em cada aparelho pluviométrico, que podem estar ou não em uma distribuição uniforme. Esse fatores de pesos são representados pelas áreas de influência nos mapas contendo as estações. A precipitação média é calculada pela média ponderada, entre a precipitação P_i de cada estação e o peso a ela atribuído A_i que é a área de influência de P_i , como mostra a Equação 1 abaixo.

$$\bar{h} = \frac{\sum P_i \cdot A_i}{\sum A_i} \quad (1)$$

Para determinar essas áreas de influência, é necessário, primeiro, traçar linhas retas ligando as estações. Depois, traçar as mediatrizes dessas retas que formará polígonos. Os lados dos polígonos são os limites das áreas de influência de cada estação.

3.2.4 Precipitação efetiva

A precipitação efetiva é a parcela da chuva que realmente se transforma em escoamento superficial direto e, conseqüentemente, chega ao exutório em estudo. As principais perdas são relativas à infiltração e evapotranspiração, mas existem outras.

Existem métodos que facilitam o cálculo da precipitação efetiva, como por exemplo, o do *Curve Number* do *Soil Conservation Service (SCS-CN)*.

“O Departamento de Conservação do Solo norte-americano propôs um modelo bastante simples, expresso por uma equação que relaciona a altura precipitada, h_p , à altura de lamina escoada, h_q , e um índice de armazenamento de água na bacia, S .” (RIGHETTO, 1998, p.245).

A relação entre h_q , h_p e S é dada pela Equação 2 abaixo:

$$\frac{h_q}{S} = \frac{\left(\frac{h_p}{S} - 0,2\right)^2}{\frac{h_p}{S} + 0,8} \quad (2)$$

Válida quando a altura pluviométrica $h_p > 0,2.S$. Quando a altura é menor que $0,2.S$ é inexistente o deflúvio superficial, $h_q = 0$.

“O índice de armazenamento de água na bacia, S , é relacionado a um índice associado à vegetação existente, tipo e ocupação do solo, denominado CN (curve number) pelo SCS. Essa relação é expressa por:” (RIGHETTO, 1998, p.246).

$$S = \frac{254.(100-CN)}{CN} \quad (3)$$

Sendo S em mm e CN um parâmetro adimensional tabelado para diferentes tipos, vegetações e ocupações de solos (Quadro 3.1) que vai de um até cem.

Esses valores definidos no Quadro 3.1 correspondem às condições normais de umidade do solo na bacia (Situação II), ou seja, o total das chuvas nos últimos cinco dias variaram entre 15 e 40 mm; mas existem ainda duas outras situações extremas, quando o total das precipitações for menor que 15 mm (Situação I – solo seco) e quando o total for maior que 40 mm (Situação III – solo úmido).

Se for o caso, o valor encontrado para S deve ser alterado. Segundo Righetto (1998), Os valores correspondentes de S nas situações I e III são encontradas com base na situação II e é expressa pela seguinte relação (Equação 4):

$$\frac{S_I}{S_{II}} = \frac{S_{II}}{S_{III}} = 2,3 \quad (4)$$

Quadro 3.1 - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

Uso do Solo	Condições de superfície	Tipos de Solos			
		A	B	C	D
Zonas cultivadas	Sem conservação do solo	72	81	88	91
	Com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens	-	68	79	86	89
Terrenos baldios	Boas condições	39	61	74	80
	Más condições	68	79	86	89
Prado	Boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zona florestais	Cobertura ruim	45	66	77	83
	Cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios.	Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
	Com relva de 50% a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	-	89	92	94	95
Zonas industriais	-	81	88	91	93
Zonas residenciais: Lotes de (m ²)	% média impermeável				
	<500	65	77	85	90
	1000	38	61	75	83
	1300	30	57	72	81
	2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79	
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	-	98	98	98	98
Arruamentos	Asfaltados e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
	Paralelepípedos	76	85	89	91
	Terra	72	82	87	89

Fonte: TUCCI (1998, p.406)

3.2.5 Método do hidrograma unitário

O método do hidrograma unitário, apresentado por *Le Roy K. Sherman* em 1932 e aperfeiçoado mais tarde por Bernard e outros, baseia-se primariamente em determinadas propriedades do hidrograma de escoamento superficial (PINTO *et al.*, 1976, p.92).

Segundo Pinto *et al.* (1976), Sherman ao analisar diversas cheias em diferentes cursos d'água sobre o efeito de inúmeros registros de chuvas observou certa regularidade e traduziu na forma de três leis gerais (empíricas):

1. Em uma dada bacia hidrográfica, o tempo de duração do escoamento superficial é constante para chuvas de igual duração;
2. Duas chuvas de igual duração, produzindo volumes diferentes de escoamento superficial, dão lugar a fluviogramas em que as ordenadas, em tempos correspondentes, são proporcionais aos volumes totais escoados;
3. A distribuição, no tempo, do escoamento superficial de determinada precipitação independe de precipitações anteriores.

A necessidade de se efetuarem estudos para diferentes situações de precipitações tornou ainda conveniente a definição do hidrograma unitário como o hidrograma resultante de um escoamento superficial de volume unitário (PINTO *et al.*, 1976, p.93). Segundo Macedo (2010), esse método refere-se ao hidrograma resultante de uma precipitação efetiva de altura unitária, com intensidade constante no tempo, e uniformemente distribuída pela bacia. O Hidrograma unitário seria um hidrograma típico de uma bacia hidrográfica, que serviria como ponto de partida para se determinar hidrogramas correspondentes às chuvas mais complexas.

Como consequência dessa definição acima, podemos concluir que o hidrograma unitário é uma constante de uma bacia hidrográfica, que mantém suas características físicas, refletindo as condições de escoamento em uma seção considerada.

As três leis citadas anteriormente segundo Pinto *et al.* (1976), foram comprovadas em um grande número de casos e são obedecidas pela grande maioria dos rios; e que para a obtenção do fluviograma resultante de determinadas situações, é necessário que já se tenha disponíveis registros de vazões no mesmo rio anteriormente.

Como a necessidade de estudos de vazões vem crescendo, métodos em que não são necessários dados de vazões anteriores foram desenvolvidos. Esses métodos são considerados no grupo dos hidrogramas unitários sintéticos e são construídos baseados nas características físicas e geomorfológicas da bacia hidrográfica em estudo. As características

necessárias são diversas (área, declividade, forma, etc.) e dependem do modelo de cálculo adotado.

Um dos modelos sintéticos mais utilizados hoje em dia é o do hidrograma unitário do *Soil Conservation Service* e que será utilizado no decorrer do trabalho.

“O *Soil Conservation Service* propôs a elaboração de um hidrograma unitário sintético a partir de um adimensional, requerendo tão somente a determinação da vazão de pico e do tempo em que ela ocorre.” (STUDART; CAMPOS, 2004).

Studart e Campos, ainda descrevem o processo de cálculo do modelo do hidrograma unitário do *Soil Conservation Service* (Figura 3.1) da seguinte maneira:

1. Cálculo do tempo de pico (t_p)

$$t_p = 0,5.t_r + 0,6.t_c \quad (5)$$

Onde,

t_p = tempo de pico (h);

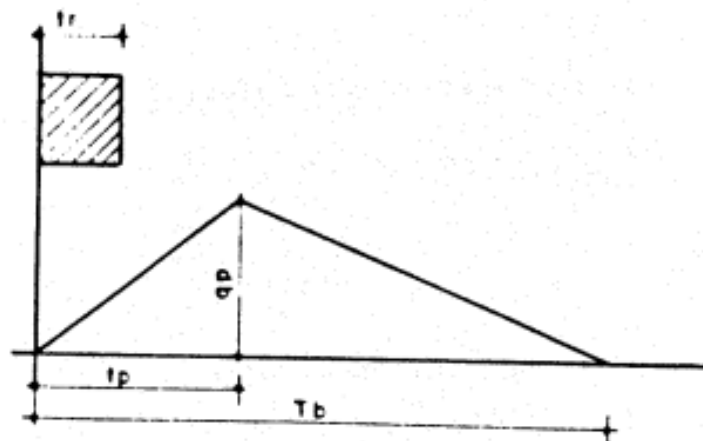
t_r = tempo de duração da chuva (h);

t_c = tempo de concentração (h).

2. Cálculo do tempo de base (t_b)

$$t_b = 2,67 \times t_p \text{ (horas)}. \quad (6)$$

Figura 3.1 – Hidrograma unitário do SCS



Fonte: Studart e Campos (2004).

3. Cálculo da vazão de pico (q_p)

$$q_p = \frac{2 \times P \times A}{t_b} \times \frac{10^{-3} \times 10^6}{3600} \quad \text{em m}^3/\text{s}. \quad (7)$$

Onde,

P = Precipitação efetiva (= 1 mm);

A = Área da bacia (Km²);

t_b = Tempo Base (h).

4. Conversão do diagrama unitário triangular em um hidrograma unitário curvilíneo definitivo

Esta conversão é feita com base no gráfico adimensional, do qual são extraídos valores das relações t/t_p e q/q_p (Quadro 3.2).

Quadro 3.2 – Valores das relações t/t_p e q/q_p tirados do gráfico adimensional

t/t_p	q/q_p	t/t_p	q/q_p	t/t_p	q/q_p	t/t_p	q/q_p
0,0	0,000	0,7	0,77	1,4	0,75	2,6	0,13
0,1	0,015	0,8	0,89	1,5	0,66	2,8	0,098
0,2	0,075	0,9	0,97	1,6	0,56	3,0	0,075
0,3	0,16	1,0	1,00	1,8	0,42	3,5	0,036
0,4	0,28	1,1	0,98	2,0	0,32	4,0	0,018
0,5	0,43	1,2	0,92	2,2	0,24	4,5	0,009
0,6	0,60	1,3	0,84	2,4	0,18	5,0	0,004

Fonte: Studart e Campos (2004).

Um dos parâmetros que precisa ser obtido no decorrer do método supracitado é o t_c (tempo de concentração). Segundo Villela e Mattos (1975), ele corresponde ao tempo que leva para que toda a bacia contribua no exutório em estudo, ou seja, o tempo que a chuva que cai no ponto mais distante do exutório atinja o mesmo.

A estimativa do tempo de concentração pode ser feita através de formulas empíricas desenvolvidas para diferentes regiões e bacias. Um dos métodos mais aceitos e bastante utilizados nas modelagens hidrológicas, inclusive nesse trabalho é o do *California Highway and Public Roads*, proposta por Kirpich (LOBO NETO; 2009):

$$T_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (8)$$

Onde,

L = Comprimento do Talvegue (em km);

H = Máximo desnível ao longo do L (em metros);

T_c = Tempo de concentração (em minutos).

3.2.6 Propagação da cheia

Segundo Studart e Campos (2004), Às vezes, é de interesse saber como se comporta uma onda de cheia ao passar por um reservatório, bem como a forma de desenvolvimento temporal de vazão em seção para a qual não se dispõe de dados suficientes de precipitação e vazão, necessários para o traçado de hidrogramas.

“Em suma, pode haver a necessidade de se ‘acompanhar’ uma onda de enchente calculando-se vazões e alturas de água em função do tempo. Esse processo... se convencionou chamar de propagação de enchentes” (VILLELA; MATTOS, 1975, p.168).

“Conhecido o hidrograma das vazões afluentes (Q_a) ao reservatório ou à extremidade de montante de um certo trecho do rio, o problema resume-se à determinação do correspondente hidrograma de vazões efluentes (Q_e).” (PINTO *et al.*, 1976, p.158). Essa vazão efluente passa através de órgãos de descarga de barragens ou através da seção de jusante do trecho do rio em estudo.

“O fenômeno é descrito pela equação da continuidade” (PINTO *et al.*, 1976, p.158):

$$Q_a = Q_e + \frac{dV}{dt} \quad (9)$$

Sendo,

dV = Variação do volume acumulado no reservatório ou no próprio rio, devido à sua variação de nível, no intervalo elementar de tempo dt .

Segundo Studart e Campos (2004), embora ambos os processos sejam embasados pela lei da continuidade, cada um têm suas peculiaridades que tornam o estudo em separado de cada um conveniente.

3.2.6.1 Propagação através de reservatórios

“Por propagação de enchentes através de reservatórios se entende o cálculo de Q_e , em função do tempo, dado $Q_a(t)$.” (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 169)

Um dos métodos utilizados para o cálculo dessa propagação é o de Pulz, que será abordado justamente por estar contido no programa *HEC-HMS* como modelo de cálculo para a propagação do reservatório. De acordo com esse método, a equação da continuidade, escrita para intervalos de tempo Δt , suficientemente pequenos, toma a forma:

$$\frac{Q_{a1}+Q_{a2}}{2} = \frac{Q_{e1}+Q_{e2}}{2} + \frac{V_2-V_1}{t} \quad (10)$$

Que pode ser descrita, ainda, como:

$$\frac{Q_{a1}+Q_{a2}}{2} + \left(\frac{V_1}{t} - \frac{Q_{e1}}{2} \right) = \frac{V_2}{t} + \frac{Q_{e2}}{2} \quad (11)$$

$$\frac{Q_{a1}+Q_{a2}}{2} \cdot t + \left(V_1 - \frac{Q_{e1}}{2} \cdot t \right) = V_2 + \frac{Q_{e2}}{2} \cdot t \quad (12)$$

De acordo com Studart e Campos (2004), admite-se o conhecimento dos termos do primeiro membro; assim, é possível computar-se o valor de sua expressão e, com base na relação armazenamento e descarga (curvas cota x volume e cota x descarga), deduzir-se o valor de Q_{e2} . Este será argumento para a iteração seguinte, quando então se obtém Q_{e3} e assim por diante, até se compor o hidrograma efluente total.

Portanto, de acordo com os autores supracitados, para a construção do hidrograma efluente são necessários, além do hidrograma afluente, a curva cota x volume e dados relativos a cota x vazão efluente (ou equação do vertedouro), bem como o valor inicial da descarga.

3.2.6.1 Propagação em rios e canais

Vários métodos têm sido utilizados para cálculos referentes à propagação de enchentes em rios e canais. Esses métodos podem ser divididos em hidrológicos e hidráulicos.

Segundo Villela e Mattos (1975), os métodos hidrológicos, mais simples, mas que obtêm uma boa aproximação, não faz uso das equações diferenciais do movimento variado em canais, se não de forma particular da equação da continuidade.

“Os métodos hidráulicos baseiam-se nas equações diferenciais do movimento, da continuidade e da energia” (VILLELA; MATTOS, 1975).

“Um desses métodos é o da Onda Cinemática, que será utilizado no decorrer deste trabalho e é uma simplificação da equação de quantidade de movimento” (Equação 13) (LOBO NETO; 2009):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2 / A)}{\partial x} + g \cdot A \cdot \frac{\partial y}{\partial x} = g \cdot A \cdot S_0 - g \cdot A \cdot S_f \quad (13)$$

iné rda pressão g ravidade atrito

“Nesta equação o primeiro termo representa a aceleração local, o segundo termo é o termo advectivo, inercial, o terceiro termo representa as forças de pressão, o quarto termo a força do campo gravitacional e o quinto termo as forças de fricção. A equação da onda

cinemática considera que os termos gravitacionais e de fricção são os mais significativos, desprezando o efeito dos demais.” (LOBO NETO; 2009).

“As Equações 14 e 15 descrevem a onda cinemática, sendo a primeira de conservação da massa e a segunda a de conservação da quantidade de movimento simplificada” (LOBO NETO; 2009):

$$b \cdot \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = p \quad (14)$$

$$S_o = S_f \quad (15)$$

Onde,

y = profundidade;

b = largura;

Q = vazão;

x = distância no sentido longitudinal;

p = p(x,t) – Contribuição lateral.

A declividade da linha de energia, representada por S_f é calculada pela formula de Manning, equação válida para o escoamento permanente e uniforme, sendo mais uma simplificação.

Segundo Righetto (1999), com as equações diferenciais do movimento em estudo definidas (Continuidade e a Quantidade de Movimento simplificada), o domínio em que ocorre o escoamento é subdividido em células e as equações diferenciais são discretizadas de modo a se obter um sistema de equações algébricas que relaciona as variáveis hidrodinâmicas com a posição no domínio e no tempo. O problema fica então, completamente definido com a especificação das condições iniciais e de contorno. Os algoritmos numéricos para a solução desse problema ficam a cargo do programa HEC-HMS, que tem como opção de cálculo da propagação em rios, entre outros, o método da onda cinemática.

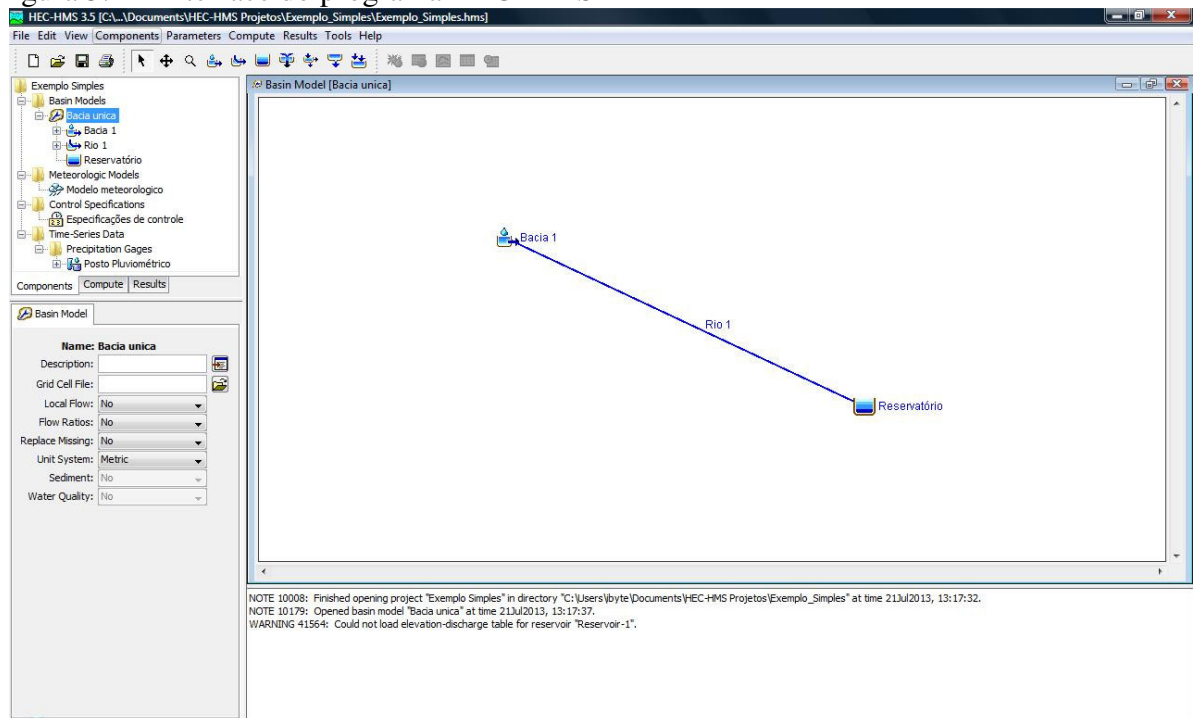
3.3 Modelagem no HEC-HMS

3.2.1 Generalidades

O programa HEC-HMS foi um software desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos (USACE – *U.S. Army*

Corps of Engineers) e tem como função simular o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas em estudo. Através de um modelo matemático ela interliga todas as etapas do ciclo hidrológico com base no modelo de transformação chuva-vazão do hidrograma unitário. Os resultados gerados são os hidrogramas e, com isso, informações sobre o volume de deflúvio, vazão de pico e tempo de escoamento.

Figura 3.2 – Interface do programa HEC-HMS



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para ser desenvolvido, o programa precisa ser preenchido no nível de três componentes: O modelo da bacia, o modelo meteorológico e as especificações de controle.

Segundo Tavares e Castro (2005), o processamento do modelo hidrológico no *HEC-HMS* requer inicialmente a entrada de dados da bacia hidrográfica, bem como dados meteorológicos. Posteriormente, são escolhidos os métodos para o cálculo das perdas, de transformação chuva-vazão, de composição do escoamento de base, de propagação em rios; considerando parâmetros relacionados a tais métodos, como a área das sub-bacias, tempo de concentração, fatores de perda por infiltração, evapotranspiração, e perdas em sumidouros.

Os autores, portanto, agrupam as informações nos três componentes abaixo:

a) Modelagem da bacia hidrográfica: nesta categoria são inseridos e manipulados os dados referentes à geometria da bacia hidrográfica, sendo representado o esquema hidrológico da área, com as sub-bacias, os trechos de rios, possíveis reservatórios,

junções e divisões dos canais. Inclui, neste componente, a definição dos métodos e respectivos parâmetros referentes a perda por infiltração, evaporação, interceptação, os métodos de transformação chuva-vazão, de cálculo do escoamento de base e propagação em rios;

b) Modelagem meteorológica: constitui na entrada dos dados de precipitação e evapotranspiração, sendo selecionado o método de distribuição temporal destes;

c) Especificações de controle: refere-se aos períodos de tempo para os quais serão realizados os cálculos, incluindo data e horário de início e fim do determinado período, bem como o intervalo ou “passo” de computação dos dados.

Além desses três componentes principais o *Time Series Data* é outro componente necessário para compor o *Meteorologic Model*.

No *Time Series Data* o usuário é responsável pelas séries de dados de precipitações coletados dos pluviômetros. Informações como início da precipitação, intervalos de medições e data/hora final da chuva são fornecidas nesse momento. Depois de fornecido os dados para esse componente é que no *Meteorologic Model* é escolhido quais dados sobre as precipitações serão usadas em casa sub-bacia para formar o modelo completo. O posto ou a média dos postos é escolhido conforme a influência dos mesmos em cada sub-bacia em estudo.

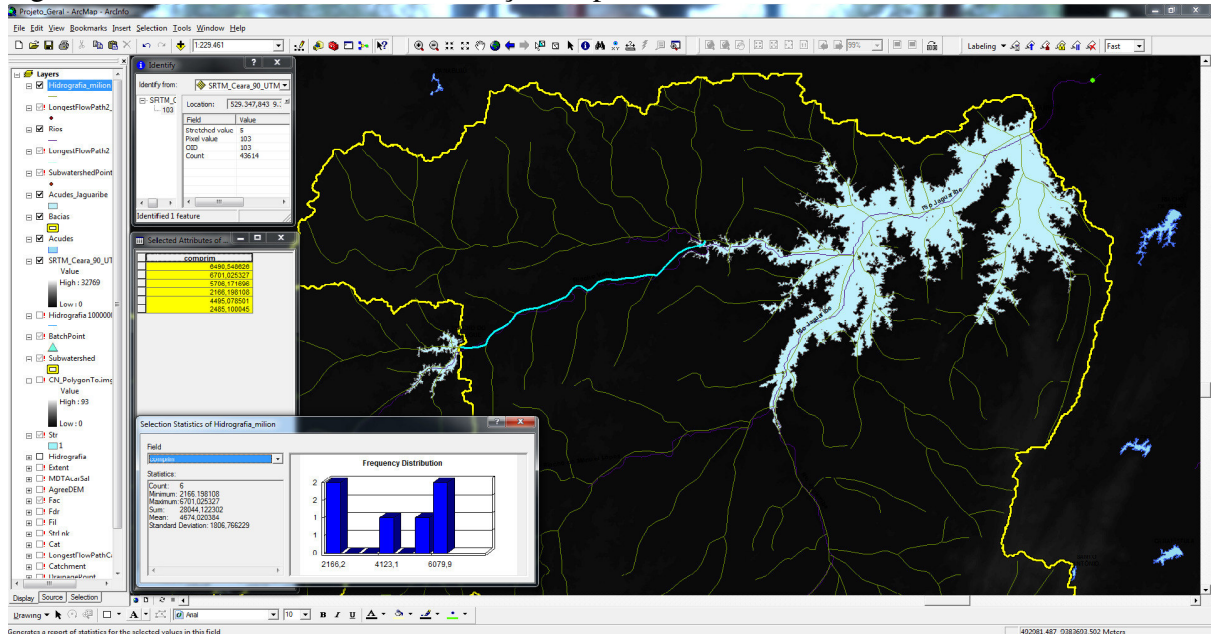
3.2.2 Sistemas de informações geográficas (SIG's)

O programa *HEC-HMS* requer a entrada de vários parâmetros para o correto funcionamento. Muitos trabalham com os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), pois os mesmos além de auxiliar no desenho geográfico das sub-bacias em estudo obtêm valores para alguns dos parâmetros necessários para a modelagem. Na Figura 3.3, observa-se o ambiente dentro do ArcGIS. No painel lateral, são mostrados os layers que podem ser ocultados ou não na área de visualização dos mapas à direita. A mesma figura mostra o rio destacado em azul tendo seu comprimento facilmente fornecido pelo programa, nas tabelas de atribuições abertas dentro do visualizador de mapas.

A ideia dos sistemas SIG é representar mapas sob a forma de níveis de informação sobrepostos, de modo a se tentar relacionar espacialmente (ou geograficamente) os objetos ali representados.

De modo simplificado, um SIG combina *layers* (níveis de informação) de um lugar de modo a fornecer-lhe uma melhor compreensão sobre este lugar. A escolha dos layers a serem combinados depende do propósito: encontrar o melhor local para uma nova loja, analisar danos ambientais, observar crimes similares em uma cidade para detectar padrões, e assim por diante.

Figura 3.3 – Ambiente ArcGIS e obtenção de parâmetros.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esses sistemas também são importantes para a análise de modelos dentro da engenharia. Nesse contexto, a construção do modelo nesse trabalho se dará com a utilização do ArcGIS 9.3, um dos programas SIGs mais utilizados no mercado.

4 METODOLOGIA

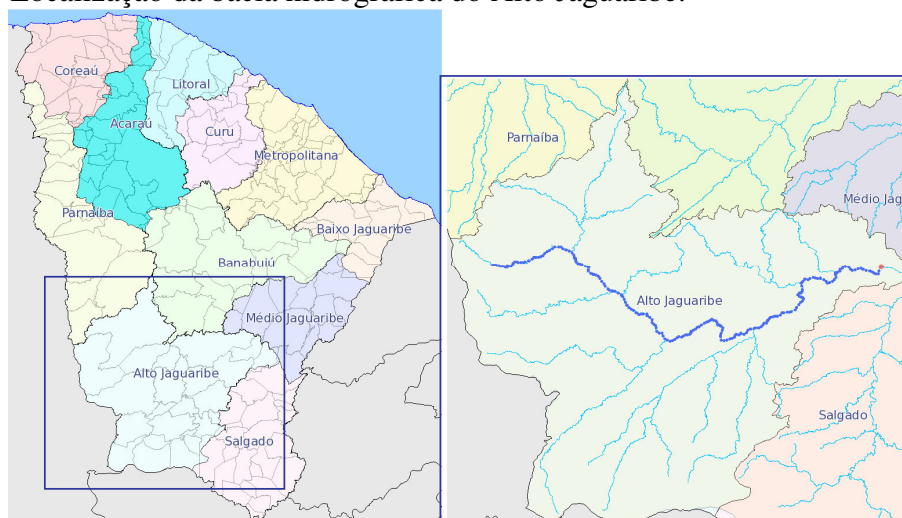
4.1 Áreas de estudo

As bacias consideradas na construção do modelo foram as do Alto e Médio Jaguaribe e a do Salgado, pois elas possuem contribuições significantes na composição da vazão afluente no açude do Castanhão.

4.1.1 Alto Jaguaribe

A bacia do alto Jaguaribe localiza-se no extremo sudoeste do Estado do Ceará e à montante do açude Orós (Figura 4.1), drenando uma área de 24.636 km²; 16,5% de toda a área do Estado. O rio Jaguaribe, em destaque na figura, possui 325 km de extensão no Alto Jaguaribe.

Figura 4.1 - Localização da bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe.

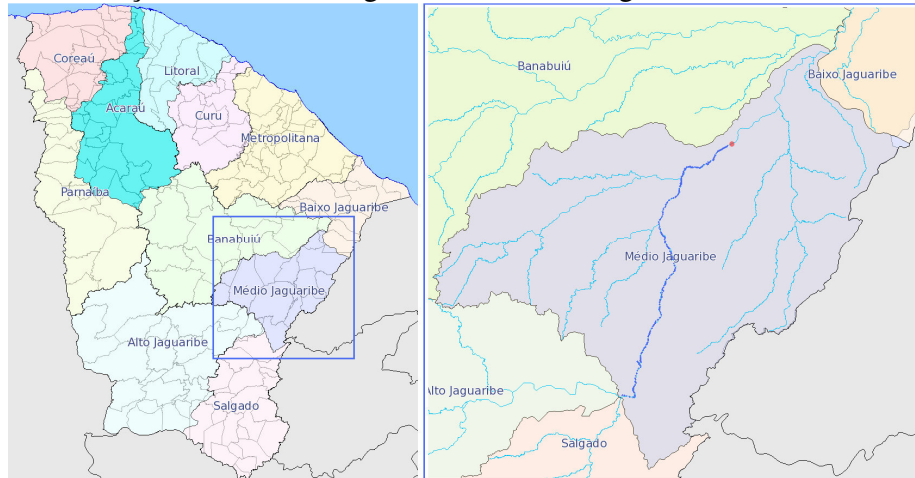


Fonte: Atlas – Secretaria dos Recursos Hídricos – Ceará.

4.1.2 Médio Jaguaribe

A bacia do Médio Jaguaribe localiza-se no leste central do Estado do Ceará e à montante do açude Castanhão (Figura 4.2), drenando uma área de 10.509 km²; 7% de toda a área do Estado. O rio Jaguaribe, em destaque, encontra-se nessa bacia, entre os açudes Orós e Castanhão (ponto vermelho em destaque).

Figura 4.2 - Localização da bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe.

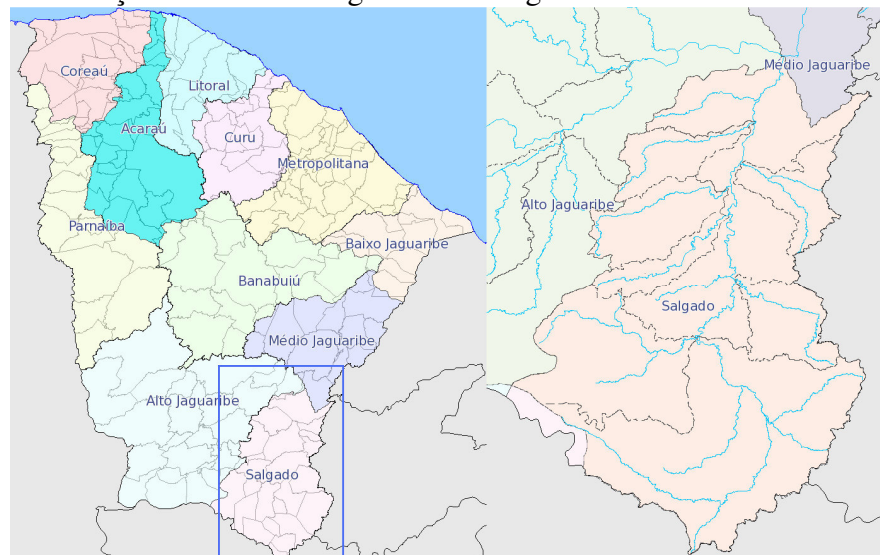


Fonte: Atlas – Secretaria dos Recursos Hídricos – Ceará.

4.1.2 Salgado

A bacia do Salgado (Figura 4.3) localiza-se no sudeste do Estado do Ceará e tem como rio principal o próprio rio Salgado, drenando uma área de 12.865 km²; 8,6% de toda a área do Estado. O seu exutório irá de encontro ao rio Jaguaribe proveniente da bacia do Alto Jaguaribe.

Figura 4.3 - Localização da bacia hidrográfica do Salgado.

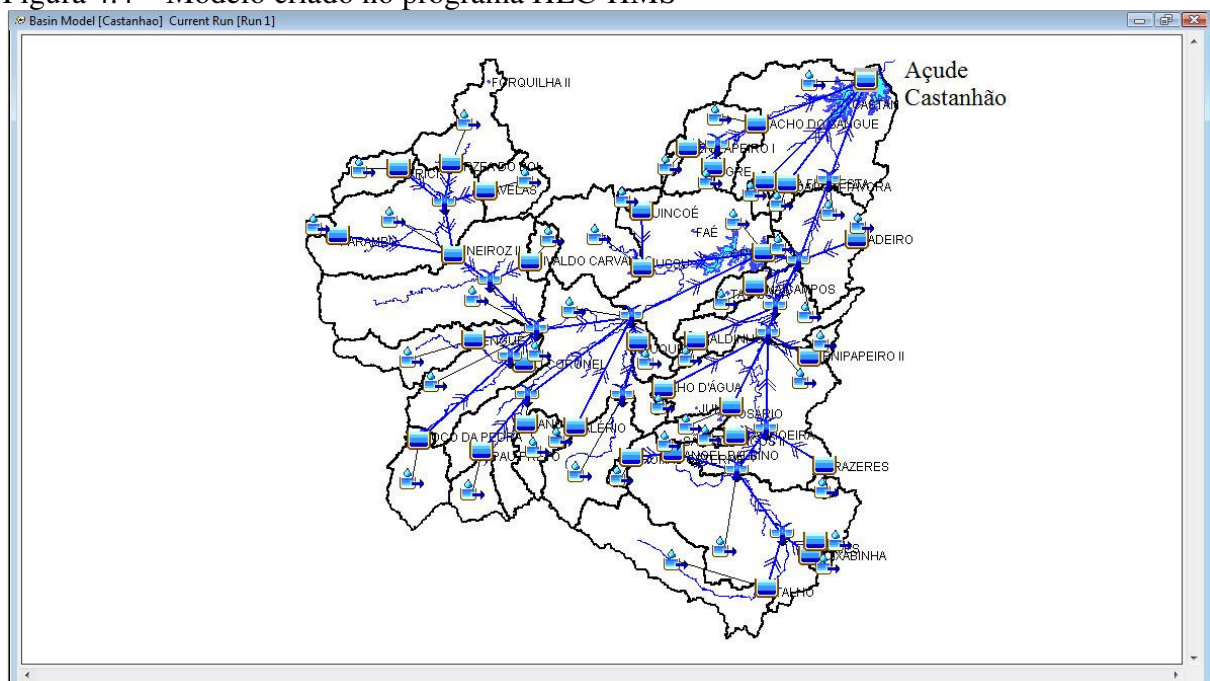


Fonte: Atlas – Secretaria dos Recursos Hídricos – Ceará.

4.2 Modelagem da bacia hidrográfica

Antes de passar para a análise da área em estudo no *HEC-HMS* foi necessário criar um modelo de sub-bacias, rios e lagos importantes a ser considerados em toda a área em estudo. Como descrito na bibliografia, o trabalho dentro do *HEC-HMS* é dividido em três componentes principais (*Basin Model*, *Meteorologic Model* e *Control specification*). Esse tópico diz respeito à construção do primeiro componente: o *Basin Model* (Figura 4.4).

Figura 4.4 – Modelo criado no programa HEC-HMS

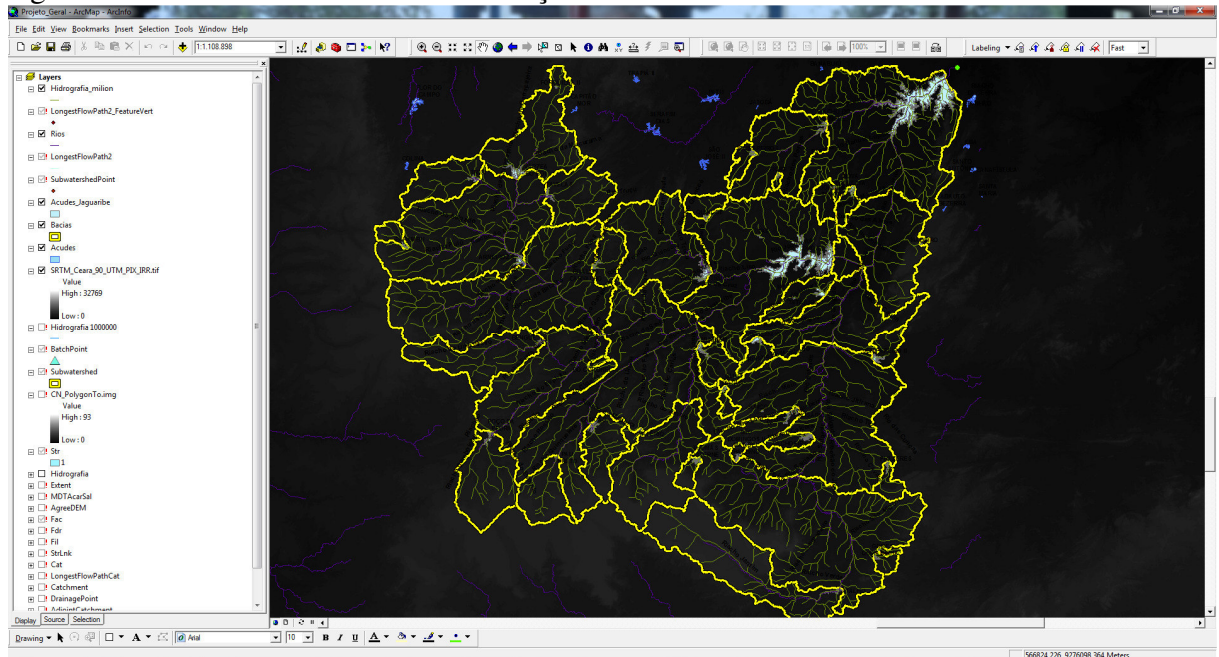


Fonte: Elaborado pelo autor.

A construção desse modelo no trabalho se deu com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). O sistema escolhido foi o *ArcGIS 9.3*. Inicialmente, foi necessário a obtenção dos mapas digitalizados (*Shapes ou layers*) referentes às bacias do Salgado, Alto e Médio Jaguaribe com informações referentes à hidrografia e elevações da região para a criação do ambiente no *ArcGIS*. A coleta desses mapas foi feita no Laboratório de Gerenciamento do Risco Climático e Segurança Hídrica do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (DEHA-UFC).

Mediante utilização do software, foram definidos pontos de exutório para ser possível a delimitação das sub-bacias, que foi feita pelo próprio programa, de acordo com os dados topográficos e hídricos existentes (Figura 4.5).

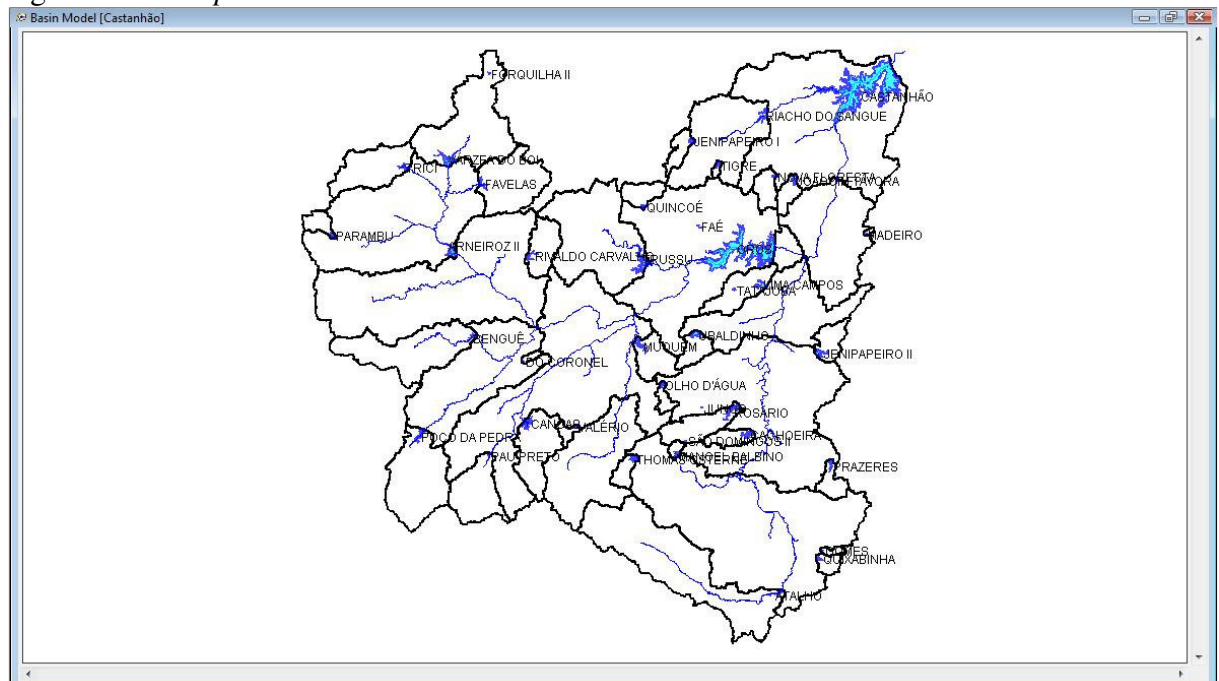
Figura 4.5 – Ambiente ArcGIS e delimitação das sub-bacias



Fonte: Elaborado pelo autor.

Por cima dessa delimitação, foi criado um *Shape* a ser adicionado ao HEC-HMS para auxiliar no desenho do modelo. *Shapes* auxiliares também foram criados com os rios e açudes mais importantes a serem usados na análise (Figura 4.6).

Figura 4.6 – *Shapes* auxiliares no HEC-HMS



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o auxílio dos *shapes*, partindo da Figura 4.6, foi possível criar todos os elementos necessários, para compor o modelo da Figura 4.4. Foram, ao todo, 44 sub-bacias, 47 trechos de rios e 35 reservatórios, como mostrado no Quadro 4.1 em ordem hidrológica. O modelo com todos os elementos e suas conexões consta em CD anexo a esse trabalho e é mostrado no APÊNDICE A.

Quadro 4.1 – Elementos hidrológicos do modelo.

	Rio/Riacho	Açudes	Sub-Bacias		Rio/Riacho	Açudes	Sub-Bacias
A l t o J a g u a r i b e	Carrapateiras	Varzea do Boi	Bc_Favelas	S a l g a d o	Dos Porcos	Atalho	Bc_Atalho
	Das Favelas	Trici	Bc_Varzea_do_Boi		Dos Gomes	Quixabinha	Bc_Thomas_Osterne
	Jaguaribe_08	Favelas	Bc_Trici		Mameluco	Gomes	Bc_Manoel_Balbino
	Jaguaribe_08.2	Parambu	Bc_Parambu		Dos Porcos.2	Thomas Osterne	Bc_Gomes
	Puiú	Arneiroz II	Bc_Arneiroz_II		Dos Carás	Manoel Balbino	Bc_Quixabinha
	Jaguaribe_07	Rivaldo Carvalho	Bc_Rivaldo_Carvalho		Batateira	Prazeres	Bc_Salg_02
	Condado	Bengué	Bc_Jag_01		Salgado_02	Cachoeira	Bc_Prazeres
	Jaguaribe_07.2	Poço da Pedra	Bc_Bengue		Das Cuncas	Rosário	Bc_Cachoeira
	Umbuzeiro	Do Coronel	Bc_Poco_da_Pedra		Caiçara	Olho D'água	Bc_Rosario
	Conceição	Pau Preto	Bc_do_Coronel		Salgado_02.2	Jenipapeiro II - Baixio	Bc_Olho_d'Agua
	Conceição_2	Canoas	Bc_Jag_02		Do Rosário	Ubalzinho	Bc_Salg_01
	Jaguaribe_06	Valério	Bc_Canoas		Jenipapeiro	Lima Campos	Bc_Jenipapeiro
	Quinquelere	Muquém	Bc_Pau_Preto		Do Machado		Bc_Ubalzinho
	Carius	Trussu	Bc_Valerio		Salgado_01		Bc_Rio_Salgado
	Bastiões	Quinquê	Bc_Jag_03		Lima Campos		Bc_Lima_Campos
	Muquém	Oros	Bc_Jag_04		São Miguel		
	Do Felipe		Bc_Muquem		Salgado_01.2		
	Jaguaribe_05		Bc_Quincoe		Jaguaribe_02	Madeiro	Bc_Madeiro
	Trussu		Bc_Trussu		Do Madeiro	Joaquim Tavora	Bc_Castanhao_02
	Quinquê		Bc_Oros		Jaguaribe_01	Nova Floresta	Bc_Jenipapeiro_I
Jaguaribe_04		SB_Jaguaribe	Verde	Tigre	Bc_Tigre		
			Do Tigre	Jenipapeiro I - Irapuan	Bc_Riacho_do_Sangue		
			Do Sangue_2	Riacho do Sangue	Bc_Nova_Floresta		
			Do Sangue	Castanhão	Bc_Joaquim_Tavora		
			Manoel_Lopes		Bc_Castanhao		
			Feiticeiro				

Fonte: Elaborado pelo autor.

Depois, de posse de todos os elementos, foram obtidos os dados fisiográficos relevantes para os métodos de cálculo. Os modelos no HEC-HMS permitem o uso de várias metodologias para determinação da chuva efetiva, simulação do escoamento superficial em bacia (overland flow) e propagação do escoamento em canais e reservatórios. No caso em estudo foram adotados os seguintes métodos:

1. Método *Curve Number* do *Soil Conservation Service* (SCS-CN) na determinação da chuva efetiva;
2. Método do *Soil Conservation Service* na determinação do hidrograma unitário sintético (SCS-HU) - Escoamento Superficial na bacia (*Overland flow*);
3. Método da Onda Cinemática para a propagação das cheias nos canais;
4. Método de Pulz para a propagação das cheias nos lagos.

A escolha desses métodos é coerente com o que vêm sendo desenvolvido em modelagens hidrológicas, que vêm mostrando resultados satisfatórios.

Para o método *Curve Number*, foi necessário definir, para cada sub-bacia, o *Initial Abstraction (em mm)* e o *Curve Number (CN)*. O *Initial Abstraction* representa a perda inicial de precipitação que é retida na bacia. A partir de experimentos anteriores, assume-se que esse valor é de 20% do potencial máximo de retenção da bacia, *S*. O parâmetro *S* é encontrado, como mostrado em fórmula na revisão de literatura, a partir do *CN*, encontrado com a utilização de shapes sobre o uso do solo fornecidos pela FUNCEME dentro do ArcGIS

Para o método do hidrograma do SCS, foi necessário especificar a área de cada sub-bacia, que foi encontrada com a ajuda do ArcGIS, o *lag time* (tempo de retardo) que é função, em cada sub-bacia, do tempo de concentração, que é calculado pela fórmula proposta por *Kirpich*, como mostrado na revisão bibliográfica. Para obter o tempo de concentração pela fórmula de *Kirpich*, também foi necessário calcular o comprimento total e o desnível máximo do rio principal de cada sub-bacia, ambos também com a ajuda do ArcGIS. Todas as características fisiográficas e os dados de todas as bacias hidrográficas usados nos métodos de cálculo são mostrados no APÊNDICE B.

Para o método da Onda Cinemática de propagação de cheias em rios, foi necessário o comprimento, a declividade, o número de manning e a forma da seção transversal do trecho do rio em estudo. A maneira como é obtido o comprimento, pelo ArcGIS, é mostrada na Figura 3.3, onde é medido o trecho do Riacho do Sangue, no Médio Jaguaribe, entre os reservatórios Riacho do Sangue e o Castanhão. A declividade é obtida com o uso de uma imagem do *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* disponível no site da EMBRAPA que é inserida como um *shape* no ArcGIS e por onde é possível obter a altitude de pontos no mapa (Figura 3.3). A resolução espacial da imagem é de 90 metros, portanto, os valores são aproximados.

De acordo com a literatura, o número de Manning para rios varia entre 0,025 e 0,033; para esse trabalho foi considerado 0,03 para todos. Por motivos práticos, devido à dificuldade de se obter a forma da seção transversal em cada trecho, como simplificação foi adotada uma largura única de 30 metros com inclinação lateral de 1:1. As características adotadas para os rios são mostradas na Figura 4.7.

Figura 4.7 – Condições adotadas para os rios/riachos.

	Rio/Riacho	Comprimento (km)	Declividade (m/m)	N manning	Largura (m)	Inclinação lateral
Alto Jaguaribe	Carrapateiras	15,92	0,002	0,03	30	1.1
	Das Favelas	18,78	0,002	0,03	30	1.1
	Jaguaribe_08	24,78	0,003	0,03	30	1.1
	Jaguaribe_08.2	27,79	0,001	0,03	30	1.1
	Puiú	51,41	0,003	0,03	30	1.1
	Jaguaribe_07	20,74	0,002	0,03	30	1.1
	Condado	26,88	0,003	0,03	30	1.1
	Jaguaribe_07.2	34,02	0,002	0,03	30	1.1
	Umbuzeiro	34,13	0,005	0,03	30	1.1
	Conceição	58,01	0,004	0,03	30	1.1
	Conceição_2	19,44	0,002	0,03	30	1.1
	Jaguaribe_06	53,60	0,001	0,03	30	1.1
	Quinquelere	28,36	0,008	0,03	30	1.1
	Carius	34,51	0,002	0,03	30	1.1
	Bastões	71,81	0,001	0,03	30	1.1
	Muquém	7,74	0,002	0,03	30	1.1
	Do Felipe	72,69	0,004	0,03	30	1.1
	Jaguaribe_05	42,58	0,001	0,03	30	1.1
	Trussu	31,80	0,001	0,03	30	1.1
	Quinquê	22,72	0,003	0,03	30	1.1
Jaguaribe_04	15,84	0,002	0,03	30	1.1	
Salgado	Dos Porcos	26,48	0,003	0,03	30	1.1
	Dos Gomes	2,01	0,013	0,03	30	1.1
	Mameluco	14,85	0,005	0,03	30	1.1
	Dos Porcos.2	46,68	0,001	0,03	30	1.1
	Dos Carás	19,66	0,003	0,03	30	1.1
	Batateira	38,11	0,003	0,03	30	1.1
	Salgado_02	34,83	0,001	0,03	30	1.1
	Das Cuncas	45,77	0,003	0,03	30	1.1
	Caiçara	14,39	0,002	0,03	30	1.1
	Salgado_02.2	51,03	0,001	0,03	30	1.1
	Do Rosário	42,29	0,002	0,03	30	1.1
	Jenipapeiro	21,59	0,002	0,03	30	1.1
	Do Machado	62,11	0,002	0,03	30	1.1
	Salgado_01	16,20	0,003	0,03	30	1.1
	Lima Campos	29,15	0,003	0,03	30	1.1
	São Miguel	44,94	0,003	0,03	30	1.1
Salgado_01.2	27,12	0,001	0,03	30	1.1	
Médio Jaguaribe	Jaguaribe_02	43,96	0,000	0,03	30	1.1
	Do Madeiro	23,95	0,022	0,03	30	1.1
	Jaguaribe_01	27,77	0,001	0,03	30	1.1
	Verde	14,90	0,003	0,03	30	1.1
	Do Tigre	11,62	0,004	0,03	30	1.1
	Do Sangue_2	22,24	0,002	0,03	30	1.1
	Do Sangue	28,04	0,001	0,03	30	1.1
	Manoel_Lopes	43,47	0,002	0,03	30	1.1
	Feiticeiro	32,50	0,002	0,03	30	1.1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a propagação da cheia em um reservatório, pelo método de Pulz, foi necessário a curva cota x volume e dados relativos à cota x vazão efluente (ou equação do vertedouro) de cada reservatório.

A curva cota x volume de cada reservatório foi obtida no laboratório do DEHA (Dados pertencentes à COGERH) e foi adicionado ao HEC-HMS como um tipo de dado *Elevation-Storage Function* dentro do componente *Paired Data Manager* que assim como o *Time Series Data* serve como um banco de dados de apoio aos três componentes principais do programa. Cada gráfico cota x volume adicionado ao *Paired Data Manager* é adicionado ao elemento reservatório correspondente, dentro do *Basin Model*.

Todos os reservatórios foram considerados com vertedores livres (não controlado por comportas), mesmo o Castanhão sendo controlado por comportas, pois a análise seria mais complexa e, por isso, a equação do vertedouro utilizado para todos os reservatórios é (equação 16):

$$Q = C.L.H^{1,5} \quad (16)$$

Onde Q é a vazão do vertedor ($m^3 \cdot s^{-1}$); L é o comprimento da soleira (m); h é a altura da lâmina de água sobre a soleira (m); e C é um coeficiente com valores entre 1,4 e 2,1. Para o trabalho em questão, foram adotados valores de 1,7 para os escavados em rocha e 2,1 para os restantes, em perfil Creager.

Também para a propagação em um reservatório é necessário, para a solução das equações de propagação, o hidrograma afluente vindo do elemento à montante (fornecido pelo programa) e o valor do armazenamento inicial (fornecido pelo usuário) que servem como condições de contorno.

Para boa parte dos reservatórios, foi considerado um armazenamento total da capacidade, para a verificação do maior caso de afluência que a chuva em estudo pode ocasionar no Açude Castanhão.

Para o reservatório do Castanhão, foi considerada uma cota inicial de 96,3m, um pouco acima da cota da soleira (95m), resultando em um armazenamento inicial de aproximadamente 3,3 bilhões de metros cúbicos e uma vazão efluente inicial de 500 m³/s.

Um resumo das condições adotadas para cada reservatório é mostrado no Quadro 4.2. Os dados referentes à largura do vertedouro e cota da soleira foram retirados do Atlas do site da Secretária de Recursos Hídricos – SRH do Estado do Ceará. A coluna Volume é referente ao volume adotado na simulação.

Todos os valores das características fisiográficas obtidas para cada elemento constam dentro do modelo em anexo no CD.

Quadro 4.2 – Condições dos reservatórios.

	Açudes	Capac. (1000m³)	Vol. (1000m³)	Vertedouro	C	Largura (m)	Cota Soleira (m)
Alto Jag.	Varzea do Boi	51.910,00	51.910,00	rocha	1,7	215,00	109,00
	Trici	16.500,00	16.500,00	creager	2,1	165,00	433,00
	Favelas	30.100,00	30.100,00	creager	2,1	200,00	436,00
	Parambu	8.530,00	8.530,00	cordao f. concreto	2,1	50,00	484,50
	Arneiroz II	197.060,00	197.060,00	Vertedouro livre	2,1	300,00	368,00
	Rivaldo Carvalho	19.520,00	19.520,00	cordao f. concreto	2,1	100,00	997,50
	Benguê	19.560,00	19.560,00	creager	2,1	150,00	448,54
	Poço da Pedra	52.000,00	52.000,00	Vertedouro	2,1	60,00	542,00
	Do Coronel	1.770,00	1.770,00	cordao f. concreto	2,1	24,00	334,00
	Pau Preto	1.808,77	1.808,77	cordao f. concreto	2,1	36,00	998,10
	Canoas	69.250,00	69.250,00	creager	2,1	50,00	393,00
	Valério	2.020,00	2.020,00	creager	2,1	31,00	54,00
	Muquém	47.643,41	47.643,00	creager	2,1	110,00	267,00
	Trussu	301.000,00	301.000,00	soleira espessa	2,1	360,00	254,00
	Quinquê	4.330,00	4.330,00	creager	2,1	90,00	95,00
	Oros	1.940.000,00	1.940.000,00	creager	2,1	180,00	199,50
Salgado	Atalho	108.250,00	108.250,00	creager	2,1	90,00	425,00
	Quixabinha	31.780,00	31.780,00	Vertedouro	2,1	80,00	418,00
	Gomes	2.390,00	2.390,00	Vertedouro	2,1	20,00	425,00
	Thomas Osterne	28.780,00	28.780,00	creager	2,1	39,00	441,00
	Manoel Balbino	37.180,00	37.180,00	creager/cordao	2,1	120,00	427,00
	Prazeres	32.500,00	32.500,00	creager	2,1	80,00	98,00
	Cachoeira	34.330,00	34.330,00	creager	2,1	40,00	305,00
	Rosário	47.218,53	47.218,53	labirinto	2,1	100,00	288,00
	Olho D'Água	21.000,00	21.000,00	soleira espessa	2,1	50,00	350,00
	Jenipapeiro II - Baixio	43.449,50	43.449,50	rocha	1,7	75,00	260,00
	Ubalzinho	31.800,00	31.800,00	labirinto	2,1	57,00	295,00
Lima Campos	66.380,00	66.380,00	Vertedouro livre	2,1	50,00	175,50	
Médio Jag.	Madeiro	2.810,00	2.810,00	cordao f. concreto	2,1	50,00	93,00
	Joaquim Tavora	26.772,80	26.772,80	Vertedouro	2,1	50,00	114,45
	Nova Floresta	7.610,00	7.610,00	Vertedouro	2,1	98,00	112,10
	Tigre	3.510,00	3.510,00	cordao f. concreto	2,1	50,00	99,00
	Jenipapeiro I - Irapuan	17.000,00	17.000,00	creager	2,1	60,00	98,50
	Riacho do Sangue	61.424,00	61.424,00	Vertedouro	2,1	120,00	118,00
Castanhão	6.700.000,00	3.300.000,00	creager	2,1	20,00	95,00	

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.3 Modelagem meteorológica

Como foi considerado o escoamento base nulo, teve que ser observado as precipitações dos dias anteriores ao dia escolhido para o eventos de chuva extrema a ser analisado, afim de, obter um evento que não sofra tanta interferência de chuvas anteriores. O evento de chuva extrema escolhido para a simulação foi o dia 13 de Abril de 2009, com base em observações das séries históricas do portal hidro da FUNCEME e no site da Agência Nacional de Águas (ANA).

O método de Thiessen foi rodado em um script desenvolvido para o MATLAB, um software voltado para o cálculo numérico, no laboratório de hidrologia do DEHA-UFC. As coordenadas de cada sub-bacia e dos postos pluviométricos foram inseridas no programa e foi gerado um arquivo com a média Thiessen do dia em estudo para cada sub-bacia. Com isso, foi definido um hietograma uniforme para o dia 13 de Abril de 2009 a ser inserido no componente *Time Series Data* do HEC-HMS. Cada hietograma adicionado ao componente *Time Series Data* é adicionado, posteriormente, no componente *Meteorologic Model* para

cada sub-bacia. A Média Thiessen para o dia 13 de Abril de 2009 em cada sub-bacia é mostrada no quadro abaixo (Quadro 4.3).

Quadro 4.3 – Média Thiessen para as sub-bacias para a chuva do dia 13 de abril de 2009.

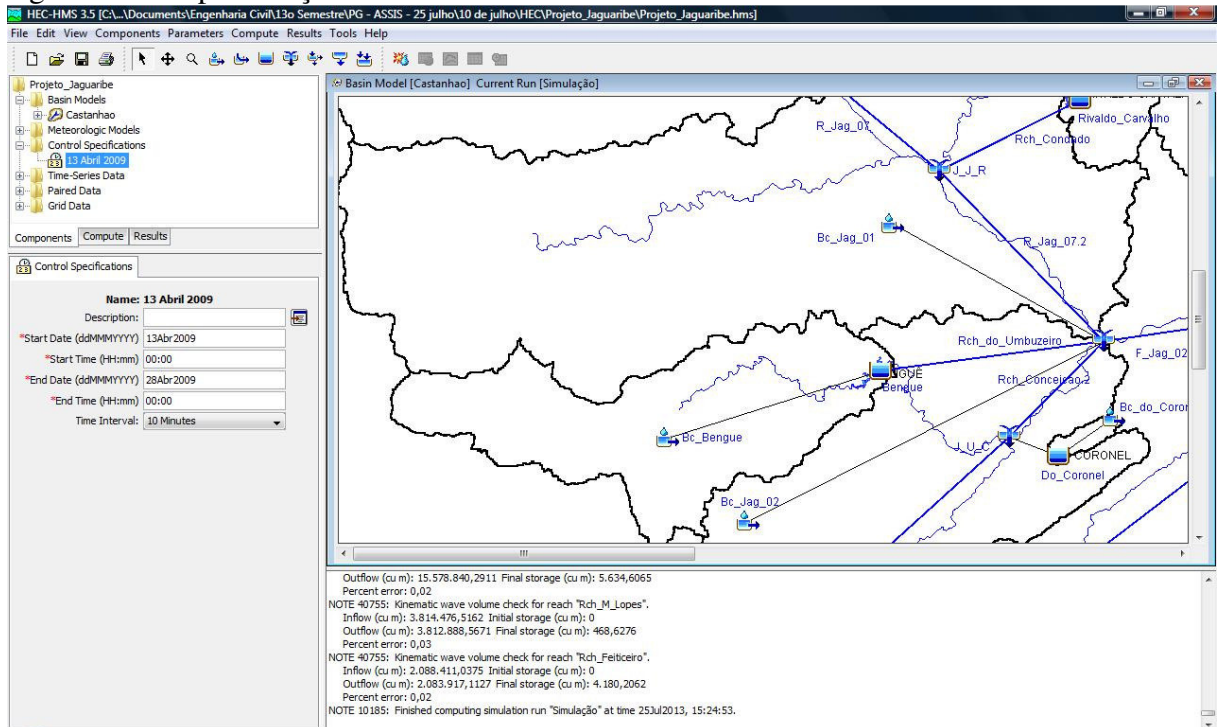
Sub-Bacias		Média Thiessen (mm)	Sub-Bacias		Média Thiessen (mm)
A l t o J a g u a r i b e	Bc_Favelas	1,1	S a l g o M é d i o J a g u a .	Bc_Atalho	12,3
	Bc_Varzea_do_Boi	10,7		Bc_Thomas_Osterne	69,4
	Bc_Trici	18,6		Bc_Manoel_Balbino	19,9
	Bc_Parambu	21,6		Bc_Gomes	7,0
	Bc_Arneiroz_II	16,4		Bc_Quixabinha	7,0
	Bc_Rivaldo_Carvalho	25,6		Bc_Salg_02	9,9
	Bc_Jag_01	24,6		Bc_Prazeres	0,0
	Bc_Bengue	17,8		Bc_Cachoeira	37,0
	Bc_Poco_da_Pedra	8,3		Bc_Rosario	26,3
	Bc_do_Coronel	17,9		Bc_Olho_d'Água	32,2
	Bc_Jag_02	17,9		Bc_Salg_01	22,2
	Bc_Canoas	26,7		Bc_Jenipapeiro	42,8
	Bc_Pau_Preto	8,9		Bc_Ubaldinho	20,6
	Bc_Valerio	26,7		Bc_Rio_Salgado	28,0
	Bc_Jag_03	41,7		Bc_Lima_Campos	38,4
	Bc_Jag_04	29,2		Bc_Madeiro	11,0
	Bc_Muquem	32,0		Bc_Castanhao_02	2,5
	Bc_Quincoe	16,1		Bc_Jenipapeiro_I	30,8
	Bc_Trussu	46,9		Bc_Tigre	36,8
	Bc_Oros	46,5		Bc_Riacho_do_Sangue	36,8
SB_Jaguaribe	50,6	Bc_Nova_Floresta	49,0		
		Bc_Joaquim_Tavora	49,0		
		Bc_Castanhao	37,6		

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 O Uso do modelo e as especificações de controle

No *Control specification* foi simplesmente especificado o tempo de início e o de fim que o programa irá começar a simular o modelo. Como mostrado na figura abaixo (Figura 4.8). A data de início da simulação é no dia 13 de Abril de 2009, no início da precipitação definida anteriormente. A data final é no dia 28 de Abril de 2009, 15 dias após o início, tempo suficiente para que a vazão afluente no Castanhão já não seja significativa. O *Time Interval* é o intervalo de tempo usado pelo programa para fazer os cálculos e gerar os resultados. É o intervalo de tempo entre um ponto e outro na geração das curvas. Foi escolhido 10 minutos por já apresentar resultados similares com os resultados para tempos menores, e assim, poder economizar tempo e memória na simulação.

Figura 4.8 – Especificações de controle no HEC-HMS



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após as especificações de controle, o modelo já pôde ser simulado através do *Menu Compute -> Create Simulation Run* onde são feitas as escolhas dos componentes criados durante a modelagem (*Basin Model, Meteorologic Model e Control Especification*) para a simulação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

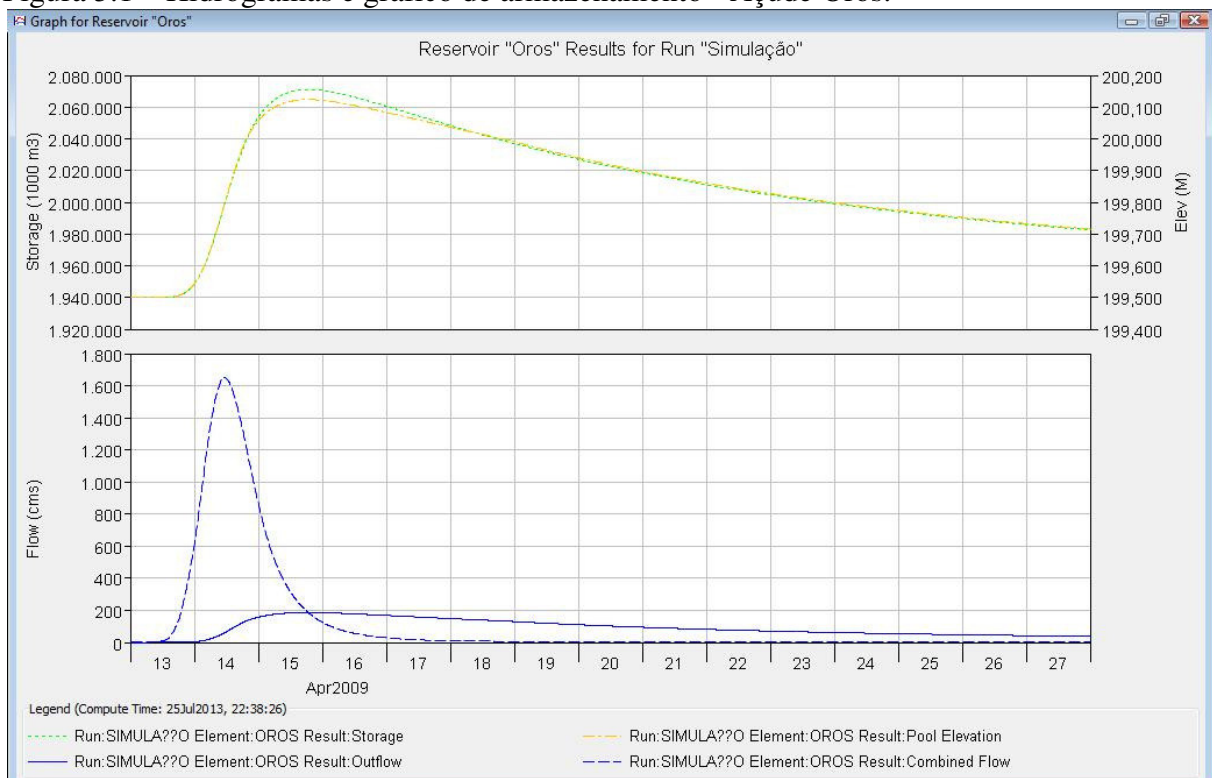
Os resultados gerados pelo programa são muitos, pois geram, para cada elemento, os hidrogramas à montante e jusante, além do armazenamento em função do tempo para cada reservatório e todos os cálculos de precipitação (perda e transformação) de cada sub-bacia. Todos esses resultados constam no CD em anexo ao trabalho.

Para o presente trabalho, os resultados importantes gerados pelo programa podem ser divididos em três grupos, todos com influência no exutório final, o açude Castanhão:

1. Hidrogramas afluente e efluente do açude Orós, exutório da Bacia do Alto Jaguaribe;
2. Hidrograma no exutório da Bacia do Salgado;
3. Hidrogramas afluente e efluente do açude Castanhão.

Os resultados gerados pelo programa para o açude Orós são mostrados nas Figuras 5.1 e 5.2.

Figura 5.1 – Hidrogramas e gráfico de armazenamento - Açude Orós.



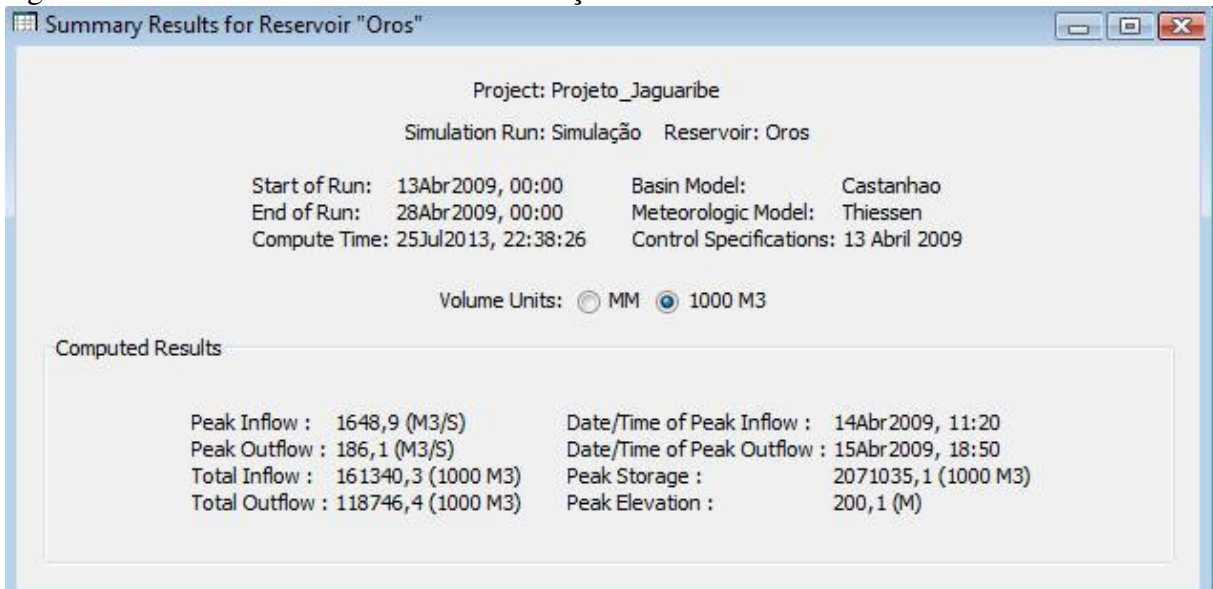
Fonte: Elaborado pelo autor.

A precipitação estudada gerou um fluxo de mais 160 milhões de metros cúbicos, até o dia 28 de abril, com uma vazão afluente de pico de 1648,9 m³/s. Apesar de o valor de pico alto, o mesmo é amortecido, como esperado, pelo açude na simulação, que têm uma

vazão efluente de pico em torno de 186,1 m³/s. Por fazer parte do exutório final da bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, que têm uma capacidade de acumulação aproximada de 2,8 bilhões de metros cúbicos pelos 18 açudes monitorados pela COGERH, o volume total afluente não é preocupante para a precipitação em estudo (6% da capacidade total).

Outra informação importante do gráfico é a diferença entre os tempos bases dos hidrogramas afluentes e efluentes. Enquanto o hidrograma afluente se inicia às 06h10min do dia 13 e praticamente termina no dia 18 (Fluxos próximos à 6m³/s), o hidrograma efluente se inicia às 16h20min do dia 13 e se estende por mais de 15 dias, ainda gerando um fluxo de 37,8m³/s no final da análise, no início do dia 28, mostrando o amortecimento esperado.

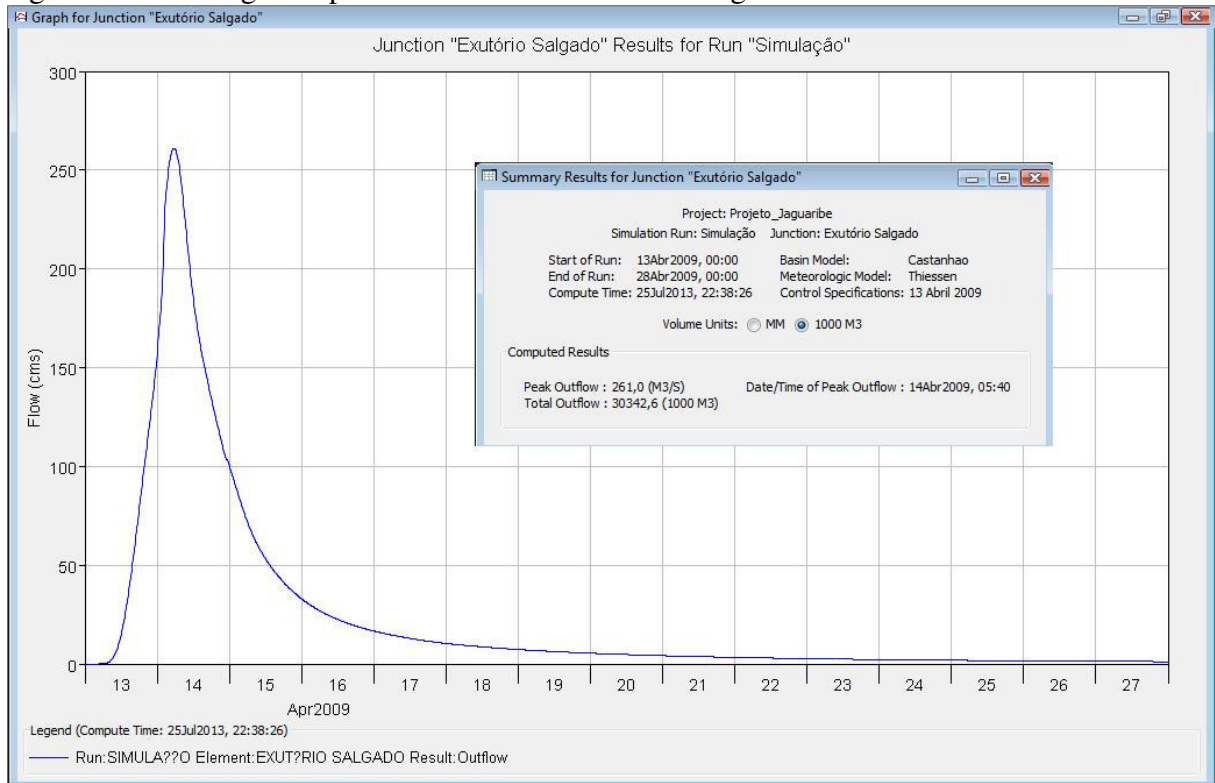
Figura 5.2 – Resumo de volume e vazão – Açude Orós



Fonte: Elaborado pelo autor.

O hidrograma gerado para o exutório da Bacia do Salgado é mostrado na Figura 5.3. O valor de pico causado pela chuva foi de 261,0 m³/s às 11h20min do dia 14. No dia 19, as vazões no exutório já são próximas à 5m³/s, já não contribuindo significativamente para a afluência no açude Castanhão. O total de volume escoado, nesses 15 dias de análise, foi de 30 milhões de metros cúbicos, valor pequeno para causar problemas ao Castanhão, comparado à Bacia do Alto Jaguaribe, representado pelo açude Orós como exutório.

Figura 5.3 – Hidrograma para o exutório da Bacia do Salgado

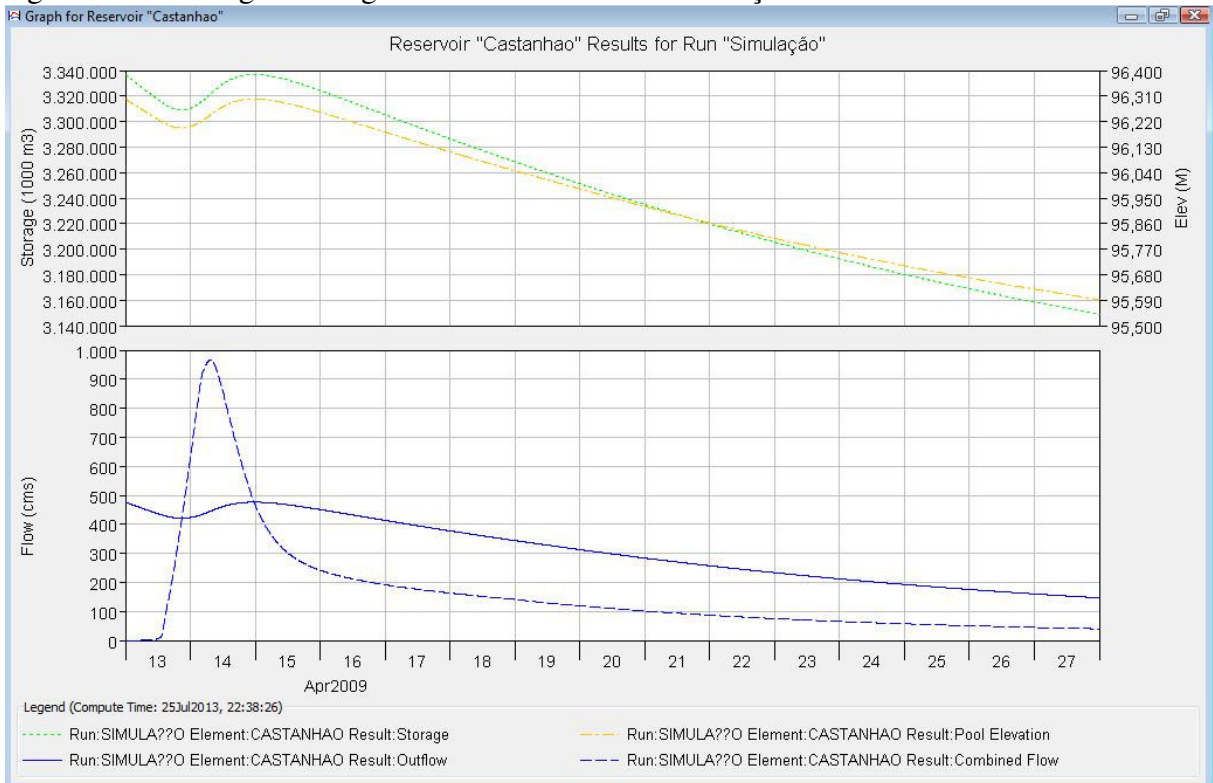


Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados gerados pelo programa para o açude Castanhão são mostrados nas Figuras 5.4 e 5.5. O pico de vazão afluente foi de 964,9 m³/s, bem menor que o pico afluente no Açude Orós, apesar do volume total afluente ser maior, 212 milhões de metros cúbicos, nos 15 dias de análise, mostrando coerência nos resultados mostrados pela simulação, pois o Castanhão fica à jusante do Orós e o estudo considerou a capacidade de cada reservatório esgotada. O valor de pico de vazão não é problema, pois, como mostra o segundo gráfico, a curva de vazão efluente se mantém relativamente estável, com um valor inicial de vazão de 476m³/s, para uma cota de 96,3 m, e um pico às 23h30min do dia 14 de 476,3m³/s.

O volume total de 212 milhões de metros cúbicos é um pouco menos de 10% do valor considerado para a contenção de cheias, de 2,25 bilhões, lembrando que na análise, todos os reservatórios estavam na iminência de sangrar, portanto, numa situação mais desfavorável para o Castanhão. Portanto, o volume afluente total em si, não é um problema nesse caso.

Figura 5.4 – Hidrogramas e gráfico de armazenamento - Açude Castanhão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.5 – Resumo de volume e vazão – Açude Castanhão



Fonte: Elaborado pelo autor.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esse trabalho visou a construção de um modelo de todas as bacias hidrográficas à montante do açude Castanhão. A simulação do evento de precipitação visou apenas validar o modelo, mostrando que a construção seguiu o caminho correto. Os resultados alcançados com a simulação foram satisfatórios, principalmente devido às simplificações adotadas para os métodos de cálculos usados.

Para uma análise mais apurada do comportamento da bacia hidrográfica, seria necessário adotar valores mais específicos para a seção transversal dos rios, no cálculo da propagação em rios, analisar a influência da umidade inicial do solo, as condições de cada reservatório no momento, simular vários dias seguidos de chuvas intensas, além de envolver questões políticas de liberação de água em açudes com comportas, entre outras variáveis tornando o trabalho árduo e longo.

Portanto, fica a recomendação para a continuação do modelo, de forma que o mesmo fique cada vez mais próximo da realidade e possa ser aproveitado como um modelo de previsão de afluência, levando em consideração as diversas variáveis envolvidas no gerenciamento e operação dos reservatórios à montante do Castanhão.

REFERÊNCIAS

ARARIPE, J. C. A. **CASTANHÃO**. REVISTA DO INSTITUTO DO CEARÁ. 1992.

Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará. Disponível em: <http://atlas.srh.ce.gov.br/>. Acesso em: 21 junho 2013.

BORGES, C. Uma reflexão sobre o açude Castanhão. **O Povo**, Fortaleza, 20 junho 2012. Disponível em: <<http://blog.opovo.com.br/blogdoeliomar/uma-reflexao-sobre-o-acude-castanhao/>>. Acesso em: 18 junho 2013.

BOTELHO, M. H. C. **Manual de primeiros socorros do engenheiro e do arquiteto**. São Paulo: Blucher, 2009. 277p.

CAMPOS, J. N. B. **Lições em modelos e simulação hidrológica**. Fortaleza: ASTEF/EXTENSÃO GRÁFICA, 2009. 166p.

GONTIJO, N. T. **Avaliação das relações de frequência entre precipitações e enchentes raras por meio de séries sintéticas e simulação hidrológica**. 2007. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio ambiente e Recursos Hídricos), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

LOBO NETO, J. B. **Operação do Reservatório Castanhao para o controle de Cheias: Definição do Nível de Alerta**. 2009. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, 2009.

MACEDO, R. L. **Estudo hidrológico da bacia do rio Negrinho – SC utilizando o HEC-HMS**. 2010. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

NAGHETTINI, M. **Engenharia de recursos hídricos**. Belo Horizonte: UFMG, 1999.

PINTO, N. L. D. S. *et al.* **Hidrologia Básica**. São Paulo: Editora Blucher, 1976. 278p.

PORTO, R. D. M. **Hidráulica Básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 540p.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998. 819p.

STUDART, T. M. C.; CAMPOS, J. N. B. **Apostila de Hidrologia**. Fortaleza: 2004.

TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H. de. **Simulação de Perfis D'água e Planícies de Inundação Relacionados a Diferentes Cenários de Urbanização**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 2005.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP, 1997.

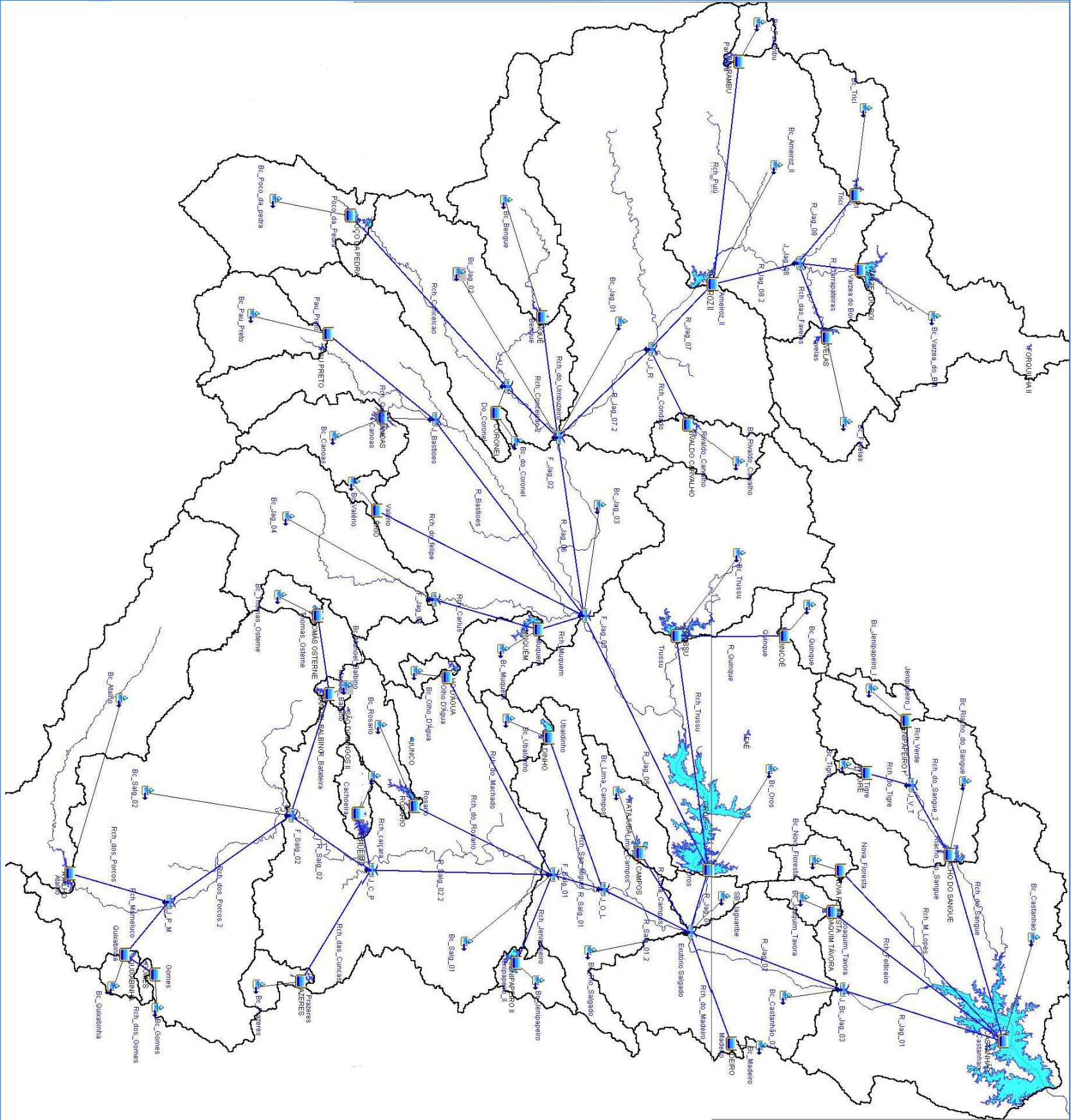
USACE-HEC (a). **“Hydrologic Modeling System, HEC-HMS v3.3 – User’s Manual”**, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, August 2010.

USACE-HEC (b). **“Hydrologic Modeling System, HEC-HMS – Applications Guide”**, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, March 2008.

USACE-HEC (c). **“Geospatial Hydrologic Modeling Extension, HEC-GeoHMS v4.2 – User’s Manual”**, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, May 2009.

USACE-HEC (d). **“HMS Model Development using HEC-GeoHMS”**, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, October 2010.

VILLELA, S. M; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.



APÊNDICE B - CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DAS SUB-BACIAS.

Nome	Média Thiessen em mm (13/04/2009)	Área (km ²)	H max (m)	H min (m)	Comprimento		Tc (min)	T _{retardo} (min)	CN	S	Initial Abstract
	Rio principal (km)				60% de Tc	=20%S em mm					
Bc Arneiroz II	16,40	2819,87	623,00	328,00	86,51	1102,28	661,37	82,90	52,39	10,48	
Bc Atalho	12,30	1960,77	958,00	385,00	147,97	1586,84	952,10	83,87	48,86	9,77	
Bc Bengue	17,80	941,83	776,00	429,00	97,49	1188,83	713,30	75,01	84,63	16,93	
Bc Cachoeira	37,00	137,90	695,90	273,00	29,31	274,93	164,96	78,04	71,47	14,29	
Bc Canoas	26,70	552,71	897,00	321,50	53,93	493,81	296,29	81,04	59,43	11,89	
Bc Castanhao	37,60	3751,42	239,00	53,30	100,72	1570,20	942,12	82,57	53,63	10,73	
Bc Castanhao 02	2,50	1496,15	815,88	103,00	82,41	742,07	445,24	82,95	52,22	10,44	
Bc do Coronel	17,90	27,36	470,78	317,00	12,84	156,45	93,87	91,00	25,12	5,02	
Bc Favelas	1,10	674,77	638,00	407,00	53,96	702,15	421,29	88,11	34,29	6,86	
Bc Gomes	7,00	32,09	640,00	396,00	13,19	135,04	81,02	83,78	49,17	9,83	
Bc Jag_01	24,60	3553,82	813,00	271,00	168,42	1882,67	1129,60	81,10	59,20	11,84	
Bc Jag_02	17,90	1761,70	517,50	272,63	95,36	1325,20	795,12	85,92	41,61	8,32	
Bc Jag_03	41,70	4121,76	682,00	216,00	149,01	1732,27	1039,36	84,34	47,18	9,44	
Bc Jag_04	29,20	1463,31	963,00	280,00	113,24	1088,86	653,31	81,59	57,33	11,47	
Bc Jenipapeiro	42,80	191,78	759,00	236,00	31,57	276,05	165,63	86,51	39,62	7,92	
Bc Jenipapeiro_I	30,80	131,99	395,00	204,00	24,89	309,16	185,50	88,58	32,76	6,55	
Bc Joaquim Tavora	49,00	120,68	376,00	147,00	28,51	337,19	202,32	83,42	50,47	10,09	
Bc Lima Campos	38,40	361,30	340,00	160,34	41,63	573,14	343,89	85,10	44,47	8,89	
Bc Madeiro	11,00	9,96	712,10	563,00	5,85	63,90	38,34	91,00	25,12	5,02	
Bc Manoel Balbino	19,90	41,24	757,00	394,00	11,22	96,13	57,68	85,64	42,58	8,52	
Bc Muquem	32,00	298,32	459,00	236,00	38,84	486,82	292,09	85,22	44,04	8,81	
Bc Nova Floresta	49,00	160,58	406,00	166,25	29,74	347,87	208,72	90,40	26,96	5,39	
Bc Olho d'Água	32,20	72,75	644,00	329,00	22,61	228,20	136,92	85,96	41,50	8,30	
Bc Oros	46,50	3233,74	500,00	185,50	126,06	1661,29	996,78	79,61	65,04	13,01	
Bc Parambu	21,60	112,64	832,00	460,00	26,01	251,57	150,94	76,70	77,16	15,43	
Bc Pau Preto	8,90	521,88	878,00	518,50	50,85	552,97	331,78	76,45	78,24	15,65	
Bc Poco da Pedra	8,30	937,38	864,00	517,50	69,65	806,60	483,96	80,35	62,12	12,42	
Bc Prazeres	0,00	145,65	821,00	340,00	37,90	352,03	211,22	70,92	104,17	20,83	
Bc Quincee	16,10	166,67	718,00	290,00	27,08	249,71	149,83	80,64	60,97	12,19	
Bc Quixabinha	7,00	89,44	710,20	373,00	17,24	162,48	97,49	80,03	63,38	12,68	
Bc Riacho do Sangue	36,80	1214,19	399,00	122,82	81,28	1052,03	631,22	87,48	36,36	7,27	
Bc Rio Salgado	28,00	1495,32	697,00	126,49	80,05	781,83	469,10	83,49	50,24	10,05	
Bc Rivaldo Carvalho	25,60	305,19	622,00	373,00	42,63	519,63	311,78	90,47	26,75	5,35	
Bc Rosario	26,30	343,70	708,00	254,00	55,71	561,65	336,99	85,64	42,59	8,52	
Bc Salg_01	22,20	3637,63	588,00	191,50	150,91	1870,56	1122,33	84,52	46,54	9,31	
Bc Salg_02	9,90	4152,53	730,00	297,00	110,93	1267,22	760,33	80,91	59,92	11,98	
Bc Thomas Osterne	69,40	115,16	950,00	411,00	23,25	191,65	114,99	83,56	49,98	10,00	
Bc Tigre	36,80	22,71	303,29	191,00	10,38	138,17	82,90	90,52	26,59	5,32	
Bc Trici	18,60	548,31	640,00	412,38	56,66	747,06	448,24	85,22	44,04	8,81	
Bc Trussu	46,90	1562,42	606,00	211,00	101,14	1179,96	707,98	84,66	46,04	9,21	
Bc Ubaldinho	20,60	172,32	606,00	256,26	31,26	318,62	191,17	82,10	55,39	11,08	
Bc Valerio	26,70	58,10	720,00	476,00	15,04	157,19	94,31	76,49	78,05	15,61	
Bc Varzea do Boi	10,70	1237,53	617,00	396,00	81,63	1152,06	691,24	84,73	45,79	9,16	
SB_Jaquaribe	50,60	189,85	370,00	124,00	24,47	274,93	164,96	84,82	45,44	9,09	