



ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO NA PARAMETRIZAÇÃO DE MODELOS HIDROLÓGICOS VISANDO A PREVENÇÃO DE DESASTRES NATURAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA NO ESTADO DE ALAGOAS, BRASIL

Mapeamento das áreas de risco às margens da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba
Estado de Alagoas - Nordeste do Brasil

Fabiana Carnaúba Medeiros

Tese apresentada à Universidade de Évora
para obtenção do Grau de Doutor em Ciências do Ambiente
Especialidade: Recursos Hídricos

ORIENTADORES: *Prof. Doutora Elsa Paula Figueira Ferreira Morgado de Sampaio*
Prof. Doutor Luiz Carlos Baldicero Molion
Prof. Doutor Luiz Tadeu da Silva

ÉVORA, DEZEMBRO DE 2017





ESTUDO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO NA PARAMETRIZAÇÃO DE MODELOS HIDROLÓGICOS VISANDO A PREVENÇÃO DE DESASTRES NATURAIS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA NO ESTADO DE ALAGOAS, BRASIL

Mapeamento das áreas de risco às margens da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba
Estado de Alagoas - Nordeste do Brasil

Fabiana Carnaúba Medeiros

Tese apresentada à Universidade de Évora
para obtenção do Grau de Doutor em Ciências do Ambiente
Especialidade: Recursos Hídricos

ORIENTADORES: *Prof. Doutora Elsa Paula Figueira Ferreira Morgado de Sampaio*
Prof. Doutor Luiz Carlos Baldicero Molion
Prof. Doutor Luiz Tadeu da Silva

ÉVORA, DEZEMBRO DE 2017



“Eu sou aquilo o que Deus pensa de mim”

Santa Teresinha do Menino Jesus

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus e a Nossa Senhora. Que me protegem desde que eu nasci. Sem a Fé que tenho neles, nada seria e nada poderia;

A Santa Teresinha do Menino Jesus, por sua proteção nas minhas horas mais difíceis;

A CAPES, pela bolsa concedida;

A meu Pai e minhas Irmãs, que sempre acreditaram no meu trabalho e a minha Mãe (*In Memoriam*), que está no céu olhando por mim;

As minhas Filhas, Lela e Manu, que me deram forças para finalizar este trabalho. Fiz por elas e para elas; e ao meu marido, Fernando, pela paciência nas minhas horas de aflição;

A minha Orientadora Professora Doutora Elsa Paula Figueira Ferreira Morgado de Sampaio, por todo seu ensinamento e principalmente por sua amizade;

Ao Professor Doutor João Alexandre Medina Corte Real e sua esposa Regina Corte Real, por todo o carinho e atenção quando chegamos em Portugal, por ter cuidado tão bem de todos nós;

Ao Professor Doutor Luiz Carlos Baldicero Molion, meu co-orientador, por todo ensinamento todos estes anos, desde meu curso de Mestrado no ano de 2000;

Ao Amigo Professor Doutor Luiz Tadeu da Silva, que ao longo deste projeto de tese me ajudou tanto que passou a ser meu co-orientador. Meu muito obrigado e acima de tudo agradeço pela paciência;

Ao Professor Doutor Manoel Toledo (*In Memoriam*), que se tivesse vivo estaria muito orgulhoso de mim;

Ao Professor Doutor Ricardo Sarmiento e sua esposa Márcia Moraes, por toda ajuda e apoio por todos estes anos;

Aos Professores Doutores da Universidade de Évora, em especial à Professora Dr.^a Rute Sousa Matos, por todo carinho e dedicação apresentado nas suas aulas;

A amiga Anna Bárbara Coutinho, a Doutora Chou Sin Chan, e ao Felipe Alves do CPTEC/INPE, pela ajuda na disponibilização dos dados utilizados do modelo atmosférico ETA;

Aos amigos Walber, Vinicius, Gino, Brunno, Luciano, Puffy, Fabinho (Professor Heliofábio Gomes), Mahelvson, Laurizio. Por toda a ajuda e apoio na execução deste trabalho de pesquisa; Sem esquecer dos amigos da DMET Henrique, Isa, Augusto, Rômulo;

A todos os amigos que ainda fazem parte da SEMARH/AL, que torcem por mim, sempre;

Ao Professor Doutor Antônio Pedro Santos, Diretor do curso de Ciências do Ambiente da Universidade de Évora, por sua atenção e disponibilidade sempre; e

Ao Professor Doutor Vladimir Caramori, da UFAL, por estar sempre disponível nas horas em que eu necessitei.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo a criação de um Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC), o qual foi elaborado para acompanhar as vazões extremas e seus consequentes impactos em áreas consideradas de risco de cheia/inundação, nas margens da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, Estados de Alagoas e Pernambuco - Brasil. Esta região apresenta um histórico de cheias e inundações, como o evento ocorrido no mês de junho de 2010, responsáveis pela destruição de inúmeras moradias e diversas mortes ao longo dos últimos anos. Foi desenvolvida uma metodologia através da qual se fizeram análises com recurso à conjugação de três (03) modelos de previsão: Modelo Hidrológico MGB-IPH; Modelo Atmosférico ETA e Modelo Hidráulico HEC-RAS. A metodologia utilizada para o desenvolvimento do SMC foi constituída por uma sequência de procedimentos que utilizam os referidos modelos tendo-se mostrado eficaz, para gerar informações e portanto previsões acerca da Variabilidade Espacial das Zonas de Risco de Impacto de Cheia e Classes de Severidade de Risco de Cheia, incluindo altura de água atingida e velocidade corrente de água. O SMC aqui proposto foi validado de forma a permitir previsões que podem servir de base para as tomadas de decisão dos gestores públicos e demais instituições que trabalham com o monitoramento de cheias.

Abstract

Study of physical soil in hidrological models aiming parameterization prevention natural disaster in the watersher Paraíba River in Alagoas State, Brazil

The aim of this work was the creation of a Flood Monitoring System (SMC), which was designed to monitor extreme flow rates and their consequent impacts in areas considered to be at flood risk, on the margins of the Paraíba River Basin, States of Alagoas and Pernambuco - Brazil. This region presents a history of floods, such as the event that took place in June 2010, responsible for the destruction of numerous homes and several deaths over the last few years. A methodology was developed, through which analyzes were made using a combination of three (03) forecast models: Hydrological Model MGB-IPH; Atmospheric Model ETA and Hydraulic Model HEC-RAS. The methodology used for the development of the SMC was constituted by a sequence of procedures that use the mentioned models, having proved effective to generate information and therefore forecasts, on the Spatial Variability of Risk Zones of Floods and Risk Severity Classes including height of water reached and speed of water flow. The SMC here proposed has been validated in order to allow forecasts that can serve as a basis for the decision-making of public managers and other institutions working with flood monitoring.

SUMÁRIO

RESUMO	I
ABSTRACT	III
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XXI
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XXV
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações gerais	1
1.2 Âmbito e Objetivos	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Desastres naturais	14
2.2 Cheias e inundações	18
2.2.1 Inundações no Brasil	25
2.3 Sistemas meteorológicos que atuam na região Leste do Nordeste Brasileiro	35
2.3.1 El Niño e La Niña	35
2.3.2 Alta da Bolívia	38
2.3.3 Sistemas Frontais ou Frentes Frias	38
2.3.4 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)	40
2.3.5 Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL)	41
2.3.6 Brisas Marinhas	42
2.4 Solos	43
2.5 Mapeamento das áreas de risco	47
2.6 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)	55
2.7 Modelos de previsão numérica do tempo	59
2.7.1 Modelo Regional ETA	61
2.8 Modelos hidrológicos	65

2.8.1	Modelo hidrológico MGB-IPH	71
2.9	Modelos hidráulicos	77
2.9.1	Modelo Hidráulico HEC-RAS	79
2.10	Severidade de inundações	83
3	ENQUADRAMENTO DO ESTUDO	94
3.1	Caracterização da área de estudo	94
3.1.1	Localização	94
3.1.2	Área da Bacia Hidrográfica	96
3.1.3	Características fisiográficas	98
3.1.4	Rede hidrográfica	98
3.1.5	Sistema de drenagem	100
3.1.5.1	Classificação dos cursos de água	100
3.1.5.2	Ordem dos cursos de água	100
3.1.5.3	Densidade de drenagem (Dd) e Densidade da rede ou dos rios (Dr)	101
3.1.5.4	Extensão média do escoamento superficial (e)	102
3.1.5.5	Coeficiente de sinuosidade do curso de água (sin) e Razão de bifurcação (Rb)	102
3.1.6	Geomorfologia	104
3.1.6.1	Formas de relevo	104
3.1.6.2	Unidades geomorfológicas	105
3.1.6.3	Declividade e Elevação média da bacia	106
3.1.6.4	Perfil, declividade do rio e declividade representativas	107
3.1.7	Solos	108
3.1.8	Tipos de uso e cobertura vegetal	112
3.1.9	Clima	113
3.1.10	Os 03 Municípios do caso de estudo	115
4	DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	134
4.1	Caracterização do modelo hidrológico (Modelo de Grandes Bacias MGB-IPH)	134
4.1.1	Processos hidrológicos simulados pelo modelo hidrológico MGB-IPH	135
4.1.2	Dados de entrada utilizados pelo modelo hidrológico MGB-IPH	146
4.1.2.1	Dados fluviométricos	146

4.1.2.2	Dados pluviométricos _____	147
4.1.2.3	Outros dados climáticos _____	150
4.1.2.4	Parâmetros fixos e calibráveis _____	151
4.1.2.5	Modelo Digital de Elevação (MDE) e Mapa de Discretização da Bacia _____	153
4.1.2.6	Mapas de: solos; tipo de uso e cobertura; rede de drenagem _____	154
4.1.2.7	Mapas de URH's (Unidades de Resposta Hidrológica) _____	155
4.2	Caracterização do modelo atmosférico (Modelo Regional de Previsão Numérica do Tempo - ETA) _____	157
4.3	Caracterização do modelo hidráulico HEC-RAS _____	160
4.3.1	Dados utilizados pelo modelo hidráulico HEC- RAS _____	160
4.3.1.1	Dados fluviométricos _____	162
4.3.1.2	Coeficientes (Manning e declividade) _____	166
4.3.1.3	Ortoimagens _____	167
4.4	Calibração e validação do Modelo Hidrológico MGB-IPH e do Modelo Hidráulico HEC-RAS _____	168
4.5	Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC) com Avaliação da Severidade das Inundações - Fluxograma _____	171
5	CASO DE ESTUDO _____	176
5.1	Caracterização do Evento _____	176
5.2	Aplicação da metodologia do modelo hidrológico MGB-IPH desenvolvida – Fluxograma _____	188
5.3	Contribuição do Modelo Hidrológico MGB-IPH para o Sistema de Monitoramento de cheias (SMC). _____	190
5.3.1	Dados fluviométricos utilizados _____	190
5.3.2	Análise e discussão dos dados pluviométricos utilizados _____	190
5.3.2.1	Teste-1- Dados Pluviométricos Observados _____	191
5.3.2.2	Teste-2 - Dados pluviométricos MERGE _____	203
5.3.2.3	Teste-3 - Dados Pluviométricos observados, separados por sazonalidade _____	212
5.3.2.4	Teste 4 - Acoplamento do modelo atmosférico ETA com o modelo hidrológico MGB-IPH. _____	238
5.3.3	Seleção final dos dados pluviométricos a utilizar no modelo hidrológico MGB-IPH. _____	250
5.3.4	Dados climáticos utilizados _____	250

5.3.5	Parâmetros fixos e calibráveis utilizados _____	252
5.3.6	Mapas de entrada _____	257
5.3.7	Análise dos Hidrogramas de arranque _____	261
5.3.8	Resultados e discussão dos Hidrogramas simulados na área do caso de estudo. _____	261
5.4	Aplicação da metodologia do modelo hidráulico HEC-RAS desenvolvida - Fluxograma _____	262
5.5	Contribuição do modelo HEC-HAS para o Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC). _____	264
5.5.1	Dados fluviométricos utilizados: Vazões observadas e Tempo de Retorno _____	264
5.5.2	Coeficientes utilizados: Manning e declividade _____	266
5.5.3	Ortoimagens: Modelo Digital de Elevação (MDE) _____	270
5.5.4	Mapas de Zonas Inundáveis provisórios _____	278
5.5.5	Calibração do modelo e Validação dos mapas resultantes _____	279
5.5.6	Resultados da simulação da variabilidade espacial das zonas inundáveis _____	281
5.5.6.1	Cheia de 2010 _____	281
5.5.6.2	Tempo de retorno de 10 anos _____	286
5.5.6.3	Tempo de retorno de 20 anos _____	288
5.5.6.4	Tempo de retorno de 50 anos _____	291
5.5.6.5	Tempo de retorno de 100 anos _____	294
5.5.7	Resultados da simulação da variabilidade espacial de alturas de água atingidas _____	297
5.5.7.1	Cheia de 2010 _____	298
5.5.7.2	Tempo de retorno de 10 anos _____	304
5.5.7.3	Tempo de retorno de 20 anos _____	307
5.5.7.4	Tempo de retorno de 50 anos _____	310
5.5.7.5	Tempo de retorno de 100 anos _____	313
5.5.8	Resultados da simulação da variabilidade espacial das velocidades atingidas pela vazão _____	315
5.5.8.1	Cheia de 2010 _____	316
5.5.8.2	Tempo de retorno de 10 anos _____	322
5.5.8.3	Tempo de retorno de 20 anos _____	325

5.5.8.4	Tempo de retorno de 50 anos _____	328
5.5.8.5	Tempo de retorno de 100 anos _____	331
5.5.9	Resultados e discussão dos mapas de zonas inundáveis, altura de água e velocidade corrente _____	333
5.6	Resultados do Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC) _____	335
5.6.1	Resultados da variabilidade espacial das Zonas de Risco de Impacto de Inundação _____	335
5.6.2	Resultados da variabilidade espacial das Classes de Severidade de Risco de Inundação _____	339
6	CONCLUSÕES _____	343
7	BIBLIOGRAFIA _____	349
ANEXO I	_____	380
ANEXO II	_____	393
ANEXO III	_____	398
ANEXO IV	_____	401

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Enchente de 1949 no município de São José da Laje - Estado de Alagoas	4
Figura 02. Enchente de 1969 no município de São José da Laje - Estado de Alagoas.	6
Figura 03. Tragédia em São José da Laje - Estado de Alagoas	7
Figura 04. Notícia da tragédia de 1969 no Rio Mundaú.	8
Figura 05. Ocupação desordenada e suas consequências.	25
Figura 06. Frequência de cheias no Brasil.	27
Figura 07. Número de ocorrência de cheias por Municípios do Brasil - 2008.	28
Figura 08. Frequência anual de desastres por enxurradas e inundações no Estado de Alagoas, no período 1991 a 2012.	31
Figura 09. Frequência mensal de desastres por enxurradas e inundações no Estado de Alagoas, no período 1991 a 2012.	32
Figura 10. Frequência anual de desastres por enxurradas e inundações no Estado de Pernambuco, no período 1991 a 2012.	34
Figura 11. Frequência mensal de desastres por enxurradas e inundações no Estado de Pernambuco, no período 1991 a 2012.	35
Figura 12. Esquema de formação para o VCAN do tipo Palmer clássico sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul.	40
Figura 13. Articulação de conceitos fundamentais de vulnerabilidade e perigo.	49
Figura 14. Procedimento para geração de dados e simulações de modelos hidrológicos via SIG.	58
Figura 15. Ilustração do domínio do ETA 20 km com destaque para a vizinhança do NEB.	62
Figura 16. Imagem do modelo regional ETA para o dia 08/12/2004	65
Figura 17. Diagrama dos principais componentes do ciclo hidrológico	69
Figura 18. Etapas do modelo hidrológico MGB-IPH.	72
Figura 19. Conceito de URL em uma mini-bacia utilizado no modelo hidrológico	73
Figura 20. Representação esquemática do procedimento de geração das URHs.	74

Figura 21. Balanço de armazenamento da água no solo _____	75
Figura 22. Componentes constituintes da avaliação de perigo para a inundação de 2004 em Bostastle - Reino Unido. _____	92
Figura 23. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. _____	95
Figura 24. Pluviometria média anual da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. _____	115
Figura 25. Localização do município de Quebrangulo - Estado de Alagoas. _____	116
Figura 26. Valores máximos e médios mensais de chuva para o período 1990 - 2010 no posto pluviométrico de Quebrangulo. _____	119
Figura 27. Valores máximos e médios mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Quebrangulo. _____	121
Figura 28. Localização do município de Viçosa - Estado de Alagoas. _____	122
Figura 29. Valores máximos e médios mensais de chuva para o período 1990 - 2010 no posto pluviométrico de Viçosa. _____	125
Figura 30. Valores máximos e médios mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Viçosa. _____	127
Figura 31. Valores máximos e médios mensais de chuva para o período 1990 - 2010 no posto pluviométrico de Atalaia. _____	131
Figura 32. Valores máximos e médios mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Atalaia _____	133
Figura 33. Localização dos postos fluviométricos e climatológico da área em estudo. _	147
Figura 34. Postos pluviométricos utilizados na Modelagem Hidrológica. _____	149
Figura 35. Localização dos pontos de grade dos dados ETA utilizados neste estudo. Fonte: CPTEC/INPE. _____	158
Figura 36. Fluxograma aplicado à execução do Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC). _____	172
Figura 37. Imagens do satélite GOES 12 com recorte da Região Nordeste do Brasil (A) dia 17/06/2010 (23:30 UTC). (B) dia 18/06/2010 (06:00 UTC). _____	177
Figura 38. Precipitação mensal (mm) para o mês de junho/2010 no Estado de Alagoas	178
Figura 39. Isoietas de precipitação (mm) nas Bacias Hidrográficas dos Rios Mundaú e Paraíba para os dias: (A) 16 e (B) 17/06/2010. _____	180

Figura 40. Isoietas de precipitação (mm) nas Bacias Hidrográficas dos Rios Mundaú e Paraíba para os dias. (C) 18/06/2010 e (D) chuva acumulada de três (03) dias. _____	180
Figura 41. Município de União dos Palmares-AL. Rio Mundaú. _____	183
Figura 42. Município de União dos Palmares-AL. Rio Mundaú. _____	183
Figura 43. Município de Rio Largo-AL. Rio Mundaú. _____	184
Figura 44. Município de Murici-AL. Rio Mundaú. _____	184
Figura 45. Município de Capela-AL. Rio Paraíba. _____	185
Figura 46. Município de Quebrangulo-AL. Rio Paraíba. _____	185
Figura 47. Município de Quebrangulo-AL. Rio Paraíba. _____	186
Figura 48. Município de Viçosa-AL. Rio Paraíba. _____	186
Figura 49. Município de Viçosa-AL. Rio Paraíba. _____	187
Figura 50. Município de Atalaia-AL. Rio Paraíba. _____	187
Figura 51. Município de Atalaia-AL. Rio Paraíba. _____	188
Figura 52. Fluxograma aplicado ao desenvolvimento do modelo Hidrológico MGB-IPH. _____	189
Figura 53. Hidrograma para o posto fluviométrico de Quebrangulo, no período de 1998 a 2007 (Período Completo). _____	195
Figura 54. Hidrograma para o posto fluviométrico de Quebrangulo no período de 1998 a 2002 (Calibração). _____	196
Figura 55. Hidrograma para o posto fluviométrico de Quebrangulo no período de 2003 a 2007. (Validação). _____	197
Figura 56. Hidrograma para o Posto Fluviométrico de Viçosa no período de 1998 a 2007 (Período Completo). _____	198
Figura 57. Hidrograma para o Posto Fluviométrico de Viçosa no período de 1998 a 2002 (Calibração). _____	199
Figura 58. Hidrograma para o Posto Fluviométrico de Viçosa no período de 2003 a 2007 (Validação). _____	200
Figura 59. Hidrograma para o Posto Fluviométrico de Atalaia no período de 1998 a 2007 (Período Completo). _____	201
Figura 60. Hidrograma para o Posto Fluviométrico de Atalaia no período de 1998 a 2002 (Calibração). _____	202

Figura 61. Hidrograma para o Posto Fluviométrico de Atalaia no período de 2003 a 2007 (Validação).	203
Figura 62. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 2004 a 2013	206
Figura 63. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 2004 a 2008	207
Figura 64. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 2009 a 2013	208
Figura 65. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 2004 a 2013	210
Figura 66. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 2004 a 2008	211
Figura 67. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 2009 a 2013	212
Figura 68. Hidrograma para o posto de Quebrangulo no período de 1998 a 2007 (Período completo).	215
Figura 69. Hidrograma para o posto de Quebrangulo no período de 1998 a 2002 (Calibração).	215
Figura 70. Hidrograma para o posto de Quebrangulo no período de 2003 a 2007 (Validação).	216
Figura 71. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 1998 a 2007	217
Figura 72. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 1998 a 2002 (Calibração).	217
Figura 73. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 2002 a 2007	218
Figura 74. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 1998 a 2007	219
Figura 75. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 1998 a 2002	219
Figura 76. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 2003 a 2007	220
Figura 77. Hidrograma para o posto de Quebrangulo no período de 1998 a 2007 (Verão).	223
Figura 78. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 1998 a 2007 (Verão).	224
Figura 79. Hidrograma para o posto de Atalaia no período 1998 a 2007	225
Figura 80. Hidrograma para o posto de Quebrangulo no período de 1998 a 2007 (Outono).	227
Figura 81. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 1998 a 2007	228
Figura 82. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 1998 a 2007	230

Figura 83. Hidrograma para o posto de Quebrangulo no período de 1998 a 2007 (Inverno).	231
Figura 84. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 1998 a 2007	233
Figura 85. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 1998 a 2007	234
Figura 86. Hidrograma para o posto de Quebrangulo no período de 1998 a 2007 (Primavera).	235
Figura 87. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 1998 a 2007	236
Figura 88. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 1998 a 2007	237
Figura 89. Imagens do satélite GOES 12 (13:30UTC) para o dia 25/05/2012.	240
Figura 90. Hidrograma para o posto de Atalaia no período 21/05/2012 a 27/05/2012 (Calibração).	241
Figura 91. Imagens do satélite GOES 12 (00:00UTC) para o dia 18/07/2012.	243
Figura 92. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 15/05/2012 a 20/05/2012 (Calibração).	244
Figura 93. Imagens do satélite GOES 12 (00:00UTC) para o dia 03/07/2013.	246
Figura 94. Hidrograma para o posto fluviométrico de Atalaia no período de 02/07/2013 a 10/07/2013 (Validação).	247
Figura 95. Imagens do satélite GOES 12 (00:00UTC) para o dia 18/07/2013.	249
Figura 96. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 27/07/2013 a 04/07/2013 (Validação).	250
Figura 97. Mapa do Modelo Digital de Elevação (MDE).	257
Figura 98. Mapa de Discretização em Mini-Bacias.	258
Figura 99. Mapa de Solos	258
Figura 100. Mapa de direção dos fluxos de drenagem com relação aos pixels vizinhos.	259
Figura 101. Mapa de Solos reclassificados.	259
Figura 102. Mapa de Uso e Cobertura Vegetal Reclassificado.	260
Figura 103. Mapa de Unidades de Repostas Hidrológicas (URH's).	260
Figura 104. Fluxograma aplicado ao desenvolvimento do modelo Hidráulico HEC-RAS.	263

Figura 105. Mapa de declividade do município de Quebrangulo. _____	268
Figura 106. Mapa de declividade do município de Viçosa. _____	269
Figura 107. Mapa de declividade do município de Atalaia. _____	269
Figura 108. Localização das seções geométricas utilizadas no município de Quebrangulo _____	270
Figura 109. Corte correspondente á seção traçada pela Geometria: Área sem inundação - Município de Quebrangulo. _____	271
Figura 110. Corte correspondente á seção traçada pela Geometria: Área com inundação - Município de Quebrangulo. _____	272
Figura 111. Localização das seções geométricas utilizadas no município de Viçosa ____	273
Figura 112. Corte correspondente á seção traçada pela Geometria: Área sem inundação - Município de Viçosa. _____	274
Figura 113. Corte correspondente á seção traçada pela Geometria: Área com inundação - Município de Viçosa. _____	275
Figura 114. Localização das seções geométricas utilizadas no município de Atalaia. ____	276
Figura 115. Corte correspondente á seção traçada pela Geometria: Área sem inundação - Município de Atalaia. _____	277
Figura 116. Corte correspondente á seção traçada pela Geometria: Área com inundação - Município de Atalaia. _____	278
Figura 117. Zona inundável de Quebrangulo para o período da cheia do mês de junho de 2010. _____	282
Figura 118. Zona inundável de Viçosa para o período da cheia do mês de junho de 2010 e tempo de retorno de 100 anos. _____	284
Figura 119. Zona inundável de Atalaia para o período da cheia do mês de junho de 2010. _____	285
Figura 120. Zona inundável de Quebrangulo para o tempo de retorno de 10 anos. ____	286
Figura 121. Zona inundável de Viçosa para o tempo de retorno de 10 anos. _____	287
Figura 122. Zona inundável de Atalaia para o tempo de retorno de 10 anos. _____	288
Figura 123. Zona inundável de Quebrangulo para o tempo de retorno de 20 anos. ____	289
Figura 124. Zona inundável de Viçosa para o tempo de retorno de 20 anos. _____	290

Figura 125. Zona inundável de Atalaia para o tempo de retorno de 20 anos. _____	291
Figura 126. Zona inundável de Quebrangulo para o tempo de retorno de 50 anos. _____	292
Figura 127. Zona inundável de Viçosa para o tempo de retorno de 50 anos. _____	293
Figura 128. Zona inundável de Atalaia para o tempo de retorno de 50 anos. _____	294
Figura 129. Zona inundável de Quebrangulo, para o período de retorno de 100 anos. _____	295
Figura 130. Zona inundável de Atalaia, para o tempo de retorno de 100 anos. _____	297
Figura 131. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Quebrangulo, para o período do mês de junho de 2010. _____	300
Figura 132. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Viçosa, para o período do mês de junho de 2010 e tempo de retorno de 100 anos. _____	302
Figura 133. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Atalaia, para o mês de junho de 2010. _____	304
Figura 134. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Quebrangulo, para o período de retorno de 10 anos. _____	305
Figura 135. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Viçosa, para o tempo de retorno de 10 anos. _____	306
Figura 136. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Atalaia, para o período de retorno de 10 anos. _____	307
Figura 137. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Quebrangulo, para o período de retorno de 20 anos. _____	308
Figura 138. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Viçosa, para o período de retorno de 20 anos. _____	309
Figura 139. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Atalaia, para o período de retorno de 20 anos. _____	310
Figura 140. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Quebrangulo, para o período de retorno de 50 anos _____	311
Figura 141. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Viçosa, para o período de retorno de 50 anos. _____	312
Figura 142. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Atalaia, para o período de retorno de 50 anos. _____	313

Figura 143. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Quebrangulo, para o período de retorno de 100 anos. _____	314
Figura 144. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Atalaia, para o período de retorno de 100 anos. _____	315
Figura 145. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Quebrangulo para o período do mês de junho de 2010. _____	318
Figura 146. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba de Viçosa para o período do mês de junho de 2010 e período de retorno de 100 anos. _____	320
Figura 147. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Atalaia para o período do mês de junho de 2010. _____	322
Figura 148. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Quebrangulo para o período de retorno de 10 anos. _____	323
Figura 149. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Viçosa para o período de retorno de 10 anos. _____	324
Figura 150. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Atalaia para o período de retorno de 10 anos. _____	325
Figura 151. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Quebrangulo para o período de retorno de 20 anos. _____	326
Figura 152. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Viçosa para o período de retorno de 20 anos. _____	327
Figura 153. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Atalaia para o período de retorno de 20 anos. _____	328
Figura 154. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Quebrangulo para o período de retorno de 50 anos. _____	329
Figura 155. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Viçosa para o período de retorno de 50 anos. _____	330
Figura 156. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Atalaia para o período de retorno de 50 anos. _____	331
Figura 157. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Quebrangulo para o período de retorno de 100 anos. _____	332
Figura 158. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba de Atalaia para o período de retorno de 100 anos. _____	333

Figura 159. Áreas do município de Quebrangulo com as zonas de risco de inundação de baixo, médio e alto impacto. _____	337
Figura 160. Áreas do município de Viçosa com as zonas de risco de inundação de baixo, médio e alto impacto. _____	338
Figura 161. Áreas do município de Atalaia com as zonas de risco de inundação de baixo, médio e alto impacto. _____	339
Figura 162. Hidrograma para o posto fluviométrico de Quebrangulo, no Teste-1, no período: (A) 1998; (B) 1999; (C) 2000; (D) 2001; (E) 2002 e (F) 2003. _____	403
Figura 163. Hidrograma para o posto fluviométrico de Quebrangulo no Teste-1, no período: (G) 2004; (H) 2005; (I) 2006 e (J) 2007. _____	404
Figura 164. Hidrograma para o posto fluviométrico de Viçosa, no Teste-1, no período: (A) 1998; (B) 1999; (C) 2000; (D) 2001; (E) 2002 e (F) 2003. _____	406
Figura 165. Hidrograma para o posto fluviométrico de Viçosa no Teste-1, no período: (G) 2004; (H) 2005; (I) 2006 e (J) 2007. _____	407
Figura 166. Hidrograma para o posto fluviométrico de Atalaia, no Teste-1, no período: (A) 1998; (B) 1999; (C) 2000; (D) 2001; (E) 2002 e (F) 2003. _____	409
Figura 167. Hidrograma para o posto fluviométrico de Atalaia no Teste-1, no período: (G) 2004; (H) 2005; (I) 2006 e (J) 2007. _____	410
Figura 168. Hidrograma para o posto fluviométrico de Viçosa, no Teste-2, no período: (A) 2004; (B) 2005; (C) 2006; (D) 2007; (E) 2008 e (F) 2009. _____	412
Figura 169. Hidrograma para o posto fluviométrico de Viçosa, no Teste-2, no período: (G) 2010; (H) 2011; (I) 2012 e (J) 2013. _____	413
Figura 170. Hidrograma para o posto fluviométrico de Atalaia, no Teste-2, no período: (A) 2004; (B) 2005; (C) 2006; (D) 2007; (E) 2008 e (F) 2009. _____	415
Figura 171. Hidrograma para o posto fluviométrico de Atalaia, no Teste-2, no período: (G) 2010; (H) 2011; (I) 2012 e (J) 2013. _____	416

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Distribuição dos tipos de desastres por Região Brasileira. _____	12
Tabela 02. Nível de desastres com relação à intensidade. _____	16
Tabela 03. Anos de influência do Fenômeno El Niño, entre os anos de 1951 a 2016. ____	36
Tabela 04. Anos de influência do Fenômeno La Niña, entre os anos de 1951 a 2016. __	37
Tabela 05. Categorias simplificadas de simulação de profundidade de inundação e velocidade. _____	90
Tabela 06. Categorias de simulação de profundidade de inundação e velocidade. ____	91
Tabela 07. Método de susceptibilidade a inundações instantâneas extremas proposto por COLLIER e FOX (2003). _____	93
Tabela 08. Classificação da severidade de inundação com base na susceptibilidade a captação, e a fatores hidrológicos e meteorológicos. _____	93
Tabela 09. Características das Sub-Bacias do Rio Paraíba. _____	97
Tabela 10. Extensão total dos principais tributários do Rio Paraíba _____	99
Tabela 11. Caracterização da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica _____	101
Tabela 12. Estatística dos tipos de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. _____	112
Tabela 13. Aptidões agrícolas e tipos de solos para o município de Quebrangulo _____	117
Tabela 14. Valores máximos e médios mensais de chuva para o período 1990-2010 no posto pluviométrico de Quebrangulo _____	118
Tabela 15. Valores máximos e médios mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Quebrangulo. _____	120
Tabela 16. Aptidões agrícolas e tipos de solos para o município de Viçosa. _____	123
Tabela 17. Valores máximos e médios mensais de chuva para o período _____	124
Tabela 18. Valores máximos e médios mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Viçosa _____	126
Tabela 19. Aptidões agrícolas e tipos de solos para o município de Atalaia _____	129
Tabela 20. Tabela. Valores máximos e médios mensais de chuva para o período 1990-2010 no posto pluviométrico de Atalaia. _____	130

Tabela 21. Valores máximos e médios mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Atalaia. _____	132
Tabela 22. Localização dos postos fluviométricos e climatológico da área em estudo. _	147
Tabela 23. Parâmetros Fixos utilizados no modelo hidrológico MGB-IPH e suas Indicações. _____	152
Tabela 24. Parâmetros Calibráveis utilizados no modelo hidrológico MGB-IPH e Significados. _____	153
Tabela 25. Tipos de blocos utilizados no arquivo de entrada do modelo hidrológico MGB-IPH. _____	156
Tabela 26. Rotina Prepro_MGB necessária para a execução do modelo hidrológico MGB-IPH. _____	157
Tabela 27. Divisão de classes de declividade utilizadas nos municípios de Quebrangulo, Viçosa e Atalaia - Estado de Alagoas. _____	167
Tabela 28. Localização dos pontos utilizados para a obtenção da média do ponto de transbordamento nos municípios de estudo. _____	175
Tabela 29. Coeficientes de Pearson, Nash-Sutcliffe e valores de Erro do Volume calculados para os dados do Teste-1. _____	193
Tabela 30. Coeficientes de Pearson, Nash-Sutcliffe e valores de Erro do Volume calculados para os dados do Teste-2. _____	205
Tabela 31. Coeficientes de Pearson e Nash-Sutcliffe calculados para os dados do Teste-1. _____	214
Tabela 32. Coeficientes de Pearson e Nash-Sutcliffe por estação do ano. _____	221
Tabela 33. Médias climatológicas do período 1990 a 2014 da estação climatológica de Palmeira dos Índios. _____	251
Tabela 34. Parâmetros Calibráveis utilizados nos Teste-1, 3 e 4. _____	254
Tabela 35. Parâmetros calibráveis utilizados no Teste-1, 3 e 4. _____	254
Tabela 36. Parâmetros Calibráveis utilizados no Teste-2. _____	256
Tabela 37. Parâmetros calibráveis utilizados no Teste-2. _____	256
Tabela 38. Estimativas de vazões calculadas pela distribuição de Gumbel para os municípios de Quebrangulo, Viçosa e Atalaia. _____	266

Tabela 39. Coeficientes de rugosidade de Manning utilizados para a calibração do modelo hidráulico. _____	267
Tabela 40. Marcas de cheia utilizadas para a calibração do modelo hidráulico _____	280
Tabela 41. Classes da altura de água utilizadas no estudo. _____	298
Tabela 42. Valores da altura de água do Rio Paraíba em algumas seções demarcadas para a realização do estudo em Quebrangulo. _____	299
Tabela 43. Valores da altura de água do Rio Paraíba em algumas seções demarcadas para a realização do estudo em Viçosa. _____	301
Tabela 44. Valores da altura de água do Rio Paraíba em algumas seções demarcadas para a realização do estudo em Atalaia. _____	303
Tabela 45. Classes da velocidade de água corrente utilizadas no estudo. _____	316
Tabela 46. Valores da velocidade do Rio Paraíba em $m.s^{-1}$, em algumas seções demarcadas para a realização do estudo em Quebrangulo. _____	317
Tabela 47. Valores da velocidade corrente do Rio Paraíba em $m.s^{-1}$, em algumas seções demarcadas para a realização do estudo em Viçosa. _____	319
Tabela 48. Valores da velocidade corrente do Rio Paraíba em $m.s^{-1}$, em algumas seções demarcadas para a realização do estudo em Atalaia. _____	321
Tabela 49. Valores médios calculados da altura de água nos tempos de retorno estudados. _____	341
Tabela 50. Classes de severidade de inundação apresentadas para os municípios de Quebrangulo, Viçosa e Atalaia. _____	342
Tabela 51. Total pluviométrico mensal, valores máximos e médios de precipitação mensal para o período 1990-2010 no posto pluviométrico de Quebrangulo. _____	381
Tabela 52. Valores máximos e médias das máximas mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Quebrangulo _____	382
Tabela 53. Totais pluviométricos mensais, valores máximos e médios de precipitação mensal e totais anuais para o período 1990-2010 no posto pluviométrico de Viçosa ____	384
Tabela 54. Valores máximos e médias das máximas mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Viçosa _____	385
Tabela 55. Totais pluviométricos mensais, valores máximos e médios de precipitação mensal e totais anuais para o período 1990-2010 no posto pluviométrico de Atalaia ____	387

Tabela 56. Valores máximos e médias das máximas mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Atalaia _____	388
Tabela 57. Postos mais próximos dos pontos de grade do modelo atmosférico ETA utilizados no Teste 04. _____	390
Tabela 58. Valores de Albedo utilizados como parâmetros fixos no modelo Hidrológico MGB-IPH. _____	394
Tabela 59. Valores de Índice de área Foliar utilizados como parâmetros fixos no modelo Hidrológico MGB-IPH. _____	395
Tabela 60. Valores de Alturas das Árvores utilizados como parâmetros fixos no Modelo Hidrológico MGB-IPH. _____	396
Tabela 61. Valores de Resistência Superficial utilizados como parâmetros fixos no Modelo Hidrológico MGB-IPH. _____	397
Tabela 62. Sub-bacias, áreas de drenagens, tipos de solos, áreas e porcentagens dos tipos de solos em relação às áreas das sub-bacias. _____	399
Tabela 63. Valores dos Coeficientes de correlação calculados pelo Modelo Hidrológico MGB-IPH no Teste-1, Município de Quebrangulo - Estado de Alagoas. _____	402
Tabela 64. Valores dos Coeficientes de correlação calculados pelo Modelo Hidrológico MGB-IPH no Teste-1, Município de Viçosa - Estado de Alagoas. _____	405
Tabela 65. Valores dos Coeficientes de correlação calculados pelo Modelo Hidrológico MGB-IPH no Teste-1, Município de Atalaia - Estado de Alagoas. _____	408
Tabela 66. Valores dos Coeficientes de correlação calculados pelo Modelo Hidrológico MGB-IPH no Teste-2, Município de Viçosa - Estado de Alagoas. _____	411
Tabela 67. Valores dos Coeficientes de correlação calculados pelo Modelo Hidrológico MGB-IPH no Teste-2, Município de Atalaia - Estado de Alagoas. _____	414

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%	Percentual
<	Menor
>	Maior
°C	Graus Celsius
AB	Alta da Bolívia
a.C	Antes de Cristo
AC	Alterações Climáticas
ACOE	<i>Army Corps of Engineers</i>
AL	Alagoas
AMSU	<i>Advanced Microwave Sounding Unit</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
APAC	Agência Pernambucana de Água e Clima
AVADAN	Avaliação de Danos
BR	Brasil
CENAD	Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres
CEPED	Centro de Estudos e Pesquisas sobre desastres
COBRADE	Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
COLA	<i>Center for Ocean Land Atmosphere Studies</i>
CONPDEC	Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil
CONUS	<i>Contiguous United States</i>
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
CRWR	<i>Center for Research in water Resources</i>
CSN	Coeficiente de Nash-Sutcliffe
DMET	Diretoria de Meteorologia
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia
DOU	Diário Oficial da União
DSA	Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais
Ds	Densidade do Solo
ECP	Estado de Calamidade Pública

EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EM-DAT	<i>International Disasters Database</i>
EN	El Niño
ENE	Este do Nordeste
ENOS	El Niño Oscilação Sul
ERS	<i>European Remote Sensing Satellite</i>
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
ET	Evapotranspiração
ETA	Modelo Numérico de Previsão do Tempo de Área Limitada
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
GFS	<i>Global Forecast System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GRID	<i>Grid Move Grid Settings</i>
GRU	<i>Grouped Response Unit</i>
hPA	<i>Hectopascal</i>
HEC	<i>Hydrologic Engineering Center</i>
HS	Hemisfério Sul
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IE	Índice de Eficiência de operação
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INS	<i>Inertial Navigation System</i>
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
IPT	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Km	Quilômetro
Km ²	Quilômetro quadrado
Km/h	Quilômetro por hora
Km	Coeficiente de Massividade
Ko	Coeficiente Orográfico
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
LMEO	Linha Média das enchentes ordinárias

LLTM	Linha Limite dos Terrenos Marginais
LN	La Niña
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
MCGA	Modelo de Circulação Geral da Atmosfera
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações do Brasil
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
MERGE	Dados de Precipitação Observada em Conjunto com a Estimativa de Precipitação Proveniente do Satélite TRMM
MGB	Modelo de Grandes Bacias
mm	Milímetro
MMA	Ministério do Meio Ambiente do Brasil
MNT	Modelo Numérico do Terreno
NCEP	<i>National Center for Environmental Prediction</i>
NEB	Nordeste Brasileiro
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
NW	Noroeste
NWS	<i>National Weather Service</i>
NWSRFS	<i>National Weather Service River Forecast System</i>
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
PB	Paraíba
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
PE	Pernambuco
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PNM	Pressão ao Nível do Mar
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

POA	Perturbação Ondulatória nos Alísios
RAS	<i>River Analysis System</i>
Rb	Razão de Bifurcação
RN	Rio Grande do Norte
ROL	Radiação de Onda Longa
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SCS	Serviço de Conservação dos Solos
SE	Situação de Emergência
SE	Sudeste
SEDEC	Secretaria Nacional de Defesa Civil
SEMARH	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINPDEC	Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil
SMC	Sistema de monitoramento de cheias
SNE	Sul do Nordeste
SNIRH	Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
SRHE	Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas
SSARR	<i>Streamflow Simulation and Reservoir Regulation Model</i>
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SWAT	Soil and Water Assesment Tool
TIN	<i>Triangular Irregular Network</i>
TOPODATA	Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil
TRMM	Tropical rainfall measuring mission
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UE	União Européia
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
UFRS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura.
URH	Unidade de Resposta Hidrológica

USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTEXAS	<i>University of Texas</i>
UTC	<i>Coordinated Universal Time</i>
VBA	<i>Visual Basic</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
ZCA	Zona de Confluência dos Alísios
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCEN	Zona de Convergência do Este do Nordeste
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações gerais

A população mundial tem crescido em proporção acelerada nos últimos anos, resultando em impactos hidrológicos, tanto em escala local quanto global (YANG et al., 2012). Nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, o crescimento das cidades após a década de 1970 incrementou a frequência de ocorrência destes eventos, pois poucos países tinham bases de planejamento da ocupação do solo (CHAVES, 2013).

SILVA et al. (2014), relataram que a humanidade foi desafiada pela ocorrência de eventos naturais extremos, responsáveis por grandes quantidades de danos materiais e por inúmeras mortes. Desde 1970, com a crescente frequência e intensidade das catástrofes, a comunidade científica e as instituições internacionais, como a Organização das Nações Unidas (ONU), foram mobilizadas para se preocupar com essa questão. No Brasil, essa preocupação deve-se ao aumento do número de mortes nas décadas de 1960, 1970 e 1980, associado ao rápido crescimento urbano e à ocupação desordenada de áreas inadequadas para urbanização no país. Ano após ano, as catástrofes naturais resultam em um grande número de mortos e feridos, além das perdas económicas dispendiosas. De acordo com o relatório do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), 75% da população mundial vive em áreas que foram afetadas pelo menos uma vez por ciclones, inundações, secas e terremotos entre 1980 e 2000, causando numerosas mortes, impactos na agricultura, recursos hídricos, Na saúde, na economia, etc. (BRAGA et al., 2006).

A utilização pelas sociedades dos elementos naturais como fatores de produção, notadamente, de mercadorias, tem ocasionado mudanças significativas no espaço geográfico, que se evidenciam também como mudanças ambientais decorrentes da ação de vários agentes sociais. Por um lado, a supervalorização do espaço que intensifica a inclusão precária e limitam

o acesso a bens de usos coletivos para as classes sociais já desfavorecidas pelo sistema sociopolítico e económico. Por outro, por exemplo, o aumento da degradação do meio ambiente decorrente de atividades relacionadas ao manuseio inadequado dos solos, que promovem a diminuição da fertilidade natural, supressão da cobertura vegetal e aumento dos processos erosivos (CRISPIN et al., 2015).

VIVAS e MAIA (2011) comentaram que as situações de seca e de escassez constituem problemas de elevada complexidade, cujos impactos, bastante significativos, têm levado a uma preocupação crescente entre os diferentes estados-membro da União Europeia (UE, 2007). Embora as áreas urbanas ocupem uma porção relativamente pequena da superfície terrestre, sua extensão, distribuição e evolução têm grande impacto no meio ambiente e na dinâmica sócio-econômica mundial (SMALL, 2005). Na aquisição de informação sobre essas áreas, os dados e técnicas de sensoriamento remoto exercem um importante papel (ALVES et al., 2009).

As cidades brasileiras apresentam rápido processo de expansão urbana dado às elevadas taxas de crescimento natural da população e migração rural-urbana, quando comparadas com países com alto desenvolvimento tecnológico. De acordo com MAKTAV (2005), o crescimento não controlado da população e a urbanização rápida especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil têm grande impacto no meio ambiente. Considerando que muitas atividades de uso da terra podem resultar em mudanças irreversíveis, é necessário que as necessidades das futuras gerações sejam consideradas (ALVES et al., 2009).

Segundo ROZALIS et al. (2010), as cheias repentinas são consideradas um perigo natural grave e tiveram impactos significativos sobre o homem ao longo da história. Elas podem destruir infraestruturas, causar deslizamentos de terra, danos a campos agrícolas, e causar ferimentos ou mortes tanto para o gado quanto para a espécie humana. As cheias repentinas são definidas como os fluxos (vazões) fortes que ocorrem logo após chuvas

intensas, e que geralmente são geradas por eventos extremos de precipitação, associados com tempestades convectivas e alta intensidade de chuva.

A ciência e tecnologia da mitigação dos desastres de cheias e inundações envolvem políticas e planejamento de uso do solo, projetos de infraestrutura e outros aspectos operacionais. Boas políticas e o planejamento do uso do solo podem diminuir a exposição da população à inundação. Contudo, uma completa proteção contra estes eventos é inviável, o que remete a outras medidas de proteção como a previsão de eventos extremos (TUCCI, 2002).

No Brasil, as perdas em virtude de inundações são agravadas frequentemente pela carência de políticas de gerenciamento do risco e mitigação de danos. GRACIOSA (2009) escreveu que segundo a Associação Contas Abertas (2009), o programa de prevenção e preparação para desastres teve um investimento, no ano de 2009, da ordem de 1% do total investido no programa de resposta aos desastres. Recentes catástrofes provocadas por eventos hidrológicos em vários estados da Federação revelaram a fragilidade das atuais políticas para o tratamento do problema das inundações. A demanda por políticas orientadas ao risco, em lugar da tradicional abordagem orientada ao evento, torna-se evidente.

Um dos principais entraves na prevenção de mortes devido aos eventos extremos é o curto período existente para a remoção da população localizada nas áreas de risco. Nesse contexto, a modelação matemática surge como importante ferramenta de apoio à decisão, por sua capacidade de fornecer respostas sistêmicas para cenários diversos, em um exercício de predição e antecipação de efeitos resultantes de possíveis medidas de projeto (LOU, 2010).

O processo de modelagem tornar-se-á um dos potenciais caminhos para a consolidação dos objetivos e instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, possibilitando análises mais criteriosas quanto aos efeitos

na dinâmica hidrológica das vazões relacionados a impactos de construções de barragens, modificação do uso do solo, transporte de sedimentos, concessão de outorgas, previsão de cheias e áreas de alagamentos, bem como a estimativa de secas (LATUF, 2011).

Os Estado de Alagoas e Pernambuco estão inseridos na Região Nordeste do Brasil, e apresentaram nas últimas décadas ciclos regulares de enchentes com várias mortes, destruição de parte de cidades, arrasando patrimónios públicos e privados. A primeira grande cheia que se tem registro é datada de 19 de maio de 1949 (Figura 01), durante a Semana Santa. Segundos relatos, choveu ininterruptamente durante quase 36 horas (G1 Notícias, 2013).



Figura 01. Enchente de 1949 no município de São José da Laje - Estado de Alagoas

Fonte: G1 Notícias (2013).

A seguir, serão listadas as maiores cheias que se tem registro no Estado de Alagoas. Vale ressaltar que as inundações de 1914 e 1941 não

serão citadas, visto que não há informações sobre elas, tendo apenas a população mais antiga informações a respeito delas.

CHEIA DE 1969

A inundação ocorrida no dia 14 de março de 1969   uma das mais lembradas pelos moradores do município de São José da Laje-AL, a 96,00 km de distância de Maceió. Naquele ano, o Rio Canhoto, afluente do Rio Mundaú, teve as suas águas extravasadas para o leito maior, sendo uma verdadeira "tromba d' gua". Foram registradas 400 mortes durante as 4 horas em que o trágico evento aconteceu na cidade, onde 1.200 casas ficaram totalmente destruídas e 10.000 pessoas foram diretamente atingidas. Na ocasião, o prefeito assinou um decreto que proibia a utilização das margens do Rio Canhoto para fins de moradia no perímetro urbano, sendo seguido durante o dec nio posterior ao ocorrido, fato que não se observa mais, pois a população voltou a ocupar as margens do rio. Em toda a região, 1.100 pessoas morreram no momento desta inundação (SOUZA, 2011).

Diversos jornais da época registraram a catástrofe. A seguir estão listadas algumas das notícias que saíram impressas nos principais meios de comunicação da época (jornais e revistas), visto que não existia os diversos meios de comunicação atuais.

NOTICIA 01 - REVISTA O CRUZEIRO

O Diário da Noite, do Rio de Janeiro estampou a seguinte manchete para informar sobre a tragédia: "Cadáveres boiam nas ruas". Naquela mesma noite caíram chuvas pesadas em Pernambuco, Paraíba e Ceará. No Vale do Rio Mundaú foram atingidas as localidades de Barra do Canhoto, em Pernambuco, e São José da Laje (Figura 02), Rocha Cavalcante, Santana do Mundaú, União dos Palmares, Branquinha, Murici, Messias, Rio Largo, Satuba e Maceió, no Estado de Alagoas. As  guas vieram pelo Rio Canhoto, passaram em São José da Laje e um pouco abaixo recebeu as águas do Rio Inhaúma e

foi se juntar ao Rio Mundaú em União dos Palmares, compondo um imenso volume d'água que veio provocando destruição até a Lagoa Mundaú, em Maceió, que sofreu inundações no bairro do Trapiche da Barra. Os técnicos avaliaram na época que o volume de água de 1969 era inferior ao da cheia de 1962. Os danos teriam sido ampliados por causa da destruição da barragem da Usina Serra Grande, que provocou a tromba d'água, arrasando a cidade e a própria usina, que era considerada a segunda maior de Alagoas e sofreu perdas materiais superiores a 4 milhões de cruzeiros novos, moeda da época. Só de açúcar essa perda foi de 100 mil sacas (HISTÓRIA DE ALAGOAS, 2016).



Figura 02. Enchente de 1969 no município de São José da Laje - Estado de Alagoas.
Fonte: HISTÓRIA DE ALAGOAS (2016).

NOTICIA 02 - JORNAL DIÁRIO DE PERNAMBUCO

“Destruição causada pelas enchentes em Alagoas assume gigantescas proporções. São José da Laje é agora uma cidade que as águas riscaram do

mapa. É impossível calcular-se o número de pessoas que morreram" (Figura 03) (JORNAL DIÁRIO DE PERNAMBUCO, 1969).



Figura 03. Tragédia em São José da Laje - Estado de Alagoas

Fonte: JORNAL DIÁRIO DE PERNAMBUCO (1969).

NOTICIA 03 - JORNAL DIÁRIO DE PERNAMBUCO

"Governo anuncia que 233 cadáveres foram encontrados até agora. Ainda chove em todo o Vale do Mundaú. " Na cidade de São José da Laje-AL as buscas continuam intensas, em meio a uma fedentina insuportável. Tal fato alertou as autoridades sanitárias para uma possível epidemia, mas a vacinação em massa, a farta distribuição de antibióticos e outras medidas preventivas afastaram essa hipótese. Apenas ocorreu um caso de tifo. Cerca de 10 mil pessoas já foram vacinadas contra vários tipos de doença" (Figura 04), (JORNAL DIÁRIO DE PERNAMBUCO, 1969).



Figura 04. Notícia da tragédia de 1969 no Rio Mundaú.
Fonte: JORNAL DIÁRIO DE PERNAMBUCO (1969).

CHEIAS DE 1988 e 1989

Nos anos de 1988 e 1989, foram registrados também eventos de inundações nos Estados de Alagoas e Pernambuco, em especial nas Bacias Hidrográficas dos Rios Paraíba e Mundaú, porém, também com poucas informações.

No ano de 1988, 21 municípios do Estado de Alagoas foram atingidos pelas enchentes do mês de maio. Foram registradas 9.000 casas atingidas, sendo 4.000 totalmente destruídas. Houve atingimento de serviços essenciais de abastecimento de água, saúde, educação, energia elétrica, além dos danos provocados na infraestrutura viária de um modo geral (FRAGOSO JR. et al., 2010).

No ano seguinte, em julho de 1989, o fenômeno se repete com maior intensidade, atingindo 17 dos 21 municípios que constituem as Bacias

Hidrográficas dos Rios Paraíba e Mundaú. Na ocasião, 14.600 casas foram atingidas, das quais 6.700 totalmente destruídas. O sistema viário foi extremamente afetado, sendo as principais estradas danificadas as rodovias ALs 101, 210 e 220 e as BRs 101, 104 e 316. No entanto, os maiores estragos se verificaram nas vias intermunicipais causando a destruição total ou parcial de centenas de quilômetros de estradas vicinais, pontes, pontilhões, etc. As vias urbanas, dezenas de prédios públicos e praças, foram duramente atingidos. Os custos estimados para a reconstrução da região foram de 200 milhões de dólares, na época. Ainda em 1989, o Distrito Industrial Luiz Cavalcante, localizado na cidade de Maceió, passou pela fase mais crítica de sua história, com 26 indústrias seriamente atingidas pelas chuvas, provocando a paralisação de toda a atividade industrial por mais de três semanas (FRAGOSO JR. et al., 2010).

CHEIA DE 2000

Este severo evento de precipitação que atingiu os Estados de Alagoas e Pernambuco possui mais informações, inclusive com algumas análises meteorológicas das causas do evento.

As fortes chuvas ocorridas em Alagoas no final do mês de julho e início de agosto de 2000 provocaram nova catástrofe na região. Segundo o jornal Gazeta de Alagoas do dia 03/08/00 o número de mortes causadas pelas chuvas que caíram em Alagoas chegou a 36, principalmente na Região Norte e na Zona da Mata do Estado. De acordo com as informações divulgadas pela Coordenação da Defesa Civil no dia 02/08/00, o número de desabrigados passou de 70 mil. Em 26 municípios foi decretado estado de emergência. Dentre as cidades que registraram o maior número de vítimas no Estado de Alagoas estão Matriz do Camaragibe, com 15 mortos, Passo do Camaragibe, São Luiz do Quitunde e Rio Largo, com cinco mortes cada uma. Maceió e União dos Palmares registraram, cada uma, duas vítimas fatais das chuvas, enquanto que Satuba teve uma vítima. Oito pontes na Região Norte ficaram destruídas, deixando todos os municípios sem acesso por terra à capital. Outro

fato verificado foram as epidemias de algumas moléstias de veiculação hídrica que atingiram as cidades. A incidência de sarampo, leptospirose, doenças infecto-contagiosas em geral, cresceram após as inundações (REIS et al., 2000).

1.2 Âmbito e Objetivos

Este estudo insere-se no domínio dos desastres naturais, onde se buscou uma solução para a prevenção dos impactos causados pelas inundações bruscas ocorridas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, localizada entre os Estados de Alagoas e Pernambuco. Como não é possível controlar o aumento do número de ocorrências das inundações severas, medidas preventivas e mitigadoras devem se tornar mais eficazes e acessíveis, a objectivar a diminuição dos danos e o número de pessoas afetadas (GOERL et al., 2012).

A relação do homem com a natureza ao longo da história evoluiu de uma total submissão e aceitação fatalista dos fenômenos da natureza a uma visão equivocada de dominação pela tecnologia. As inundações que ultrapassaram e romperam diques e barragens em New Orleans, por ocasião do Furacão Katrina em 2005, nos Estados Unidos e o terremoto de Kobe no Japão em 1995, com milhares de vítimas e pessoas afetadas, são exemplos que demonstram que muitas vezes os fenômenos naturais surpreendem até mesmo as nações mais bem preparadas para enfrentá-los. Obviamente os avanços tecnológicos permitem hoje que a humanidade enfrente melhor os perigos decorrentes destes fenômenos (TOMINAGA et al., 2009).

Desde o fim da Segunda Guerra Mundial cerca de 1.200 desastres naturais afetaram a vida de mais de 2,3 milhões de pessoas em todo o mundo, causando muitos danos humanos e severas perdas econômicas. Na década de 70, eventos como o ciclone tropical que atingiu a costa de Bangladesh e o terremoto que atingiu a Guatemala, que juntos vitimaram cerca de 280.000 pessoas, aumentaram a consciência na comunidade internacional de que os

desastres se tornaram um dos maiores desafios para a saúde pública (SOBRAL et al., 2010).

Em um contexto de escassez e ao mesmo tempo do aumento da procura, a gestão dos recursos hídricos adquire cada vez a maior importância. De acordo com GOYAL (2004), as alterações climáticas tendem às conseqüências graves no ciclo hidrológico, principalmente, na precipitação, na evapotranspiração e na humidade do solo, entre outros. A desertificação, por exemplo, sucede em ecossistemas de regiões secas ou semiáridas, extremamente vulneráveis sobre a exploração e o uso indevido do solo e da água. Por outro lado, os riscos de inundação são também o resultado de estratégias inadequadas de gestão do solo (SAMPAIO, 2009).

BURTON et al. (1978) sugeriram sete parâmetros para as pesquisas científicas relacionadas aos eventos naturais que estão diretamente vinculados aos desastres naturais: magnitude (alta – baixa); frequência (frequente – rara); duração (longa – curta); extensão em área (ampla – limitada); velocidade de ataque (rápida – lenta); dispersão espacial (difusa – concentrada); dispersão temporal (regular – irregular). (KOBAYAMA et al., 2006).

COOK e MERWADE (2009) escreveram que as Inundações são alguns dos principais desastres naturais que afetam muitas partes do mundo, incluindo as nações desenvolvidas. Além de perder bilhões de dólares em danos à infraestrutura e à propriedade, centenas (às vezes milhares) de vidas humanas são perdidas a cada ano devido as inundações. PARIZZI (2014) citou que as inundações são os tipos de desastres mais frequentes no Brasil (representadas pelos tipos graduais e bruscos, com 59% dos registros), seguidas pelos escorregamentos (14%). A maioria destes desastres (mais de 80%) está associada às instabilidades atmosféricas severas, que são responsáveis pelo desencadeamento de inundações, vendavais, tornados, granizos e escorregamentos. Com exceção das inundações graduais, esses fenômenos são súbitos e violentos, responsáveis por grande mortandade e destruição (MARCELINO, 2008).

De acordo com a Defesa Civil do Brasil, em um cenário de extensão continental, com cerca de 8,5 milhões km², 7.367 km de litoral banhado pelo Oceano Atlântico e 182 milhões de habitantes, o Brasil apresenta características regionais de desastres, onde os desastres naturais mais prevalentes podem ser observados conforme a Tabela 01 (PARIZZI, 2014).

REGIÃO DO BRASIL	TIPO DE DESASTRES
Norte	Incêndios florestais e inundações
Nordeste	Secas e inundações
Centro-Oeste	Incêndios Florestais
Sudeste	Deslizamentos e inundações
Sul	Inundações, vendavais e granizo

Tabela 01. Distribuição dos tipos de desastres por Região Brasileira.

Fonte: PARIZZI (2014).

A busca de soluções para os problemas de enchentes urbanas, que afetam a qualidade de vida das populações, não pode prescindir de conhecimentos técnicos e científicos que combinem a hidrologia urbana e a hidráulica, associadas ao geoprocessamento. As inundações são problemas recorrentes em várias cidades brasileiras, as quais, em áreas densamente ocupadas, provocam prejuízos consideráveis e, em muitos casos, resultam em perdas de vidas humanas (SULEIMAN E BARBASSA, 2005 apud CABRAL et al., 2016).

Segundo OLIVEIRA et al. (2010), o mapeamento das áreas susceptíveis às inundações é um recurso muito importante para a leitura e

compreensão das enchentes, o qual, se bem empregado, pode minimizar os impactos decorrentes. COOK (2009) relatou que a maioria dos projetos de mapeamento de inundações na Europa foi iniciada no final dos anos 90, devido a grandes inundações que ocorreram neste período. Uma das ferramentas mais importantes são os sistemas de alerta de cheias, que associam modelos meteorológicos, hidrológicos e hidráulicos para antecipar o conhecimento sobre as ondas de cheias e reduzir os impactos desses eventos (CABRAL et al., 2016).

O objetivo principal deste estudo é aperfeiçoar e consolidar um método que constitua um Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC) que permita mapear as áreas de risco de cheia das regiões ribeirinhas de três (03) municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba e de seus afluentes, visando minimizar perdas de vidas humanas e danos materiais. Assim, este trabalho irá contribuir para elaboração de plano de contingência da Defesa Civil Estadual. Pretende-se ainda que o método resultante deste trabalho possa vir a ser utilizado noutras bacias hidrográficas e assim contribuir para uma melhor previsão de riscos e elaboração de planos de contingência de uma forma alargada a outras regiões do território.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Desastres naturais ocorrem com grande frequência em todo o mundo. Segundo TUCCI (2009), 50% das ocorrências são devido às cheias. O Brasil encontra-se entre os países do mundo mais atingidos por inundações e enchentes, tendo registrado 94 desastres cadastrados na *Emergency Disasters Data Base* (EM-DAT) no período de 1960 a 2008, com 5.720 mortes e mais de 15 milhões de pessoas afetadas, entre desabrigados e/ou desalojados (TOMINAGA et al., 2009). No Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, disponibilizados pelo Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (BRASIL, 2012), são constatadas no período de 1991 a 2010, as ocorrências de 6.771 desastres naturais causados por inundações bruscas e alagamento e 3.673 registros de inundações graduais (enchentes) (OLIVEIRA et al., 2014).

2.1 Desastres naturais

Segundo TOMINAGA et al., (2009), diversos estudos indicam que a variabilidade climática atual, com tendências para o aquecimento global, está associada a um aumento de extremos climáticos. Nesta situação, os eventos de temporais, chuvas intensas, tornados ou de estiagens severas, entre outros, podem tornar-se mais frequentes, a aumentar a possibilidade de incidência de desastres naturais, que podem ser provocados por diversos fenômenos, tais como, inundações, escorregamentos, erosão, terremotos, tornados, furacões, tempestades e estiagens. Além da intensidade dos fenômenos naturais, o acelerado processo de urbanização verificado nas últimas décadas, em várias partes do mundo, inclusive no Brasil, levou ao crescimento das cidades, muitas vezes em áreas impróprias à ocupação, aumentando as situações de perigo e de risco a desastres naturais.

KOBIYAMA et al. (2006), escreveram que, os desastres de origem natural podem estar relacionados com a dinâmica interna ou externa da Terra, ou seja, eventos ou fenômenos internos causados pela movimentação das

placas tectônicas, que têm reflexo na superfície do planeta (terremotos, maremotos, tsunamis e atividade vulcânica); ou de origem externa gerada pela dinâmica atmosférica (tempestades, tornados, secas, inundações, ressacas, vendavais).

Segundo SILVA (2014), autores como HEITZMANN; CANAGARAJAH e SIEGEL (2002); HOLZMANN, SHERBURNE-BENS e TESLIUC (2003); e HOOGEVEEN, TESLIUC e VAKIS (2005), por exemplo, em seus trabalhos partem do reconhecimento de que existe uma série de eventos de origem diversa, que podem ameaçar indivíduos, grupos ou até sociedades inteiras. Consideram que tais fatores, denominados riscos, necessitam ser mais bem conhecidos para que medidas apropriadas sejam tomadas, a fim de evitar a sua ocorrência, reduzir ou, ao menos, amenizar seus impactos sociais negativos.

De acordo com TOMINAGA et al. (2009), as classificações mais utilizadas distinguem os desastres quanto a origem e a intensidade, segundo ALCÂNTARA-AYALA (2002) e MARCELINO (2008). Quanto a origem, ou causa primária do agente causador, explicou-se que os desastres podem ser classificados em naturais ou humanos (antropogênicos). Os desastres naturais são aqueles causados por fenômenos e desequilíbrios da natureza que atuam independentemente da ação humana. Em geral, considera-se como desastre natural, todo aquele que tem como gênese um fenômeno natural de grande intensidade, agravado ou não pela atividade humana, como chuvas intensas, inundações, erosão, escorregamentos, dentre outros. Podem ser ainda originados pela dinâmica interna e externa da terra. Já os desastres humanos ou antropogênicos são aqueles resultantes de ações ou omissões humanas e estão relacionados com as atividades do homem, como agente ou autor, se enquadrando os acidentes de trânsito, incêndios urbanos, contaminações de rios, dentre outros (SILVA, 2014).

De acordo com CASTRO (1999), os desastres naturais podem ser classificados da seguinte maneira:

a) Intensidade

A Tabela 02 apresenta os 4 níveis de desastres com relação a intensidade.

NÍVEL	INTENSIDADE	SITUAÇÃO
I	Desastres de pequeno porte, onde os impactos causados são pouco importantes e os prejuízos pouco vultuosos. (Prejuízo ≤ 5% do PIB* municipal)	Facilmente superável com os recursos do município.
II	Desastres de média intensidade, onde os impactos são de alguma importância e os prejuízos são significativos, embora não sejam vultuosos. (5% < Prejuízo ≤ 10% PIB*)	Superável pelo município, desde que envolva uma mobilização e administração social.
III	Desastres de grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultuosos (10% < Prejuízo ≤ 30% PIB*)	A situação de normalidade pode ser restabelecida com recursos locais, desde que complementados com recursos estaduais e federais (Situação de Emergência - SE)
IV	Com impactos muito significativos e prejuízos muitos vultuosos. (Prejuízo > 30% PIB*)	Não é superável pelo município, sem que receba ajuda externa. Eventualmente necessita de ajuda internacional (Estado de Calamidade Pública - ECP)

*PIB - Produto Interno Bruto

Tabela 02. Nível de desastres com relação à intensidade.

Fonte: Adaptado de CASTRO (1999) e KOBAYAMA et al. (2006).

De acordo com a Tabela 02, os níveis I e II são desastres facilmente superáveis pelo município, não havendo necessidade de recursos proveniente do estado ou da união. O nível III significa que a situação de funcionalidade pode ser restabelecida com os recursos locais, desde que complementados com recursos estaduais e federais. Neste nível, o município declara Situação de Emergência (SE). O nível IV significa que o desastre não é superável pelos municípios, mesmo quando bem informados e preparados (CASTRO, 1999).

b) Evolução

CASTRO (1999) explica que há três tipos de desastres relacionados à evolução. Os desastres súbitos são aqueles que se caracterizam pela rápida velocidade com que o processo evolui, por exemplo, as inundações bruscas e os tornados. Ao contrário do anterior, os graduais caracterizam-se por evoluírem em etapas de agravamento progressivo, como as inundações graduais e as secas. O outro tipo é a soma de efeitos parciais, que se caracteriza pela ocorrência de numerosos acidentes semelhantes, cujos impactos, quando somados, definem um desastre de grande proporção. Por exemplo, acidentes de trânsito e de trabalho.

c) Origem

Este critério também se caracteriza por três tipos (CASTRO 1999):

- **Naturais** - São aqueles provocados por fenômenos naturais extremos, que independem da ação humana;
- **Humanos** - São aqueles causados pela ação ou omissão humana, como os acidentes de trânsito e a contaminação de rios por produtos químicos;
- **Desastres mistos** - Associados às ações ou omissões humanas, que contribuem para intensificar, complicar ou agravar os

desastres naturais. É muito difícil ocorrer um desastre puramente natural. Quase todos os desastres recebem de alguma maneira, uma influência antrópica. Assim, se for olhado por este prisma, existiriam somente desastres mistos.

d) Duração

SIDLE et al. (2004) classificaram os desastres naturais em dois tipos com relação a duração: episódicos e crônicos. Geralmente os desastres denominados episódicos tais como terremoto, vulcanismo, tsunami, inundação e fluxo de detrito, chamam mais atenção por causa de sua magnitude. Entretanto, desastres crônicos tais como erosão do solo, geram sérios prejuízos ambientais, especialmente em longo prazo. A erosão do solo pode causar desertificação, degradação, assoreamento dos rios, entre outros, podendo resultar na incidência de mais eventos catastróficos, como escorregamentos e inundações.

Sendo assim, estes desastres que tanto influenciam as atividades humanas vêm historicamente se intensificando devido ao mau gerenciamento das bacias hidrográficas, especialmente pela falta de planejamento urbano. Além disso, o aquecimento global tem aumentado a frequência e a intensidade das adversidades climáticas, como precipitações extremas, vendavais, granizos entre outros, o que acarreta no aumento da incidência de desastres naturais (KOBAYAMA et al., 2006).

2.2 Cheias e inundações

As enchentes são caracterizadas por fenômenos em que são verificados valores extremos de vazão ou nível, associados a inundações das planícies ou de áreas adjacentes ao canal principal dos cursos de água. Também são consideradas cheias quando o nível de água de lagos, diques, reservatórios ou estuários excede um valor crítico e inunda áreas vizinhas, ou,

ainda, quando as águas do mar ocupam áreas costeiras muito além do nível médio naquela região (VIANNA, 2000).

Diversos autores apresentam classificações para os tipos de cheias. YEVJEVICH (1992) classifica as cheias em três grupos, em função da sua ocorrência:

- Cheias naturais – são aquelas verificadas em determinada bacia hidrográfica, independente da ocupação humana;
- Cheias naturais modificadas – são aquelas em que se verificam alterações causadas pelas populações, resultando em atenuação ou ampliação dos efeitos das cheias, comparada às cheias naturais; e
- Cheias causadas por intervenção humana – são aquelas causadas por rupturas em estruturas de contenção, como, por exemplo, barragens ou diques, subdimensionadas por erro de cálculo ou por vazão com tempo de retorno superior ao considerado no projeto, ou por erros de operação nos equipamentos de controle de vazão.

Segundo SILVA (2014), normalmente, as enchentes são cíclicas e sazonais e intensificadas por variáveis climatológicas de médio e longo prazo e pouco influenciáveis por variações diárias do tempo. Relacionam-se muito mais com períodos demorados de chuvas contínuas do que com chuvas intensas e concentradas, sendo caracterizadas por sua abrangência e grande extensão, ocorrendo principalmente em grandes bacias hidrográficas e em rios de planície. Simplificando, as inundações acontecem quando as águas de um determinado canal ou de um rio ficam acima do seu limite, subindo suas águas e inundando as ruas e as casas próximas aos cursos d'água.

CASTRO (2003) apud SILVA (2014) destacam também que as enchentes em grandes bacias evoluem de forma facilmente previsível e que a onda de cheia desenvolve-se de montante para jusante, guardando intervalos regulares. O Autor enfatiza que, de um modo geral, a previsibilidade das cheias periódicas e graduais facilita a convivência com o fenômeno, de tal forma que grandes danos ocorrem apenas nas inundações excepcionais ou em função de vulnerabilidades culturais, características de mentalidades imediatistas e sem o mínimo de previsibilidade.

SILVA (2005) explicou que as Inundações podem ocorrer tanto no espaço urbano como no rural. Já as enchentes são um fenômeno urbano, pois estas ocorrem quando uma grande quantidade de chuva atinge determinada parte de uma cidade. Se este local contar com áreas verdes, e/ou com pouco pavimento, o próprio solo se encarrega de absorver boa parte dessa água. Porém, não é isso que ocorre na maioria das cidades brasileiras, pois o termo impermeável vem se tornando sinônimo de urbano. A água que antes era absorvida pelo solo, agora fica retida na superfície. Nesta situação, quanto maior for a chuva, maior será a quantidade de água em suspensão no solo, que por consequência se acumula sobre a superfície pavimentada, outro fator que contribui para a formação de enchentes, e falta de manutenção de sistemas de drenagem ou a sua inexistência. Esta é a gênese da enchente, fenômeno que trás inúmeros prejuízos para as cidades, e que vem ocorrendo com uma frequência cada vez maior em nosso país.

Segundo GOERL e KOBAYAMA (2005), a classificação da cheia em rápida ou lenta é função não apenas do tipo de chuva, da topografia e da superfície, mas também do preparo da bacia como lidar com a sua ocorrência. Foi proposto por eles um índice de eficiência de operação (IE) definido como a relação entre o tempo de concentração (t_c) e o tempo operacional de resposta do sistema de proteção da bacia (t_o). Quando $IE > 1$, tem-se uma inundação lenta, e, quando $IE < 1$, tem-se uma inundação rápida, ou brusca.

MACHADO et al. (2005) explicam que existem três (03) procedimentos de avaliação de impactos sócio económicos de inundações, que são os métodos conceituais, métodos de avaliação direta, e análise de vulnerabilidade. Os métodos conceituais são baseados em técnicas de análise económica chamadas hedônica ou contingente. A análise hedônica baseia-se na premissa de que o controle de inundações é um bem para qual existe uma demanda e uma disposição a pagar. A análise hedônica busca a identificação desta disponibilidade a pagar por meio de valoração do mercado imobiliário, por exemplo, comparando valores de imóveis em diferentes áreas quanto ao risco de inundação. Estes diferentes valores, no entanto, podem ser fruto de outras razões que não seja o risco de inundação no local onde está situado o imóvel, razão pela qual a análise hedônica possui alto grau de incerteza. A análise contingente, por outro lado, aplica questionários junto aos moradores para avaliar a disposição a pagar por medidas de controle de inundação, o que é avaliado por meio de cenários hipotéticos de diferentes tipos de controle.

Os métodos de avaliação direta buscam elaborar uma descrição detalhada e precisa do conjunto de impactos gerados por inundações, tomando por base inventários de danos em zonas sinistradas (avaliação a posteriori) ou construção de cenários de danos a partir da definição detalhada de patologias causadas por inundações (avaliação a priori). Procuram-se estabelecer relações funcionais entre os danos de inundações e variáveis hidráulicas associadas à submersão por inundação, tais como a profundidade, a duração e a velocidade de escoamentos. A avaliação direta pode compreender tanto danos diretos quanto indiretos, embora os maiores progressos metodológicos tenham se dado no caso dos danos diretos (MACHADO et al., 2005).

A análise de vulnerabilidade busca estabelecer uma associação entre a aleatoriedade do evento hidrológico (risco hidrológico), os bens expostos, os danos potenciais decorrentes da ocorrência de um evento hidrológico de certa magnitude e os recursos disponíveis para fazer face ao risco (antecedência para agir, capacidade física das pessoas expostas, meios financeiros para recuperar áreas atingidas, cobertura de seguros, dentre outros). No conceito

clássico, muitas vezes a vulnerabilidade é traduzida em termos financeiros, admitindo-se que quanto maiores os prejuízos causados por uma inundação maior a vulnerabilidade da área inundável em foco. Esse enfoque tradicional da análise de vulnerabilidade tem sido freqüentemente questionado como redutor apenas a sua dimensão económica e financeira de um problema complexo, com reflexos sociais, políticos e ambientais importantes (MACHADO et al., 2005).

BARTH (1987) apud LOU (2010) salientou que, as medidas disponíveis para minimização dos efeitos danosos e mitigação dos impactos negativos causados pelas cheias podem ser divididos em quatro grupos:

- Nenhuma medida, estrutural ou administrativa, o que significa induzir as pessoas apenas a se adaptarem ao fenômeno da cheia, como por exemplo, manter as planícies de inundação ocupadas principalmente pela agricultura, beneficiando-se dos depósitos de nutrientes e da humidade do solo, decorrente das cheias;
- Apenas medidas não-estruturais para mitigação dos impactos negativos das cheias, sendo previstas a regulamentação da utilização do solo das planícies de inundação, a implementação de sistemas de alerta contra cheias e utilização de seguros contra cheias;
- Apenas medidas estruturais que alteram as condições de geração das cheias, podendo ser subdivididas em medidas intensivas, tais como construção de diques, barragens e obras de retificação de cursos de água em locais com problemas de inundação, ou medidas extensivas, com propostas, para toda a bacia de contribuição, de restrições à impermeabilização parcial ou total do solo ou construção de barragem de contenção de cheias em pontos específicos da bacia para amortecimento dos picos das cheias em áreas a jusante das barragens;

- Medidas estruturais e não-estruturais implementadas em conjunto.

De acordo com GRACIOSA (2010), para o gerenciamento do risco de inundações é importante caracterizar o processo de formação de cheias da bacia hidrográfica, que é influenciado pelo regime de chuvas, topografia, tipo de solo e condições de uso e ocupação do solo na bacia. Uma classificação usual é aquela que avalia se a formação da cheia ocorre de forma brusca (cheia rápida) ou gradual (cheia lenta). Esta diferenciação é importante para o tratamento do risco, uma vez que dela depende o tempo disponível de ação.

GRACIOSA (2010) escreveu que nas cheias lentas (também chamadas aluviais), as águas elevam-se de forma gradual e previsível. O nível do canal mantém-se temporariamente elevado e, a seguir, escoam gradualmente. Normalmente essas cheias correspondem a períodos cíclicos de precipitação, facilmente identificados por sua sazonalidade e são causadas por chuvas de intensidade moderada, porém duradouras. As cheias rápidas (*flash floods*), também chamadas repentinas ou bruscas, são consideradas pela Defesa Civil do Brasil consequências da ocorrência de fortes precipitações em curtos períodos sobre regiões de relevo acentuado.

RIGHI (2016) relata que, em 2011, a Secretaria Nacional de Defesa Civil e o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), publicaram o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (CEPED, 2012). Nesse volume a definição de inundação gradual não é mais tratada como sinônimo de enchente. Assim, quando as águas extravasam a cota máxima do canal, as enchentes passam a ser chamadas de inundações, se for de forma paulatina e gradual pode ser chamada também de inundação gradual (CEPED, 2012). As inundações bruscas continuam como sinônimo de enxurrada e com a mesma definição de CASTRO (2003).

Quando a população ocupa o leito maior, que são áreas de risco, os impactos são frequentes. As enchentes naturais nas áreas ribeirinhas provocam grandes desastres, principalmente em cidades que se situam nas margens de grandes rios, onde a população, especialmente a de baixa renda, ocupa o leito maior do rio e as planícies de inundação (SILVA, 2014).

LOU (2010) afirma que mais um problema gerado com a destruição da cobertura vegetal é a aceleração do processo erosivo, que contribui para o assoreamento dos cursos de água, reduzindo as seções das calhas dos rios, que anteriormente suportavam as vazões. Depois de sofridas tais modificações, gera-se extravasamento das águas. Com a retirada da vegetação, inicia-se o processo de ocupação desses espaços menos nobres do meio urbano (encostas, manguezais, brejos, entre outros) pelas favelas, o que traz impactos diretos no ciclo hidrológico da bacia hidrográfica, como a redução do amortecimento das cheias. Além disto, por não contarem com uma infraestrutura básica adequada, essas ocupações lançam irregularmente lixos nas encostas ou nos rios, que acabam sendo incorporados no escoamento urbano, atrapalhando o fluxo de água e complicando o quadro das enchentes.

A Figura 05 demonstra uma ilustração do fluxo de água quando o leito maior de um rio, considerado como área de risco, é ocupado indevidamente pela população, podendo causar sérios riscos tanto ambientais, materiais e humanos (RIGHI, 2016).

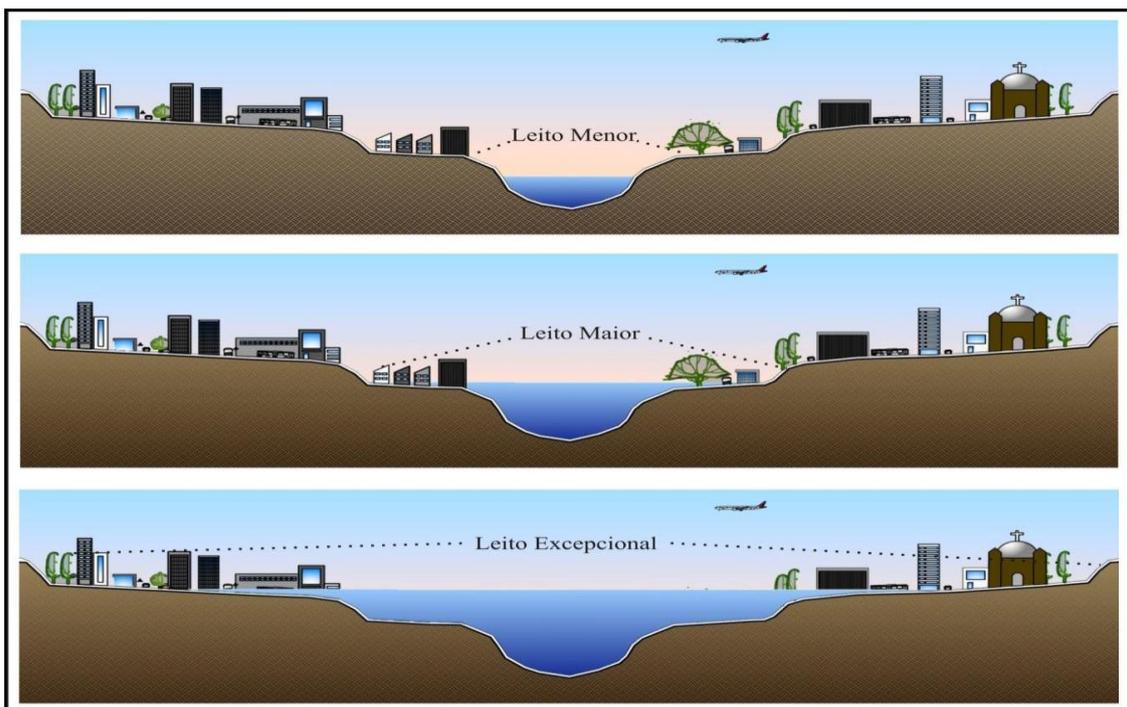


Figura 05. Ocupação desordenada e suas consequências.

Fonte: CUNHA e GUERRA (1998) apud RIGHI (2016).

Com efeito, a problemática das cheias e inundações é marcada fortemente pela intervenção humana e requer respostas a diversos níveis e escalas espaciais e temporais (MERZ et al., 2010 apud SANTOS, 2015).

2.2.1 Inundações no Brasil

As condições naturais são caracterizadas pelos condicionantes físicos que constituem uma bacia, tais como o relevo, o tipo de precipitação pluviométrica, a cobertura vegetal e a sua capacidade de drenagem. Neste caso, a interferência humana não influi na ocorrência das inundações. Nas condições artificiais, o homem é agente principal para a ocorrência de inundações, já que seus produtos (obras hidráulicas, desmatamento, uso agrícola, urbanização desordenada) geram como consequência o aumento da vazão máxima e do escoamento superficial, acelerando assim a ocorrência das inundações (COSTA, 2010).

A combinação destes condicionantes (naturais e artificiais) é responsável pelas principais inundações no Brasil, principalmente nas áreas urbanas. Segundo PEREIRA e SILVA (2007), elas ocorrem, principalmente, devido ao desmatamento, pavimentação do solo, construções, movimentos de terra, e aos aterros de reservatórios e de curso d'água, aumentando a frequência e magnitude das enchentes, somado ao processo natural no qual o volume da água do rio transborda até o leito maior da planície de inundação, atingindo as habitações que ocupam áreas inapropriadas à ocupação humana (COSTA, 2010).

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA, 2013), foi possível se fazer uma análise da frequência de ocorrência de eventos de cheia entre os anos de 2003 a 2012, com dados disponibilizados pela Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC). Os Estados de Minas Gerais (Região Sudeste do Brasil), Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Região Sul do Brasil) foram os que apresentaram o número de maior recorrência de eventos de cheia no período de estudo. Somente em Santa Catarina, 76 municípios tiveram uma frequência de ocorrência de cinco (05) ou mais eventos de cheia no período analisado. A região das Bacias Hidrográficas do Atlântico Sul apresentou o maior número de municípios com frequência acima de cinco (05) ocorrências de eventos de cheia.

A Figura 06 demonstra a frequência de ocorrências de eventos de cheia no Brasil, uma ilustração de um produto disponível pela ANA em seu sítio, de domínio público.

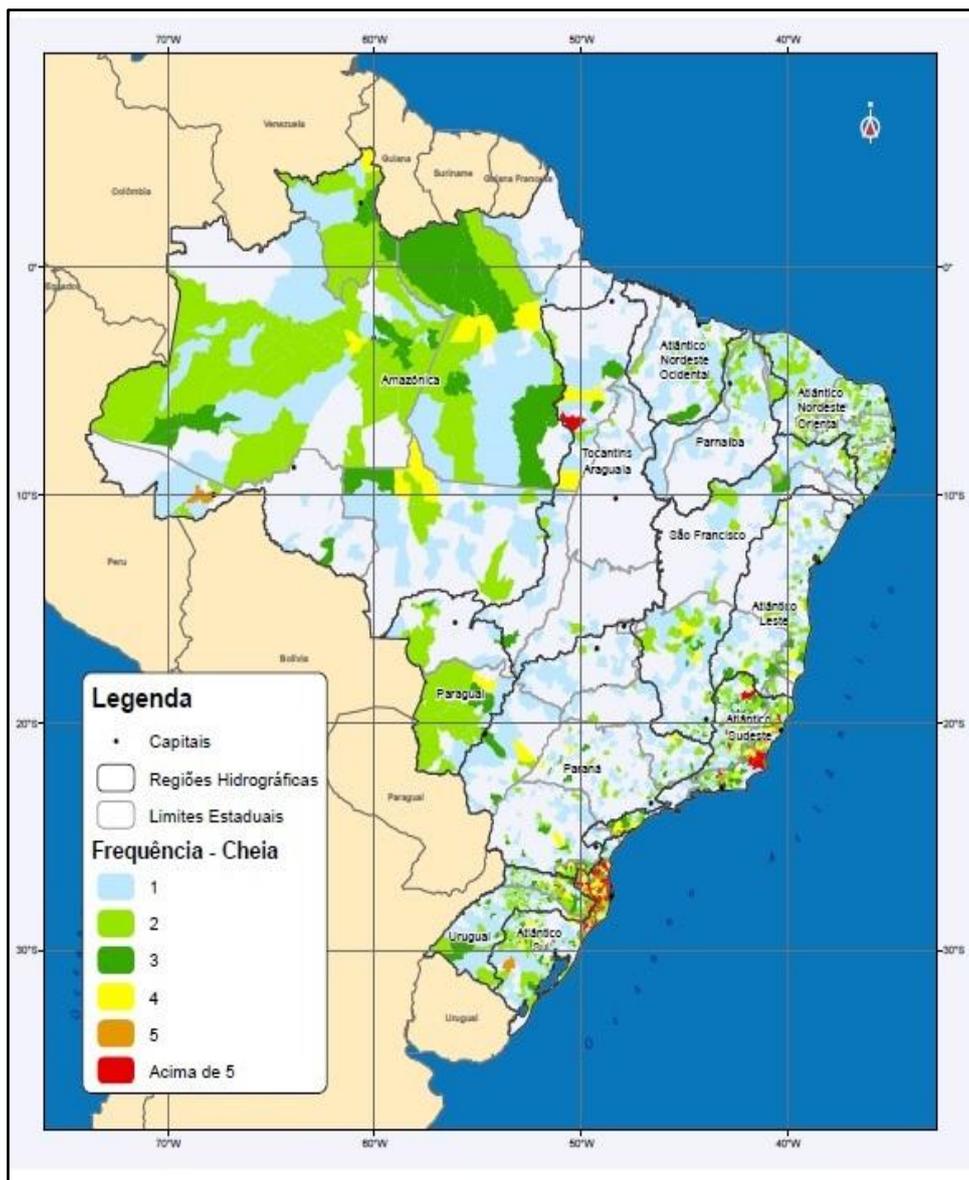


Figura 06. Frequência de cheias no Brasil.

Fonte: ANA (2013).

O Brasil tem fortalecido o desenvolvimento de instrumentos políticos que integram em seus conteúdos a redução do risco de inundação, por meio da implementação de planos nacionais ao longo da última década no país e que fazem parte das normativas da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (BRASIL, 2012), e mais recentemente o lançamento do novo Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (2012), que são mecanismos de gestão pública do país, que estimulam a formulação de ações

de redução do risco de inundação em eixos de atuação: Prevenção; mapeamento; monitoramento e alerta; e resposta a desastres (POZZER e MAZZEGA, 2013).

De acordo com COSTA (2010), na Região Sudeste, os Estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais, e Espírito Santo foram os que apresentaram o maior número de municípios com ocorrência de enchentes no ano de 2008. No Nordeste brasileiro, dois estados merecem destaque: Rio Grande do Norte e Bahia que registraram um número considerável de municípios que foram atingidos por enchentes, (08 e 18 casos, respectivamente). O eixo y demonstra o percentual dos municípios atingidos pelas enchentes. Na Região Sul, o Estado do Rio Grande do Sul contabilizou 12 municípios com ocorrência de enchente. Nas demais regiões, o número de ocorrências de municípios por estado foi menor ou não houve registro, conforme Figura 07.

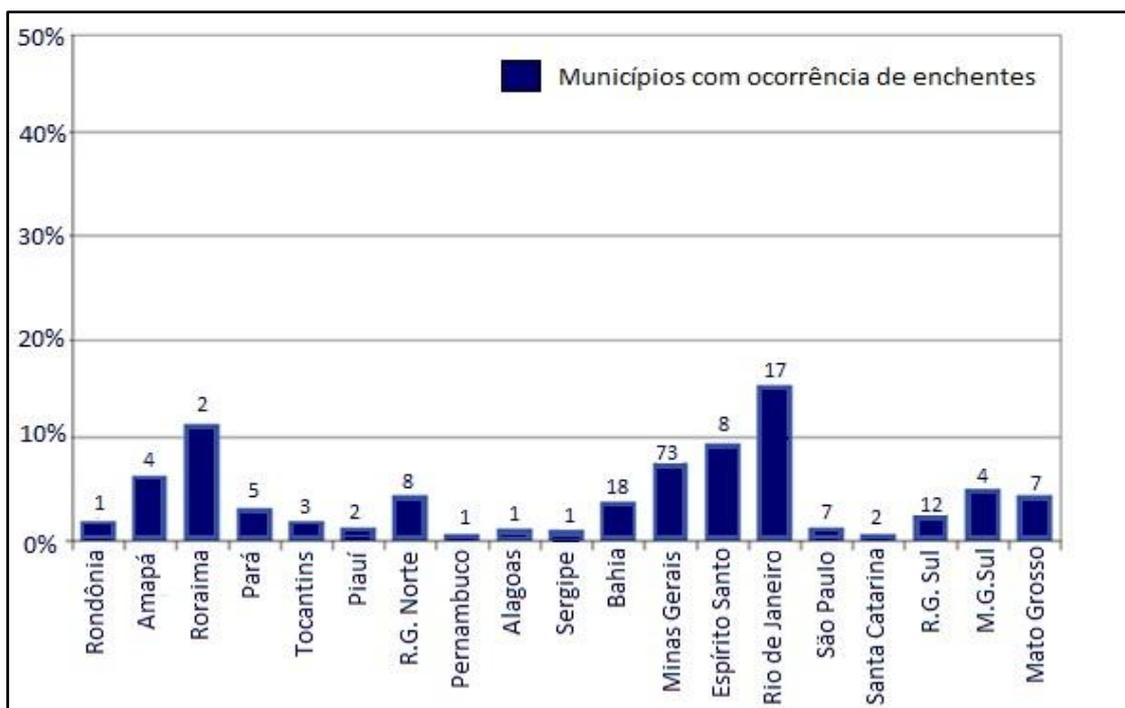


Figura 07. Número de ocorrência de cheias por Municípios do Brasil - 2008.

Fonte: COSTA (2010).

Segundo a classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), proposta em 2012, as inundações bruscas passaram a ser denominadas enxurradas e são definidas como: "escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocada por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado". Caracteriza-se pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial (BRASIL, 2012).

PINHEIRO (2007) argumenta que as enchentes ocorridas em pequenas bacias hidrográficas são chamadas popularmente de enxurradas e se ocorrem em áreas urbanas, são tratadas como enchentes urbanas. Ressalta-se que a terminologia está associada a localidade bem como a ciência do solo/agronomia, onde o termo enxurrada está muitas vezes associado ao fluxo concentrado, processos erosivos e perda de solo (TACHINI et al., 2009). As enxurradas estão associadas também, a pequenas bacias de relevo acidentado ou ainda em áreas impermeabilizadas caracterizadas pela rápida elevação do nível dos rios. Estas características indicam os locais mais susceptíveis a sua ocorrência, contudo, elas podem ocorrer em qualquer local (BRASIL, 2012).

Todas as Regiões do Brasil apresentam problemas com cheias e inundações, cada um com suas peculiaridades. O ano de 2010 começou com uma tragédia no litoral do Rio de Janeiro, com escorregamentos de grandes proporções e mais de 50 mortos. Em abril do mesmo ano, no mesmo estado, houve a morte de 66 pessoas na capital e mais de 140 em Niterói. Cidades entraram em estado de emergência na Bahia, em Santa Catarina e no mês de junho, em Alagoas e Pernambuco com mais de 60 mortes decorrentes de eventos de precipitação (SOUZA, 2011).

A Região Nordeste do Brasil também tem histórico de cheias. Os eventos extremos de precipitação no Nordeste Brasileiro (NEB) causam sérios prejuízos sociais e econômicos, pois milhares de pessoas são desalojadas de suas residências e além disso, há também perdas irreparáveis de cultivos

agrícolas decorrentes destes extremos. Segundo dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), fortes pancadas de chuvas ocorridas na Bahia, no início de março de 2008, foram responsáveis por 102 solicitações de atendimento devido às chuvas, 15 ocorrências de alagamento, 22 ameaças de deslizamento de terra, além do registro de 36 deslizamentos de terra e duas árvores caídas na capital do Estado (ANDRADE e LIMA, 2013).

Segundo o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (1991 a 2012), o Estado de Alagoas possui 166 registros oficiais de enxurradas e inundações severas caracterizadas como desastre, neste período. A mesorregião Leste Alagoana concentrou a maior frequência do Estado, com 72% (120) de todos os registros. As mesorregiões do Agreste e Sertão Alagoanos concentraram 13% e 14% dos demais registros, respectivamente. Ao longo destes 22 anos em análise, apenas 06 não houve registros. Destacam-se os anos de 2000, 2004, 2009 e 2010, que registraram aproximadamente até duas (02) a quatro (04) vezes mais ocorrências em relação a média anual para o período analisado, como pode ser visualizado na Figura 08 (BRASIL, 2013).

Na mesorregião Leste do Estado de Alagoas são encontradas as áreas mais declivosas, bem como as de maior precipitação. Por estes motivos, esta região pode ser caracterizada como áreas propensas a ocorrências de inundações, em virtude de suas características geomorfológicas e climáticas. Além disso, esta região concentra municípios com alta densidade demográfica no estado, ou seja, com todos os elementos (naturais e antrópicos) para a ocorrência de desastres (BRASIL, 2013).

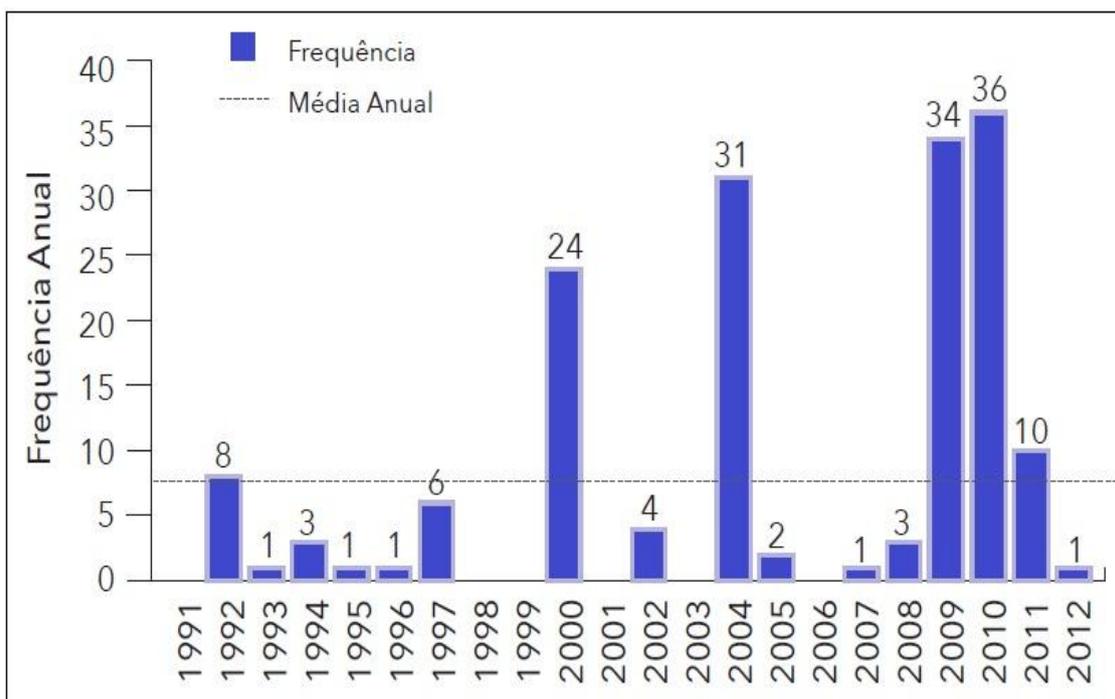


Figura 08. Frequência anual de desastres por enxurradas e inundações no Estado de Alagoas, no período 1991 a 2012.

Fonte: BRASIL (2013).

A distribuição mensal da frequência de desastres por inundações no Estado de Alagoas apresentou 54% dos eventos associados aos excepcionais eventos ocorridos em 2009 e 2010, que ocorreram nos meses de maio e junho, conforme Figura 09. Destacou-se também os meses de janeiro e agosto, com 28% dos registros. A porção Leste do Nordeste Brasileiro, onde estão inseridos os Estados de Alagoas e Pernambuco é influenciada principalmente pelos sistemas meteorológicos Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e Ondas de Leste, a caracterizar como uma região de grande variabilidade nos seus índices pluviométricos, segundo dados da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH/AL) escrito por NASCIMENTO e XAVIER (2010).

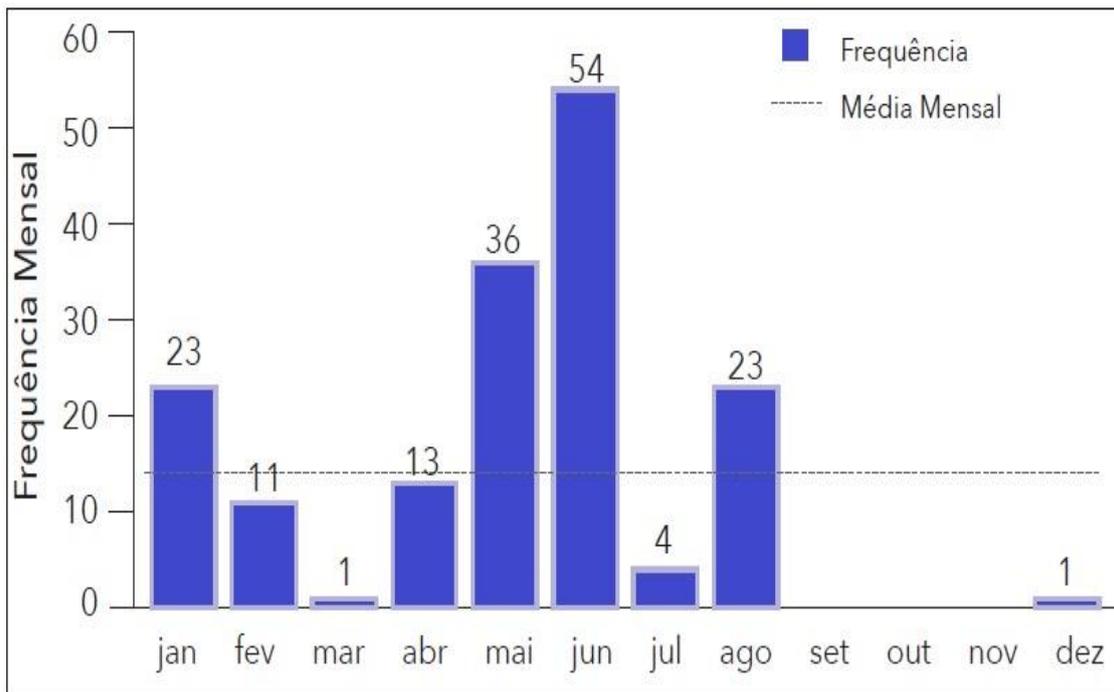


Figura 09. Frequência mensal de desastres por enxurradas e inundações no Estado de Alagoas, no período 1991 a 2012.

Fonte: BRASIL (2013).

Os 166 eventos de enxurradas e inundações no Estado de Alagoas deixaram 288 mil pessoas afetadas, das quais 150 mil associadas apenas a 10 eventos. Nos demais danos humanos, destacam-se os quase 54 mil desalojados, 37 mil desabrigados, 40 óbitos e 126 pessoas desaparecidas (BRASIL, 2013).

Segundo SOUZA (2011), um exemplo muito claro de desastres naturais ocorre no Estado de Pernambuco, onde constantemente enfrenta fenômenos cruciais e antagônicos: de um lado os períodos de seca e do outro as chuvas intensas, causando inundações e alagamentos periódicos. A região metropolitana do Recife, capital de Pernambuco e a Zona da Mata, em geral, durante o seu principal período chuvoso, sofrem com os escorregamentos de encostas, inundações e alagamentos que estão associados a sistemas meteorológicos responsáveis por chuvas intensas. Por outro lado, no Sertão e no Agreste são comuns períodos de seca, a afetar as reservas de água nos

açudes, rios, bem como a safra agrícola e a pecuária, a produzir grandes perdas económicas.

Segundo dados do Atlas Brasileiro de Desastres Naturais (1991 a 2012), o Estado de Pernambuco possui 427 registros oficiais de enxurradas e inundações severas caracterizadas como desastre, entre os anos de 1991 a 2012. Observou-se que todas as mesorregiões do Estado sofreram pelo menos um (01) evento de inundação, com destaque para o Agreste Pernambucano (29%) e Mata Pernambucana (28%). A mesorregião do São Francisco registrou a menor frequência, com apenas 5% de todos os registros (BRASIL, 2013).

Dos 185 municípios inseridos no Estado de Pernambuco, 158 (85%) foram afetados pelas enxurradas e inundações. A Capital Recife, e o Município de Camaragibe apresentaram a maior frequência, com 13 registros. A Figura 10 apresenta a frequência anual dos eventos citados registrados entre 1991 e 2012. Nos 22 anos de estudo, apenas o ano de 2001 não apresentou nenhum registro. Nos primeiros anos, destaca-se o ano de 2000, com 39 eventos, o dobro da média anual (19 eventos/ano). No segundo período (2002-2012) exceto em 2006, 2007 e 2012 a média não foi superada, com destaque para os anos de 2004 e 2010 (BRASIL, 2013).

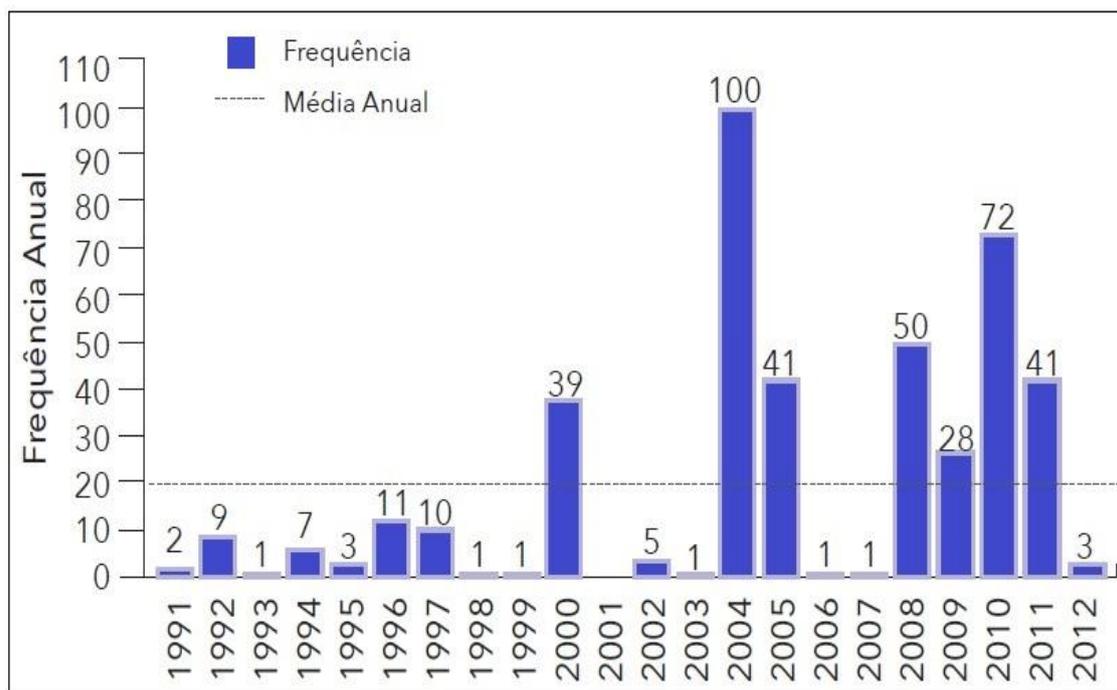


Figura 10. Frequência anual de desastres por enxurradas e inundações no Estado de Pernambuco, no período 1991 a 2012.

Fonte: BRASIL (2013).

Com relação a frequência mensal de Pernambuco, o mês de junho se destacou com 119 registros, o triplo da média mensal, conforme Figura 11. Aproximadamente 60% destes eventos registrados no mês de junho foram associados às inundações ocorridas em 2010. Os 427 eventos severos de enxurradas afetaram mais de 1,8 milhões de pessoas, sendo 38% relacionados ao evento de junho de 2010. Este mesmo evento foi responsável por 49% de todos os desalojados registrados ao longo dos 22 anos da pesquisa. O evento de junho de 2005, no Município de Jaboatão dos Guararapes, foi responsável por 20 das 127 mortes registradas entre 1991 e 2012 (BRASIL, 2013).

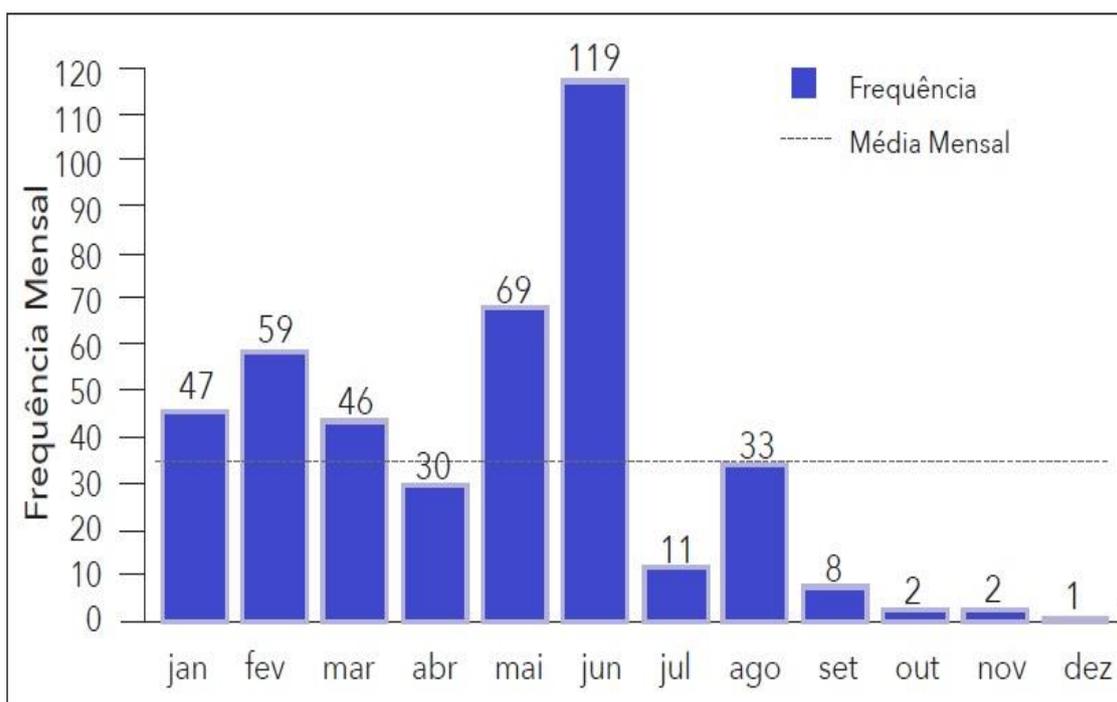


Figura 11. Frequência mensal de desastres por enxurradas e inundações no Estado de Pernambuco, no período 1991 a 2012.

Fonte: BRASIL (2013).

2.3 Sistemas meteorológicos que atuam na região Leste do Nordeste Brasileiro

2.3.1 El Niño e La Niña

O El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno climático que causa anomalias na temperatura da superfície do mar na região do Pacífico Equatorial, mais particularmente na costa peruana (GRIMM et al.,1998). O ENOS apresenta duas fases: fria, denominada La Niña (LN) e quente, El Niño (EN). A caracterização do ENOS é feita por meio de índices da oscilação da pressão atmosférica e a temperatura da superfície do mar (TSM) (FERREIRA et al., 2017).

O fenômeno ENOS exerce marcante influência sobre a variabilidade climática em diferentes regiões do Brasil e os impactos sobre os regimes

pluviométricos são os mais conhecidos. SILVA et al. (2000) mostrou que o El Niño exerce influência nas chuvas do Nordeste do Brasil, considerando o mesmo ano de ocorrência do fenômeno e até dois anos depois. A Tabela 03 apresenta os anos de influência do Fenômeno El Niño.

EL NIÑO			
FRACO	MODERADO	FORTE	MUITO FORTE
1951 - 1952	1963 - 1964	1957 - 1958	1982 - 1983
1952 - 1953	1986 - 1987	1965 - 1966	1997 - 1998
1953 - 1954	1987 - 1988	1972 - 1973	2015 - 2016
1958 - 1959	1991 - 1992		
1968 - 1969	2002 - 2003		
1969 - 1970	2009 - 2010		
1976 - 1977			
1979 - 1980			
1994 - 1995			
2004 - 2005			
2006 - 2007			

Tabela 03. Anos de influência do Fenômeno El Niño, entre os anos de 1951 a 2016.

Fonte: GGWEATHER (2017).

OLIVEIRA (1999) acrescenta que, em geral, ambos fenômenos têm frequência de dois (02) a sete (07) anos, porém, nas últimas décadas, tem havido menor ocorrência da La Niña em relação ao El Niño, além de os valores da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), em anos de La Niña, terem

desvios menores do que em anos de El Niño, ou seja, enquanto observam-se anomalias de até 4,5°C acima da média em alguns anos de EN, as maiores anomalias observadas não chegam a 4°C abaixo da média, em anos de LN. A Tabela 04 apresenta os anos de influência do fenômeno La Niña

LA NIÑA		
FRACO	MODERADO	FORTE
1950 - 1951	1955 - 1956	1973 - 1974
1954 - 1955	1970 - 1971	1975 - 1976
1964 - 1965	1998 - 1999	1988 - 1989
1967 - 1968	1999 - 2000	
1971 - 1972	2007 - 2008	
1974 - 1975	2010 - 2011	
1983 - 1984		
1984 - 1985		
1995 - 1996		
2000 - 2001		
2011 - 2012		
2016 - 2017		

Tabela 04. Anos de influência do Fenômeno La Niña, entre os anos de 1951 a 2016.

Fonte: GGWEATHER (2017).

Os efeitos de sete eventos El Niño de forte intensidade, na região Nordeste do Brasil foram estudados por SILVA et al. (1998), onde concluíram que a parte semi-árida da região apresenta, invariavelmente, precipitação

pluvial abaixo da média e que à medida que ocorre um novo evento forte, aumenta significativamente a área afetada pela seca no semi-árido nordestino.

2.3.2 Alta da Bolívia

A Alta da Bolívia (AB) é uma circulação anticiclônica em altos níveis que surge no período da primavera, verão e outono. Essa alta está associada a um ciclone barotrópico em superfície. (SIGNORINI, 2001 e SELUCHI et al., 2003).

Conforme sugerido por NOBRE e MOLION (1988), a região semiárida do NEB é consequência de sua proximidade à região Amazônica, onde se observa movimentos convectivos intensos e amplos. O ar ascende sobre a Amazônia, adquire movimentos anticiclônicos em altos níveis (AB) e diverge gerando um ramo descendente e uma forte inversão de subsidência sobre o Oceano Atlântico Sul e posteriormente sobre o NEB. Tal configuração inibe o desenvolvimento de nuvens e conseqüentemente estão associados a um período mais seco do ciclo anual.

2.3.3 Sistemas Frontais ou Frentes Frias

Um mecanismo importante de produção de chuva para o Sul do Nordeste (SNE) e para o Este do Nordeste (ENE) brasileiro é a penetração de sistemas frontais, ou seus restos, entre as latitude 5°S e 18°S (MOLION e BERNARDO, 2002). A penetração até latitudes equatoriais ocorre mais frequentemente no inverno do Hemisfério Sul (HS), pois o posicionamento médio da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), o Equador meteorológico, é em torno de 10°N a 14°N nessa estação do ano. OLIVEIRA (1986), através de uma climatologia usando imagens de satélites geoestacionários entre 1979-1984, verificou que os sistemas frontais frequentemente se associam e interagem com convecção tropical, embora nem todos os sistemas frontais o façam com a mesma intensidade. Segundo o Autor, há uma variação mensal no número de eventos de associação de sistemas frontais com a convecção.

Para haver forte interação entre os sistemas frontais e a convecção, parece ser necessário que estes sistemas apresentem ampla penetração continental, sendo a região entre 15°S e 25°S uma das regiões preferenciais para essas ocorrências. Durante a primavera-verão do Hemisfério Sul (HS), os sistemas frontais se posicionam preferencialmente sobre a parte central do continente sul americano, com seu eixo no sentido NW-SE, de inclinação variável, criando uma zona de convergência de umidade que, posteriormente, foi denominada Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). O deslocamento da ZCAS para 12° - 15°S, e sua permanência com atividade intermitente, é responsável pela estação chuvosa (novembro a março) do SNE (MOLION e BERNARDO, 2002).

Entre os meses de abril e julho, observou-se que uma zona de convergência se instala sobre a costa leste do NE (ZCEN) e constitui-se no mecanismo dinâmico mais importante para a produção de chuvas sobre o ENE, que apresenta seus quatro meses mais chuvosos nesse período. A umidade, que converge sobre o continente e alimenta a ZCEN, é originado no Atlântico Sul e, se as temperaturas da superfície do mar (TSM) apresentarem anomalias positivas, como geralmente ocorrem nos anos chuvosos, o transporte de umidade é maior e a ZCEN mais intensa (MOLION e BERNARDO, 2002).

2.3.4 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN's)

Os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) podem ser classificados de acordo com sua origem e formação em dois tipos: de Palmer e de Palmén (FRANK, 1970). Os de Palmer originam-se em latitudes tropicais e ocorrem nas estações de primavera, verão e outono, sendo mais frequentes no verão e são encontrados no NEB (FRANK, 1970; KOUSKY e GAN, 1981). Os de Palmén formam-se em latitudes subtropicais e surgem em qualquer época do ano principalmente no inverno (PALMER 1951; SIMPSON, 1952). Na literatura, são conhecidos como vórtices desprendidos (GAN, 1983).

PAIXÃO e GANDU (2000) analisaram o campo de vento e classificaram os VCANs na região Tropical em quatro tipos quanto a sua formação: Clássica, Alta, Africana I e Africana II. Segundo os Autores, o VCAN de formação clássica se origina devido à intensificação da crista associada à AB e, conseqüentemente, do cavado a leste, formando em um último momento um vórtice ciclônico sobre o Atlântico, decorrentes de incursão de sistemas frontais para latitudes baixas como sugerido por KOUSKY e GAN (1981). Os estágios de desenvolvimento deste mecanismo podem ser visto na Figura 12.

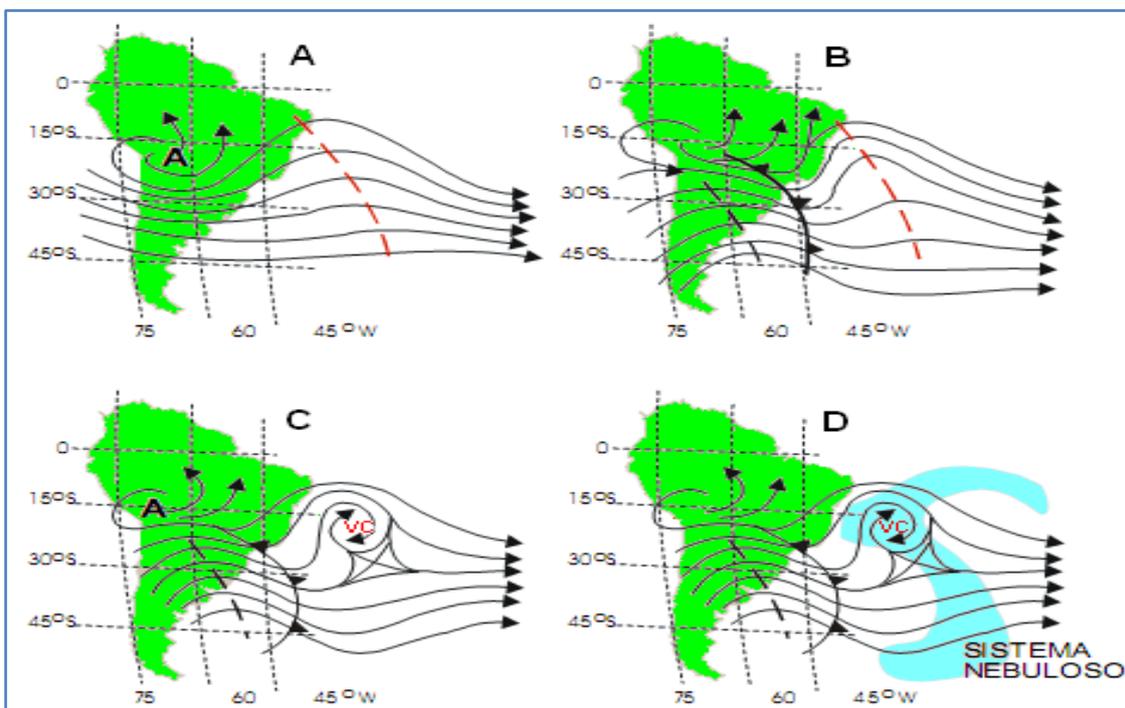


Figura 12. Esquema de formação para o VCAN do tipo Palmer clássico sobre o Oceano Atlântico Tropical Sul.

Fonte: PONTES DA SILVA (2011).

2.3.4 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

Segundo FERREIRA (1998), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um dos mais importantes sistemas meteorológicos atuando nos trópicos. Devido à sua estrutura física, a ZCIT tem se mostrado decisiva na caracterização das diferentes condições de tempo e de clima em diversas

áreas da região tropical, mais especificamente na região Equatorial. Sua influência sobre a precipitação nos continentes africano, americano e asiático tem sido aceita e mostrada em vários trabalhos como HASTENRATH e HELLER (1977), LAMB (1978), SIKKA e GADGIL (1985), MOURA e SHUKLA (1981), CHUNG (1982), CITEAU et al. (1988a e 1988b), entre outros. No caso específico de parte do nordeste brasileiro, UVO (1989) apresenta um estudo bem detalhado da ZCIT e sua importância nas precipitações no setor Norte do Nordeste do Brasil.

FERREIRA (1998) explicou que, o conjunto de características associadas à ZCIT possui um deslocamento norte-sul ao longo do ano. A marcha anual da ZCIT tem, aproximadamente, o período de um ano, alcançando sua posição mais ao norte (8°N) durante o verão do Hemisfério Norte. Além dessa oscilação anual, a ZCIT apresenta oscilações com maiores frequências, com o período variando de semanas a dias (HASTENRATH e LAMB, 1977 e CITEAU et al., 1988a e 1988b).

2.3.5 Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL)

Segundo PONTES DA SILVA (2011), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) ou Ondas de Leste, sistema meteorológico apontado como sendo um dos mais importantes no que se diz respeito ao regime de precipitação em muitas regiões tropicais do globo, podem ser definidos como perturbações sinóticas associadas à cavados e à temperatura elevada da superfície do mar (CHOU, 1990). Normalmente, os DOLs se melhor configuram em baixos níveis ($\sim 850\text{-}700$ hPa), onde apresentam cavados, e sua nebulosidade é caracterizada por nuvens geralmente convectivas, que se deslocam de leste para oeste sobre os oceanos tropicais, atingindo áreas continentais, como o Leste do Nordeste do Brasil (ESPINOZA, 1996; VAREJAO-SILVA, 2005).

PONTES DA SILVA (2011) explicou que HALL (1989) investigou a relação entre a passagem de Ondas de Leste e a ocorrência de chuvas fortes na Ilha de Ascensão, localizada no Atlântico Sul nos meses iniciais de março a

maio de 1986, utilizando imagens e perfis verticais de vento. Embora não se tenha uma estrutura definida dos distúrbios de leste no Hemisfério Sul, nesses casos de intensa precipitação foi encontrada uma estrutura dos distúrbios similar ao do Hemisfério Norte. Sendo assim, as precipitações máximas estariam relacionadas com os distúrbios de leste cuja origem seria na África Equatorial Central (ESPINOZA, 1996).

As características de ondas de leste foram estudadas para o litoral norte do Nordeste por SILVESTRE (1996), que utilizou dados de vento meridional, para um período de 10 anos, e mostrou que esses distúrbios ondulatórios existem praticamente durante todo ano, com diferentes comprimentos de onda, e que nas estações de verão (dezembro, janeiro e fevereiro), outono (março, abril, maio) e inverno (junho, julho e agosto) eles se deslocam atingindo a costa Norte do Nordeste do Brasil.

Segundo SILVA (2011), os DOLs foram bastante pesquisados principalmente na região da África. E existem poucos trabalhos voltados para a costa Leste do Nordeste Brasileiro, apesar desses distúrbios serem o principal sistema causador de precipitação nessa área no período de outono/inverno (COUTINHO e FISCH, 2007).

2.3.6 Brisas Marinhas

Segundo TEIXEIRA (2008), O fenômeno de circulação da brisa explica um sistema atmosférico de meso-escala (ROTUNNO et al., 1992), e de regiões costeiras (AHRENS, 2000). As brisas marítimas foram identificadas pelos antigos gregos desde aproximadamente os anos de 350 a.C. como sendo um sistema de vento local (VIANELLO e ALVES, 1991), ou um regime específico de vento, de escala diurna. Este sistema é decorrente das diferenças térmicas entre as superfícies terrestres e marítimas que levam a divergência de pressão do ar em baixos níveis. Sobre essas superfícies, as brisas são de dois tipos: de mar e de terra. Elas são induzidas por heterogeneidades espaciais do fluxo de calor superficial na camada limite planetária (ROTUNNO et al., 1992).

TEIXEIRA (2008) explicou que as brisas assumem um papel de certo destaque, em termos de regularidade e intensidade de ocorrência, em determinadas áreas tropicais tais como em grande parte do litoral do Nordeste Brasileiro (doravante chamado apenas de Nordeste). A brisa marítima, por exemplo, pode ocorrer em 3 de cada 4 dias ao longo das costas tropicais (HEIDORN, 1998). As brisas são mais pronunciadas nos trópicos do que nas latitudes médias, principalmente em virtude da aceleração de Coriolis ser mais fraca nas áreas tropicais. Em latitudes maiores, essa aceleração desvia o vento, limitando, dessa forma, o seu alcance. Assim, nos trópicos os processos de meso-escala e de escala diurna, são particularmente importantes (DE CARIA, 2005).

2.4 Solos

ROBAINA et al. (2001) explicaram que o crescimento urbano acelerado tem provocado um excesso de superfícies impermeabilizadas, que reduzem a infiltração de águas das chuvas, aumentando os riscos de erosão, compactação e deslizamentos de solos, bem como alagamentos de córregos e ruas. A falta de planejamento urbano e o cumprimento da legislação vigente favorecem à excessiva impermeabilização da superfície urbana pelo revestimento de terrenos e pela compactação dos solos. Assim, um sistema hídrico de captação pluvial eficiente deve considerar informações sobre os diferentes tipos de solos que ocorrem numa microbacia urbana, para que a drenagem adequada seja efetuada sem danos ambientais (SILVA, 2014).

A circulação da água no solo é uma das áreas centrais da física do solo, constituindo o seu conhecimento o ponto de partida para o estudo dos solutos. A gestão da água e dos sais nas camadas superiores do solo e a sua interação com a atividade das plantas foi durante anos preocupação quase exclusiva das ciências agrárias. Pelo contrário, a gestão de aquíferos e das águas superficiais eram temas abordados predominantemente pela engenharia dos recursos hídricos, cujas ferramentas só marginalmente tinham em

consideração as atividades e os conhecimentos das ciências agrárias (PAIXÃO et al., 2000).

Segundo MORAES (1973), a problemática dos solos submetidos a inundações apresentam características próprias, resultantes da alteração do intercâmbio gasoso atmosfera-solo. Podem ser citados a intensificação dos processos de redução e alterações no pH e no potencial de óxido-redução, assim como alterações na dinâmica de nutrientes. Um dos efeitos da inundação é a extrema restrição do processo de intercâmbio gasoso entre o solo e o meio exterior, que praticamente é eliminado. O oxigênio pode invadir o solo somente por difusão através da água retida nos poros, diversamente ao movimento de fluxo de massas que tem lugar nos solos secos.

MUNGAI et al. (2011) explicaram que algumas das mudanças químicas que podem ocorrer em solos inundados incluem variações no pH do solo, condutividade elétrica, atividades de desnitrificação e produção de ácidos orgânicos (UNGER et al., 2009; IMBELLONE et al., 2001). Tais alterações químicas podem ao longo do tempo alterar as propriedades do solo, incluindo disponibilidade de seus nutrientes, atividades enzimáticas e dinâmica da matéria orgânica.

BERTOL et al. (2000) relataram que as propriedades físicas do solo necessitam ser monitoradas, devido que a intensidade do uso da sua capacidade pode provocar mudanças, como o aumento da densidade do solo (Ds), redução do teor da matéria orgânica, diminuição da porosidade, taxa de infiltração da água, dentre outros.

MICHEL (2015) escreveu que, a profundidade do solo é considerada um dos mais importantes fatores também no controle de processos causadores de desastres, tais como escorregamentos de terra, fluxos de detritos e inundações (WU e SIDLE, 1995; DIETRICH et al., 1995; SEGONI et al., 2012). Assim, para realizar o gerenciamento de tais desastres, comumente são

aplicadas medidas estruturais e não estruturais. No caso de aplicação de medidas estruturais, como obras de contenção de encostas ou barragens para fluxos de detritos, a definição da profundidade do solo é de extrema relevância na elaboração do projeto e dimensionamento das estruturas. No caso de medidas não estruturais, tais como o mapeamento das áreas propensas a estes fenômenos, a profundidade do solo também é de extrema importância, considerando sua dominância sobre os processos hidrogeomorfológicos.

SCHAETZL e ANDERSON (2005) explicaram que o solo normalmente é conhecido como um meio em que ocorre a infiltração e percolação da água e onde se desenvolve boa parte do ciclo hidrológico. Para os hidrólogos, o solo pode atuar como um meio de purificação para a água ou como um volume de reserva para suprimento.

A circulação da água no solo rege-se pelas leis gerais da mecânica dos fluidos (conservação da massa, conservação da quantidade de movimento e conservação da energia). Tal como nas outras áreas da mecânica dos fluidos, a incapacidade de descrever o detalhe do campo de velocidades é resolvida através da introdução de parâmetros empíricos para o cálculo das forças de resistência ao escoamento. No caso dos solos em regime não saturado, esta parametrização tem ainda a dificuldade adicional de a área efetiva de passagem da água variar com o próprio teor de água. A juntar a esta dificuldade, nos solos não saturados a água está também sujeita a forças devidas à tensão superficial, cuja importância aumenta à medida que os poros de menor diâmetro vão sendo ocupados pelo ar. Por estas razões, a mecânica dos fluidos em solos constitui uma pequena parte do problema da física do solo, advindo a principal dificuldade da obtenção dos parâmetros empíricos que permitem relacionar o teor de água, a força de pressão e a força de resistência ao movimento (que no caso dos solos é tradicionalmente tratada na forma de uma condutividade) (NEVES et al., 2000).

De acordo com CARAM (2010), o conhecimento do processo de infiltração é de fundamental importância para o manejo e conservação do solo e da água, por ser determinante da ocorrência do escoamento superficial, responsável por processos indesejáveis, como a erosão e as inundações (BRANDÃO et al., 2006). Segundo RAWLS et al. (1996), a infiltração da água no solo é um processo que depende de diversos fatores, em menor ou maior grau, os quais foram divididos em quatro categorias: fatores relacionados ao solo; fatores relacionados à superfície; preparo e manejo do solo; e outros. Um solo argiloso, por exemplo, pode ter uma alta capacidade de infiltração quando estiver seco, no entanto, após receber umidade pode se tornar quase que impermeável (TUCCI, 2002).

KOTERS et al (2004) relataram que a umidade do solo pode influenciar o clima através do seu impacto na evaporação. Suas anomalias podem persistir por meses. Estes impactos são frequentemente observados em estudos de modelos de circulação atmosférica. O entendimento da dinâmica e da variabilidade é indispensável para a compreensão do papel da umidade do solo no ciclo hidrológico, sendo difícil quantificar a variabilidade espacial e temporal e associá-la aos processos ecológicos e biogeoquímicos.

SOUZA e SILVA (2016) definiram que segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006), um levantamento pedológico é um prognóstico da distribuição geográfica dos solos como corpos naturais, determinados por um conjunto de relações e propriedades observáveis na natureza. O levantamento identifica solos que passam a ser reconhecidos como unidades naturais, prevê e delimita suas áreas nos mapas/cartas, em termos de classes definidas de solos. Esse levantamento pressupõe trabalhos realizados em escritório (mapa preliminar), levantamento de campos (amostragem e observações), análises laboratoriais e interpretações de dados com elaboração do mapa e relatório final (RANZANI, 1969).

2.5 Mapeamento das áreas de risco

Segundo KOBAYAMA et al. (2006), um dos instrumentos de análise de risco mais eficientes é o mapeamento de suas áreas. A partir deste mapa é possível elaborar medidas preventivas, planificar as situações de emergência e estabelecer ações conjuntas entre a comunidade e o poder público, com o intuito de promover a defesa permanente contra os desastres naturais. As medidas preventivas estão associadas à identificação das áreas com maior potencial de serem afetadas, onde são hierarquizados os cenários de risco e a proposição de medidas corretivas. Para a planificação das situações de emergência, os mapas de risco também podem contribuir com as ações de caráter logístico no enfrentamento das situações emergenciais, na evacuação da população frente a um perigo eminente, nas operações de resgate, na restauração das áreas afetadas, etc. Além do mais, nas ações conjuntas entre comunidade e poder público, pode-se identificar as comunidades mais afetadas e realizar trabalhos de educação, capacitação e conscientização.

As discussões e reflexões sobre desastres associados a eventos naturais e o desenvolvimento de áreas de risco têm, cada vez mais, sido apresentadas como temas significativos nos meios de comunicação, no meio científico e ainda nos órgãos governamentais e não governamentais. Nesta perspectiva, a temática “risco” é colocada a partir dos pontos de vista técnico, social, económico, político, administrativo e legal, onde o gerenciamento e a atenuação de danos emergem como elemento centralizador de discussões (MENEZES, 2014).

KOBAYAMA et al. (2006) explicaram que os termos perigo (*hazard*) e risco (*risk*) são freqüentemente utilizados como sinônimos. Mas, eles não são. O perigo é um fenômeno natural que ocorre em épocas e região conhecidas que podem causar sérios danos nas áreas sob impacto. Assim, perigos naturais (*natural hazards*) são processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera, podendo constituir um evento danoso e serem modificados pela atividade humana, tais como a degradação do ambiente e urbanização.

Enquanto que o risco é a probabilidade de perda esperada para uma área habitada em um determinado tempo, devido à presença iminente de um perigo (UNDP, 2004).

Baseado em VARNES (1984), EINSTEIN (1988) e UN-ISDR (2004), vulnerabilidade é um conjunto de processos e condições resultantes de fatores físicos, sociais, económicos e ambientais, o qual aumenta a susceptibilidade de uma comunidade (elemento em risco) ao impacto dos perigos. A vulnerabilidade compreende tanto aspectos físicos (resistência de construções e proteções da infraestrutura) como fatores humanos, tais como, económicos, sociais, políticos, técnicos, culturais, educacionais e institucionais (SILVA, 2014).

JULIÃO et al. (2009) comentaram que os conceitos associados aos diversos conteúdos dos processos de análise e avaliação de riscos têm sido objeto de estudo e discussão científica por todo o mundo. Alguns dos termos utilizados enfermam por vezes de diferentes perspectivas de interpretação e de tradução, nem sempre fáceis de dirimir quando os objetivos de análise são condicionados por determinados enquadramentos institucionais. Foi analisado um vasto conjunto de documentos utilizados em países parceiros de Portugal e organizações internacionais, bem como bibliografia representativa e doutrinária no desenvolvimento de projetos de análise de risco. Deste cruzamento de informações, resultou a seleção de um conjunto coerente de conceitos imprescindíveis:

a) Perigo - Processo ou ação natural, tecnológico ou misto susceptível de produzir perdas e danos identificados. O conceito aplica-se à totalidade dos processos e ações naturais, tecnológicos e mistos;

b) Severidade - Capacidade do processo ou ação para danos em função da sua magnitude, intensidade, grau, velocidade ou outro parâmetro que melhor expresse o seu potencial destruidor. O conceito

reporta, exclusivamente a grandeza física do processo ou ação e não as suas consequências (estas dependem também da exposição);

c) Susceptibilidade - Incidência espacial do perigo. Representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência. Representável cartograficamente através de mapas de zoneamento, sobretudo nos casos dos processos naturais e mistos identificados.

JULIÃO et al. (2009) explicaram uma proposta de articulação de conceitos (Figura 13), a considerar os conceitos de Vulnerabilidade e de Perigo, e demonstraram como se relacionam os elementos associados à eles, a considerar a expressão espacial (localização) do risco.

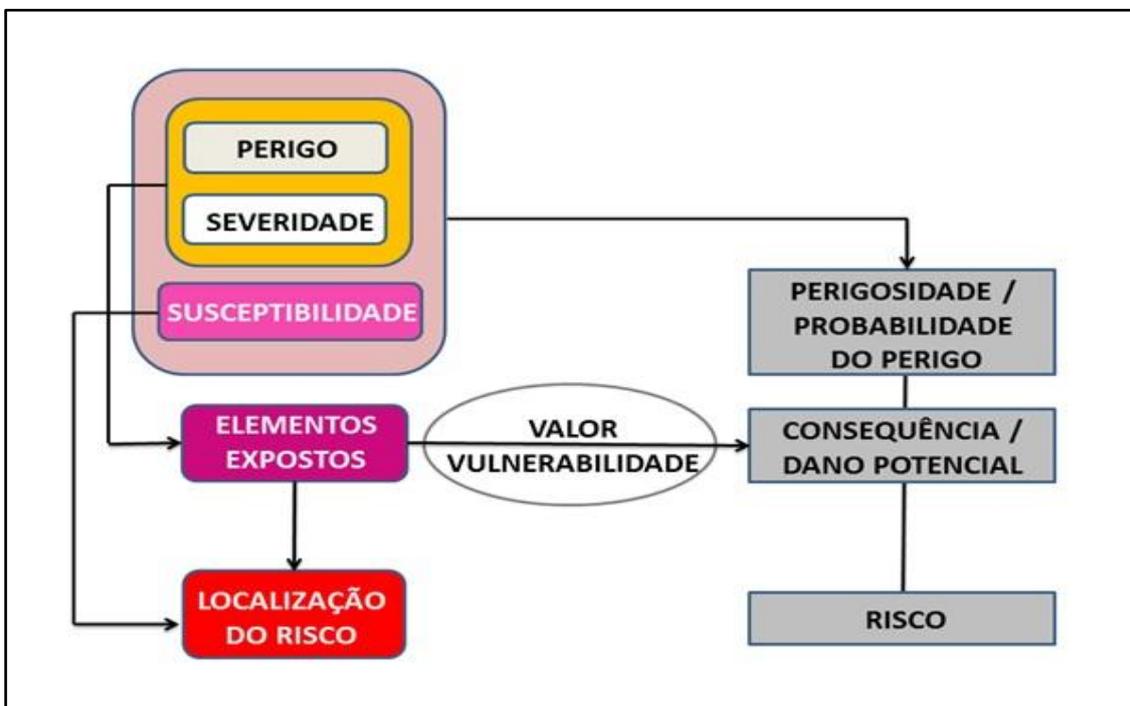


Figura 13. Articulação de conceitos fundamentais de vulnerabilidade e perigo.

Fonte: JULIÃO et al. (2009).

O uso desordenado do solo principalmente nas áreas urbanas tem provocado a intensificação e até mesmo o aparecimento de problemas ambientais relevantes. A adoção de medidas apropriadas é extremamente necessária para assegurar e controlar a ocupação racional destas áreas pelo homem (PEREIRA, 2011).

O debate acadêmico em torno das interpretações dos eventos naturais ou antrópicos que implicam perdas de vidas e/ou bens materiais em áreas vulneráveis a risco se renova a partir de cada grande novo desastre e/ou catástrofe. Novos estudos sobre riscos naturais, como deslizamento, inundações, erosões, assoreamento de rios, tempestades, enchentes, doenças virais e bacterianas, entre outros eventos, devem realizar-se em face a essas novas abordagens, pois, é ao entender o natural e o antrópico como parte de um mesmo processo que se reconhecerá o possível surgimento de áreas de risco (MENDES e ORLANDO, 2014).

A localização de áreas urbanas próximas a corpos hídricos deve-se, sobretudo, à necessidade fisiológica do ser humano pela água, à presença de solos férteis nas regiões ribeirinhas, para cultivo, à necessidade de irrigar plantações, estabelecimento de portos e, em certos casos, está associada à topografia. A estruturação das primeiras cidades nos séculos passados ocorreram às margens dos corpos hídricos e de maneira inadequada, porém ao comparar a evolução temporal da antiguidade até os dias atuais, grande parte das civilizações permanecem com o mesmo costume de habitar em locais próximo aos recursos hídricos (MAGALHÃES et al., 2011).

Para as cidades onde as enchentes se tornam problemas e ocasionam danos humanos e materiais, o agravamento ocorre em função do aumento da urbanização, habitação de áreas de riscos, depósitos de resíduos sólidos em locais incorretos, uso indevido da terra, assoreamento, solapamentos da margem fluvial e do desmatamento da cobertura vegetal. Todas essas ações têm como consequência direta o aumento de áreas impermeáveis, o aumento

do escoamento superficial e da vazão na bacia hidrográfica, contribuindo para o agravamento das enchentes (ENOMOTO, 2004).

Para que o planejamento e a fiscalização das ocupações das áreas urbanas obedçam a critérios de segurança relacionados às inundações, a visar assim a prevenção de perdas tanto humanas quanto materiais, é necessário que as administrações públicas em âmbitos municipais, estaduais e federais disponham de instrumentos confiáveis de restrição para o uso dessas áreas. Devido à complexidade na determinação dessas, sente-se a necessidade de estudos de base técnica e científica, principalmente considerando a possibilidade de modelar a geomorfologia das áreas inundáveis. Diante desta complexidade é preciso conhecer as geotecnologias e os métodos para melhor análise e estudos desses fenômenos da superfície terrestre. As técnicas de mapeamento de áreas inundáveis frequentemente utilizam modelos digitais de elevação (MDEs) que descrevem o relevo no nível da superfície do uso do solo, ou seja, o relevo dos MDEs é afetado pelos diferentes elementos físicos construídos sobre a superfície topográfica. Essa característica é chamada de efeito dossel e implica em desvios significativos na distribuição espacial das drenagens naturais do relevo, geradas digitalmente (FERNANDES e MIOLA, 2013).

Os MDEs permitem a extração de inúmeras variáveis morfométricas do relevo, como a declividade, as curvas de nível, os perfis transversais, a curvatura vertical e horizontal, as direções de fluxo de drenagem, entre outras. Desse modo, são essenciais em estudos relacionados à geomorfologia (principalmente em processos fluviais e de encostas: erosão, escorregamentos, etc.), à hidrografia (delimitação de bacias, ordenamentos dos cursos, densidade de drenagem, etc.) e aos modelos hidrológicos (RIGHI, 2016).

TUCCI (2005) explica que os mapas de inundação de cidades são de dois tipos: mapas de planejamento, que definem as áreas atingidas por cheias de tempo de retorno escolhidos e mapas de alerta, que são preparados com valores de cotas em cada esquina da área de risco permitindo o

acompanhamento da enchente por parte dos moradores, com base nas observações do nível de água em relação às réguas.

O zoneamento de áreas inundáveis ou regulamentação do uso do solo pode ser feito através de adoção de políticas de desenvolvimento, elaboração e implantação de Plano Diretor Urbano ou Código de Construção. O objetivo é evitar maiores prejuízos à população através do mapeamento de áreas de inundações, associando faixas de uso a diferentes riscos de ocorrência de cheias. Assim, para áreas de maior risco não deve ser permitido habitações, apenas áreas de recreação, e para regiões de médio risco, a permissão para construções deve ser liberada caso se adote precauções especiais (RIGHI, 2016) .

BRIVIO et al. (2002) mapearam as áreas inundáveis da Bacia do Rio Tanara, na Itália, utilizando duas imagens de radar do *European Remote Sensing Satellite* (ERS 1). Uma imagem antes da inundação e outra, três dias após a ocorrência. A área inundada estimada pela imagem foi de 20% da área observada, devido à imagem ter sido adquirida nos três dias seguidos ao pico da inundação. Com a implementação dos sistemas de informação geográfica, o avanço espacial da água foi ponderado, além do mapeamento com a imagem de radar (*Synthetic Aperture Radar - SAR*), em função da distância e da elevação do terreno. Os resultados demonstraram que, com a utilização do SIG, a estimativa das áreas inundáveis alcançou 96,7% de acurácia em relação ao observado. Os autores sugeriram que, para melhorar o resultado do mapeamento das áreas inundáveis com as imagens SAR, estas devem ser adquiridas no dia do pico da inundação (RIGHI, 2016).

Técnicas de geoprocessamento foram utilizadas por ALCÂNTARA e ZEILHOFER (2006) para avaliação de enchentes urbanas em Cáceres (Mato Grosso do Sul). Na metodologia proposta, foram processados no software de geoprocessamento SPRING (INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) plantas planialtimétricas e interpolados modelos digitais de terreno (MDT). Análises de dados pluviométricos do período compreendido entre 1991 a 2003

e pesquisas junto à população foram efetuadas para a definição da real data do maior evento ocorrido e a estipulação da cota máxima de inundação (DA HORA, 2009).

Outro produto que está sendo mais frequentemente utilizado nos últimos tempos é a utilização da tecnologia LIDAR (*Light Detection and Ranging*). Este sistema é uma tecnologia que permite a obtenção de informações tridimensionais acerca da superfície terrestre com alta precisão (POPESCU, 2002). Além disso, essa tecnologia permite coletar dados precisos e com maior velocidade, quando comparada com outras tecnologias, pois combina numa plataforma aerotransportada o Sistema de Navegação Global por Satélites (*GNSS – Global Navigation Satellite Systems*) que fornece a posição da aeronave e o Sistema de Navegação Inercial (*INS – Inertial Navigation System*) (BASTOS e FILHO, 2012).

O princípio de funcionamento da tecnologia LIDAR está baseado na emissão de um feixe laser infravermelho em direção à superfície terrestre. Na superfície, estes feixes são refletidos por obstáculos (construções, vegetação ou o próprio terreno) e são captados pelo sensor. Com essas informações, associadas a altitude e posição relativa da aeronave, são determinadas coordenadas tridimensionais dos objetos na superfície. O pulso laser possui uma característica de divergir à medida que se propaga no meio, e essa divergência varia conforme a altura de vôo, quanto maior a distância entre o sensor (LACTEC, 2011 apud SANTOS, 2013).

O governo Federal do Brasil, de um modo geral está tentando programar políticas públicas de prevenção, dessa forma inserindo o tema Gestão de Riscos e Desastres em sua agenda. As ocorrências frequentes de desastres naturais de magnitudes cada vez maiores, e a repercussão causada por eles, intensificaram a atenção da sociedade, de acordo com BRASIL (2012).

Segundo DA HORA (2009), o Programa de Redução de Riscos do Ministério das Cidades propõe uma metodologia para mapeamento de áreas de risco de enchentes e inundações elaborado pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT) que segue os seguintes passos:

- a) identificação e delimitação preliminar de área de risco em fotos aéreas de levantamentos aerofotogramétricos, imagens de satélite, mapas, guias de ruas, ou outro material disponível compatível com a escala de trabalho;
- b) identificação de área de risco e de setores de risco (setorização preliminar) em fotos aéreas de baixa altitude (quando existir); e
- c) levantamentos de campo para setorização (ou confirmação, quando existir a pré-setorização), preenchimento da ficha de cadastro e uso de fotos de campo.

De acordo com EXCIMAP (2007), o gerenciamento de inundações na Comunidade Européia abrange a avaliação, redução holísticas e contínuas do risco de inundação. Como tal, a gestão de inundações tem três objetivos distintos:

- a) Para evitar a acumulação de riscos através de um desenvolvimento apropriado e consciente do risco (ou seja, desenvolvimento em locais seguros, formas apropriadas de construção etc.);
- b) Reduzir os riscos existentes através de medidas preventivas e de preparação (por exemplo, construção de diques de inundação e Implementação de sistemas de alerta precoce); e
- c) Para se adaptar a fatores de risco em mudança (por exemplo, adaptação às mudanças climáticas).

As medidas de controle de inundação são de grande utilidade e podem evitar muitas perdas. Com isso, o zoneamento das áreas de risco de inundação torna-se um instrumento importante no controle de inundações e deve ser utilizado pelos gestores municipais, dentro do Planejamento Urbano e dessa forma gerenciando as enchentes e evitando perdas sociais, ambientais e económicas. Estes elementos devem estar contidos no Plano Diretor da Cidade, pois a ordenação do processo do uso e ocupação do solo urbano é uma atividade de competência municipal (DA HORA, 2009).

2.6 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) pode ser compreendido como designado para trabalhar com dados referenciados com coordenadas espaciais ou geográficas (STAR e ESTES, 1990). Sua grande importância para estudos ambientais refere-se à possibilidade de acessar, transformar e manipular os dados de forma interativa, antecipando os possíveis resultados de decisões de planejamento antes de serem cometidos erros irreversíveis na paisagem, segundo BURROUGH (1986); DALE e MCLAUGHLIN (1988) apud SIMÕES (2001).

CHRISTOFOLETTI (1999) explicou que o SIG foi desenvolvido a partir da dificuldade que alguns pesquisadores encontraram para manipular diferentes tipos de dados em grande escala. A partir desta dificuldade, o SIG foi desenvolvido como um sistema capaz de extrair os dados adequados a partir de banco de dados, tornando-os acessíveis para análise e podendo apresentar os resultados sob a forma de mapas (SIMÕES (2001).

Ferramentas de software foram (e estão sendo) desenvolvidas e atualizadas para extrair características espaciais que são úteis para modelos hidráulicos, a partir de fontes de dados topográficos, tanto em SIG, quanto fora dele. No entanto, a obtenção detalhada de dados topográficos para cada bacia hidrográfica em estudo é uma tarefa difícil, sendo um processo moroso e

dispendioso a campanha de levantamento (terra ou no ar) e um pós-processamento metuculoso dos dados utilizados no estudo (GICHAMO et al., 2012).

É intensa a utilização da informática no SIG devido ao fato de o mesmo utilizar meios digitais de informação. Deve existir uma base de dados integrada, georreferenciadas e com controle de erro. O SIG deve conter funções de análise destes dados, variando de álgebra cumulativa (soma, subtração, multiplicação e divisão) até álgebra não cumulativa (operações lógicas). Dessa maneira, segundo SILVA (2000) apud GROSSI (2003), os sistemas que compõe os SIGs podem ser divididos em:

- Sistemas de entrada de dados: sistema de processamento digital de imagens, digitalização de mapas, sistema de posicionamento global, dados tabulares e dados estatísticos;
- Sistemas de armazenamento de dados: banco de dados espacial (mapas digitais) e banco de dados de atributos (alfanuméricos);
- Sistemas de análise de dados: sistema de análise geográfica (operações algébricas), sistema de análise estatística e sistema de gerenciamento de banco de dados; e
- Sistema de saída de dados: sistema de exibição cartográfica (saída de mapas para a tela, impressora, plotter e arquivos digitais).

A incorporação de procedimentos geoestatísticos em estudos ambientais baseado em técnicas de krigagem, tem sido usado por um grande número de profissionais das mais diversas áreas da ciência. Como não poderia deixar de ser, muito recentemente os profissionais da área da Geografia vem aplicando esses procedimentos, principalmente quando se trata de mapeamentos por cartografia digital. Assim, incorporado aos SIG's, deu-se

início a uma nova fase nos métodos conceituais de representação cartográfica praticado pelos geógrafos. Segundo CAMARGO et al. (1999), esta incorporação se deveu ao fato de que, essa associação melhora os procedimentos tradicionais de tais sistemas devido à qualidade do estimador e, principalmente, pela informação da acurácia fornecida nesse modelo inferencial (LOURENÇO, 2002).

Segundo GONÇALVES (2015), os modelos geoestatísticos têm sido extensivamente utilizados para analisar e prever processos espaciais e também para caracterizar a variação espacial de fenômenos relacionados com a ecologia, tais como a vegetação (WOODCOCK et al., 1988) e as propriedades dos solos (ROGOWSKI, 1996). De modo a visualizar dados de recursos naturais obtidos em pontos georrerenciados, a geoestatística pode ser utilizada para interpolação ou extrapolação espacial (GRIFFITH, 1993).

Os métodos de kriging dependem de modelos matemáticos e estatísticos. A adição de um modelo estatístico que inclui probabilidades separa os métodos de kriging dos métodos determinísticos. Nestes métodos, associa-se alguma probabilidade às previsões, porque os valores não são perfeitamente previsíveis com modelos estatísticos. Com os modelos kriging tenta-se não só prever os valores não medidos como também se tem acesso ao erro da previsão (GONÇALVES, 2015).

Os SIG's têm permitido processar informações de características físicas através de modelos digitais de elevação, como comprimento de trechos de rios, drenagens, áreas, declividade, fluxo de drenagens, drenagem acumulada, entre outras informações, que associados aos modelos hidrológicos, tem permitido obter simulações em macro-escalas. Todas essas informações são armazenadas num banco de dados geográficos geocodificados, estrutura de base para os SIG's. Exemplo é a extensão ArcHydro, do software ArcGis que permite processar plano de informações espaciais associado a um banco de dados necessário para os modelos

hidrológicos distribuídos de base física para bacias hidrográficas (GAMA, 2013).

A integração do SIG com modelos hidrológicos e sua aplicação em bacias hidrográficas permite a realização de um grande número de ações como o projeto, calibração, simulação e comparação entre os modelos. O uso do SIG permite, portanto, subdividir a bacia hidrográfica em subáreas, facilitando o seu monitoramento. A necessidade da integração dos dados de modelagem hidrológica de geoprocessamento, surge como uma ferramenta poderosa para estudos científicos que seja suficientemente capaz de prever eventos críticos auxiliando na tomada de decisões no planejamento e gestão dos recursos naturais localizados na bacia em estudo. A Figura 14 demonstra os processos para a geração de dados e de modelos hidrológicos utilizando a plataforma SIG (MACHADO, 2002).

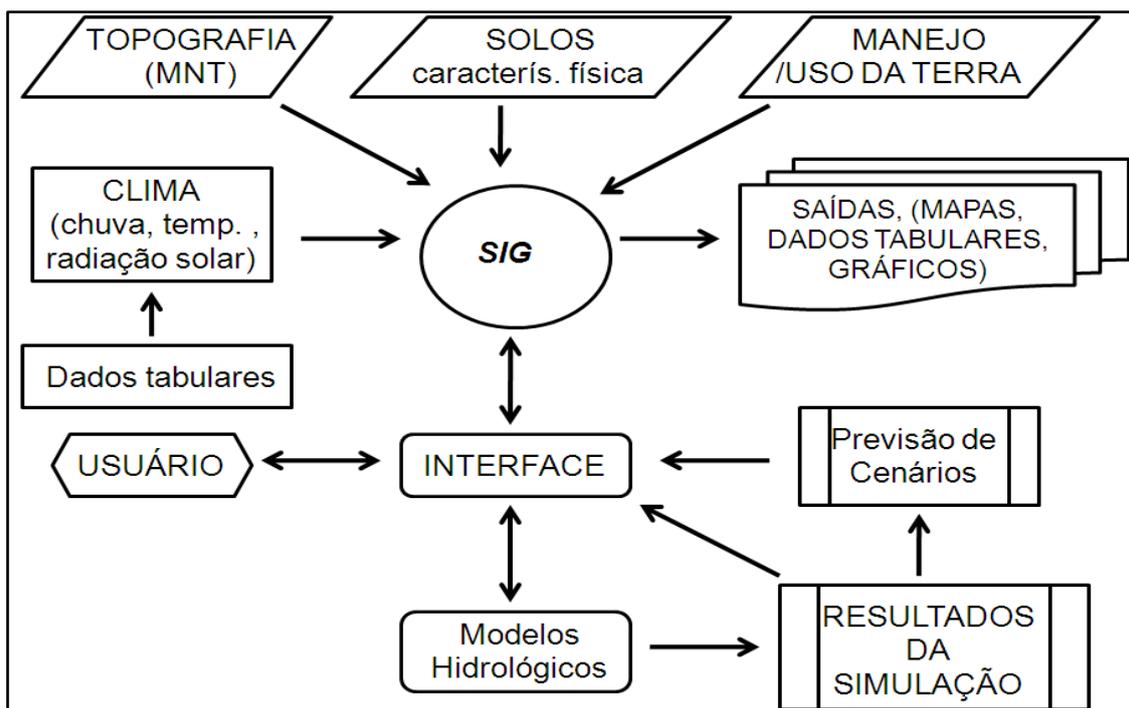


Figura 14. Procedimento para geração de dados e simulações de modelos hidrológicos via SIG.

Fonte: MACHADO (2002).

2.7 Modelos de previsão numérica do tempo

Segundo SAMPAIO e DIAS (2014), dentre os diversos avanços científicos que ocorreram no último século está a habilidade em simular complexos sistemas físicos utilizando modelos numéricos que constituem uma representação matemática aproximada da realidade. A habilidade de prever o tempo e o clima aumentou muito nas últimas décadas em função do entendimento da evolução do estado da atmosfera e dos componentes do sistema climático. Ademais, os métodos de solução numérica das equações representam cada parte do sistema climático e da notável evolução da capacidade de processamento dos computadores. Os modelos de circulação geral da atmosfera (MCGAs) também possibilitam prever as condições do tempo para vários dias, dependendo da região e do estado da atmosfera).

De acordo com COLLIER e KRZYSZTOFOWICZ (2000), ao contrário da simulação hidrológica, a simulação do comportamento da atmosfera sempre exigiu a análise em escalas globais ou continentais. Esta necessidade decorre das características da dinâmica atmosférica, em que causas e efeitos podem estar distantes por milhares de quilômetros. A representação de vastas regiões do globo, ou todo ele, no mesmo modelo de comportamento implica também em uma exigência computacional enorme, o que sempre foi um fator limitante para o desenvolvimento do tema. No decorrer do tempo, entretanto, importantes desenvolvimentos dos modelos e da infraestrutura computacional vêm sendo obtidos, e a previsão de tempo e clima começa a ficar interessante do ponto de vista da aplicação para a previsão hidrológica (COLLISCHONN, 2001).

As previsões numéricas de tempo fornecem informações importantes para diversos setores da sociedade, como a agricultura, recursos hídricos, transporte, energia hidráulica etc. Além disso, a possibilidade de prever eventos extremos permite que decisões possam ser tomadas para que os impactos de tais eventos sejam minimizados, reduzindo assim o grau de vulnerabilidade de uma determinada região (SILVEIRA et al., 2014).

As previsões dos modelos numéricos de tempo apresentam erros sistemáticos decorrentes da representação dos processos físicos atuantes e das condições de fronteira e inicial utilizadas nos modelos, principalmente nos períodos de transição de uma estação do ano para outra. Observa-se ainda, que em certos eventos extremos, os modelos não são capazes de captar os sistemas intensos, apresentando baixa qualidade nas previsões, podendo subestimar ou superestimar a intensidade e o posicionamento destes sistemas meteorológicos em uma determinada região. Sendo assim, é necessário o acompanhamento do desempenho dos modelos, conhecendo os erros sistemáticos a eles associados, para que a previsão de curto e longo prazo se torne cada vez mais uma ferramenta confiável (MOURA et al., 2009).

O sucesso da modelagem numérica acoplado ao rápido crescimento do poder computacional tem conduzido ao avanço dos modelos de mesoescala no ambiente operacional das previsões de tempo. Usufruir, ao máximo, dos benefícios proporcionados por estes sistemas implica dominar técnicas capazes de processar e analisar as informações provenientes das saídas numéricas (CORTINAS JR. e STENSRUD, 1995).

COLLISCHONN (2001) explicou que as previsões numéricas de tempo e clima apresentam, ainda, erros relativamente grosseiros na estimativa da precipitação, especialmente quando analisadas de forma pontual, ou em pequenas áreas. Mas se utilizadas na escala superior à resolução espacial, ou seja, em bacias de várias dezenas ou centenas de quilômetros quadrados, estas previsões já estão se tornando adequadas para incrementar a qualidade da modelagem hidrológica em diversas regiões do mundo.

A cobertura de dados meteorológicos observados sobre a América do Sul é muito pequena e irregularmente espaçada quando comparada com regiões do hemisfério norte ou Australiana. Esta baixa densidade de dados, principalmente no interior do continente, e a quase inexistência sobre os oceanos, faz com que a interpolação da precipitação para grade regular apresente uma baixa qualidade. Neste caso, a validação de modelos

numéricos, pode ser altamente comprometida, uma vez que a precipitação interpolada não é representativa da realidade (ROZANTE et al, 2000).

Há alguns anos, a previsão de precipitação era utilizada de modo binário, chuva ou não chuva. Esta informação era obtida com a previsão da ocorrência de fenômenos meteorológicos sobre a região de interesse. O desenvolvimento de modelos numéricos de previsão do tempo proporcionou a geração de informações quantitativas de precipitação, embora com destreza ainda insuficiente, para a boa parte das aplicações onde foi utilizado (McCOLLOR e STULL, 2008 partes I e II). Em alguns casos, os modelos numéricos são utilizados para fornecer prognósticos por categoria, os quais podem ser corrigidos por técnicas estocásticas, ou mesmo, supervisionados por meteorologistas previsores que podem aplicar metodologias de correção em função da destreza das últimas previsões (CALVETTI, 2011).

A previsão do tempo continua a constituir um dos enormes desafios colocados à espécie humana. A sua evolução é o resultado da cooperação internacional, do saber científico, do desenvolvimento tecnológico, aspectos que verificando-se em simultâneo, ou com pequenos desfasamentos temporais, permitiram atingir o nível de desenvolvimento atual. Sem dúvida que a capacidade de prever o tempo tem contribuído para a preservação de vidas e bens e para a melhoria da qualidade de vida da humanidade (CORTE-REAL, 2015).

2.7.1 Modelo Regional ETA

De acordo com SANTOS (2015), O modelo regional ETA, desenvolvido na Sérvia, utiliza a grade E de Arakawa (ARAKAWA e LAMB, 1977) e a coordenada vertical η (MESINGER, 1984) que lhe serve de nome. O ETA 20,00 Km, inicializado às 00:00 e 12:00UTC (MOURA et al., 2006) possui durante o período de estudo, segundo SAPUCCI et al. (2008), uma resolução horizontal de 20,00 km e 42 níveis na vertical (Figura 15). Como condição inicial faz uso das análises do *Global Forecast System* (GFS) e, como condição de contorno,

utiliza as previsões do modelo global, então nomeado de CPTEC/COLA. De acordo com GUARNIERI (2006), para o modelo ETA em si, a TSM é obtida diretamente de um valor médio das temperaturas observadas na semana anterior, e, assim, ela é mantida constante durante todo o período de integração. As variáveis humidade do solo e albedo são obtidas de climatologias globais mensais e sazonais, respectivamente. O autor ainda afirma que, desta forma, o modelo ETA é capaz de realizar previsões para cada 06 horas, após o horário da condição inicial, o que faz coincidir com os horários sinóticos de cada dia (00:00UTC, 06:00UTC, 12:00UTC e 18: 00UTC).

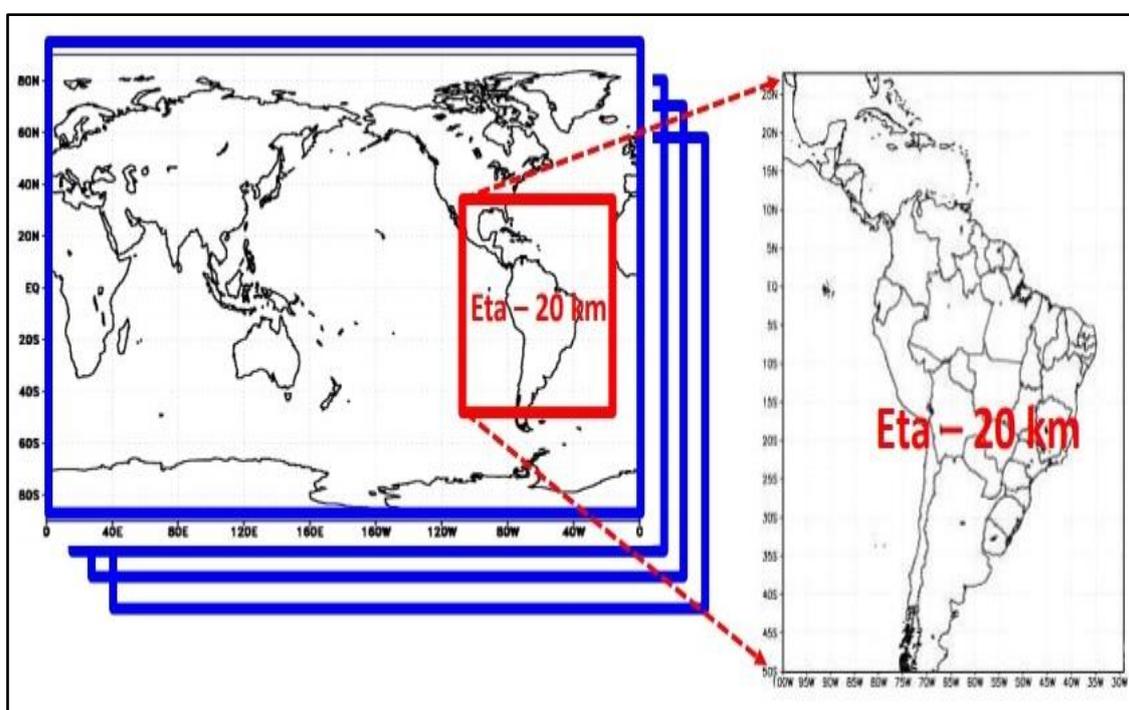


Figura 15. Ilustração do domínio do ETA 20 km com destaque para a vizinhança do NEB.

Fonte: CHAN (2014).

Segundo JUNIOR et al. (2009), o ETA é um modelo estado da arte para pesquisa ou uso operacional em meteorologia. Uma das principais vantagens do modelo é a coordenada vertical e a estabilidade numérica (MESINGER et al., 1990). As variáveis prognósticas do modelo são: temperatura do ar, humidade, pressão à superfície, vento horizontal, energia

cinética turbulenta e água líquida ou gelo das nuvens previstas em intervalos de seis horas.

De acordo com CATALDI et al. (2007), o modelo possui complexa representação dos processos físicos que são tratados através de esquemas de parametrizações. As misturas turbulentas na vertical são resolvidas pelo esquema de MELLOR-YAMADA (1982) no nível de fechamento 2,5, em que a energia cinética turbulenta é prevista.

As trocas de energia à superfície se baseiam na teoria de similaridade de Monin-Obukhov e utilizam as funções de estabilidade de Paulson. O tratamento dos fluxos radiativos na atmosfera foi desenvolvido pelo *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory*, sendo que radiação de onda curta se baseia no esquema de LACIS e HANSEN (1974) e a radiação de onda longa se baseia no esquema de FELS e SCHWARZKOPF (1975).

As taxas de aquecimento ou resfriamento devido aos processos radiativos são recalculados a cada hora de integração. As distribuições de dióxido de carbono, ozônio e do albedo iniciais são provenientes de valores climatológicos. O conteúdo de água no solo é previsto pelo esquema de CHEN et al. (1997). Este esquema é composto pelo acoplamento entre a formulação desenvolvida por MAHRT e EK (1984) para a evapotranspiração de Penman, o modelo de múltiplas camadas de solo de MAHRT e PAN (1984) e o modelo para o dossel de PAN e MAHRT (1987). O esquema possui 2 camadas no solo e um mapa com 12 tipos de cobertura vegetal.

A produção de chuva convectiva se baseia no esquema do tipo ajuste convectivo de Betts-Miller-Janjic (BETTS e MILLER, 1986; JANJIC, 1994). Neste esquema o perfil termodinamicamente instável é ajustado em direção a um perfil de referência. A chuva e as nuvens estratiformes do modelo são representadas pelo esquema de microfísica de nuvens de Zhao (ZHAO e CARR, 1997) que produz a água líquida ou gelo da nuvem estratiforme.

CHOU e JUSTI DA SILVA (1999) avaliaram todas as previsões de precipitação do modelo ETA sobre a América do Sul para um período de dois (02) anos. Utilizando o índice “*Equitable Threat Score*”, mostrou-se que, com exceção da previsão de 24h, as previsões dos demais prazos, 36, 48 e 60 h, apresentaram pouca diferença entre si no que se refere ao índice. Notaram, portanto, que havia pouca perda na qualidade da previsão com o prazo de integração. A qualidade da previsão depende de diversos fatores, por exemplo, a qualidade da condição inicial e a da condição de contorno lateral. O modelo ETA foi avaliado para uma situação de evento extremo de chuvas na Venezuela. CHOU et al. (2004) mostraram que o emprego de uma análise e de condições de contorno lateral em resolução maior, capturaram melhor o evento extremo. Com o pequeno domínio escolhido, os efeitos das bordas eram percebidos na região de interesse dentro do prazo de integração (BUSTAMANTE et al, 2005).

A Figura 16 apresenta um exemplo do modelo regional ETA, gerado pelo CPTEC/INPE e trabalhado pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH/AL), para a região Leste do Nordeste brasileiro. O modelo é gerado para toda a América do Sul, mas pode ser inserida a sua região de interesse. Neste caso, o modelo gera informações com vários parâmetros atmosféricos, como precipitação acumulada, linhas de corrente e magnitude do vento, temperatura do ar, humidade relativa do ar, dentre outros.

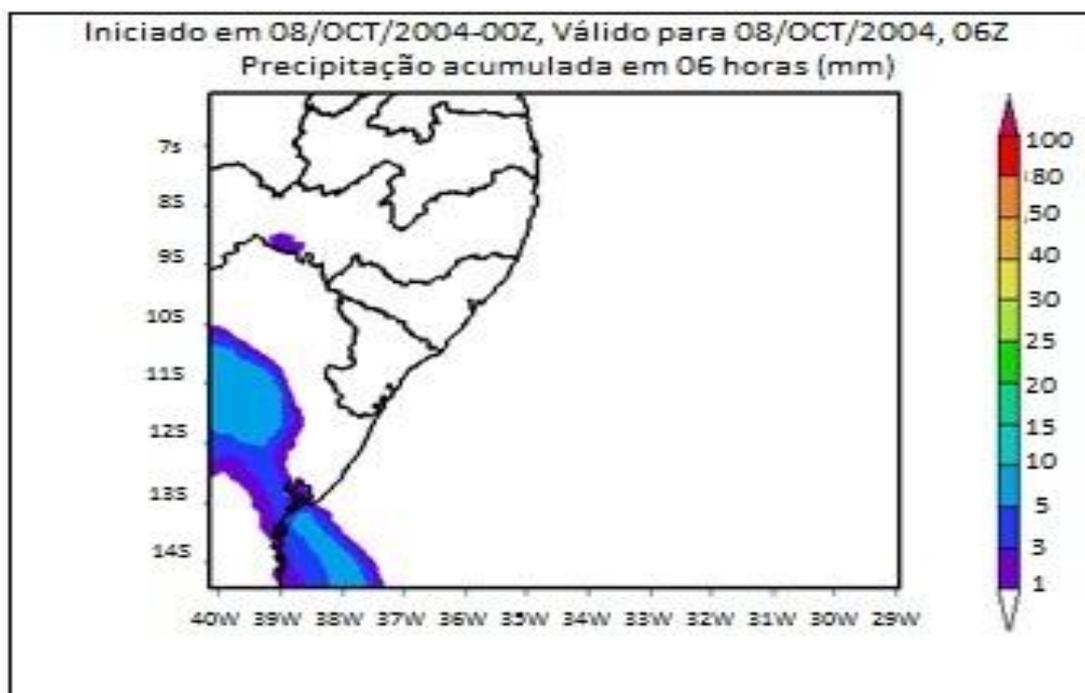


Figura 16. Imagem do modelo regional ETA para o dia 08/12/2004

Fonte: SEMARH/AL (2010).

2.8 Modelos hidrológicos

Segundo MAIDMENT (1993), define-se um modelo hidrológico como uma representação matemática do escoamento de água, e seus constituintes, sobre uma parte da superfície e/ou sub superfície terrestre. A relação que existe entre as modelações hidrológica, química e ecológica é bastante estreita, visto que esse escoamento é responsável como o veículo de todo e qualquer constituinte que exista, potencialmente, na bacia hidrográfica. Segundo o Autor, a hidrologia está internamente ligada com as condições climáticas, troposféricas e biosféricas, portanto, os modelos hidrológicos, atmosféricos e de outra natureza deveriam estar acoplados. Na prática, esta interação se torna bastante complexa, visto que os modelos atmosféricos trabalham com resoluções espaciais bem maiores que as utilizadas na modelação hidrológica.

De acordo com FILHO et al., (2012), a modelagem hidrológica surgiu, há mais de um século, a partir do equacionamento de alguns processos hidrológicos, como, por exemplo, o Método Racional, proposto por Mulvany por volta de 1850, destinado a prever a vazão máxima decorrente de um evento de chuva. Esse método foi registrado na literatura por suas aplicações no projeto de redes de esgoto nos últimos anos do Século XIX (TODINI, 2007 e LIMA, 2011).

A maioria dos modelos hidrológicos tem como objeto de estudo a bacia hidrográfica, reunindo as superfícies que captam e despejam água sobre um ou mais canais de escoamento que convergem para uma única saída. A bacia hidrográfica pode constituir a unidade espacial para modelos agregados que consideram as propriedades médias para toda a bacia, ou então, pode ser subdividida segundo diversas abordagens a fim de considerar suas características espacialmente distribuídas (MACEDO, 2013).

SINGH e BARDOSSY (2012) escreveram que os modelos hidrológicos são utilizados para a previsão e gestão da água, a fornecer assim informações para a tomada de decisão. Devido à simplificação dos processos naturais complexos, à alta variabilidade espacial e temporal e a disponibilidade limitada de observações, a identificação dos parâmetros do modelo é uma tarefa bastante peculiar. Mesmo modelos fisicamente baseados requerem ajustes de parâmetros devido à diferenças entre as escalas de observação e modelagem, e a uma observação limitada de certas variáveis e processos.

Segundo RENNÓ (2003), os modelos podem ser classificados sob diferentes aspectos. Comumente, os modelos são classificados, dentre outras formas, de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), o tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou baseados em processos), a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), a existência ou não de relações espaciais (pontuais ou distribuídos), e a existência de dependência temporal (estáticos ou dinâmicos).

Os modelos sobre processos podem ser genéricos (agregados) ou distribuídos. Os modelos genéricos analisam os processos ocorrentes na bacia em seu conjunto, sem se preocupar com as variações espaciais dos processos, inputs, condições limitantes e características geométricas da bacia. Os modelos distribuídos, no entanto, levam em consideração a variabilidade espacial dos componentes e dos valores das variáveis no interior da bacia hidrográfica (CHRISTOFOLETTI, 1999).

De acordo com COLLISCHONN (2001), modelos hidrológicos distribuídos são aqueles que consideram a distribuição espacial de algumas variáveis. Neste sentido é impossível dissociar os modelos distribuídos dos modelos hidrológicos de base física. É necessário, pelo menos um pouco de base física, para justificar a consideração de características distribuídas.

Segundo BEVEN (1985) apud COLLISCHONN (2001), os modelos distribuídos de base física têm aplicação potencial em:

- Previsão das consequências de alterações do uso do solo;
- Previsão da heterogeneidade espacial de variáveis de entrada e saída;
- Previsão do movimento de poluentes e sedimentos; e
- Previsão hidrológica em bacias sem dados para a calibração de modelos conceituais.

Um dos recentes impulsos em modelagem hidrológica é a avaliação dos efeitos de uso da terra e mudanças da cobertura sobre os recursos hídricos e inundações, que são essenciais para o planejamento e operação de projetos de recursos públicos de água, e para alerta de cheias com antecedência (DU et al., 2012).

Entre os primeiros modelos hidrológicos desenvolvidos estão o *Streamflow Simulation and Reservoir Regulation Model* (SSARR) (ROCKWOOD, 1958), o *Stand ford Watershed Model* (CRAWFORD e LINSLEY, 1966) e o *National Weather Service River Forecast System* (NWSRFS). Em 1973, o Centro de Engenharia Hidrológica do *U.S. Army Corps of Engineers* (ACOE) desenvolveu o HEC-1 (do inglês *Hydrologic Engineering Center*), modelo que simula as cheias a partir de dados de precipitação (BEDIENT e HUBER, 2002).

Os modelos hidrológicos são usados para a previsão e gestão da água, e para fornecer informações para a tomada de decisão. Devido à simplificação dos processos naturais complexos, a alta resolução espacial e variabilidade temporal, e a disponibilidade limitada de observações, a identificação dos parâmetros do modelo é uma tarefa difícil. Mesmo os modelos baseados fisicamente exigem ajustes de parâmetros devido às diferenças entre a observação e escalas de modelação, e a um observância limitada de certas variáveis e processos (SINGH e BARDOSSY, 2012).

A necessidade do uso de modelos matemáticos para a obtenção de respostas mais rápidas e precisas, nos problemas de projeto e operação de sistemas hidráulicos resultou em grande desenvolvimento nessa linha de pesquisa. Os modelos conceituais do tipo chuva-vazão aparecem para suprir a carência de conhecimento acerca do comportamento físico de bacias hidrográficas. Esses modelos atuam com base no conceito de balanço hídrico, equilibrando, a cada unidade de tempo estipulada (diária ou mensal, em geral), as parcelas atuantes do ciclo hidrológico que representam ganhos e perdas de água no sistema. Em outras palavras, quantificadas a entrada de água no sistema, através da precipitação incidente sobre a bacia, e as perdas por evapotranspiração inerentes à bacia, o modelo deve ser capaz de estimar a saída de água da bacia, sob a forma de vazão na seção exutória (PACA, 2008).

De acordo com RENNÓ e SOARES (2001), modelos matemáticos hidrológicos tentam representar o regime hidrológico quali-quantitativo de bacias hidrográficas com a finalidade de facilitar o entendimento que permite prever e mensurar a resposta do sistema aos condicionantes externos e de interesse. Estes modelos são baseados em formulações matemáticas, obtidas a partir de observações e técnicas estatísticas.

Para melhor entender os modelos hidrológicos, é necessário analisar os componentes envolvidos no ciclo hidrológico. A água é agente essencial no processo produtivo, aqui entendido como fixação do carbono atmosférico pelas plantas superiores. A folha de uma planta é o principal órgão responsável pela fotossíntese e é também o responsável pelo controle sobre o ciclo hidrológico através dos estômatos. Pode-se verificar uma estreita relação entre os ciclos da água e do carbono (RENNÓ e SOARES, 2001). A Figura 17 demonstra os principais componentes envolvidos no ciclo hidrológico.

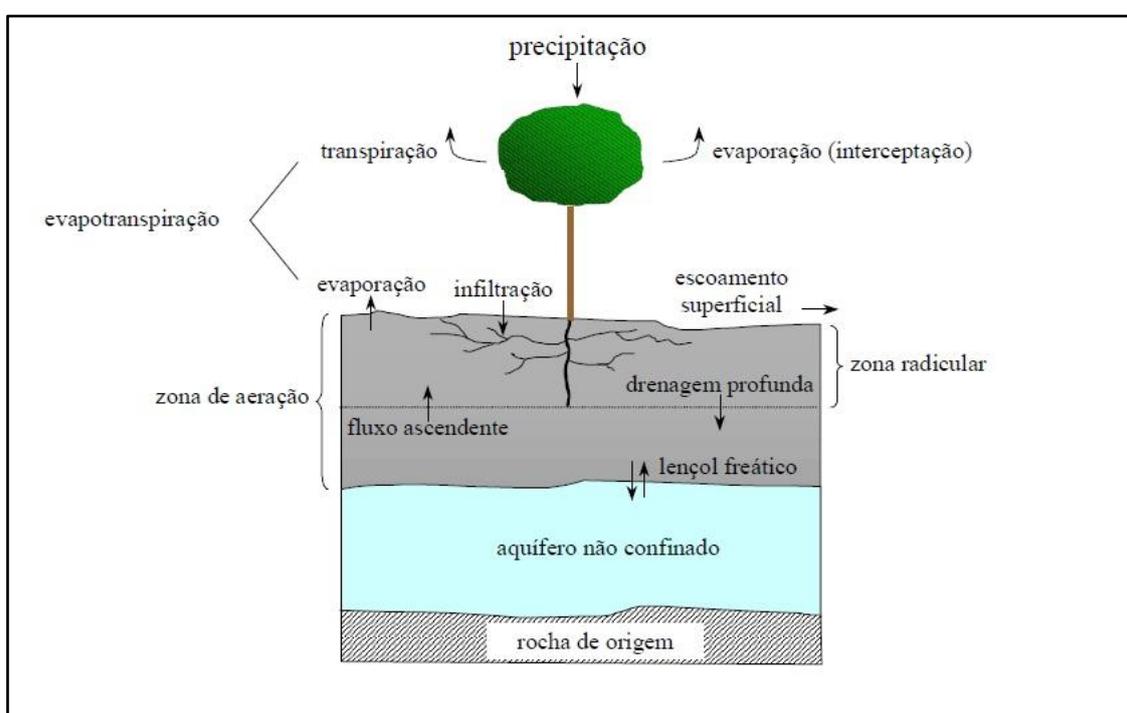


Figura 17. Diagrama dos principais componentes do ciclo hidrológico

Fonte: RENNÓ e SOARES (2001).

Os modelos conceituais distribuídos simulam os diversos processos no ciclo hidrossedimentológico. Um desses modelos é o *Soiland Water Assessment Tool* (SWAT), que permite uma grande flexibilidade na configuração de bacias hidrográficas (PETERSON e HAMLETT, 1998). Segundo ARIAS et al. (2014), o modelo SWAT é amplamente utilizado para diferentes propósitos (modelagem de escoamento, transporte de sedimentos, nutrientes, ciclo de pesticidas, etc.) em todo o mundo e tem sido aplicado a diferentes bacias de diferentes tamanhos e em condições consideravelmente distintas, geralmente com resultados satisfatórios.

De acordo com GRAYSON et al. (1992), O modelo SWAT foi desenvolvido para prever o efeito de diferentes cenários de manejo na qualidade da água, produção de sedimentos e cargas de poluentes em bacia hidrográficas agrícolas (SRINIVASAN e ARNOLD, 1994). Este modelo considera a bacia dividida em sub-bacias (Unidades de Respostas Hidrológicas - URH) com base no relevo, solos e uso da terra e, desse modo, preserva os parâmetros espacialmente distribuídos da bacia inteira e características homogêneas dentro da bacia. O modelo estima componentes hidrológicos relevantes, tais como o escoamento superficial, o fluxo de base, a evapotranspiração (ET) e a alteração da humidade do solo para cada URH (SONG e SHANG, 2012).

Um aspecto importante em relação ao uso de modelos hidráulicos-hidrológicos é o alcance da modelagem do processo hidrológico. Enquanto os modelos hidrológicos visam fundamentalmente a obtenção do hidrograma de cheia na saída do exutório de uma bacia, os modelos hidráulicos-hidrológicos buscam a compreensão dos processos hidráulicos e hidrológicos que ocorrem no interior da bacia, possibilitando a quantificação de variáveis de importância para a análise e a tomada de decisão (SANTOS, 2009).

2.8.1 Modelo hidrológico MGB-IPH

O MGB-IPH, é um modelo hidrológico distribuído, desenvolvido na tese de doutorado de Walter Collischonn, no Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRS). Diversas aplicações do modelo MGB-IPH já foram conduzidas em bacias hidrográficas brasileiras e da América do Sul (BRAVO, 2008).

O modelo hidrológico MGB-IPH foi desenvolvido a partir dos modelos VIC-2L e LARSIM que buscam preencher o espaço intermediário entre os modelos de transformação chuva-vazão, adaptados para pequenas bacias, e os modelos de circulação global, de grande escala. O modelo tem sido usado para previsão hidrológica, o qual possibilita estudo de disponibilidade hídrica, gerenciamento de recursos hídricos e em menor escala, avaliação de impactos de mudança de uso do solo e mudanças climáticas (COLLISCHONN, 2006).

Para a representação de uma bacia hidrográfica em um modelo hidrológico distribuído, como é o caso do MGB-IPH, é necessária a manipulação de uma quantidade relativamente extensa de dados. As principais informações de entrada no modelo hidrológico podem ser obtidas em Modelos Numéricos de Terrenos (MNT), mapas de tipos de solos e imagens de satélites, para a obtenção do uso e cobertura do solo. Em complemento às informações físicas da bacia, os dados hidrológicos como precipitação, vazões observadas, dados climáticos (temperatura, velocidade do vento, humidade, dentre outros), podem ser obtidos juntamente com agências de recursos hídricos, do meio ambiente e do setor agrícola (CHAVES, 2013). As etapas do desenvolvimento do modelo MGB-IPH podem ser conferidos na Figura 18.

De acordo com SOBRINHO (2012), o modelo hidrológico MGB-IPH permite a simulação de uma grande variedade de cenários que servem de base para caracterizar os impactos causados por modificações antrópicas no uso e ocupação do solo, sendo consideradas as variações espaciais de seus parâmetros e variáveis. Os modelos distribuídos permitem que se aumente a

eficácia da representação de determinados fenômenos físicos, devido à uma descrição mais detalhada da variação espacial dos parâmetros de entrada, a serem estimados e medidos.

A versão MGB-IPH mini-bacias permite discretizar a bacia hidrográfica em mini-bacias com tamanhos a critério do usuário. Diferentemente da versão anterior, onde a discretização era elaborada por células da ordem de quilômetros (10 x 10 Km, 5 x 5 Km), a propagação do escoamento se dava para cada célula. Nesta versão, a propagação do escoamento é realizada de uma mini-bacia para outra (GAMA, 2013).

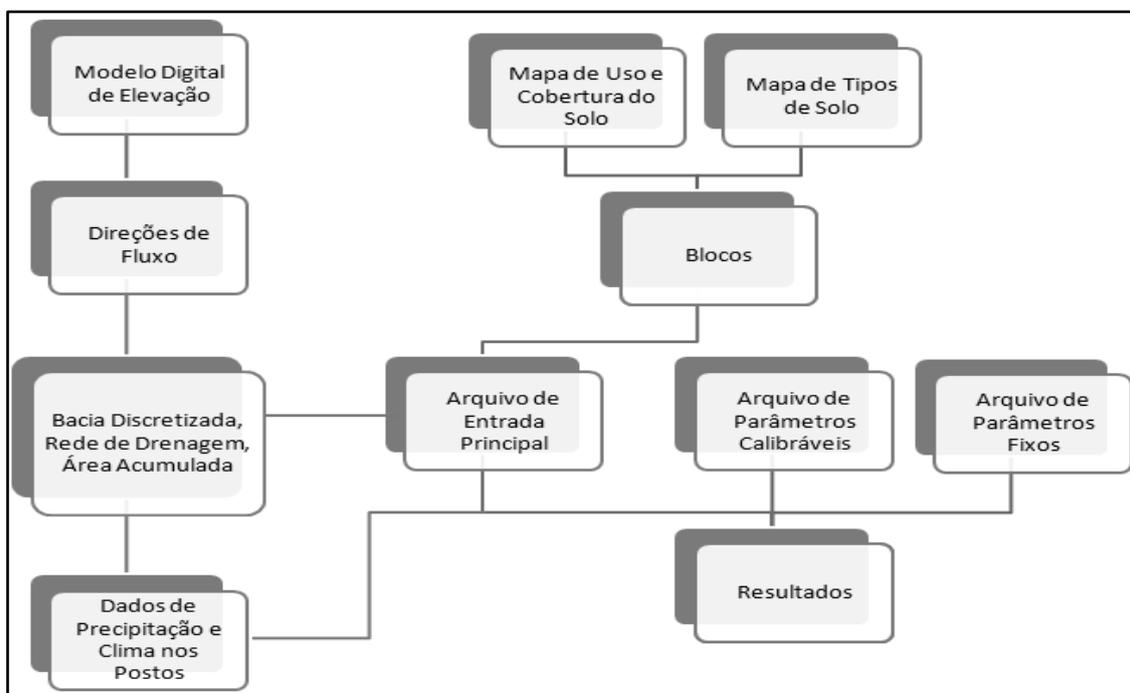


Figura 18. Etapas do modelo hidrológico MGB-IPH.

Fonte: CHAVES (2013).

Cada mini-bacia pode conter diversos tipos de uso e cobertura do solo, definidos com base no conceito de Unidades de Resposta Hidrológica (URH) (Grouped Response Unit – GRU), descrito por KOUWEN et al. (1993), citado por COLLISCHONN (2001). A Figura 19 ilustra a discretização de uma sub-bacia com diferentes tipos de cobertura e uso do solo, bem como a diversidade

de parâmetros que podem influenciar nos processos hidrológicos (CHAVES, 2013).

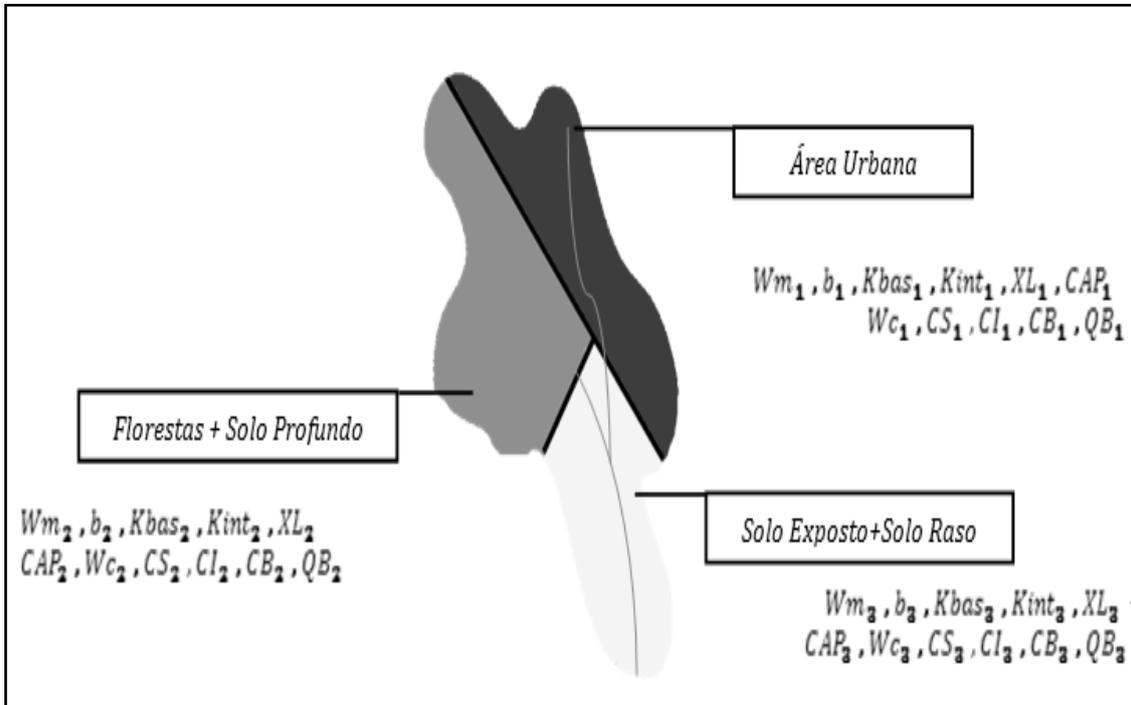


Figura 19. Conceito de URL em uma mini-bacia utilizado no modelo hidrológico MGB-IPH.

Fonte: CHAVES (2013).

Segundo FAN (2011), considera-se que o comportamento hidrológico das URHs possa ser explicado por características físicas relacionadas aos solos (e.g. capacidade de armazenamento de água, profundidade, porosidade, condutividade hidráulica), e a cobertura vegetal (e.g índice de área foliar, interceptação, profundidade das raízes, albedo). Desta forma, as URHs são geralmente definidas através da superposição de dois mapas distintos de uma mesma região:

- a) Mapa de tipo de solo; e
- b) Mapa de uso da terra e vegetação, ou mapa de "uso do solo". Porém, adicionalmente podem ser considerados outros tipos de

informação, como, por exemplo, a topografia e a litologia local. Estas informações são derivadas a partir de imagens de satélite ou de mapas digitalizados.

A Figura 20 apresenta o esquema de construção das URHs, descritas por PAIVA (2009).

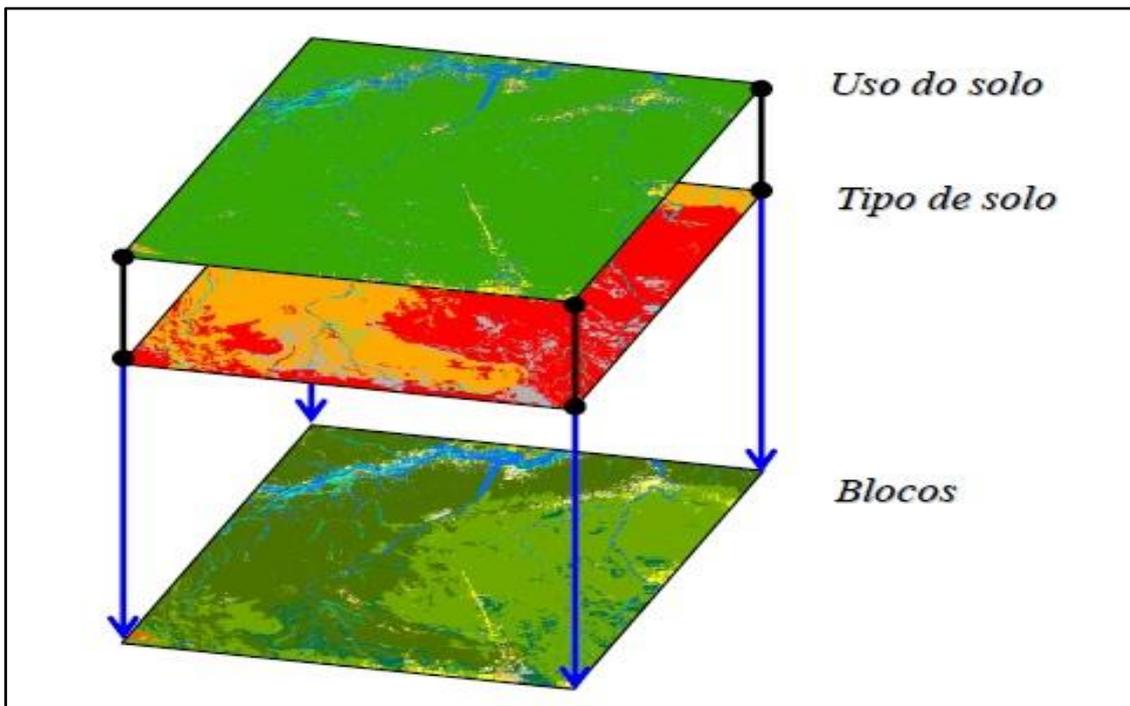


Figura 20. Representação esquemática do procedimento de geração das URHs.

Fonte: PAIVA (2009).

O balanço de armazenamento de água no solo é realizado independentemente para cada um dos blocos, conforme Figura 21. O módulo de balanço de água no solo foi baseado na geração de escoamento superficial por excesso de capacidade de armazenamento sendo simplificado pela consideração de uma relação estatística entre a humidade do solo e a fração de área de solo saturada. O módulo de evapotranspiração foi desenvolvido de acordo com o método de Penman – Monteith descrito por SHUTTLEWORTH (1993) e WIGMOSTA et al. (1994), e a metodologia de Muskingun-Cunge, na

forma descrita por TUCCI (2002) foi utilizada para o escoamento na rede de drenagem (COLLISCHONN, 2001 apud CHAVES, 2013).

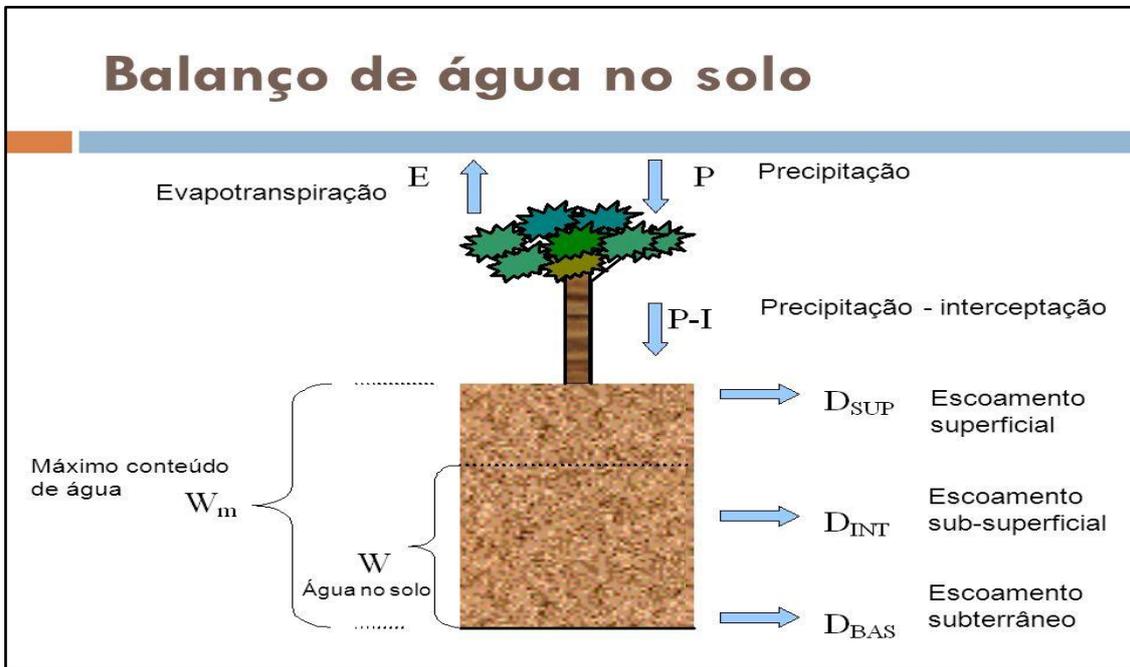


Figura 21. Balanço de armazenamento da água no solo
 Fonte: SILVA (2015).

Segundo COLLINSON (2001) apud CHAVES (2013), o balanço hídrico na camada superficial do solo é dado pela Equação 01.

$$W^t = W^{t-1} + P - ET - D_{sup} - D_{int} - D_{bas} - D_{cap} \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

W^t (mm) = Armazenamento na camada do solo ao final do intervalo de tempo t ,

W^{t-1} (mm) = Armazenamento na camada do solo ao início do intervalo de tempo t ,

P (mm) = Precipitação incidente menos a interceptação no intervalo de

- tempo t ,
- ET (mm) = Evapotranspiração da água na camada do solo no intervalo de tempo t ;
- D_{sup} = Escoamento superficial no intervalo de tempo t (drenagem rápida);
- D_{int} = Escoamento superficial no intervalo de tempo t (drenagem lenta);
- D_{bas} = Escoamento subterrâneo no intervalo de tempo t (drenagem muito lenta);
- D_{cap} = Fluxo do reservatório subterrâneo para a camada superficial do solo.

Segundo FAN (2011), informações mais detalhadas sobre as equações utilizadas pelo modelo hidrológico MGB-IPH podem ser obtidas em COLLISCHONN (2001), COLLISCHONN e TUCCI (2001) e PAIVA (2009).

Diversos autores utilizaram estudos com o modelo hidrológico MGB-IPH em várias localidades do Brasil, como CHAVES (2013); GAMA (2013); MONTE et al (2015); FAN (2011); PAIVA (2009); ARAÚJO (2017), COLLISCHONN (2001; 2005); PONTES et al (2017); PAIVA et al., (2013), dentre inúmeros outros.

A modelação de bacias hidrográficas deve ser uma ferramenta essencial para reaprender a viver com rios e mudanças fluviais, aceitando e compreendendo processos de várzea e o ambiente em que as sociedades escolhem viver. Além disso, os geomorfólogos fluviais devem abordar a mitigação do risco de inundação com uma melhor compreensão das inter-relações entre a mudança de uso da terra em planícies aluviais e os efeitos das mudanças climáticas nas inundações. Assim, é necessário compreender melhor os processos fluviais, incentivando a colaboração multidisciplinar entre

geomorfólogos e hidrologistas, engenheiros hidráulicos, hidrogeólogos, ecologistas e outros profissionais e, portanto, desenvolver modelos de captação integrados baseados numa filosofia de "sistema aberto" para melhor combinar modelos físicos e as necessidades e preferências locais (SAMUELS, 2005).

2.9 Modelos hidráulicos

Os modelos hidráulicos e hidrológicos são construídos a partir de abordagens físicas dos processos hidrológicos utilizando-se das equações da conservação da massa e da quantidade de movimento em sua forma completa ou simplificada. Enquanto os modelos hidrológicos visam fundamentalmente a obtenção do hidrograma de cheia na saída do exutório de uma bacia, os modelos hidráulicos hidrológicos buscam a compreensão dos seus processos que ocorrem no interior da bacia, possibilitando a quantificação de variáveis de importância para a análise e a tomada de decisão (SANTOS, 2009).

Segundo CABRAL (2016), vários autores como OLIVEIRA et al. (2011); RIBEIRO e LIMA (2011); OLIVEIRA e GUASSELLI (2011); GICHAMO et al. (2012); MARTIN et al. (2012); HAGHIZADEH et al. (2012); ABUSHAND e MERKEL, (2013), utilizaram modelos hidrológicos, hidráulicos e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na determinação de manchas de inundação em rios e canais urbanos, para propiciar ações dos órgãos responsáveis em reduzir os prejuízos das populações ribeirinhas.

De acordo com HOOKE e MANT (2000), Os dados inseridos em um Sistema de Informação Geográfica (SIG) permitem que a dinâmica ambiental seja caracterizada em várias escalas para produzir mapas de riscos de inundações e riscos económicos, humanos e/ou ecológicos, bem como riscos ao património natural. Estes dados trabalhados podem ser disponibilizados para informação e consulta pelos gestores responsáveis por desenvolvimento regional, pelos intervenientes económicos e pelos utilizadores, para uma abordagem em conjunto da gestão das bacias hidrográficas. Segundo os

Autores, trabalhar em projetos de risco fluvial requer uma compreensão da dinâmica da planície de inundação e da forma como o rio pode reagir às mudanças ambientais.

Os modelos hidráulicos podem ser classificados de acordo com o número de dimensões nas quais eles representam o domínio espacial e os processos de fluxo. Embora o fluxo em canais compostos seja completamente tridimensional, o tratamento numérico proporcional de tais processos, particularmente para fluxos superficiais dinâmicos com mudanças significativas na extensão do domínio, não é (atualmente) viável (HUNTER et al., 2007).

O modelo hidrológico HEC-HMS é um modelo fisicamente baseado e agregado, pois assume que a bacia hidrográfica é constituída por um grupo de sub-bacias hidrográficas em que os processos hidrológicos são calculados com base em parâmetros que refletem as condições médias na área. As componentes do modelo HEC-HMS caracterizam-se por relações matemáticas que simulam os processos meteorológicos, hidrológicos e hidráulicos (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2010).

Estes processos são, sequencialmente, a precipitação, a interceptação, a infiltração e o escoamento superficial na área de drenagem e o escoamento e a propagação da onda de cheia na rede hidrográfica. Os resultados finais do processo de simulação são os hidrogramas de cheia nas seções de referência das sub-bacias e na seção de referência da bacia hidrográfica de estudo. O modelo hidrológico HEC-HMS permite uma integração com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), através do software HEC-GeoHMS. (FERNANDEZ et al, 2013). Alguns autores na região Nordeste do Brasil estão se especializando na utilização do mapeamento de áreas de riscos, aprimorando várias técnicas em conjunto, devido aos recentes eventos atmosféricos severos que assolaram a região nos últimos anos.

2.9.1 Modelo Hidráulico HEC-RAS

Um exemplo de modelo hidráulico bastante eficaz é o HEC-RAS. O módulo RAS (*River Analysis System*) é um software de simulação hidráulica pertencente à plataforma HEC (*Hydrologic Engineering Center*). Ele possibilita a simulação unidimensional do escoamento em canais abertos, sob o regime permanente e não permanente, e também na condição de fundo móvel (transporte de sedimentos). Sua interface gráfica permite a construção de projetos com um único trecho ou com uma rede de canais. São utilizadas informações topográficas das seções para descrever a geometria do canal (GRACIOSA, 2010).

A primeira versão (1.0) do modelo hidráulico HEC-RAS surgiu em 1995 e sua atual versão (4.1.0) foi lançada em 2010. O modelo é um software gratuito, seu tipo unidimensional resolve as equações de Saint-Venant completas, por aplicação do método de diferenças finitas, permitindo simular o escoamento em superfície livre seja em regime permanente ou em não permanente (SANTOS, 2015). As informações sobre as equações utilizadas pelo modelo hidráulico HEC-RAS podem ser obtidas em CONDE (2007).

O HEC-RAS é um dos modelos hidráulicos mais populares na delimitação das zonas inundáveis fluviais (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2008). Trata-se de um modelo 1D, que permite simular o escoamento em superfície livre, em regime permanente e em regime variável. A lei de resistência aplicada é a Equação de Manning-Strickler e a seção transversal de escoamento é considerada uma seção composta. A topografia do canal é caracterizada pelo resultado do levantamento topográfico de uma série de seções transversais ao longo do trecho do rio em estudo (FERNANDEZ et al., 2013).

Para delimitar a zona inundada são calculadas as alturas de água nas seções transversais referidas. Dado a cota da superfície livre ser constante na seção, a zona inundada é limitada pela intercepção da topografia do terreno

com a superfície livre em cada seção e o resultado da interpolação entre os perfis das seções transversais. O modelo HEC-RAS permite facilmente a integração com um SIG através do software HEC-GeoRAS (FERNANDEZ et al., 2013).

De acordo com CONDE (2007), é interessante explicitar, em traços gerais, as diversas limitações encontradas na utilização do HEC-RAS:

- a) O escoamento é unidimensional, onde se assume que a energia total é igual numa seção transversal;
- b) Só se consegue contabilizar as perdas de carga por recurso à equação de Manning-Strickler; e
- c) O fato de se tratar basicamente de um modelo de regime permanente impede a abordagem de grandes variações de caudais.

MULONGO (2012) utilizou os modelos HEC-HMS e HEC-RAS para analisar as inundações da bacia hidrográfica do Campus da UFSC. Houve uma enchente em 1995 nesta região, trazendo grandes prejuízos para a população, onde casas fora inundadas e atividades universitárias e hospitalares foram interrompidas. Com isso houve uma necessidade de acompanhar as mudanças que ocorreram nos últimos anos, além da necessidade de estarem preparados para outros eventos. O HEC-HMS foi utilizado para determinar a vazão a partir de dados pluviométricos para vários períodos de retorno. O HEC-RAS para determinar o nível d'água. Uma das metas era poder definir um sistema de suporte a decisão que pudesse ser usado juntamente com a defesa civil. No final o sistema construído se mostrou simples para o uso em ações preventivas. Foi demonstrado que o modelo HEC-RAS foi eficiente na construção dos mapas de inundação (SANTOS, 2015).

Com base na experiência disponível entre os países europeus no campo do mapeamento de enchentes, os mapas de inundações são usados

por diferentes partes interessadas. Servem pelo menos um dos três fins da inundação e gerenciamento de riscos (EXCIMAP, 2007):

- a) Impedir a acumulação de novos riscos (planeamento e construção);
- b) reduzir os riscos existentes; e
- c) se adaptar a fatores de risco em mudança.

De acordo com a diretiva europeia sobre inundações, os mapas de risco de inundação devem abranger as áreas geográficas que poderiam ser inundadas usando pelo menos três cenários: baixa, média e alta probabilidade de ocorrência. Para cada cenário, a extensão da inundação, as profundidades da água ou o nível da água, conforme apropriado e, quando apropriado, a velocidade do fluxo, devem ser representadas nos mapas (EXCIMAP, 2007).

A maioria dos exemplos disponíveis na Europa são compilados nas seguintes descrições, de acordo com EXCIMAP (2007):

a) Uso do mapa de extensão de inundação

- Serve como um produto básico para estabelecer mapas de perigo e mapas de risco;
- Planeamento do uso da terra (juridicamente vinculativo);
- Planeamento da cidade e da aldeia;
- Planeamento rural;
- Gerenciamento de riscos; e

- Construção de conscientização (particularmente quando combinada com eventos passados).

A escala detalhada necessária para a geração dos mapas de inundação para o planejamento urbano utilizada poderá ser entre 1:2.000 a 1:25.000), particularmente se dentro de áreas montanhosas onde o território afetado é estreito. A escala geral possível para o planejamento rural em grandes planícies inundáveis (1:100.000 a 1:1,000,000) devem ser adequadas à escala original e precisão do modelo e mapeamento (EXCIMAP, 2007).

Na prática, a cor freqüentemente utilizada para a informação da extensão da enchente é azul escuro para enchentes frequentes e azul claro para as áreas cobertas durante inundações menos frequentes (EXCIMAP, 2007).

b) Mapa de profundidade de inundação

O mapa de profundidade da inundação fornece informações sobre a profundidade da água em um local específico para uma recorrência de acordo com um intervalo (ou probabilidade) de inundação. Dependendo das condições locais, este valor é dado em centímetros ou metros (EXCIMAP, 2007).

Na maioria dos casos, as profundezas são representadas em vários tons de azul. O exemplo irlandês tem uma ampla paleta que varia de vermelho, amarelo e verde a vários tons de azul (EXCIMAP, 2007).

c) Velocidade do fluxo e mapa de propagação de enchentes

O risco de inundação em um local particular é representado pela velocidade da água corrente (ou sedimento no caso de fluxo de detritos) ou pela velocidade da propagação da inundação. As velocidades do fluxo podem ser mostradas como vetores, e seu comprimento representa a velocidade. A

abordagem austríaca fornece linhas finas para a velocidade e direção do fluxo (EXCIMAP, 2007).

d) Outros tipos de mapas

Outros tipos de mapas de inundações podem ser classificados como mapas de perigo, apesar de não serem adequados exatamente com esta definição. São chamados de mapas de perigo de inundação e mapas de eventos. O mapa de perigo de inundação combina vários parâmetros para formar um nível (grau) de perigo (profundidade, velocidade, detritos frequentemente combinados com o intervalo de recorrência). A informação pode ser de tipo qualitativa ou quantitativa. O esquema de cores utilizado é de particular importância, uma vez que as cores representam também o nível de gravidade. O perigo de inundação em um determinado local é representado por um nível de perigo. O nível basicamente expressa a gravidade do risco de inundação. É classificado e muitas vezes diretamente combinado com o modo de produção (EXCIMAP, 2007).

2.10 Severidade de inundações

Um processo de planeamento eficaz desempenha um papel fundamental às escalas nacional, regional e local no sentido de assegurar que o desenvolvimento seja promovido e dirigido de modo sustentável em termos sociais, económicos e ambientais. Segundo o documento de apoio a boas práticas (Gestão do Risco de Inundação) desenvolvido pela Plataforma Nacional para a Redução do Risco de Catástrofes (2016) de Portugal, nos últimos anos há uma maior consciencialização da importância que o risco de inundações representa para as pessoas, para as comunidades, para a economia e para o ambiente (PNRRC, 2016).

Em Portugal, o reconhecimento da importância do risco de inundação é feito em diversos documentos oficiais. No entanto, observa-se ainda a necessidade de uma abordagem global para a gestão deste risco nas suas

diferentes vertentes e formas de manifestação, de modo a assegurar o alinhamento, coordenação e articulação de diferentes entidades e decisores. Importa também estabelecer mecanismos eficazes de envolvimento das comunidades no sentido de ter em cada cidadão um agente ativo na operacionalização das medidas de minimização deste risco (PNRRC, 2016).

De acordo com o Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro, de Portugal, inundação é “a cobertura temporária por água de uma parcela do terreno fora do leito normal, resultante de cheias provocadas por processos naturais como a precipitação, incrementando o caudal dos rios, torrentes de montanha e cursos de água efémeros correspondendo estas a cheias fluviais, ou de sobrelevação do nível das águas do mar nas zonas costeiras”. Este diploma define o risco de inundação como “a combinação da probabilidade de ocorrência, tendo em conta a sua magnitude, e as potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural, as infraestruturas e as atividades económicas, sendo as suas consequências prejudiciais avaliadas através da identificação do número e tipo de atividade afetada, podendo por vezes ser apoiada numa análise quantitativa”(PNRRC, 2016).

No Brasil, a única definição para as inundações bruscas é a sugerida e adotada pela Defesa Civil Nacional, proposta por CASTRO (1996), que se caracteriza pela súbita e violenta elevação dos caudais. Com a grande escala de ocorrência do fenómeno inundação, a terminologia associada a ele acaba variando de local para local. Os termos associados às inundações são: cheia, enchente, enxurrada, inundação gradual, inundação brusca, alagamentos, inundações ribeirinhas, inundações urbanas, enchentes repentinas, entre outros. Devido a esta diversidade de termos, há uma divergência e até mesmo confusão quanto à caracterização das inundações. Muitos destes termos são usados erroneamente, em virtude de traduções e adaptações mal feitas de termos provenientes de línguas estrangeiras, principalmente do inglês e espanhol. Quando as águas do rio se elevam até a altura de suas margens, contudo sem transbordar nas áreas adjacentes, é correto dizer que ocorre uma

enchente. A partir do momento em que as águas transbordam, ocorre uma inundação (GOERL e KOBIYAMA, 2005).

Nesse contexto o Brasil tem fortalecido o desenvolvimento de instrumentos políticos que integram em seus conteúdos a redução do risco de inundação, por meio da implementação de planos nacionais ao longo da última década. O Governo Federal Brasileiro sancionou a Lei nº 12.608/12, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), a qual dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC) e autoriza a criação de sistemas de informações e monitoramento de desastres, entre outros (BRASIL, 2012). BRASIL (2012) contempla uma abordagem sistêmica de ações de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação a desastres voltadas à proteção e defesa civil (POZZER e MAZZEGA, 2013).

De acordo com o Manual de Definições e Terminologia Geral, disponibilizado pelo *National Weather Service do National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2012), as categorias de enchentes são termos definidos para cada ponto de previsão que descrevem ou categorizam a gravidade dos impactos de inundação correspondentes ao rio/córrego. A gravidade da inundação numa determinada fase não é necessariamente a mesma em todas as localidades ao longo de um rio, devido às características variáveis do canal ou a presença de diques ou barragens em locais estratégicos. Portanto, os estágios superior e inferior para uma dada categoria de enchente são geralmente associados aos níveis de água correspondentes aos impactos de inundação mais significativos, e seus alcances. O manual cita algumas categorias de inundação, onde as inundações menores, moderadas e grandes não existem necessariamente para todos os pontos de previsão. A sua divisão em categorias é a seguinte:

- **Inundações menores** - mínimo ou nenhum dano à propriedade, mas possivelmente alguma ameaça pública (por exemplo, inundação de estradas);

- **Inundações moderadas** - algumas inundações de estruturas e estradas perto do córrego, com algumas evacuações de pessoas para locais com altitudes mais elevadas;
- **Inundações Bruscas** - inundação extensiva de estruturas e estradas. Evacuações significativas de pessoas para altitudes mais elevadas; e
- **Inundação Recorde** - inundação que é igual ou superior ao nível mais alto ou descarga observada em um determinado local durante o período de registro. O estágio mais alto registrado não está necessariamente acima das outras três categorias de inundação. Pode estar dentro de qualquer uma delas ou até mesmo menos do que o mais baixo, particularmente se o período de registro for curto (por exemplo: alguns anos).

MURRAY et al. (2012) escreveram que as avaliações de risco de inundação oferecem um meio alternativo de monitorar rapidamente o risco de inundação de pico e podem ser úteis para proporcionar uma resposta a inundações repentinas, particularmente durante o desenvolvimento de um evento. Estas avaliações são tipicamente baseadas em um sistema de pontuação simples em que as contribuições para uma potencial inundação de cada um dos seus componentes mais críticos são regularmente avaliadas em termos de sua "severidade". No entanto pode haver pontos fracos com tais métodos e sua interpretação. Estes incluem a representação e manipulação de dados em falta e incertos, o que pode dificultar a classificação de uma inundação e, assim, levar a uma resposta potencialmente mal informada e ineficaz.

Em termos da terminologia específica na área da “gestão do risco”, apresentam-se a seguir, alguns conceitos relevantes conforme normativo internacional em vigor (ISO Guide 51: 2014; ISO Guide 73: 2009 apud PNRRRC, 2016):

- **Evento (de risco)** - Ocorrência ou alteração de um conjunto particular de circunstâncias. Pode consistir em uma ou mais ocorrências e pode também consistir em algo que não ocorre. Um evento é designado acidente se tiver consequências e pode ser referido por um incidente ou quase acidente;
- **Exposição** - Grau com que uma pessoa, organização ou parte interessada está sujeita a um evento;
- **Fatores de risco** - Fatores que podem afetar a magnitude do risco (probabilidade ou consequência), mas não constituem fontes potenciais de dano;
- **Fonte de risco** - Elemento que por si só ou em combinação com outros, tem o potencial intrínseco de originar um risco;
- **Perigo** - Fonte potencial de danos;
- **Perigosidade** - Entendida como a probabilidade de incidência de um fenômeno natural com determinado nível de severidade, em um local e período de tempo especificados;
- **Resiliência** - Capacidade adaptativa de uma organização, comunidade ou sistema, em um ambiente complexo e em mudança. Capacidade de resistir, absorver e se recuperar de eventos de risco de uma forma eficiente, preservando ou restaurando as suas estruturas básicas, funções e identidade;
- **Risco** - Efeito da incerteza nos objetivos. O efeito poderá ser um desvio, positivo ou negativo, relativamente ao esperado. Os objetivos podem ter diferentes critérios (financeiros, de saúde e segurança, ambientais, entre outros) e podem ser aplicados a

diferentes níveis de decisão e escalas. O risco é frequentemente caracterizado por referência a eventos potenciais, com a sua probabilidade e suas consequências;

- **Segurança** - Livre de riscos inaceitáveis; e
- **Vulnerabilidade** - Propriedades intrínsecas de algo que resultam na sua susceptibilidade a uma fonte de risco ou perigo e que pode resultar em um evento com consequências.

Segundo LEANDRO (2013), sempre que possível, devem ser utilizados na avaliação de risco, dados quantitativos, de fontes oficiais ou confiáveis, fatos históricos e métodos de análise que envolvam modelos matemáticos e físicos. A intenção é que a avaliação se torne passível de repetição e comparação, refletindo de forma mais clara a realidade do local em estudo e não a percepção do especialista responsável pela mesma.

A magnitude e a gravidade de uma inundação instantânea são determinadas por uma série de fatores naturais e de influência humana, incluindo: duração e intensidade da chuva, condições antecedentes de humidade do solo, cobertura do solo e tipo de solo, características da bacia hidrográfica e uso da terra. Os impactos no uso da terra, em particular o desenvolvimento urbano, podem aumentar a gravidade de um evento de inundações instantâneas (SCHROEDER et al., 2016).

Segundo FEMA (2014), a escala de gravidade da inundação representa o efeito combinado de profundidade e velocidade, mais frequentemente utilizado em categorias de perigo baixo, médio, alto, muito alto e extremo. Estudos foram realizados em vários países para classificar o resultado da velocidade da profundidade x em várias classificações de risco de inundação ou severidade de enchentes. Segundo a Instituição, existem muitas classificações de riscos de inundação, como o Memorando Técnico N^o. 11 do Escritório de Recuperação dos EUA, para comunicar os efeitos combinados de

profundidade e velocidade de inundação em estruturas, casas móveis, vários tipos de veículos e pedestres. Os parceiros de mapeamento podem utilizar um método de classificação alternativo, embora a documentação e a explicação dos cálculos, quebras de classificação, e outras informações sejam fornecidas.

SCHROEDER et al. (2016) comentaram que as inundações instantâneas são uma das principais causas de mortes relacionadas ao clima no mundo e continuam a ser um dos fenômenos meteorológicos mais difíceis de se prever e alertar, devido a sua complexidade. Como resultado, as inundações bruscas exigem uma comunicação clara da gravidade e dos perigos potenciais entre meteorologistas, pesquisadores, gerentes de emergência e o público em geral. Antes de a comunicação ser bem sucedida, no entanto, deve haver uma compreensão clara das questões locais referentes às inundações, incluindo a dificuldade em detectar e classificar estes eventos e transmitir claramente os riscos ao público em geral.

Uma vez que a grade de profundidade e de velocidade para um determinado evento de inundação for produzida, a grade de gravidade é criada multiplicando as grades de profundidade e velocidade. O conjunto de dados pode então ser simbolizado pelas diferentes categorias de gravidade de inundação, como demonstrado na Tabela 05 (FEMA, 2014).

CATEGORIA DE SEVERIDADE DE INUNDAÇÃO	PROFUNDIDADE/FAIXA DE VELOCIDADE (ft ² /s)	PROFUNDIDADE/FAIXA DE VELOCIDADE (m ² .s ⁻¹)
Baixa	<2,20	<0,20
Média	2,20 - 5,40	0,20 - 0,50
Alta	5,40 - 16,10	0,50 - 1,50
Muito alta	16,10 - 26,90	1,50 - 2,50
Extrema	> 26,90	>2,50

Tabela 05. Categorias simplificadas de simulação de profundidade de inundação e velocidade.

Fonte: FEMA (2014).

Segundo SCHROEDER et al. (2016), os métodos atuais para classificar eventos de inundação incluem o período de retorno e a escala de severidade de inundação de quatro níveis. A escala de severidade de inundação utilizada pelo *National Weather Service* (NWS) serve para avaliar a inundação de um rio em um número seletivo de medidores de fluxos da US Geological Survey (USGS). Esta escala incorpora quatro níveis: Ação, menor, moderada e grande inundação, e está disponível para 2.975 estações nos *Contiguous United States* (CONUS). Os Autores criaram um índice de severidade de inundação, onde o desenho preliminar do número de categorias (05) e a redação da gravidade associada a cada categoria (menor, moderada, grave, severa e catastrófica) foram modelados em torno do desenho de índices de tempo severo pré-existent. A escala foi escolhida para representar as categorias de gravidade, pois isso permitiu um ponto de quebra aceitável em cada categoria de dados (Tabela 06).

CATEGORIA		IMPACTO
01	Inundação menor	Rio/riacho transbordando; terras cultivadas/quintal/porão.
02	Inundação moderada	Inundações nas ruas/estradas; fechamento de estradas.
03	Inundação grave	Veículos, casas e/ou edifícios inundados com água; dano de estrada/ponte.
04	Inundação severa	Veículos e/ou casas e móveis arrastados
05	Inundação catastrófica	Edifícios/grandes infraestruturas submersas; casas permanentes arrastadas.

Tabela 06. Categorias de simulação de profundidade de inundação e velocidade.

Fonte: Adaptado de SCHROEDER et al. (2016).

MURRAY et al. (2012) utilizaram uma versão modificada da avaliação da severidade de inundações de COLLIER e FOX (2003), que visa melhorar a comunicação de incertezas de parâmetros e de dados faltosos durante o início das inundações repentinas. Esta nova versão foi utilizada como teste na inundação de 2004 em Boscatle, Reino Unido, e em eventos passados. Foi proposto pelos Autores que as classificações de severidade das inundações fossem atribuídas com base na pontuação, em vez da soma dos valores dos índices, de modo que os dados que faltam não influenciariam as classificações. Uma abordagem codificada por cores utilizando barras empilhadas foi sugerida, para completar as tabelas de pontuação, que facilitou a comunicação do perfil para uma determinada inundação e a comparação entre eventos (Figura 22).

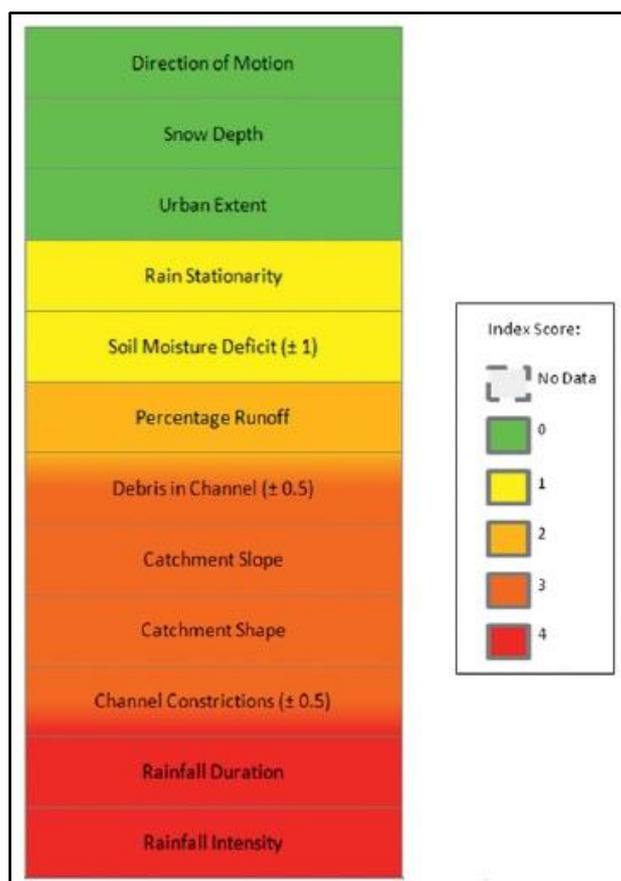


Figura 22. Componentes constituintes da avaliação de perigo para a inundação de 2004 em Bostastle - Reino Unido.

Fonte: MURRAY et al. (2012).

MURRAY et al. (2012) explicaram que o sistema de apoio à decisão desenvolvido por COLLIER e FOX (2003) oferece um método rápido de avaliação da susceptibilidade à captação e ao potencial de inundação instantânea extrema através do uso de uma técnica de pontuação simples, conforme Tabela 07.

SUSCEPTIBILIDADE A INUNDAÇÕES	ÍNDICE TOTAL	PERCENTUAL (%)
Alta	>8,00	≥50,00
Média	7,00 - 8,00	44,00 - 50,00
Baixa	<7,00	<44,00

Tabela 07. Método de susceptibilidade a inundações instantâneas extremas proposto por COLLIER e FOX (2003).

Fonte: Adaptado de MURRAY et al. (2012).

Segundo MURRAY et al. (2012), cada categoria é classificada entre 0,00 e 4,00, com os valores mais altos representando a maior contribuição para o risco de inundação. O escore agregado para cada bacia hidrográfica pode ser usado para estimar sua vulnerabilidade de inundação e também como ferramenta de apoio à decisão, pelo qual a meteorologia e os fatores hidrológicos também são incorporados, que podem ser atualizados em tempo real, durante o desenvolvimento de um evento de inundação (Tabela 08).

SEVERIDADE DE INUNDAÇÃO	ÍNDICE TOTAL	PERCENTUAL (%)
Extrema	>30,00	>63,00
Principal	20,00 - 30,00	41,00 - 63,00
Moderada	15,00 - 19,00	31,00 - 40,00
Baixa / inundação improvável	<15	<31

Tabela 08. Classificação da severidade de inundação com base na susceptibilidade a captação, e a fatores hidrológicos e meteorológicos.

Fonte: Adaptado de MURRAY et al. (2012).

3 ENQUADRAMENTO DO ESTUDO

3.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho de pesquisa foi realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, localizada nos Estados de Alagoas e Pernambuco, região Nordeste do Brasil, abrangendo os municípios de Quebrangulo-AL, Viçosa-AL e Atalaia-AL.

3.1.1 Localização

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba está localizada na parte Sul da Região Hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental do Brasil, entre os Estados de Pernambuco e Alagoas. Situa-se aproximadamente entre os paralelos 08°44'S e 09°39'S e entre os meridianos 35°45'O e 36°45'O. Limita-se ao Norte com a Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema em Pernambuco, ao Sul com as Bacias Hidrográficas dos Rios São Miguel e Sumaúma, ao Leste com a Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, e ao Oeste com as Bacias Hidrográficas dos Rios Traipú e Coruripe, em Alagoas (SEPLAN, 1999)

A Figura 23 identifica a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba de acordo com a sua localização na Região Nordeste, Brasil e América do Sul.

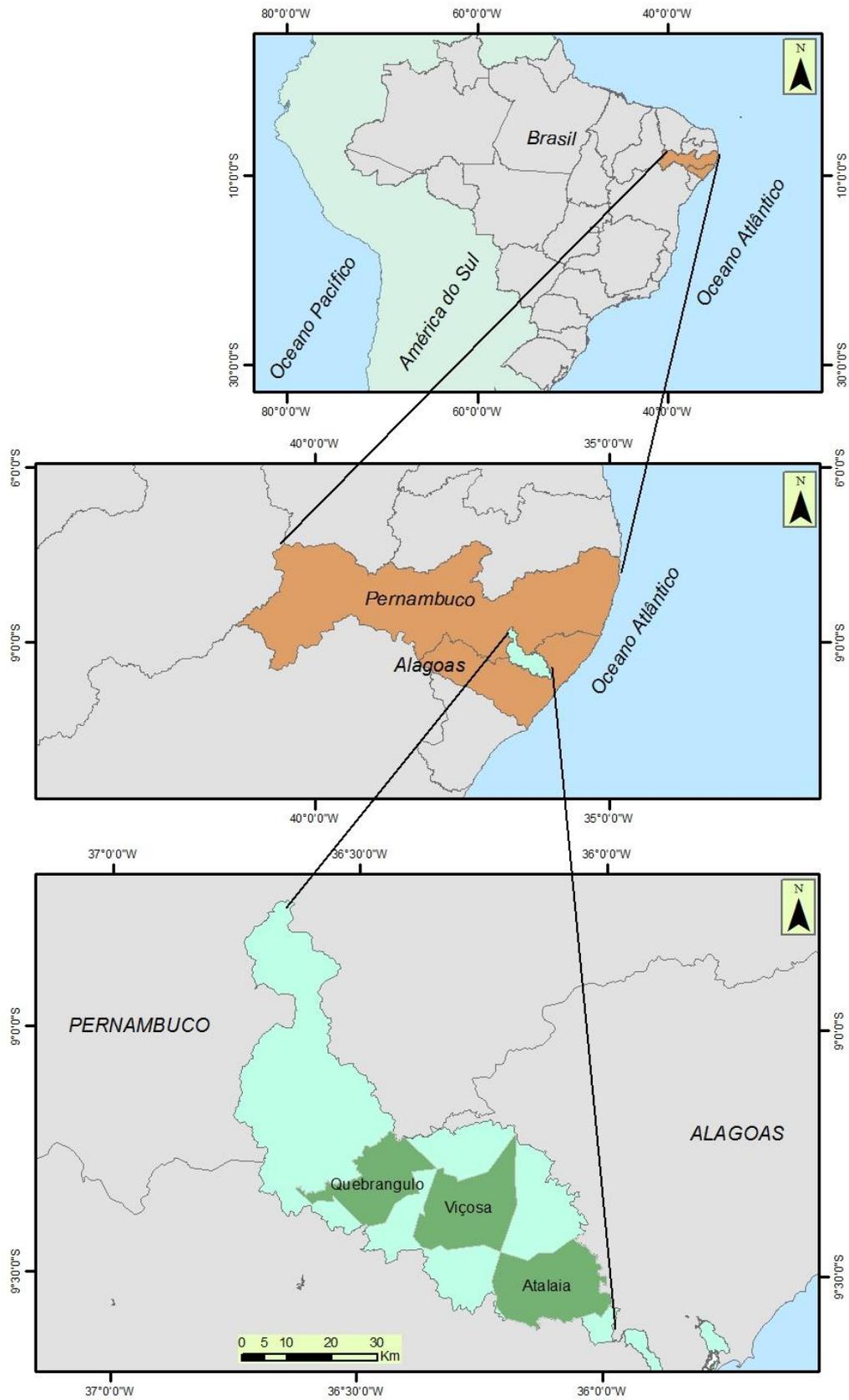


Figura 23. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

3.1.2 Área da Bacia Hidrográfica

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba possui uma área total de aproximadamente 3.127,83 km², com perímetro de 478,00 km, inserido em parte dos Estados de Alagoas e Pernambuco (GAMA, 2013). Da sua área total, 1.175,33 km² localizam-se no Estado de Pernambuco e 1.952,50 km² no Estado de Alagoas. Abrange uma área de 3.330,00 km² nos seguintes municípios pernambucanos: Bom Conselho, Brejão, Terezinha, Paranatama, Caetés, Garanhuns, Saloá e Lagoa do Ouro; e municípios em território alagoano: Quebrangulo, Palmeira dos Índios, Paulo Jacinto, Viçosa, Cajueiro, Capela, Atalaia e Pilar. Ao percorrer 122,00 km após a nascente, deságua na Lagoa Manguaba, no município de Pilar, no Estado de Alagoas. Suas nascentes estão localizadas na região semiárida do Estado de Pernambuco. Os leitos do rio principal e de seus afluentes cruzam os Estados de Alagoas e Pernambuco, e atingem a região da Zona da Mata Alagoana (SEPLAN, 1999). A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba está subdividida em oito sub-bacias, e algumas de suas características estão descritas na Tabela 09.

No Estado de Pernambuco, dos oito municípios que compõem a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, os municípios de Caetés, Garanhuns, Saloá e Lagoa do Ouro não tem as suas sedes incorporadas no perímetro da bacia e, apenas o município de Terezinha está totalmente incluído na bacia. No Estado de Alagoas, além dos nove municípios que tem suas sedes inseridas na bacia (sendo que apenas os municípios de Paulo Jacinto, Viçosa, Pindoba e Cajueiro estão incluídos de forma integral), parte do município de Palmeira dos Índios está inserido na sub-bacia II e os municípios de Maribondo e Pilar estão inseridos na sub-bacia VIII (SEPLAN, 1999).

SUB-BACIAS	MUNICÍPIOS COM SUAS SEDES DENTRO DA BACIA	ESTADO	ÁREA DE DRENAGEM (KM²)	PERÍMETRO (km)
I	Bom Conselho, Brejão, Terezinha e Paranatama	Pernambuco	1.175,33	217,96
II	Quebrangulo	Alagoas	229,32	128,49
III	Paulo Jacinto	Alagoas	208,49	89,29
IV	Viçosa, Mar Vermelho	Alagoas	355,53	114,18
V	Chã Preta	Alagoas	444,98	168,31
VI	Cajueiro	Alagoas	77,28	54,18
VII	Capela	Alagoas	107,34	50,76
VIII	Atalaia, Pindoba	Alagoas	529,53	165,68

Tabela 09. Características das Sub-Bacias do Rio Paraíba.

Fonte: SEPLAN (1999).

3.1.3 Características fisiográficas

A forma da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba dentre outras características, determina a maneira do deflúvio de se distribuir ao longo do rio principal, sendo em parte, responsável pela maior ou menor susceptibilidade da bacia a inundações. A forma superficial de uma bacia hidrográfica está diretamente relacionada ao tempo de concentração, que é definido como o tempo que uma gota de água precipitada no ponto mais distante da bacia leva para atingir a foz (SEPLAN, 1999). Tal característica é muito relevante para o estudo das enchentes, ponto focal neste trabalho de investigação.

Segundo SEPLAN (1999), entre os índices que relacionam a forma da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba às formas geométricas conhecidas, destacam-se: Coeficiente de Compacidade (K_c) e Fator de Forma (K_f). O K_c é a relação entre o perímetro da bacia e o período de um círculo de mesma área que a bacia. A relacionar a forma da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba a um círculo e calculando o K_c , a mesma apresentou um índice de 2,30. Este valor é sempre superior a um (01), sendo este valor quanto mais próximo da unidade, mais circular. Para o caso do Rio Paraíba, este valor não condiz com as experiências dos habitantes, que conhecem o poder destrutivo das periódicas enchentes apresentadas nas últimas décadas, como a dos dias 17 e 18 de junho de 2010.

3.1.4 Rede hidrográfica

Vários afluentes de pequeno porte formam a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, que apresentam um regime de enxurradas durante a estação chuvosa (março a setembro), de acordo com SEPLAN, (1999). Os principais tributários nos Estados de Pernambuco e de Alagoas e suas extensões totais estão descritos na Tabela 10. Tais tributários são extremamente importantes para a região de estudo, visto que, a região trabalhada apresenta uma quilometragem extensa.

ESTADO DE PERNAMBUCO			
MARGEM DIREITA (km)		MARGEM ESQUERDA (km)	
Riacho Bálsamo	36,25	Riacho Seco	85,66
ESTADO DE ALAGOAS			
MARGEM DIREITA (km)		MARGEM ESQUERDA (km)	
Rio Quebrangulinho	21,20	Riacho Carangueja	15,20
Riacho Lunga	14,11	Riacho Riachão	15,21
Riacho do Canto	16,46	Riacho Cavaco	12,21
Riacho Pedra de Fogo	14,67	Riacho dos Veados	10,68
Riacho Riachão	20,13	Rio Caçamba	31,32
Riacho Itapicuru	11,65	Riacho Limoeiro	8,83
Riacho Isabel	16,22	Rio Paraibinha	123,97
Riacho do Carapa	11,87	Riacho Jundiá	24,65
Rio Porongaba	53,97	Riacho Riachão	24,26
TOTAL MARGEM DIREITA	216,53	TOTAL MARGEM ESQUERDA	351,99

Tabela 10. Extensão total dos principais tributários do Rio Paraíba

Fonte: SEPLAN (1999).

3.1.5 Sistema de drenagem

O sistema de drenagem de uma bacia é constituído pelo rio principal e seus tributários. O estudo das ramificações e do desenvolvimento do sistema é importante, pois ele indica a maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. O padrão de drenagem depende da estrutura geológica do local, tipo de solo, topografia e clima. Esse padrão também influencia no seu comportamento hidrológico (CARVALHO e SILVA, 2006).

3.1.5.1 Classificação dos cursos de água

De acordo com SEPLAN (1999), os cursos de água são classificados, segundo a constância de seu escoamento, em três tipos:

- **Perenes** - São os cursos de água que contêm água durante todo o tempo. Nos períodos de estiagem, a vazão é mantida apenas pela contribuição do lençol subterrâneo;
- **Intermitentes** - São aqueles cursos de água que em geral escoam durante a estação chuvosa e secam no período de estiagem; e
- **Efêmeros** - Apresentam escoamento apenas durante, ou poucos dias após o período chuvoso.

O Rio Paraíba apresenta 126,57 km de extensão que percorre áreas do Estado de Alagoas com um regime fluvial perene e 45,41 km no Estado de Pernambuco com um regime fluvial intermitente.

3.1.5.2 Ordem dos cursos de água

A ordem dos cursos de água dos rios é uma classificação que reflete o grau de ramificação ou bifurcação dentro da bacia hidrográfica. O trecho de rio

sem tributário é classificado com ordem um (01). Dois trechos de ordem um (01) ao se unirem formam um trecho de ordem dois (02). A união de dois trechos de ordem n formam um trecho de ordem $n + 1$. Observa-se que, quando um trecho de ordem n recebe um afluente de ordem inferior, ele permanece com a mesma ordem. Quanto maior a Razão de Bifurcação (Rb) média, maior o grau de ramificação da rede de drenagem de uma bacia e maior a tendência para o pico de cheia. Segundo este critério a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba se classifica como de 5ª (quinta) ordem (SEPLAN, 1999).

3.1.5.3 Densidade de drenagem (Dd) e Densidade da rede ou dos rios (Dr)

A densidade de drenagem (Dd) é definida pela relação entre o somatório do comprimento total de todos os rios que compõem a bacia, (perenes e intermitentes) e a área da bacia, onde indica sua eficiência de drenagem. Valores altos deste parâmetro indicam uma rede bem desenvolvida e baixa possibilidade de grandes cheias, enquanto valores baixos indicam escoamento moderado e menor susceptibilidade a enchentes. A faixa de valores para a caracterização da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, conforme a Densidade de Drenagem, são mostrados na Tabela 11 (SEPLAN, 1999).

DENSIDADE Km / Km ²	TIPO DE DRENAGEM
$D_d < 0,60$	Pobre
$0,60 < D_d < 1,50$	Média
$D_d > 1,50$	Excelente

Tabela 11. Caracterização da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica

Fonte: Adaptado de SEPLAN (1999).

Seguindo este critério, a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba apresenta densidade de drenagem (D_d) igual a $0,63 \text{ km/km}^2$, classificando-se como uma bacia de drenagem pobre a média (SEPLAN, 1999).

A densidade de rios (D_R) expressa o número de rios por unidade de área. Indica a freqüência dos trechos de rio na bacia, e pode ser correlacionada com a capacidade da bacia em formar cursos de água. No estudo da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, a região apresentou um coeficiente de densidade de rios (D_R) de $0,437 \text{ km/km}^2$ (SEPLAN, 1999).

3.1.5.4 Extensão média do escoamento superficial (e)

A extensão média do escoamento superficial é a distância média que a água da chuva tem que escoar sobre os terrenos da bacia, se o escoamento ocorrer em linha reta, desde o local da queda da chuva, até ao ponto mais próximo do leito de um rio de comprimento igual ao total de todos os rios da bacia (SEPLAN, 1999).

O valor da extensão média do escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba é igual a $0,39 \text{ km}$. Este índice demonstra que a extensão média do escoamento superficial do Rio Paraíba é de aproximadamente $400,00 \text{ m}$, caso o escoamento ocorresse em linha reta (SEPLAN, 1999).

3.1.5.5 Coeficiente de sinuosidade do curso de água (sin) e Razão de bifurcação (Rb)

O coeficiente de Sinuosidade do curso de água é um fator que avalia a velocidade do escoamento, calculado pela relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento entre a cabeceira do rio e sua foz em linha reta. A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba possui um coeficiente de Sinuosidade igual a $1,75$. Isto indica que o Rio Paraíba apresenta uma sinuosidade considerada normal. Tal valor desperta interesse pelo fato de que alguns geomorfólogos

acreditam que tal número deve ser próximo à metade do valor de pi (π), o que mostra uma certa coerência com o valor encontrado para a bacia em estudo (SEPLAN, 1999).

A razão de bifurcação é a relação entre o número total de cursos de água da rede de drenagem de uma dada ordem, e este mesmo número da próxima ordem superior. A razão de bifurcação não será exatamente a mesma de uma ordem para a outra, em virtude das variações aleatórias da geometria da bacia, mas tenderá a ser uma constante ao longo da série (SEPLAN, 1999).

A razão de bifurcação varia de 3 a 5 para bacia em que a estrutura geológica não distorce o sistema de drenagem. Seu valor mínimo teórico seria 2, sendo raramente alcançado sob condições naturais. Tem pequena variação de região para região, em virtude do sistema de drenagem e dos materiais tenderem a mostrar similaridade geométrica. Razões de bifurcação elevadas podem ser esperadas em regiões com estrato rochoso extremamente inclinado, onde o vale é confinado por morro (SEPLAN, 1999).

Quanto à configuração da bacia, a partir da razão de bifurcação, são utilizados os seguintes valores:

- a) Dendríticas - $R_b > 17,00$
- b) Treliças - $R_b = 04,00$; e
- c) Retangulas - $R_b = 02,25$

A Razão de bifurcação para Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba é igual a 4,00, apresentando características de configuração de tipo treliças (SEPLAN, 1999).

3.1.6 Geomorfologia

O relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre os fatores meteorológicos, hidrológicos e de acordo com características importantes que ocorrem na mesma. Em virtude disso, a determinação de curvas características do relevo é de grande importância em muitos estudos hidrológicos (SEPLAN, 1999).

3.1.6.1 Formas de relevo

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba drena por duas estruturas geológicas distintas: uma cristalina, representada pelo maciço Pernambuco-Alagoas de idade Arqueana, e outra sedimentar, constituída pelos sedimentos plioleistocênicos da Bacia Sedimentar Alagoas.

A área é definida no alto curso por uma superfície aplanada, de relevo ondulado com altitude entre 600,00 m e 800,00 m. O médio curso caracteriza-se pela presença de formas estruturais e de dissecação homogênea e o baixo curso por uma superfície sedimentar dissecada em interflúvios tabuliformes e colinas (SEPLAN, 1999).

Com vale em “V” em todo alto curso, após confluir com o Riacho Seco e ainda em território pernambucano, o Rio Paraíba alcança o nível de 500,00 m, no qual, se encrava entre encostas erodidas que formam colinas, serras e cristas, até a confluência com o Rio Paraibinha, a montante da cidade de Capela, no território Alagoano. Neste trecho, a bacia ocupa uma superfície dissecada em três níveis distintos 600,00 m – 700,00 m; 450,00 m – 550,00 m (nível dominante) e 230,00 m – 350,00 m, que formam degraus de acesso aos níveis mais elevados do maciço (SEPLAN, 1999).

Ao deixar o patamar, antes de alcançar os terrenos sedimentares, o Rio Paraíba forma o Cañon da Serra dos Dois Irmãos, quando penetra na “depressão periférica”, área erodida pela ação de alguns afluentes que cortam

o “front” da encosta oriental do planalto e funcionam como nível de base para os processos morfodinâmicos. A partir da confluência com o Rio Paraibinha, em terras da Usina Capricho-AL, começam a aparecer platôs cristalinos capeados por sedimentos do Grupo Barreiros. Ao alcançar o município de Atalaia-AL penetra nos tabuleiros, dissecando-os em colinas e interflúvios tabulares com encostas convexas e convexas côncavas, colúvios e leques aluviais até alcançar sua embocadura próximo à cidade de Pilar-AL. Em virtude do fechamento do seu estuário por depósitos flúvio-marinhos, forma a maior lagoa do Estado de Alagoas, a Lagoa Manguaba (SEPLAN, 1999).

O Coeficiente de massividade (K_m) representa o tipo de relevo da bacia. Valores elevados de K_m ocorrem em bacias pequenas que apresentam grandes desníveis e valores baixos ocorrem em grandes bacias de relevo pouco acentuado. O valor médio do coeficiente de massividade da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba é de 0,117 m/km² (SEPLAN, 1999).

O Coeficiente orográfico (K_o) é a multiplicação da altura média da bacia pelo coeficiente de massividade. Para este parâmetro, é apresentado a seguinte relação:

- a) $K_o \leq 6$ - Relevo pouco acentuado; e
- b) $K_o > 6$ - Relevo acentuado.

O índice do coeficiente orográfico da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba apresentou um valor de 42,94 m²/km, portanto com classificação de relevo muito acentuado (SEPLAN, 1999).

3.1.6.2 Unidades geomorfológicas

As paisagens encontradas na área de estudo resultam da evolução geomorfológica regional, relacionada às condições geológicas e de escoamento fluvial. De acordo com o levantamento dos Recursos Naturais do Projeto RADAM BRASIL (1983), as correlações entre geomorfologia, geologia,

solos, cobertura vegetal e declividade, permitiram identificar ao longo da área drenada pela bacia dois domínios morfoesculturais: Planalto da Borborema, com três unidades morfológicas, Superfície Pediplanada Central, Superfície Dissecada do Rio Paraíba e Depressão Periférica, e o Baixo Planalto Sedimentar com as unidades: Tabuleiros Costeiros e Planície Flúvio-Lagunar.

3.1.6.3 Declividade e Elevação média da bacia

A declividade de uma bacia pode ser determinada por vários métodos. Uma maneira prática de determiná-la é utilizar o método das quadrículas associadas a um vetor. Este método consiste em determinar a distribuição percentual das declividades dos terrenos, por meio de uma amostragem estatística de declividades normais às curvas de nível num grande número de pontos na bacia. Esses pontos devem ser locados num mapa topográfico da bacia por meio de um quadriculado que se traça sobre o mesmo. Pode-se traçar, então, uma curva de distribuição de declividades da bacia, a partir da qual obtém-se, por exemplo, suas declividades média e mediana (SEPLAN, 1999).

As características do relevo da bacia influenciam diretamente nos fatores hidrológicos. A velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto a temperatura, a precipitação, a evaporação, etc. são funções da altitude da bacia. Controla em parte a velocidade do escoamento superficial de água, afetando o tempo que ela leva para atingir a rede de drenagem e a saída da bacia. Para grandes bacias, esse tempo (tempo até que a água encontre um caminho preferencial de escoamento) não é significativo, mas para as bacias de pequena área de drenagem, representa parte considerável do tempo necessário para as águas atingirem a desembocadura (SEPLAN, 1999).

A declividade está relacionada com a taxa pela qual a energia potencial da água se transforma em energia cinética. Assim sendo, maior declividade implica em maior velocidade do escoamento superficial, e conseqüentemente,

maior poder erosivo, menos infiltração e picos de enchentes mais acentuados (em se mantendo constantes as demais variáveis que interferem neste processo) (SEPLAN, 1999).

A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba apresenta a máxima altitude de 940,00 m, próximo ao povoado de Ponta Alegre, município de Caetés em Pernambuco e a menor altitude é na desembocadura do rio (Lagoa Manguaba, zona do Litoral alagoano, faixa de 2,00 m). A declividade média da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba é de 1,67% (SEPLAN, 1999).

Segundo a SEPLAN (1999), a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba apresenta uma cota média na faixa de 650,00 m (Estado de Pernambuco) e complementada por uma cota média de 200,00 m (Território Alagoano), a mesma a apresentar uma elevação média de 369,09 m.

3.1.6.4 Perfil, declividade do rio e declividade representativas

SEPLAN (1999) escreveu que para o traçado do perfil de um rio, deve-se determinar o comprimento entre as cotas da seção de saída e da seção de nascente. As suas declividades representativas são:

- a) **Declividade Total** - É a declividade entre a nascente e a seção considerada. No caso do Rio Paraíba foi encontrado o valor de 0,46%;
- b) **Declividade Média Constante** - É a declividade total, onde a área entre o perfil e o eixo das abcissas seja igual a área entre ela e este mesmo eixo. O Rio Paraíba apresentou um valor de 0,18%;
- c) **Declividade Equivalente Constante** - É aquela na qual uma massa de água percorrendo o caminhamento da nascente à seção considerada, acompanha a declividade de cada segmento.

A utilizar a declividade total (item a) para cada trecho, como o Rio Paraíba percorre 45,41km de extensão na parte correspondente a Pernambuco com uma elevação média de 650,00 m, a região apresentou uma declividade de 14,31 m/km. Na parte do Estado de Alagoas, o Rio Paraíba percorre mais 126,57 km com elevação média de 200,00 m e apresenta uma declividade de 1,58 m/km.

3.1.7 Solos

Na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, existe o predomínio variado na ocorrência de solos com propriedades bastante distintas, destacando-se em termos de extensão os Argissolos, Regossolos, Planossolos, Argissolos Vermelho Amarelo, Solos Aluviais e Gleissolos.

A seguir, destacam-se as principais informações referentes a cada tipo de solo presente na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba:

- a) **Solos Hidromórficos (Gleyzados e Orgânicos)** - Compreende os solos hidromórficos, mal drenados, cujas características morfológicas são resultantes principalmente da influência do excesso de humidade, permanente ou temporária, como acumulação de matéria orgânica na parte superficial. O horizonte A (comumente moderado) apresenta-se com espessura variável (10,00 cm e 40,00 cm) mas frequentemente oscila entre 15,00 cm e 25,00 cm; estrutura comumente moderada, porém ocorre estrutura fraca ou mesmo forte, granular, de consistência dura a muito dura quando seco, e friável a firme quando húmido (GAMA, 2013);

- b) **Solos Aluviais** - São solos pouco desenvolvidos, proveniente de deposições fluviais recentes moderadamente profundos a profundos, de textura as mais diversas e drenagem comumente imperfeita ou moderada. Em geral, são solos de grande

potencialidade agrícola. No Estado de Alagoas, estes solos podem ser distróficos ou eutróficos, na sequência o horizonte A, quando fraco, tem espessura comumente entre 8,00 cm e 15,00 cm, enquanto o A moderado, mais frequentemente, tem espessura compreendida entre 15,00 cm e 25,00 cm. Na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, encontra-se o solo Aluvial Distróficos e Eutróficos no Estado de Alagoas, entre os municípios de Pindoba e Maribondo (GAMA, 2013);

- c) **Planossolos Solódicos** - Compreende solos com B textural, com argila de atividade alta. São chamados de solódicos por apresentarem saturação com sódio entre 6,00% e 15,00% no horizonte B_t. São comumente pouco profundos com profundidade média aproximada de 70,00 cm. A textura entre média e argilosa, com ocorrência menor de textura muito argilosa. São diagnosticados por apresentarem o horizonte B igual ou maior que 50,00 cm, muito poroso, friável ou muito friável, alta floculação e pequeno incremento de argila (GAMA, 2013);

- d) **Latossolo Vermelho Amarelo** - Esta classe compreende solos com horizonte B textural, não hidromórficos, com argila de atividade baixa. São em geral fortemente ácidos e de baixa fertilidade natural. Normalmente são profundos a muito profundos com textura média, argilosa ou arenosa no horizonte A e argilosa ou média no horizonte B_t. De um modo geral, o horizonte A destes solos apresenta espessura que varia de 20,00 cm até pouco mais de 100,00 cm. Possui estrutura mais desenvolvida no A₁. O horizonte B_t é espesso de um modo geral e a profundidade varia de 68,00 cm até cerca de 4,00 m (GAMA, 2013);

- e) **Argissolos Vermelho Amarelo** - Compreendem solos com horizonte B textural, com profundidade que varia de delgado a profundo, sequência de horizontes A, B, C com transições sempre

claras e colorações predominantemente variando do bruno-amarelo a vermelho. Caracterizam-se por apresentar um horizonte diagnóstico superficial argílico onde houve uma acumulação de argila. Os Argissolos possuem condições físicas favoráveis. São porosos e comumente bem drenados e são os que vêm sendo cultivados há longo tempo com cana-de-açúcar na zona úmida costeira (GAMA, 2013);

- f) **Argissolos Vermelho Amarelo Eutrófico** - Compreende solos com horizontes B textural, não hidromórficos, apresentam perfis bem diferenciados. O horizonte A destes solos apresenta-se mais frequentemente moderado e proeminente, com espessura entre 30,00 cm e 60,00 cm. O horizonte B_t constitui a principal característica de identificação destes solos. Nos solos de textura argilosa, a estrutura varia de fraca a forte em blocos angulares/subangulares, sendo os argilosos com A proeminente os mais bem estruturados, onde a serosidade chega a ser até forte e abundante. O relevo varia desde plano até montanhoso, sendo também frequentes os relevos ondulados e suaves ondulados. O clima e vegetação são também bastante diversificados (GAMA, 2013);
- g) **Regossolos Eutróficos e Distróficos** - Compreendem solos pouco desenvolvidos, arenosos, por vezes com cascalho ou cascalhentos, muito profundos a moderadamente profundos, muito porosos, com ou sem fragipã, estando este comumente situado logo acima da rocha subjacente. A drenagem pode variar de moderada a excessiva, mas comumente variam de bem a fortemente drenados. São solos bastante susceptíveis à erosão. Verifica-se comumente uma forte deficiência de água durante a época seca. Os Regossolos estão presentes na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba na área correspondente ao Estado de Pernambuco, onde encontra o solo REe2 nos municípios de

Caetés e Paranatama, como também uma parte entre os municípios de Saloá, Terezinha e Bom Conselho (GAMA, 2013);

- h) **Solos Litólicos** - Compreendem os solos pouco desenvolvidos, delgados a muito delgados, possuindo apenas um horizonte A. Assentem diretamente sobre a rocha (R) ou sobre materiais da rocha em grau bastante avançado de intemperização, constituindo um horizonte C sobre a rocha subjacente pouco intemperizada ou compacta (R). Os solos desta unidade podem ser eutróficos ou distróficos. Apresentam textura arenosa ou média, por vezes com cascalho ou cascalhenta. Comumente são solos bastante susceptíveis à erosão em decorrência de sua pouca espessura. O material originário refere-se em grande parte ao saprolito de gnaiss e granitos, podendo ser ainda desenvolvidos de quartzitos, micaxistos e arenitos (GAMA, 2013).

Pode-se verificar através de um estudo estatístico dos tipos de solos encontrados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba (Tabela 12), que os solos Podzólicos Vermelho Amarelo (PV) são de maior ocorrência, tendo uma área bastante significativa principalmente no Estado de Alagoas. Já em Pernambuco, os solos de maior ocorrência são os Podzólicos Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico. No Estado de Alagoas há uma presença maior de solos com características de delgado a profundo, baixa fertilidade natural e presença de cerosidade. No Estado de Pernambuco há uma maior presença de solos que apresentam média à alta fertilidade natural, comumente profundos e com bom potencial agrícola (SEPLAN, 1999).

NOMENCLATURAS	ÁREA (km²)	%	ÁREA PERNAMBUCO (Km²)	ÁREA ALAGOAS (Km²)
LVD1, LVD2, LVD12	154,55	4,94	7,69	146,86
PV2, PV3, PV4, PV5, PV7, PV10, PV15	1.286,60	41,13	132,28	1.154,32
Ade	18,51	0,59	0,00	18,51
HGd	13,86	0,44	0,00	13,86
PE4, PE5, PE13, PE17	681,75	21,80	408,33	273,42
PL2, PL8, PL9	613,25	19,61	270,22	343,03
REd2, REd3, REe2	316,79	10,13	316,79	0,00
Re1, Re3, Re9	40,02	1,28	40,02	0,00

Tabela 12. Estatística dos tipos de solos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

Fonte: SEPLAN (1999).

3.1.8 Tipos de uso e cobertura vegetal

A cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba apresenta características fitogeográficas da zona da caatinga, representada pelo Agreste, Mata e Litoral nos Estados de Alagoas, e pela zona do Agreste, no Estado de Pernambuco. Seu revestimento vegetal apresenta características distintas, em função das condições edafoclimáticas e relevo. São encontradas também áreas de Mata Tropical de encosta do tipo subperenifólio e subcaducifólio, nos alto e médio vale, com algumas manchas de cerrado, e na Baixada Litorânea vegetação de restinga (Francês - Taperaçuá - Massagueira) um pouco conservada. Na planície lagunar aparecem os mangues dos solos salobros, e

nos mais arenosos, o mangue de porte lenhoso, chamado Seriba (GAMA, 2013).

As áreas menos húmidas dos municípios de Bom Conselho-PE, Terezinha-PE, Saloá-PE e Garanhuns-PE apresentam o predomínio da vegetação de caatinga hipo e hiperxerófila de espécie decíduas, que variam de arbórea a arbustiva, dotadas de espinhos e com abundância de cactáceas e bromeliáceas, correspondentes às subzonas do agreste e sertão central. As condições climáticas condicionam o aparecimento de uma cobertura vegetal dispersa (Caatinga) com variações para arbórea densa e arbórea aberta, e trechos de vegetação florestal secundária, devido à intervenção antrópica (GAMA, 2013).

3.1.9 Clima

Existem vários sistemas meteorológicos que causam chuvas na Costa Leste do Nordeste Brasileiro, onde a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba está inserida. Segundo MOLION e BERNARDO (2002), as Perturbações Ondulatórias nos Alísios (POA) geralmente estão associadas a sistemas convectivos e são um dos principais mecanismos responsáveis por elevadas taxas de precipitação sobre esta região.

Os mecanismos dinâmicos que produzem chuvas na Região Nordeste do Brasil podem ser classificados em mecanismos de grande escala, responsáveis por cerca de 60,00% a 70,00% da precipitação observada, e mecanismos de meso e micro escalas, que completam os totais observados. Dentre os mecanismo de grande escala, destacam-se os Sistemas Frontais e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Perturbações ondulatórias no campo dos ventos Alísios, complexos convectivos e brisas marinha e terrestre fazem parte da mesoescala, enquanto circulações orográficas e pequenas células convectivas constituem-se fenômenos da micro escala. Destacam-se também os Vórtices Ciclônicos de Altos níveis (VCAN's), Ondas de Leste e

linhas de estabilidade tropical. Para os eventos de grande escala, pode-se destacar o El Niño e o La Niña (MOLION e BERNARDO, 2002).

A região da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba inserida no Estado de Alagoas está situada numa área de clima tropical quente e chuvoso com verão seco do tipo As', segundo a classificação de Köppen, com sua estação chuvosa entre os meses de abril a julho. A pluviosidade média anual na região é de 1.600,00 mm, de acordo com os índices pluviométricos obtidos pelos postos pertencentes à SUDENE e ao DNAEE, nos municípios de Pilar, Atalaia, Capela, Mar Vermelho, Palmeira dos Índios, Pindoba, Quebrangulo e Viçosa. As temperaturas são bastante elevadas, com exceção das regiões serranas, onde, evidentemente, por efeito da altitude, tornam-se mais amenas. A média anual é de aproximadamente 25°C. Sua temperatura média mensal mais elevada pode atingir 30°C. Os meses mais quentes são dezembro e fevereiro, enquanto o mais frio normalmente é o mês de julho (SEPLAN, 1999 apud RODRIGUES, 2012).

A Região da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba inserida no Estado de Pernambuco está situada numa área onde o clima é tropical úmido (AM's), de acordo com a classificação de Köppen, com chuvas de outono a inverno e médias pluviométricas anuais entre 1.000,00 mm e 2.200,00 mm. Os meses mais chuvosos são entre março e julho, e os meses mais secos são entre outubro e dezembro. As temperaturas variam de acordo com a época de chuvas, com média anual próxima a 25°C. O período compreendido entre maio e agosto é caracterizado por noites frias, com temperaturas próximas a 18°C, principalmente nas áreas de altitudes mais elevadas, em contato com as encostas do Planalto da Borborema e mais expostas aos ventos de sudeste (BARROS, 2011).

A Figura 24 apresenta o mapa das chuvas médias anuais de toda a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, gerado através de dados de precipitação dos vários órgãos de monitoramento do tempo e clima da região (SEMARH/AL, 2017; APAC/PE, 2017; CPTEC/INPE, 2017 e INMET, 2017). Os dados

utilizados foram de uma série histórica de 21 anos, compreendidos entre os anos de 1990 a 2010.

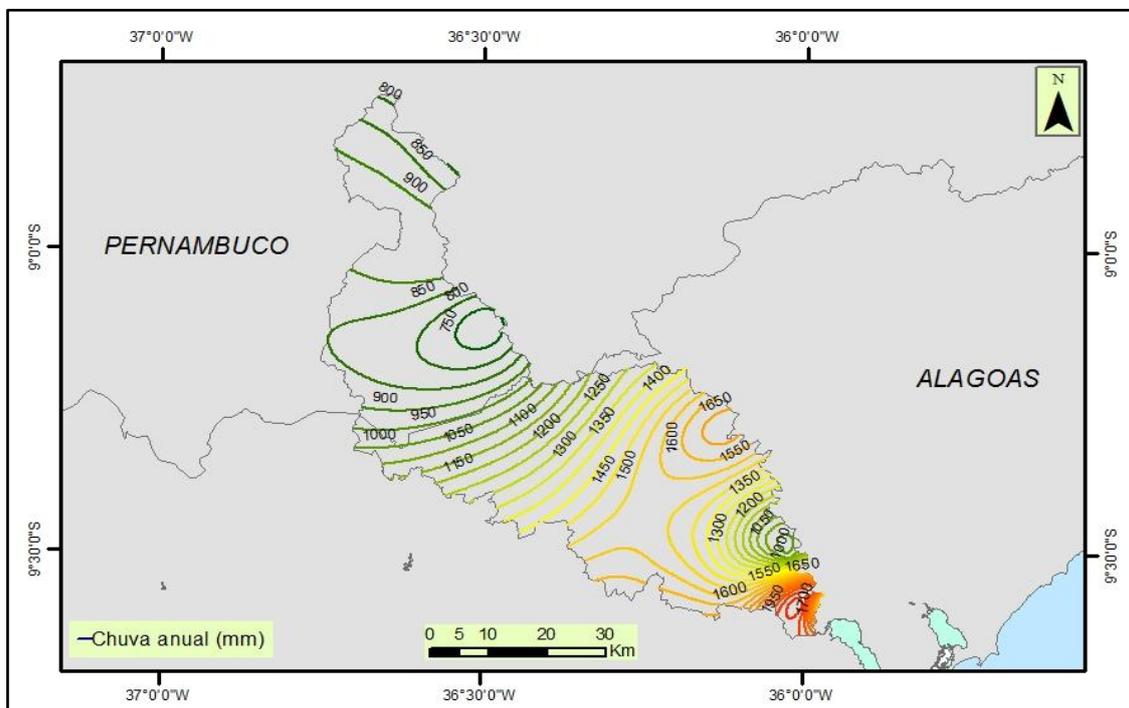


Figura 24. Pluviometria média anual da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.
Fonte: dados de chuva da APAC/PE; CPTEC/INPE, INMET e SEMARH/AL (2017).

3.1.10 Os 03 Municípios do caso de estudo

Município de Quebrangulo

O município de Quebrangulo está localizado na região Centro-Norte do Estado de Alagoas. Limita-se ao Norte com o Estado de Pernambuco, ao Sul com os municípios de Palmeira dos Índios e Paulo Jacinto, a Oeste com o município de Palmeira dos Índios e a Leste com os municípios de Chã Preta e Paulo Jacinto, em Alagoas. A área municipal ocupa 320,00 km² (1,15% do Estado de Alagoas), inserida na meso região do Agreste Alagoano e na micro região de Palmeira dos Índios. A sede do município tem uma altitude aproximada de 366,00 m e coordenadas geográficas de 9°19'08,4" de latitude

Sul e $36^{\circ}28'15,6''$ de longitude Oeste (CPRM, 2005). O acesso ao município é feito através das rodovias BR 104 e AL 210. O município possui uma população estimada de 11.542 indivíduos (IBGE, 2016). A Figura 25 apresenta a localização do município de Quebrangulo.

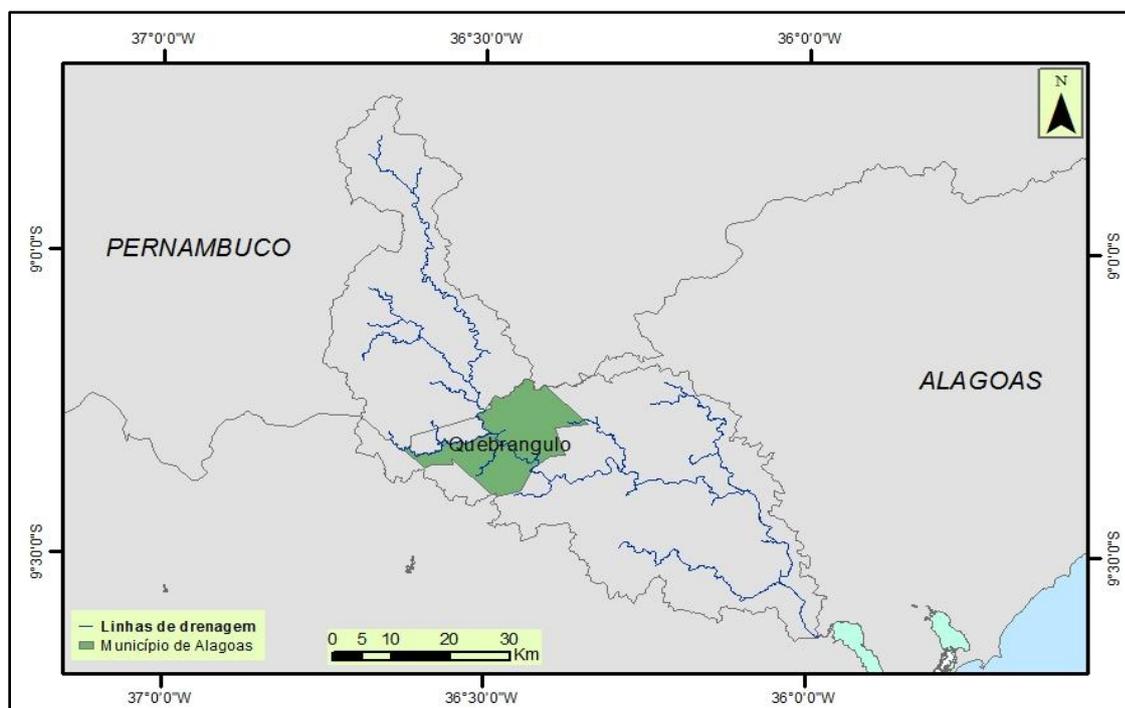


Figura 25. Localização do município de Quebrangulo - Estado de Alagoas.

O município de Quebrangulo encontra-se geologicamente inserido na Província Borborema, abrangendo rochas do embasamento gnáissico-migmatítico, datadas do Arqueano ao Paleoproterozóico e a seqüência metamórfica oriunda de eventos tectônicos ocorridos durante o Meso e NeoProterozóico (CPRM, 2005).

Os tipos de solos apresentados no município de Quebrangulo são o Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (PE) e o Planosol Solódico Eutrófico (PL) (SEPLAN, 1999). A Tabela 13 apresenta os tipos de solos e suas respectivas aptidões agrícolas para este município.

CLASSES DE SOLOS	APTIDÕES AGRÍCOLAS	ÁREA (km²)
PE4	Culturas de subsistência; cultura do algodão	25,00
PL8	Utilizados intensamente com diversas culturas de subsistência	10,00
PV4	Baixa Fertilidade; culturas de subsistência	10,00
PL2	Culturas de subsistência; cultura do algodão	05,00
PE13	Culturas de subsistência; cultura do algodão	05,00

Tabela 13. Aptidões agrícolas e tipos de solos para o município de Quebrangulo

Fonte: Adaptado de SEPLAN (1999).

Quebrangulo apresenta o clima tropical chuvoso com verão seco, e as temperaturas médias anuais mínimas e máximas são de 14°C e 36°C, respectivamente (SEPLAN, 1999). As pluviosidades máximas e médias mensais estão apresentadas na Tabela 14.

MESES						
PLUVIOMETRIA (mm)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Máx. das máx. mensais	278,30	193,20	237,80	307,80	297,40	428,00
Méd. das méd. mensais	47,40	51,20	58,10	97,80	130,40	196,50

MESES						
PLUVIOMETRIA (mm)	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máx. das máx. mensais	212,00	231,30	254,90	202,20	73,80	129,90
Méd. das méd. mensais	150,60	113,60	56,10	33,80	20,70	19,50

Tabela 14. Valores máximos e médios mensais de chuva para o período 1990-2010 no posto pluviométrico de Quebrangulo

Fonte: Dados de chuva da ANA (2017).

A quadra chuvosa de Quebrangulo compreende os meses de abril a agosto, de acordo com as médias de precipitação de uma série de 21 anos compreendidos entre os anos de 1990 e 2010 (ANA, 2017). A precipitação total máxima apresentada no período de estudo para o posto pluviométrico do município foi de 428,00 mm no mês de junho de 2010. A Figura 26 apresenta os valores máximos e médios de precipitação do período de estudo.

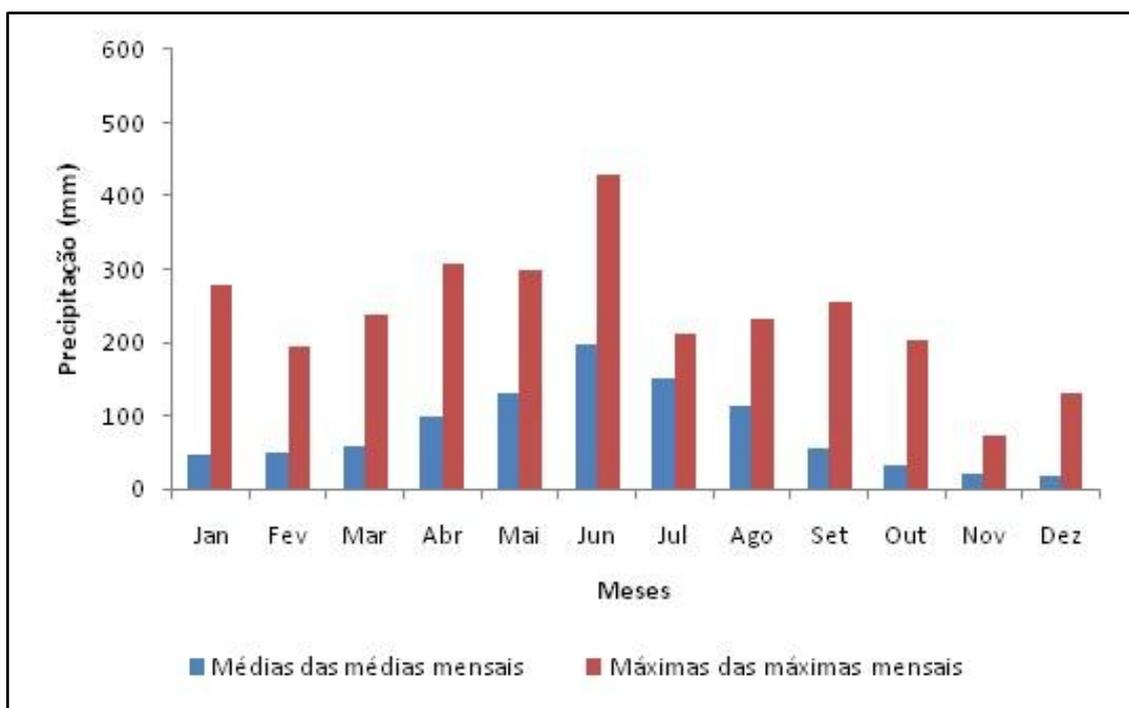


Figura 26. Valores máximos e médios mensais de chuva para o período 1990 - 2010 no posto pluviométrico de Quebrangulo.

Fonte: Dados de chuva da ANA (2017).

A vazão mensal máxima registrada no posto fluviométrico de Quebrangulo foi de $310,42 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, no mês de junho de 2008. Vale ressaltar que são inexistentes os dados fluviométricos da grande cheia de junho de 2010, devido à problemas na estação hidrológica, ocorridos durante a cheia citada. A Tabela 15 apresenta as vazões máximas mensais registradas no município.

MESES						
VAZÃO ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Máx. das máx. mensais	79,29	136,18	121,23	291,87	310,42	177,11
Méd. das méd. mensais	11,15	15,78	21,98	30,27	30,15	62,88

Continuação

MESES						
VAZÃO (m³.s⁻¹)	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máx. das máx. mensais	171,36	168,52	226,26	59,71	12,21	14,22
Méd. das méd. mensais	57,02	55,76	21,72	9,59	3,30	1,93

Tabela 15. Valores máximos e médios mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Quebrangulo.

Fonte: Dados de vazão da ANA (2017).

Para as vazões mínimas, o mês de dezembro foi o que apresentou as menores médias de vazões observadas, seguido pelos meses de novembro e outubro (Figura 27).

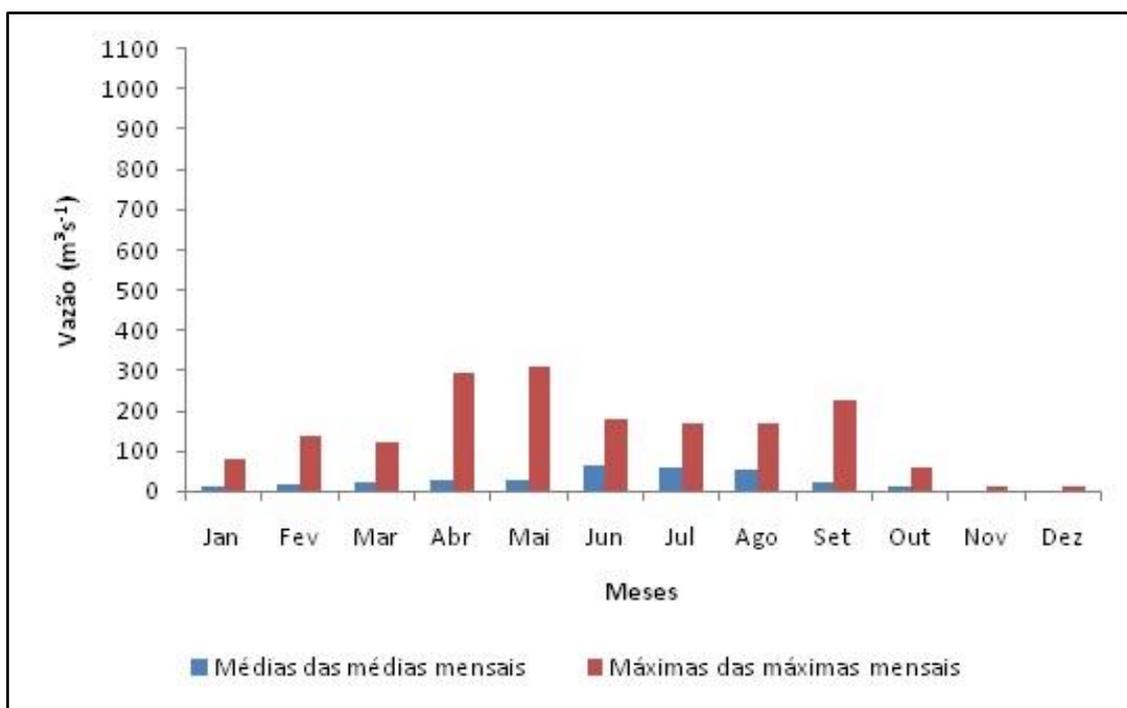


Figura 27. Valores máximos e médios mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Quebrangulo.

Fonte: Dados de vazão da ANA (2017).

Município de Viçosa

O município de Viçosa está localizado na região centro-norte do Estado de Alagoas, limitando-se ao Norte com o município de Chã Preta , ao Sul com Mar Vermelho e Pindoba, a Leste com Cajueiro e Capela e a Oeste com Paulo Jacinto. A área municipal ocupa 355,00 km², inserida na meso região do Leste Alagoano e na micro região Serrana dos Quilombos. A sede do município tem uma altitude aproximada de 210,00 m e coordenadas geográficas de 9°22'15,6" de latitude Sul e 36°14'27,6" de longitude Oeste (CPRM, 2005). Possui uma população estimada de 25.407,00 indivíduos, de acordo com o Censo de 2016 (IBGE, 2017). Apresenta uma distância de Maceió, capital do Estado de Alagoas de 86,00 km, com acessos pelas rodovias AL 110 e AL 210 (SEPLAN, 1999). A localização do município está demonstrada na Figura 28.

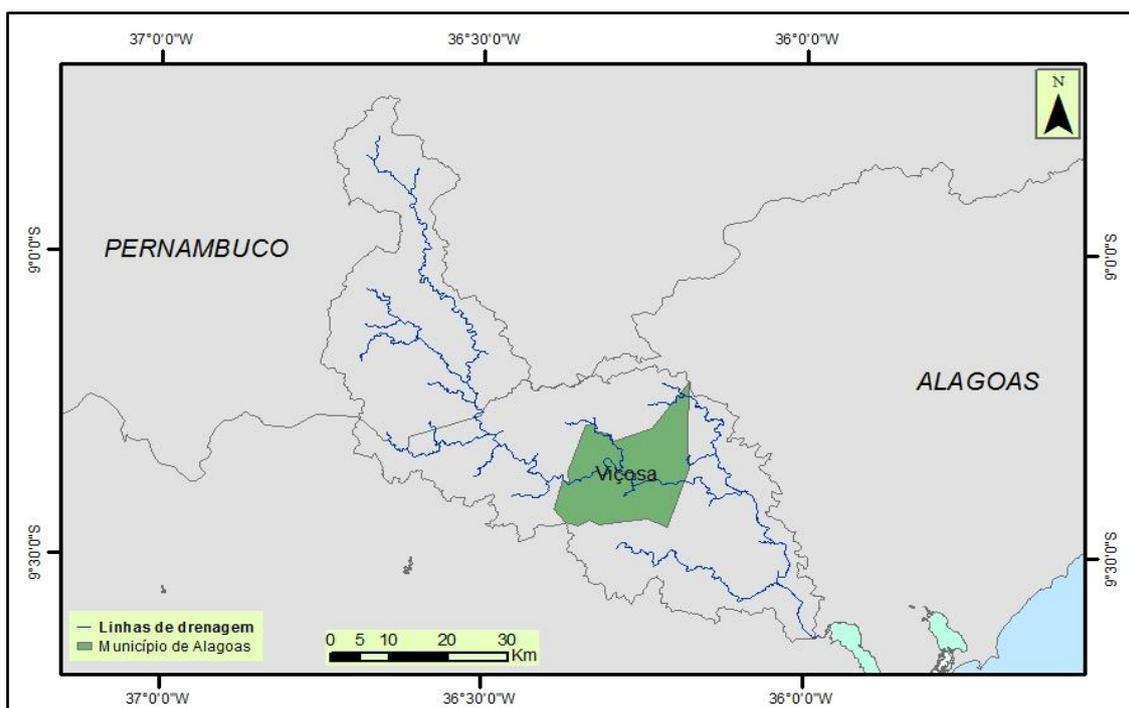


Figura 28. Localização do município de Viçosa - Estado de Alagoas.

Os tipos de solos apresentados no município de Viçosa no Estado de Alagoas são o Podzólico Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico (PE) e o Planosol Solódico Eutrófico (PL) (SEPLAN,1999). A Tabela 16 apresenta os tipos de solos e suas respectivas aptidões agrícolas.

Caracterizada por ser formada por maciços e outeiros altos, com relevo geralmente movimentado, apresentando vales profundos e estreitos e a unidade geoambiental da Depressão Sertaneja (aproximadamente 15%), Viçosa é caracterizada por uma paisagem típica do semiárido nordestino, com superfícies de pediplanação bastante monótona, relevo predominantemente suave ondulado, e cortada por vales estreitos e vertentes dissecadas (SEPLAN, 1999).

CLASSES DE SOLOS	APTIDÕES AGRÍCOLAS	ÁREA (Km²)
PV4	Baixa fertilidade; Utilizado para culturas de subsistência; pastagens	50,00
PE4	Cana-de-açúcar; culturas de subsistência; cultura do algodão.	25,00
PV2	Baixa Fertilidade; Utilizado para culturas de subsistência; pastagens	15,00
PL2	Intensa cultura de subsistência	10,00

Tabela 16. Aptidões agrícolas e tipos de solos para o município de Viçosa.

Fonte: Adaptado de SEPLAN (1999).

A quadra chuvosa em Viçosa, tal qual o posto de Quebrangulo, está compreendida entre os meses de abril e agosto, de acordo com as médias de precipitação de uma série de 21 anos (1990 a 2010) (ANA, 2017), conforme Tabela 17. A precipitação máxima apresentada no período em estudo foi de 437,70 mm no mês de junho de 2004.

MESES						
PLUVIOMETRIA (mm)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Máx. das máx. mensais	316,30	198,90	350,10	347,20	398,90	437,70
Méd. das méd. mensais	54,80	52,50	100,80	122,60	166,50	226,20
MESES						
PLUVIOMETRIA (mm)	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máx. das máx. mensais	362,10	223,90	334,00	127,20	65,00	63,90
Méd. das méd. mensais	172,60	128,10	87,80	41,20	24,50	21,50

Tabela 17. Valores máximos e médios mensais de chuva para o período 1990 - 2010 no posto pluviométrico de Viçosa.

Fonte: Dados de chuva da ANA (2017).

O posto pluviométrico de Viçosa está localizado na região central da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. O município apresenta o clima tropical chuvoso com verão seco, e as temperaturas médias anuais mínimas e máximas são de 22°C e 30°C, respectivamente (SEPLAN, 1999). A Figura 29 apresenta os valores máximos e médios de precipitação mensal compreendidos entre os período 1990 a 2010 (ANA, 2017).

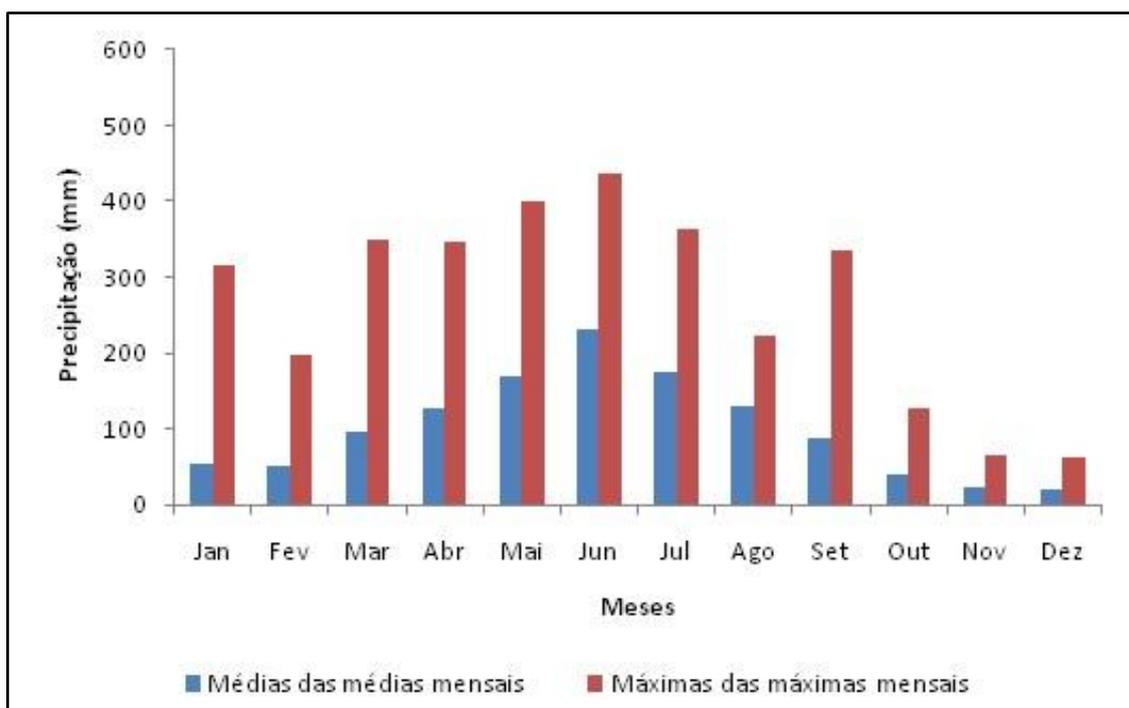


Figura 29. Valores máximos e médios mensais de chuva para o período 1990 - 2010 no posto pluviométrico de Viçosa.

Fonte: Dados de chuva da ANA (2017).

A vazão máxima apresentada para o posto fluviométrico de Viçosa foi registrado no mês de setembro de 2000 com $418,65 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. A média das máximas mensais mais elevada foi registrada no mês de junho, com vazão de $94,23 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ (Tabela18).

MESES						
VAZÃO ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Máx. das máx. mensais	151,29	154,03	33,44	248,37	73,48	328,68
Méd. das méd. mensais	15,26	22,70	15,68	32,27	25,61	94,23

Continuação

MESES						
VAZÃO (m³.s⁻¹)	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máx. das máx. mensais	136,70	381,11	418,65	34,06	22,68	37,23
Méd. das méd. mensais	61,99	83,37	46,50	10,98	5,12	6,14

Tabela 18. Valores máximos e médios mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Viçosa

Fonte: Dados de vazão da ANA (2017).

Os dados de alguns dias do mês de junho de 2010 são inexistentes, visto que a estação hidrológica apresentou problemas e ficou inoperante e sem informação. A menor média observada de vazão para este posto fluviométrico foi registrado no mês de novembro, conforme pode ser observado na Figura 30.

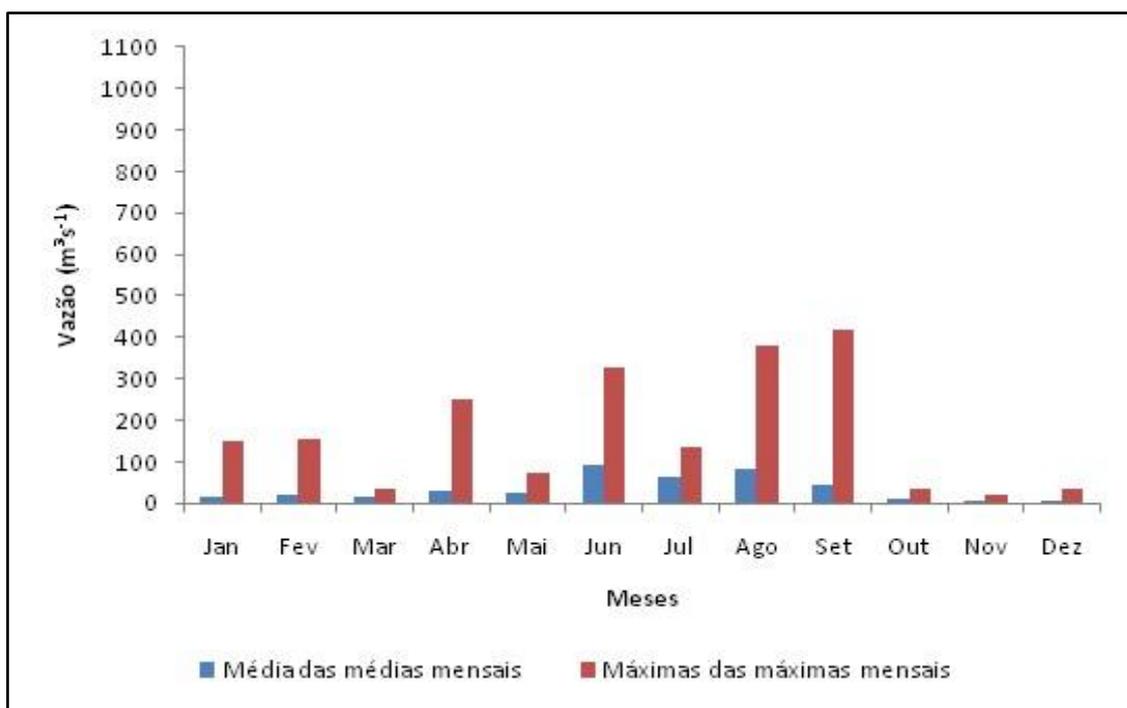


Figura 30. Valores máximos e médios mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Viçosa.

Fonte: Dados de vazão da ANA (2017).

Município de Atalaia

O município de Atalaia está localizado na região Leste do Estado de Alagoas, limitando-se ao Norte com os municípios de Cajueiro, Capela e Murici, ao Sul com os municípios de Pilar e Boca da Mata, a Leste com os municípios de Rio Largo e Pilar e a Oeste com os municípios de Pindoba e Maribondo. A área municipal ocupa 531,98 km² (1,92% do Estado de Alagoas), inserida na meso região do Leste Alagoano e na micro região da Mata Alagoana. A sede do município tem uma altitude de aproximadamente 54,00 m e coordenadas geográficas de 09°30'07,2" de latitude Sul e 36°57'48,0" de longitude Oeste. Possui uma população estimada de 47.528 indivíduos, de acordo com o Censo de 2016 (IBGE, 2017). O município apresenta uma distância de Maceió, capital do Estado de Alagoas de 48,00 km, com acessos pelas rodovias BR 316 e AL 110 (CPRM, 2005).

O relevo do município de Atalaia está inserido predominantemente na unidade dos Tabuleiros Costeiros (aproximadamente 70%). Esta unidade acompanha o litoral de toda a região Nordeste e apresenta altitude média de 50,00 a 100,00 m. Compreende platôs de origem sedimentar, que apresentam grau de entalhamento variável, ora com vales estreitos e encostas abruptas, ora abertos com encostas suaves e fundos com amplas várzeas. De modo geral, os solos são profundos e de baixa fertilidade natural. (CPRM, 2005).

A vegetação é predominantemente do tipo Floresta Subperenifólia, com partes de Floresta Subcaducifólia e cerrado/ floresta. Os solos dessa unidade geoambiental são representados pelos Latossolos e Podzólicos nos topos de chapadas e topos residuais; pelos Podzólicos com Fregipan, Podzólicos Plínticos e Podzóisnas pequenas depressões nos tabuleiros; pelos Podzólicos Concrecionários em áreas dissecadas e encostas e Gleissolos e Solos Aluviais nas áreas de várzeas (CPRM, 2005).

Os tipos de solos apresentados no município de Atalaia no Estado de Alagoas são o Podzólico Vermelho Amarelo (PV); Latossol Vermelho Distrófico (Lvd); Solos Gley Distróficos indiscriminados (HGd) e os solos Aluviais Distróficos e Eutróficos (Ade). A Tabela 19 apresenta os tipos de solos e suas respectivas aptidões agrícolas (CPRM, 2005).

CLASSES DE SOLOS	APTIDÕES AGRÍCOLAS	ÁREA (km²)
PV10	Baixa fertilidade nas áreas de relevo plano dos topos dos tabuleiros	35,00
LVD2	Zona costeira; Cultura intensiva da Cana-de-açúcar; cultura de subsistência e fruticultura	27,00
PV5	Baixa fertilidade natural; Cana-de-açúcar e culturas de subsistência	20,00
PV7	Baixa fertilidade natural; Cana-de-açúcar e culturas de subsistência	10,00
Ade	Zona úmida costeira; Cana-de-açúcar; pastagens naturais; culturas de subsistência e fruticultura	05,00
PV2	Baixa fertilidade natural. Cana-de-açúcar e culturas de subsistência	03,00

Tabela 19. Aptidões agrícolas e tipos de solos para o município de Atalaia

Fonte: Adaptado de SEPLAN (1999).

O período chuvoso começa no outono tendo início em fevereiro e término em outubro. O município apresenta o clima tropical chuvoso com verão seco, e as temperaturas médias anuais mínimas e máximas são de 22°C e 30°C, respectivamente. A precipitação máxima mensal apresentada no período foi de 499,30 mm no catastrófico evento pluviométrico do mês de junho de 2010 (Tabela 20), onde houve a grande enchente nas Bacias Hidrográficas dos Rios Paraíba, Mundaú e Una, devido à grande quantidade de precipitação nas cabeceiras destes rios, no Estado de Pernambuco. O valor pluviométrico total anual apresentou seu maior valor no ano de 2000, com 1.711,00 mm, e apresentou uma média pluviométrica anual de 976,81 mm.

MESES						
PLUVIOMETRIA (mm)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Máx. das máx. mensais	202,40	144,50	195,30	223,40	462,80	499,30
Méd. das méd. mensais	37,20	41,87	60,50	96,15	153,60	222,80
MESES						
PLUVIOMETRIA (mm)	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máx. das máx. mensais	259,90	228,50	198,60	132,40	62,10	69,90
Méd. das méd. mensais	157,20	120,550	64,40	30,40	15,80	16,75

Tabela 20. Valores máximos e médios mensais de chuva para o período 1990-2010 no posto pluviométrico de Atalaia.

Fonte: Dados de chuva da ANA (2017).

A Figura 31 apresenta as médias de precipitação que foram calculadas de acordo com uma série de 21 anos entre os anos de 1990 a 2010 (ANA, 2017).

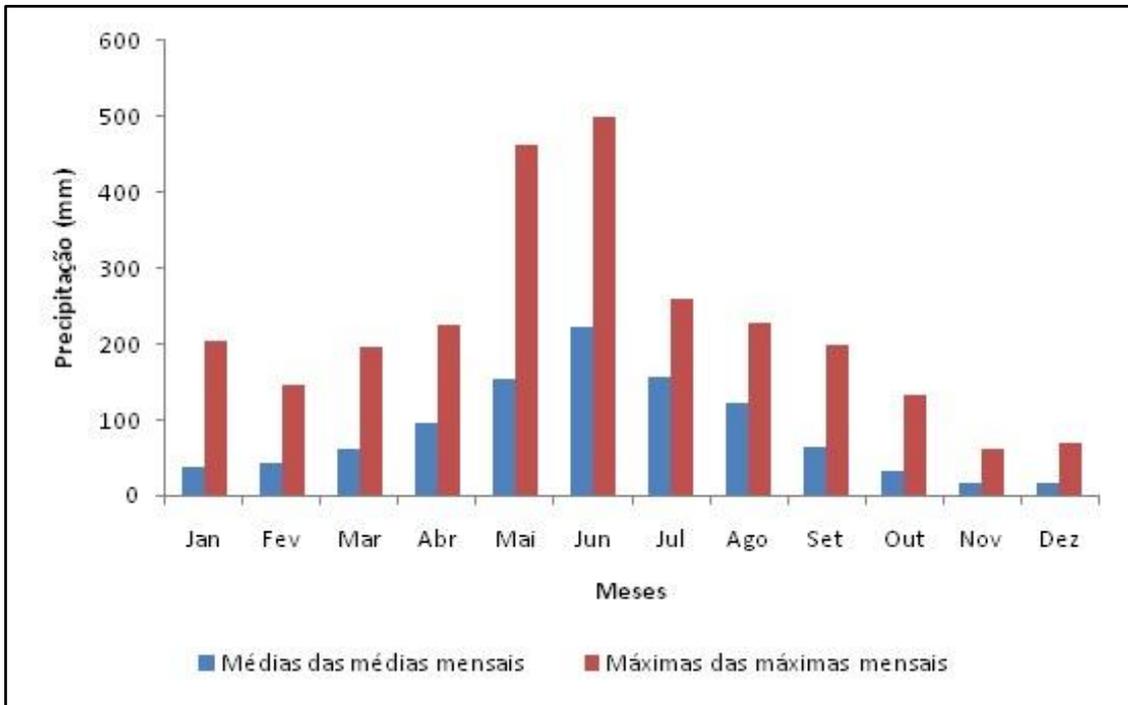


Figura 31. Valores máximos e médios mensais de chuva para o período 1990 - 2010 no posto pluviométrico de Atalaia.

Fonte: Dados de chuva da ANA (2017).

No que diz respeito a fluviometria, o posto de Atalaia está localizado próximo a foz da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, tendo por isso as vazões mais elevadas da área de estudo. As mínimas vazões foram observadas nos meses de novembro e dezembro. Em alguns anos, eventos de vórtices ciclônicos de altos níveis causaram precipitações nesta região nestes meses, fazendo com que houvesse alterações no regime pluviométrico da região. A vazão máxima em Atalaia foi registrada no mês de junho do ano de 2009 com valor de $970,89 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Tabela 21).

MESES						
VAZÃO (m³.s⁻¹)	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
Máx. das máx. mensais	393,73	295,93	138,70	254,70	733,61	970,89
Méd. das méd. mensais	44,46	44,88	35,12	59,25	116,96	250,39
MESES						
VAZÃO (m³.s⁻¹)	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máx. das máx. mensais	617,65	250,41	409,51	85,11	171,81	44,70
Méd. das méd. mensais	135,65	131,69	63,83	23,49	19,24	10,39

Tabela 21. Valores máximos e médios mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Atalaia.

Fonte: Dados de vazão da ANA (2017).

O mês onde se verificou a média de vazão mais elevada foi junho. Para as vazões mínimas, o mês de dezembro foi o que apresentou as menores vazões observadas, seguido pelos meses de novembro e janeiro. Os valores médios das vazões podem ser observados na Figura 32.

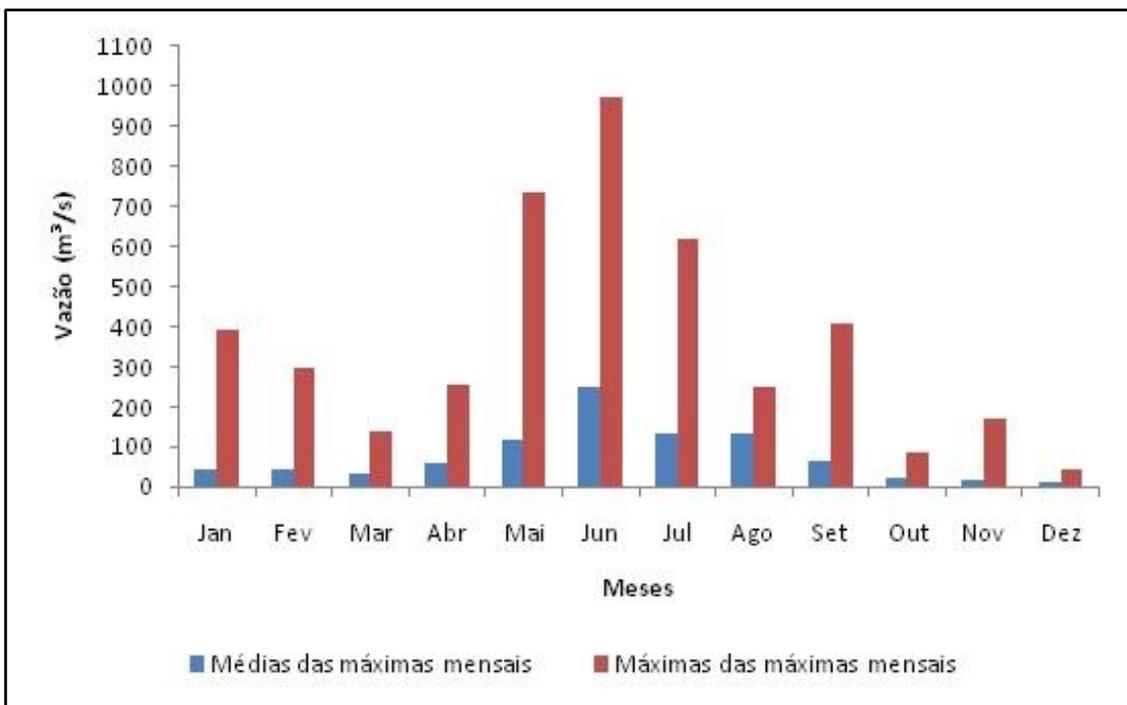


Figura 32. Valores máximos e médios mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Atalaia

Fonte: Dados de vazão da ANA (2017).

4 DESENVOLVIMENTO DE PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Caracterização do modelo hidrológico (Modelo de Grandes Bacias - MGB-IPH)

O Modelo Hidrológico de Grandes Bacias (MGB-IPH) é uma extensão adicionada ao programa gratuito Mapwindow GIS. Para este trabalho, foi utilizada a versão Mapwindow GIS 64 bits 4.8.6. O download desta extensão foi feito pelo site <http://www.ufrgs.br/hge/mgb-iph/downloads/>, e depois descompactado de modo que foi gerada uma pasta denominada “MGB”, onde foram salvos todos os arquivos da extensão do programa, em um diretório específico. O modelo hidrológico pode ser utilizado em bacias hidrográficas de vários tamanhos, como no caso da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

A versão utilizada do modelo hidrológico MGB-IPH dividiu a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba em mini-bacias. Nesta versão do programa, a propagação do escoamento foi realizada de uma mini-bacia para outra. Teve como etapa inicial o processamento dos dados, denominado MGB - GIS, elaborado em ambiente SIG. Os planos de informação foram inseridos na rotina pelo programa Prepro_MGB, desenvolvidos em linguagem Fortran, com interface VBA (*Visual Basic*), elaborados e desenvolvidos como extensão no ArcGis utilizado (Versão 10.3), conforme descritas em GAMA (2013).

A rotina Prepro_MGB.mxd foi utilizada em uma primeira fase de processamento de dados espaciais que analisa os dados de relevo da bacia hidrográfica fornecidos pelo Modelo Digital de Elevação (MDE), que resume as informações das características morfométricas para cada mini-bacia gerada, conforme descritas em FAN et al. (2010).

A discretização da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba foi realizada por meio da extensão ArcHydro 10.2, desenvolvida pelo *Center for Research in Water Resources* (CRWR), pertencente à *University of Texas at Austin* (UTEXAS). O dado de entrada para esta função é o MDE, que foi adquirido do

site <http://earthexplorer.usgs.gov/>, no formato RASTER, conforme recomendações de GAMA (2013).

Após a geração dos arquivos iniciais necessários, foi gerado o principal arquivo de entrada na aplicação do modelo. O Arquivo MINI.MGB foi gerado em formato ASCII (*.txt), contendo as informações de discretização, topologia e características físicas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Este arquivo foi gerado diretamente do programa MGB, na plataforma MapWindows. Com o arquivo MINI.MGB gerado e com a instalação do plugin MGB diretamente na plataforma do Mapwindows, foram processados dados de entrada através do comando "Preparar Dados".

4.1.1 Processos hidrológicos simulados pelo modelo hidrológico MGB-IPH

Na utilização do modelo MGB-IPH, em cada mini-bacia ocorre o processo de transformação chuva-escoamento. São vários os processos que são representados nesta transformação: O balanço hídrico ocorre de forma independente; armazenamento; interceptação; escoamento; percolação; evapotranspiração e propagação na rede de drenagem. Os processos hidrológicos simulados pelo modelo foram apresentados por: COLLISCHONN (2001); PAIVA (2009); COLLISCHONN et al. (2010); GAMA (2013); SOBRINHO (2012) e CHAVES (2013).

O balanço hídrico na camada superficial do solo é dado pela equação

$$W_{i,j}^t = W_{i,j}^{t-1} + (P_{i,j} - ET_{i,j} - D_{sup_{i,j}} - D_{int_{i,j}} - D_{bas_{i,j}} + D_{cap_{i,j}}) \cdot \Delta T \quad \text{Equação 02}$$

Onde:

$W_{i,j}$ = Volume de água armazenado no solo ao final de um determinado intervalo de tempo;

- $P_{i,j}$ = Precipitação;
- $ET_{i,j}$ = Componente da evapotranspiração;
- $Dsup_{i,j}$ = Escoamento superficial;
- $Dint_{i,j}$ = Escoamentos subsuperficial;
- $Dbas_{i,j}$ = Volume percolado;
- $Dcap_{i,j}$ = Fluxo ascendente do aquífero ao solo;
- ΔT = Intervalo de tempo.

A interceptação, definida como o processo simulado de retenção da água precipitada pela camada vegetal agregada ao solo, no MGB-IPH é representada pelo reservatório de armazenamento máximo $Smax_j$ dependente da cobertura vegetal indicado no índice de área foliar IAF_j , (Equação 03).

$$Smax_j = \alpha IAF_j \quad \text{Equação 03}$$

Onde:

- $Smax_j$ = Capacidade do reservatório de interceptação no intervalo de tempo;
- α = Parâmetro de lâmina de interceptação, valor fixo em 0,2 mm;
- IAF_j = Índice de área foliar da Unidade de Resposta Hidrológica - URH_j .

Para o balanço hídrico no reservatório de interceptação em um intervalo de tempo, desprezando a resistência superficial, o MGB-IPH representa a lâmina interceptada calculada pela função da precipitação no topo do dossel vegetativo, da precipitação que atinge o solo, da evaporação real e do potencial da lâmina interceptada (Equações 04, 05 e 06).

$$S_{i,j}^{t+1} = \min(S_{i,j}^t + PC_i, S_{maxj}) \quad \text{Equação 04}$$

$$P_{i,j} = PC_i - (S_{i,j}^{t+1} - S_{i,j}^t) \quad \text{Equação 05}$$

$$S_{i,j}^{t+1} = S_{i,j}^{t+1} - EI_{i,j} \text{ sendo } EI_{i,j} = \min(S_{i,j}^{t+1}, EPI_{i,j}) \quad \text{Equação 06}$$

Onde:

$S_{i,j}$ = Lâmina de água interceptada;

S_{maxj} = Capacidade do reservatório de interceptação no intervalo de tempo;

PC_i = Precipitação no topo do dossel;

$P_{i,j}$ = Precipitação que atinge o solo;

$EI_{i,j}$ = Evaporação real da lâmina interceptada;

$EPI_{i,j}$ = Evaporação potencial da lâmina interceptada;

t = Intervalo de tempo.

O escoamento superficial é considerado somente em áreas saturadas, para estimar as variáveis em função do nível geral de saturação da bacia, através de uma relação probabilística entre humidade do solo e as áreas onde a infiltração é nula, a configurar a saturação (Equação 07).

$$X = 1 - \left(1 - \frac{W}{W_m}\right)^{\frac{b}{b+1}} \quad \text{Equação 07}$$

Onde:

X = Área saturada;

W = Volume armazenado no solo;

W_m = Armazenamento máximo da camada de solo para a URH (parâmetro);

b = Parâmetro do modelo.

Para considerar a fração de área que está saturada em função do armazenamento, o escoamento superficial $D_{sup\ i,j}$ nos intervalos de tempo $t-1$ e t , considerando a minibacia "i" e a URH "j", o modelo hidrológico MGB-IPH utiliza as Equações 08, 09 e 10.

$$D_{sup\ i,j} = \Delta T \cdot P_{i,j} - (W_{m_j} - W_{i,j}^{t-1}) \text{ para } A \leq 0 \quad \text{Equação 08}$$

$$D_{sup\ i,j} = \Delta T \cdot P_{i,j} - (W_{m_j} - W_{i,j}^{t-1}) + W_{m_j} \cdot A^{b+1} \text{ para } A > 0 \quad \text{Equação 09}$$

$$A = \left[\left(1 - \frac{W_{i,j}^{t-1}}{W_{m_j}} \right)^{\frac{1}{b+1}} - \frac{\Delta T \cdot P_{i,j}}{W_{m_j} (b_j + 1)} \right] \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

$D_{sup\ i,j}$ = Drenagem superficial ao longo do intervalo de tempo;

i = Minibacia;

j = Unidade de Resposta Hidrológica - URH;

$W_{i,j}^{t-1}$ = Armazenamento na camada superficial no início do intervalo do tempo;

$P_{i,j}$ = Precipitação descontada a interceptação ao longo do intervalo de tempo;

W_{m_j} = Armazenamento máximo da camada do solo;

b_j = Parâmetro do modelo;

ΔT = Intervalo de tempo.

O escoamento subsuperficial é definido através da relação não linear com o armazenamento de água no solo (Equação 11).

$$Dint_{i,j} = Kint_j \left(\frac{W_{i,j}^{t-1} - W_{z_j}}{Wm_j - W_{z_j}} \right)^{3+\frac{2}{\lambda}} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

$Dint_{i,j}$ = Drenagem subsuperficial ao longo do intervalo de tempo;

$Kint_j$ = Parâmetro de drenagem subsuperficial;

λ = Índice de porosidade do solo;

Wm_j = Armazenamento máximo da camada superficial do solo;

W_{z_j} = Limite inferior de armazenamento do solo;

$W_{i,j}$ = Armazenamento na camada do solo no final do intervalo de tempo.

O volume de água percolado e armazenado no solo é simulado pelo modelo. A função linear $Dbas_{i,j}$ por unidade de tempo t é dada por (Equação 12):

$$Dbas_{i,j} = Kbas_j \left(\frac{W_{i,j}^{t-1} - W_{c_j}}{Wm_j - W_{c_j}} \right) \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

$Dbas_{i,j}$ = Volume percolado;

$Kbas_j$ = Parâmetro de percolação máxima no solo saturado;

Wm_j = Armazenamento máximo da camada do solo;

W_{c_j} = Limite mínimo para não haver percolação;

$W_{i,j}^{t-1}$ = Armazenamento na camada do solo no início do intervalo de tempo.

A representação da ascensão da água para a zona não saturada do solo (camada superior) pode ser representada no modelo, como também a situação de estresse hídrico. Este comportamento hídrico de ascensão da água pode ser encontrado em áreas onde o nível do lençol é raso e pode ser influenciado pelas raízes profundas da vegetação no solo, capaz de extrair a água do aquífero (Equação 13).

$$Dcap_{i,j} = DMcap_j \left(\frac{W_{c_j} - W_{i,j}^{t-1}}{W_{c_j}} \right) \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

$Dcap_{i,j}$ = Fluxo ascendente;

$DMcap_j$ = Fluxo máximo ascendente do solo;

W_{c_j} = Limite máximo para haver fluxo ascendente;

$W_{i,j}^{t-1}$ = Armazenamento na camada do solo no início do intervalo de tempo.

O modelo hidrológico MGB-IPH utiliza a equação de Penman-Monteith, aplicada diretamente ao tipo de cobertura vegetal para o cálculo da evapotranspiração, considerando a resistência aerodinâmica e superficial. A equação utiliza separadamente a lâmina d'água interceptada e a água referente a camada superficial do solo quando considerado que a vegetação, utiliza toda a energia disponível, para a evaporação (Equação 14).

$$ET = \frac{fc}{\rho_w \cdot \lambda} \left[\frac{\Delta(S_n - L_n - G) + \rho_a \cdot C_p \left(\frac{e_s - e_d}{r_a} \right)}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right)} \right] \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

- ET = Taxa de evaporação da água;
- Δ = Taxa de variação da pressão de saturação do vapor em relação a temperatura;
- S_n = Radiação líquida de onda curta;
- L_n = Radiação líquida de onda longa;
- G = Fluxo de energia para o solo;
- ρ_a = Massa específica do ar;
- C_p = Calor específico do ar úmido;
- e_s = Pressão de saturação do vapor;
- e_d = Pressão do vapor;
- r_a = Resistência aerodinâmica;
- r_s = Resistência superficial da vegetação;
- γ = Constante psicrométrica;
- λ = Calor latente de vaporização;
- ρ_w = Massa específica da água;
- fc = Fator de conversão igual a 8,64.

Segundo SOBRINHO, (2013), as águas resultantes dos processos anteriormente descritos que escoam superficialmente e também as oriundas do aquífero são coletadas pela rede de drenagem. Ao longo do percurso, o

escoamento sofre interferências, retardos e amortecimentos quanto aos escoamentos gerados em cada mini-bacia. O modelo hidrológico MGB-IPH representa a propagação nas mini-bacias destes volumes, até o rio principal, utilizando três reservatórios lineares em cada mini-bacia, relacionados às respectivas Unidades de Respostas Hidrológicas (Equações 15, 16 e 17).

$$V_{sup_i}^{t'} = V_{sup_i}^{t-1} + \Delta t \cdot \sum_j D_{sup_{i,j}} \quad \text{Equação 15}$$

$$V_{int_i}^{t'} = V_{int_i}^{t-1} + \Delta t \cdot \sum_j D_{int_{i,j}} \quad \text{Equação 16}$$

$$V_{bas_i}^{t'} = V_{bas_i}^{t-1} + \Delta t \cdot \left(\sum_j D_{bas_{i,j}} - \sum_j D_{cap_{i,j}} \right) \quad \text{Equação 17}$$

Onde:

$V_{sup_i}^{t'}$ = Volume de água no reservatório superficial;

$V_{int_i}^{t'}$ = Volume de água no reservatório subsuperficial;

$V_{bas_i}^{t'}$ = Volume de água no reservatório subterrâneo;

$D_{sup_{i,j}}$ = Escoamento superficial;

$D_{int_{i,j}}$ = Escoamento subsuperficial;

$D_{cap_{i,j}}$ = Escoamento subterrâneo;

Δt = Intervalo de tempo.

As vazões resultantes na saída de cada reservatório superficial, subsuperficial e subterrâneo, em função do armazenamento em cada um deles são representadas pelas Equações 18, 19 e 20.

$$Q_{sup_i} = \frac{1}{TKS_i} V_{sup_i}^{t'} \quad \text{Equação 18}$$

$$Q_{int_i} = \frac{1}{TKI_i} V_{int_i}^{t'} \quad \text{Equação 19}$$

$$Q_{bas_i} = \frac{1}{TKB_i} V_{bas_i}^{t'} \quad \text{Equação 20}$$

Onde:

Q_{sup_i} = Vazão de saída do reservatório superficial;

Q_{int_i} = Vazão de saída do reservatório subsuperficial;

Q_{bas_i} = Vazão de saída do reservatório subterrâneo;

TKS_i = Tempo de retardo do reservatório superficial;

TKI_i = Tempo de retardo do reservatório subsuperficial;

TKB_i = Tempo de retardo do reservatório subterrâneo.

Os tempos de retardo dos reservatórios superficial (Tks_i) e subsuperficial (Tki_i) são aferidos pelos parâmetros calibráveis (C_S e C_I) no tempo de concentração ($Tind_i$), conforme Equações 21 e 22.

$$TKS_i = C_S Tind_i \quad \text{Equação 21}$$

$$TKI_i = C_I Tind_i \quad \text{Equação 22}$$

O C_B , C_S e C_I são parâmetros do modelo e T_{ind} é o tempo de concentração da célula calculada com a Fórmula de KIRPICH (1940) (Equação 23).

$$T_{ind} = 3.600 \times \left(0,868 \times \frac{L^3}{\Delta H} \right) 0,385 \quad \text{Equação 23}$$

Onde:

L = Largura da célula;

ΔH = Diferença de altura entre os pontos mais alto e mais baixo da célula determinado neste trabalho, com o modelo numérico do terreno.

Os parâmetros C_S e C_I são calibrados, enquanto o parâmetro C_B pode ser estimado por meio da Equação 24.

$$C_B = - \frac{ND}{\ln\left(\frac{Q_{FR}}{Q_{IR}}\right)} \times 86.400 \quad \text{Equação 24}$$

Onde:

ND = Número de dias do período de recessão do hidrograma;

Q_{IR} = Vazão no início da recessão;

Q_{FR} = Vazão no final da recessão.

As variáveis do comprimento L em km e da declividade S em m/m referentes ao afluente mais longo do trecho principal em cada mini-bacia servem para determinar o valor do tempo de concentração (T_{ind}) na Equação de Kirpich (TOMAZ, 2013), sendo utilizados os valores das constantes $a = 239,04$; $b = 0,77$ e $c = 0,385$, conforme Equação 25.

$$T_{ind_i} = a \frac{L_i^b}{S_i^c} \quad \text{Equação 25}$$

Nos períodos de estiagem, as recessões dos hidrogramas servem para a determinação do tempo de retardo no reservatório subterrâneo, sendo, portanto o somatório das contribuições subterrâneas, superficiais e subsuperficiais a vazão do trecho de rio da mini-bacia (Q_{cel_i}) (Equação 26).

$$Q_{cel_i} = Q_{sup_i} + Q_{int_i} + Q_{bas_i} \quad \text{Equação 26}$$

O modelo hidrológico MGB-IPH utiliza o método de Muskingum-Cunge (TOMAZ, 2008) na propagação das vazões nos trechos do rio para cada mini-bacia, sendo estas, então discretizadas em subtrechos e relacionadas ao intervalo de tempo diário. A considerar o intervalo de tempo ideal durante o qual a propagação das vazões se correlaciona ao tempo de escoamento e ao amortecimento do hidrograma (Equação 27).

$$Q_{i+1}^{t+1} = C_1 \cdot Q_i^t + C_2 \cdot Q_i^{t+1} + C_3 \cdot Q_{i+1}^t \quad \text{Equação 27}$$

Onde:

- Q = Vazão;
- C_1 = Parâmetro calculado;
- C_2 = Parâmetro calculado;
- C_3 = Parâmetro calculado;
- i = Seções a montante;
- $i+1$ = Seções a jusante;
- t = Intervalo de tempo.

4.1.2 Dados de entrada utilizados pelo modelo hidrológico MGB-IPH

Os dados de entrada utilizados pelo modelo hidrológico MGB-IPH foram sob a forma de arquivos (dados fluviométricos; dados pluviométricos; dados climáticos; parâmetros fixos e parâmetros calibráveis) e sob a forma de mapas, ou planos de informações (Raster) (solos; tipos de uso; rede de drenagem; MDE/discretização, os quais resultaram em mapas de Unidades de Respostas Hidrológicas - URH's).

Os dados fluviométricos, pluviométricos e climatológicos foram disponibilizados no formato do programa ACCESS e em formato ASCII (texto) (ANA, 2017). No formato ASCII as séries de dados de chuva e vazão foram organizados com agrupamento de valores para cada mês do ano. Para a utilização com o modelo hidrológico MGB-IPH é mais conveniente o formato em que todos os dados estão em uma sequência (um valor para cada dia), (COLLISCHONN e TUCCI, 2001).

4.1.2.1 Dados fluviométricos

Selecionou-se 03 postos fluviométricos inseridos em municípios no Estado de Alagoas. O posto fluviométrico de Atalaia, foi o que apresentou série histórica com maior quantidade de dados, um total de 39 anos. Os postos de Quebrangulo e Viçosa apresentaram séries menores que 25 anos, mas não foram descartados, devido à escassez de dados em outras localidades. Os únicos postos que apresentaram dados de cotas estavam inseridos no Estado de Pernambuco: postos de Brejão (2004 a 2008); Correntes1 (2011 a 2014) e Correntes 2 (2009 a 2014). Contudo, devido ao período das séries históricas ser inferior a 10 anos, e não coincidir com o período escolhido para o estudo, os postos do município de Correntes foram descartados. Não foi encontrado nenhum posto fluviométrico do estado de Pernambuco nos dados do inventário da ANA, com séries históricas superiores a 06 anos. A Tabela 22 e Figura 33 mostram a posição geográfica das estações fluviométricas e climatológica utilizadas.

CÓDIGO ANA	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE
39850000	Quebrangulo-AL	-9°19'10"	-36°28'28"
39890000	Viçosa-AL	-9°22'45"	-36°14'57"
39870000	Atalaia-AL	-9°30'24"	-36°01'22"
00936035	Palmeira dos Índios-AL	-9°25'12"	-36°37'12"

Tabela 22. Localização dos postos fluviométricos e climatológico da área em estudo.

Fonte: ANA (2017).

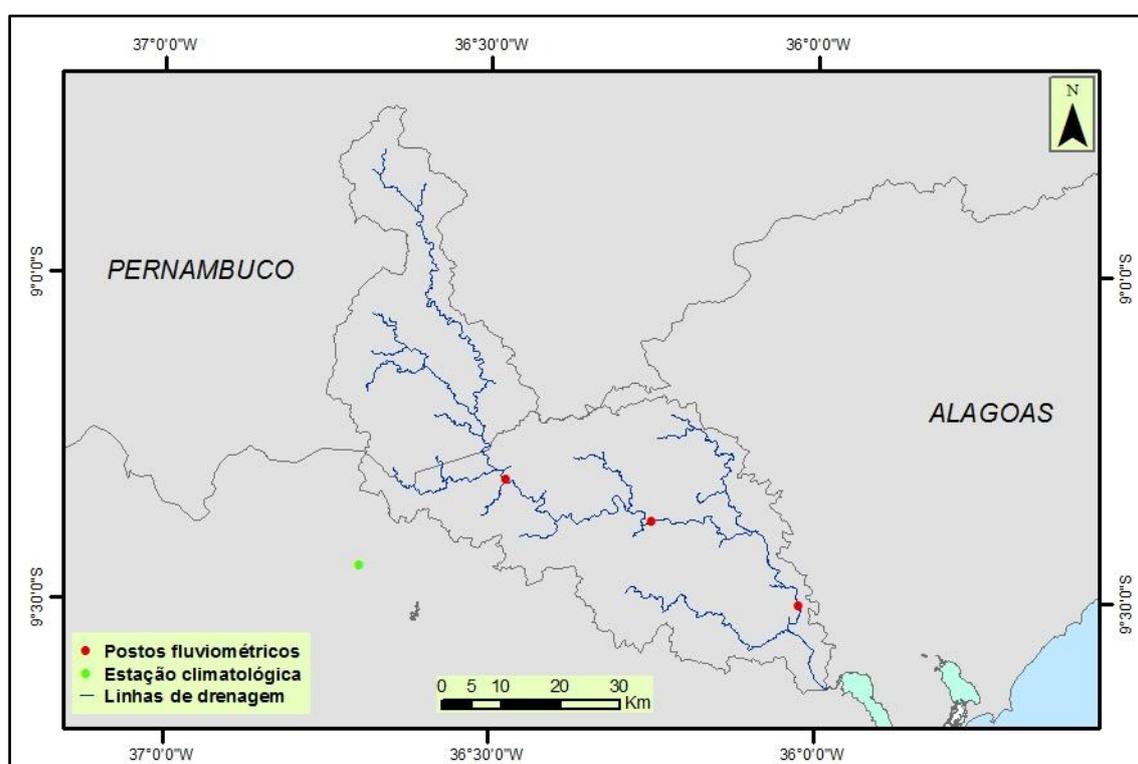


Figura 33. Localização dos postos fluviométricos e climatológico da área em estudo.

Fonte: ANA (2017).

4.1.2.2 Dados pluviométricos

Foi feito um estudo rigoroso com relação aos índices pluviométricos disponíveis nos diversos departamentos de monitoramento. Foram separados

os postos que apresentaram os dados mais consistentes, com um número menor de falhas. De acordo com os postos e dados disponíveis, foram feitos 04 Testes, cada um com um conjunto de datas, para testar quais os melhores valores para garantir a eficácia do modelo hidrológico MGB-IPH na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

O MGB-IPH utilizou informações de chuva ao longo de simulações disponibilizadas a partir de um arquivo binário com extensão "HIG", que contém o valor da chuva em todas as células da bacia a cada variação de tempo. Foram utilizados dados observados em pluviômetros como informação da chuva para o modelo, conforme descritos por COLLISCHONN (2001).

Foi efetuada uma interpolação espacial dos dados de chuva através do modelo hidrológico MGB-IPH que utiliza um aplicativo executável auxiliar chamado INTERPLU.exe. Este aplicativo adota uma combinação de duas técnicas de interpolação: interpolação por Thiessen e interpolação pelo método do inverso do quadrado da distância. Na ausência de dados de chuva em um determinado período, o programa utiliza os dados pluviométricos dos demais postos para realizar a interpolação (PAIVA et. al., 2012). Este passo é de extrema importância, visto que um dos grandes entraves na utilização de modelos hidrometeorológicos no Brasil é a escassez de dados confiáveis disponíveis.

Após a análise dos dados de chuva, foram separados os dados de 38 postos pluviométricos (Figura 34) para a utilização na modelagem hidrológica e seus testes, sendo gerados arquivos para utilização no modelo hidrológico MGB-IPH. Devido à escassez de postos pluviométricos inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, foram utilizados postos próximos à área em estudo, inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú e adjacências .

Para a geração do arquivo de dados utilizado na modelagem hidrológica, foi utilizada a função "precipitação" no comando "Preparar Dados", em formato ASCII colunas, através do Plugin MGB, já instalado anteriormente na plataforma do Mapwindows.

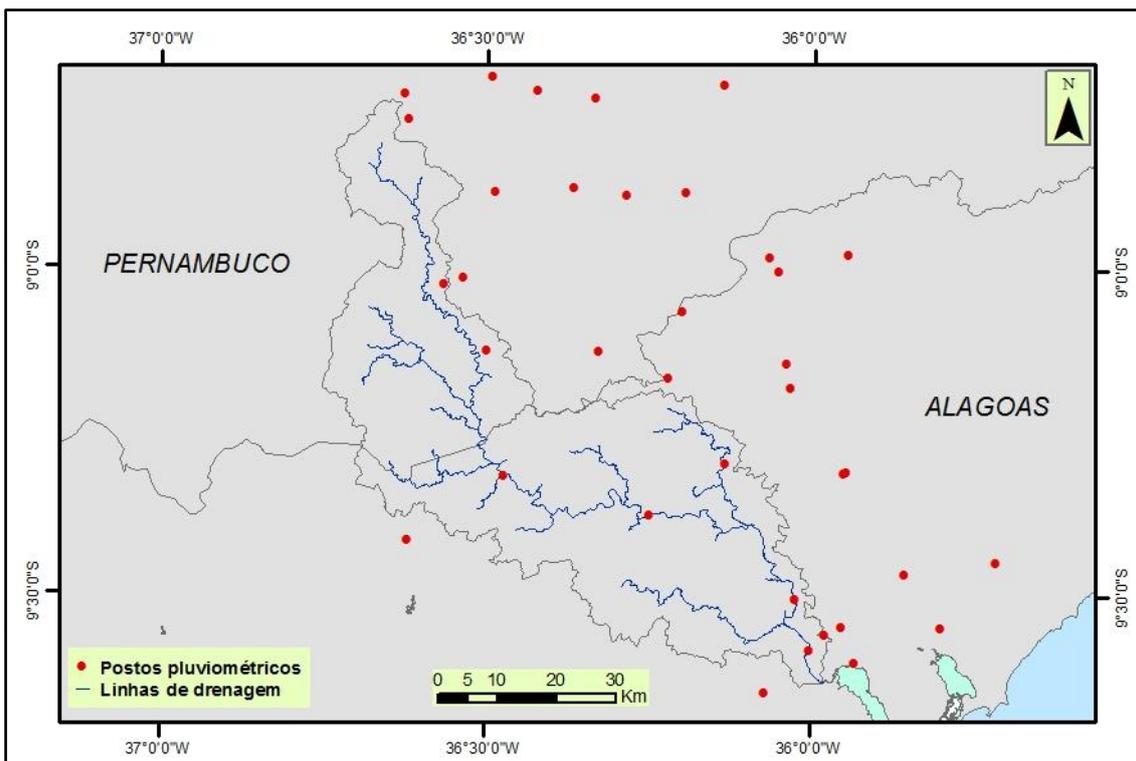


Figura 34. Postos pluviométricos utilizados na Modelagem Hidrológica.

Fonte: ANA (2017).

Neste estudo, visto que grande parte da rede pluviométrica disponível apresentou dados com um nível de confiança baixo, foi necessária a busca de novas alternativas, visando um aproveitamento mais eficaz nos resultados do modelo hidrológico MGB-IPH. Além dos dados de chuva observada, foram utilizados dados de um modelo atmosférico de previsão (ETA) e dados MERGE (Dados de precipitação observada em conjunto com a estimativa de precipitação proveniente do satélite tropical *Rainfall Measuring Mission* (TRMM), cedidos pelo CPTEC/INPE. Estes dados foram utilizados separadamente em 04 (quatro) Testes, aplicados e discutidos posteriormente no Item 05 (Caso de Estudo), com o objetivo de selecionar o tipo de dados que apresentem melhores resultados na utilização da simulação realizada pelo modelo hidrológico MGB-IPH.

A geração dos dados MERGE foi feita de acordo com ROZANTE (2000), onde foram localizados todos os pontos de estações existentes sobre o

domínio de interesse da grade do TRMM. Em seguida, nos "*grid box*" onde existem observações, foram desconsiderados os valores de precipitações estimados pela TRMM. A fim de dar mais peso para os dados pluviométricos, foram desconsiderados também os outros 24 "*grid box*" que estavam no entorno do local que contém a estação. Através do campo de precipitação restante do TRMM, foi gerada uma lista em formato ASCII contendo um identificador qualquer (foi escolhido o 33333), a latitude, a longitude e os valores da precipitação para cada ponto de grade válido. Nesta lista foi adicionada a informação obtida a partir das observações de superfície, utilizando como identificador o código da estação. Os resultados da combinação entre os dados da precipitação estimada pelo TRMM e os de superfície foram interpolados para uma grade regular utilizando como método de interpolação a Análise Objetiva de BARNES (1973).

Para a utilização dos índices MERGE, foi criada uma nova base de dados, na própria interface do programa Mapwindows. Foram colocadas as datas iniciais e finais do estudo, gerando arquivos binários e com extensão "CTL" (arquivo com as informações do ponto utilizado), um por dia. Foi também utilizado o arquivo "mini.mgb" com os centróides da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, indispensável para a localização dos pontos a serem utilizados, visto que os dados MERGE disponibilizados pelo CPTEC/INPE cobrem toda a América do Sul.

4.1.2.3 Outros dados climáticos

Na plataforma do Mapwindows, no Plugin instalado "MGB", na função "Clima" do comando "Preparar Dados", foram gerados dois (02) arquivos de clima que servem de entrada, um com médias mensais e outro com dados diários (formato ASCII colunas), constando as seguintes variáveis meteorológicas: temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$); umidade relativa do ar (%); insolação (horas/dia); vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e pressão atmosférica (Kpa).

Os dados foram extraídos da estação climatológica de Palmeira dos Índios, município localizado no Estado de Alagoas, por possuir sua área no limite da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba e ser a única estação com dados disponíveis em toda área de estudo, para os períodos analisados neste trabalho. A localização das estações fluviométricas e climatológica utilizadas pode ser conferida na Figura 34 e Tabela 22 (Tópico 4.1.2.1).

4.1.2.4 Parâmetros fixos e calibráveis

Os parâmetros utilizados pelo modelo hidrológico MGB-IPH são dados de entrada que vão ser tratados com maior pormenor devido às suas particularidades e complexidades.

O modelo hidrológico MGB-IPH está estruturado com base em 15 parâmetros, associados aos processos hidrológicos por ele representados. Esses parâmetros são divididos em fixos e calibráveis, e estão relacionados com as características representadas em função da sua variação e/ou de sua sensibilidade no modelo. Seus valores foram utilizados e calibrados seguindo recomendações de COLLISCHONN (2001); GAMA (2013); SOBRINHO (2012), CHAVES (2013) e ARAÚJO (2017). As indicações completas dos Parâmetros Fixos e Calibráveis encontram-se na bibliografia referenciada.

Na plataforma do Mapwindows, no Plugin instalado "MGB", no comando "Preparar Dados", na função "Parâmetros Fixos" foi criado o arquivo, com os valores de referência: Albedo, Índice de Área Foliar (IAF), altura das árvores e resistência superficial. Foram utilizados os valores mensais de cada parâmetro, de acordo com a sua variação, conforme Tabela 23.

PARÂMETROS	VALORES	INDICAÇÕES
Albedo	0,13 - 0,18	Depende do tipo de vegetação e período do ano.
Índice de área foliar (m ² /m ²).	2,00 - 6,00	É a razão entre a área foliar e a unidade de superfície projetada no solo
Altura das árvores (m)	2,00 - 8,00	Altura do dossel mês a mês, durante todo o ano
Resistência superficial (s/m)	80,00 - 100,00	Representa a variabilidade sazonal.

Tabela 23. Parâmetros Fixos utilizados no modelo hidrológico MGB-IPH e suas Indicações.

Fonte: Adaptado de GAMA (2013).

No comando "Preparar Dados", na função "Parâmetros Calibráveis" foi criado o arquivo de Parâmetros Calibráveis. O módulo responsável por gerar escoamento em cada mini-bacia discretizada possui 11 parâmetros calibráveis por sub-bacia considerada. Os parâmetros utilizados neste estudo, em conjunto com o significado e faixas de variação, são apresentados na Tabela 24 conforme conceitos descritos em TSCHIEDEL et al. (2016).

PARÂMETROS	VALORES	INDICAÇÕES
WM (mm)	400 - 2.000	Capacidade de armazenamento do solo
B	0,01 - 1,95	Correlação entre o armazenamento e saturação do solo
Kbas (m ³ .s ⁻¹)	0,05 - 0,15	Influencia a vazão durante a estiagem

Continuação

PARÂMETROS	VALORES	INDICAÇÕES
Kint (mm/dia)	8,00 - 38,00	Influencia a quantidade de água na camada do solo
XL	0,20 - 0,60	Influencia o perfil de redução da curva de água na superfície
CAP	0,00	Influencia a vazão do reservatório de subsolo
WC (mm)	0,19 - 0,75	Parâmetro de armazenamentos residuais
CB	2.000 - 6.200	Parâmetro do reservatório linear simples
QB	0,00	Vazão de base do início da simulação
CS	14,50 - 30,50	Parâmetro de calibração do espalhamento da superfície
CI	60,00 - 120,00	Parâmetro de calibração do espalhamento da sub-superfície

Tabela 24. Parâmetros Calibráveis utilizados no modelo hidrológico MGB-IPH e Significados.

Fonte: Adaptado de TSCHIEDEL et al. (2016).

4.1.2.5 Modelo Digital de Elevação (MDE) e Mapa de Discretização da Bacia

Todos os arquivos foram gerados com a mesma resolução espacial e coordenadas do retângulo envolvente, que representou a área em estudo, com definições em graus decimais, utilizando as projeções em Latitude e Longitude. A referência geográfica utilizada foi o Datum WGS_1984.

Foram utilizadas as técnicas de geoprocessamento necessárias para a geração dos dados de entrada. Inicialmente foi desenvolvido um recorte espacial do Modelo Digital de Elevação (MDE), que foi disponibilizado em formato RASTER pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2005). Foi utilizada a extensão ArcHydro no Software ArcGis 10.3 para gerar os planos de informação em formato RASTER, conforme GAMA (2013).

A versão do modelo hidrológico MGB-IPH deste trabalho permitiu fazer a discretização de uma bacia hidrográfica em mini-bacias com tamanhos de acordo com o critério do usuário. Nesta versão, a propagação do escoamento foi realizada de uma mini-bacia para outra tal como em GAMA, (2013). A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba foi dividida em 53 mini-bacias, sendo inserido um centróide em cada uma delas.

4.1.2.6 Mapas de: solos; tipo de uso e cobertura; rede de drenagem

O mapa de solos utilizado foi disponibilizado pela Secretaria de Planejamento de Alagoas (SEPLAN, 1997 apud GAMA, 2013). Houve o predomínio da ocorrência dos seguintes tipos de solos: Argissolos, Regassolos, Planossolos, Latossolos Vermelho, Latossolos Amarelo, Solos Aluviais e Gleissolos.

Segundo GAMA (2013), a reclassificação do mapa de solos foi feita de acordo com SARTORI (2004), a partir dos grupos hidrológicos do Serviço de Conservação dos Solos (SCS) dos Estados Unidos da América, e para este trabalho tiveram a seguinte classificação dos solos quanto ao grupo hidrológico:

- **Solos agrupados para o grupo hidrológico C** - Argissolos vermelho, argissolos vermelho amarelo e argissolos amarelo, latossolos e neossolos flúvicos. Correspondem aos solos profundos ou

pouco profundos, com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão;

- **Solos agrupados para os grupos hidrológicos D** - Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância à erosão, delgados, pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos.

No mapa de uso e cobertura vegetal foram agrupadas as classes com as mesmas características hidrológicas: coberturas vegetais (tipos de florestas) e uso (pasto e cultura agrícola). Este agrupamento de classes foi utilizado para simplificar o mapa de formação das URH's, conforme recomendações de GAMA (2013).

Com base no MDE gerado para a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, foram obtidas as direções de fluxo e rede de drenagem, em formato RASTER, que serviram como dados de entrada para a rotina Prepro_MGB.

4.1.2.7 Mapas de URH's (Unidades de Resposta Hidrológica)

As URH's foram definidas a partir da reclassificação dos mapas de solo e uso e cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, utilizada por GAMA (2013).

De acordo com o Manual do MGB-IPH (UFRGS, 2017), normalmente o modelo hidrológico tem sido distribuído entre quatro (04) e nove (09) blocos, que são pré-definidos após um cruzamento entre layers de tipos de uso e ocupação do solo. Neste estudo, as informações foram distribuídas em seis (06) URH's. Foi feito um cruzamento das classes de solos e classes de uso e cobertura vegetal com a distribuição das URH's, adaptado a partir de GAMA (2013).

Na plataforma do Mapwindows, no Plugin instalado "MGB", na função "Blocos" do comando "Preparar Dados", foi criado o arquivo com os blocos que compõem a região da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, um por um, a ser preenchido com as principais informações do bloco estudado, como o tipo de solo e a vegetação existente. Este agrupamento de classes foi utilizado segundo GAMA (2013) para simplificar o mapa de formação das URH's no modelo hidrológico MGB-IPH, assim como a calibração. O cruzamento das classes dos planos de informação (solos e uso de cobertura vegetal) está descrito na Tabela 25.

BLOCOS	CRUZAMENTO DAS CLASSES DE SOLOS E USO E COBERTURA VEGETAL	
DELVPD	1	Solo Delgado + Vegetação pouco densa
DELPAST	2	Solo Delgado + Pastagem
PROFVEGPD	3	Solo Profundo + Vegetação pouco densa
PROFPAST	4	Solo Profundo+ Pastagem
PROFLOR	5	Solo Profundo + Floresta
DELFLORDESC	6	Solo Delgado + Floresta descontínua

Tabela 25. Tipos de blocos utilizados no arquivo de entrada do modelo hidrológico MGB-IPH.

Fonte: Adaptado de GAMA (2013).

Com estes arquivos finalizados, juntamente com os mapas de tipo de solos e de uso e cobertura vegetal, deu-se início a próxima fase, Prepro_MGB, citado por GAMA (2013). Os dados de entrada necessários para a rotina Prepro_MGB estão listados na Tabela 26.

ARQUIVO	FONTE	FORMATO
Modelo Digital de Elevação (MDE)	SRTM	Raster ou ASCII
Direção de Fluxos	Utilização ArcHydro	RASTER
Rede de drenagem	Utilização ArcHydro	Raster ou ASCII
Mini-bacias	Utilização ArcHydro	Raster ou ASCII
Escoamento de fluxo	Utilização ArcHydro	Raster ou ASCII
Unidades de resposta hidrológica (URH) ou Bloco	Definição de unidades de paisagem	Raster ou ASCII

Tabela 26. Rotina Prepro_MGB necessária para a execução do modelo hidrológico MGB-IPH.

Fonte: Adaptado de GAMA (2013).

4.2 Caracterização do modelo atmosférico (Modelo Regional de Previsão Numérica do Tempo - ETA)

Foi utilizado o acoplamento do modelo hidrológico de grandes bacias (MGB-IPH) com o modelo regional de previsão numérica do tempo (ETA), utilizado pelo Centro de Pesquisa do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), pertencente ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O ETA foi utilizado como uma ferramenta a mais para trabalhar dados de entrada de precipitação, devido ao grande número de falhas nos postos pluviométricos observados dos Estados de Alagoas e Pernambuco.

Os dados necessários para a execução do modelo hidrológico MGB-IPH neste tópico foram: precipitação prevista pelo ETA; precipitação diária

observada e vazão diária observada. Os dados fluviométricos utilizados (vazões diárias) foram de Atalaia-AL, devido ao maior número de dados observados disponíveis. O período analisado foram os anos de 2012 e 2013. Estes anos foram selecionados para que houvesse uma data em comum com alguma das séries utilizadas nas análises da aplicação do modelo.

Os dados dos arquivos de chuva observada foram substituídos pelos dados de chuva prevista, com o objetivo de testar a eficácia do modelo atmosférico ETA em eventos extremos de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Os dados foram disponibilizados pelo modelo atmosférico do CPTEC/INPE, de acordo com o posto pluviométrico mais próximo do ponto de grade existente. Desta forma, foram separados 54 postos, conforme Figura 35, no recorte de Latitude entre $-10,0^{\circ}$ S e $-8,5^{\circ}$ S, e Longitude de $-37,0^{\circ}$ W $-35,5^{\circ}$ W, localização suficiente para a área de estudo.

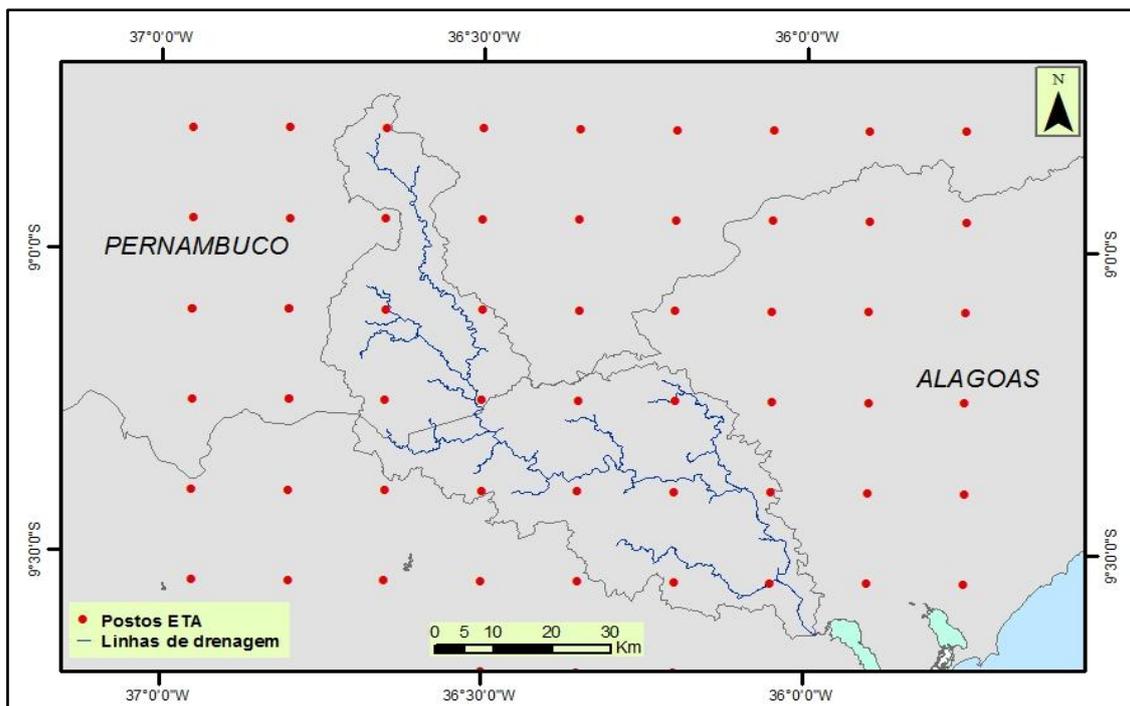


Figura 35. Localização dos pontos de grade dos dados ETA utilizados neste estudo.

Fonte: CPTEC/INPE.

Os dados utilizados disponibilizados pelo modelo atmosférico de previsão foram os acumulados de 24 horas, com grade regular e resolução horizontal de 15 km. Os arquivos próprios foram disponibilizados pelo CPTEC/INPE, em formato txt, para que fossem transformados em formato coluna com rotina no programa DELPHI, servindo assim de entrada no modelo hidrológico MGB-IPH.

Foi realizado o procedimento para o acoplamento do modelo atmosférico ETA ao hidrológico MGH-IPH, de modo que fosse gerada a previsão de vazão, de maneira operacional, a utilizar sempre a precipitação prevista com 24 horas de antecedência para estimativa da vazão no período indicado.

Uma análise das precipitações intensas foi feita durante o período 2012/2013, pois causaram vazões maiores em alguns casos, e em outros, abaixo do esperado, mesmo com previsão de chuvas para a região.

Foram utilizadas as imagens realçadas do satélite GOES 12 e 13, em dois (02) recortes: América do Sul e Região Nordeste (DSA, 2017). Estes dados foram necessários para o cruzamento dos dados de chuva e vazão com os sistemas atmosféricos que atingiram a área de estudo no período proposto, para assim, testar a eficácia do modelo atmosférico ETA na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

Os eventos foram separados por datas. Após a fase de tratamento dos dados necessários para o acoplamento dos modelos atmosférico e hidrológico, foram gerados hidrogramas com datas diárias, para testar a eficácia destes resultados. As simulações foram realizadas através do software MapWindows, com a extensão do MGB-IPH já instalada na fase de calibração do modelo hidrológico.

É importante salientar que os dados pluviométricos da área de estudo apresentaram uma grande quantidade de falhas nos postos pluviométricos

observados. Só foi possível selecionar um número reduzido de postos a serem trabalhados, descartando os demais postos que apresentaram muitas falhas. Este fator pode ter atribuído uma parcela considerável de incertezas na avaliação dos campos de precipitação para a área estudada.

4.3 Caracterização do modelo hidráulico HEC-RAS

A modelagem hidráulica é uma ferramenta bastante utilizada para a simulação de áreas inundáveis. O Software utilizado neste estudo foi o Hec-Ras (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*), versão 5.0.1, que simula escoamentos unidimensionais, utilizando o método *direct-step* de CHOW (1959), que permitiu considerar condições de regime permanente, variável ou misto.

Para esta pesquisa foi utilizada também a extensão para o ARcGIS 10.3 denominada HEC-GeoRAS, desenvolvida conjuntamente pelo *Hydrologic Engineering Center* (HEC) da *United States Army Corps of Engineerse* e pelo *Environmental System Research Institute* (ESRI). Basicamente, é um conjunto de procedimentos, ferramentas e utilidades desenhadas para processar dados georreferenciados que possam ser tratados em ambiente de SIG com o objetivo de facilitar e complementar o trabalho com o HEC-RAS. O HEC-GeoRAS criou um arquivo para fornecer ao HEC-RAS dados da geometria do terreno incluindo o canal do rio e seções transversais, conforme descrito em LUCIO (2014).

4.3.1 Dados utilizados pelo modelo hidráulico HEC- RAS

Os dados de entrada para a utilização do modelo hidráulico HEC-RAS foram: hidrológicos (vazões observadas e tempo de retorno); coeficientes (de Manning e de declividade) e ortoimagens (MDE e Ortofotos).

A Extensão do modelo hidráulico HEC-GeoRAS utilizou o SIG para gerar dados de geometria da bacia hidrográfica de estudo na simulação dos caudais de cheia.

Os dados utilizados na determinação da geometria do terreno foram trabalhados inicialmente no programa ArcMap, onde, através do menu RAS *Geometry*, foram gerados arquivos no formato *Triangular Irregular Network* (TIN), com informações das seções transversais da rede hidrográfica nos municípios de estudo e transformados para arquivos no formato *Grid Move Grid Settings* (GRID), na mesma interface utilizada, em *RasGeometry-Layer Setup*.

A primeira ferramenta a ser utilizada foi a *Create Ras Leyers-Stream Centerline*, sendo feita a vetorização (sempre no sentido montante-jusante) do centro do Rio Paraíba, com a rede de drenagem, tendo como objetivo moldar o seu alcance. O segundo passo foi a utilização da ferramenta *Bank Lines*, para a vetorização, tendo como objetivo a demarcação do leito do rio e suas margens. Em seguida, foi utilizada a ferramenta *Stream Centerline*, com a qual foi feita a demarcação da margem maior do rio, uma área possível de ocorrência de inundações. Foram indicados os *Flowpaths*, correspondentes ao centro do escoamento fluvial do leito maior do rio, nas suas duas (02) margens (direita e esquerda). Após esta parte de vetorização dos dados, foi utilizada a ferramenta *XS Cut Lines*, que serviu para a demarcação das seções do rio, onde foram marcadas com a ferramenta automática *Create Cross Sections*, seguindo recomendações de LUCIO (2014).

Os dados de escoamento foram necessários para o cálculo dos níveis de água e consistiram em regimes de escoamento, caudais de ponta de cheia e condições de fronteira. Neste caso, foi utilizado o escoamento permanente (*steady flow*) para a velocidade, independente do tempo e dependente unicamente da posição. As condições de fronteira ou contorno são pontos em que se atribuiu a cota da superfície, neste caso, a montante e a jusante, conforme LUCIO (2014).

Os dados resultantes das simulações obtidas no modelo hidráulico HEC-RAS foram exportados para o ArcGIS, e processados e finalizados para a obtenção dos mapas de inundação, assim como os demais mapas presentes neste estudo, como os mapas de altura e velocidade corrente da água.

O desenvolvimento dos mapas das zonas inundáveis constituiu uma etapa essencial para a fase final deste trabalho, a qual visou o mapeamento das áreas de risco dos três (03) municípios em estudo: Quebrangulo, Viçosa e Atalaia. Os mapas foram gerados de acordo com os tempos de retorno utilizados no estudo, e apresentaram as áreas inundáveis em hectares, informações estas geradas diretamente pelo programa ArcGIS, após a exportação dos dados trabalhados pelo modelo hidráulico HEC-RAS.

Após a geração do mapa das zonas inundáveis, foram confeccionados os mapas de altura de água, utilizando como dados de entrada as vazões calculadas nos tempos de retorno do estudo. O número de classes foi dividido de acordo com a variação da altura de água, em metros, encontrada na região demarcada pela inundação. O valor inicial (classe mais baixa) utilizado foi o índice apresentado na base do rio e o valor final (classe mais alta), foi o índice apresentado na área de maior atingimento.

Os mapas de velocidade corrente da água atingida pela vazão foram feitos utilizando os mesmos dados de entrada para os demais mapas (zonas inundáveis e altura de água). O número de classes foi dividido de acordo com a variação da velocidade apresentada em m^3s^{-1} , tendo como valor inicial o valor de 0,00.

4.3.1.1 Dados fluviométricos

Para o desenvolvimento do modelo hidráulico HEC-RAS, foram utilizados os dados das estações fluviométricas dos municípios de Quebrangulo-AL, Viçosa-AL e Atalaia-AL, extraídos do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA). Além dos dados coletados, foram utilizados

também vazões calculadas pela distribuição de Gumbel (TOMAZ, 2013), com a utilização do tempo de retorno para 10, 20, 50 e 100 anos.

A partir das séries temporais de vazão, foi feita uma nova série de dados apenas com as vazões máximas mensais, para a mesma série em estudo, com o objetivo de calcular as vazões em cada tempo de retorno proposto. Após o período de calibração do modelo hidráulico HEC-RAS, foram utilizados os dados calculados pela distribuição de Gumbel (TOMAZ, 2013).

A distribuição de Gumbel ou valor extremo, é calculado quando se utiliza o logaritmo de uma variável, neste caso a vazão, com a distribuição Weibull. Portanto, se a variável x tem uma distribuição Weibull, logo, a variável $Y=\log(x)$ tem uma distribuição de Gumbel.

A variável aleatória x terá uma distribuição de Gumbel quando sua função de densidade de probabilidade para $+\infty > x > -\infty$ for obtida pela Equação 28:

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} \exp \left\{ -\left(\frac{x - \beta}{\alpha} \right) - \exp \left[-\left(\frac{x}{\beta} \right) \right] \right\} \quad \text{Equação 28}$$

Onde:

$\alpha > 0$ = Parâmetro de escala;

$-\infty > \beta > +\infty$ = Parâmetro de localização.

A função de distribuição correspondente a Equação 28 utilizada foi a Equação 29.

$$F(x) = \exp\left\{-\exp\left[-\left(\frac{x-\beta}{\alpha}\right)\right]\right\} \quad \text{Equação 29}$$

Se x_1, \dots, x_n for uma amostra aleatória da equação 29, as estimativas de máxima verossimilhança para os parâmetros α e β foram de acordo com as Equações 30 e 31, seguindo recomendações de SMITH (1985).

$$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n x_i - \frac{\sum_{i=0}^n x_i \exp\left(-\frac{x_i}{\hat{\alpha}}\right)}{\sum_{i=0}^n \exp\left(-\frac{x_i}{\hat{\alpha}}\right)} \quad \text{Equação 30}$$

$$\hat{\beta}^2 = -\hat{\alpha} \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \exp\left(-\frac{x_i}{\hat{\alpha}}\right) \right] \quad \text{Equação 31}$$

Para análise de eventos extremos, tradicionalmente é realizada a teoria de valores extremos (os modelos de distribuições GEV-Distribuição Generalizada de Valores *Extremos* e GPD-Distribuição Generalizada de Pareto). Neste estudo de eventos extremos para vazão foi utilizado o modelo GEV com opção da distribuição de Gumbel para cálculo do período de retorno, conforme recomendações inscritas em ALVES et al. (2013).

Este método consiste em extrair de uma série de observações independentes $x_t, t = 1, \dots, n$, um valor máximo (diário, semanal, mensal ou anual) a partir de um intervalo de observações n , a gerar uma série de máximos extraída destes blocos. Neste estudo foi utilizado o acumulado mensal da vazão em cada estação de medição para o período mencionado anteriormente. A função de distribuição acumulada da distribuição GEV é dada por meio da Equação 32.

$$F(z) = \exp\left\{-\left[1 + \xi\left(\frac{z-\mu}{\sigma}\right)\right]^{-\frac{1}{\xi}}\right\} \quad z: 1 + \xi(z - \mu)/\sigma > 0 \quad \text{Equação 32}$$

Onde:

μ = Parâmetros de localização;

σ = Parâmetros de escala;

ξ = Parâmetros de forma.

Neste caso particular, para distribuição de Gumbel, adotou-se $\xi \rightarrow 0$, conforme Equação 33:

$$G(x) = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{x-\mu}{\sigma}\right]\right\}, -\infty < x < \infty \quad \text{Equação 33}$$

Onde:

x_1, \dots, x_n = Máximos da série de observações para n anos.

Após o ajuste e identificação da distribuição do modelo, foram estimados os níveis do tempo/período de retorno para 10, 20, 50 e 100 anos do extremo de vazão, dada por meio da Equação 34.

$$X_T = \mu - \frac{\sigma}{\xi} \left[1 - \left\{ -\log\left(1 - \frac{1}{T}\right) \right\}^{-\xi} \right] \quad \text{Equação 34}$$

Onde:

X_T = Nível do tempo de retorno que um evento extremo de vazão possa ocorrer, neste caso, em um mês, dado um período de T anos.

Os resultados computacionais foram gerados no software R (*R Development Core Team, 2013*), pelos seguintes pacotes: “MASS” (VENABLES e RIPLEY, 2002) e “VGAM” (YEE, 2013).

4.3.1.2 Coeficientes (Manning e declividade)

Os dados hidráulicos foram transmitidos ao modelo através dos Coeficientes de Rugosidade de Manning. Estes valores não são obrigatórios, mas são indispensáveis, pois atribuem diferentes rugosidades a diferentes locais de ocupação de solos. Sendo assim, interferem diretamente na velocidade de escoamento. Foram inseridos de acordo com a localização de cada seção, em suas margens esquerda e direita, e com o centro do rio, na função *Geometria Data - Tables*. Os valores dos coeficientes utilizados foram baseados nos índices disponibilizados por LUCIO (2014) e VILCA (2009).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado para a geração dos mapas de declividade foi extraído das imagens de alta resolução disponibilizadas pela SEMARH/AL. O gradiente de declividade obtido a partir do MDE foi reclassificado e adaptado, de forma a conter cinco (05) classes, baseadas no trabalho de EJKEME (2015), onde foi utilizada a divisão de classes indicada pela *Food and Agricultural Organization* (FAO), da Organização das Nações Unidas (ONU), divididas de acordo com a forma (Tabela 27).

Os dados de declividade foram inseridos no modelo hidráulico HEC-RAS através da função *Steady Flow Data*, que utilizou os dados da seção mais a montante da área de estudo (*Upstream*) e da seção mais a jusante (*Downstream*).

CLASSE	VARIAÇÃO (%)	TIPO DE DECLIVIDADE
1	00,00 - 02,00	Plano - Risco muito alto
2	02,01 - 08,00	Ondulado - Risco Alto
3	08,01 - 16,00	Fortemente ondulado - Risco moderado
4	16,01 - 30,00	Acidentado - Baixo Risco
5	> 30,01	Montanhoso - Sem Risco

Tabela 27. Divisão de classes de declividade utilizadas nos municípios de Quebrangulo, Viçosa e Atalaia - Estado de Alagoas.

Fonte: Adaptado de EJKEME (2015).

4.3.1.3 Ortoimagens

Neste estudo, foram utilizadas as imagens de alta resolução disponibilizadas pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH/AL). O rastreamento foi feito nos anos de 2012 e 2013. Para a geração dos mapas de inundação, foram utilizados os dados de altimetria, rede hidrográfica, declividade e as ortimagens com extensão "TIFF" de cada município em estudo e adjacências. A escala utilizada para a geração dos mapas nesta fase foi de 1:15.000, conforme recomendações inscritas em SAMPAIO (1999).

Para o desenvolvimento da geometria, cada município foi demarcado com números de seções e comprimentos variados, de acordo com a sua extensão. Finalizada a demarcação automática, foi feito um ajuste manual nas seções, visto que, com a demarcação automática realizada, apresentaram-se conflitos em algumas seções, o que foi resolvido com o ajuste manual, com esta função sempre realizada da esquerda para a direita. Completada esta etapa, o arquivo de geometria gerado ficou pronto e foi exportado para o

programa HEC-RAS, na ferramenta *Export RAS Data*, como um arquivo com extensão "PRJ", para o desenvolvimento das etapas seguintes.

4.4 Calibração e validação do Modelo Hidrológico MGB-IPH e do Modelo Hidráulico HEC-RAS

Para a calibração e validação do modelo hidrológico MGB-IPH, as séries completas foram divididas em dois (02) períodos. A fim de ajustar o modelo, de forma que fosse possível uma resposta favorável à aplicação dos dados em um determinado período, foi necessário que se aplicasse um período de calibração, ou seja, o ajuste dos parâmetros hidrológicos. O período de calibração é bastante importante, pois visa a confirmação dos valores obtidos através do ajuste dos parâmetros fixos e calibráveis, essenciais para a finalização de resultados satisfatórios.

Para que a calibração do modelo hidrológico MGB-IPH pudesse ser avaliada, com o modelo já ajustado na fase da calibração, foi realizada uma etapa de validação, com uma nova simulação, para testar a eficácia do modelo. O período de validação também foi muito importante para determinar o grau de incerteza na modelagem, após a sua calibração.

Os ajustes das vazões calculadas pela modelagem hidrológica e as vazões observadas foram realizados de acordo com a análise visual dos hidrogramas e seus valores, e a verificação dos coeficientes de Pearson, Nash-Sutcliffe e Erro do Volume.

Os valores das funções objetivos de Pearson, Nash-Suttcliff e Erro de Volume gerados pelo Modelo hidrológico MGB-IPH são apenas um dos aspectos que devem ser analisados para a avaliação da sua calibração. Neste trabalho, além dos resultados das funções objetivos, a avaliação da calibração foi efetuada através da comparação dos hidrogramas calculados a partir dos dados observados e calculados. Sendo assim, o primeiro passo foi avaliar os hidrogramas gerados graficamente. O modelo hidrológico MGB-IPH é mais

recomendável para bacias hidrográficas com áreas superiores a 10.000 km² e por isso, quando a região utilizada não é muito grande, como é o caso da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba e/ou quando não existem muitos dados confiáveis de precipitação e vazão, não se pode esperar valores muito altos das funções objetivo.

Salienta-se que, cada função objetivo tem uma finalidade diferente. Segundo LIRA (2004), o método para gerar o coeficiente de Pearson é usualmente utilizado para medir a correlação entre duas variáveis, utilizado na análise de componentes principais, análise fatorial, análise de confiabilidade, dentre outros. O coeficiente de Pearson (função objetivo - R²) foi calculado de acordo com a Equação 35 (CHAVES et al., 2011).

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \overline{Q_{obs}}) \cdot (Q_{calc_i} - \overline{Q_{calc}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{obs_i} - \overline{Q_{obs}})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Q_{calc_i} - \overline{Q_{calc}})^2}} \right)^2 \quad \text{Equação 35}$$

Onde:

Q_{obs} = Vazão observada

Q_{calc} = Vazão calculada.

O valor do coeficiente Nash-Sutcliffe de acordo com ZHANG et al. (2007), indica o ajustamento dos dados simulados aos observados na reta 1:1, podendo variar de $-\infty$ a 1. Este coeficiente está associado à eficiência de estimativa de vazões de pico do hidrograma. Com base em MORIASI et al. (2007), a classificação para o Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe, utilizando o passo diário de simulação pode utilizar a seguinte variação: $CNS > 0,65$ o modelo é considerado muito bom; $0,54 < CNS < 0,65$, bom; e $0,50 < CNS < 0,54$, satisfatório. De acordo com ZAAPA (2002), valores de CNS

acima de 0,50 qualificam o modelo para simulação. A função objetivo de Nash-Suttcliffe foi calculada pela Equação 36, Segundo COLLISCHONN et al. (2005).

$$NS = 1 - \frac{\sum(Q_{obs}(t) - Q_{calc}(t))^2}{\sum(Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}})^2} \quad \text{Equação 36}$$

Onde:

$Q_{obs}(t)$ = Vazão observada no intervalo de tempo t;

$Q_{calc}(t)$ = Vazão calculada no intervalo de tempo t;

$\overline{Q_{obs}}$ = Média das vazões observadas.

O coeficiente Erro de Volume também é considerado uma função objetivo, ou seja, um coeficiente de eficiência do modelo hidrológico MGB-IPH, sendo a relação entre o Volume calculado e o Volume observado (PARIS et al., 2011). O coeficiente do Erro de Volume foi calculado de acordo com a Equação 37 (TSCHIEDEL et al., 2016).

$$\Delta V = \frac{\sum_{t=1}^n(Q_{calc}) - \sum_{t=1}^n(Q_{obs})}{\sum_{t=1}^n(Q_{obs})} \quad \text{Equação 37}$$

Onde:

$Q_{obs}(t)$ = Vazão observada no intervalo de tempo t;

$Q_{calc}(t)$ = Vazão calculada no intervalo de tempo t.

Para a aplicação da calibração e validação do modelo hidráulico HEC-RAS, foram utilizados os dados da grande cheia do mês de junho de 2010. As marcas de cheia deste evento meteorológico foram disponibilizadas pela SEMARH/AL (2017), e serviram para delimitar as regiões de inundação às margens do rio, assim como os pontos de alagamento. Foram utilizados

também os dados de vazão (ANA, 2017), que serviram como dados de entrada para a delimitação destas zonas de inundação, de acordo com as marcas de cheia utilizadas.

4.5 Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC) com Avaliação da Severidade das Inundações - Fluxograma

O modelo hidrológico MGB-IPH serviu de subsídios para o cálculo de vazões extremas, que foram responsáveis por vários eventos de inundação nos últimos anos, e que de acordo com os resultados obtidos pelos tempos de retornos, serão recorrentes nos próximos 100 anos. O MGB-IPH apresentou uma metodologia própria de desenvolvimento.

O modelo hidráulico HEC-RAS contribuiu, além dos resultados obtidos de zona inundável, altura de água e velocidade corrente, para o desenvolvimento e demarcação das classes de severidade de inundação, e das zonas de impactos de inundação. Assim como o MGB-IPH, apresentou uma metodologia própria para o seu desenvolvimento.

A conjugação dos modelos hidrológico MGB-IPH e hidráulico HEC-RAS foram responsáveis pelo desenvolvimento do Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC), que será uma das principais ferramentas para a gestão dos riscos de inundação nos municípios de estudo, produto este inédito para a região.

A Figura 36 apresenta o Fluxograma aplicado à execução do Sistema de Monitoramento de Cheias e suas respectivas etapas.

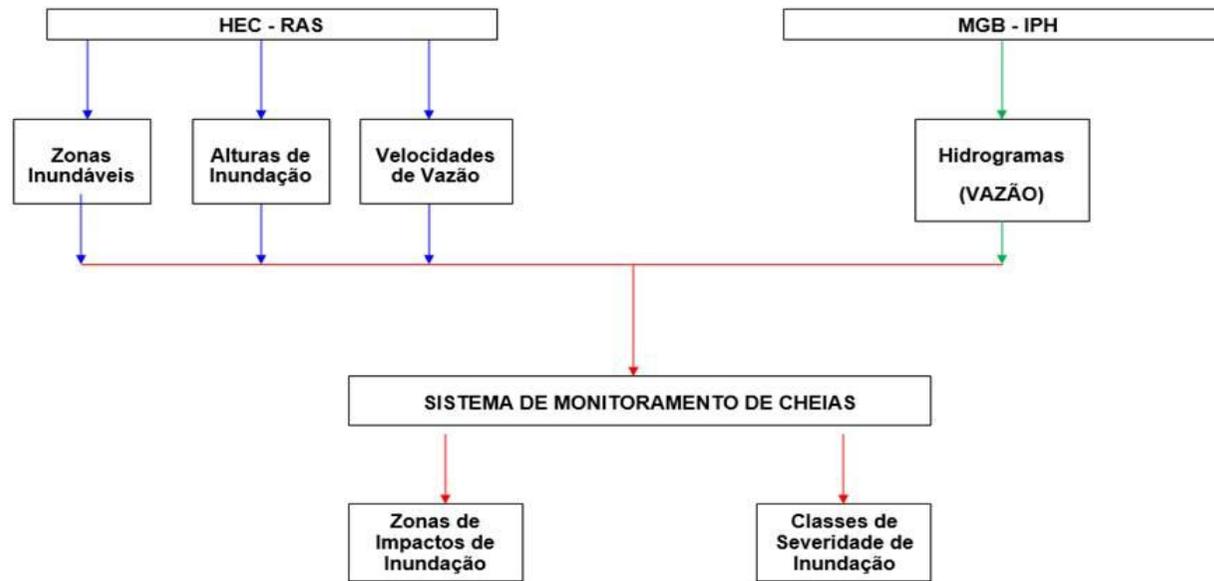


Figura 36. Fluxograma aplicado à execução do Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC).

Os mapas das zonas de impacto de inundação foram produzidos em ambiente SIG, através do Software ArcMap, utilizando os shapefiles a partir dos mapas das alturas de água referentes á cheia de 2010. Foram utilizadas também informações da ocupação atual das áreas e as marcas da cheia de 2010. Esta áreas foram determinadas de acordo com informações locais, extraídas das imagens de alta resolução da SEMARH/AL, com os pontos mais vulneráveis das regiões ribeirinhas de estudo, em situação de transbordamento do leito do rio. Foram utilizadas duas componentes para a avaliação de risco e delimitação das áreas estudadas: componente natural (fatores naturais, que podem ou não apresentar riscos com inundações); e componente antrópica (decorrente da ocupação desordenada pelo homem às margens do rio, que comumente apresenta riscos com inundações).

Para que fosse possível fazer a classificação da severidade da inundação, de acordo com a altura de água calculada pelos diferentes períodos de retorno utilizados neste estudo, foi necessário determinar o nível de transbordamento do rio e depois, a altura de água que ultrapassou este valor. Iniciou-se por realizar a demarcação das margens do rio, no seu limite máximo de transbordamento. Para tal, foram utilizados os dados históricos disponíveis nos mesmos 03 municípios, das análises anteriores deste estudo.

Foram utilizados os dados observados de vazão com frequência igual a 90% da curva de permanência de vazões, ou seja, o percentual do tempo em que as vazões são iguais ou superiores ao valor apresentado em q90. Notou-se que, como o Rio Paraíba se apresenta a maior parte do tempo seco, (apenas na quadra chuvosa de maio a agosto apresenta vazões com picos de inundação), os resultados q90 foram muito baixos, impossibilitando a apresentação do nível de transbordamento, necessário para os cálculos da diferença da altura de água. Foram trabalhados também, os dados de q50, que apresentaram vazões maiores que o q90, mas também muito abaixo dos valores necessários para o transbordamento da calha do rio.

Como o resultado das vazões apresentadas não foi suficiente para o transbordamento da calha do rio, foi necessária a realização de novas simulações através do modelo hidráulico HEC-RAS, a utilizar outros valores de vazões, com o objetivo de localizar o valor mais próximo do seu transbordamento. Com o modelo já calibrado nas fases anteriores, a utilizar os mesmos valores de coeficiente de Manning e declividade, foram utilizados para os 03 municípios as seguintes prováveis vazões: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100,00 m³.s⁻¹. Com os testes apresentados, foram calculadas as prováveis vazões indicadas, necessárias para a próxima fase: o cálculo das alturas de água de acordo com o valor base do transbordamento do rio.

Após esta fase, foram demarcados para cada município, 05 pontos para a determinação do seu nível de transbordamento. Nestes pontos, foram recolhidos os valores da altura de água presente nos mapas gerados e foi feita uma média, que se assumiu como valor de referência para cada município, que foram utilizados nas classes de severidade de inundação. Os pontos foram selecionados ao longo de toda a extensão de estudo, de modo a permitir uma avaliação que cobrisse toda região. Para os municípios de Viçosa e Atalaia, um dos pontos demarcados foi onde está localizada a régua da estação hidrológica da ANA. Os pontos utilizados para o cálculo da média de transbordamento do rio estão listados na Tabela 28.

MUNICÍPIOS/PONTOS	LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)
QUEBRANGULO		
Ponto 01	-9°18'42"	-36°28'54"
Ponto 02	-9°18'56"	-36°28'34"
Ponto 03	-9°19'08"	-36°28'26"
Ponto 04	-9°19'14"	-36°28'21"
Ponto 05	-9°19'06"	-36°28'02"

Continuação

MUNICÍPIOS/PONTOS	LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)
VIÇOSA		
Ponto 01	-9°22'43"	-36°14'55"
Ponto 02	-9°22'35"	-36°14'39"
Ponto 03	-9°22'36"	-36°14'16"
Ponto 04	-9°22'36"	-36°14'10"
Ponto 05	-9°22'33"	-36°14'06"
ATALAIA		
Ponto 01	-9°30'26"	-36°01'21"
Ponto 02	-9°30'17"	-36°01'22"
Ponto 03	-9°30'17"	-36°01'21"
Ponto 04	-9°30'04"	-36°01'36"
Ponto 05	-9°30'02"	-36°01'36"

Tabela 28. Localização dos pontos utilizados para a obtenção da média do ponto de transbordamento nos municípios de estudo.

5 CASO DE ESTUDO

Para o caso de estudo deste trabalho de pesquisa foi desenvolvida e aplicada a metodologia apresentada no item 04, para o caso real de um grande evento de precipitação ocorrido nos dias 17 e 18 de junho de 2010, atingindo fortemente os municípios de Quebrangulo, Viçosa e Atalaia, localizados no Estado de Alagoas - Brasil, inseridos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

5.1 Caracterização do Evento

CHEIA DE 2010

O Nordeste do Brasil foi marcado por uma anomalia climática no mês de junho do ano de 2010, onde um volume inesperado de chuvas assolou a região. As precipitações superaram o normalmente esperado para o mesmo período, principalmente entre os dias 16 e 20 do citado mês. Durante a ocorrência do evento, as Bacias Hidrográficas dos Estados de Pernambuco e Alagoas tiveram os seus níveis históricos de vazão superados devido à ininterrupta chuva que caiu em suas cabeceiras em território pernambucano, o que provocou uma elevação rápida da lâmina d'água dos rios e o consequente extravasamento dos seus leitos, levando a inundações de diversos municípios localizados ao longo das Bacias Hidrográficas dos referidos estados (SOUZA, 2011).

O evento causador desta grande cheia foi ocasionado por um típico sistema meteorológico que comumente ocorre na região Nordeste do Brasil denominado de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL's), ou simplesmente "Ondas de Leste". Esses sistemas influenciam principalmente as áreas costeiras e não avançam muito para o interior da região (SANTOS, 2013).

De acordo com conceitos de SILVA (2005), este evento foi uma cheia e não uma inundações, uma vez que ocorreu num espaço urbano, apesar de o mesmo contar com algumas áreas verdes.

O DOL reconhecido no evento da cheia de 2010 foi de magnitude severa e sua ação totalizou seis (06) dias (15, 16, 17, 18, 19 e 20/06/2010), do seu início onde o tempo ficou instável por conta do seu deslocamento até os dias pós-evento, em que ainda apresentaram alguns períodos de instabilidade. O DOL apresentou suas primeiras características a partir das 05h00 do dia 17/06/2010, no entanto, já produzia tempo instável em dias anteriores (15 e 16/06/2010) (ALVES et al., 2013). As imagens do satélite GOES 12 (Figura 37) apresentam o DOL responsável pelo evento de chuva nos dias 17 e 18 de junho de 2010 em dois horários onde demonstraram a sua magnitude .

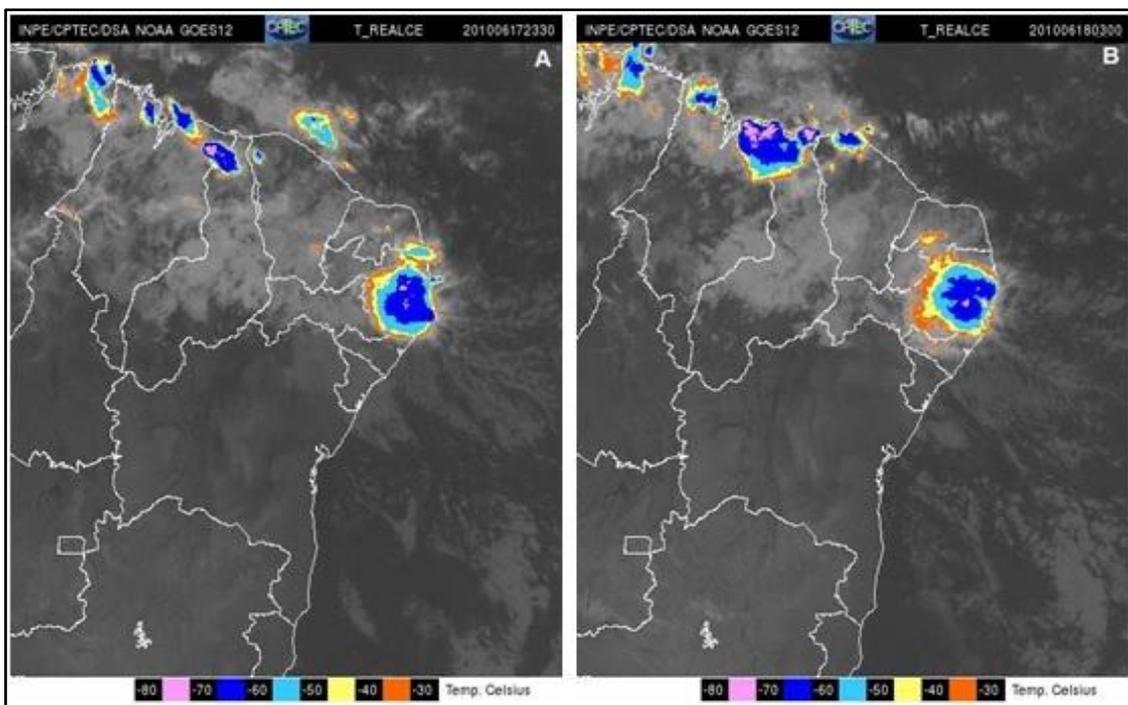


Figura 37. Imagens do satélite GOES 12 com recorte da Região Nordeste do Brasil (A) dia 17/06/2010 (23:30 UTC). (B) dia 18/06/2010 (06:00 UTC).

Fonte: CPTEC/INPE (2017).

Segundo o CLIMANÁLISE (CPTEC/INPE, 2010), para o mês de junho de 2010, o aumento da convergência de humidade em conjunto com a formação de DOL's, resultou em chuvas intensas no litoral da Região Nordeste. Em algumas áreas, os totais mensais excederam a média histórica em até 300,00 mm. Destacam-se as chuvas registradas no dia 05 em Maceió-

AL (187,80 mm), no dia 18 nas cidades de Recife-PE (149,70 mm), Caruaru-PE (136,80 mm) e Surubim-PE (128,80 mm), conforme dados do INMET. Em Recife-PE o total mensal de precipitação atingiu 542,30 mm, ultrapassando a média histórica para o mês, de 369,20 mm. No final de junho de 2010 voltou a chover forte na costa Leste do Nordeste, com o registro de 142,70 mm em Maceió-AL, no dia 28/06/2010 (CLIMANALISE, 2010). A Figura 38 identifica a precipitação no mês de junho de 2010 no Estado de Alagoas..

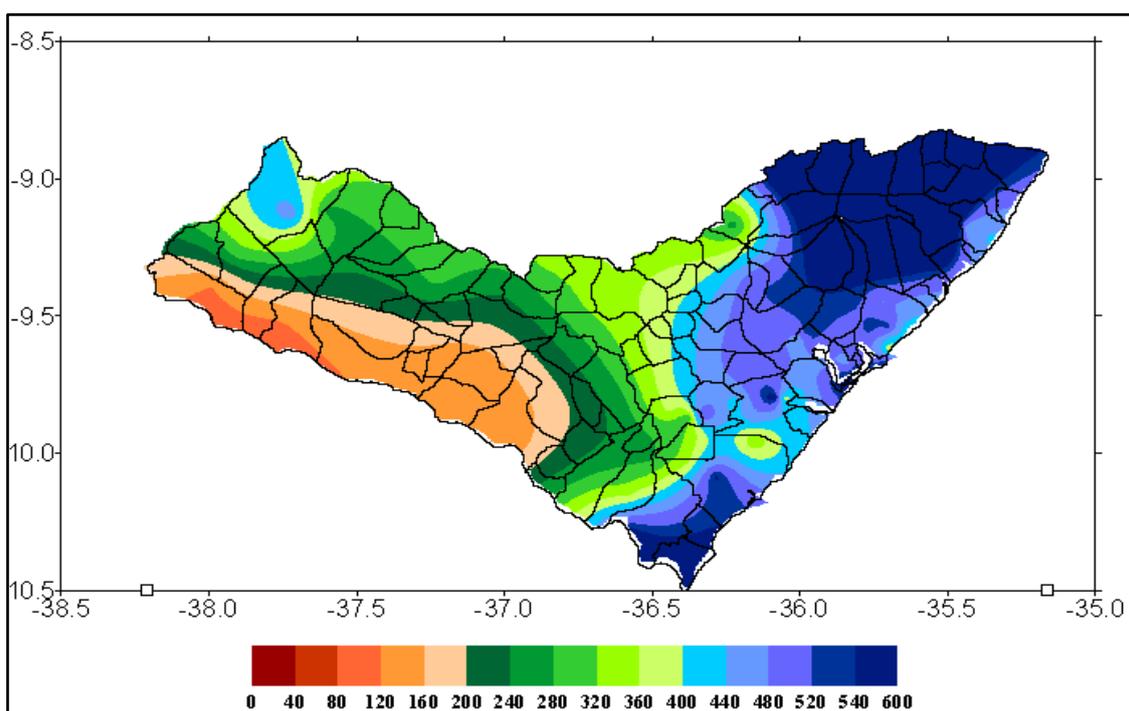


Figura 38. Precipitação mensal (mm) para o mês de junho/2010 no Estado de Alagoas
Fonte: DMET/SEMARH (2010).

Na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, o nível registrado na estação fluviométrica de Quebrangulo-AL, apresentou o valor de 3,40 m no dia 17/06/2010, e a partir deste dia apresentou falhas, não tendo sido registrado o nível máximo para o evento de junho de 2010, o que dificultou a análise dos dados para esta estação. No posto de Atalaia-AL, estação mais a jusante da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, o nível atingido do rio foi de 5,50 m, superado apenas pelas cheias dos anos de 1988 e 1989 (FRAGOSO JR. et al., 2010).

Na mesma velocidade das águas as especulações em busca das causas do evento catastrófico começaram a aparecer, também nos meios de comunicação e mesmo entre o burburinho popular nos locais afetados pelo evento. As informações hidrológicas para analisar o evento não chegaram com a mesma velocidade. A única estação fluviométrica em operação no Rio Mundaú (Fazenda Boa Fortuna - n.º 39770000) foi levada pela cheia às 21h00 do dia 18/06/2010, quando registrava a cota de 8,10 m, correspondente a uma vazão de 497,39 m³s⁻¹. Os dados de precipitação também levaram algum tempo para análise e consolidação (FRAGOSO JR. et al., 2010).

Na Bacia Hidrográfica do estudo, os dados da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) no município de Atalaia-AL (n.º 39870000) para o dia 18/06/2010 registraram uma cota máxima de 6,10 m. Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA), através do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH), para a situação do nível desta estação a cota com permanência de 95% é de 1,22 m e com 5% de permanência é de 2,39 m. A cota do evento de cheia apresentou uma elevação de 3,71 m em relação à cota de permanência em 5% das observações (OLIVEIRA, 2014).

Nos 03 (três) dias de chuvas mais intensas ocorridas nos dias 16, 17 e 18 de junho de 2010, a precipitação se deslocou do centro do Estado de Pernambuco (dia 16 - Figura 39-A) em direção às cabeceiras dos Rios Paraíba e Mundaú (dia 17 - Figura 39-B), e em seguida em direção ao centro das bacias hidrográficas (dia 18 - Figura 40-A), quando então perdeu intensidade (dia 19). O acumulado da precipitação de 03 (três) dias (Figura 40-B) em alguns pontos superou o valor de 250,00 mm. Houve para esta análise um grau de incerteza, pois os registros analisados foram de precipitação diária e com ausência de sincronia entre as medições dos Estados de Alagoas e Pernambuco (FRAGOSO JR. et al., 2010).

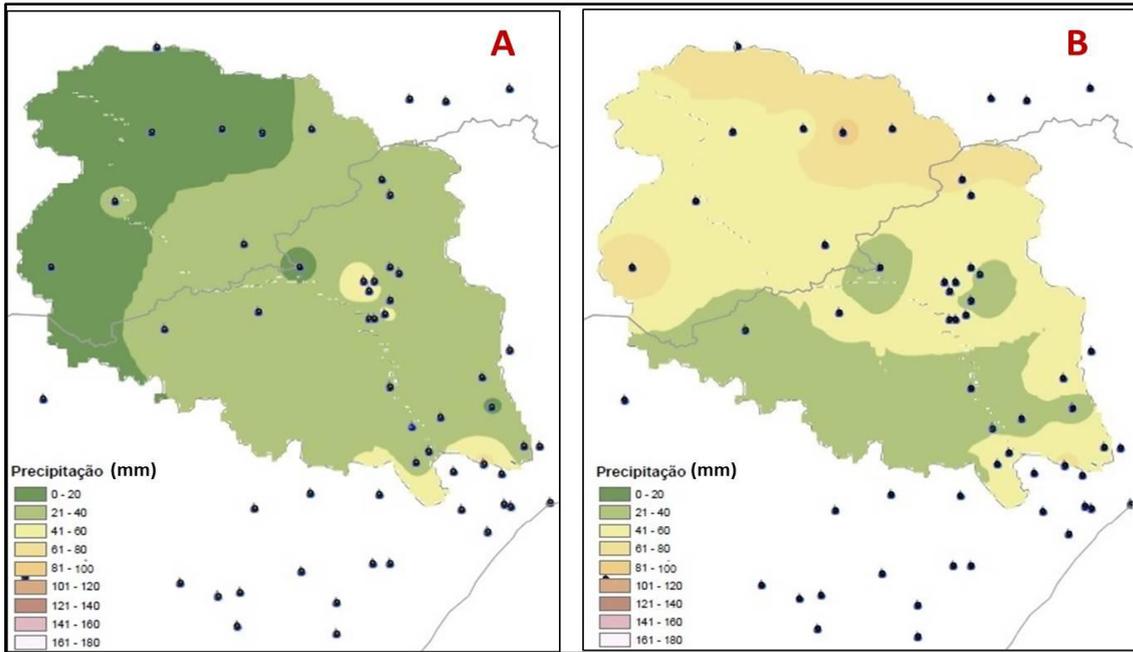


Figura 39. Isoietas de precipitação (mm) nas Bacias Hidrográficas dos Rios Mundaú e Paraíba para os dias: (A) 16 e (B) 17/06/2010.

Fonte: FRAGOSO JR. et al. (2010).

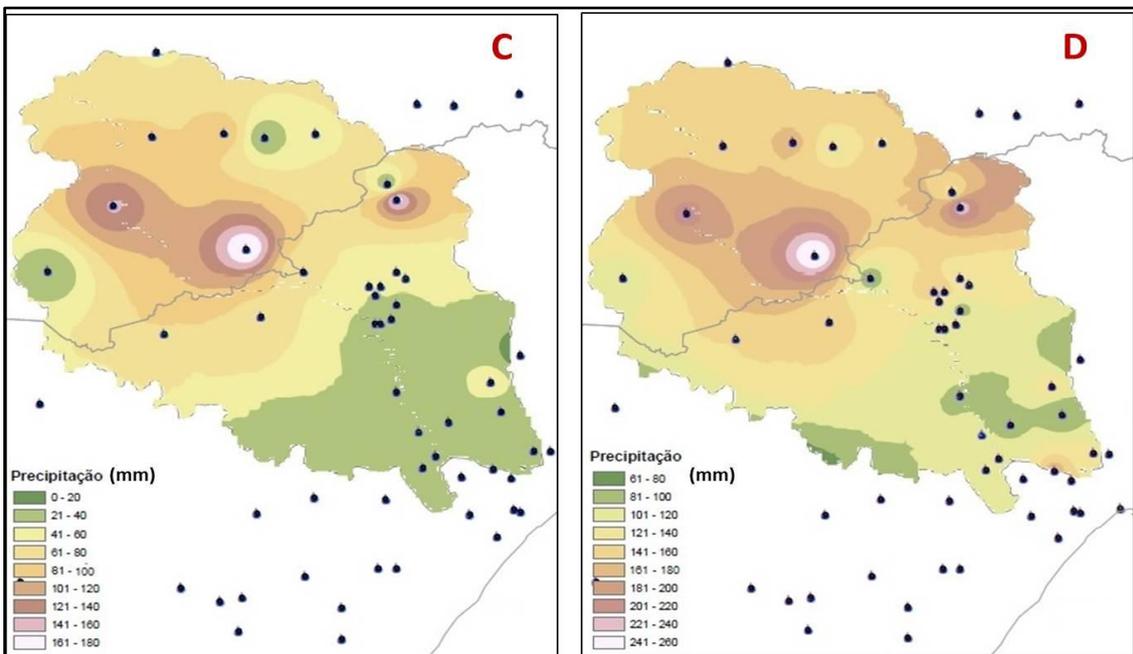


Figura 40. Isoietas de precipitação (mm) nas Bacias Hidrográficas dos Rios Mundaú e Paraíba para os dias. (C) 18/06/2010 e (D) chuva acumulada de três (03) dias.

Fonte: FRAGOSO JR. et al. (2010).

Especialistas da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e da Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco (SRHE-PE), na busca por uma compreensão hidrológica preliminar do evento, apontaram diversas hipóteses para tamanho desastre, tais como: (a) saturação das bacias em consequência das chuvas ocorridas ao longo dos dias antecedentes ao evento, associada à baixa capacidade de infiltração da água em suas cabeceiras que possuem rocha cristalina aflorante com camada pouco espessa de solo; (b) as altas declividades na bacia, levando a altas velocidades das águas que potencializaram a destruição; (c) os açudes se encontravam cheios e com o aumento da chuva chegaram a verter; (d) as condições de assoreamento, a ausência da mata ciliar e a ocupação das margens dos rios implicaram no aumento acelerado dos níveis; (e) rompimento do açude da Nação no município de Bom Conselho-PE; (f) a ocupação desordenada da planície de inundação natural dos rios agravaram as consequências, atingindo as populações e infraestruturas ribeirinhas (GUIBU, 2010; FRAGOSO JR et al., 2010b apud OLIVEIRA, 2014).

FREIRE et al., (2014) comentaram que segundo levantamento da Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC), entre os municípios atingidos, em 34 deles foram decretados situação de emergência e em 26 foram decretados estado de calamidade pública. O número de óbitos foi de 46 e desaparecidos 69, sendo afetados 337.745 habitantes. As maiores destruições foram constatadas nos meios físicos com a destruição de residências, estradas, estruturas (pontes, barragens), plantações e indústrias, chegando a 157.124 desabrigados/desalojados. Os municípios de Murici-AL, Rio Largo-AL, Branquinha-AL, União dos Palmares-AL e Santana do Mundaú-AL foram seriamente afetados pela inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú e os municípios de Quebrangulo-AL e Paulo Jacinto-AL foram afetados pela inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. De acordo com o Relatório de Avaliação de Perdas e Danos, aproximadamente 270 mil pessoas foram atingidas, das quais 44 mil ficaram desalojadas e 28 mil desabrigadas .

No Estado de Alagoas, os custos diretos e indiretos foram da ordem de R\$ 1,85 bilhões (US\$ 3,071 bilhões) o que refletiu um alto impacto quando comparado à economia do estado. Em termos gerais, o custo total estimado foi da ordem de 8% do Produto Interno Bruto (PIB) de Alagoas. Complementarmente, a grande proporção de perdas e danos ao setor privado (67%) apontou para morosos e difíceis processos de recuperação do setor pós-desastre (BANCO MUNDIAL, 2012).

De forma similar ao desastre ocorrido no Estado de Pernambuco, o setor mais impactado foi a habitação que respondeu a 59% dos custos totais. Foram estimados custos de R\$ 241 milhões (US\$ 400,06 milhões) ao setor de transportes, no qual grande parte se refere a perdas e danos no setor público. Complementarmente, o setor privado reportou danos da ordem de R\$ 55 milhões (US\$ 91,3 milhões) na ferrovia Transnordestina. Por fim, o setor de educação foi direta e indiretamente afetado com danos à infraestrutura das escolas (prédios e equipamentos), bem como perdas pela impossibilidade de continuidade das atividades escolares. (BANCO MUNDIAL, 2012).

As Figuras 41 a 51 apresentam a inundação de 2010 em alguns municípios das Bacias Hidrográficas dos Rios Mundaú e Paraíba.



Figura 41. Município de União dos Palmares-AL. Rio Mundaú.
Fonte: SEMARH/AL (2010).



Figura 42. Município de União dos Palmares-AL. Rio Mundaú.
Fonte: SEMARH/AL (2010).



Figura 43. Município de Rio Largo-AL. Rio Mundaú.
Fonte: SEMARH/AL (2010).



Figura 44. Município de Murici-AL. Rio Mundaú.
Fonte: SEMARH/AL (2010).



Figura 45. Município de Capela-AL. Rio Paraíba.
Fonte: SEMARH/AL (2010).



Figura 46. Município de Quebrangulo-AL. Rio Paraíba.
Fonte: SEMARH/AL (2010).



Figura 47. Município de Quebrangulo-AL. Rio Paraíba.
Fonte: SEMARH/AL (2010).



Figura 48. Município de Viçosa-AL. Rio Paraíba.
Fonte: SEMARH/AL (2010).



Figura 49. Município de Viçosa-AL. Rio Paraíba.
Fonte: SEMARH/AL (2010).



Figura 50. Município de Atalaia-AL. Rio Paraíba.
Fonte: SEMARH/AL (2010).



Figura 51. Município de Atalaia-AL. Rio Paraíba.

Fonte: SEMARH/AL (2010).

5.2 Aplicação da metodologia do modelo hidrológico MGB-IPH desenvolvida – Fluxograma

A metodologia aplicada ao caso de estudo foi resumida de forma esquemática no fluxograma apresentado na Figura 52 que completa a parte da contribuição do modelo hidrológico MGB-IPH do fluxograma apresentado no Tópico 4.5.

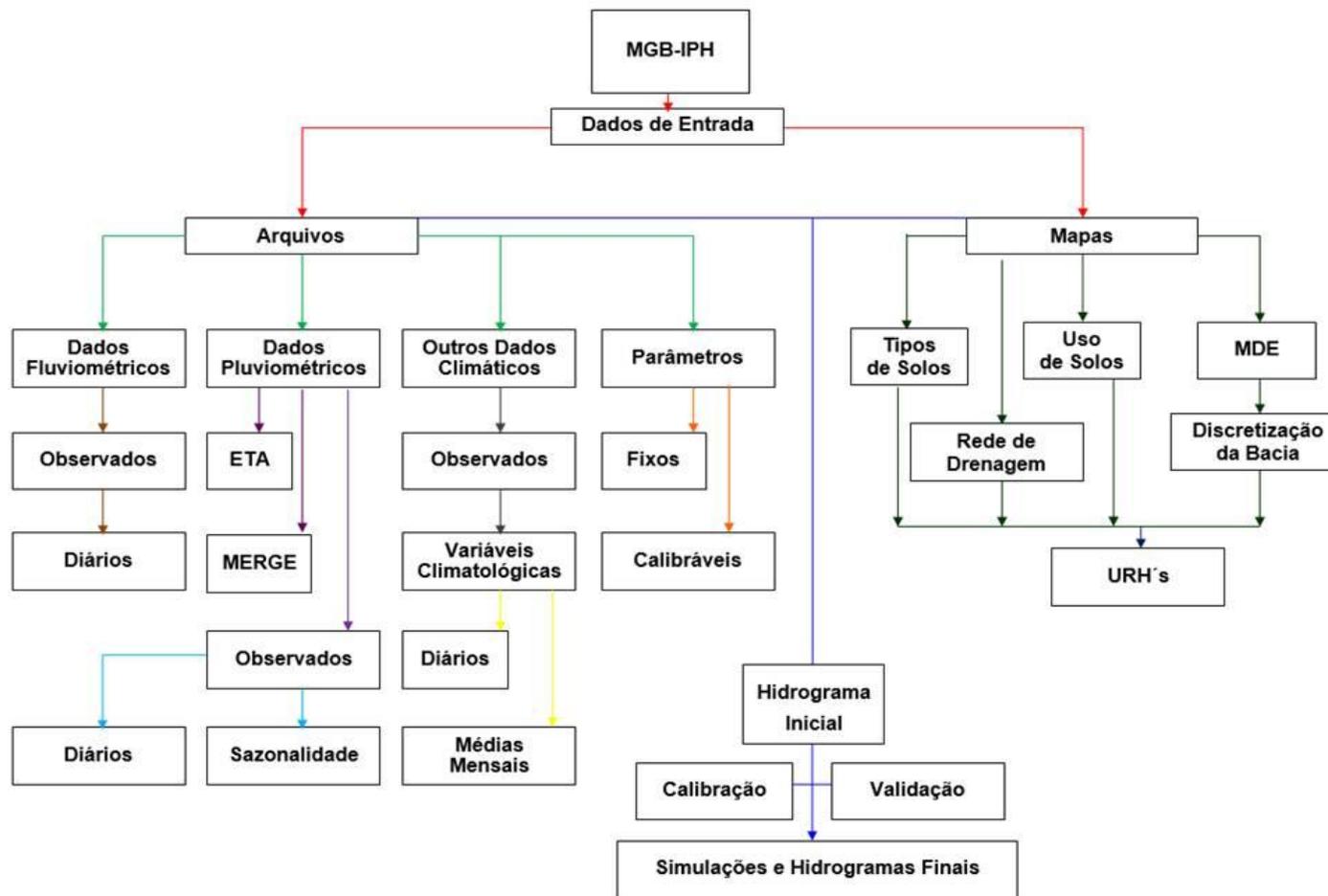


Figura 52. Fluxograma aplicado ao desenvolvimento do modelo Hidrológico MGB-IPH.

5.3 Contribuição do Modelo Hidrológico MGB-IPH para o Sistema de Monitoramento de cheias (SMC).

O modelo hidrológico MGB-IPH foi uma das ferramentas utilizadas para a elaboração do Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC), que juntamente com a utilização do modelo hidráulico HEC-RAS e o modelo atmosférico ETA apresentou formas de monitoramento para a prevenção de eventos ligados a vazões extremas nos 03 (três) municípios localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba: Quebrangulo, Viçosa e Atalaia, área de estudo deste trabalho de pesquisa.

5.3.1 Dados fluviométricos utilizados

Os dados fluviométricos utilizados nesta pesquisa foram àqueles disponibilizados por diversas instituições de monitoramento, com o objetivo de aprofundamento no estudo e comparação dos resultados gerados pelo modelo hidrológico MGB-IPH. Porém, como não foi possível a utilização das séries históricas disponibilizadas com os mesmos períodos, devido à falta de informações disponíveis, foram utilizados dados de três (03) períodos distintos: anos de 1998 a 2007; de 2004 a 2013 e de 2012 a 2013.

5.3.2 Análise e discussão dos dados pluviométricos utilizados

Grande parte dos postos pluviométricos disponíveis nas datas apresentadas estava inserida em regiões vizinhas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, devido à ausência de informações na área de estudo. Portanto, foi necessária a busca de novas alternativas com o objetivo de aproveitamento mais eficaz nos resultados do modelo hidrológico MGB-IPH, visto que os dados de chuva observada utilizados limitaram-se às simulações realizadas, devido ao número baixo de postos com informações confiáveis. Houve a necessidade também de comparar os tipos de dados para selecionar os que foram mais representativos. Para tal, as séries utilizadas foram distribuídas em quatro (04)

Testes, cada um com um conjunto de dados diferentes, conforme descritos a seguir.

Os dados pluviométricos utilizados variaram de acordo com os Testes, com o objetivo de acompanhar os resultados de diferentes tipos de dados de chuva. A divisão das séries foi feita da seguinte maneira:

- a) **TESTE-1** - Dados pluviométricos observados. Foi utilizada uma série de 1998 a 2007;
- b) **TESTE-2** - Dados MERGE (Combinação de dados observados e produto do satélite TRMM). Foi utilizada uma série de 2004 a 2013;
- c) **TESTE-3** - Dados pluviométricos observados divididos por sazonalidade (de acordo com as estações do ano). Foi utilizada uma série de 1998 a 2007;
- d) **TESTE-4** - Acoplamento do modelo atmosférico ETA. Foi utilizada uma série de 2012 a 2013.

5.3.2.1 Teste-1- Dados Pluviométricos Observados

Devido à consistência dos dados e por possuir um evento significativo de precipitação ocorrido nos dias 31 de julho e 1º de agosto de 2000, foi escolhido como período de estudo uma série de 1998 a 2007.

O Teste-1 foi preparado com dados pluviométricos e fluviométricos observados. Todos os dados foram analisados dia a dia. Os dados duvidosos acerca dos seus valores, normalmente com vazões muito acima da normal para a época do ano, foram comparados com dados de precipitação da região e com dados de cotas, tanto para o mesmo posto fluviométrico, bem como com outros postos do estudo. Alguns dados diários foram excluídos devido à sua inconsistência, como foi o caso do dia 05/10/2007, no posto fluviométrico de

Atalaia, que apresentou uma vazão de 875,20 m³s⁻¹. O dia anterior (04/10/2007) apresentou uma vazão de 18,71 m³s⁻¹ e o dia posterior (06/10/2007) apresentou uma vazão de 21,81 m³s⁻¹. Os outros postos do estudo, Quebrangulo e Viçosa, apresentaram vazões de 04,12 m³s⁻¹ e de 06,84 m³s⁻¹, respectivamente para o mesmo dia, a comprovar a incoerência nos dados observados, que no caso foram excluídos.

Após a fase de calibração do modelo hidrológico foram gerados os hidrogramas, de acordo com a série utilizada para o Teste-1. Foram também calculados os índices de correlações de Pearson, Nash - Sutcliff e Erro de Volume para a avaliação dos seus resultados. As correlações geradas com as vazões observadas e calculadas para o período completo, de calibração e de validação do modelo, com seus coeficientes analisados para este Teste-1, estão apresentadas na Tabela 29. Estas correlações apresentaram índices de coeficientes de Pearson com valores entre 0,88 e 0,92, indicando uma correlação que variou de forte a muito forte, conforme conceitos de SHIMAKURA (2006) para todos os postos analisados. Para o Coeficiente de Eficiência de Nash - Sutcliffe, os resultados obtidos indicaram uma correlação que variou entre moderada e forte, com resultados entre 0,62 e 0,81 na série completa e respectivamente nos períodos de calibração e de validação.

POSTO FLUVIOMÉTRICO	LOCAL	PEARSON	R² - NASH	ERRO VOLUME
PERIODO COMPLETO (1998 a 2007)				
39850000	Quebrangulo	0,88	0,77	0,24
39890000	Viçosa	0,83	0,70	-0,05
39870000	Atalaia	0,89	0,65	-0,42

Continuação

POSTO FLUVIOMÉTRICO	LOCAL	PEARSON	R ² - NASH	ERRO VOLUME
CALIBRAÇÃO (1998 A 2002)				
39850000	Quebrangulo	0,90	0,72	0,55
39890000	Viçosa	0,87	0,78	-0,05
39870000	Atalaia	0,92	0,72	-0,36
VALIDAÇÃO (2003 a 2007)				
39850000	Quebrangulo	0,89	0,81	0,10
39890000	Viçosa	0,82	0,74	-0,05
39870000	Atalaia	0,89	0,60	-0,45

Tabela 29. Coeficientes de Pearson, Nash-Sutcliffe e valores de Erro do Volume calculados para os dados do Teste-1.

Na discussão de todos os cálculos obtidos no Teste-1, para facilitar a interpretação, as simulações foram divididas por posto fluviométrico.

Município de Quebrangulo

Após a calibração do modelo hidrológico MGB-IPH no posto fluviométrico de Quebrangulo, com a comparação entre os dados observados x calculados, de uma maneira geral, foi constatada que as vazões calculadas foram subestimadas. De acordo com dados de vazões observadas, notou-se, através do Hidrograma (Figura 53) que as vazões máximas para este posto ficaram próximas a 150,00 m³s⁻¹, no período analisado com apenas um episódio acima deste valor, em setembro de 2000. Este período é considerado

fora da estação chuvosa da região, onde o aumento das vazões foi devido à ação de um Vórtice Ciclônico de Altos Níveis - VCAN's, que atuou na região.

O modelo hidrológico MGB-IPH conseguiu obter um resultado satisfatório de vazão calculada em relação à maior vazão observada da série em estudo (vazão observada: $210,29 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$; vazão calculada: $201,74 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ em 17/09/2000) e a 3ª maior vazão observada (vazão observada: $124,89 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$; vazão calculada: $127,11 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ em 01/08/2000). De maneira geral, houve uma significativa representatividade do modelo quanto à sua variabilidade em relação à recessão e ascensão entre os Hidrogramas calculados e observados para este posto fluviométrico.

Na comparação das séries temporais de vazões observadas e calculadas, o modelo hidrológico MGB-IPH apresentou bons resultados, tanto nas vazões mínimas, quanto nas vazões máximas do período de estudo. Neste período de análise foi observada a influência do fenômeno atmosférico-oceânico El Niño nos anos de 1998 e 1999, onde os valores das vazões ficaram abaixo da sua média histórica. Os resultados para este período podem ser observados no Hidrograma conforme Figura 53.

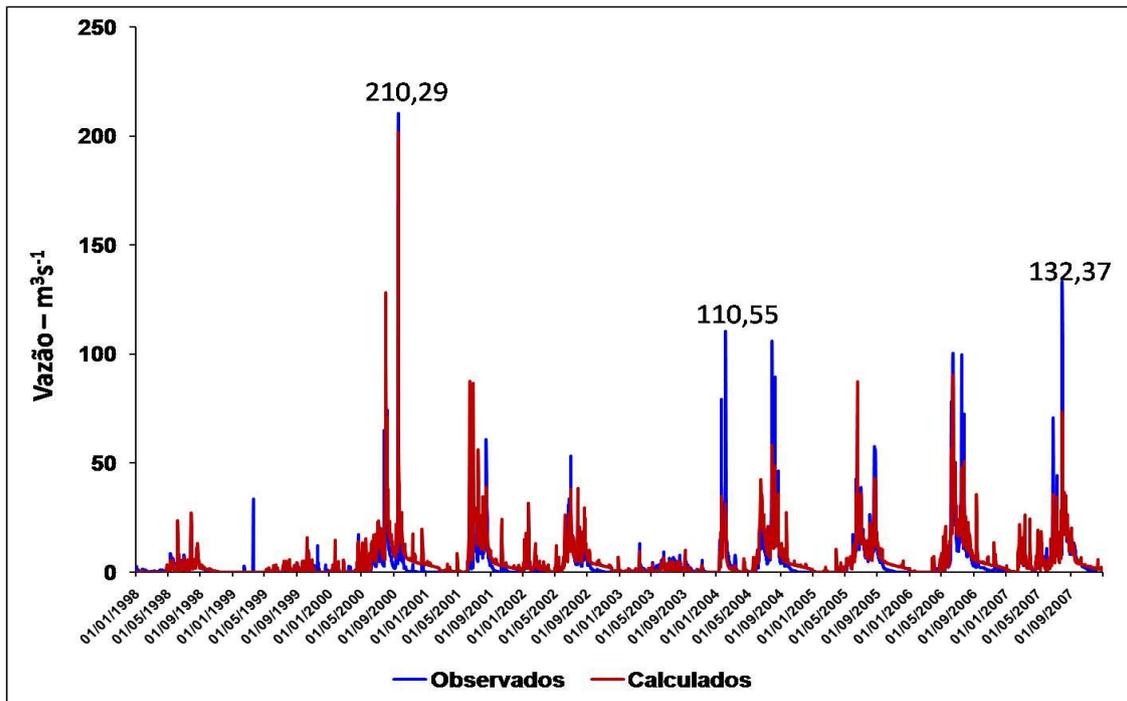


Figura 53. Hidrograma para o posto fluviométrico de Quebrangulo, no período de 1998 a 2007 (Período Completo).

Para o período de calibração do modelo, foram escolhidos os cinco (05) primeiros anos da série histórica que compreenderam de 1998 a 2002. A Figura 54 apresenta o Hidrograma da série de calibração.

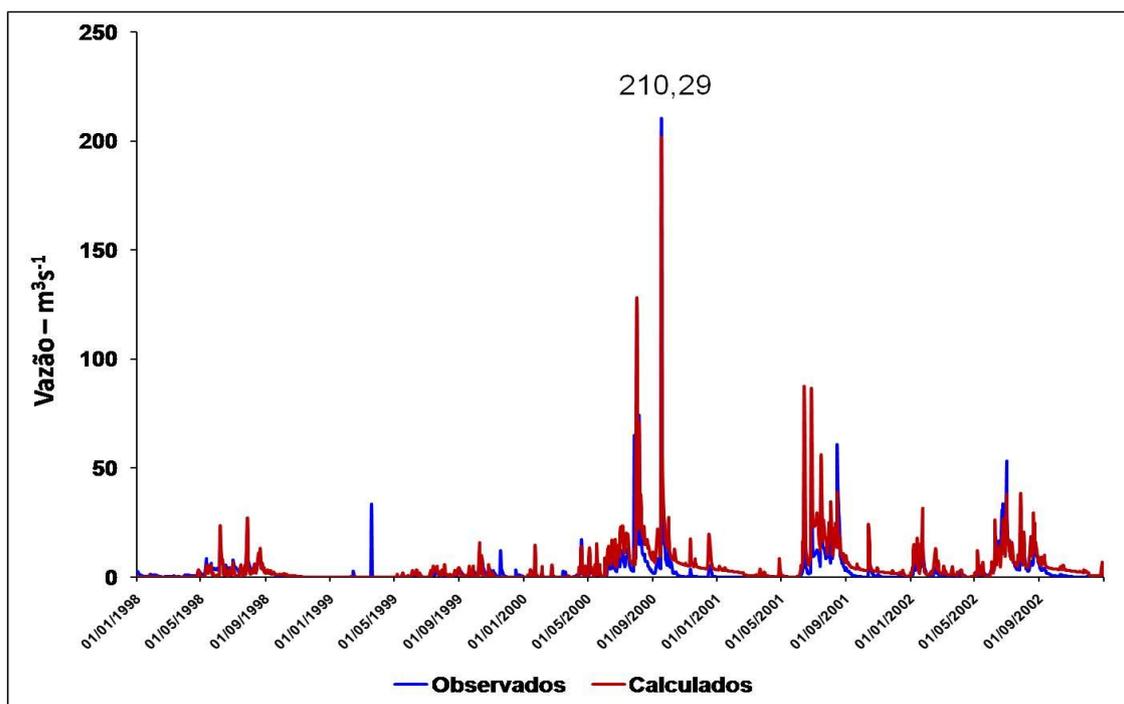


Figura 54. Hidrograma para o posto fluviométrico de Quebrangulo no período de 1998 a 2002 (Calibração).

O período de 2003 a 2007 foi utilizado para verificar a eficácia do modelo hidrológico MGB-IPH em uma situação em que o mesmo não foi ajustado, a validar assim seu poder de simular eventos chuva-vazão sempre que se utilizar dados semelhantes aos dos Teste-1. O Hidrograma do período de validação encontra-se demonstrado na Figura 55.

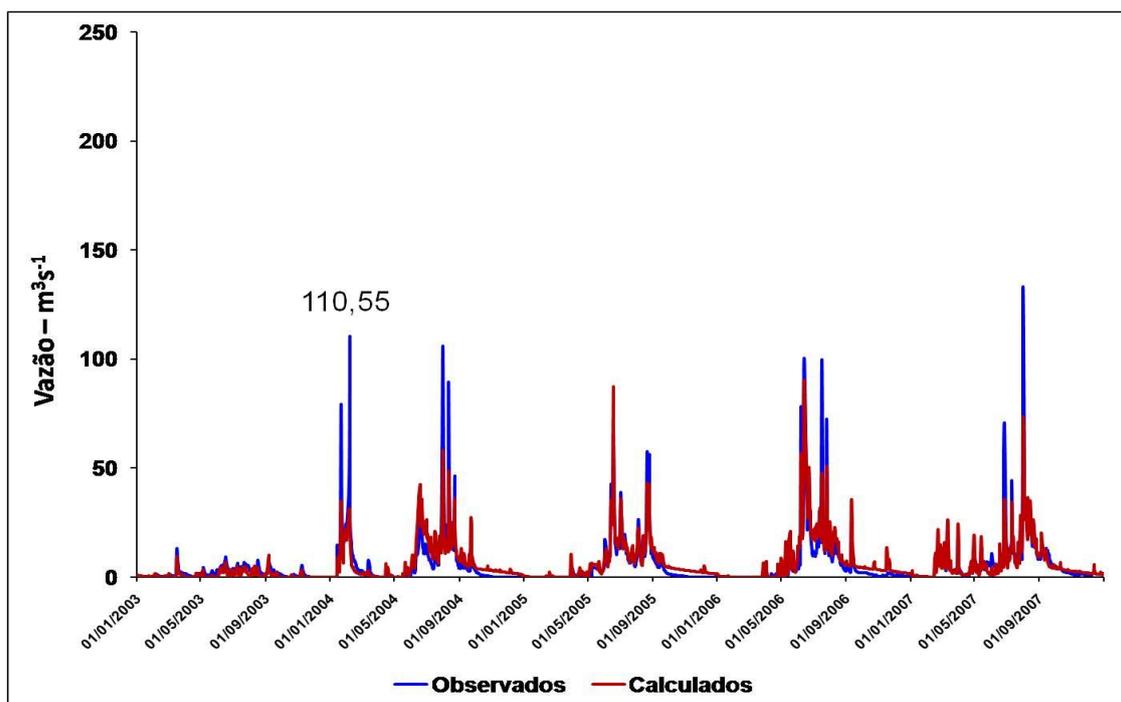


Figura 55. Hidrograma para o posto fluviométrico de Quebrangulo no período de 2003 a 2007. (Validação).

Município de Viçosa

O posto fluviométrico de Viçosa apresentou vazões médias e extremas mais elevadas que o posto de Quebrangulo, devido à declividade ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Após a calibração do modelo hidrológico MGB-IPH, foi observado que algumas vazões extremas ficaram mais próximas dos valores calculados pelo modelo do que o posto anterior (Quebrangulo), de acordo com a Figura 56, como foi o caso do dia 01/08/2000, onde a vazão observada foi de $217,57 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a vazão calculada $207,40 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. No dia 17/09/2000 a vazão observada foi de $418,65 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a vazão calculada de $296,08 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, com uma subestimação de $122,57 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Vale ressaltar que o mês de setembro não está enquadrado na estação chuvosa da região, a ficar então o valor encontrado na vazão calculada um resultado aceitável. Para as vazões observadas extremas dos dias 13/06/2006 ($328,68 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) e de 01/08/2007 ($225,90 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), o modelo subestimou os valores com resultados de $143,67 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para a primeira data e de $105,06 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para a segunda. Como

ocorreu nas análises do posto em estudo anterior (Quebrangulo), o modelo hidrológico MGB-IPH apresentou resultados excelentes para vazões observadas até valores próximos de $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, contudo, para valores superiores, subestimou os resultados.

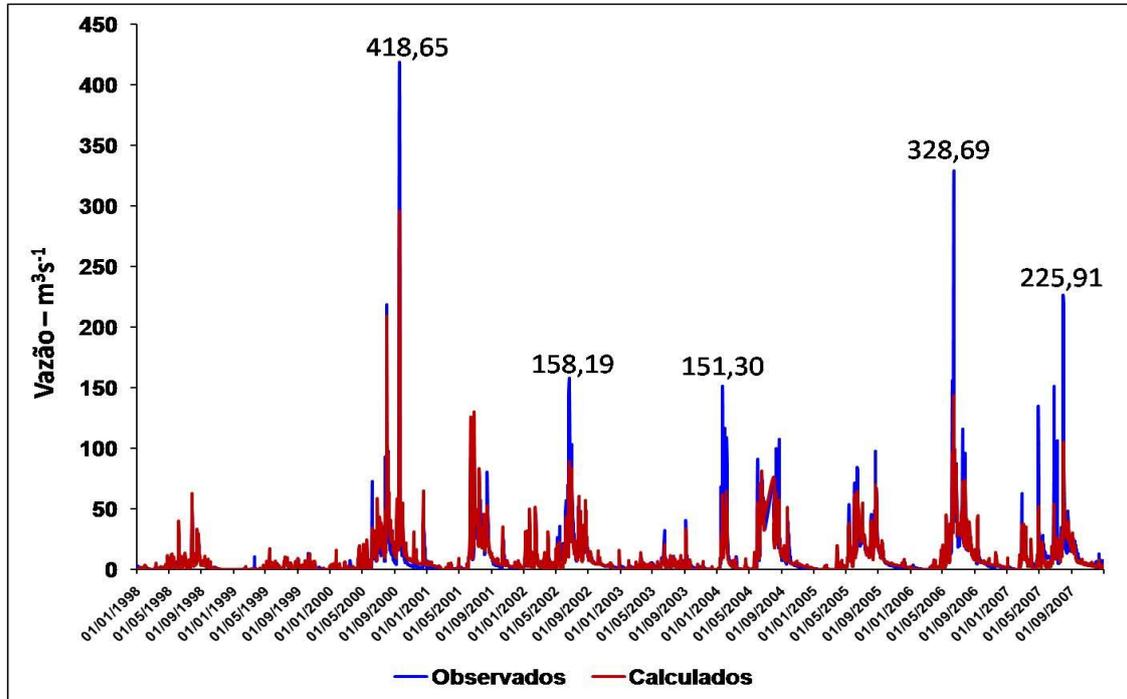


Figura 56. Hidrograma para o Posto Fluviométrico de Viçosa no período de 1998 a 2007 (Período Completo).

Conforme foi realizado no posto fluviométrico de Quebrangulo, a série completa em estudo (1998 a 2007) foi dividida nos períodos de calibração (1998 a 2002) e de validação (2003 a 2007). No período de calibração, na comparação das séries dos dados fluviométricos observados e calculados, de maneira geral, as vazões calculadas apresentaram situação favorável para as vazões observadas. O período de janeiro de 1998 a maio de 2000 apresentou vazões mínimas, com apenas um evento próximo a $50,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no mês de julho de 1998, com $47,63 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. As demais vazões, observadas e calculadas para este período ficaram abaixo de $30,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Figura 57).

A partir do mês de junho de 2000, o período foi considerado chuvoso, onde as precipitações para os meses de julho/agosto ficaram acima da média, devido à um evento de precipitação observado nos dias 31 de julho e 1º de agosto, onde atingiu principalmente a região Norte do Estado de Alagoas e a Zona da Mata Pernambucana, causou muitos danos sociais (óbitos) e materiais. A região do município de Viçosa também foi atingida por índices altos de precipitação, mas não com a mesma intensidade de outras bacias hidrográficas, como foi o caso da Bacia Hidrográfica do Jacuípe, região Norte do Estado de Alagoas.

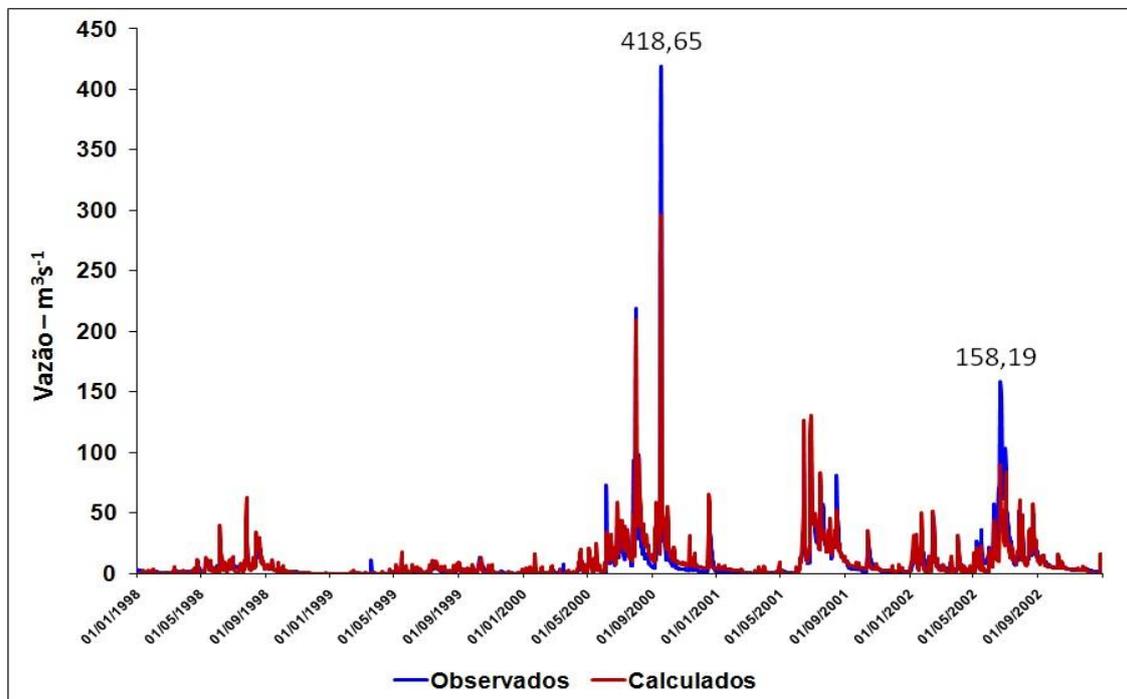


Figura 57. Hidrograma para o Posto Fluviométrico de Viçosa no período de 1998 a 2002 (Calibração).

No período de validação do modelo hidrológico MGB-IPH, de 2003 a 2007, anos de influência do fenômeno El Niño, a maior vazão observada foi no dia 13/06/2006, com valor de $328,68 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, apresentado como valor calculado na ordem de $143,67 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Estes dias de chuva ocorreram devido à influência da formação de Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL). Apesar de o modelo ter subestimado o valor observado, ele conseguiu captar o evento. O mesmo

ocorreu nos dias 01/08/2007 e 02/08/2007, onde os valores da vazão calculada também foram subestimados. Para estes dias as chuvas foram associadas principalmente ao efeito de brisa, o qual foi intensificado pelo escoamento associado ao sistema de alta pressão semi-estacionário do Atlântico Sul. Para as demais vazões observadas neste período, os valores das vazões observadas ficaram abaixo de $160,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ conforme Figura 58.

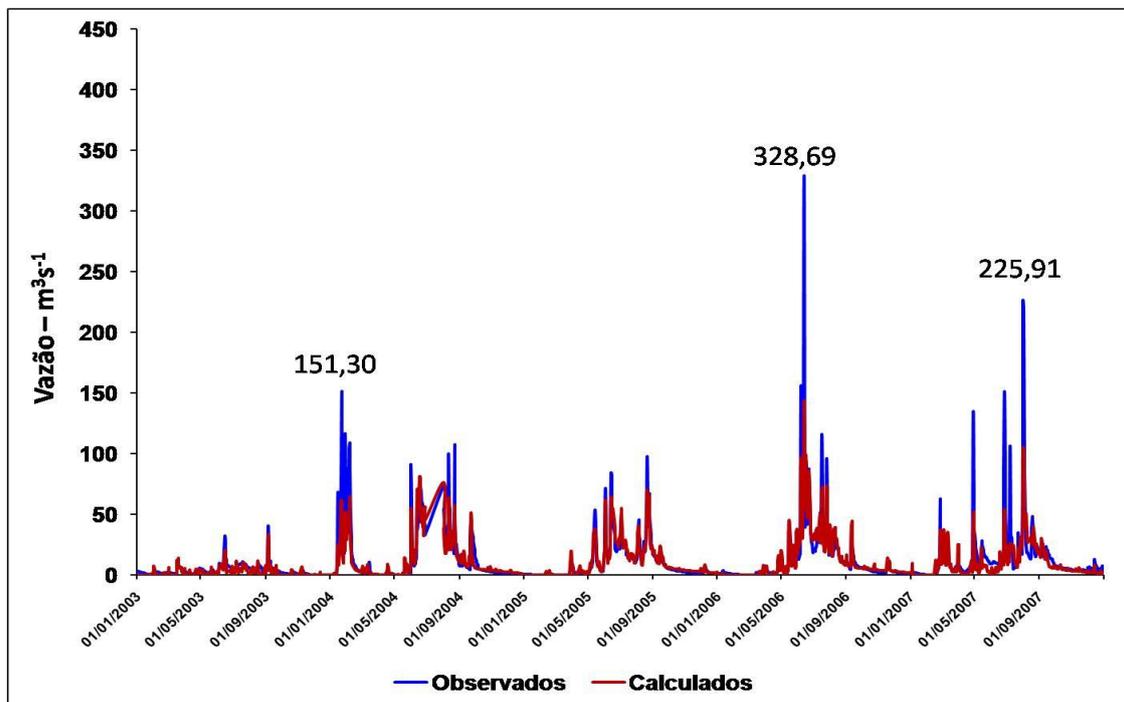


Figura 58. Hidrograma para o Posto Fluviométrico de Viçosa no período de 2003 a 2007 (Validação).

Município de Atalaia

Os anos de 1998, 1999 e 2003 foram considerados secos, com vazões observadas inferiores a $50,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ também para o posto fluviométrico de Atalaia. Nestes anos, o único evento que apresentou vazão observada acima de $50,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ foi no dia 16/06/2003, com $93,12 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Para os dois (02) maiores eventos de vazões extremas do período analisado, no dia 01/08/2000 a vazão observada foi de $423,60 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a vazão calculada foi de $230,01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. No dia 17/09/2000 a vazão observada foi de $409,51 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a vazão calculada

299,36 m³s⁻¹. Observou-se que neste posto fluviométrico, por ser mais próximo da região litorânea, o regime de chuvas foi um pouco diferente dos outros dois (02) postos estudados, onde as médias e máximas pluviométricas e fluviométricas foram mais elevadas.

Os resultados das vazões calculadas e observadas para o posto fluviométrico de Atalaia podem ser observados na Figura 59.

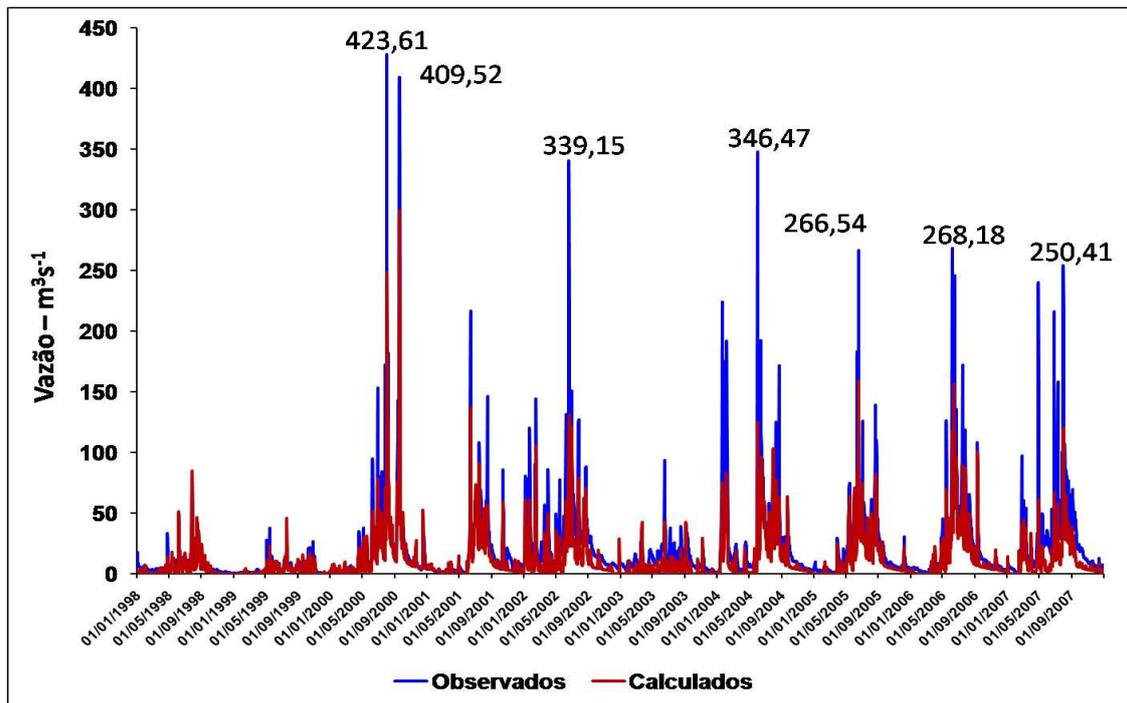


Figura 59. Hidrograma para o Posto Fluviométrico de Atalaia no período de 1998 a 2007 (Período Completo).

Para o período de calibração (1998 a 2002) no posto fluviométrico de Atalaia (Figura 60), o modelo apresentou bons resultados para as vazões mínimas, com valores até 50,00 m³s⁻¹ registradas principalmente no período de 1998 a 2000. O modelo conseguiu também acusar bem os dois (02) maiores eventos de vazão no ano de 2000. Esta região apresentou danos nas margens do Rio Paraíba e em alguns afluentes, com os eventos dos anos de 2000 e 2010, porém este último, fora da série de estudo no Teste-1.

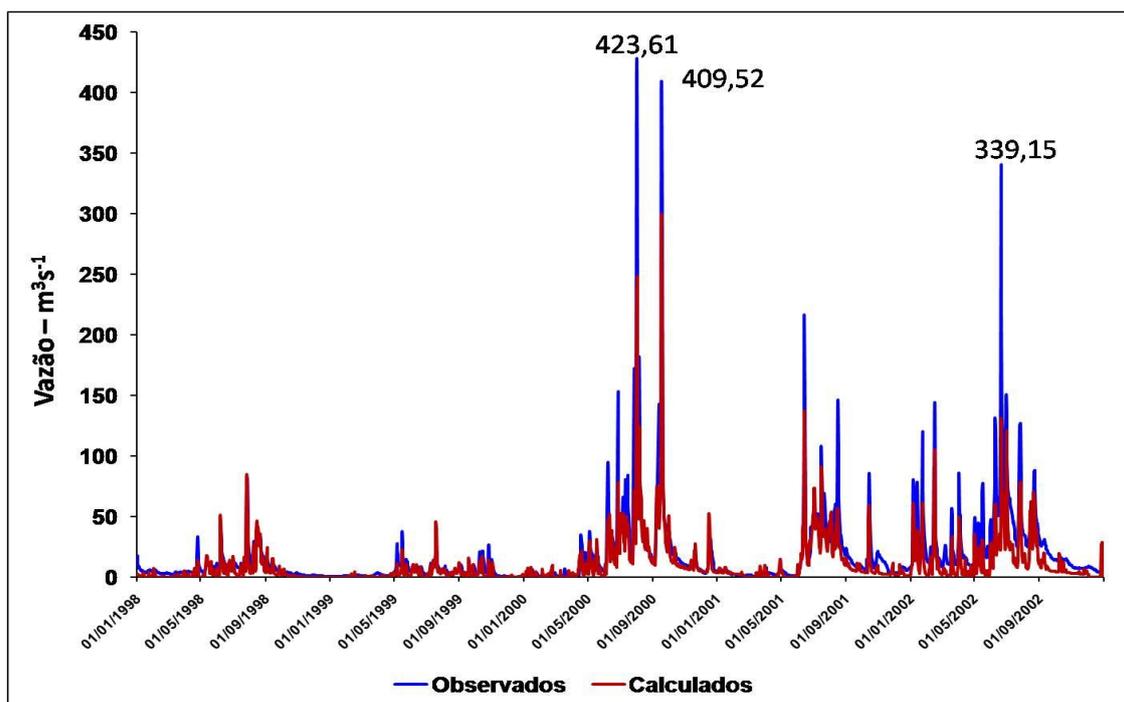


Figura 60. Hidrograma para o Posto Fluviométrico de Atalaia no período de 1998 a 2002 (Calibração).

O período de validação do modelo hidrológico MGB-IPH para o posto fluviométrico de Atalaia, compreendido entre os anos de 2003 a 2007, apresentou valores onde os resultados obtidos foram subestimados, principalmente para as vazões próximas a $250,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Os resultados do período de validação podem ser observados na Figura 61.

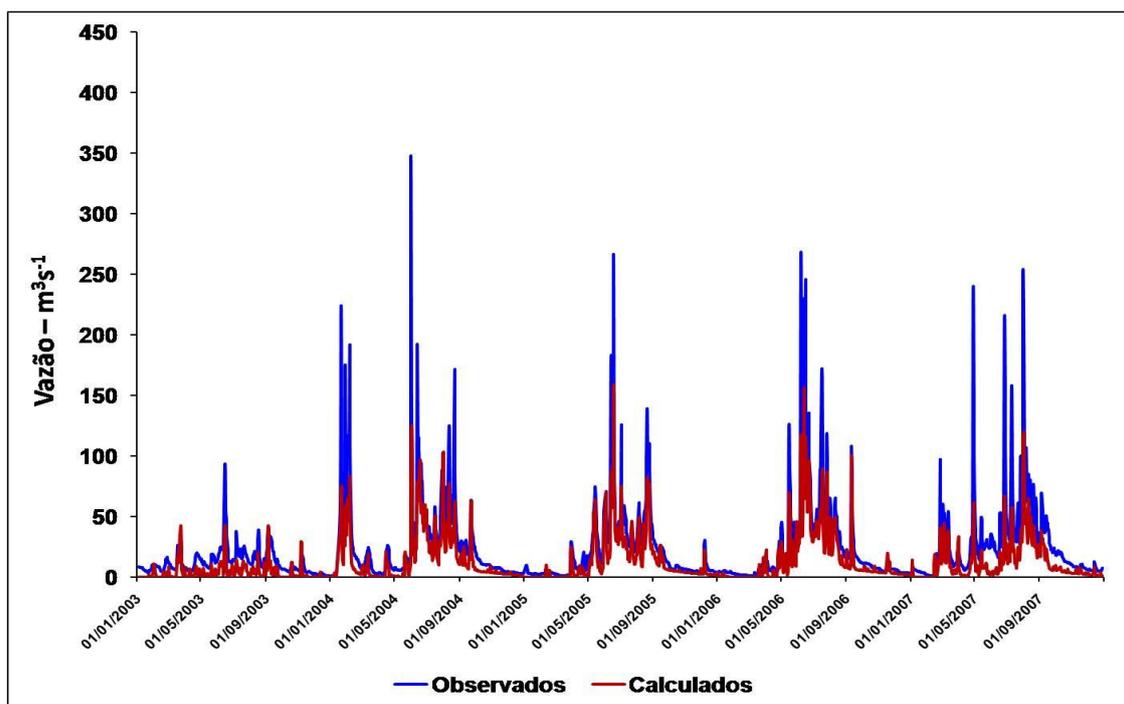


Figura 61. Hidrograma para o Posto Fluviométrico de Atalaia no período de 2003 a 2007 (Validação).

5.3.2.2 Teste-2 - Dados pluviométricos MERGE

Para este Teste-2 foi utilizada uma nova série de dados, de 2004 a 2013, para o aperfeiçoamento e comparação dos resultados na utilização do modelo hidrológico MGB-IPH.

A metodologia utilizada neste Teste-2 foi a mesma utilizada no Teste-1. Foram feitos vários ciclos de simulação, a utilizar os mesmos parâmetros fixos e calibráveis, onde foram distribuídos no mesmo número de blocos hidrológicos (06 blocos). O Modelo Hidrológico MGB-IPH precisou ser calibrado novamente, visto que foi utilizado um novo conjunto de dados pluviométricos (MERGE).

Para os postos em estudo no Teste-2 foram gerados arquivos de entrada para três períodos distintos: período completo (2004 a 2013); de calibração (2004 a 2008) e de validação (2009 a 2013), a permitir novamente

uma melhor visualização dos resultados, facilitando assim o entendimento da inconstância dos dados em alguns anos do período em estudo.

Nesta nova série de estudo (de 2004 a 2013), está inserido o grande evento de precipitação observado nos dias 17 e 18 de junho de 2010 ocorrido nas Bacias Hidrográficas dos Rios Mundaú e Paraíba, onde houve grande destruição das regiões ribeirinhas destes rios e de seus afluentes, dando origem a vários óbitos. Este evento anômalo foi causado por Distúrbios Ondulatório de Leste (DOL) associados a outros fatores climáticos.

No período de 2004 a 2013, o modelo hidrológico MGB-IPH com os dados pluviométricos MERGE representou bem a variabilidade das vazões em termos gerais. Porém, observou-se que os valores das vazões máximas calculadas não foram bem expressivos, tal como já foi observado nos resultados do Teste-1.

As correlações geradas com as vazões observadas e calculadas para o período completo do estudo (2004 a 2013), de calibração (2004 a 2008) e de validação (2009 a 2013) do modelo hidrológico MGB-IPH, com seus coeficientes de Pearson, Nash - Sutcliffe e o Erro do Volume estão apresentados na Tabela 30. Estas correlações apresentaram valores de coeficientes de Pearson considerados como correlação forte, conforme conceitos de SHIMAKURA (2006), com valores entre 0,79 e 0,83 para todos os postos analisados. Para o coeficiente de Eficiência de Nash - Sutcliffe os resultados obtidos foram mais baixos que os apresentados pelos coeficientes de Pearson, com valores entre 0,59 e 0,74, na série completa e nos períodos de calibração e de validação. Com estes valores, os coeficientes de correlação de Nash-Sutcliffe foram considerados de moderado a forte.

POSTO FLUVIOMÉTRICO	LOCAL	PEARSON	R ² - NASH	ERRO VOLUME
PERIODO COMPLETO (2004 a 2013)				
39860000	Viçosa	0,80	0,65	0,03
39870000	Atalaia	0.80	0,59	-0,15
CALIBRAÇÃO (2004 A 2008)				
39860000	Viçosa	0,79	0,74	0,06
39870000	Atalaia	0,79	0,73	-0,12
VALIDAÇÃO (2009 a 2013)				
39860000	Viçosa	0,82	0,73	-0,01
39870000	Atalaia	0,83	0,62	-0,21

Tabela 30. Coeficientes de Pearson, Nash-Sutcliffe e valores de Erro do Volume calculados para os dados do Teste-2.

Assim como foi feito no Teste-1 na discussão de todos os cálculos obtidos neste Teste-2, os resultados foram divididos por posto fluviométrico para facilitar a interpretação.

Município de Viçosa

O posto de Viçosa apresentou uma falha nos dados fluviométricos no período de 18/06/2010 a 06/07/2010, devido à quebra de equipamento causado pelo evento meteorológico dos dias 18 e 19 do mesmo mês, a ficar apenas o posto de Atalaia, com dados fluviométricos representativos da magnitude deste evento.

Após a calibração do modelo hidrológico MGB-IPH percebeu-se que as vazões calculadas foram subestimadas, se comparadas com as vazões observadas. As vazões máximas observadas para o posto fluviométrico de Viçosa foram para o período analisado, próximas a $250,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. O modelo não apresentou um resultado expressivo de vazão calculada em relação à maior vazão observada da série estudada. Foi observado um resultado muito abaixo do esperado (vazão observada: $328,68 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e vazão calculada: $49,31 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ em 13/06/2006). Para as vazões com valores observados próximos a $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, o modelo apresentou resultados calculados bem satisfatórios (Figura 62).

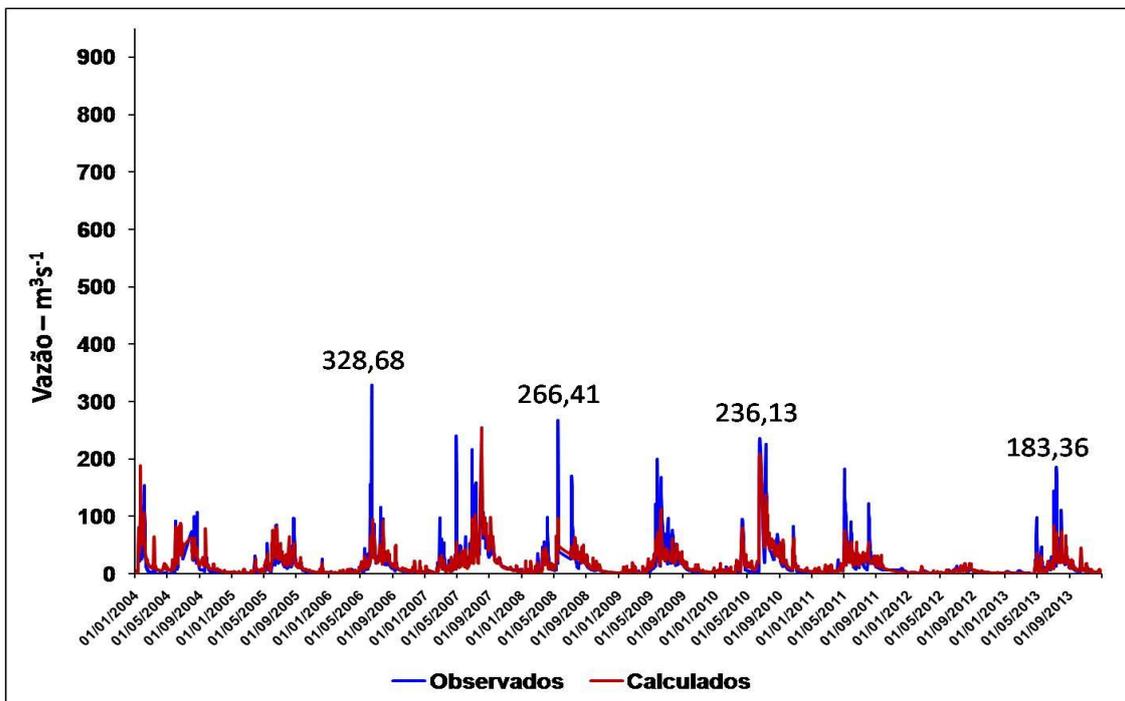


Figura 62. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 2004 a 2013 (Período Completo).

A série completa (de 2004 a 2013) foi dividida em dois (02) períodos: de calibração e de validação. Como explicado no Teste-1 foi necessário que se aplicasse um período de calibração, ou seja, o ajuste dos parâmetros hidrológicos. Para o período de calibração do modelo hidrológico MGB-IPH foram escolhidos os cinco (05) primeiros anos da série histórica (de 2004 a 2008). Observou-se que no primeiro período da série de calibração as vazões

ficaram próximas a $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, valores onde o modelo hidrológico MGB-IPH apresentou melhores resultados. Para o período final da série (de maio/2006 a dezembro/2008) as vazões observadas foram maiores, com alguns eventos superiores a $250,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A Figura 63 apresenta o Hidrograma da série de calibração.

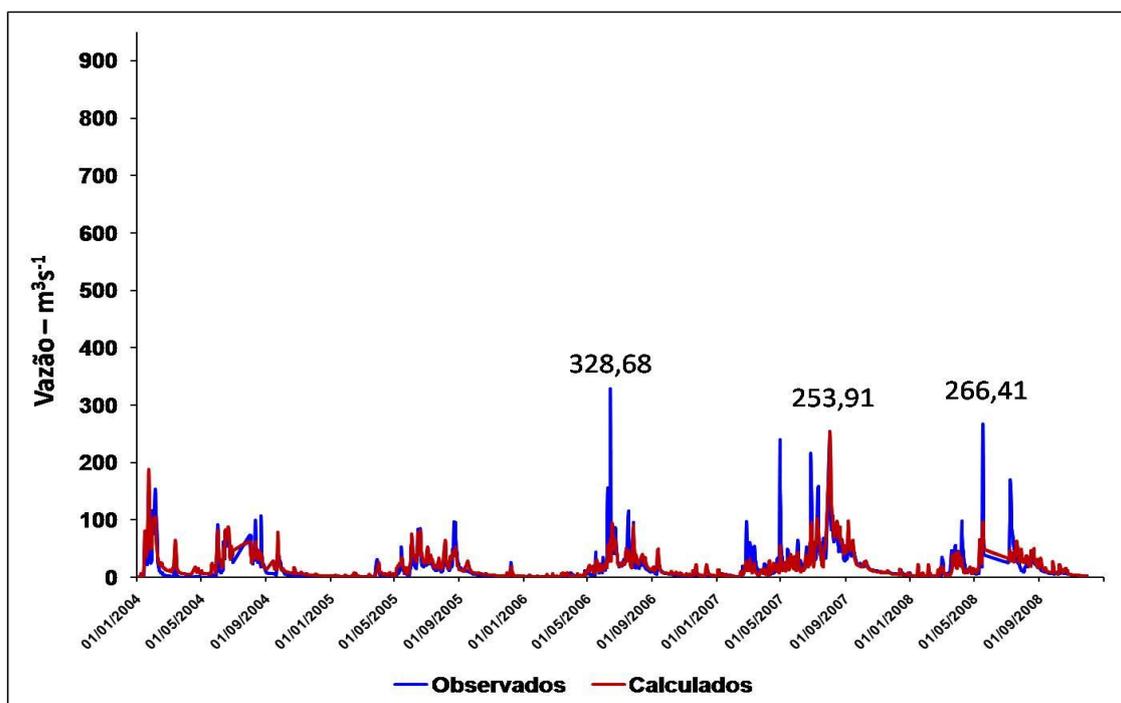


Figura 63. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 2004 a 2008 (Calibração).

Após o modelo hidrológico MGB-IPH ter sido ajustado na fase da calibração, foi realizada a etapa de validação, com uma nova simulação para testar a eficácia do modelo. O período de 2009 a 2013 foi utilizado para verificar a sincronia do modelo em uma situação que o mesmo não foi ajustado, validando assim seu poder de simular eventos chuva-vazão com este tipo de dados do Teste-2. Neste período observou-se que a maior vazão registrada (ano do evento grave - 2010) obteve um ajuste adequado com a vazão calculada, com valores de $236,13 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e de $208,147 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ respectivamente. Observou-se também neste período de testes que do ano de 2012 até o mês de maio/2013, as vazões observadas foram mínimas, a acusar um período

bastante seco na região. O Hidrograma do período de validação pode ser conferido na Figura 64.

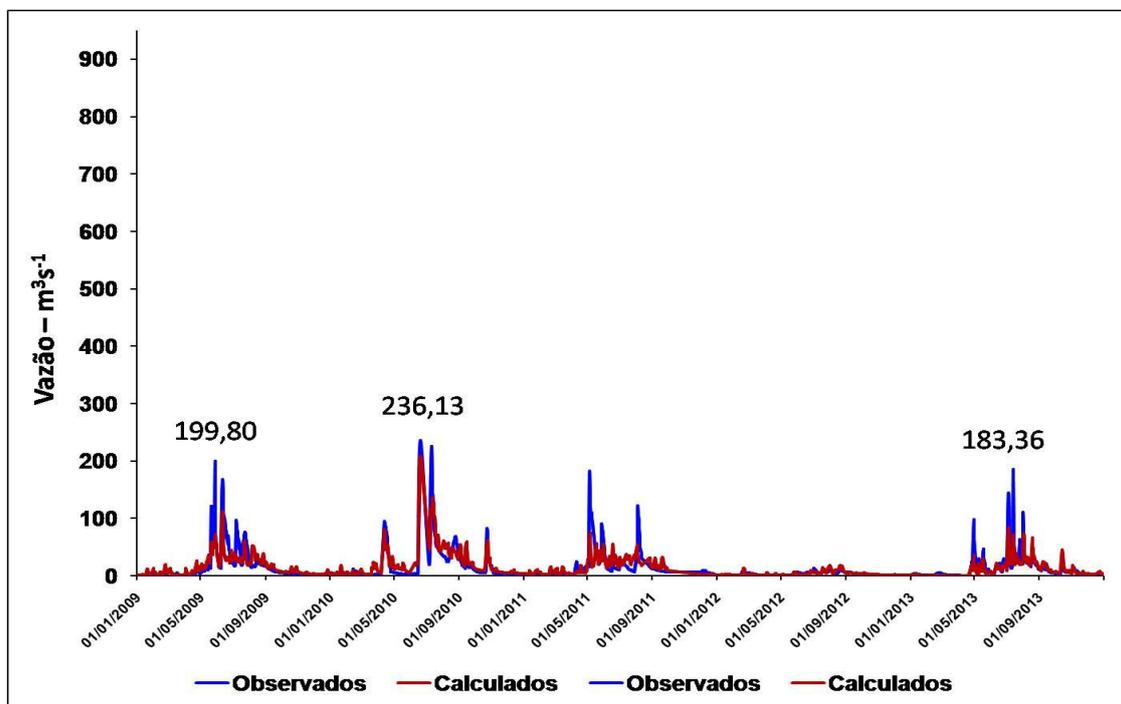


Figura 64. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 2009 a 2013 (Validação).

Município de Atalaia

No Teste-1 os dados pluviométricos e fluviométricos observados para o município de Atalaia apresentaram valores mais elevados do que neste período de estudo (de 2004 a 2013) no Teste-2. Entretanto, neste novo período de análises (de 2004 a 2013), foi registrado um período de vazões extremas no mês de junho de 2010, onde os valores diários observados ultrapassaram todos os valores já registrados, desde o início das medições de cotas e vazões para este posto fluviométrico, datado em 01/10/1977 (ANA, 2017).

De maneira geral, durante o período estudado (de 2004 - 2013), o modelo hidrológico não conseguiu resultados similares para vazões acima de 200,00 m³s⁻¹. As vazões calculadas conseguiram acompanhar os dados

observados, mas não na totalidade dos seus valores de vazões observadas, ou seja, os valores gerados pelo modelo hidrológico MGB-IPH foram subestimados na maioria dos seus resultados para vazões acima de 200,00 m^3s^{-1} . Vale ressaltar que os valores das vazões para a estação fluviométrica de Atalaia são maiores que àqueles da estação fluviométrica de Viçosa devido à sua localização. No final da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, onde está localizado o município de Atalaia, fica o acúmulo de toda a área da bacia e de seus afluentes.

Para a maior vazão observada no período em estudo, no dia 19/06/2010, com valores observados de 948,01 m^3s^{-1} , o modelo hidrológico MGB-IPH apresentou um valor calculado de 215,51 m^3s^{-1} , ou seja, não foi capaz de captar a grande magnitude do evento meteorológico. Porém, houve um aumento significativo na vazão calculada pelo modelo hidrológico MGB-IPH, que em quatro (04) dias anteriores ao evento havia apresentado um valor de 27,07 m^3s^{-1} (15/06/2010). As vazões dos dois (02) dias seguintes a este grande evento apresentaram valores mais próximos dos observados. Para o dia 20/06/2010 o valor observado foi de 387,46 m^3s^{-1} e o calculado na ordem de 235,07 m^3s^{-1} . No dia 21/06/2010 o valor observado foi de 250,51 m^3s^{-1} e o calculado de 118,12 m^3s^{-1} .

Para o segundo maior evento do período em estudo (2004 a 2013), o modelo hidrológico MGB-IPH apresentou um valor calculado de 191,22 m^3s^{-1} para a vazão observada de 477,97 m^3s^{-1} do dia 01/08/2011, um déficit de aproximadamente 40% no valor estimado pelo modelo. Para o dia 02/08/2011 o valor observado foi de 76,74 m^3s^{-1} e o calculado foi de 131,03 m^3s^{-1} , com uma superestimação do modelo hidrológico MGB-IPH para este dia em 57,29 m^3s^{-1} . Ressalta-se que todos os valores observados e calculados para este período em estudo podem ser observados no Hidrograma da Figura 65.

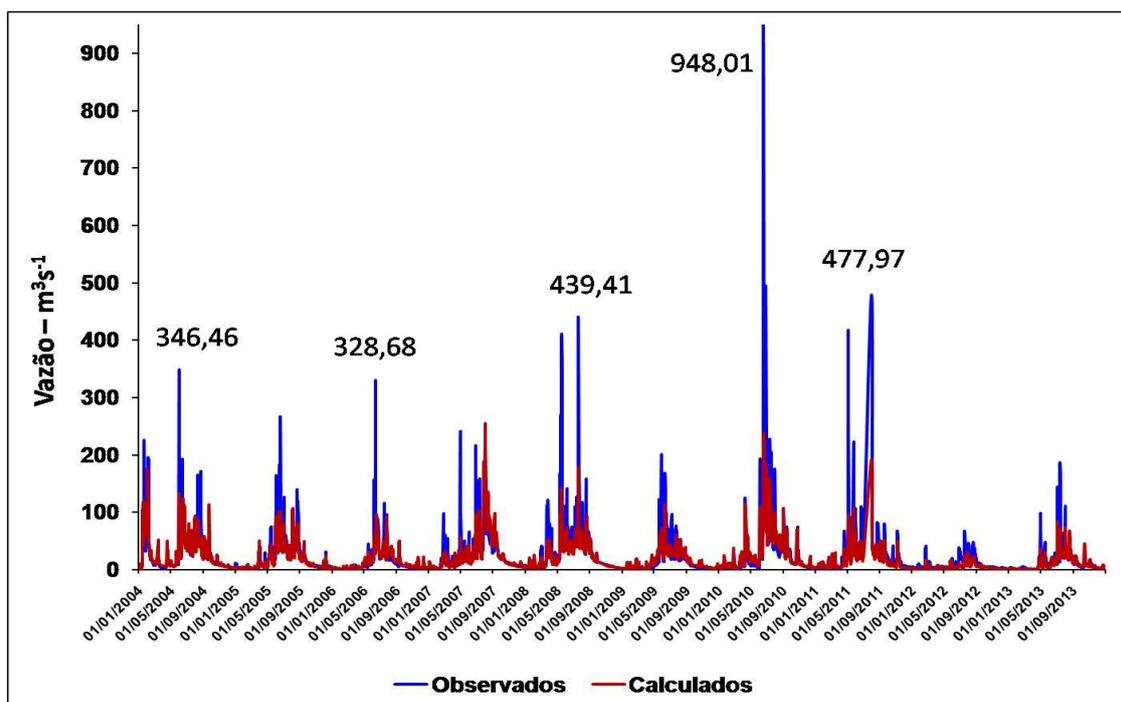


Figura 65. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 2004 a 2013 (Período Completo).

Para o período de calibração (de 2004 a 2008) no posto fluviométrico de Atalaia, o modelo hidrológico MGB-IPH apresentou bons resultados para vazões com valores até $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Neste período foram observados 05 (cinco) eventos significativos de precipitação, onde houve o aumento nas vazões observadas, com um pico maior nos dias 18 e 19/07/2008 ($439,41 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e $433,14 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, respectivamente). As vazões calculadas para estes dois (02) dias foram subestimadas com valores de $178,77 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e de $136,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Todos os resultados das vazões calculadas e observadas para a fase de calibração podem ser observados no Hidrograma da Figura 66.

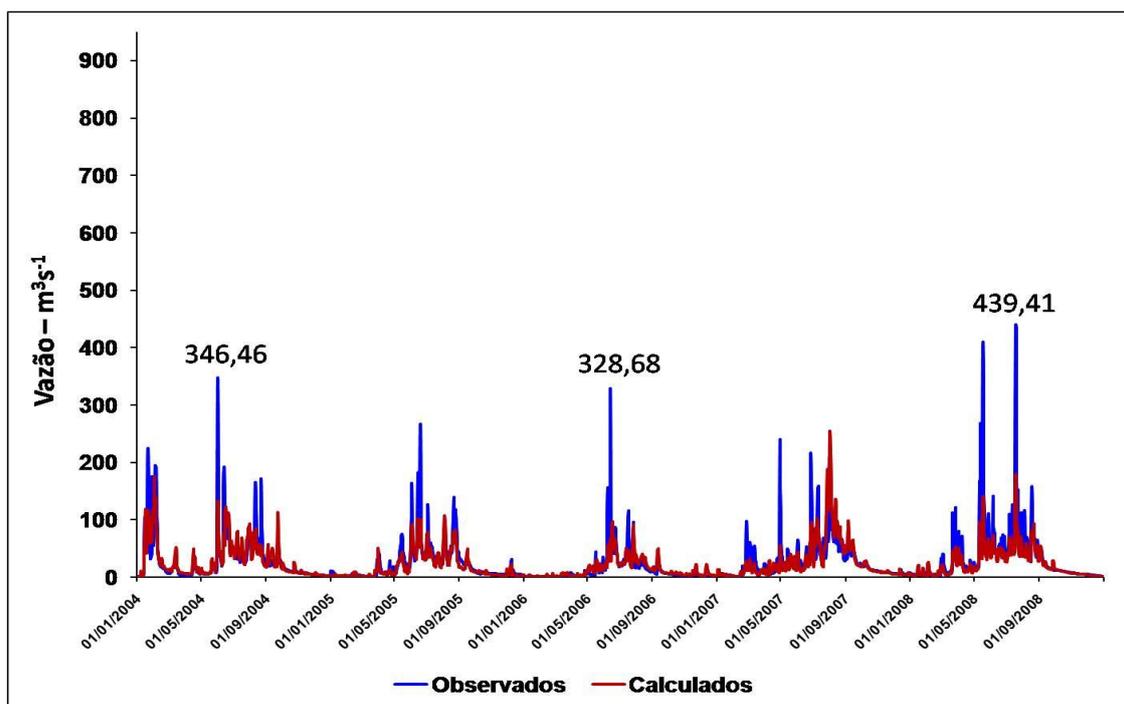


Figura 66. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 2004 a 2008 (Calibração).

No período de validação (2009 a 2013) do modelo hidrológico MGB-IPH estudado para a estação fluviométrica de Atalaia, o maior evento pluviométrico observado foi o do mês de junho de 2010, já discutido na análise da série completa. Além deste evento, apenas mais dois (02) eventos significativos de precipitação foram observados. O primeiro maior evento no dia 01/08/2011 e o segundo no dia 05/05/2011, com vazões observadas de $477,97 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e $414,57 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. O modelo subestimou os resultados, tendo como vazões calculadas os valores de $191,22 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e $85,42 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. De acordo com a Figura 67 observa-se o acompanhamento das vazões simuladas em relação às vazões observadas, onde houve uma sincronia com os resultados obtidos, mesmo com a subestimação dos valores acima de $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

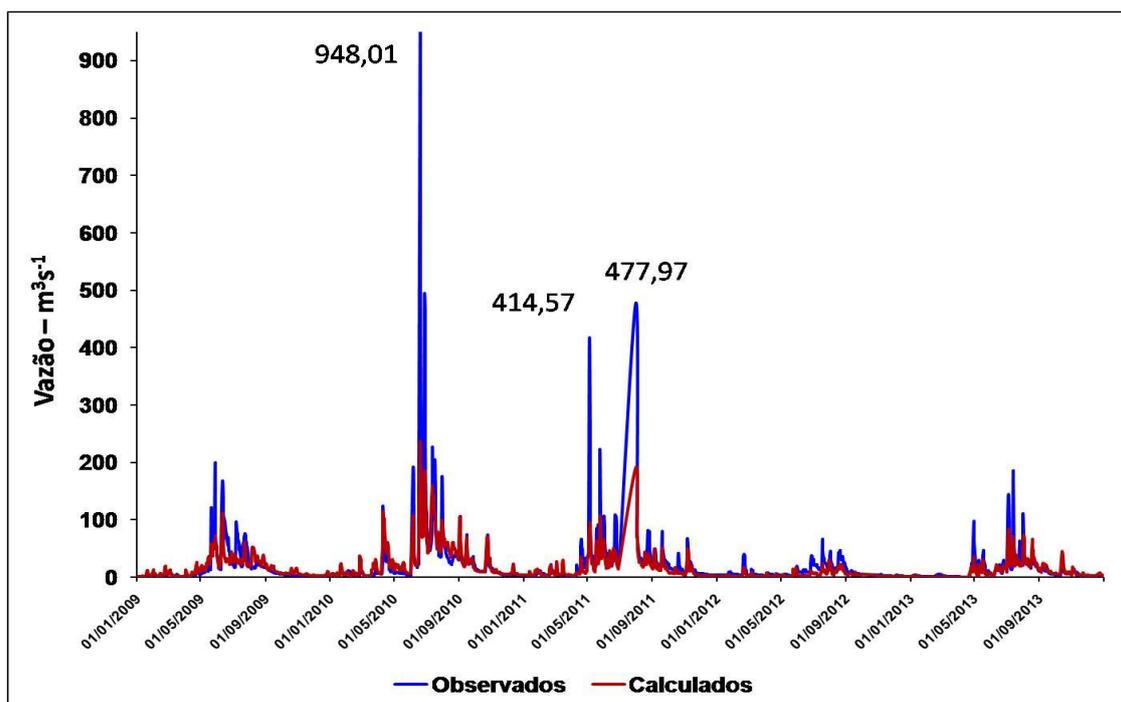


Figura 67. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 2009 a 2013 (Validação).

5.3.2.3 Teste-3 - Dados Pluviométricos observados, separados por sazonalidade

O Teste-3 foi separado por sazonalidade climática, baseada nos dois (02) solstícios e dois (02) equinócios de cada ano. A série de dados observados, no período de 1998 a 2007, foi dividida por estação do ano para explicar como o modelo hidrológico MGB-IPH se comportou com a divisão dos dados, de acordo com a variação climática da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

Foram utilizados os dados dos postos fluviométricos de Quebrangulo, Viçosa e Atalaia para este Teste-3. A metodologia utilizada foi a mesma do Teste-1 e do Teste-2, com os mesmos parâmetros fixos e calibráveis trabalhados no Teste-1, distribuídos nos mesmos seis (06) blocos hidrológicos. Não houve uma nova calibração e validação do modelo, tendo em vista que foram utilizados os mesmos dados do Teste-1.

Para o Teste-3 os dados foram separados em quatro (04) períodos anuais em datas corridas. Vários módulos de correlação foram feitos com o objetivo de comparar resultados e aperfeiçoar o estudo do comportamento da variação climática na região. O primeiro módulo foi feito utilizando os dados completos, de toda a série em estudo (de 1998 a 2007), porém dividida de uma maneira diferente da série original, que foram os 365 dias corridos de cada ano. Inicialmente foram separados os dados, por estação do ano, sendo colocados na seguinte ordem: 1º-Verão; 2º-Outono; 3º-Inverno e 4º-Primavera. Após a separação dos dados neste novo formato foram calculados os coeficientes de Pearson e Nash-Sutcliffe, que podem ser observados na Tabela 31.

Observou-se que os valores de Nash-Sutcliffe apresentaram uma certa regularidade se comparados com os valores encontrados nos Teste-1 e Teste-2, com valores entre 0,70 a 0,89. Tais índices foram consideradas correlações de moderadas a fortes, conforme conceitos de SHIMAKURA (2006), a ficar evidente que como os dados utilizados foram os mesmos, não houve mudança nas vazões calculadas. Apenas foi feita uma nova organização por parte dos dados, para evidenciar quais os períodos mais chuvosos e mais secos de cada estação fluviométrica em estudo. Devido à nova organização dos dados (índices separados pelos meses de cada estação climática) deste Teste-3, não foi possível calcular os coeficientes de Pearson e Nash-Sutcliffe para os períodos de calibração e de validação, nem os coeficientes do Erro do Volume para o período completo e para as fases de calibração e de validação.

POSTO FLUVIOMÉTRICO	LOCAL	PEARSON	R² - NASH	ERRO VOLUME
PERÍODO COMPLETO (1998 a 2007)				
39850000	Quebrangulo	0,85	0,71	n/c
39890000	Viçosa	0,86	0,74	n/c
39870000	Atalaia	0,89	0,76	n/c
CALIBRAÇÃO (1998 A 2002)				
39850000	Quebrangulo	n/c	n/c	n/c
39890000	Viçosa_AL	n/c	n/c	n/c
39870000	Atalaia	n/c	n/c	n/c
VALIDAÇÃO (2003 a 2007)				
39850000	Quebrangulo	n/c	n/c	n/c
39890000	Viçosa	n/c	n/c	n/c
39870000	Atalaia	n/c	n/c	n/c

*n/c - Não calculado

Tabela 31. Coeficientes de Pearson e Nash-Sutcliffe calculados para os dados do Teste-3.

Os Hidrogramas apresentados a seguir demonstram os dados separados no novo formato, para cada um dos postos estudados. A Figura 68 apresenta o Hidrograma do período completo para o município de Quebrangulo, e as Figuras 69 e 70 os períodos de calibração e de validação, respectivamente.

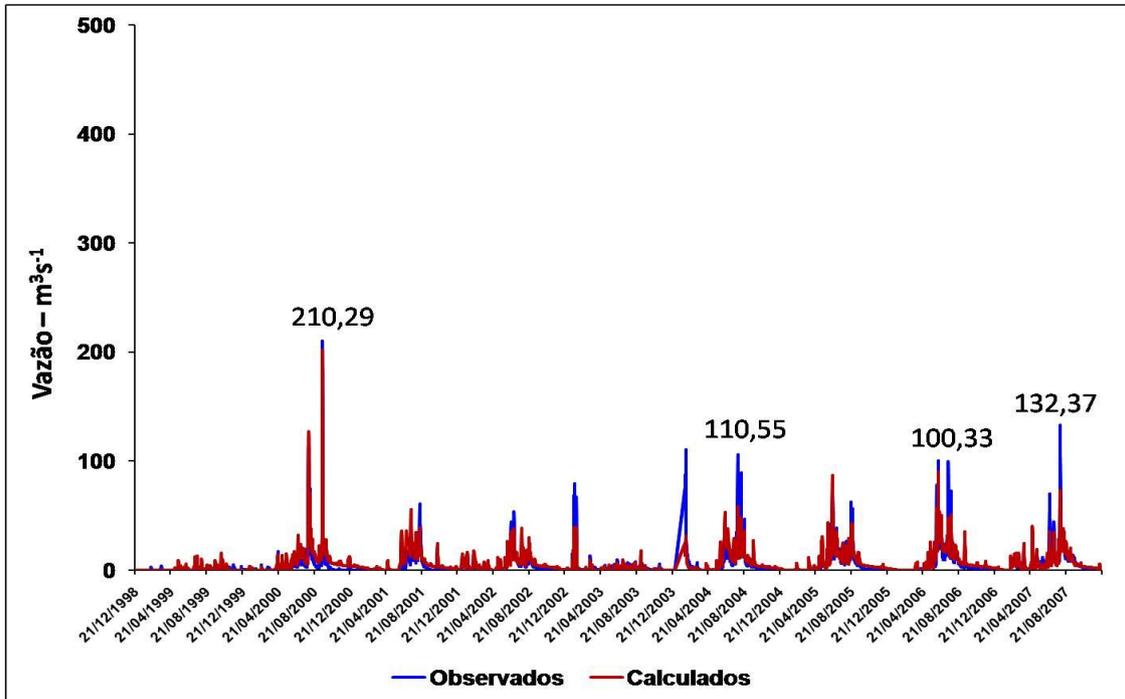


Figura 68. Hidrograma para o posto de Quebrangulo no período de 1998 a 2007 (Período completo).

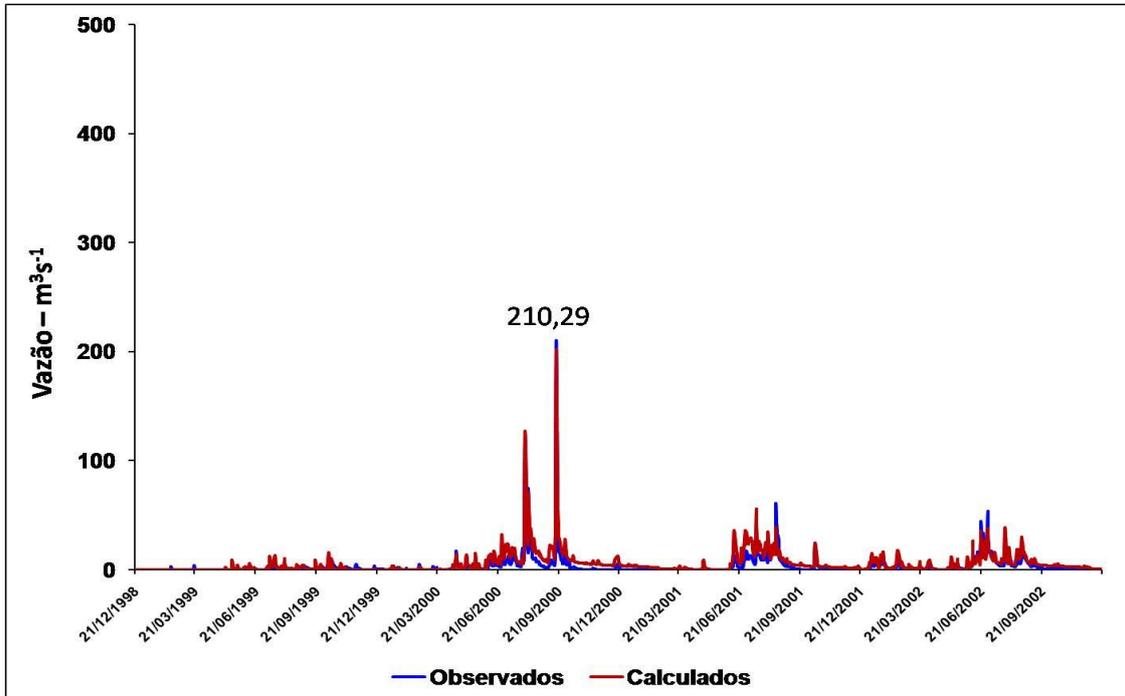


Figura 69. Hidrograma para o posto de Quebrangulo no período de 1998 a 2002 (Calibração).

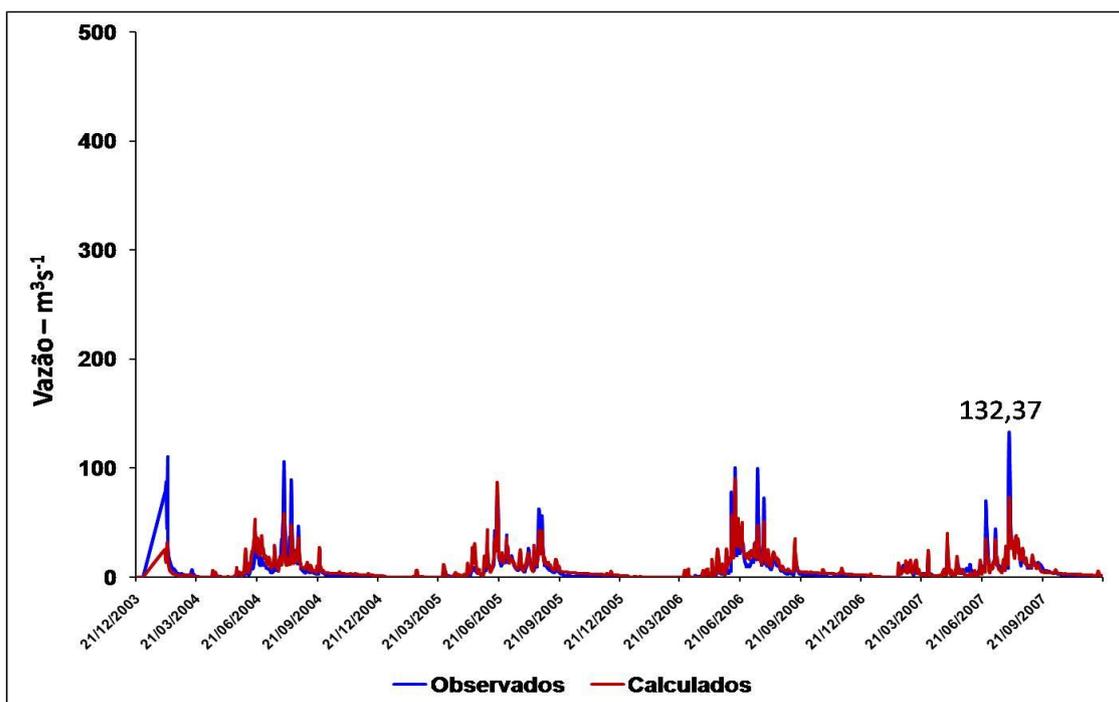


Figura 70. Hidrograma para o posto de Quebrangulo no período de 2003 a 2007 (Validação).

A Figura 71 apresenta o Hidrograma do período completo no município de Viçosa, e as Figuras 72 e 73 os períodos de calibração e validação, respectivamente

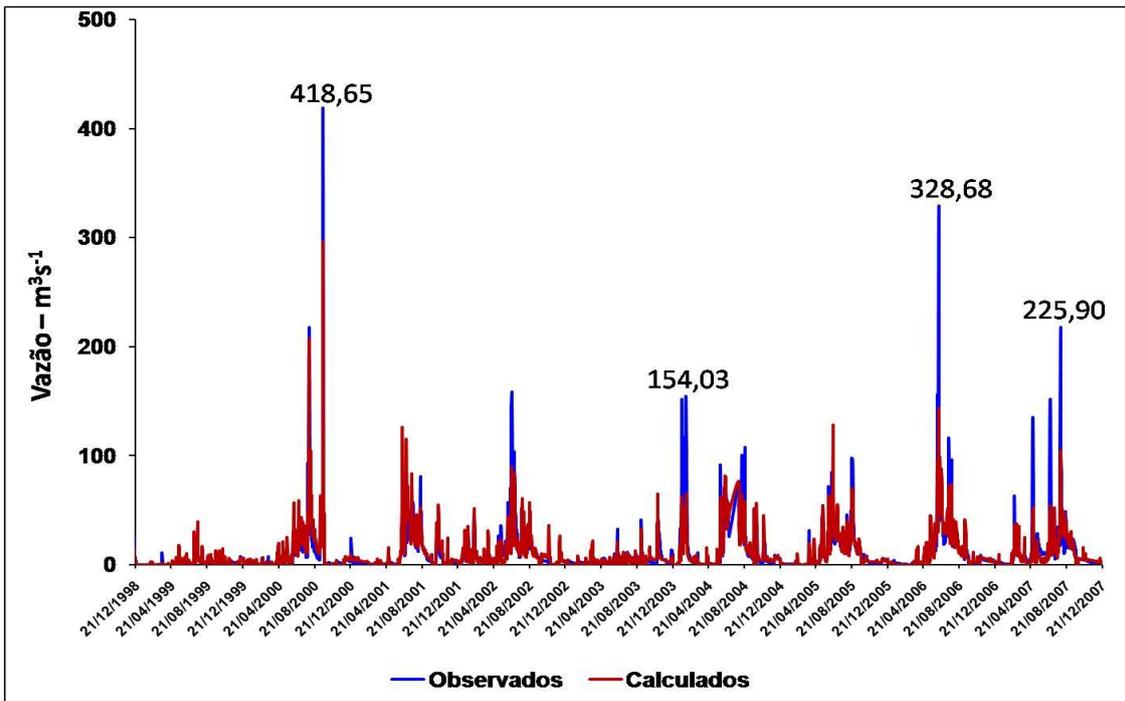


Figura 71. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 1998 a 2007 (Período completo).

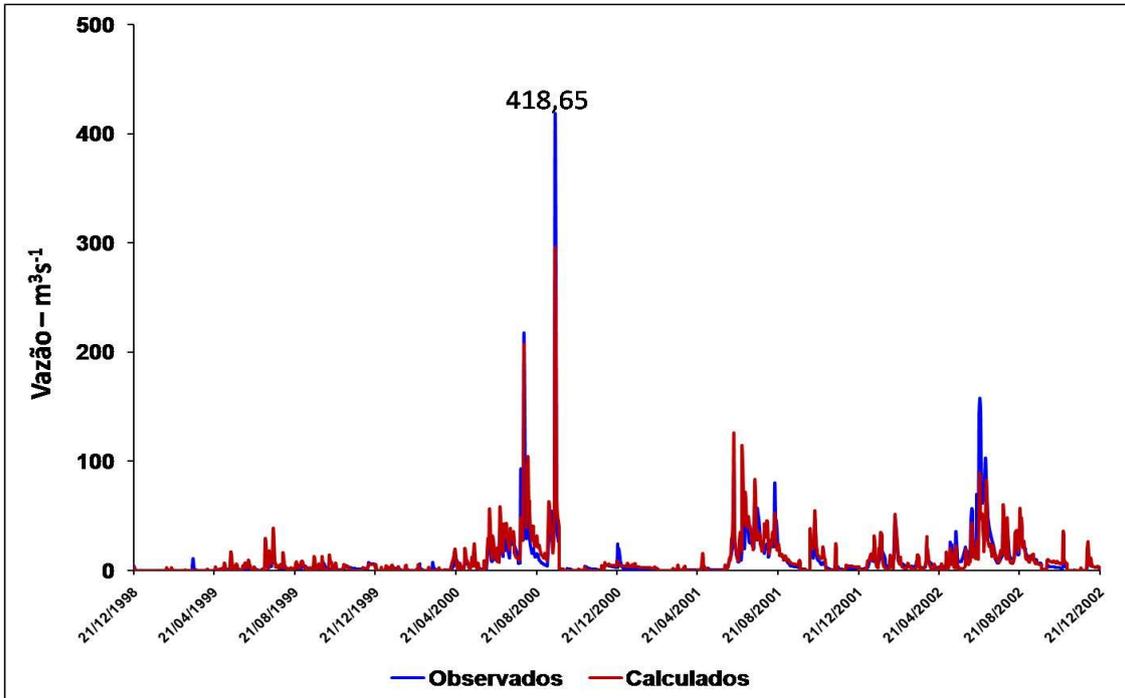


Figura 72. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 1998 a 2002 (Calibração).

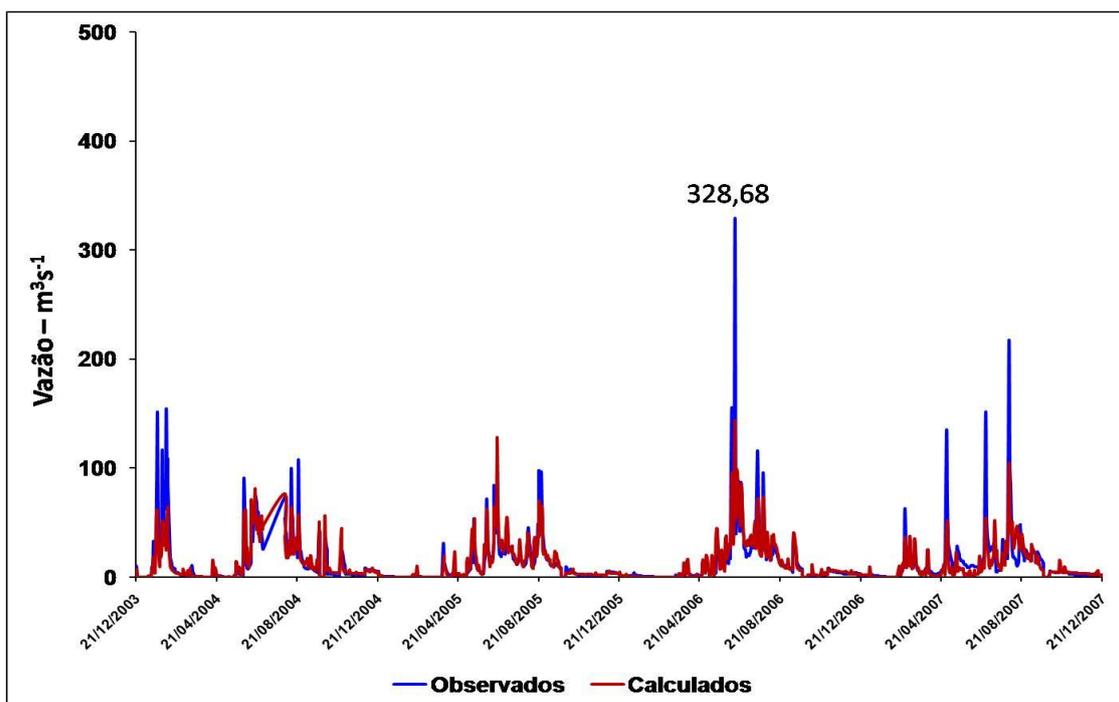


Figura 73. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 2002 a 2007 (Validação).

A Figura 74 apresenta o Hidrograma do período completo para o município de Atalaia e as Figuras 75 e 76 os períodos de calibração e de validação, respectivamente.

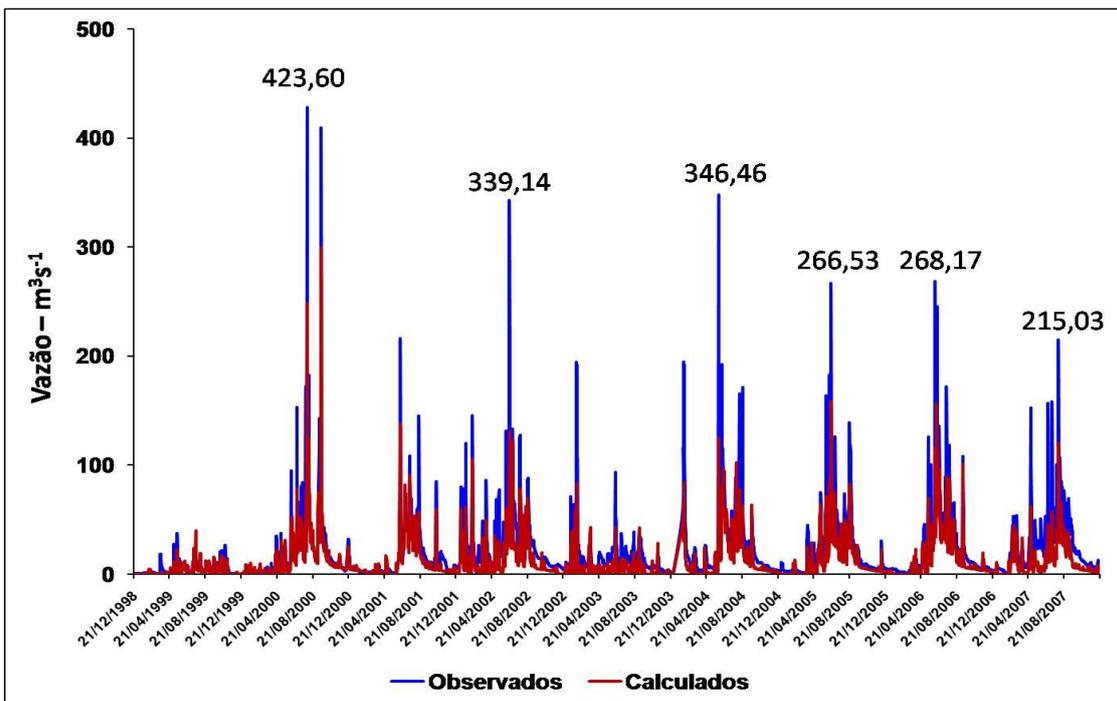


Figura 74. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 1998 a 2007 (Período completo).

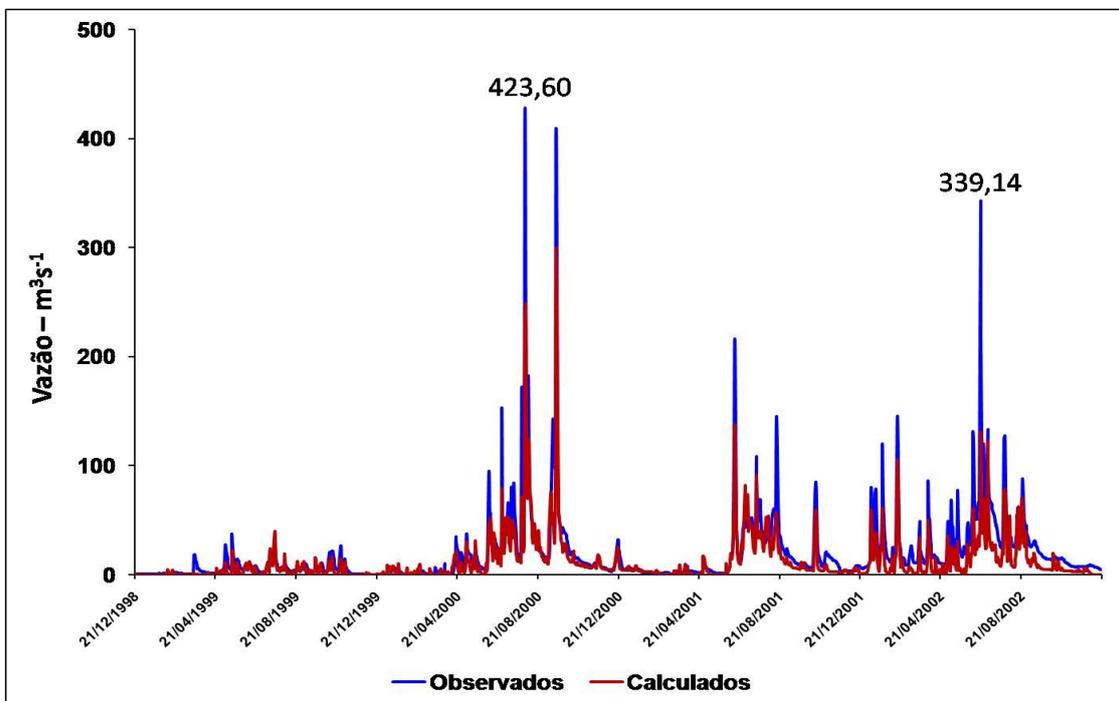


Figura 75. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 1998 a 2002 (Calibração).

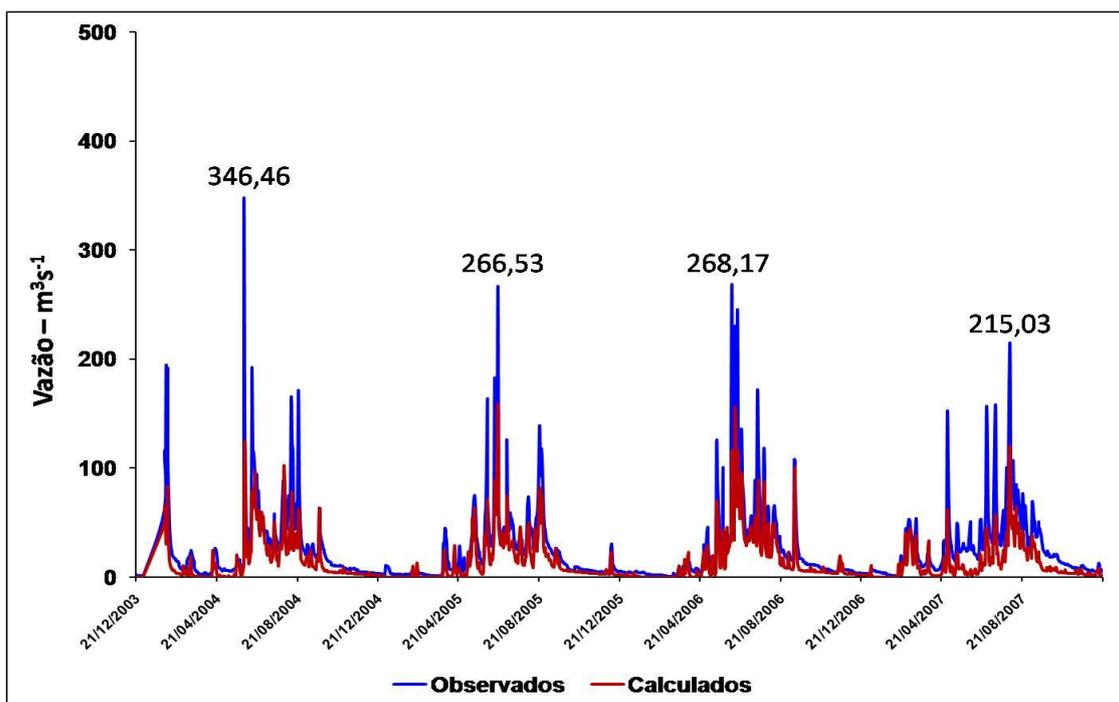


Figura 76. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 2003 a 2007 (Validação).

De acordo com os gráficos apresentados, verificou-se que os melhores valores de correlação de Nash-Sutcliffe foram apresentados para os meses inseridos nas estações de outono e inverno, ou seja, nos períodos onde os valores de vazões são mais elevados, devido ao período chuvoso da região dos Estados de Alagoas e Pernambuco, que compreendem os meses de abril a julho/agosto. Os menores resultados das correlações foram apresentados para a estação da primavera, onde as vazões não ultrapassaram o valor de $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, inclusive com um valor negativo de correlação no posto fluviométrico de Quebrangulo. Os valores encontrados nos coeficientes de Pearson e Nash-Sutcliffe estão listados na Tabela 32.

POSTO FLUVIOMÉTRICO	ESTAÇÃO DO ANO	PEARSON	R ² - NASH
Quebrangulo	Verão	0,78	0,52
Viçosa	Verão	0,84	0,65
Atalaia	Verão	0,88	0,58
Quebrangulo	Outono	0,85	0,62
Viçosa	Outono	0,83	0,70
Atalaia	Outono	0,86	0,60
Quebrangulo	Inverno	0,87	0,74
Viçosa	Inverno	0,86	0,73
Atalaia	Inverno	0,88	0,62
Quebrangulo	Primavera	0,72	-0,13
Viçosa	Primavera	0,84	0,65
Atalaia	Primavera	0,83	0,30

Tabela 32. Coeficientes de Pearson e Nash-Sutcliffe por estação do ano.

Conforme relatado anteriormente e para facilitar o entendimento dos cálculos gerados, os resultados foram divididos por estações do ano conforme detalhados a seguir:

VERÃO

Os dados foram utilizados de acordo com a data inicial e final da estação, de todos os anos da série em estudo, de 1998 a 2007. A data inicial para a estação do Verão utilizada foi 21 de dezembro de 1998 e a data final 20 de março de 2007 agrupados por mês em sequência, dia por dia. Foi feita uma

análise destes dados por município, para então refazer todos os coeficientes de Pearson e Nash-Sutcliffe.

Município de Quebrangulo

Para a estação fluviométrica de Quebrangulo as vazões da grande maioria dos dias apresentaram valores abaixo de $2,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, normais para a época de estiagem na região neste período de estudo. Foram apresentados apenas dois (02) eventos de precipitação no período devido à ação de vórtices ciclônicos de altos níveis, comuns na região nesta época do ano. O maior valor observado de vazão para este período foi registrado no dia 06/02/2004 com $110,55 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, enquanto a vazão prevista para este dia foi subestimada com valor de $31,36 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Houve um período de cinco (05) dias com aumento de vazão, a começar no dia 02/02/2004. Apesar da subestimação dos valores calculados, o modelo hidrológico MGB-IPH foi capaz de captar o evento de chuva, visto que a vazão calculada no dia anterior ao evento foi de $0,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

O segundo maior evento do período foi observado nos dias 21/01/2003 (vazão observada de $79,29 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ com vazão calculada de $34,85 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) e 22/01/2003 (vazão observada de $68,25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e calculada de $39,03 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$). O Hidrograma com os dados observados e calculado no posto de Quebrangulo pode ser observado na Figura 77.

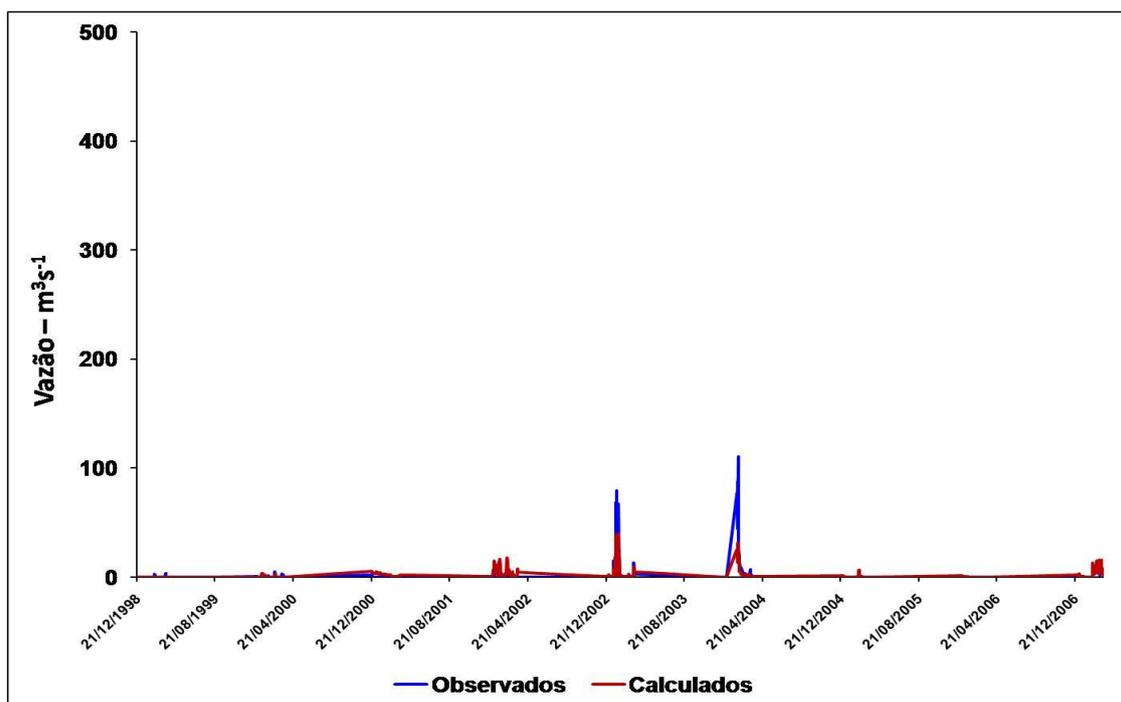


Figura 77. Hidrograma para o posto de Quebrangulo no período de 1998 a 2007 (Verão).

Município de Viçosa

O posto fluviométrico de Viçosa apresentou apenas um período com aumento considerável de vazão na série estudada. Os meses de janeiro e fevereiro de 2004 foram considerados chuvosos na região, devido à ação de Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN's), tendo a pluviometria aumentada se comparada com a série histórica da região. O maior evento teve a durabilidade de três (03) dias, de 04 a 06/02/2004. A maior vazão registrada foi no dia 04/02/2004 com $154,03 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. O valor calculado pelo modelo hidrológico MGB-IPH apresentou um dado bem abaixo do esperado para este dia, com vazão de $25,57 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. No dia 05/02/2004, a vazão observada foi de $104,70 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a calculada $52,25 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Para o dia 06/02/2004 a vazão observada foi de $108,70 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a calculada na ordem de $64,54 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, tendo um aumento nos valores das vazões calculadas nestes últimos 02 dias. Para este evento houve uma subestimação das vazões calculadas, mesmo havendo um aumento nos

seus valores se comparados com as vazões dos dias anteriores. O Hidrograma para este posto fluviométrico pode ser observado na Figura 78.

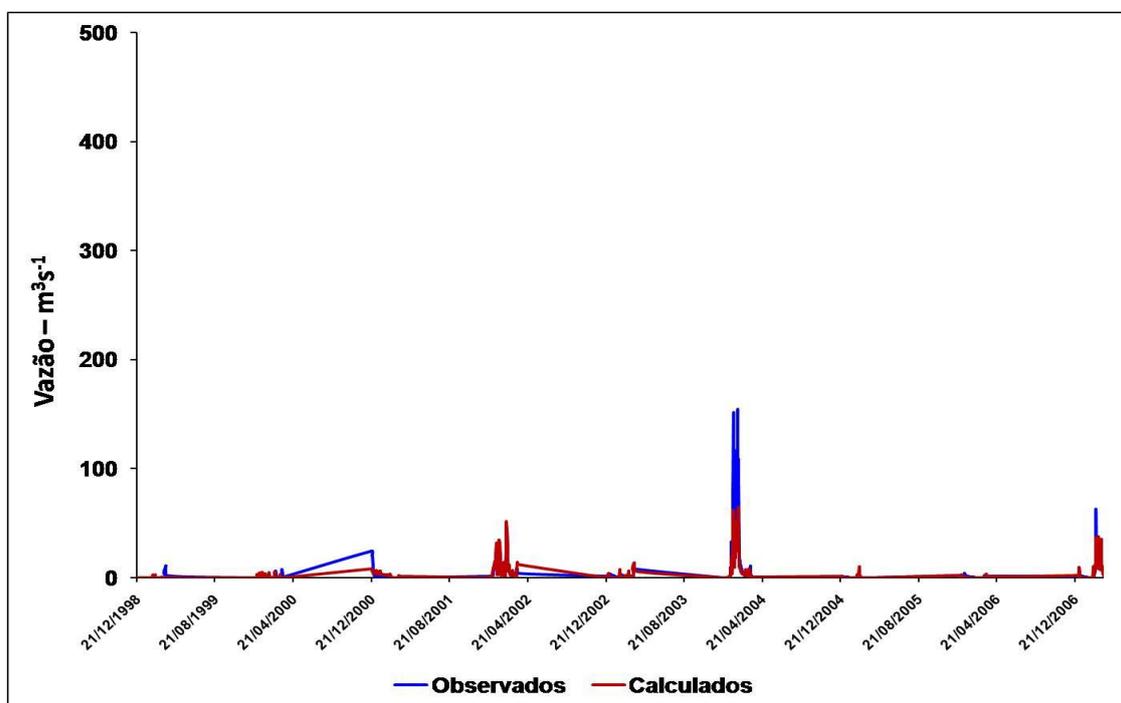


Figura 78. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 1998 a 2007 (Verão).

Município de Atalaia

A estação fluviométrica de Atalaia apresentou três (03) eventos de precipitação que registraram vazões acima de $100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ na estação do Verão. Um deles foi o mesmo observado nas estações fluviométricas de Quebrangulo e Viçosa, entre os dias 02 e 07/02/2004. Além deste evento, houve o registro de precipitação nos dias 07/02/2003 e 02/02/2004 e mais 02 dias aleatórios, ou seja, 23/01/2002 e 15/02/2002.

Observou-se que, na grande maioria das vazões calculadas, principalmente para as vazões mais elevadas, o modelo hidrológico MGB-IPH subestimou seus resultados. A maior vazão registrada na série em estudo foi observada no dia 04/02/2003, com valor registrado de $194,69 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A vazão calculada para este dia foi de $30,26 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, com um déficit de $164,43 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Notou-se que a partir das vazões que foram sendo estimadas de acordo com os eventos de chuva, a diferença entre as vazões observadas e calculadas diminuíram, ficando os valores mais próximos. No dia posterior, 05/02/2004, a vazão observada foi de $110,10 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e a calculada apresentou o valor de $58,55 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, apresentando assim uma diminuição nas suas diferenças. Percebeu-se então que o modelo hidrológico utilizado neste estudo em alguns casos necessitou de alguns dias para o seu aquecimento, onde os resultados calculados ficaram mais próximos dos observados. Todos os dados hidrológicos observados e calculados para este posto fluviométrico podem ser observados no Hidrograma (Figura 79).

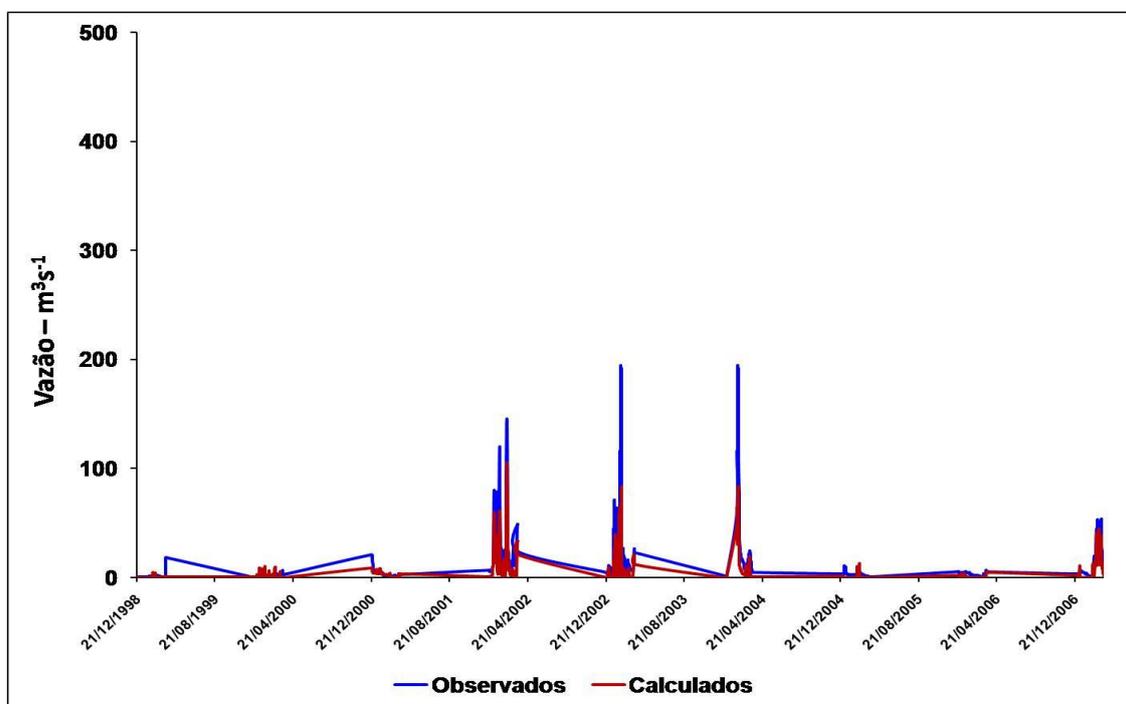


Figura 79. Hidrograma para o posto de Atalaia no período 1998 a 2007 (Verão).

OUTONO

A data inicial utilizada para a estação do Outono foi 21 de março de 1998 e a final 20 de junho de 2007, agrupados por mês em sequência, dia por

dia. Foi feita uma análise destes dados para então refazer os cálculos de todos os coeficientes de Pearson e de Nash-Sutcliffe.

Município de Quebrangulo

Para o outono as precipitações e conseqüentemente as vazões começaram a ficar mais elevadas. O mês de março é considerado mês de pré-estação, apresentando em alguns anos eventos registrados de precipitação elevada. No posto fluviométrico de Quebrangulo (Figura 80) as vazões observadas mais altas não ultrapassaram o valor de $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. De uma maneira geral, o modelo hidrológico utilizado apresentou bons resultados para este posto fluviométrico, com valores calculados próximos aos valores observados. A maior vazão registrada neste período foi de $100,33 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no dia 13/06/2006. O modelo hidrológico MGB-IPH acusou um valor bem próximo, com vazão calculada de $90,37 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Em outro evento de precipitação, entre os dias 14/06/2005 e 19/06/2005, o modelo hidrológico também calculou resultados satisfatórios. No dia 14/06/2005 foi registrada uma vazão de $42,76 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ observada e $35,17 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ calculada. No dia 18/06/2005 houve $74,88 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ de vazão observada e $87,08 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ de calculada, valor um pouco superestimado, porém dentro de uma margem favorável para cálculos.

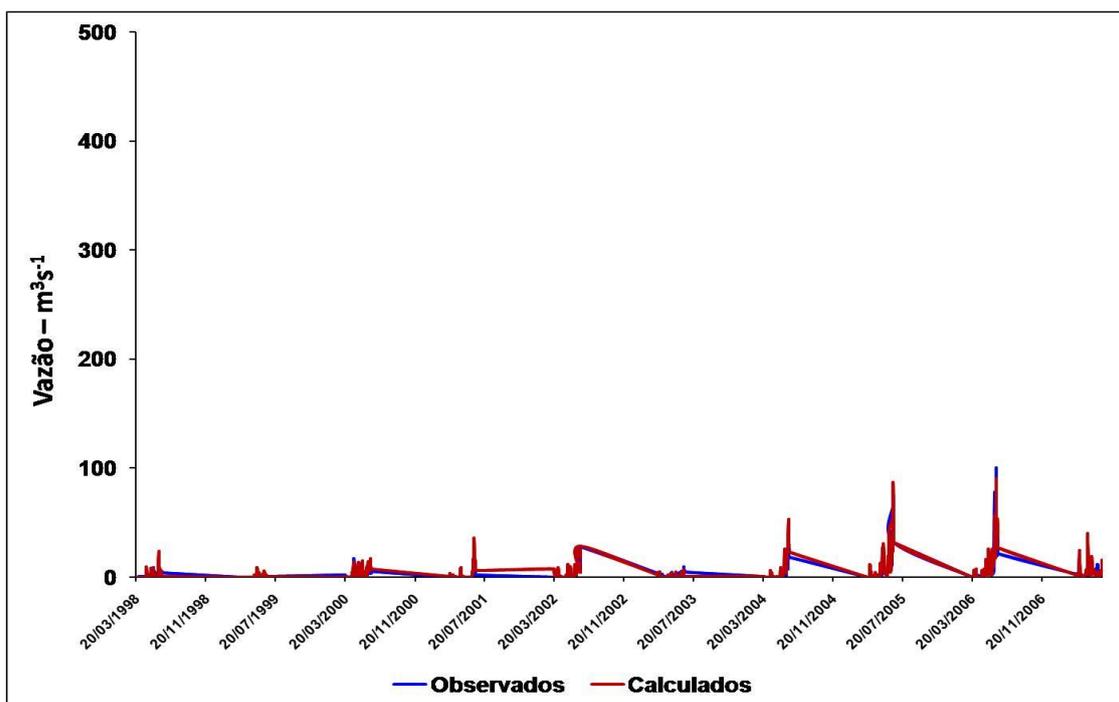


Figura 80. Hidrograma para o posto de Quebrangulo no período de 1998 a 2007 (Outono).

Município de Viçosa

A estação fluviométrica de Viçosa apresentou valores de vazão mais expressivos se comparados com o posto de Quebrangulo, com vários eventos de precipitação registrados na série em estudo. O evento mais extenso foi observado entre os dias 07 e 16/06/2006. A maior vazão registrada neste período foi no dia 13/06/2006, com valores de $328,68 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ na vazão observada e $143,67 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ na calculada. Apesar de o modelo hidrológico MGB-IPH ter subestimado o valor da vazão, foi capaz de captar o aumento nos seus valores.

Para os demais dias deste evento de precipitação, o modelo hidrológico MGB-IPH continuou subestimando seus valores calculados, em alguns casos, com valores aproximadamente em 40% abaixo daqueles observados. Porém, o modelo hidrológico MGB-IPH conseguiu acompanhar o

aumento e a diminuição dos seus índices com certa regularidade, sendo possível prever o aumento das vazões de acordo com o evento apresentado.

O Hidrograma do posto fluviométrico de Viçosa para a estação do outono pode ser observado na Figura 81.

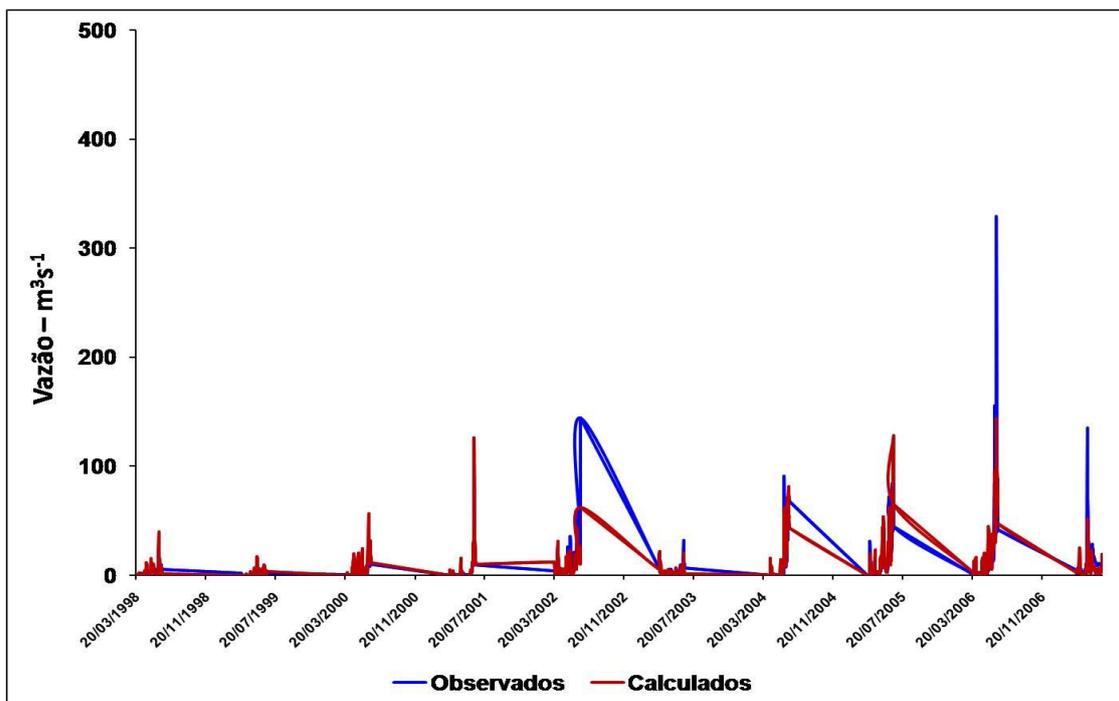


Figura 81. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 1998 a 2007 (Outono).

Município de Atalaia

A estação do Outono na região do Litoral e Zona da Mata de Alagoas foi considerada chuvosa em grande parte dos anos estudados. Foram registrados vários eventos de precipitação neste período, indicando o início da estação chuvosa na região. O posto fluviométrico de Atalaia apresentou cinco (05) eventos de precipitação que ocasionaram vazões acima de $200,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no período estudado. A maior vazão observada foi no dia 01/06/2004, com registro de $346,46 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. O valor previsto ficou aquém do esperado, com vazão de $84,02 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Para o dia seguinte, a vazão do modelo hidrológico MGB-IPH

apresentou um resultado mais favorável, com vazão calculada de $124,87 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e de $140,37 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ de vazão observada. Outro evento significativo de precipitação foi registrado nos dias 13 e 14/06/2001. A vazão observada do dia 14 foi de $215,03 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, tendo como vazão estimada o valor de $137,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, valor razoável para a previsão. Para o dia 20/06/2002 o valor estimado não foi satisfatório ($82,16 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), ficando muito abaixo da vazão observada de $339,14 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Outro evento que foi importante analisar foi o que ocorreu de 07 a 17/06/2006, por ter sido mais prolongado com aproximadamente onze (11) dias de duração.

As demais vazões deste período registraram valores que ultrapassaram $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, sendo que a mais alta ocorreu no dia 16/06/2006, com $245,66 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ($100,53 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no valor de vazão calculada). Observou-se que mesmo os dados do modelo hidrológico MGB-IPH não terem acompanhado com muita precisão os valores calculados, ele foi sensível ao evento de chuva, apresentando todas as vazões calculadas para o período também acima de $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. O Hidrograma com todos os dados observados e calculados para a estação do outono no posto fluviométrico de Atalaia pode ser observado na Figura 82.

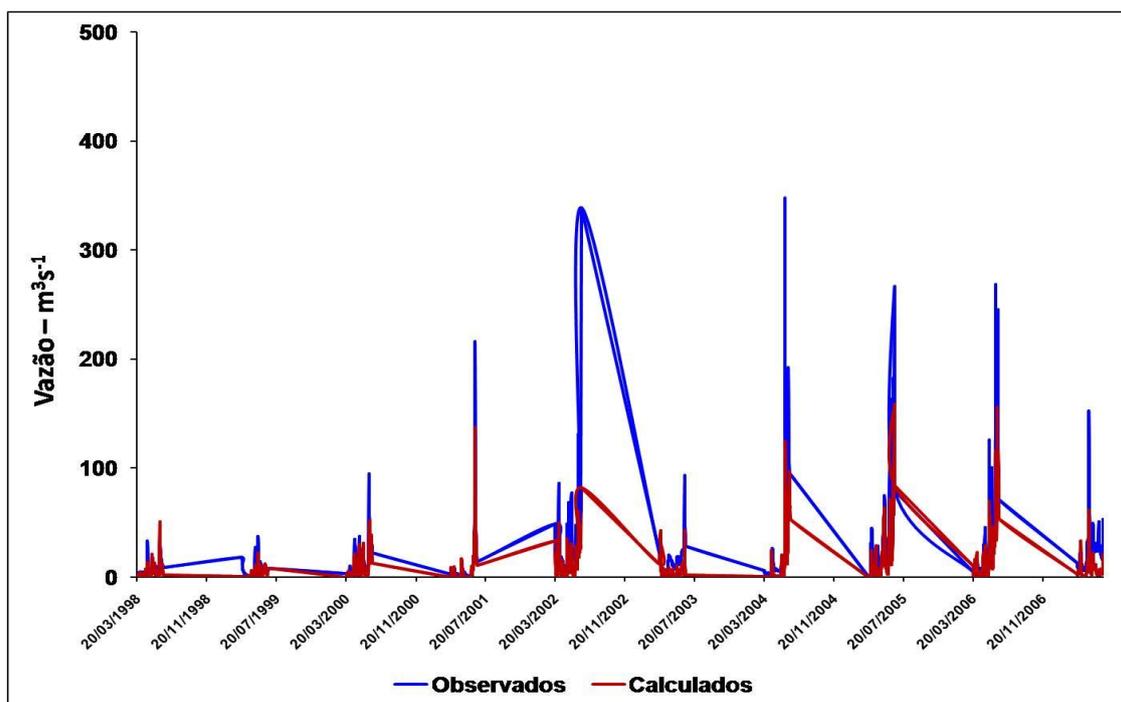


Figura 82. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 1998 a 2007 (Outono).

INVERNO

Na estação do inverno foram registrados os maiores valores de precipitação e de vazão na região estudada. A data inicial utilizada foi o dia 21/06/1998 e a data final 20/09/2007, agrupados por mês em sequência, dia a dia. Foi feita uma análise de todos os dados, e após esta etapa, foram calculados novamente os coeficientes de Pearson e de Nash-Sutcliffe.

Município de Quebrangulo

A estação fluviométrica de Quebrangulo apresentou a maior vazão no dia 17/09/2000, com valor de $210,29 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. O modelo hidrológico MGB-IPH apresentou um valor calculado satisfatório para este dia, com índice de $201,74 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Foi apresentado um valor razoável para a segunda maior vazão do período, no dia 01/08/2000. Nos dias 31/07 e 01/08/2000 houve um evento severo de precipitação na região norte de Alagoas, discutido anteriormente.

Para este posto fluviométrico a maior vazão apresentada foi de 124,89 m³s⁻¹ no dia 01/08/2000, enquanto que o valor calculado pelo modelo hidrológico MGB-IPH para este dia foi de 127,11 m³s⁻¹.

Nas demais vazões observadas, os valores até 50,00 m³s⁻¹ ficaram satisfatórios nas estimativas das vazões pelo modelo hidrológico MGB-IPH. Em alguns casos o modelo hidrológico MGB-IPH subestimou os seus resultados, quando as vazões foram próximas a 100,00 m³s⁻¹, apresentando um déficit próximo a 45% dos valores das vazões. A Figura 83 apresenta todos os dados, observados e calculados para o posto fluviométrico de Quebrangulo.

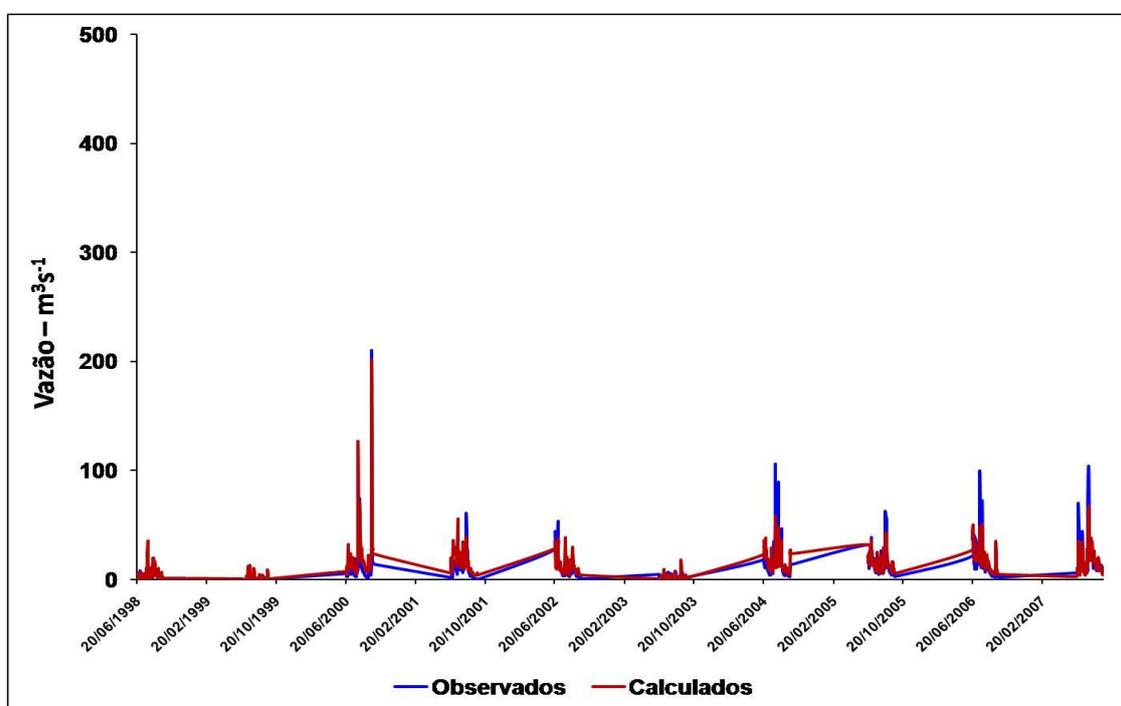


Figura 83. Hidrograma para o posto de Quebrangulo no período de 1998 a 2007 (Inverno).

Município de Viçosa

A estação fluviométrica de Viçosa apresentou três (03) eventos de vazão acima de 200,00 m³s⁻¹. O maior evento apresentado foi o mesmo registrado nos outros dois (02) postos em estudo (Quebrangulo e Atalaia), datado em

17/09/2000. A vazão observada foi de $418,65 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. O modelo hidrológico MGB-IPH utilizado, apesar de não ter calculado o valor da vazão em sua totalidade, apresentou um resultado bastante razoável, com $296,08 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, tendo assim uma comprovação da eficácia dos dados calculados para esta data. Outro dia onde o modelo apresentou-se satisfatório foi 01/08/2000. O valor observado na estação foi de $217,57 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e o calculado foi na ordem de $207,40 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Houve a ocorrência de um evento de precipitação entre os dias 1º e 03/08/2007. Para este evento, as vazões calculadas apresentaram valores próximos as vazões observadas, mas não na sua totalidade, ficando os valores estimados com aproximadamente 55% do seu valor observado. No dia 01/08/2007 a vazão observada foi de $225,90 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e de $105,06 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ para a calculada; no dia 02/08/2007 a observada atingiu o valor de $217,57 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e de $104,48 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ a calculada; e no dia 03/08/2007 foi $104,18 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ de vazão observada e de $68,18 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ de calculada.

Para as vazões com valores próximos a $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, o modelo hidrológico MGB-IPH apresentou resultados satisfatórios, com índices calculados bem próximos dos observados, como podem ser conferido no Hidrograma da Figura 84.

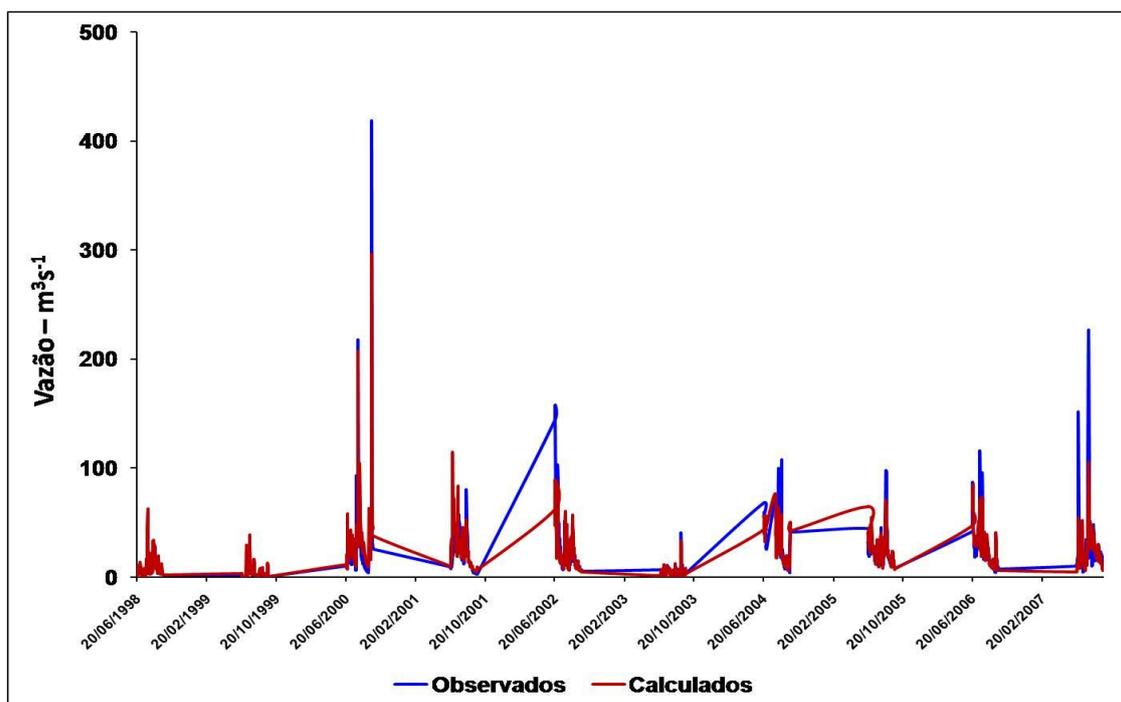


Figura 84. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 1998 a 2007 (Inverno).

Município de Atalaia

O posto fluviométrico de Atalaia foi influenciado pelo evento de chuva que atingiu os postos de Quebrangulo e Viçosa nos dias 31 de julho e 1º de agosto de 2000. A maior vazão observada foi no dia 01/08/2000, com 423,60 m^3s^{-1} de vazão observada neste dia, e 230,01 m^3s^{-1} de calculada. Apesar de o modelo hidrológico MGB-IPH ter subestimado o valor, ele acusou o aumento da vazão observada no acumulado de chuva no município de Atalaia.

No dia 02/08/2000 a vazão observada foi de 252,00 m^3s^{-1} e a calculada foi de 247,54 m^3s^{-1} . No dia 03/08/2000 a vazão observada foi de 113,42 m^3s^{-1} e a calculada 127,04 m^3s^{-1} , a indicar um bom aproveitamento dos dados calculados pelo modelo hidrológico MGB-IPH. Houve outro evento de vazão extrema no dia 17/09/2000, onde foi observado um valor de 409,51 m^3s^{-1} de vazão observada e de 299,36 m^3s^{-1} de calculada, indicando que o modelo hidrológico utilizado foi capaz de captar o aumento nas vazões calculadas.

Para as demais vazões observadas nos valores até $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, os valores calculados pelo modelo hidrológico MGB-IPH foram satisfatórios. Para vazões entre $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e $170,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, o modelo subestimou os valores calculados, comparados com os valores observados, mas apresentou uma similaridade entre os dados, ou seja, quando as vazões observadas aumentaram, os valores das vazões calculadas também aumentaram, porém em intensidade menor do que a esperada. Os dados utilizados para a estação fluviométrica de Atalaia apresentam-se na Figura 85.

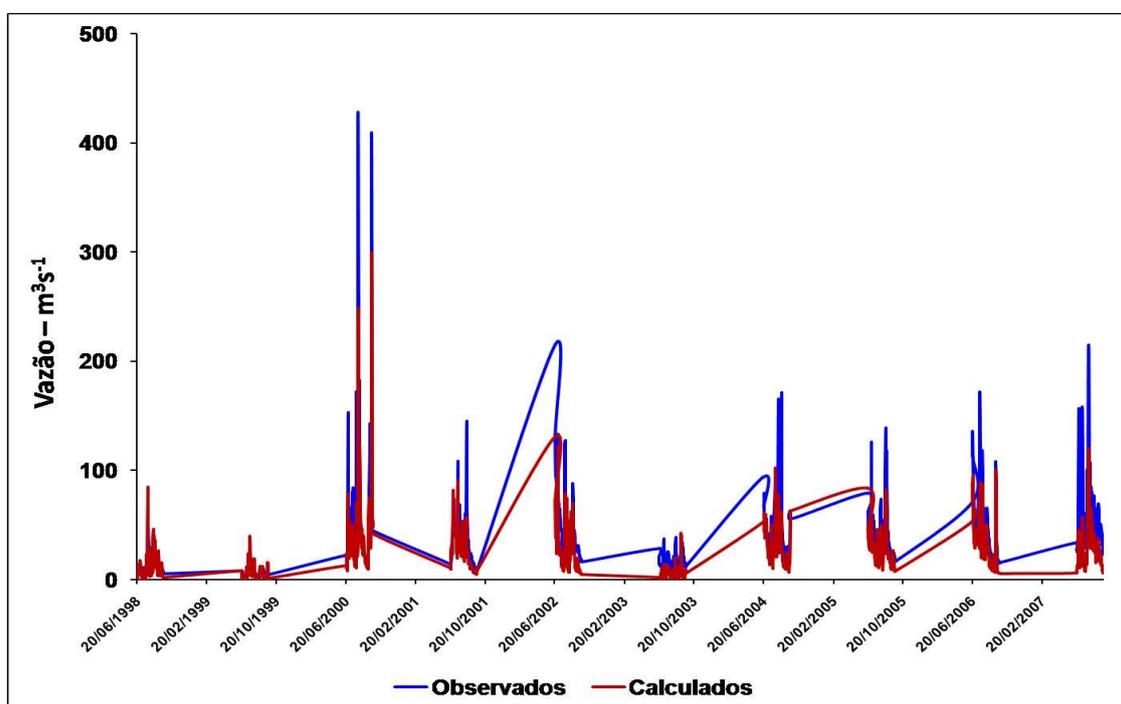


Figura 85. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 1998 a 2007 (Inverno).

Primavera

Os dados foram utilizados de acordo com a data inicial e final da estação, de todos os anos da série em estudo, de 1998 a 2007. A data inicial para a estação da Primavera foi 23 de setembro de 1998 e a data final 20 de dezembro de 2007, agrupados por mês em sequência, dia a dia. Foi feita uma

análise destes dados para então refazer todos os cálculos dos coeficientes de Pearson e Nash-Sutcliffe.

Município de Quebrangulo

O maior valor de vazão observada para a estação fluviométrica de Quebrangulo no período da primavera foi de $18,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, tendo apresentado o valor calculado de $27,55 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no dia 30/09/2000. A menor vazão observada foi $0,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ registrada em vários dias deste período em estudo. De maneira geral os dados calculados foram superestimados, tendo os valores calculados apresentado resultados um pouco acima dos valores observados. O Hidrograma para o posto de Quebrangulo pode ser observado na Figura 86. Foi constatado que, para este posto pluviométrico, o período seco para este conjunto de dados compreendeu os meses de setembro a dezembro, com as mínimas vazões observadas no período analisado.

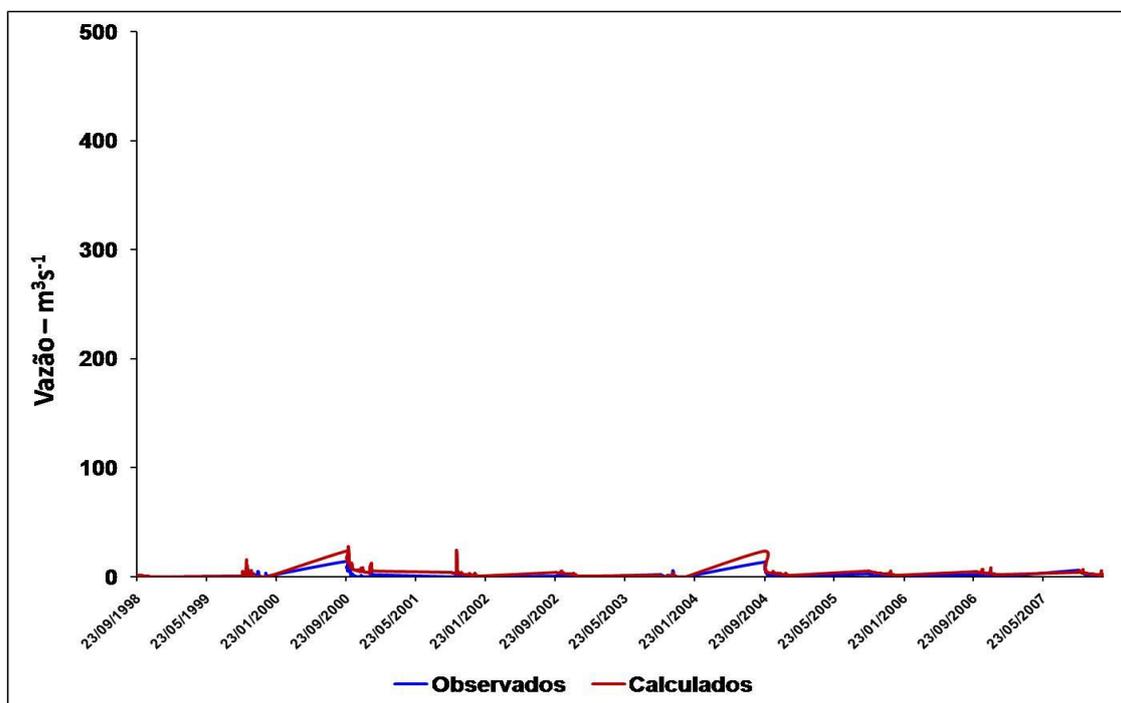


Figura 86. Hidrograma para o posto de Quebrangulo no período de 1998 a 2007 (Primavera).

Município de Viçosa

Para a estação pluviométrica de Viçosa, os dados observados também foram os menores para o período analisado, onde o modelo hidrológico MGB-IPH apresentou também valores calculados superestimados em uma parte dos seus resultados. A maior vazão observada neste posto foi de $46,89 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no dia 15/10/2001 e o calculado pelo modelo foi de $54,73 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Observou-se que as vazões mais altas para o período foram registradas no mês de setembro, visto que em alguns anos, a quadra chuvosa se estendeu, a iniciar e finalizar tardiamente. Vale ressaltar que estes valores de vazões próximas as $50,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ são consideradas baixas, sem danos aparentes na região. Para esta estação fluviométrica as vazões registradas em $0,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ foram em menor quantidade, se comparadas com a estação fluviométrica de Quebrangulo. O Hidrograma com os dados utilizados em Viçosa pode ser observado na Figura 87.

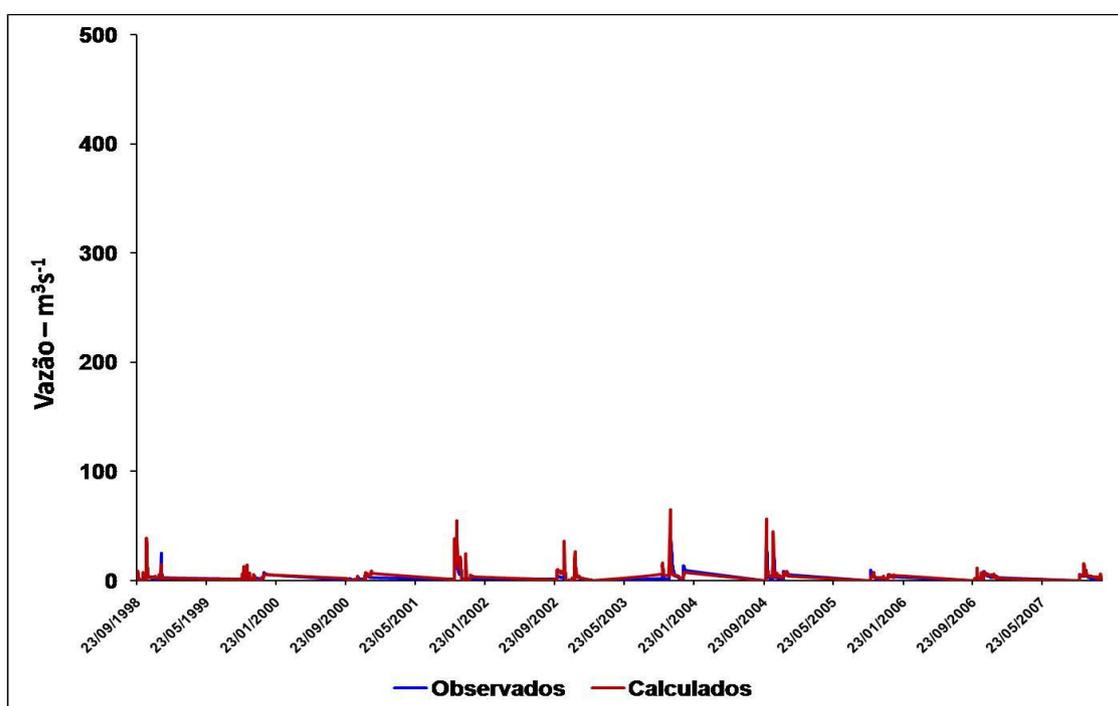


Figura 87. Hidrograma para o posto de Viçosa no período de 1998 a 2007 (Primavera).

Município de Atalaia

No posto fluviométrico de Atalaia foram observadas as maiores vazões para o período da primavera nos três (03) postos em estudo, fator já explicado em análise anterior devido à localização do posto em questão. A maior vazão observada para o período analisado foi de $85,11 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ em 14/10/2001, tendo o valor calculado pelo modelo hidrológico a vazão de $59,29 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. O modelo hidrológico MGB-IPH apresentou uma boa similaridade entre os dados observados e calculados, porém em redução dos seus valores. Percebeu-se, da mesma maneira que nos postos de Quebrangulo e Viçosa, as maiores vazões para o período da primavera foram registradas no mês de setembro, tendo alguns casos isolados para outros meses, como foi o caso da maior vazão observada no período (outubro de 2001). O Hidrograma para o posto fluviométrico de Atalaia pode ser observado na Figura 88.

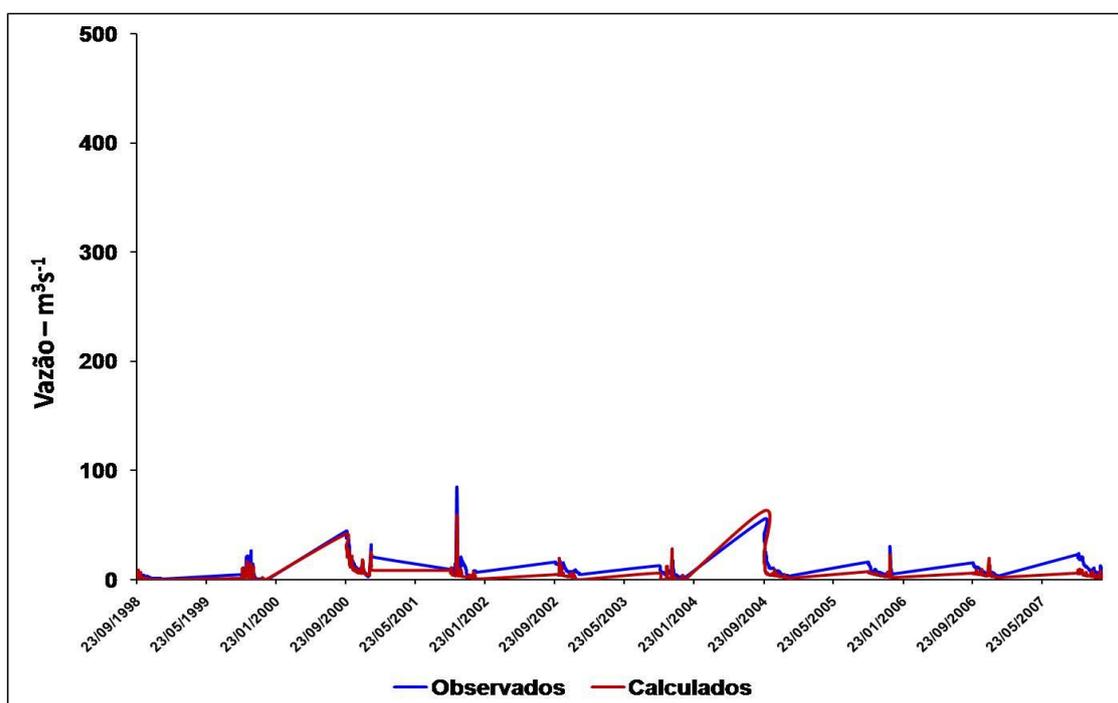


Figura 88. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 1998 a 2007 (Primavera).

5.3.2.4 Teste 4 - Acoplamento do modelo atmosférico ETA com o modelo hidrológico MGB-IPH.

A metodologia utilizada neste Teste-4 foi a mesma utilizada nos Testes anteriores (1, 2 e 3). Foram feitos vários ciclos de simulação, a utilizar os mesmos parâmetros fixos e calibráveis, onde foram distribuídos no mesmo número de blocos hidrológicos (06 blocos). O modelo hidrológico MGB-IPH não precisou ser calibrado novamente. Foram utilizados os mesmos valores dos parâmetros fixos e calibráveis do Teste-1.

Diferentemente do que foi feito nos testes anteriores, o Teste-4 foi desenvolvido por eventos de chuva, com o objetivo de atestar a eficácia da utilização de dados diários gerados por um modelo de previsão atmosférica (ETA) na substituição de dados diários observados reais. Foram separadas quatro (04) datas que apresentaram eventos de chuva para as análises no período de 2012 a 2013. Os dois (02) primeiros períodos de estudo serviram para a calibração do modelo hidrológico MGB-IPH, enquanto que os dois (02) últimos períodos de estudo foram utilizados para sua validação. Não foi possível a utilização de datas que coincidissem com o ano do Caso de Estudo (junho de 2010), tendo em vista a ausência de dados do modelo atmosférico ETA disponibilizados para período anterior ao ano de 2012. Porém, com o modelo hidrológico MGB-IPH calibrado, então é possível que a utilização de dados do modelo atmosférico ETA responda de maneira favorável em qualquer outra data de evento de chuva.

As datas selecionadas para as análises, bem como as explicações necessárias dos eventos meteorológicos que ocasionaram chuvas no posto fluviométrico de Atalaia, escolhidas para o desenvolvimento dos resultados com o acoplamento do modelo atmosférico ETA e o modelo hidrológico MGB-IPH foram as seguintes:

Evento-1 - 25/05/2012

Apesar de não ter tido valores significativos de precipitação e vazão no período de análise para este evento (20/05/2012 a 05/06/2012), os dados do dia 25/05/2012 foram escolhidos para testar e avaliar como o acoplamento dos modelos atmosférico ETA e hidrológico MGB-IPH se comportaram em dias de baixos índices pluviométricos, mas com previsão de chuvas para a região de estudo.

Segundo o CPTEC/INPE (2017), a análise sinótica para a costa Leste do Nordeste, na data de 25/05/2012, identificou um amplo cavado (região da atmosfera de pressão baixa, relativa às regiões circunvizinhas do mesmo nível) em altos níveis da troposfera, favorecendo a convergência do fluxo de humidade, e consequentemente o aumento de nebulosidade na região.

Em médios níveis (500 hPa) a formação de um vórtice ciclônico na região Sul do País, junto com um cavado, aumentou o acréscimo de humidade e se associou à alta subtropical do atlântico, provocando chuvas em toda faixa Leste de Alagoas e nos Estados de Pernambuco e Bahia (CPTEC/INPE, 2017).

De acordo com o Climanálise (CPTEC/INPE, 2017), para o mês de maio de 2012, houve déficit de precipitação no setor norte das regiões Norte e Nordeste do Brasil. A falta de chuva foi associada principalmente ao deslocamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) para o norte de sua posição climatológica, forçada, localmente, pelas condições de ligeiro resfriamento no Atlântico Tropical e pelas oscilações intrasazonais. Com isso, as chuvas ocorreram abaixo da climatologia nos setores norte e nordeste da região do NEB, onde em algumas localidades o déficit pluviométrico ultrapassou 200,00 mm. No município de Atalaia, a chuva observada no dia 25/05/2012 foi de 10,80 mm, com um acumulado mensal de 69,00 mm.

As imagens do satélite GOES 12 realçadas (13:30 UTC) com os recortes da América do Sul e da região Nordeste (CPTEC/INPE, 2017) (Figura

89 A e B) indicaram uma grande nebulosidade sobre o Oceano Atlântico, próxima ao Estado de Alagoas, sujeita à chuva na costa sul nesta região. Apesar da previsão ter indicado um possível aumento na chuva, e consequentemente aumento nas vazões, o maior valor observado de vazão foi de $12,80 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (ANA, 2017) no dia 25/05/2012, abaixo da expectativa da previsão de chuva para este dia.

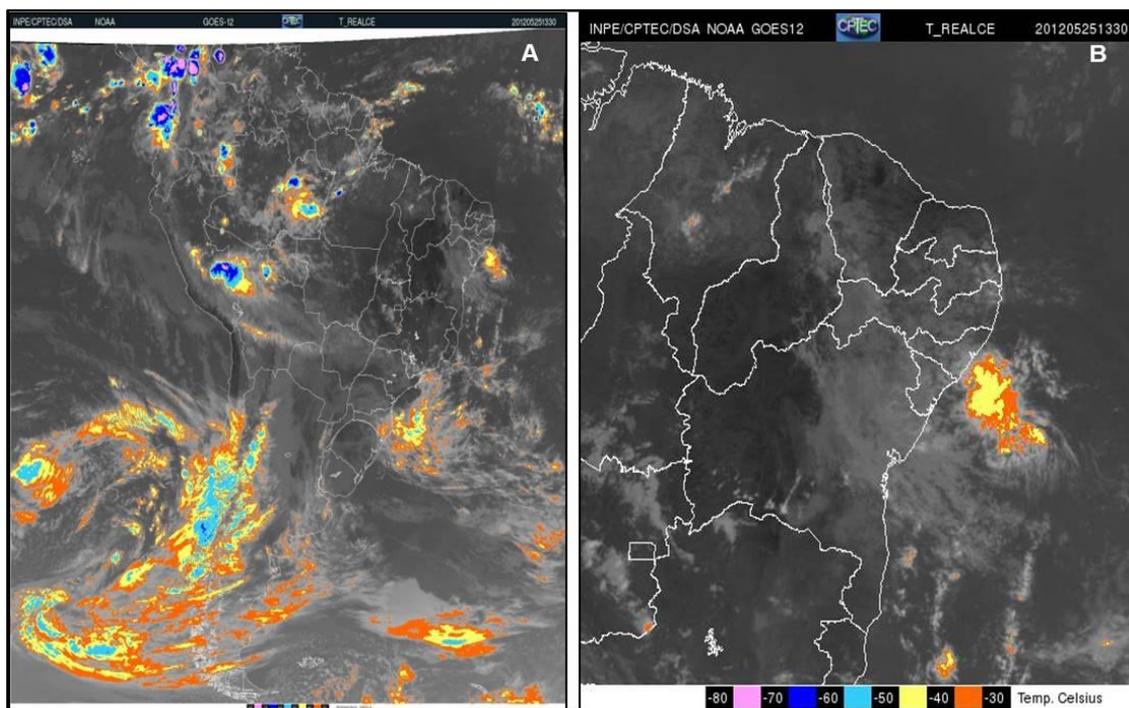


Figura 89. Imagens do satélite GOES 12 (13:30UTC) para o dia 25/05/2012.
(A) Recorte da América do Sul. (B) Recorte da Região Nordeste do Brasil.

Fonte: CPTEC/INPE (2017).

A Figura 90 apresenta o Hidrograma das vazões observadas e calculadas pelo modelo hidrológico MGB-IPH para o evento do período 21 a 27 de maio de 2012. No dia 25/05/2012 foi constatada uma pequena elevação na vazão do Rio Paraíba, no posto fluviométrico de Atalaia, passando o valor de $2,61 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no dia 21/05 para $12,80 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no dia 25/05/2012, devido ao evento de chuva registrado neste período, discutido na análise da previsão. Este aumento é irrelevante, visto que é considerado uma vazão mínima, sem impactos nas margens do Rio Paraíba.

O resultado dos dados calculados pelo modelo hidrológico MGB-IPH correspondeu bem ao aumento do Rio Paraíba, visto que a vazão calculada no mesmo dia (25/05/2012) foi de 14,16 m^3s^{-1} a atestar um bom resultado para evidenciar o acoplamento dos modelos atmosférico x hidrológico para vazões baixas.

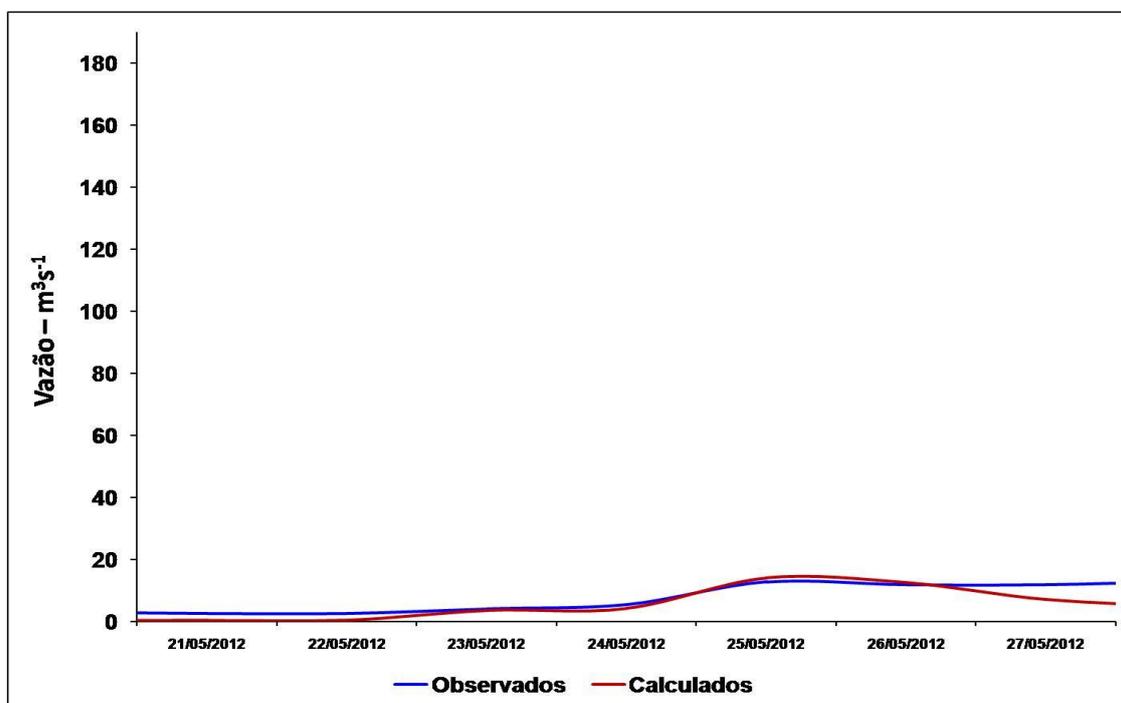


Figura 90. Hidrograma para o posto de Atalaia no período 21/05/2012 a 27/05/2012 (Calibração).

Evento-2 - 18 a 21/07/2012

O Evento-2 escolhido para esta análise apresentou um aumento maior nas vazões se comparado ao Evento-1. A maior vazão observada num período de oito (08) dias (14/07/2012 a 21/07/2012) foi de 66,20 m^3s^{-1} no dia 18/07/2012 (ANA, 2017). A menor vazão registrada neste período teve um índice de 12,80 m^3s^{-1} no dia 14/07/2012 (ANA, 2017).

De acordo com as análises sinóticas do CPTEC/INPE (2017) para este período em análise (14/07/2012 a 21/07/2012), houve um anticiclone centrado

no Oceano Atlântico em médios níveis da atmosfera (500 hPa), entre 15°S e 25°O, e de onde se estendeu uma crista que penetrou pela região do NEB. A atuação desses sistemas inibiu a nebulosidade em todo centro do país e diminuiu a humidade relativa da região.

Um sistema de baixa pressão, associado a zona frontal próxima a região Sudeste do Brasil favoreceu a formação de áreas de instabilidade e o aumento de nebulosidade sobre a região e sob influência da alta subtropical permanente no Oceano Atlântico, onde deixou a frente fria estacionária (CPTEC/INPE, 2017).

A alta subtropical também foi responsável pelo aumento do fluxo de humidade na região do NEB através do transporte de humidade pelos ventos húmidos provenientes de sudeste, que provocaram o aumento da nebulosidade (CPTEC/INPE, 2017).

Segundo o Climanálise (CPTEC/INPE, 2017), no mês de julho de 2012, choveu abaixo da média histórica em quase toda a região Nordeste. Apenas em áreas isoladas, os totais mensais apresentaram-se ligeiramente acima da média histórica. A formação de aglomerados de nuvens convectivas no início do mês foi decorrente da propagação de distúrbios no escoamento de leste e resultaram em 88,60 mm de chuva em Recife-PE, acumulados entre os dias 01/07/2012 e 02/07/2012. No litoral Norte de Alagoas, foi registrado 215,00 mm de chuva acumulada no mês na cidade de Porto de Pedras-AL, dos quais 72,00 mm foram registrados no dia 13/07/2012. No posto pluviométrico de Atalaia, a maior precipitação do mês foi registrada no dia 18/07/2012, com precipitação de 62,50 mm acumuladas neste dia (CPTEC/INPE, 2017).

As imagens do satélite GOES 12 realçadas (00:00 UTC) com os recortes da América do Sul e da região Nordeste (CPTEC/INPE, 2017) (Figura 91 A e B), mostraram pouca nebulosidade associada com chuva na costa Leste do NEB sujeita à precipitação, onde comprovou a previsão de pouca chuva para o dia 18/07/2012.

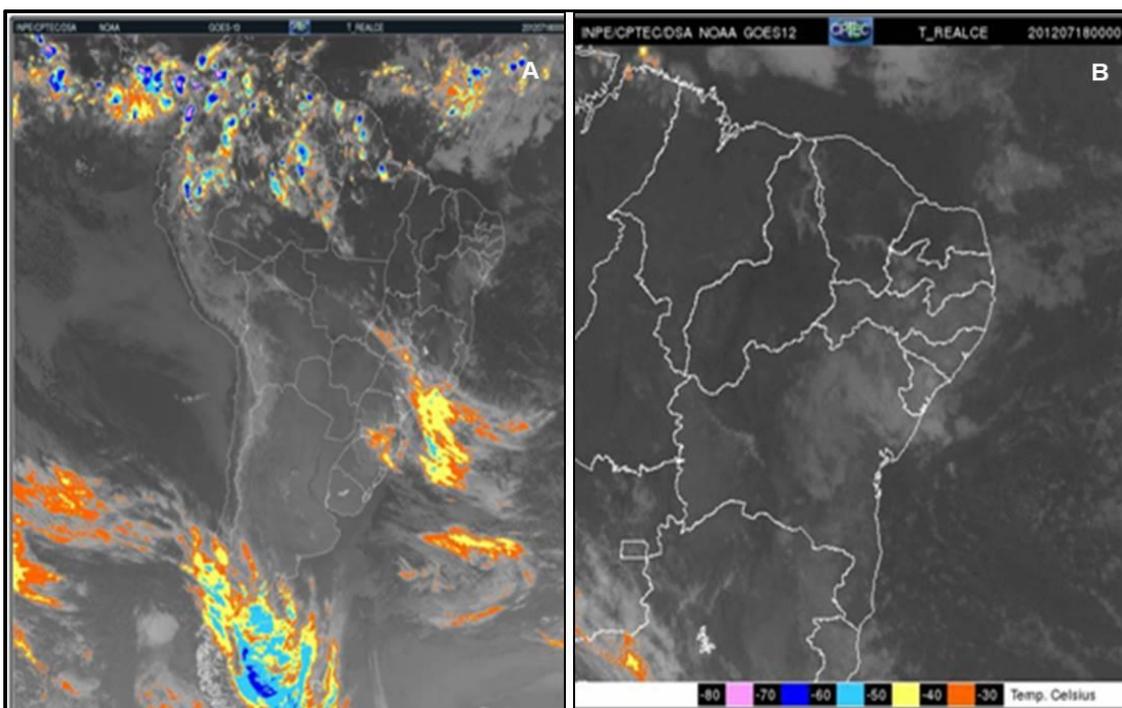


Figura 91. Imagens do satélite GOES 12 (00:00UTC) para o dia 18/07/2012.

(A) Recorte da América do Sul. (B) Recorte da Região Nordeste do Brasil.

Fonte: CPTEC/INPE (2017).

A Figura 92 apresenta o Hidrograma das vazões observadas e calculadas pelo modelo hidrológico MGB-IPH para o segundo evento em estudo, no período 15 a 20 de julho de 2012. A menor vazão observada neste período de seis (06) dias foi de $12,80 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no dia 15/07/2012. O valor encontrado para a vazão calculada foi de $12,70 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, a indicar que o modelo reagiu muito bem a este valor mínimo. A maior vazão observada foi registrada no dia 18/07/2012 com $66,20 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A vazão prevista para este dia foi de $35,27 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

O Hidrograma de dados calculados acompanhou bem os dados observados, mesmo subestimando o valor das vazões. Percebeu-se que o aumento do pico de vazão neste período estudado foi deslocado no tempo durante a sua ascensão, devido à deficiência na propagação da onda. Não há como estimar quantas horas o valor foi antecipado, visto que este trabalho

utilizou dados diários. Este fato foi observado também em outra data do estudo que será comentado a seguir.

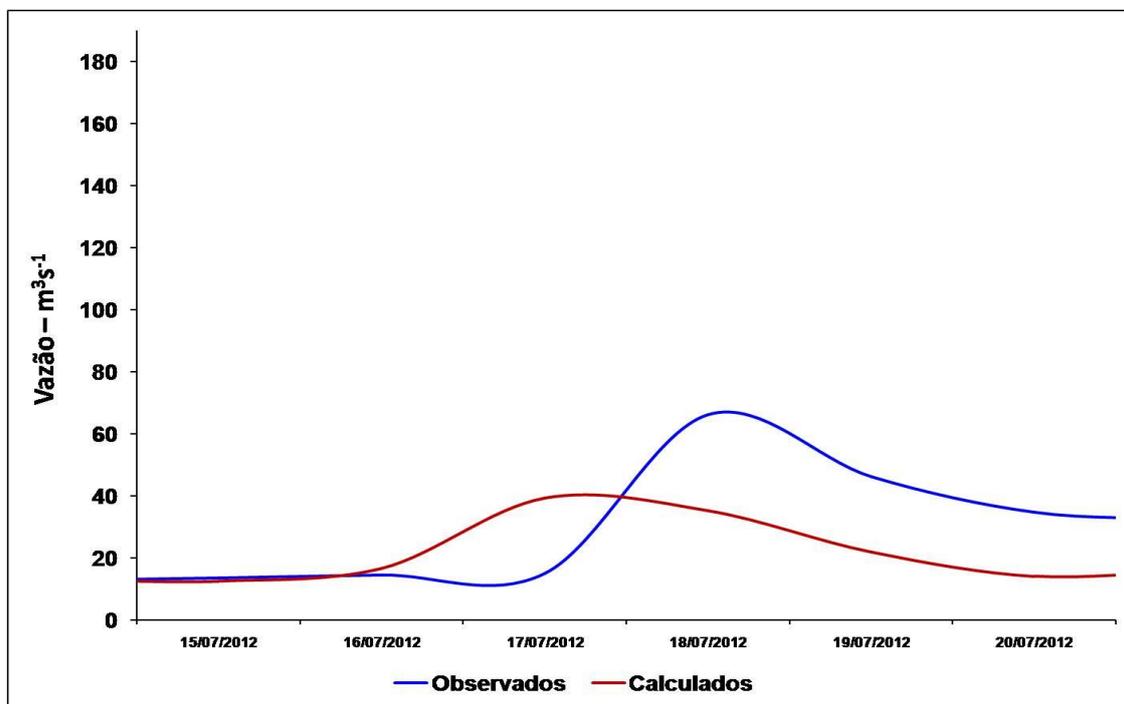


Figura 92. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 15/05/2012 a 20/05/2012 (Calibração).

Evento-3 - 02 a 10/07/2013

O período compreendido entre 02/07/2013 e 10/07/2013 foi o que apresentou a maior vazão observada para as 04 datas em estudo, com um valor de $144,19 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ no dia 04/07/2013 (ANA, 2017), considerado um registro significativo para o posto fluviométrico de Atalaia.

A análise sinótica disponibilizada pelo CPTEC/INPE (2017) para este período indicou que no dia 03/07/2013, em 500 hPa, foram observadas áreas com circulação anticiclônica (mais intensas), uma com o centro posicionado próximo a $12^\circ\text{S}/63^\circ\text{W}$ e crista associada, que dominou a circulação a norte de 15°S (sobre o continente) com reflexo sobre áreas do Nordeste e estendendo para o Noroeste Brasileiro. Neste evento, observou-se a atuação do anticiclone

pós-frontal com centro posicionado sobre o Oceano Atlântico em aproximadamente 25°S/45°O.

Na borda norte deste sistema houve o predomínio dos ventos de leste/sudeste na faixa norte do continente e de sudeste na faixa litorânea da região do Nordeste Brasileiro, que convergiram no setor a noroeste do anticiclone. Este padrão indicou onde se concentrou a maior instabilidade, pois contribuiu para a convergência de humidade do oceano para o continente (CPTEC/INPE, 2017).

Entre os Estados de Sergipe e do Rio Grande do Norte este padrão contribuiu para a advecção de humidade, e junto ao padrão descrito começou a gerar instabilidade desde o recôncavo Baiano até o Estado do Ceará, onde incluiu os Estados de Alagoas e de Pernambuco, evento este característico de Onda de Leste (CPTEC/INPE, 2017).

Segundo o Climanálise (CPTEC/INPE, 2017), o mês de julho de 2013 apresentou a predominância de anomalias positivas de precipitação nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, onde contrastou com o cenário observado no mês de junho de 2013. No leste da região Nordeste, a propagação de aglomerados de nuvens convectivas contribuiu para a ocorrência de alagamentos em várias cidades litorâneas. Foi registrado o valor de 87,00 mm no município de Porto de Pedras-AL no dia 03/07/2013, região Norte do Estado de Alagoas, e de 145,00 mm no município de Maceió-AL, que registrou um acumulado mensal de 107,00 mm acima da média histórica do município. Para o município de Atalaia, o registro pluviométrico neste dia foi de 40,80 mm e no dia posterior (04/07/2013) 64,30 mm, com um acumulado de 105,10 mm nos dois (02 dias). As imagens do satélite GOES 13 realçadas (12:00 UTC) (Figura 93 A e B) (CPTEC/INPE, 2017) para o dia 03/07/2013 apresentaram os aglomerados das nuvens convectivas responsáveis pelo aumento da precipitação para os dias de estudo.

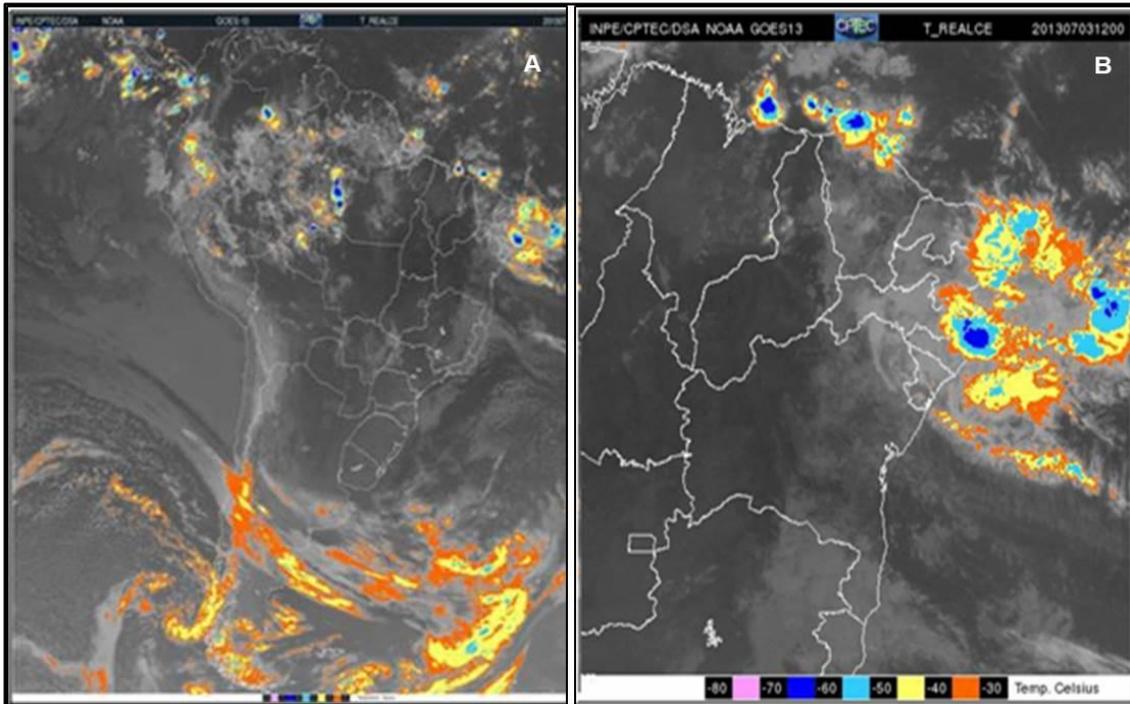


Figura 93. Imagens do satélite GOES 12 (00:00UTC) para o dia 03/07/2013.

(A) Recorte da América do Sul. (B) Recorte da Região Nordeste do Brasil.

Fonte: CPTEC/INPE (2017).

A Figura 94 apresenta o Hidrograma das vazões observadas e calculadas pelo modelo hidrológico MGB-IPH para o terceiro evento em estudo. De todos os quatro (04) eventos estudados foi o que apresentou os melhores resultados, se for levado em consideração o aumento da vazão máxima, comparada com vazões menores do período. Foi observado que os valores calculados foram maiores que os dados observados, a indicar a superestimação do modelo. Em todos os dias do estudo os valores das vazões calculadas foram superiores aos dados observados, menos no dia do pico da vazão, de $144,19 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, onde o valor calculado apresentou índice de $128,87 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, mas com uma diferença de $15,32 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, ou seja, 10,62% abaixo do valor observado, considerado mínimo para a diferença entre as vazões apresentadas.

A curva de vazão calculada acompanhou de uma maneira satisfatória os dados observados, mesmo com esta superestimação. Observou-se também

que houve um deslocamento do tempo na ascensão, onde os dados calculados no pico da vazão podem ter sido antecipados, fato este que só seria explicável com dados horários de vazões, inexistentes para este estudo.

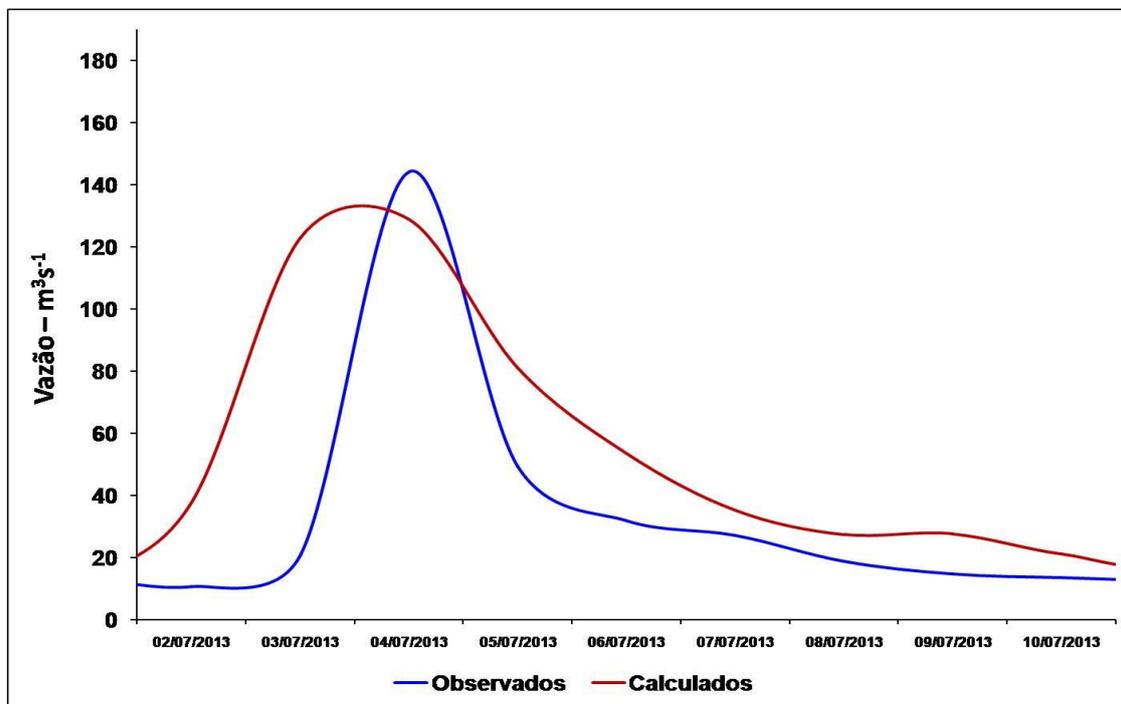


Figura 94. Hidrograma para o posto fluviométrico de Atalaia no período de 02/07/2013 a 10/07/2013 (Validação).

Evento-4- 27/07/2013 a 04/08/2013

O Evento-4 selecionado foi o período de 27/07/2013 a 04/08/2013. De acordo com as análises sinóticas do CPTEC/INPE (2017), durante este evento, foi observada uma ampla área de alta pressão, que indicou a presença do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) com isóbara central de 1020 hPa sobre o Atlântico, próximo à 23°S/35°W. A circulação associada a este sistema atuou sobre áreas das Regiões Sul, Sudeste, Nordeste e parte leste do Centro-Oeste Brasileiro. Segundo o CPTEC/INPE (2017), na região ao Norte de 15°S, a circulação de Sudeste refletiu a atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico em superfície, e influenciou o tempo sobre o continente com ventos de sudeste que transportaram umidade, principalmente para a faixa

(Leste) litorânea da região Nordeste do Brasil, onde auxiliou, desta forma, a formação de nebulosidade rasa e períodos com chuva neste setor.

O mês de agosto de 2013 apresentou chuvas acima da média no leste da região Nordeste, de acordo com o Climanálise (CPTEC/INPE, 2017) para este período. O excesso de chuva foi maior no leste da região Nordeste, entre o Rio Grande do Norte e o sul da Bahia, inclusive nos Estados de Pernambuco e de Alagoas. Na cidade de Palmeira dos Índios, no sertão do Estado de Alagoas, os 101,50 mm de chuva acumulados no mês de agosto excederam a climatologia mensal em aproximadamente 96% (INMET, 2017). A maior precipitação no município de Atalaia no mês de agosto foi registrada no dia 01/08/2013, com acumulado diário de 36,40 mm. As Figuras do Satélite GOES 12 realçadas (18:00 UTC) (Figura 95 A e B), com recorte para a América do Sul e região Nordeste do Brasil para este dia, demonstraram grande nebulosidade na costa leste dos Estados de Alagoas e Sergipe.

Para este Evento-4 a vazão foi caracterizada por uma elevação de menor magnitude em alguns dias que antecederam ao evento principal, no dia 27/07/2013, com vazões médias próximas a $60,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Após dois (02) dias de recessão desta menor cheia, com vazão a diminuir para $30,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, deu-se início à segunda elevação nos valores registrados de vazão, com o pico de vazão no dia 01/08/2013, com valor de $109,55 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. O Hidrograma com os dados calculados x observados correspondeu relativamente bem a esta recessão e aumento de vazões.

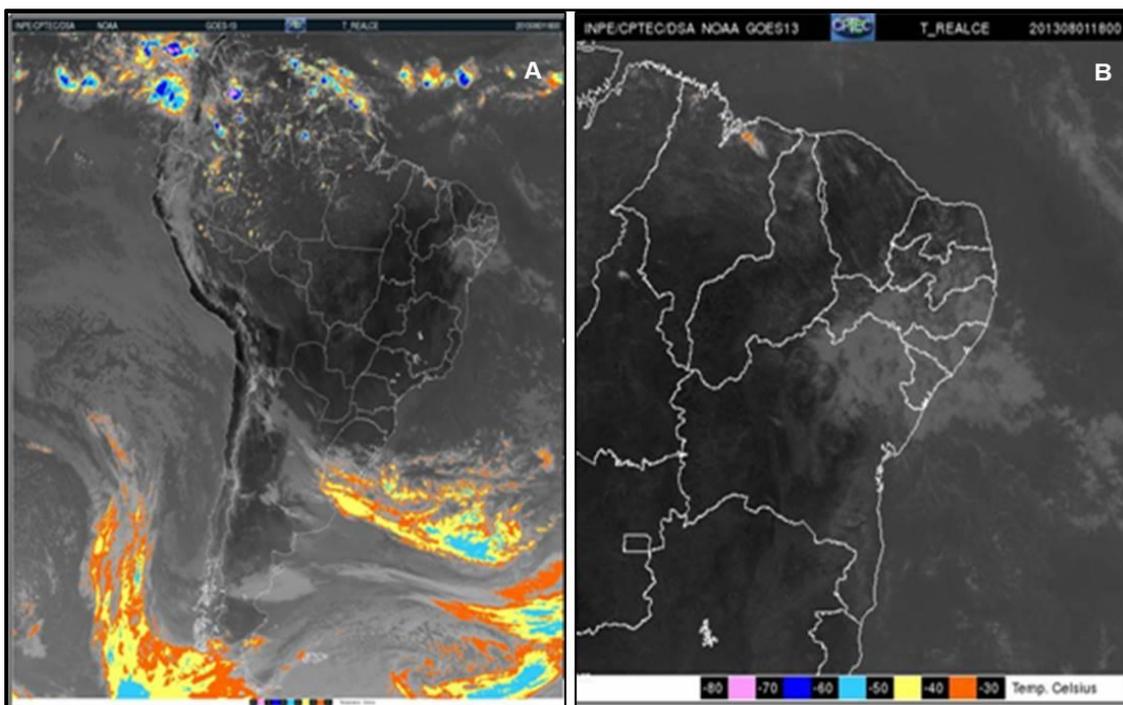


Figura 95. Imagens do satélite GOES 12 (00:00UTC) para o dia 18/07/2013.

(A) Recorte da América do Sul. (B) Recorte da Região Nordeste do Brasil.

Fonte: CPTEC/INPE (2017).

Na análise anterior (Evento-3), o modelo hidrológico MGB-IPH se comportou suficientemente bem em vazões abaixo de $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Para os dois (02) eventos de pico registrados deste período em análise, o modelo subestimou seus valores simulados, mesmo tendo a curva a acompanhar os dados observados. A causa disto pode ter sido a uma subestimativa da chuva por parte de alguns postos pluviométricos, após terem seus dados substituídos pelos dados do modelo atmosférico ETA. Esta observação poderá servir para as outras datas estudadas, porém, vale ressaltar que em todas as análises feitas com a utilização do modelo hidrológico MGB-IPH, em grande parte dos resultados foi observado uma subestimação dos resultados calculados. A Figura 96 apresenta o Hidrograma com os dados observados e calculados.

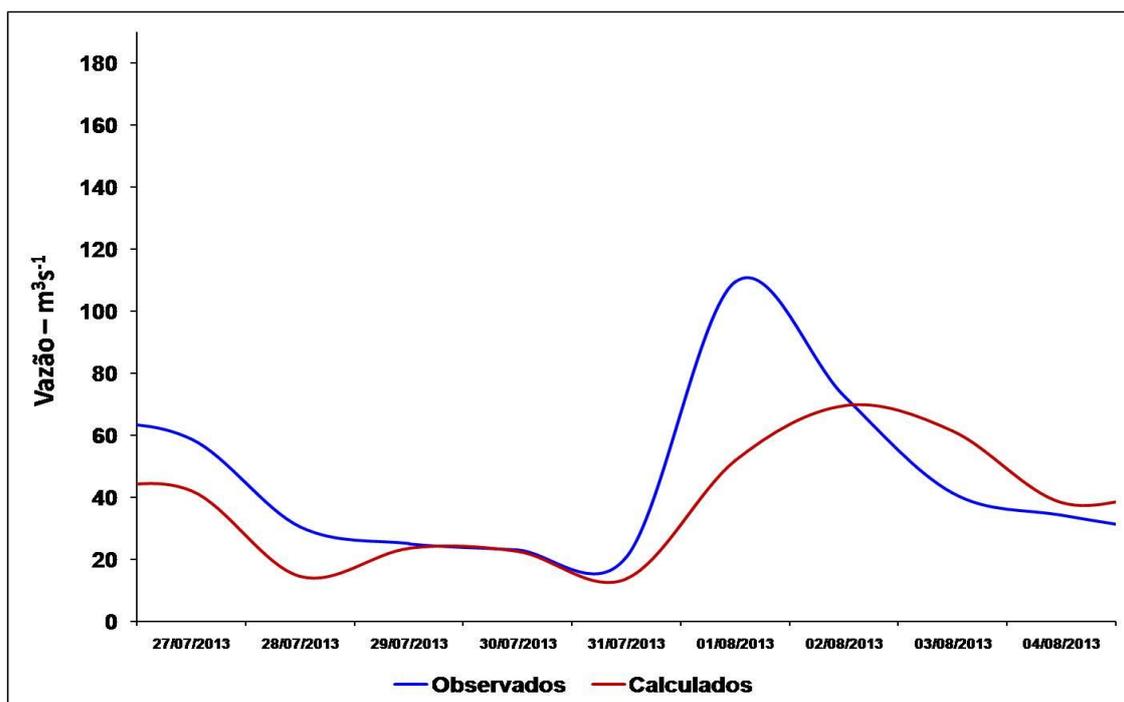


Figura 96. Hidrograma para o posto de Atalaia no período de 27/07/2013 a 04/07/2013 (Validação).

5.3.3 Seleção final dos dados pluviométricos a utilizar no modelo hidrológico MGB-IPH.

De acordo com os Testes propostos, observou-se que para a utilização do modelo hidrológico MGB-IPH, os melhores resultados apresentados foram com a utilização dos dados observados. Vale ressaltar que, é de extrema importância a seleção dos postos a serem trabalhados no estudo, visto que, a quantidade de dados com falhas na região de interesse pode dificultar a calibração do modelo e conseqüentemente, os seus resultados.

5.3.4 Dados climáticos utilizados

Os dados climáticos utilizados foram disponibilizados pela estação climatológica de Palmeira dos Índios-AL (INMET, 2017), por possuir sua área no limite da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba e ser a única estação com dados disponíveis em toda a área de estudo, para o período analisado. Foram

gerados dois (02) arquivos de entrada, um com médias mensais (Tabela 33) e outro com dados diários, a constar as seguintes variáveis meteorológicas: temperatura média mensal (°C); umidade relativa do ar (%); insolação (horas/dia); vento (m.s⁻¹); e pressão atmosférica (Kpa).

MÊS	TEMPERATURA (°C)	UMIDADE RELATIVA DO AR (%)	INSOLAÇÃO (horas/dia)	VENTO (m/s)	PRESSÃO ATM (atm)
Janeiro	26,30	68,20	7,90	3,80	98,00
Fevereiro	26,50	68,10	7,70	3,60	98,00
Março	26,50	69,00	7,40	3,50	98,00
Abril	26,70	73,70	7,40	3,00	98,10
Mai	24,50	79,10	6,20	2,50	98,20
Junho	22,80	85,00	4,80	2,20	98,40
Julho	22,10	84,10	5,30	2,20	98,50
Agosto	22,10	82,40	6,00	2,50	98,50
Setembro	23,00	77,50	7,20	3,20	98,40
Outubro	24,50	72,20	8,50	4,00	98,20
Novembro	26,00	65,70	9,60	4,30	98,10
Dezembro	26,40	65,60	8,90	4,20	98,00

Tabela 33. Médias climatológicas do período 1990 a 2014 da estação climatológica de Palmeira dos Índios.

Fonte: INMET.

5.3.5 Parâmetros fixos e calibráveis utilizados

Os valores dos parâmetros fixos utilizados na calibração do modelo hidrológico MGB-IPH nos Testes 1, 3, e 4 foram:

- Albedo - Foram utilizados valores médios mensais, divididos por blocos, de acordo com a cobertura do solo. Seus valores variaram de 0,13 a 0,18;
- Índice de Área Foliar - Não foi calibrado, embora represente variação ao longo do tempo. Foram utilizados valores mensais divididos por blocos. Seus valores variaram de 2,00 a 6,00 m²/m²;
- Altura das Árvores - Serviram para calcular a resistência aerodinâmica à evapotranspiração. Foram utilizados dados mensais divididos por blocos. Seus valores variaram de 2,00 a 8,00 m; e
- Resistência Superficial - Foram utilizados valores médios mensais divididos por blocos, que representaram a sua variabilidade sazonal. Seus valores variaram de 80,00 a 100,00 s/m.

Os valores dos parâmetros calibráveis utilizados na calibração do Modelo MGB-IPH nos Testes 1, 3 e 4 foram:

- *Wm* - Este parâmetro apresentou os maiores valores nos blocos 04 e 05 (2.000,00 e 1.900,00 mm) devido às características de cada URH nos tipos de solo profundo com pastagem e profundo com floresta, respectivamente. Os solos delgados apresentados nos blocos 1, 2 e 6 foram os que apresentaram a maior contribuição para o escoamento superficial, devido ao seu tipo, a altitude e declividade do terreno. Receberam valores entre 670,00 mm e 450,00 mm. O solo do bloco 03 foi o que apresentou o menor valor com 400,00 mm;

- *b* - Os valores variaram entre 0,01 e 0,35. Quanto maior o seu valor, mais instável ficou o Hidrograma;
- *Kbas* - Apresentou melhores resultados para todos os blocos dos solos estudados, com valores de $0,10 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$;
- *KINT* - Para este parâmetro foram adotados valores maiores para os solos porosos, que são os mais profundos dos blocos 04 e 05. Os valores variaram entre 08,00 e 11,00 mm/dia. Para os blocos de solos delgados (blocos 01, 02 e 06) os valores foram menores;
- *XL* - Este coeficiente apresentou os melhores resultados com um valor fixo de 0,60 para todos os blocos dos solos estudados;
- *CAP* - Como o Parâmetro que representa o fluxo de água na superfície do solo é desprezível neste modelo, os valores de todos os blocos foram Zero (0,00); e
- *WC* - Representa a taxa de absorção do solo e possui relação direta com o parâmetro *Wm*. Os valores neste estudo ficaram entre 0,30 e 0,75 mm.

Os valores dos parâmetros calibráveis utilizados nos Testes 1, 3 e 4 podem ser observados na Tabela 34. Os valores destes parâmetros foram distribuídos em seis (06) blocos hidrológicos, de acordo com os tipos de solos e vegetação presentes.

BLOCOS		Wm	B	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Solo Delgado + Vegetação pouco densa	1	670,00	0,01	0,10	10,50	0,60	0,00	0,70
Solo Delgado + Pastagem	2	520,00	0,20	0,10	10,50	0,60	0,00	0,40
Solo Profundo + Vegetação pouco densa	3	400,00	0,35	0,10	11,00	0,60	0,00	0,30
Solo Profundo+ Pastagem	4	2.000,00	0,33	0,10	11,00	0,60	0,00	0,75
Solo Profundo + Floresta	5	1.900,00	0,15	0,10	11,00	0,60	0,00	0,50
Solo Delgado + Floresta descontínua	6	450,00	0,11	0,10	08,00	0,60	0,00	0,70

Tabela 34. Parâmetros Calibráveis utilizados nos Teste-1, 3 e 4.

Os parâmetros calibráveis *CS*, *CI* e *Cb* foram ajustados no final da calibração dos outros valores e podem ser observados na Tabela 35.

BLOCOS	CS	CI	CB	QB m ³ s ⁻¹ .km ²
Todos	14,50	120,00	6.200,00	0,00

Tabela 35. Parâmetros calibráveis utilizados no Teste-1, 3 e 4.

Os valores dos parâmetros calibráveis utilizados na calibração do Modelo hidrológico MGB-IPH no Teste-2 foram:

- *Wm* - Este parâmetro apresentou o maior valor no bloco 05 (2.000,00 mm) devido às características de cada URH nos tipos de solo profundo com floresta. O bloco 04 (solo profundo + pasto) também apresentou valor mais alto (730,00 mm) que nos solos delgados. Os solos delgados, apresentados nos blocos 1, 2 e 6, foram os que apresentaram a maior contribuição para o escoamento superficial, devido ao seu tipo de solo e à altitude e declividade do terreno, conforme descritos no Teste-1. Receberam valores entre 200,00 mm e 620,00 mm;
- *b* - Os valores variaram entre 0,07 e 1,95;
- *Kbas* - Apresentou melhores resultados com valores variando entre $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $0,15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;
- *KINT* - Os valores variaram entre 10,50 e 38,00 mm/dia;
- *XL* - Este coeficiente apresentou os melhores resultados com valores entre 0,20 e 0,60;
- *CAP* - Como o Parâmetro que representa o fluxo de água na superfície do solo é desprezível neste modelo, os valores de todos os blocos foram Zero (0,00); e
- *WC* - Os valores deste parâmetro ficaram entre 0,19 e 0,65 mm.

Os valores dos parâmetros calibráveis utilizados no Teste-2 podem ser observados na Tabela 36.

BLOCOS		Wm	B	Kbas	Kint	XL	CAP	Wc
Solo Delgado + Vegetação pouco densa	1	620,00	0,09	0,15	20,50	0,20	0,00	0,57
Solo Delgado + Pastagem	2	400,00	0,30	0,10	10,50	0,30	0,00	0,19
Solo Profundo + Vegetação pouco densa	3	470,00	0,07	0,05	10,50	0,20	0,00	0,65
Solo Profundo+ Pastagem	4	730,00	0,10	0,09	38,00	0,60	0,00	0,55
Solo Profundo + Floresta	5	2.000,00	1,95	0,15	21,00	0,60	0,00	0,60
Solo Delgado + Floresta descontínua	6	200,00	0,09	0,15	38,00	0,60	0,00	0,70

Tabela 36. Parâmetros Calibráveis utilizados no Teste-2.

Os parâmetros calibráveis CS , C e Cb foram reajustados no final da calibração dos outros valores e podem ser observados na Tabela 37.

BLOCOS	CS	CI	CB	QB m ³ s ⁻¹ .km ²
Todos	30,50	60,00	2.000,00	0,00

Tabela 37. Parâmetros calibráveis utilizados no Teste-2.

5.3.6 Mapas de entrada

Os arquivos de formato raster finais que foram criados e fornecidos como dados de entrada do Prepro_MGB foram: MDE (Figura 97); discretização da bacia (Figura 98); solos (Figura 99); direção dos fluxos de drenagem (Figura 100). solos reclassificados (Figura 101); tipo de uso e cobertura vegetal (Figura 102) e Unidades de Repostas Hidrológicas (URH) (Blocos) (Figura 103). As URH's foram definidas a partir da reclassificação dos mapas de solo e de uso e cobertura vegetal.

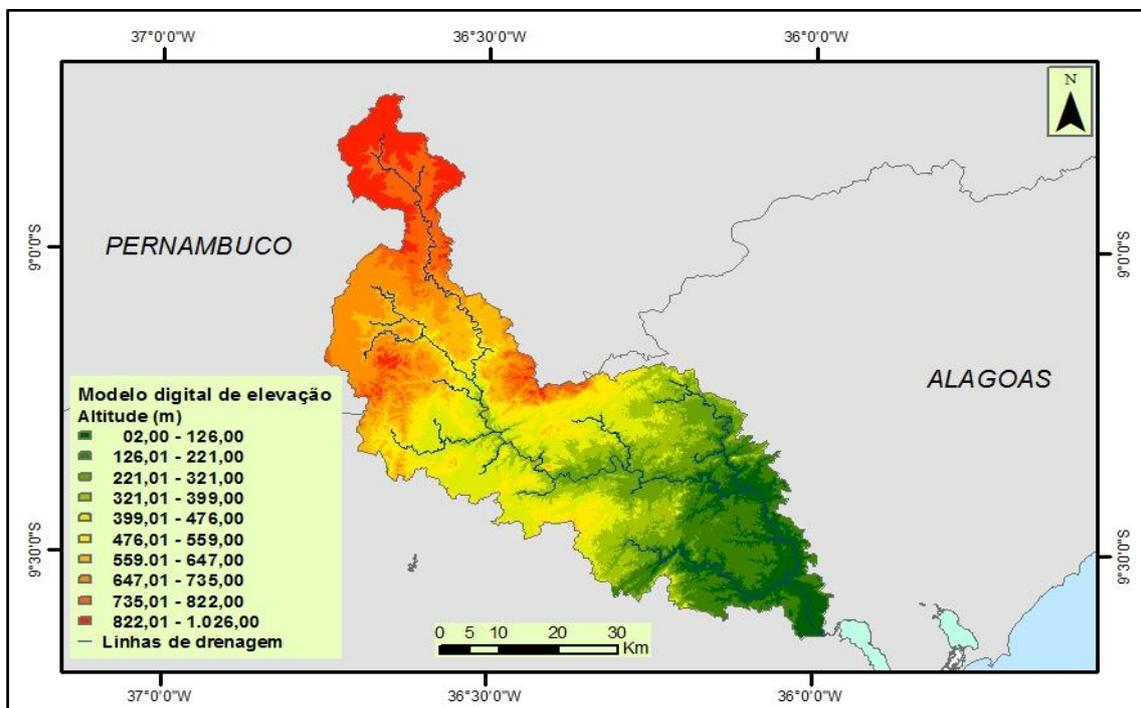


Figura 97. Mapa do Modelo Digital de Elevação (MDE).

Fonte: Adaptado de GAMA (2013).

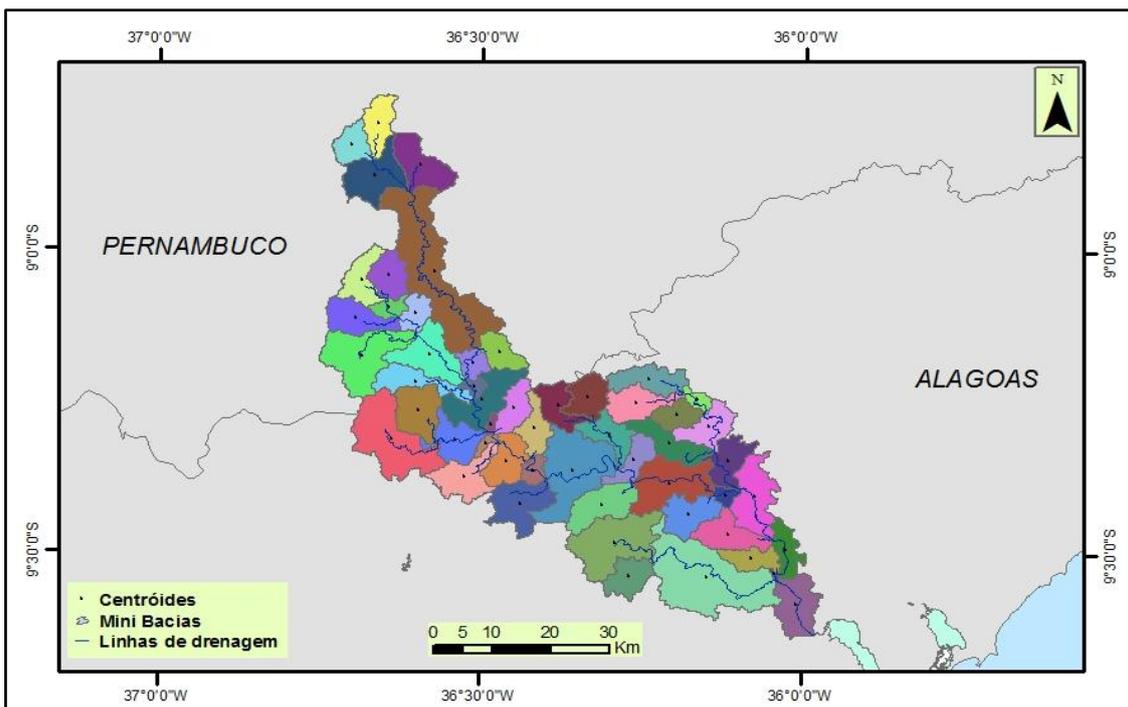


Figura 98. Mapa de Discretização em Mini-Bacias.

Fonte: Adaptado de GAMA (2013).

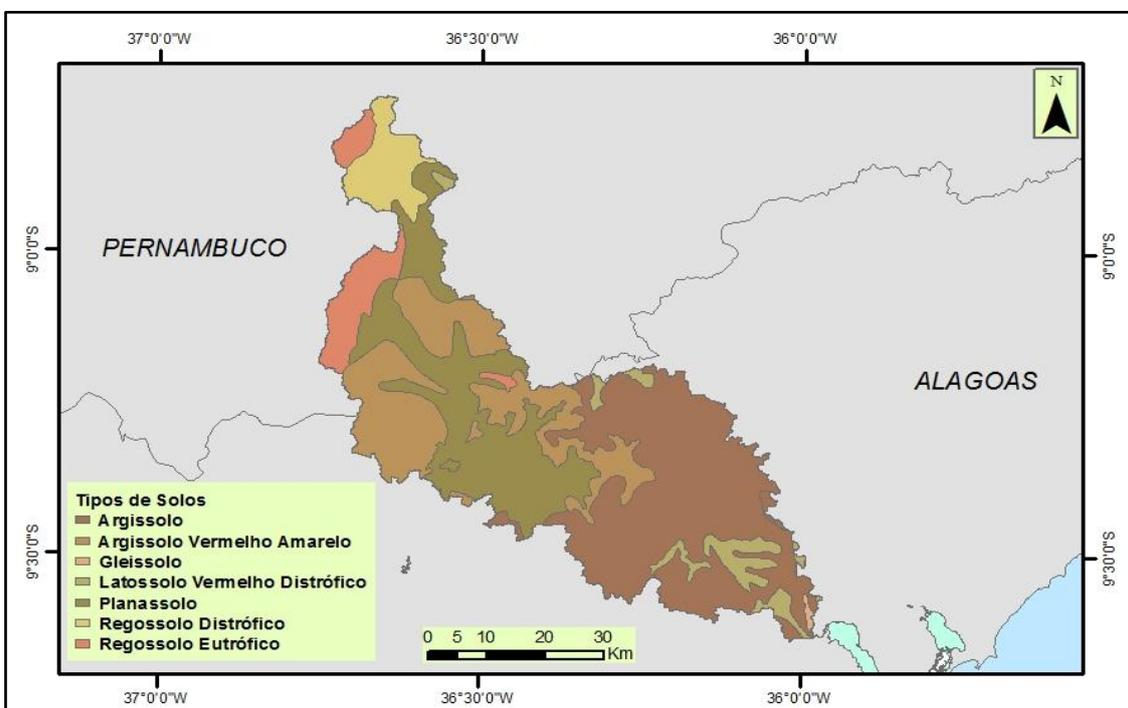


Figura 99. Mapa de Solos

Fonte: Adaptado de GAMA (2013).

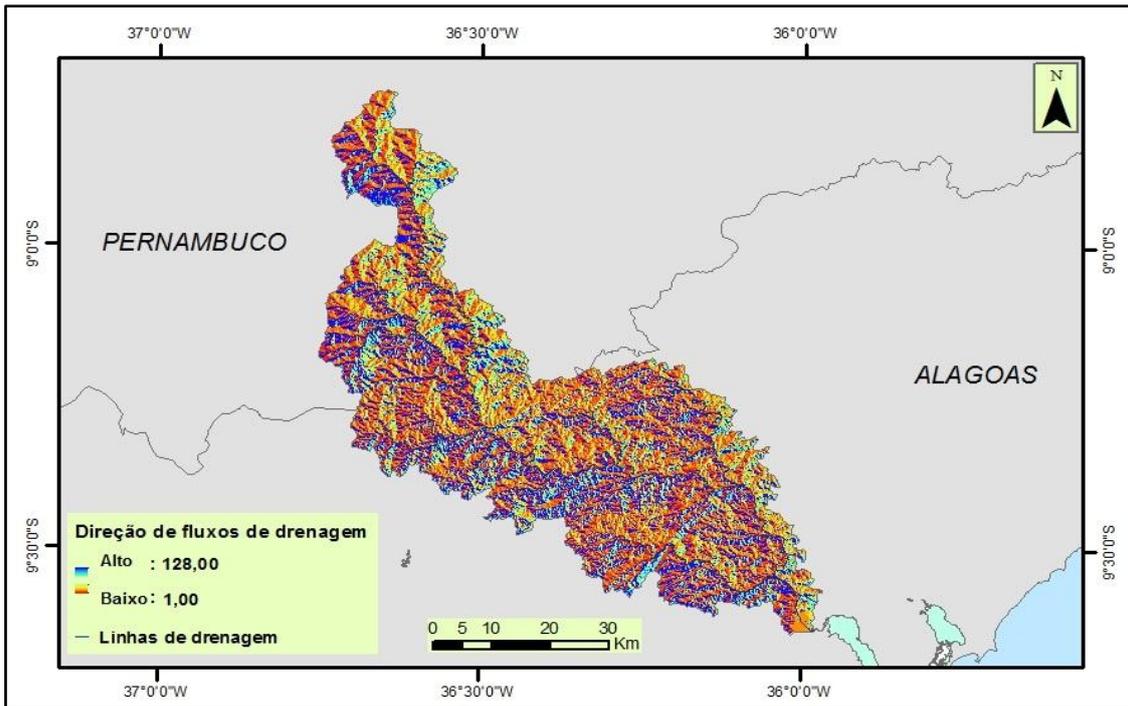


Figura 100. Mapa de direção dos fluxos de drenagem com relação aos pixels vizinhos.

Fonte: Adaptado de GAMA (2013).

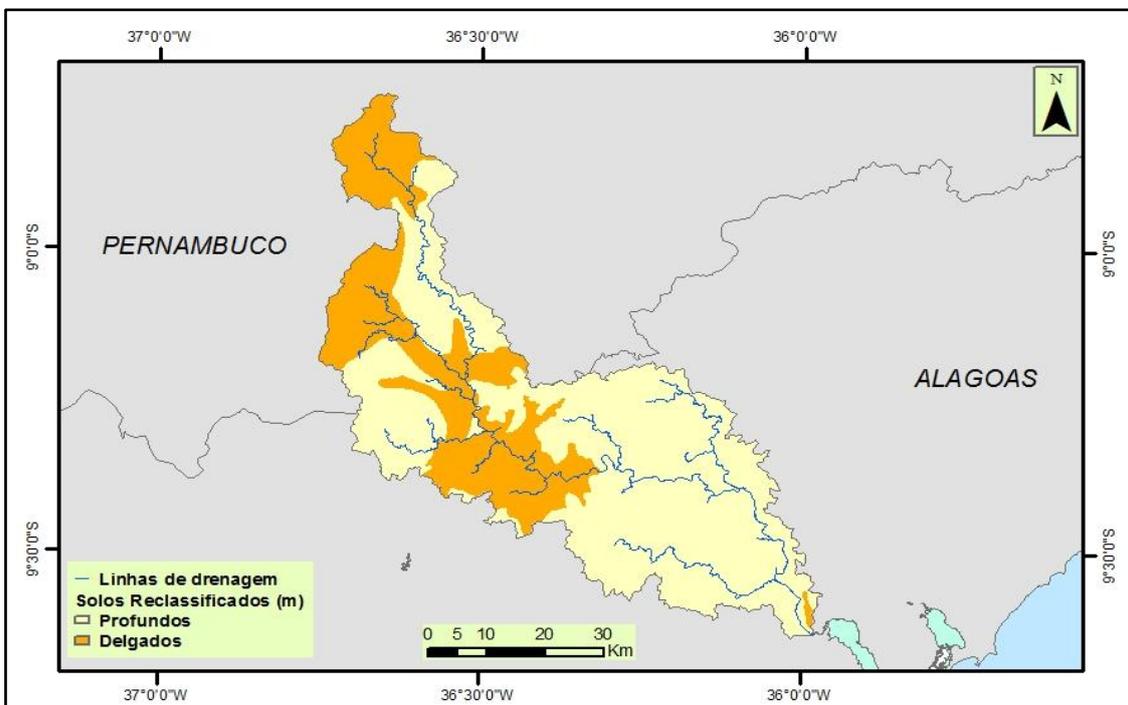


Figura 101. Mapa de Solos reclassificados.

Fonte: Adaptado de GAMA (2013).

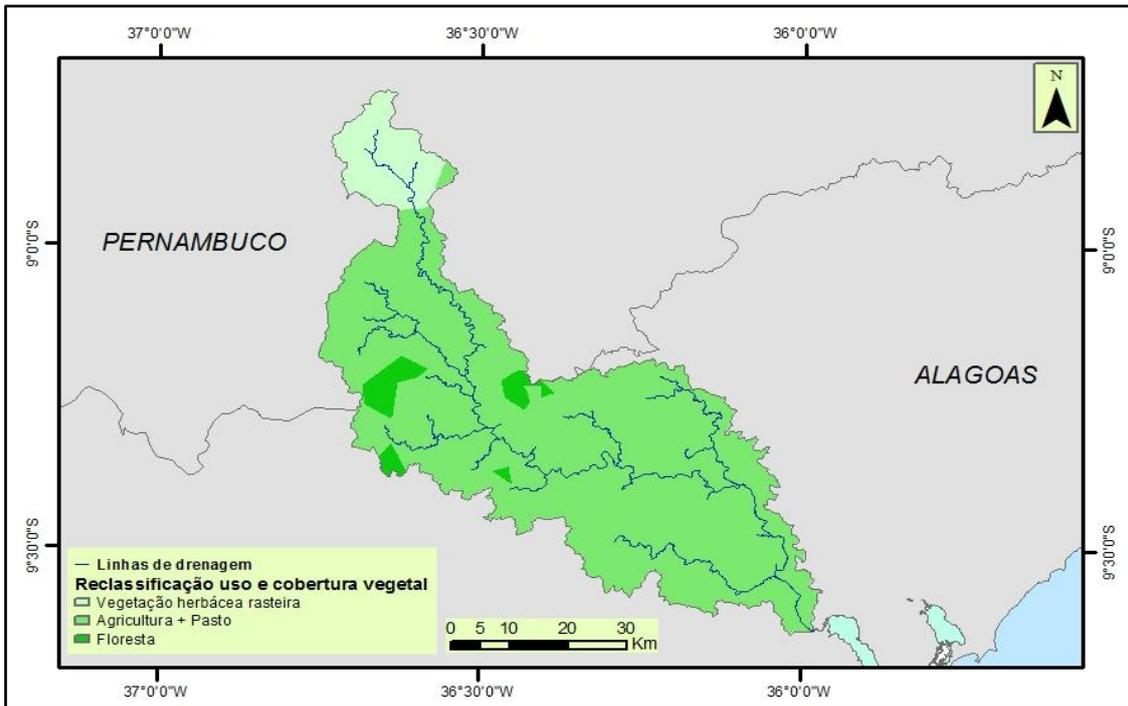


Figura 102. Mapa de Uso e Cobertura Vegetal Reclassificado.

Fonte: Adaptado de GAMA (2011).

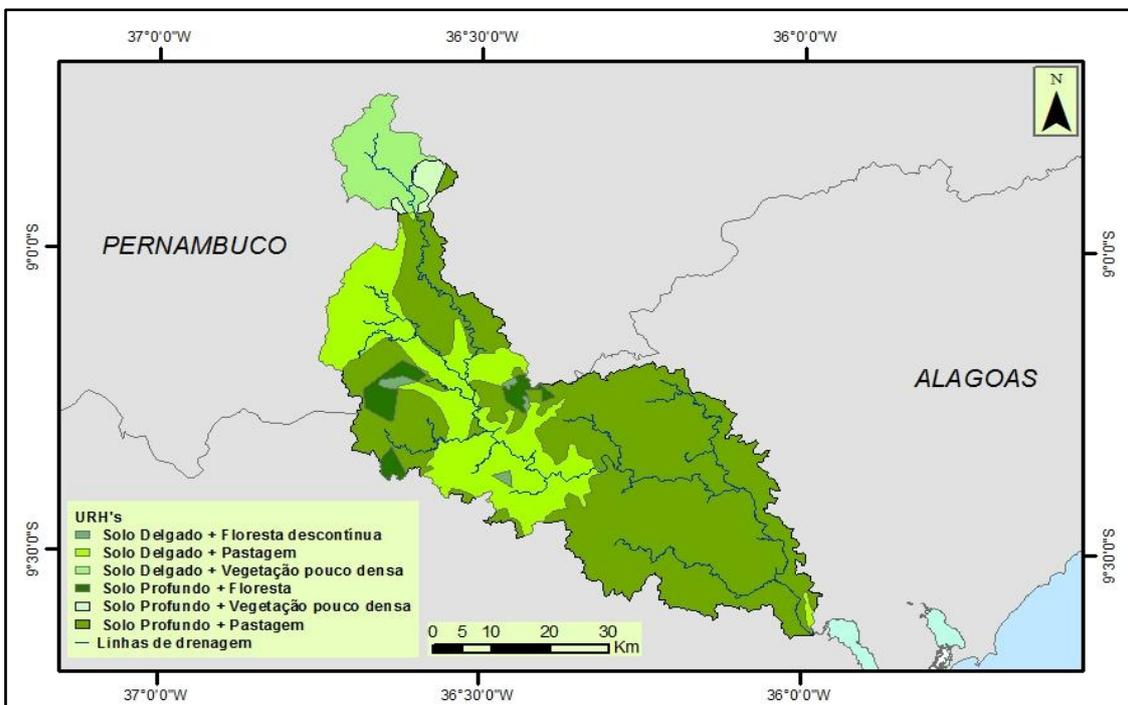


Figura 103. Mapa de Unidades de Repostas Hidrológicas (URH's).

Fonte: Adaptado de GAMA (2011).

5.3.7 Análise dos Hidrogramas de arranque

Inicialmente foram gerados Hidrogramas para todos os Testes propostos com os dados iniciais dos parâmetros fixos e calibráveis, de acordo com valores disponibilizados na literatura. Como os resultados dos coeficientes utilizados para as análises (Nash-Sutcliffe, Pearson e Erro de Volume) apresentaram valores muito baixos, que indicaram baixos índices de correlação entre os dados de vazão calculados e observados, foi necessária a calibração inicial e posteriormente a validação dos resultados. Os Hidrogramas de arranque gerados serviram para a indicação das vazões calculadas e seus respectivos graus de incertezas, que serviram para atestar da grande necessidade da calibração do modelo hidrológico MGB-IPH, para o desenvolvimento dos trabalhos propostos.

5.3.8 Resultados e discussão dos Hidrogramas simulados na área do caso de estudo.

De uma maneira geral, as vazões calculadas apresentaram bons resultados, tanto no período de calibração, quanto no período de validação dos resultados. As séries calculadas apresentaram uma boa consistência com os dados utilizados (Observados, MERGE e ETA), a indicar os períodos com picos de cheias e períodos secos. O modelo hidrológico MGB-IPH conseguiu ser bem calibrado e validado, em todos os Testes propostos. Os valores encontrados dos coeficientes de correlação apresentaram valores > que 0,60, a atingir valores de até 0,92, na sua maioria dos resultados. Vale ressaltar que, o modelo aplicado apresentou valores baixos para vazões de pico calculadas em parte dos Testes, demonstrados nos Hidrogramas apresentados, mesmo com as indicações de correlações com resultados de moderados a fortes (SHIMAKURA, 2006).

Salienta-se que o Teste-3 (dados pluviométricos separados por sazonalidade climática) apresentou melhores resultados para os municípios de Viçosa e Atalaia. Para o município de Quebrangulo, os resultados mais

favoráveis foram os aplicados no Teste-1. Observou-se que os dados observados apresentaram resultados mais estáveis que àqueles gerados com dados MERGE, independentemente do formato utilizado (dados observados normais ou dados separados por sazonalidade).

Os resultados gerados no Teste-4 (acoplamento do modelo atmosférico ETA com o modelo hidrológico MGB-IPH) demonstraram que a utilização do modelo atmosférico ETA é uma ferramenta eficiente no Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC), porém, a utilização em anos onde não foram apresentados valores expressivos de vazões, dificultou a eficácia nas informações do seu acoplamento.

Os resultados indicaram que para um sistema de monitoramento e prevenção de cheias, com a necessidade de cálculos de vazões extremas, o modelo hidrológico MGB-IPH apesar de ter conseguido resultados satisfatórios dos coeficientes de correlações, não mostrou ser ideal na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba de maneira individual, ou seja, com a utilização apenas deste modelo hidrológico no SMC. Um dos motivos para a ineficiência no cálculo de vazões extremas pode ter sido a pouca quantidade de dados de entrada pluviométricos e fluviométricos disponibilizados para a utilização do modelo hidrológico em estudo.

5.4 Aplicação da metodologia do modelo hidráulico HEC-RAS desenvolvida - Fluxograma

A metodologia aplicada ao caso de estudo foi resumida de forma esquemática no fluxograma apresentado na Figura 104 que completa a parte da contribuição do modelo hidráulico HEC-RAS do fluxograma apresentado no Tópico 4.5.

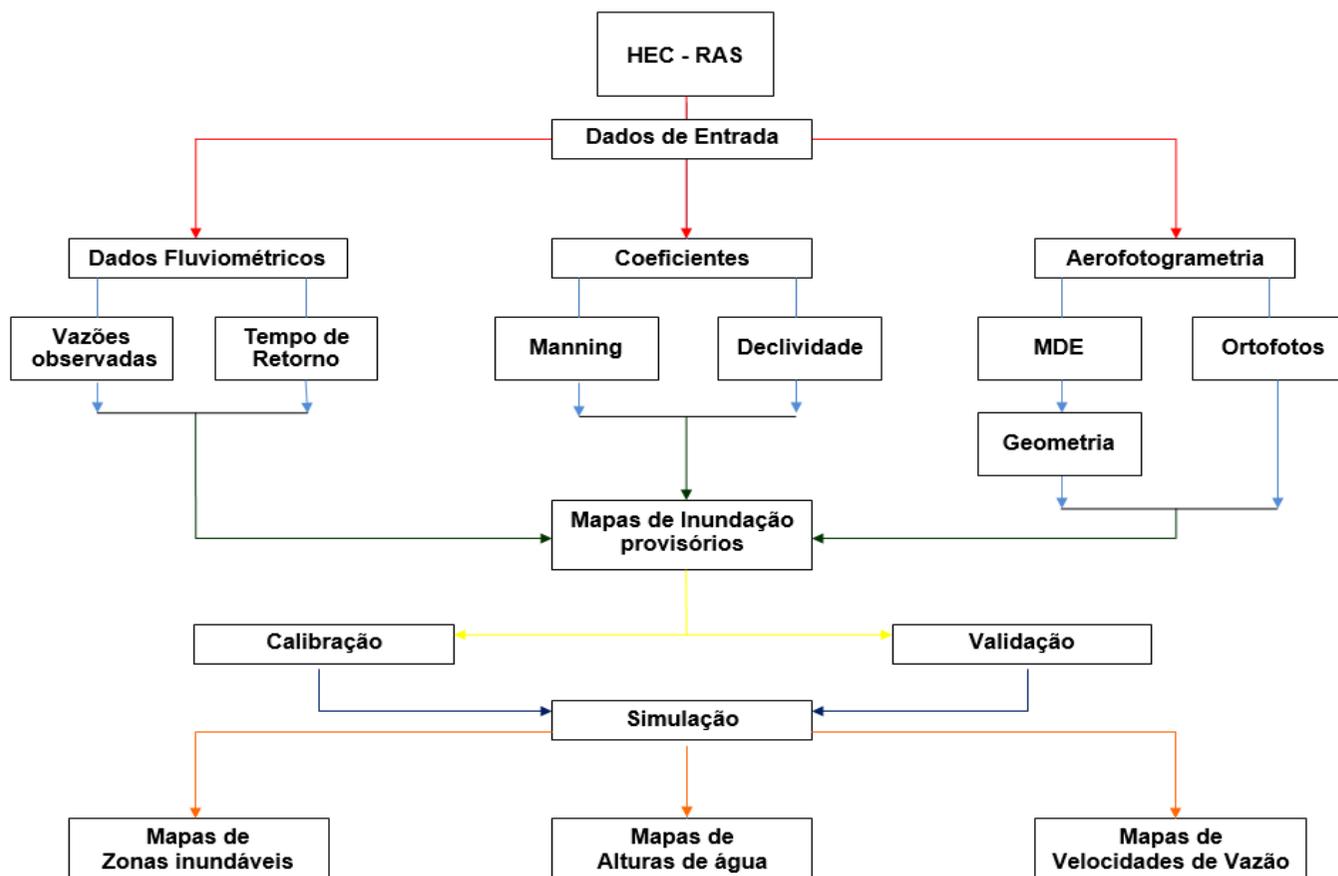


Figura 104. Fluxograma aplicado ao desenvolvimento do modelo Hidráulico HEC-RAS.

5.5 Contribuição do modelo HEC-HAS para o Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC).

Os mapas de inundação são produtos de simulação hidráulica indispensáveis para a análise e gestão dos riscos causados por eventos extremos de precipitação e vazão. O zoneamento realizado na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba determinou as áreas onde existe um elevado risco de inundação, que ao longo dos anos provocou danos sociais (mortes) e económico (materiais), como foi o caso dos eventos extremos dos anos de 2000 e 2010. Este levantamento é de extrema importância para o planeamento das áreas inundáveis dos municípios de Quebrangulo, Viçosa e Atalaia do Estado de Alagoas. Foram gerados os mapas de zonas inundáveis, altura de água e velocidade, de acordo com a utilização dos dados necessários para a execução do modelo hidráulico HEC-RAS.

5.5.1 Dados fluviométricos utilizados: Vazões observadas e Tempo de Retorno

As condições iniciais dos dados fluviométricos utilizados para os trechos trabalhados pelo modelo hidráulico HEC-RAS foram definidas de acordo com os dados diários de vazões observadas disponíveis das estações fluviométricas.

Inicialmente, foram utilizados os dados hidrológicos da grande cheia de 2010, no município de Atalaia, disponibilizados pela ANA (2017). Para os municípios de Quebrangulo e Viçosa não existem dados hidrológicos para o mesmo período, visto que as estações fluviométricas destes municípios foram arrastadas com a força da inundação.

Após a delimitação das áreas atingidas na cheia de 2010, foram feitas as análises com a utilização das vazões calculadas de acordo com a distribuição de Gumbel para o tempo de retorno. Na confecção dos mapas foram utilizados os períodos de 10, 20, 50 e 100 anos (Tabela 38). Os períodos

de 02 e 05 anos foram descartados, devido aos valores de vazão serem mais baixos. Foram gerados os mapas das zonas inundáveis, assim como os mapas de altura de água e de velocidade corrente da água para cada município em estudo, onde foi utilizada a mesma metodologia da geração dos dados e mapas da calibração (Cheia de 2010).

QUEBRANGULO			
TEMPO DE RETORNO (ANOS)	LIMITES DE 95% DE CONFIANÇA PARA VAZÃO (m³s⁻¹)		ESTIMATIVA DE VAZÃO (m³s⁻¹)
	INFERIOR	SUPERIOR	
10	124,44	258,86	191,65
20	119,43	320,54	219,99
50	85,83	418,45	252,14
100	47,77	498,79	273,28
VIÇOSA			
TEMPO DE RETORNO (ANOS)	LIMITES DE 95% DE CONFIANÇA PARA VAZÃO (m³s⁻¹)		ESTIMATIVA DE VAZÃO (m³s⁻¹)
	INFERIOR	SUPERIOR	
10	155,21	416,18	285,69
20	143,22	575,78	359,50
50	70,97	857,88	464,42
100	30,30	1.131,61	550,65

Continuação

ATALAIA			
TEMPO DE RETORNO (ANOS)	LIMITES DE 95% DE CONFIANÇA PARA VAZÃO (m³s⁻¹)		ESTIMATIVA DE VAZÃO (m³s⁻¹)
	INFERIOR	SUPERIOR	
10	323,69	792,32	558,01
20	331,20	1.066,73	698,96
50	264,50	1.537,29	900,89
100	148,33	1.987,80	1.068,07

Tabela 38. Estimativas de vazões calculadas pela distribuição de Gumbel para os municípios de Quebrangulo, Viçosa e Atalaia.

5.5.2 Coeficientes utilizados: Manning e declividade

Os coeficientes de rugosidade de Manning utilizados estão listados na Tabela 39 e foram selecionados de acordo com o tipo de uso e ocupação do solo localizado em cada seção, em suas margens esquerda e direita, e centro do Rio Paraíba.

TIPO DE OCUPAÇÃO DO SOLO	VALOR DE MANNING
Áreas Agrícolas	0,04
Povoamentos estruturais	0,06
Áreas de indústria, comércio, logística e armazenagem	0,05
Espaços vazios sem construção	0,03

Continuação

TIPO DE OCUPAÇÃO DO SOLO	VALOR DE MANNING
Áreas edificadas dispersas.	0,05
Povoamentos florestais.	0,06
Seção transversal uniforme, alinhamento regular, sem pedregulhos nem vegetação, em solos sedimentares finos.	0,016
Pequenas variações na seção transversal, alinhamento bastante regular, poucas pedras, grama fina nas margens, em solos arenosos e argilosos, e também em canais recém limpos	0,0226
Alinhamento irregular, com ondulações no fundo, em solo com cascalho, ou argila, e solo com arestas circulares ou vegetação	0,025
Canais com Vegetação - Gramíneas curtas (50,00 - 150,00mm)	0,030 - 0,060
Canais com Vegetação- Gramíneas médias (150,00 - 250,00 mm)	0,030 - 0,085
Canais com Vegetação- Gramíneas longas (250,00 - 600,00 mm)	0,040 - 0,150
Canais de corrente natural - Limpos e Retos	0,025 - 0,030

Tabela 39. Coeficientes de rugosidade de Manning utilizados para a calibração do modelo hidráulico.

Fonte: Adaptado de LUCIO (2014) e VILCA (2009).

Foram gerados os mapas de declividade para os 03 (três) municípios de estudo (Figuras 105, 106 e 107), na plataforma do ArcGis. Este processo foi necessário para a extração dos dados de declividade, inseridos no modelo hidráulico HEC-RAS.

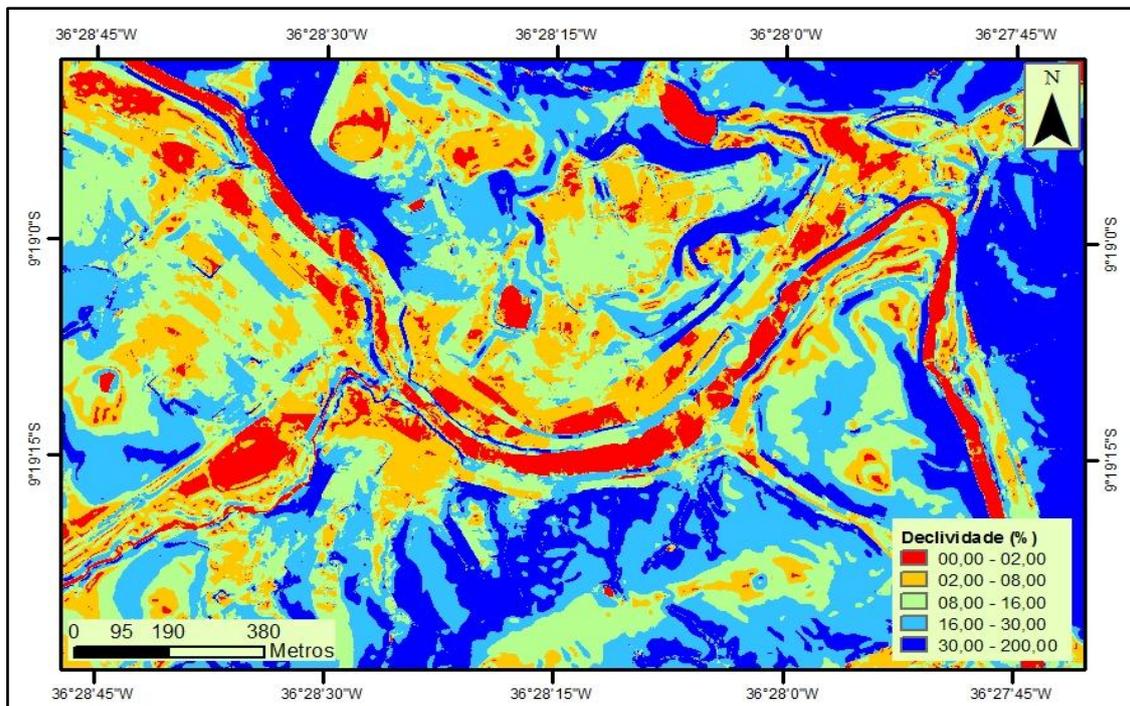


Figura 105. Mapa de declividade do município de Quebrangulo.

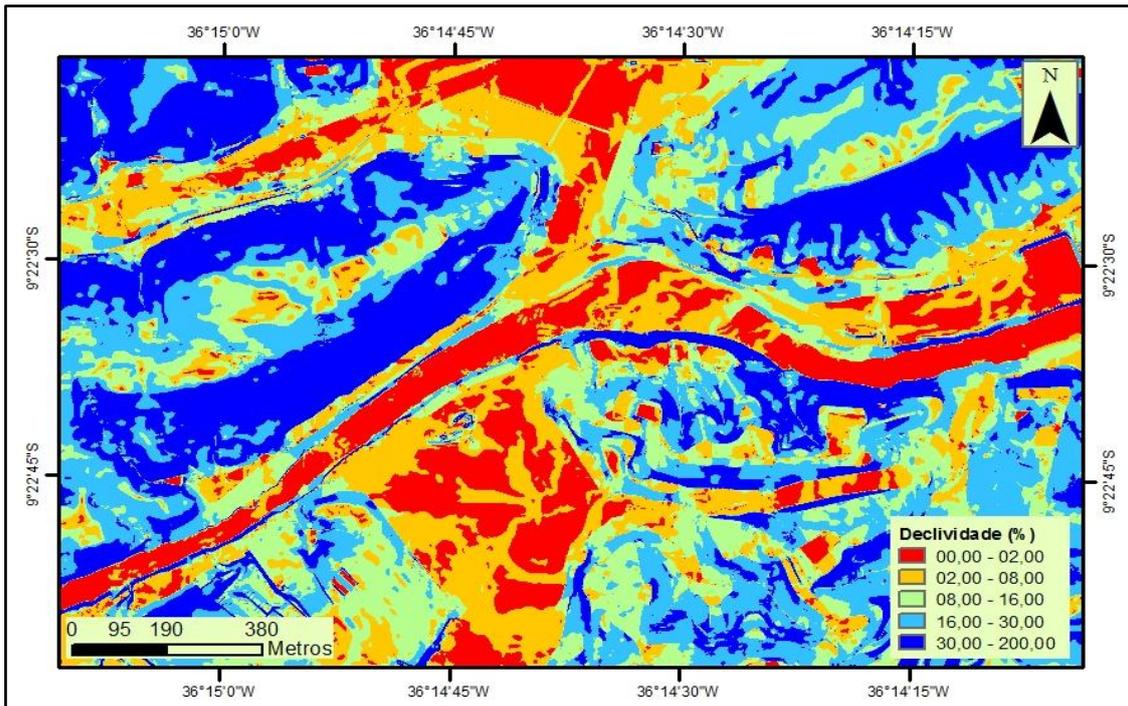


Figura 106. Mapa de declividade do município de Viçosa.

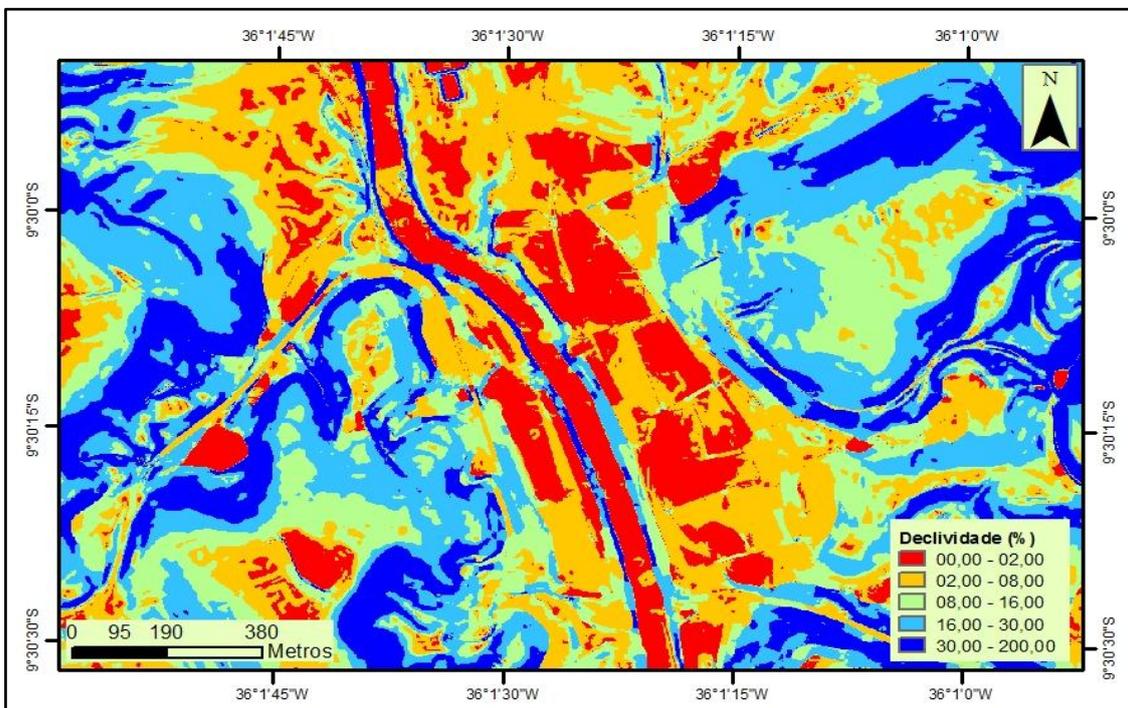


Figura 107. Mapa de declividade do município de Atalaia.

5.5.3 Ortoimagens: Modelo Digital de Elevação (MDE)

Para o desenvolvimento da geometria, foram utilizadas as ortoimagens da SEMARH/AL, que contém o modelo digital de elevação dos três (03) municípios do estudo.

Foram geradas 40 seções topobatimétricas ao longo da área de estudo do município de Quebrangulo, com um intervalo médio de 50 m entre cada uma (Figura 108). O intervalo variou em algumas seções, devido à variação de comprimento no curso do Rio Paraíba. A extensão de cada seção foi de 600 m, tendo abrangido toda a área habitável com edificações do município. A seção mais a montante foi traçada numa região de aproximadamente 1.700 m acima do município. Na região onde foi localizada a sede do município, foram traçadas 15 seções. A seção mais a jusante foi traçada aproximadamente 1.300 m abaixo da localização do município.

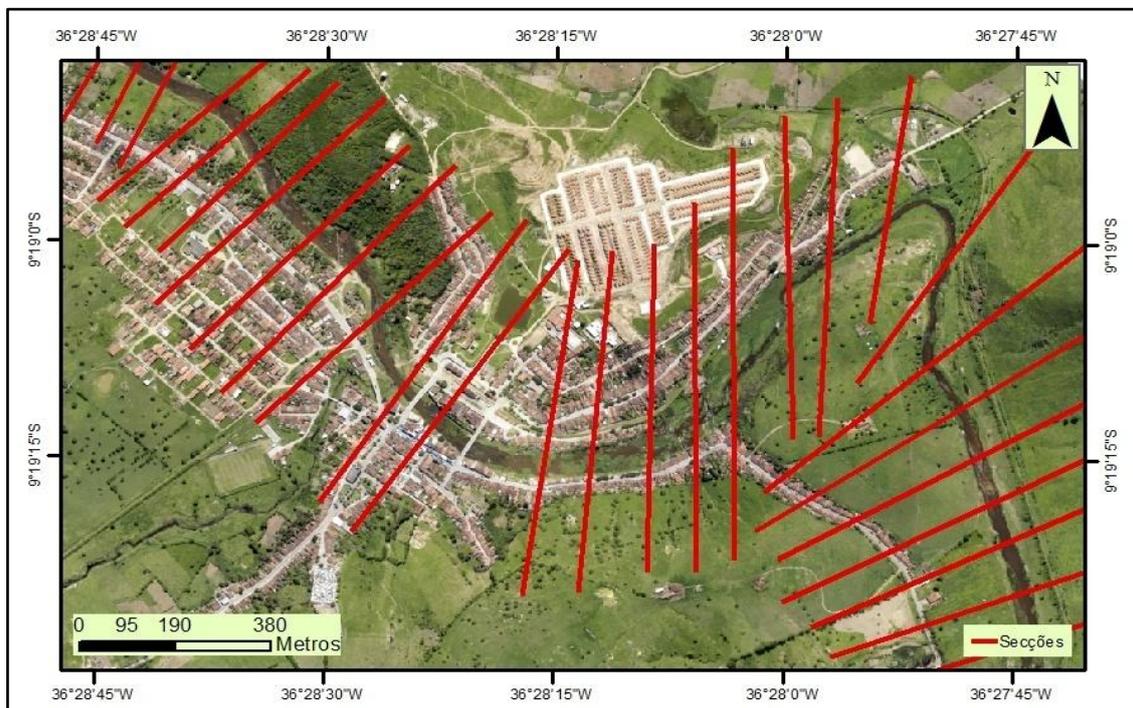


Figura 108. Localização das seções geométricas utilizadas no município de Quebrangulo

A Figura 109 apresenta um exemplo de corte de seção transversal traçada pela geometria em uma região onde não apresenta área com inundação no município de Quebrangulo.

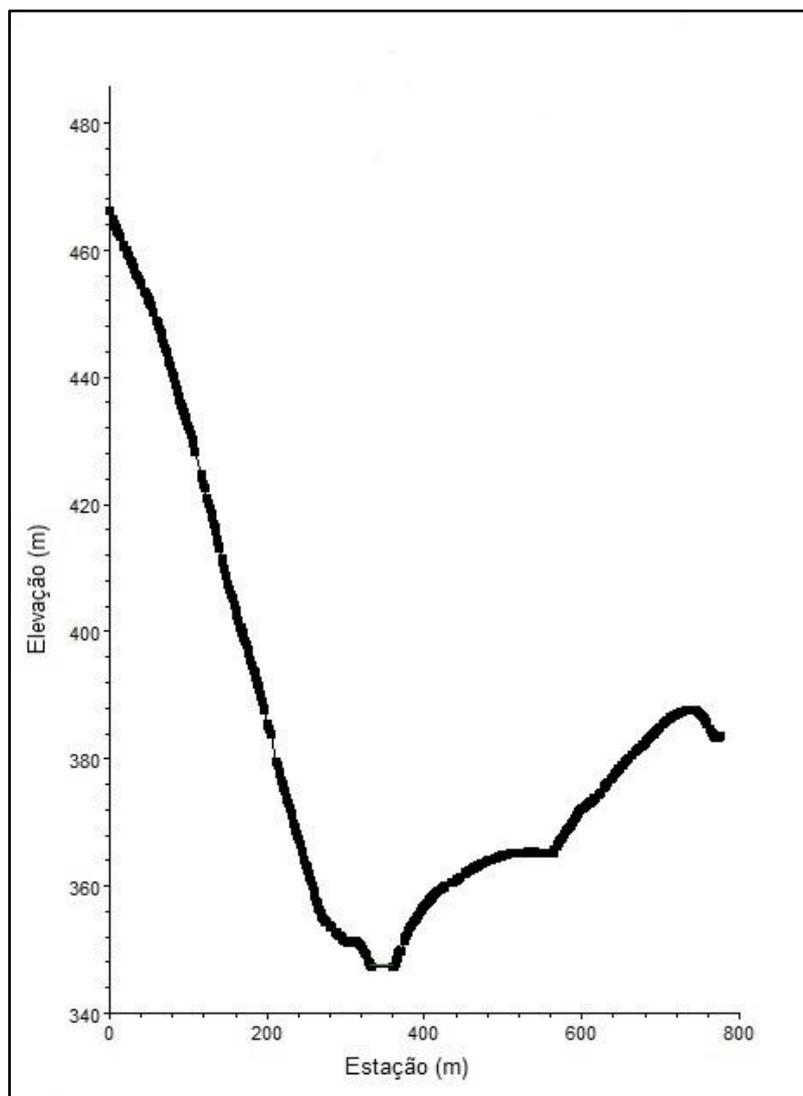


Figura 109. Corte correspondente à seção traçada pela Geometria: Área sem inundação - Município de Quebrangulo.

A Figura 110 apresenta um exemplo de corte de seção transversal traçada pela geometria em uma região onde apresenta área com inundação no município de Quebrangulo.

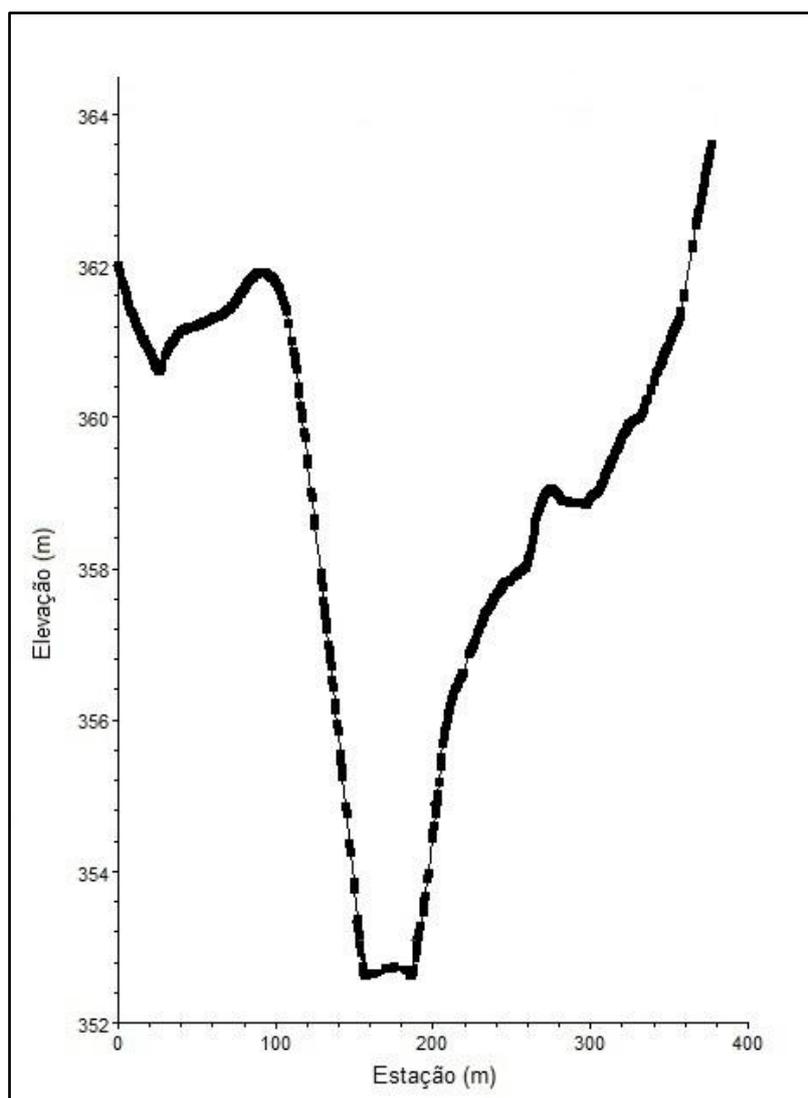


Figura 110. Corte correspondente á seção traçada pela Geometria: Área com inundação - Município de Quebrangulo.

Para o município de Viçosa foram traçadas 66 seções topobatimétricas ao longo da área de estudo, com 400 m de extensão cada uma e com espaçamento de 50 m entre as seções, existindo variação em algumas delas devido ao curso do Rio Paraíba (Figura 111). A seção mais a montante foi traçada numa região de aproximadamente 700 m acima da sede do município. Na região onde foi localizada a área urbana do município, com histórico de inundações, foram traçadas 24 seções. A seção mais a jusante foi traçada a aproximadamente 1.800 m abaixo da localização do término das habitações do município.

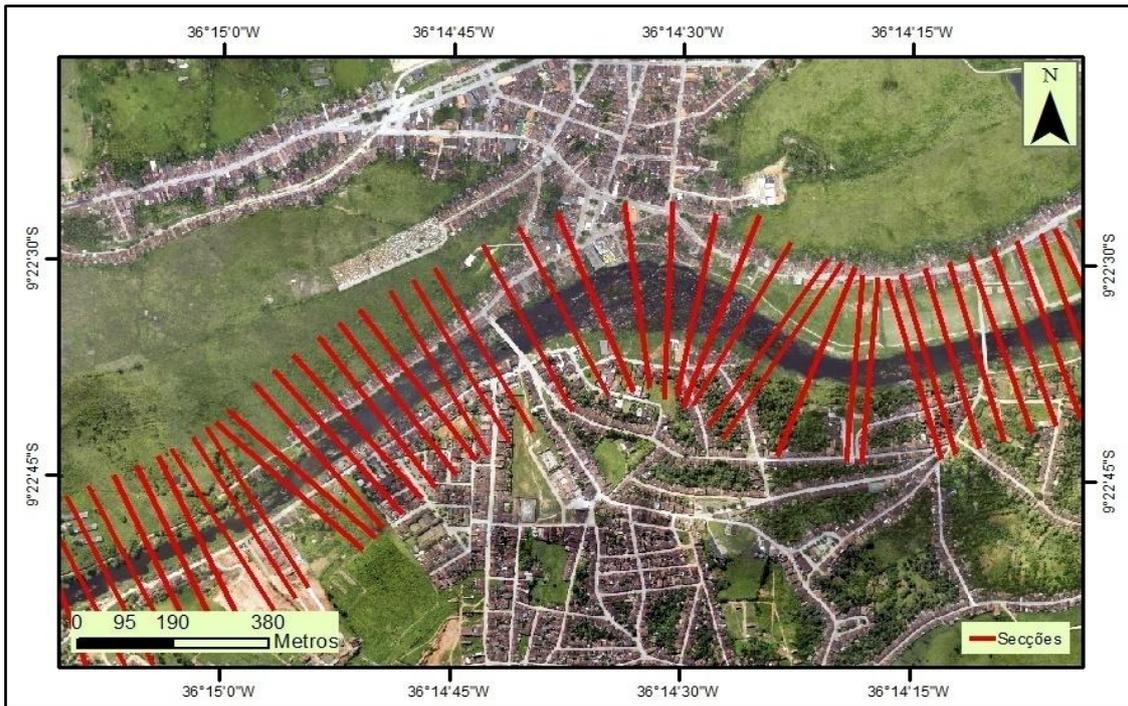


Figura 111. Localização das seções geométricas utilizadas no município de Viçosa

A Figura 112 apresenta um exemplo de corte de seção transversal traçada pela geometria em uma região onde não apresenta área com inundação no município de Viçosa.

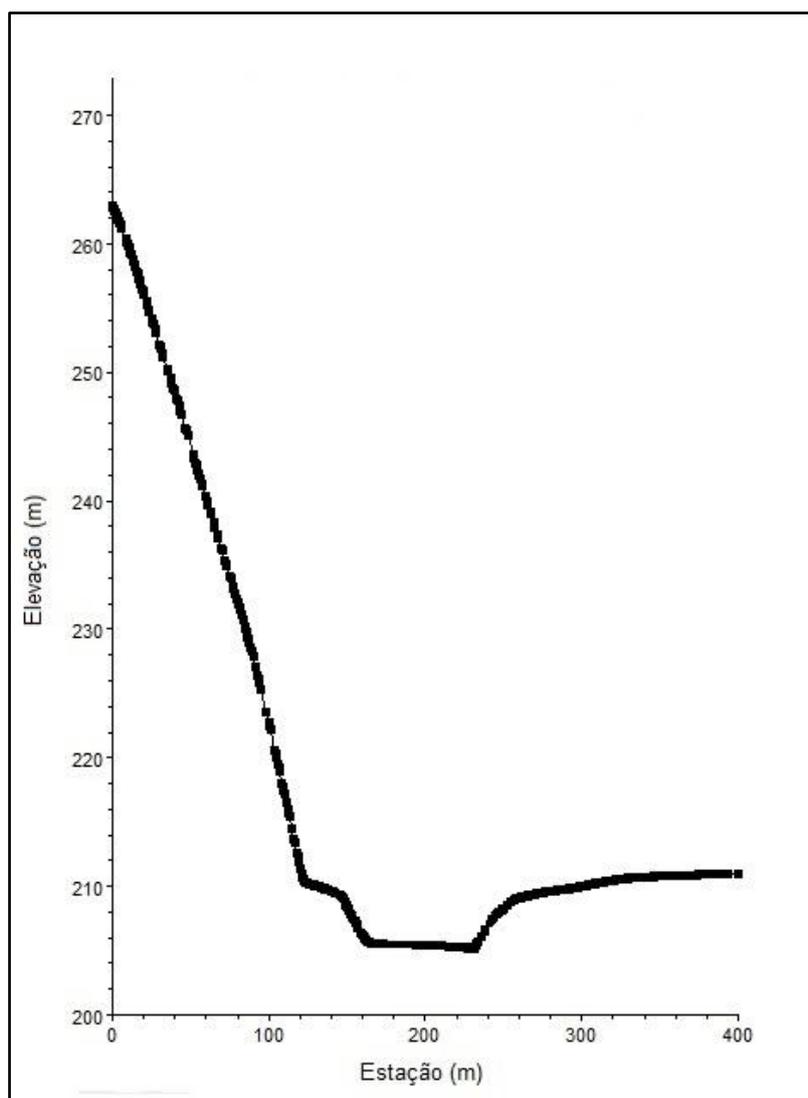


Figura 112. Corte correspondente á seção traçada pela Geometria: Área sem inundação - Município de Viçosa.

A Figura 113 apresenta um exemplo de corte de seção transversal traçada pela geometria em uma região onde apresenta área com inundação no município de Viçosa.

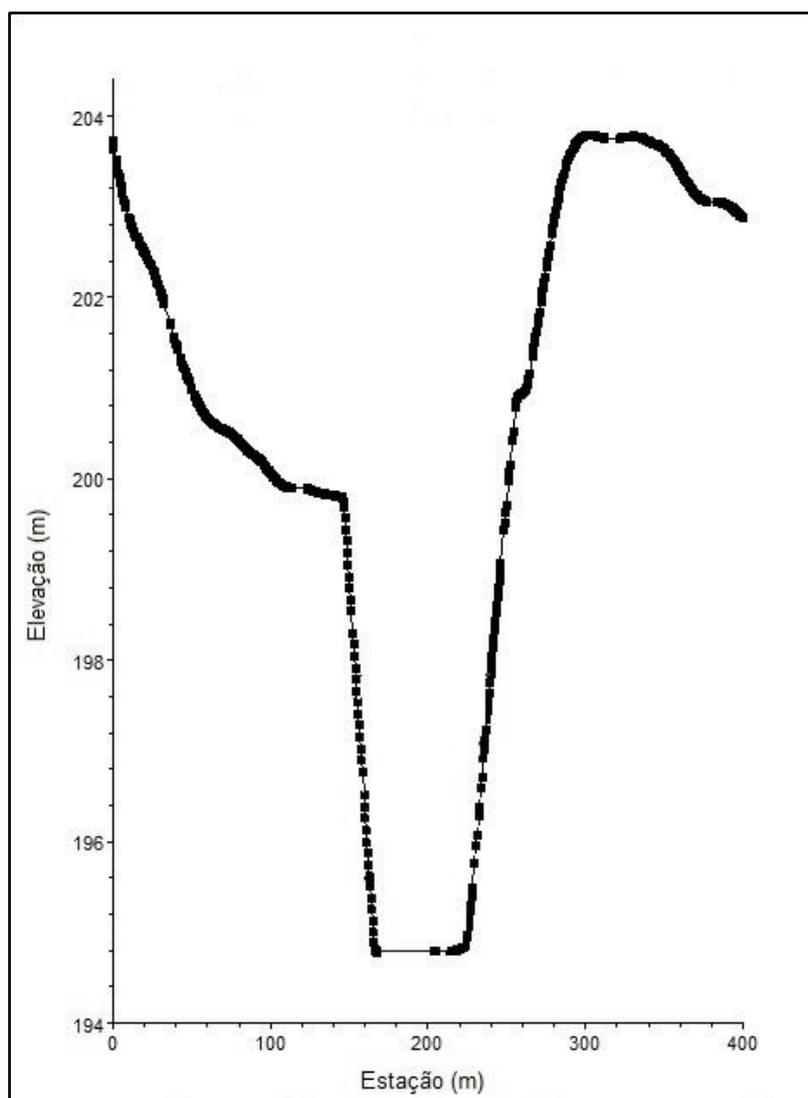


Figura 113. Corte correspondente à seção traçada pela Geometria: Área com inundação - Município de Viçosa.

O município de Atalaia apresentou 50 seções topobatimétricas (Figura 114) traçadas ao longo da área em análise, a apresentar um espaçamento de 50 m entre as seções e o comprimento de 600 m para cada uma. A seção mais a montante foi traçada em uma região de aproximadamente 1.600 m acima do município. Na região onde foi localizada a sua área urbana, com localidades onde apresentaram históricos de inundações, foram traçadas 20 seções. A seção mais a jusante foi traçada a aproximadamente 1.100 m abaixo da localização do município.

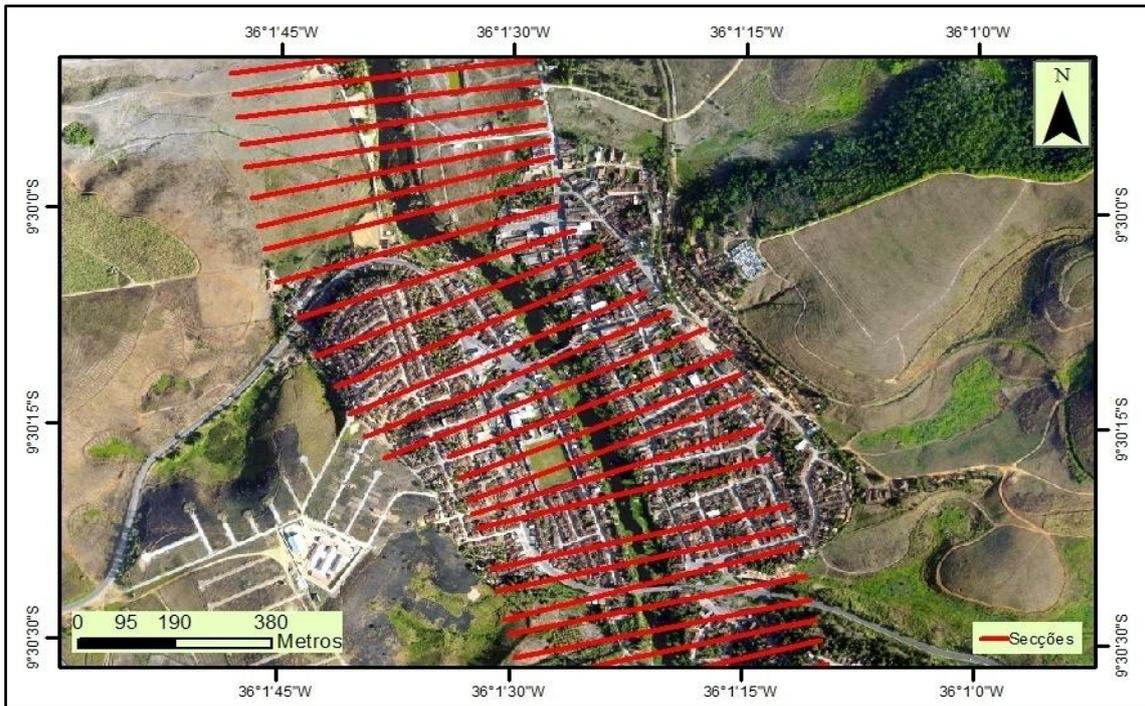


Figura 114. Localização das seções geométricas utilizadas no município de Atalaia.

A Figura 115 apresenta um exemplo de corte de seção transversal traçada pela geometria em uma região onde não apresenta área com inundação no município de Atalaia.

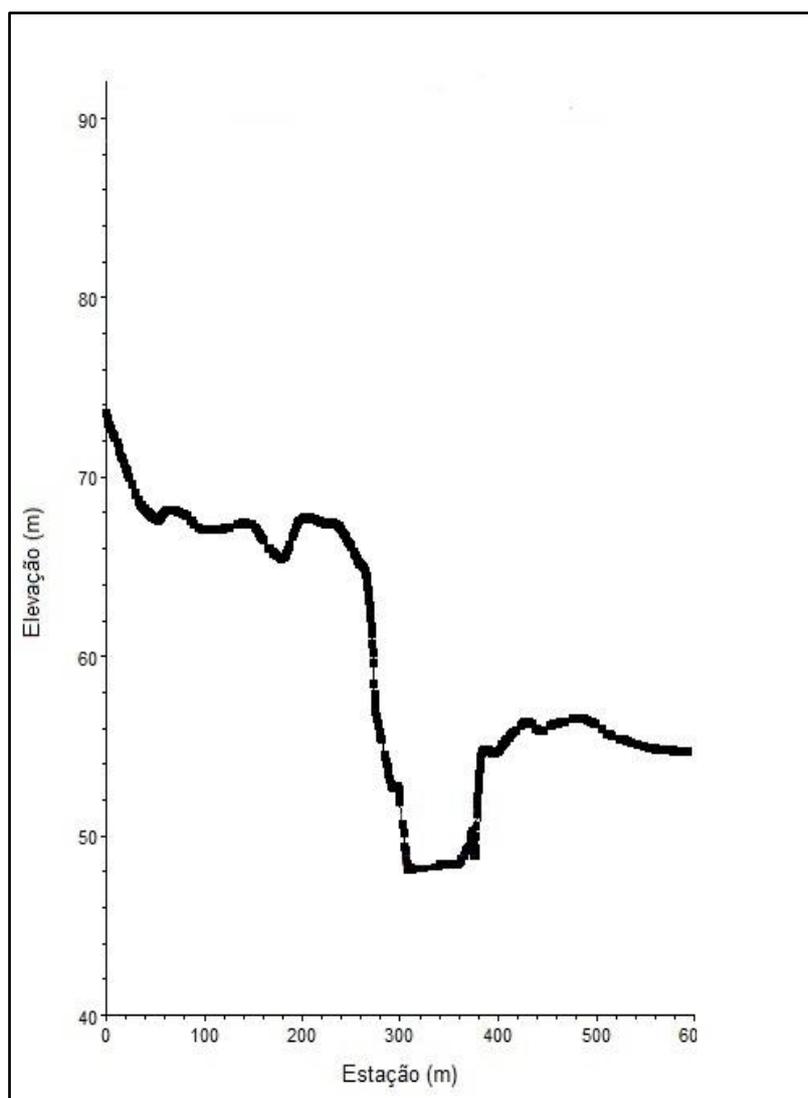


Figura 115. Corte correspondente á seção traçada pela Geometria: Área sem inundação - Município de Atalaia.

A Figura 116 apresenta um exemplo de corte de seção transversal traçada pela geometria em uma região onde apresenta área com inundação no município de Atalaia.

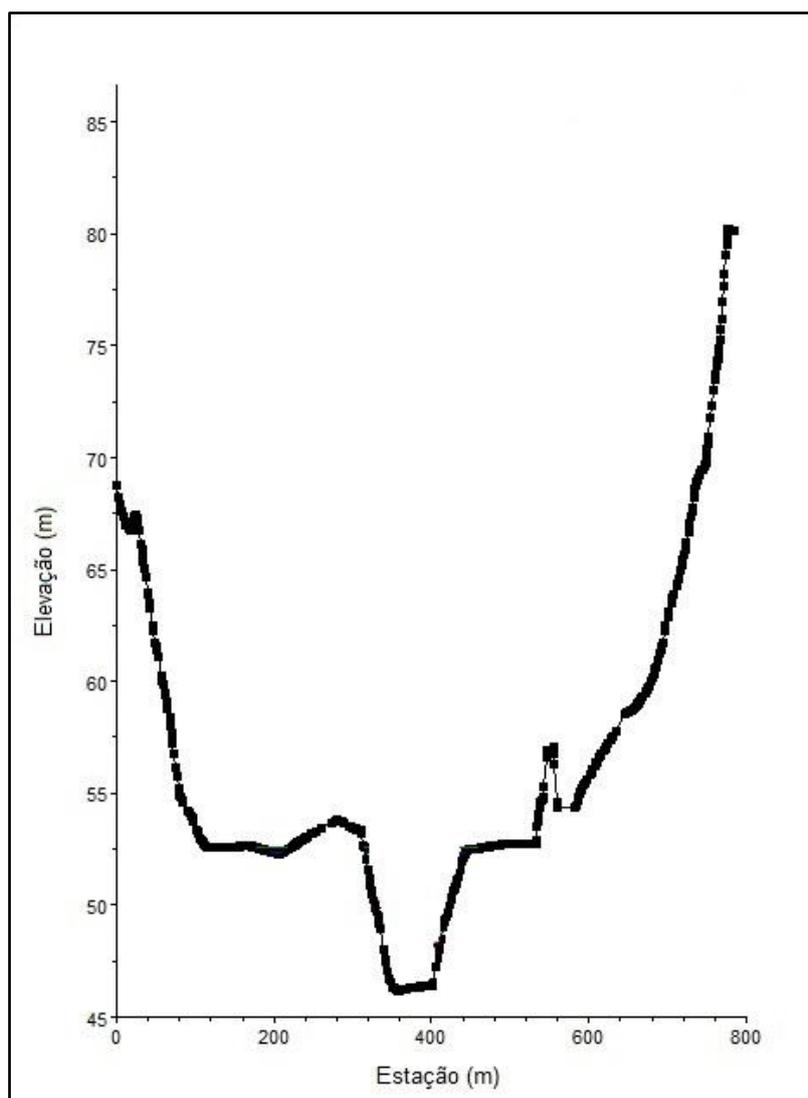


Figura 116. Corte correspondente á seção traçada pela Geometria: Área com inundação - Município de Atalaia.

5.5.4 Mapas de Zonas Inundáveis provisórios

Inicialmente, foram estudadas e demarcadas as prováveis regiões inundáveis dos três (03) municípios de estudo, de acordo com as declividades apresentadas e as moradias que estavam construídas nos locais propensos a inundações. Os mapas iniciais foram gerados para o acompanhamento das zonas inundáveis, de acordo com as vazões e tempos de retorno utilizados, e serviram para a indicação da necessidade da calibração do modelo hidráulico HEC-RAS, através das demarcações das marcas da cheia de 2010.

5.5.5 Calibração do modelo e Validação dos mapas resultantes

Inicialmente foi utilizada para a fase de calibração a vazão da cheia de 2010, do dia 19/06/2010 na estação fluviométrica pertencente à ANA, instalada no município de Atalaia, com um valor de $948,01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. As demais estações fluviométricas utilizadas neste estudo (Quebrangulo e Viçosa), não apresentaram dados de vazão para a cheia de 2010.

Para o município de Atalaia foram utilizadas cinco (05) marcas de cheia (Tabela 40), necessárias para a calibração do modelo hidráulico HEC-RAS. Apenas as marcas de cheia números 04 e 05 coincidem com a calha do Rio Paraíba. As demais marcas de cheia foram identificadas em pontos de alagamentos, onde as regiões atingidas apresentaram uma declividade mais baixa, se comparadas com as margens do rio. Todas as cinco (05) marcas de cheia utilizadas apresentaram uma calibração bastante satisfatória, a indicar um excelente resultado que servirá para a prevenção de eventos futuros de inundação na região.

MUNICÍPIO	MARCA DE CHEIA	LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)	ALTITUDE (m)
Quebrangulo	Marca 01	9°19'15.60"	36°28'27.56"	364,20
	Marca 02	9°19'12.13"	36°28'34.62"	358,97
	Marca 03	9°19'07.35"	36°28'30.22"	359,41
	Marca 04	9°18'59.00"	36°28'37.06"	360,81
	Marca 05	9°19'14.38"	36°28'04.71"	356,59

Continuação

MUNICÍPIO	MARCA DE CHEIA	LATITUDE (S)	LONGITUDE (W)	ALTITUDE (m)
Viçosa	Marca 01	9°22'36.24"	36°14'38.21"	210,03
	Marca 02	9°22'43.84"	36°14'49.89"	210,79
	Marca 03	9°22'42.07"	36°14'54.56"	210,99
	Marca 04	9°22'37.79"	36°14'10.18"	203,44
Atalaia	Marca 01	9°30'04.02"	36°01'22.85"	52,87
	Marca 02	9°30'21.46"	36°01'19.55"	52,46
	Marca 03	9°30'19.70"	36°01'15.63"	52,03
	Marca 04	9°30'20.87"	36°01'24.90"	52,49
	Marca 05	9°30'06.99"	36°01'32.36"	53,46
	Marca 05	9°30'06.99"	36°01'32.36"	53,46

Tabela 40. Marcas de cheia utilizadas para a calibração do modelo hidráulico HEC-RAS.

Fonte: Adaptado de SEMARH/AL (2015).

Com o modelo hidráulico HEC-RAS calibrado através dos dados do município de Atalaia, foram feitas simulações para os municípios de Quebrangulo e Viçosa, utilizando o caminho inverso (utilizou-se vários valores de vazão entre $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e $700,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, para se calcular a proximidade do valor registrado na inundação, que hipoteticamente, teria atingido os pontos das marcas da cheia nos municípios). Com este processo, foram calculadas as vazões estimadas para o evento de chuva de 2010. O município de

Quebrangulo apresentou uma vazão calculada de $450,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ e o município de Viçosa apresentou uma vazão calculada de $650,60 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Sendo assim, o modelo hidráulico HEC-RAS foi calibrado e validado adequadamente, e seus dados de entrada preparados para a geração dos mapas das zonas inundáveis, altura de água e velocidade corrente de água.

5.5.6 Resultados da simulação da variabilidade espacial das zonas inundáveis

As simulações da variabilidade espacial das zonas inundáveis foram desenvolvidas de acordo com os municípios estudados (Quebrangulo, Viçosa e Atalaia). Com o objetivo de perceber qual o tempo de retorno de um evento idêntico ao da grande cheia de 2010, foram gerados os mapas para todos os tempos de retorno propostos (10, 20, 50 e 100 anos), assim como os mapas da cheia de 2010, que serviu como calibração para os demais mapas gerados.

5.5.6.1 Cheia de 2010

A vazão para a calibração das marcas da cheia de 2010 no município de Quebrangulo foi calculada em $450,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A zona inundável apresentou uma área total bastante significativa de $80,37 \text{ ha}$, maior área inundável de todos os municípios e tempos de retorno em estudo. Houve inundaçãõ ao longo da calha do Rio Paraíba em toda a extensão da área urbana do município. A extensão total estudada em Quebrangulo foi de $4,09 \text{ km}$, entre a seção 01 e seção 40 (dado gerado através da geometria no modelo hidráulico HEC-RAS).

Observou-se que a região central do município de Quebrangulo apresentou um recorte bastante significativo de zonas inundáveis. Porém, das 05 marcas de cheia apresentadas, em apenas uma não houve uma calibração exata. A distância do local da marca de cheia, localizada na escadaria da Igreja Matriz do Senhor Bom Jesus dos Pobres, para o ponto extremo da inundaçãõ

foi de 36 m. Para as demais marcas de cheia, o resultado encontrado de validação foi bastante satisfatório.

A área mais atingida em Quebrangulo foi a região central do município, onde houve alagamento nas duas margens do Rio Paraíba (Figura 117). Esta região apresentou uma distância em linha reta de 275 m, a partir da margem do rio até o limite da área inundável. Esta expressiva área de inundação pode ser explicada devido à presença do Riacho Quebrangulinho, que pode ter contribuído para o aumento da zona inundável. As ruas inundadas foram as mesmas que o modelo hidráulico HEC-RAS simulou e portanto serviram para validar o modelo calibrado tal como foi.

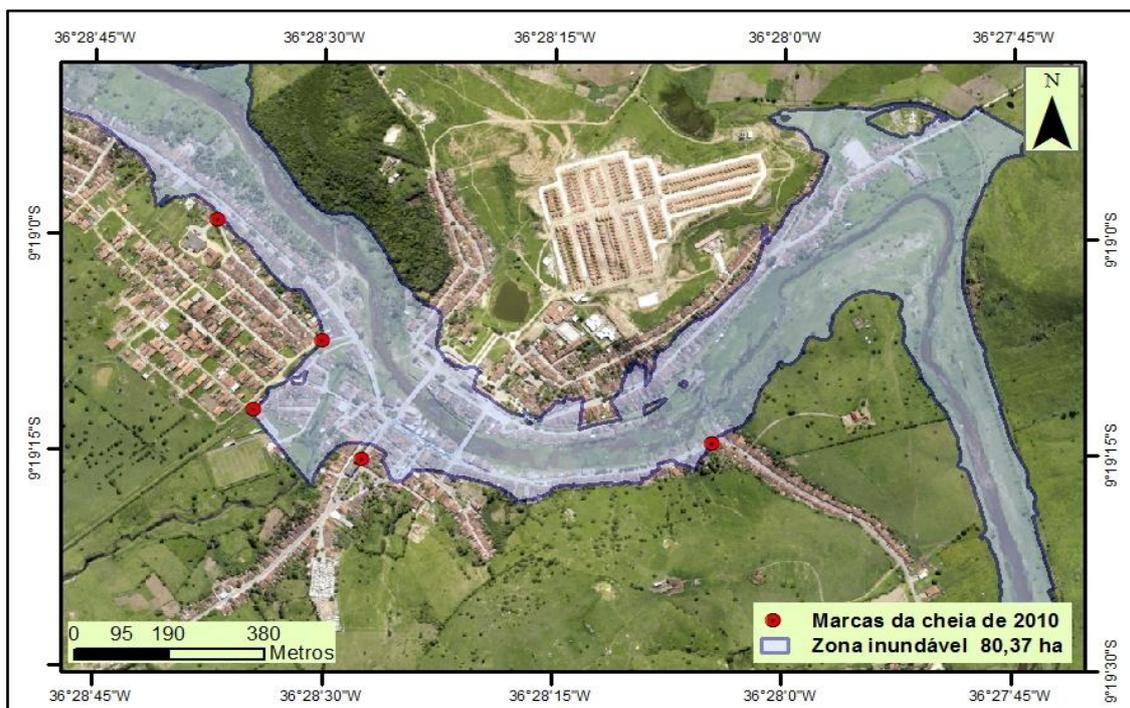


Figura 117. Zona inundável de Quebrangulo para o período da cheia do mês de junho de 2010.

Da mesma maneira que foi realizado para os demais municípios de estudo, os primeiros mapas gerados em Viçosa foram os da fase de calibração correspondentes à cheia de 2010. A vazão para o atingimento das marcas da cheia foi estimada em $650,60 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Observou-se que os mapas gerados com

os dados calculados para a vazão da cheia de 2010 e os da vazão do tempo de retorno de 100 anos ($550,65 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$) não apresentaram grandes variações com relação à área atingida e demais índices, sendo apresentados os mesmos resultados para os dois (02) períodos em estudo.

A zona inundável apresentou uma área total de 56,63 ha. Houve inundação ao longo da calha do rio em toda a extensão da área urbana de Viçosa. A extensão total do Rio Paraíba foi de 3,80 km, entre a seção 01 e seção 66, dado este gerado através do modelo hidráulico HEC-RAS, com sua geometria.

Observou-se que a região mais ao norte do município de Viçosa apresentou um recorte considerável de zonas inundáveis. Porém, na margem esquerda do Rio Paraíba, por não apresentar uma área com moradias, não apresentou um impacto representativo. Na área urbana estudada, houve um atingimento nas duas margens do rio principal. Na margem direita, houve o aumento no nível do rio afetando as residências localizadas nestas imediações (Figura 118).

É de ressaltar que apenas foi demonstrada no mapa a parte central de Viçosa. A parte mais susceptível de inundação é a região ribeirinha do município, onde apresentou uma delimitação significativa de área inundável.

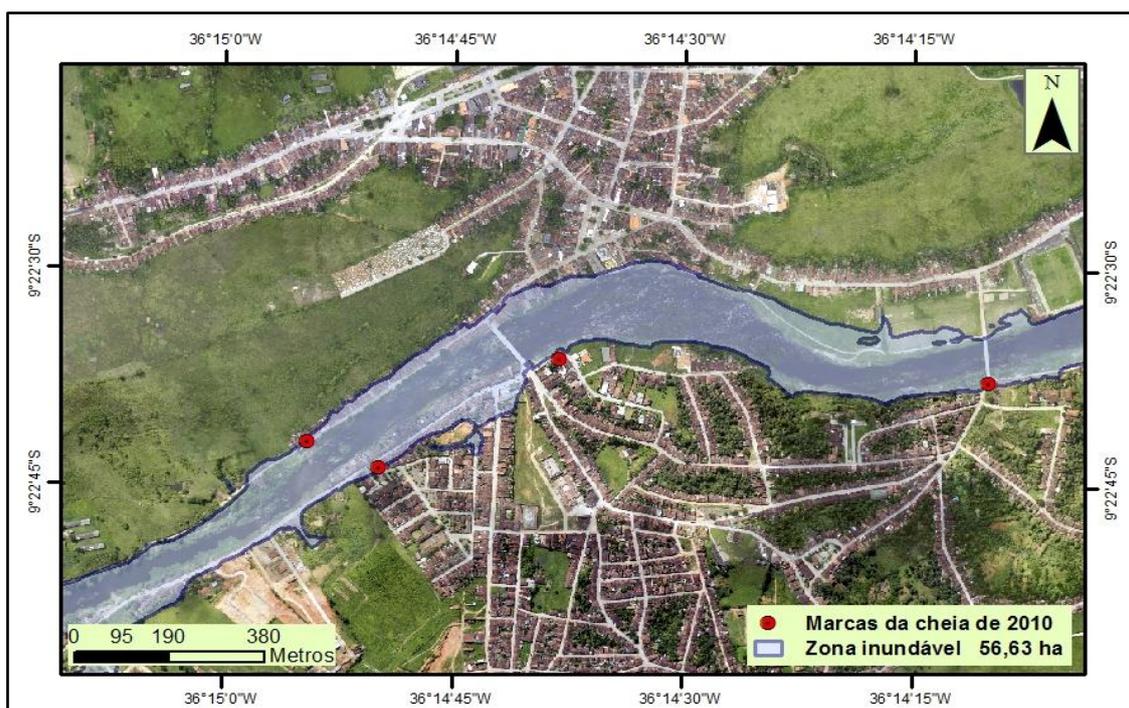


Figura 118. Zona inundável de Viçosa para o período da cheia do mês de junho de 2010 e tempo de retorno de 100 anos.

A vazão utilizada na análise da cheia de 2010 no município de Atalaia foi de $948,01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Neste município, foi apresentada uma extensa zona inundável, com um total de 64,62 ha. Houve inundação ao longo da calha do Rio Paraíba, em toda sua extensão, na área urbana do município. A extensão total do rio em Atalaia foi de 2,87 km, entre a seção 01 e seção 50, dado este gerado através da geometria no modelo hidráulico HEC-RAS.

Observou-se que a região mais ao norte do município de Atalaia apresentou um recorte maior de zonas inundáveis. Porém, na margem esquerda do Rio Paraíba, por não apresentar uma área com moradias, não apresentou um impacto muito grande, exceto algumas moradias localizadas às margens da rodovia BR 316. Contudo, na margem direita, que apresentava várias moradias, houve um atingimento com o aumento do nível do rio principal, afetando as residências. Conclui-se que a inundação foi mais sentida onde o solo estava impermeabilizado, portanto não se deve permitir construções junto às linhas de água desta região.

Na parte sul da área de estudo no município de Atalaia, além do transbordamento da calha do Rio Paraíba, foram observados 02 regiões com pontos de alagamento, conforme pode ser observado na Figura 119.

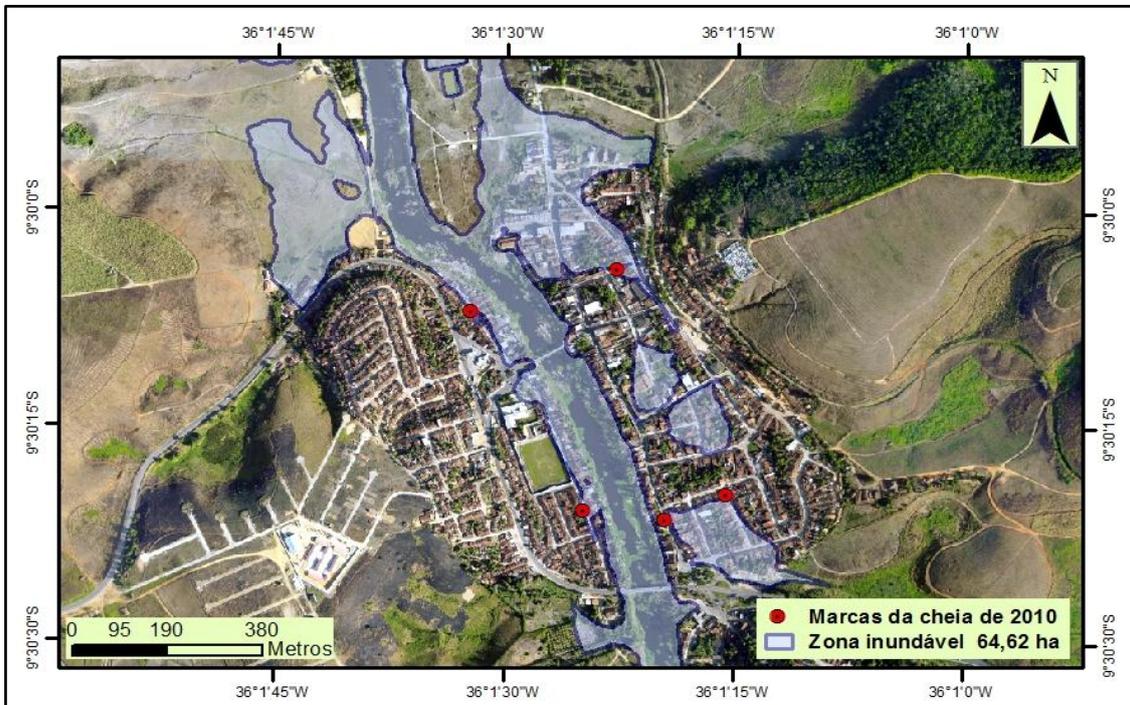


Figura 119. Zona inundável de Atalaia para o período da cheia do mês de junho de 2010.

É de ressaltar que apenas foi demonstrada no mapa a parte baixa de Atalaia, visto que a parte alta não se encontra em região na beira do Rio Paraíba, portanto, sem risco de inundação. A parte mais susceptível de inundação é a região ribeirinha do município, onde apresentou uma representação bem significativa de área inundável.

Após a geração do mapa de calibração das zonas inundáveis (Cheia de 2010), foram calculados e confeccionados os mapas para os tempos de retorno estudados.

5.5.6.2 Tempo de retorno de 10 anos

A vazão utilizada na análise do tempo de retorno de 10 anos calculada pela distribuição de Gumbel para o município de Quebrangulo foi de $191,65 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A zona inundável para este tempo de retorno apresentou um polígono de 35,61 ha. Não foram apresentadas grandes áreas com impacto de inundação para este período de estudo. Apenas a área próxima ao Riacho Quebrangulinho apresentou uma área expressiva. As demais áreas às margens do Rio Paraíba não apresentaram grande impacto para este período de retorno, conforme Figura 120.

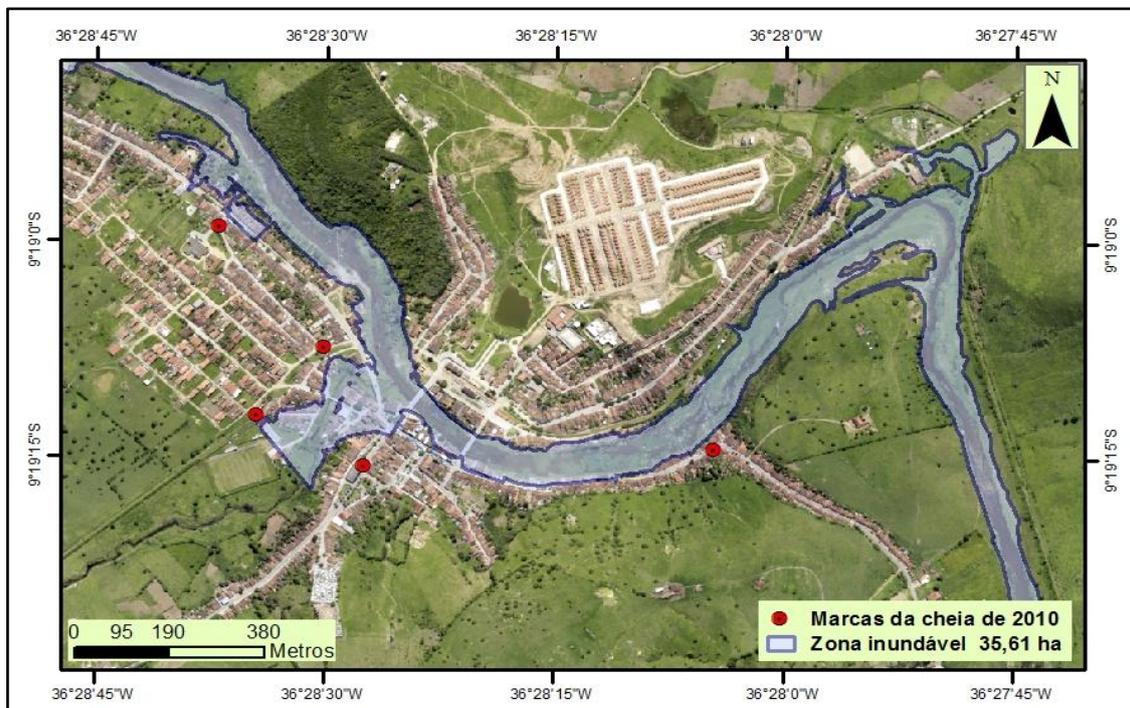


Figura 120. Zona inundável de Quebrangulo para o tempo de retorno de 10 anos.

Em Viçosa, a vazão utilizada na análise do tempo de retorno de 10 anos calculada pela distribuição de Gumbel foi de $285,69 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A zona inundável para este tempo de retorno apresentou um polígono de 41,81 ha. Não foram apresentadas grandes áreas com impacto de inundação para este período de retorno, ficando apenas algumas regiões na área leste, localizadas na margem direita, com áreas inundáveis, conforme Figura 121.

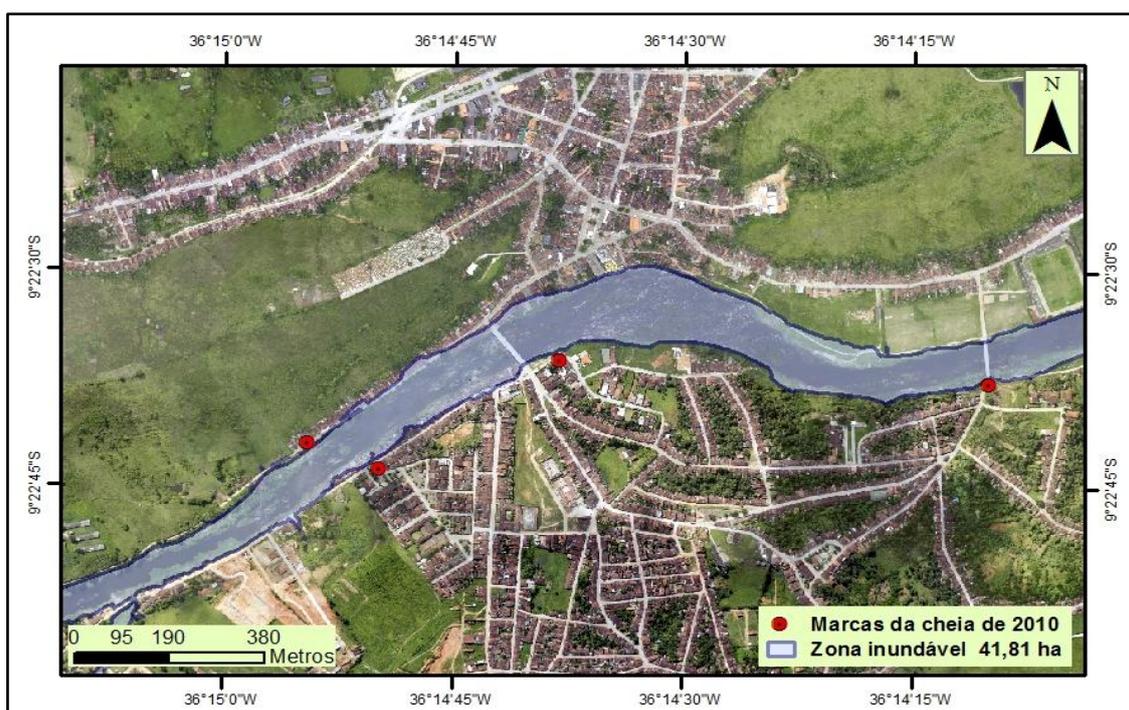


Figura 121. Zona inundável de Viçosa para o tempo de retorno de 10 anos.

No município de Atalaia, a vazão utilizada na análise do tempo de retorno de 10 anos calculada pela distribuição de Gumbel foi de $558,01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A zona inundável para este período apresentou um polígono de 33,55 ha. Não foram apresentadas grandes áreas com impacto de inundação para este período de retorno, ficando apenas algumas regiões com inundação na parte norte do município, conforme Figura 122. Foi perceptível de acordo com os demais mapas de zonas inundáveis apresentados, que esta região na zona norte do município foi a que apresentou o maior aumento da área inundável, sendo de fácil visualização a área atingida, de acordo com o aumento das vazões, em seus respectivos tempos de retorno.

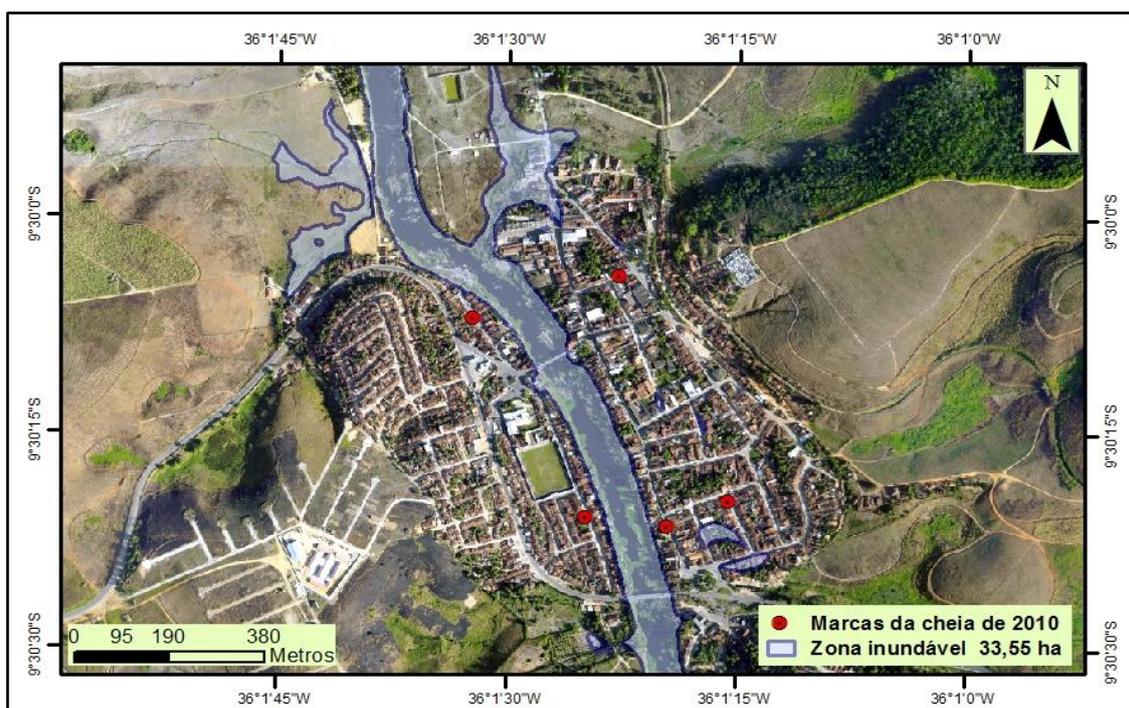


Figura 122. Zona inundável de Atalaia para o tempo de retorno de 10 anos.

5.5.6.3 Tempo de retorno de 20 anos

A vazão utilizada na análise do tempo de retorno de 20 anos calculada pela distribuição de Gumbel para o município de Quebrangulo foi de $219,99 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A zona inundável para este período apresentou um polígono de 37,93 ha, com o aumento de área inundável de 2,32 ha, se comparado com o período anterior de análise (tempo de retorno de 10 anos). Para este período ainda não foram apresentados grandes impactos de inundação, a apresentar apenas um aumento em algumas áreas de alagamentos, principalmente na margem direita do município. As zonas inundáveis para este período de retorno estudado podem ser visualizadas na Figura 123.

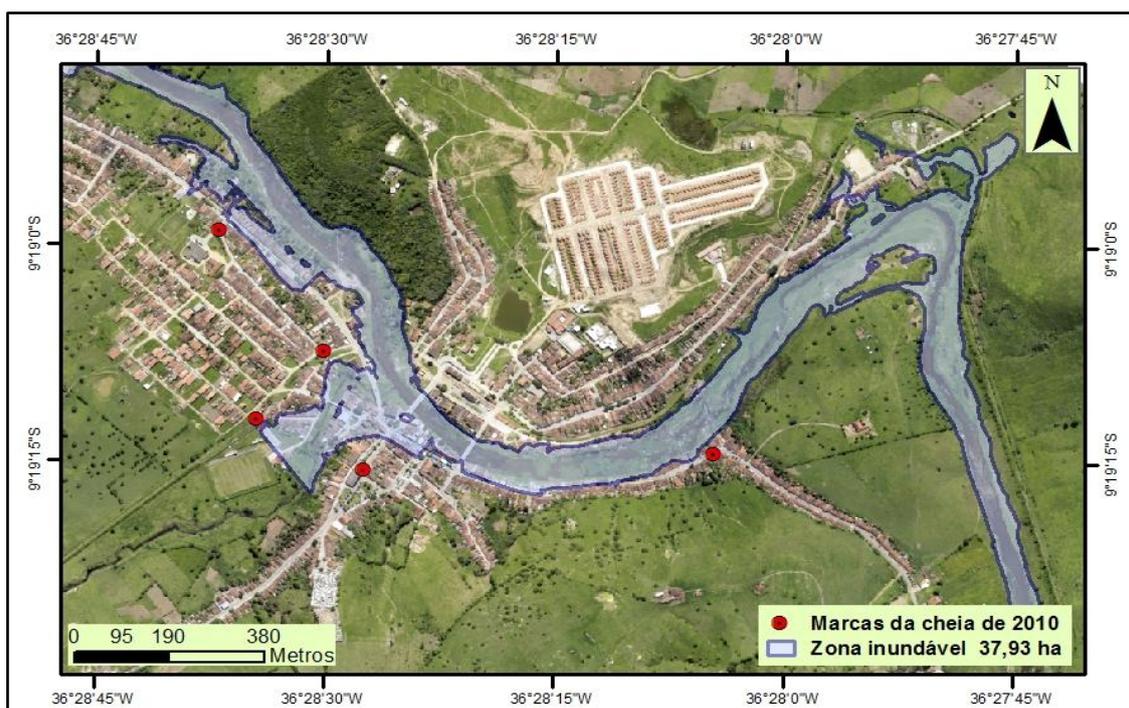


Figura 123. Zona inundável de Quebrangulo para o tempo de retorno de 20 anos.

Para o município de Viçosa, a vazão utilizada na análise do tempo de retorno de 20 anos calculada pela distribuição de Gumbel foi de $359,50 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A zona inundável para este período de retorno apresentou um polígono de 45,55 ha, com o aumento de área inundável de 3,74 ha, se comparado com o período anterior de análise (tempo de retorno de 10 anos). Apesar do aumento da área inundável neste tempo de retorno, ainda não foram apresentados grandes impactos de inundação, sendo indicadas algumas áreas de alagamentos, mas que não foram responsáveis por perdas materiais acentuadas. As zonas inundáveis para esta análise podem ser visualizadas na Figura 124.

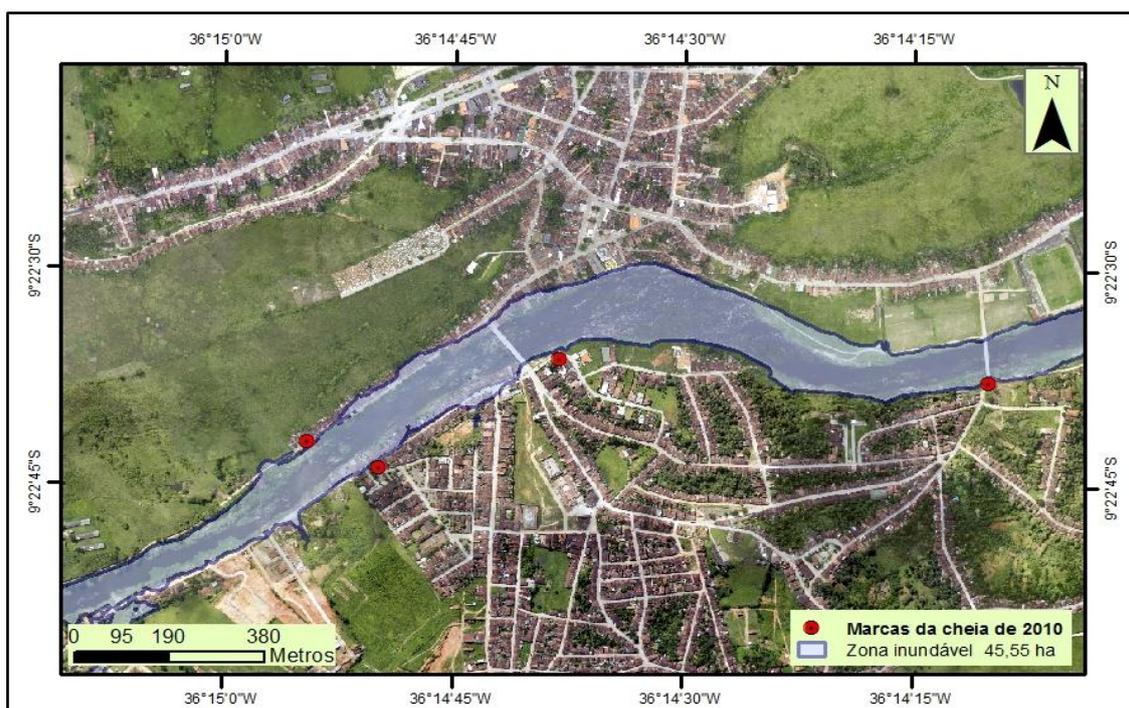


Figura 124. Zona inundável de Viçosa para o tempo de retorno de 20 anos.

No município de Atalaia, a vazão utilizada na análise do período de retorno de 20 anos calculada pela distribuição de GUMBEL foi de $698,97 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, uma probabilidade de aumento da vazão em $140,96 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, em um espaço de 10 anos (10 - 20 anos). A zona inundável para este período de retorno apresentou um polígono de 42,99 ha, com o aumento de área inundável de 9,44 ha, se comparada com o período anterior de análise. Apesar do aumento da área inundável para este tempo de retorno, ainda não foram registrados grandes impactos de inundações. Foram apresentadas algumas áreas de alagamentos, mas que não indicaram perdas materiais acentuadas. As zonas inundáveis para este período de retorno estudado podem ser visualizadas na Figura 125.

É notório que: as zonas inundáveis para um período de 20 anos ficaram muito distantes das marcas da cheia de 2010, apesar de apresentarem um valor expressivo de vazão para este período em estudo.

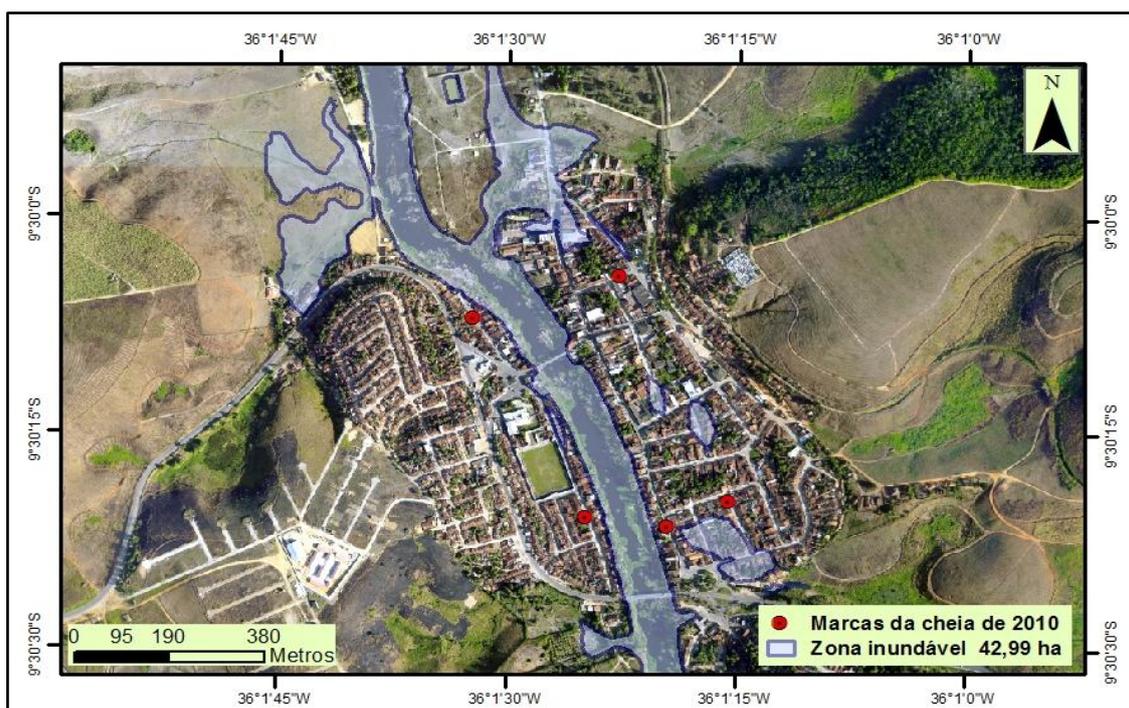


Figura 125. Zona inundável de Atalaia para o tempo de retorno de 20 anos.

5.5.6.4 Tempo de retorno de 50 anos

A vazão utilizada na análise do tempo de retorno de 50 anos calculada pela distribuição de Gumbel para o município de Quebrangulo foi de $252,14 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A zona inundável para este período apresentou uma soma dos polígonos de 44,80 ha, resultando em um aumento de área inundável de 09,19 ha, no intervalo de tempo de 40 anos (períodos de retorno de 10 - 50 anos). Para este período estudado, houve um aumento na área de inundação nas duas margens do Rio Paraíba, principalmente na área urbana do município, e também em uma região localizada na margem direita, próxima a uma área onde apresentou um recorte de mata concentrada, mas sem impactos severos, devido a não existência de edifica es. As zonas inundáveis para este período de retorno estudado estão apresentadas na Figura 126.

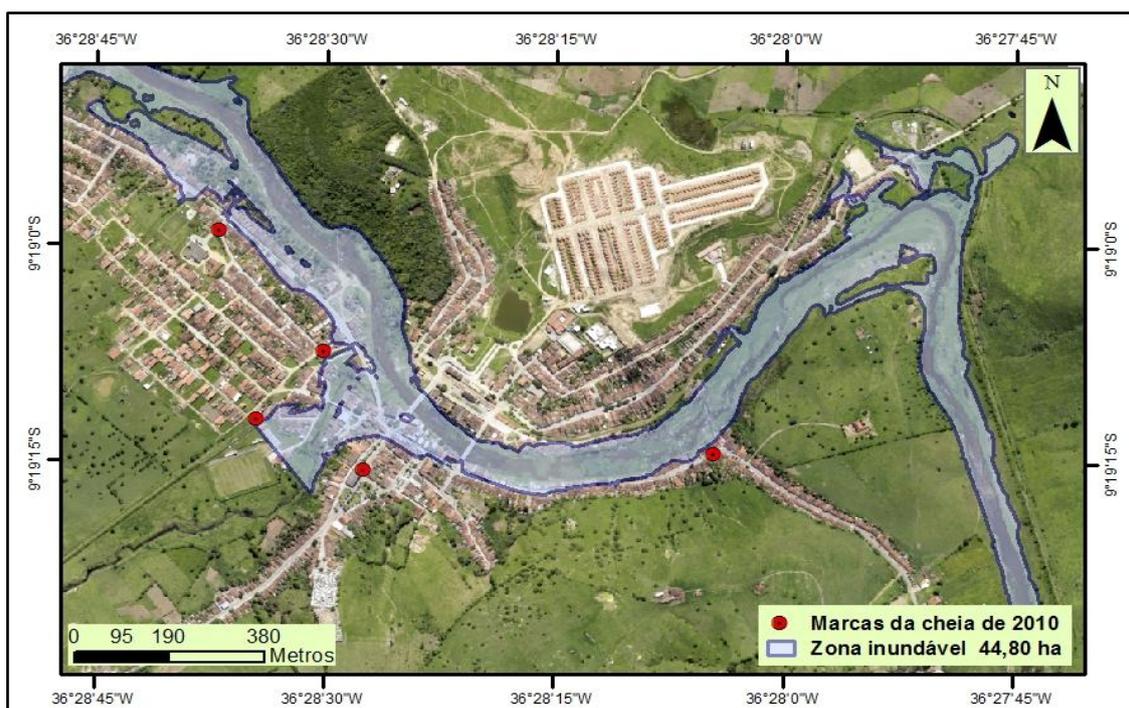


Figura 126. Zona inundável de Quebrangulo para o tempo de retorno de 50 anos.

A vazão utilizada na análise do tempo de retorno de 50 anos calculada pela distribuição de Gumbel para o município de Viçosa foi de 464,42 m³s⁻¹. A zona inundável para este período apresentou uma soma dos polígonos de 51,48 ha, que resultou em um aumento de área inundável de 9,67 ha, no intervalo de tempo de 40 anos (10 - 50 anos). Para este período de retorno estudado, houve o aumento na área de inundação nas duas margens do Rio Paraíba, esquerda e direita, principalmente na área urbana do município. Observou-se que a vazão calculada para este tempo de retorno já apresentou uma área inundável considerável, e que apresentou danos em algumas edificações localizadas mais próximas às margens do canal principal do rio. As zonas inundáveis para este tempo de retorno estudado estão apresentadas na Figura 127.

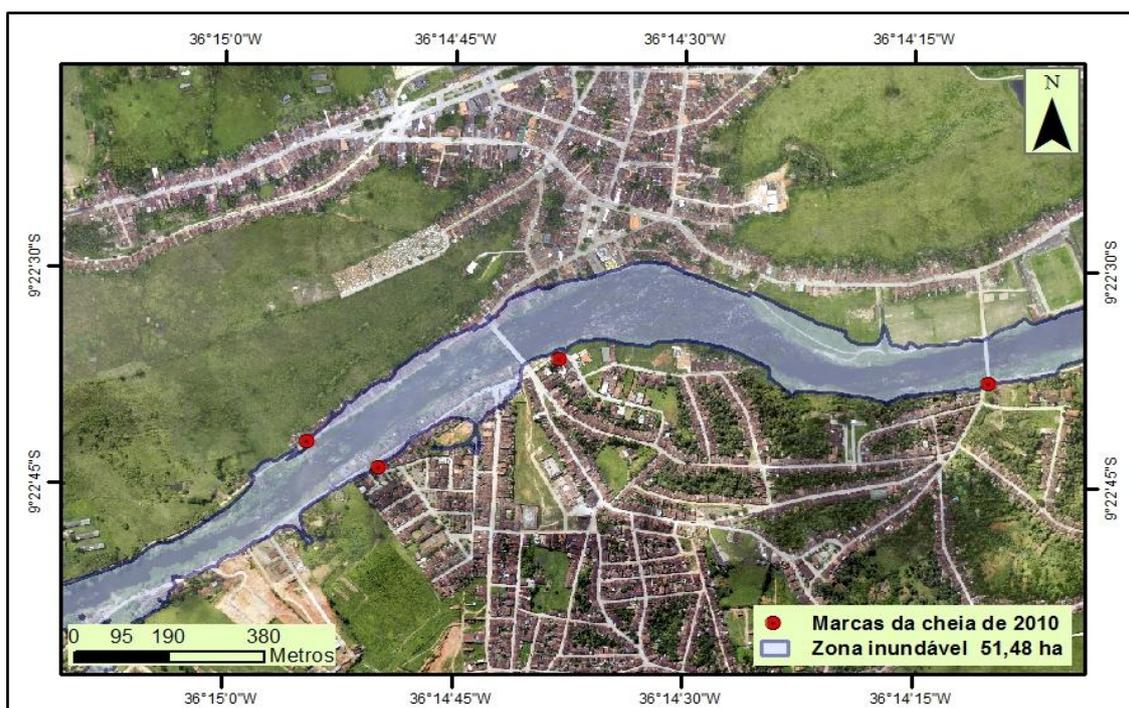


Figura 127. Zona inundável de Viçosa para o tempo de retorno de 50 anos.

A vazão utilizada na análise do tempo de retorno de 50 anos calculada pela distribuição de Gumbel para o município de Atalaia foi de $900,90 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, um valor bastante expressivo, que já causou um impacto grande nas zonas inundáveis do município. Houve um aumento de $201,93 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ na vazão em análise, no aumento do período em estudo de 30 anos (20 - 50 anos). A zona inundável para este período de retorno apresentou uma soma dos polígonos de 60,45 ha, que resultou em um aumento de área inundável de 17,46 ha, no espaço de tempo de 30 anos, se comparado com o período anterior de análise (tempo de retorno de 20 anos). Este período em estudo apresentou o aumento das zonas inundáveis do município nas duas margens do rio principal, direita e esquerda, e também na zona norte do município, tendo apresentado a região mais afetada na margem esquerda do Rio Paraíba, onde várias casas foram comprometidas com a inundação do rio. As zonas inundáveis para este período de retorno estudado podem ser visualizadas na Figura 128.

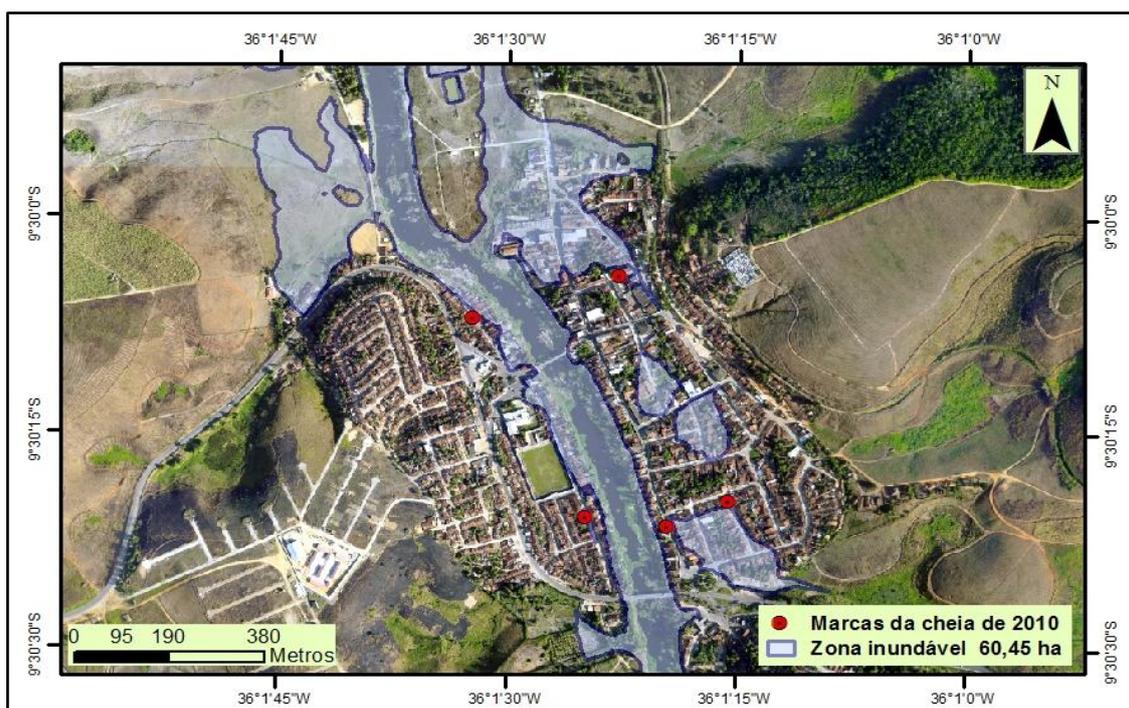


Figura 128. Zona inundável de Atalaia para o tempo de retorno de 50 anos.

Verificou-se que, para o valor da vazão calculada, é de extrema importância uma intervenção do setor público responsável pela prevenção de danos materiais e humanos, para a observação das áreas em risco do município. O valor calculado da vazão apresentada para o tempo de retorno de 50 anos ficou muito próximo do valor real observado na grande cheia de 2010, onde foi verificada uma vazão de $948,01 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. É importante ressaltar que, na cheia de 2010 houve vários fatores que contribuíram para a catástrofe ocorrida na região, como a quantidade de dias com expressivos índices de chuva que antecederam o desastre, principalmente na cabeceira do rio, no Estado de Pernambuco, tendo como consequência a saturação do solo da região atingida pela inundação.

5.5.6.5 Tempo de retorno de 100 anos

A vazão utilizada na análise do tempo de retorno de 100 anos calculada pela distribuição de Gumbel para o município de Quebrangulo foi de $273,28 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. A vazão para este período provocou uma inundação de 46,31 ha

da área em análise. A diferença do índice da vazão de 50 anos para 100 anos foi de apenas $21,14 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, o que explica a pequena variação na área inundável entre estes dois (02) períodos de retorno (50 anos - área de 44,80 ha e 100 anos - área de 46,31 ha, aumento de 1,51 ha).

Os resultados apresentados para o município de Quebrangulo indicaram uma menor variação da estimativa de vazão, se comparar os resultados com os demais municípios do estudo. Os valores variaram de $161,95 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (10 anos) para $273,28 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (100 anos). Explica-se pelo fato de que o município de Quebrangulo está localizado na região superior da bacia hidrográfica do Rio Paraíba, e conseqüentemente apresenta valores menores de vazão do que os demais postos fluviométricos analisados. A Figura 129 demonstra a zona inundável para a cheia do tempo de retorno de 100 anos.

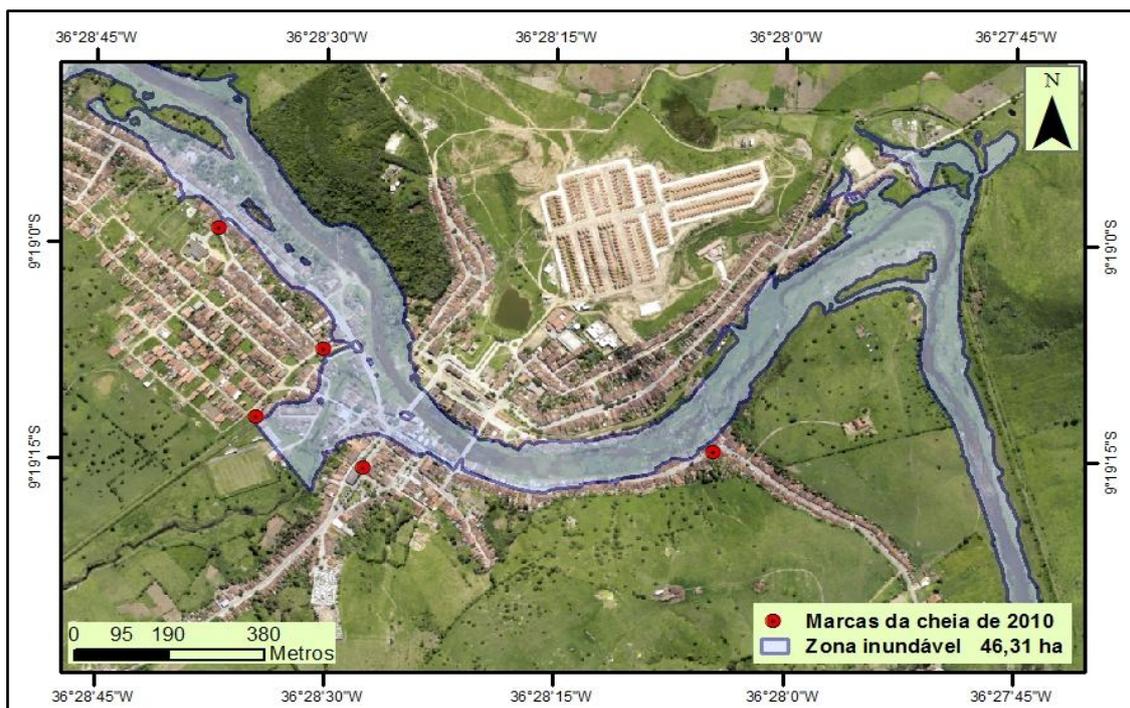


Figura 129. Zona inundável de Quebrangulo, para o período de retorno de 100 anos.

A vazão utilizada na análise do tempo de retorno de 100 anos calculada pela distribuição de Gumbel para o município de Atalaia foi de $1.068,07 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Para este período, a inundação alcançou a área de 69,61 ha da

área em análise. Apresentou também o aumento da área inundável na margem esquerda, na região próxima à ponte central do município de Atalaia, onde é a região mais crítica para inundações, visto que possui muitas moradias e prédios públicos, entre outros: escolas, igrejas, bancos, Tribunal Regional do Trabalho e a sede da Câmara Municipal. Nesta análise observou-se que a área inundável ultrapassou as marcas da cheia de 2010 em todos os cinco (05) pontos, com ênfase maior na marca de cheia nº 01, localizada na parte superior direita do município, mesma área citada anteriormente. Houve um aumento da área inundável de 4,99 ha se comparada com os dados da cheia de 2010. Referente à comparação para o período de retorno de 10 anos, o aumento da área inundável foi de 36,06 ha, um valor bastante expressivo para a região.

A análise para uma cheia centenária é bastante importante e necessária, visto que, apesar de ter um tempo de retorno bastante longínquo, é indispensável um acompanhamento dos sistemas hidrometeorológicos que possam atingir a região, independente do seu período de retorno. O município de Atalaia possui recorrência de inundações, porém, grande parte dos eventos de chuva não causa destruição, diferentemente de alguns municípios mais à montante, causando o aumento mais repentino da altura de água nas suas margens. A Figura 130 demonstra a zona inundável para a cheia do tempo de retorno de 100 anos, com suas respectivas marcas de cheia.

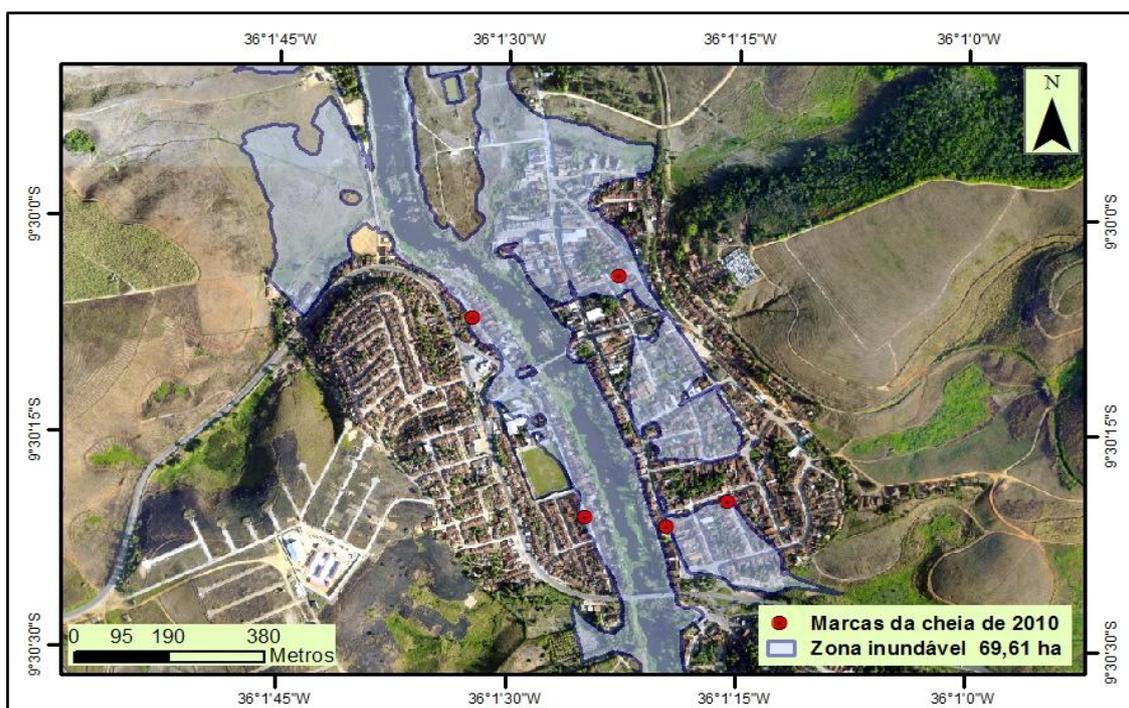


Figura 130. Zona inundável de Atalaia, para o tempo de retorno de 100 anos.

5.5.7 Resultados da simulação da variabilidade espacial de alturas de água atingidas

Após a geração do mapa das zonas inundáveis, foram gerados os mapas da altura de água. A divisão das classes e seus respectivos valores estão apresentados na Tabela 41. Alguns tempos de retorno utilizados apresentaram variação com relação a quantidade de classes, porém, as medidas utilizadas para cada classe foram as mesmas para todos os municípios estudados.

CLASSE	ALTURA (m)
01	0,00 - 0,50
02	0,51 - 1,00
03	1,01 - 1,50
04	1,51 - 2,00
05	2,01 - 3,00
06	3,01 - 5,00
07	5,01 - 7,00
08	7,01 - 9,00

Tabela 41. Classes da altura de água utilizadas no estudo.

5.5.7.1 Cheia de 2010

Para o município de Quebrangulo, os dados foram distribuídos em 08 classes, com variação de 0,00 a 8,49 m, a contar do valor inicial, desde a base do rio até a área mais atingida.. A Tabela 42 apresenta a profundidade (altura de água) do Rio Paraíba na área de estudo, em algumas seções demarcadas ao longo do município.

SEÇÃO	ALTURA DE ÁGUA (m)
1	7,23
5	7,13
10	7,12
15	7,04

Continuação

SEÇÃO	ALTURA DE ÁGUA (m)
20	6,55
25	7,20
30	7,84
35	5,07
40	5,56

Tabela 42. Valores da altura de água do Rio Paraíba em algumas seções demarcadas para a realização do estudo em Quebrangulo.

De acordo com a Figura 131, as classes 05 e 06, com valores fixos entre 3,00 m e 7,00 m, foram as que apresentaram uma maior área atingida, com somatório de 30,13 ha, ou 37,47% da área total onde a altura de água foi a referida para este período. A classe 02 foi a que apresentou a menor área, com 3,51 ha, ou 4,37%.

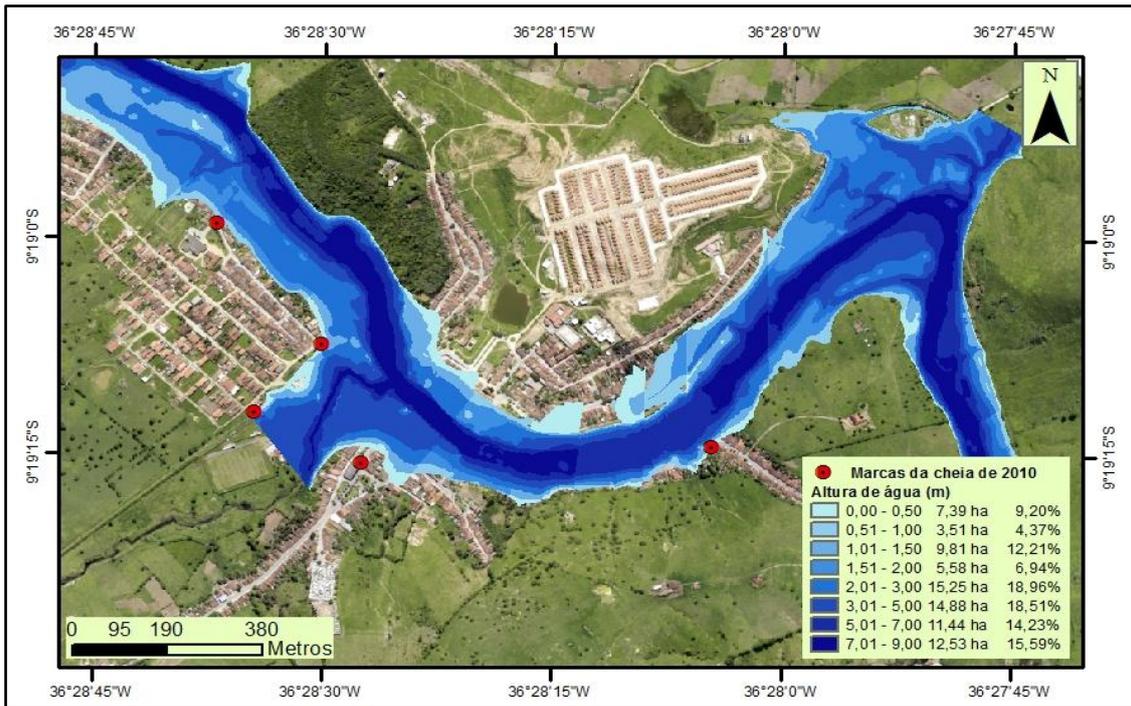


Figura 131. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e porcentagem de Quebrangulo, para o período do mês de junho de 2010.

Em Viçosa, para o evento de 2010 e tempo de retorno de 100 anos, foi gerado apenas um mapa, visto que os valores calculados foram muito semelhantes.

Os dados foram distribuídos em oito (08) classes, com variação de 0,00 a 7,30 m, a contar do valor inicial desde a base do rio, até a área mais atingida. A Tabela 43 apresenta a profundidade (altura de água) do Rio Paraíba na área de estudo, em algumas seções demarcadas ao longo do município, onde a altura de água foi maior em algumas áreas pontuais.

SEÇÃO	ALTURA DE ÁGUA (m)
1	6,29
5	5,83
10	5,75
15	5,05
20	4,94
25	2,49
30	5,59
35	6,52
40	4,54
45	3,42
50	5,34
55	5,25
60	5,61
65	4,58

Tabela 43. Valores da altura de água do Rio Paraíba em algumas seções demarcadas para a realização do estudo em Viçosa.

De acordo com a Figura 132, as classes seis (06) e sete (07), com valores fixos entre 3,00 m e 7,00 m, foram as que apresentaram maior área atingida, com mais de 50% da área total, onde a altura de água foi a referida para este período (cheia de 2010 e período de retorno de 100 anos). A classe oito (08) foi a que apresentou a menor área, com 0,31 ha, com percentual de 0,55%, ou seja, em alguns locais pontuais. Apesar de esta classe ter

apresentado os maiores valores da altura de água, estes índices foram observados apenas no leito do rio, tendo em vista o aumento da inundação das demais áreas junto às margens do Rio Paraíba.

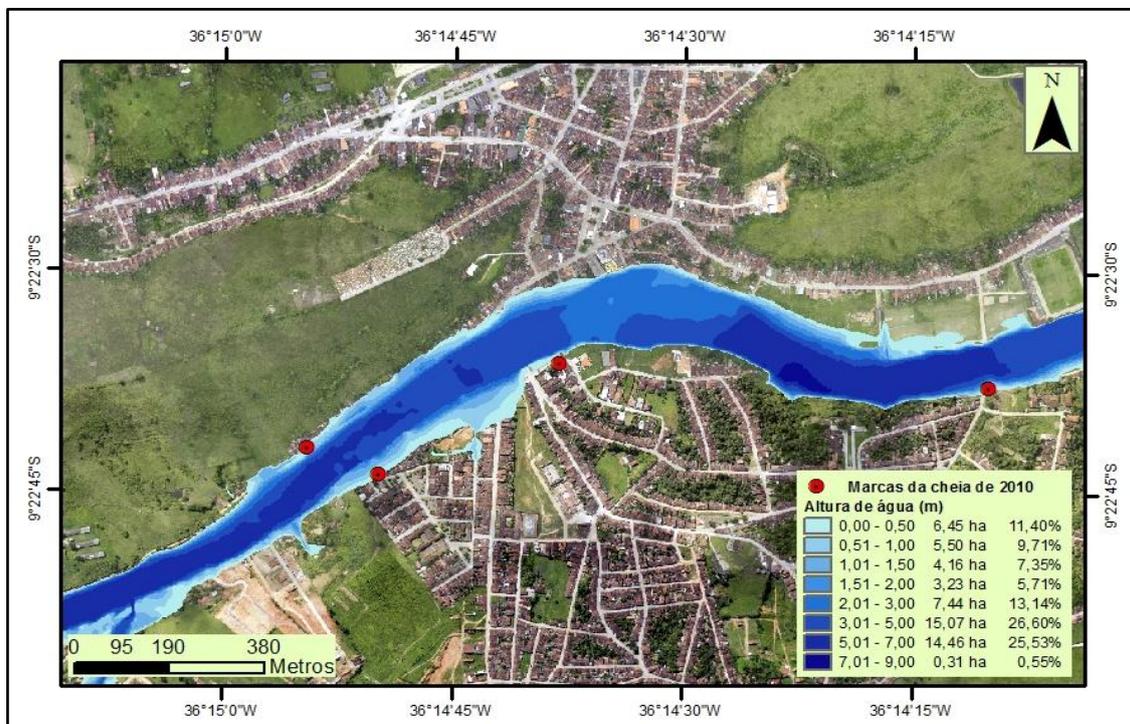


Figura 132. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e porcentagem de Viçosa, para o período do mês de junho de 2010 e tempo de retorno de 100 anos.

Em Atalaia, para o evento de 2010, os dados foram distribuídos em oito (08) classes, com variação de 0,00 a 7,13 m, a contar do valor inicial desde a base do rio até a área mais atingida. A Tabela 44 apresenta a profundidade (altura de água) do Rio Paraíba na área de estudo, em algumas seções demarcadas ao longo do município. A altura de água foi maior nas áreas que apresentaram valores de declividade mais variáveis, com índices mais elevados no centro da área estudada.

SEÇÃO	ALTURA DE ÁGUA (m)
1	0,63
5	5,36
10	5,33
15	5,47
20	6,52
25	6,81
30	6,71
35	6,25
40	5,59
45	4,82
50	2,63

Tabela 44. Valores da altura de água do Rio Paraíba em algumas seções demarcadas para a realização do estudo em Atalaia.

De acordo com a Figura 133, as classe 01 e 02 com valores fixos entre 0,00 e 1,00 m foram as que apresentaram uma maior área atingida, com 28,59 ha, ou 44,24% da área total onde a altura de água estudada foi a referida para este período (cheia de 2010). Além das margens do Rio Paraíba em Atalaia, estas classes obtiveram representação em alguns locais à direita do leito do rio, sendo indicadas como áreas de alagamento.

Houve uma porção significativa na margem direita, ao norte do município de Atalaia, onde foi apresentado um braço de inundação, colado ao leito do Rio Paraíba, o qual corresponde com a região que apresentou os

maiores danos materiais do município, com representação de todas as classes do estudo (01 a 08 classes).

A classe 08 foi a que apresentou a menor área, com 0,04 h (percentual de 0,07%), ou seja, apresentou-se em alguns locais pontuais. Apesar de esta classe ter apresentado os maiores valores da altura de água, estes índices foram observados apenas no leito do rio, sendo responsáveis pelo aumento da inundação das demais áreas, nas margens do Rio Paraíba.

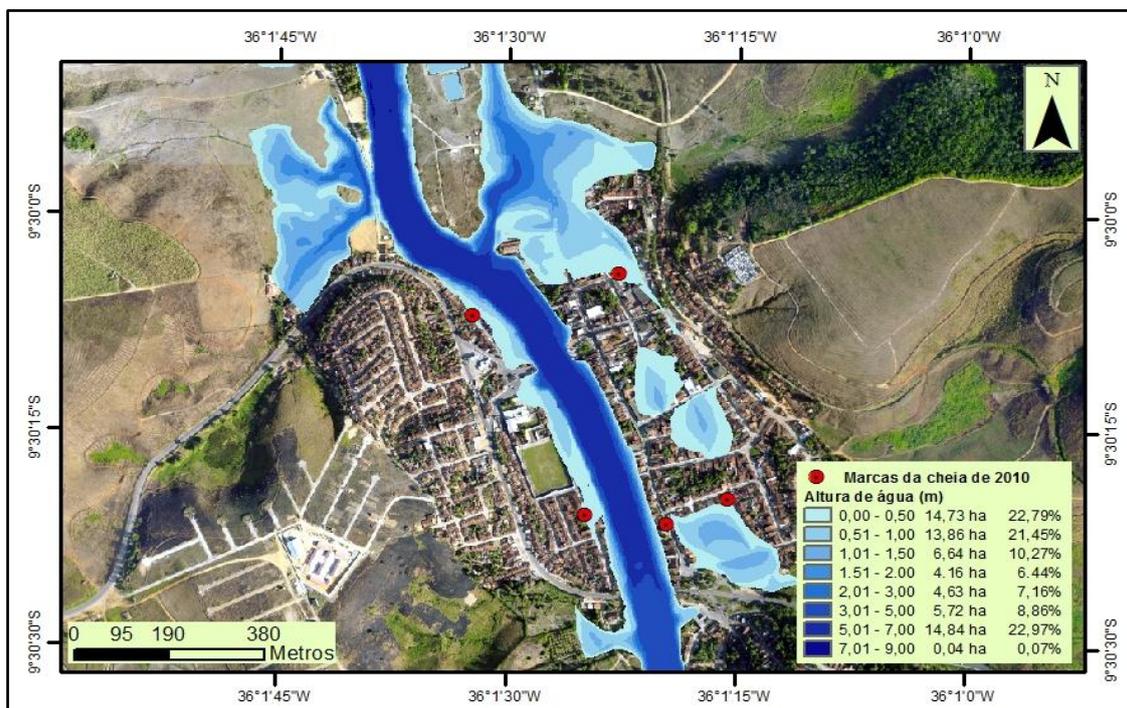


Figura 133. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Atalaia, para o mês de junho de 2010.

5.5.7.2 Tempo de retorno de 10 anos

O resultado obtido da altura de água do Rio Paraíba no município de Quebrangulo para o tempo de retorno de 10 anos variou entre 0,00 m e 5,61 m, sendo dividido em 07 classes.

Conforme pode ser observado na Figura 134, a classe que apresentou uma maior área da altura de água foi a 06, tendo atingido uma área total de 14,62 ha, com percentual de 41,06%, onde a altura de água estudada foi a referida para este período. Os maiores valores da altura de água foram registrados ao longo do leito do rio, em algumas regiões onde são apresentadas irregularidades mais acentuadas, onde foi indicado o maior valor da altura de água, de 5,61 m.

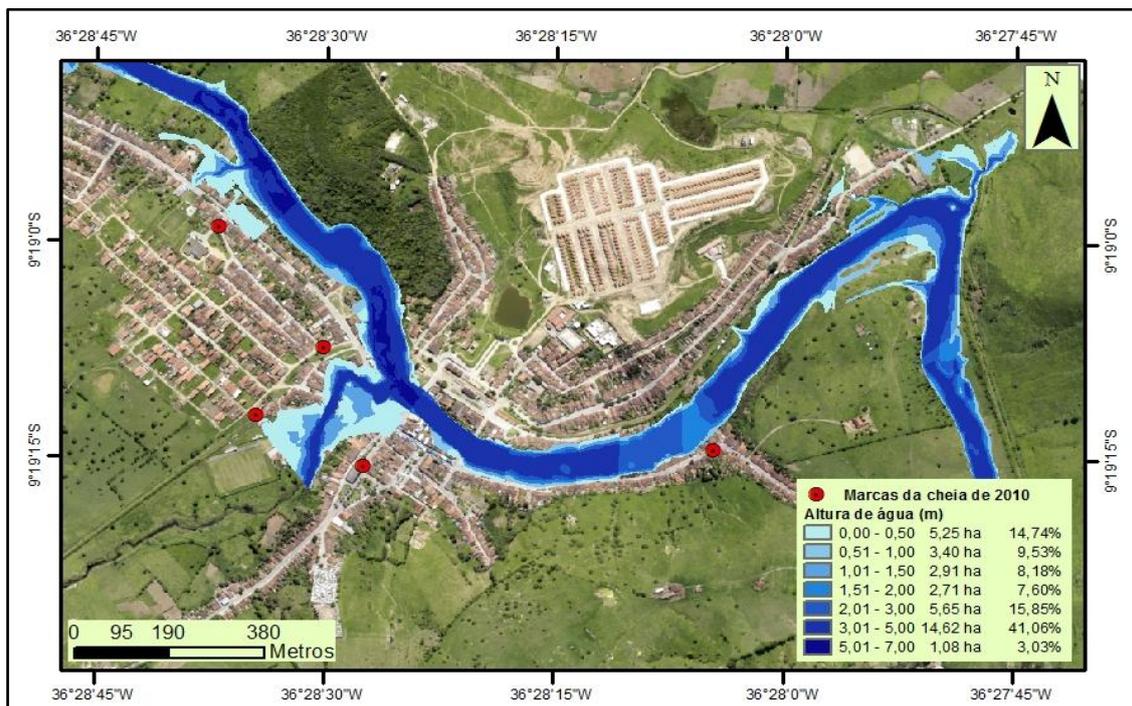


Figura 134. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Quebrangulo, para o período de retorno de 10 anos.

O resultado obtido da altura de água do Rio Paraíba no município de Viçosa para o período de retorno de 10 anos variou entre 0,00 m e 5,52 m, sendo dividido em 07 classes, conforme pode ser observado na Figura 135. A classe que apresentou uma maior área da altura de água foi a 06, tendo atingido uma área total de 19,58 ha (46,63%), onde a altura de água estudada foi a referida para este período. Os valores mais altos da altura de água foram registrados ao longo do leito do rio, em algumas regiões onde são

apresentadas irregularidades mais acentuadas, onde foi indicado o maior valor da altura de água, de 5,52 m.

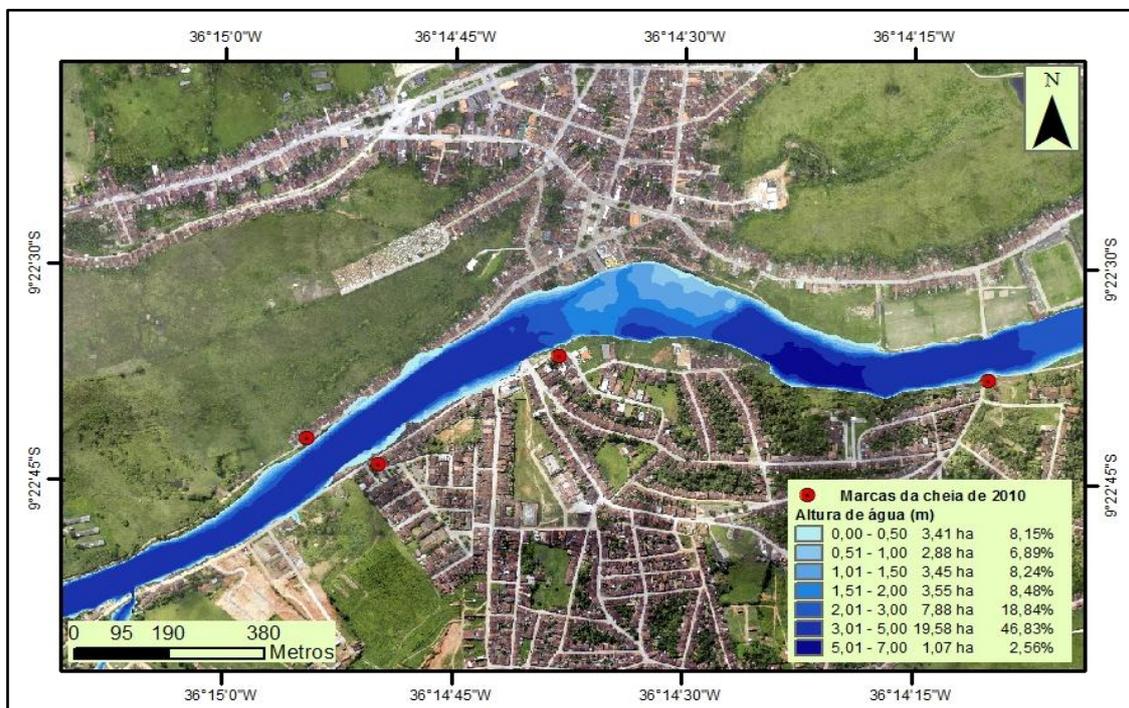


Figura 135. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e porcentagem de Viçosa, para o tempo de retorno de 10 anos.

O resultado obtido da altura de água do Rio Paraíba no município de Atalaia para o período de retorno de 10 anos variou entre 0,00 m e 5,90 m, sendo dividido em 07 classes, conforme pode ser conferido na Figura 136.

A classe 06, com valores fixos entre 3,01 m e 5,00 m, foi a que apresentou uma maior área atingida, com 13,47 ha (percentual de 40,15% da área total, onde a altura de água estudada foi a referida para este período). Os valores mais altos da altura de água foram registrados na área mais a montante, onde foi encontrado o maior valor de 5,92 m.

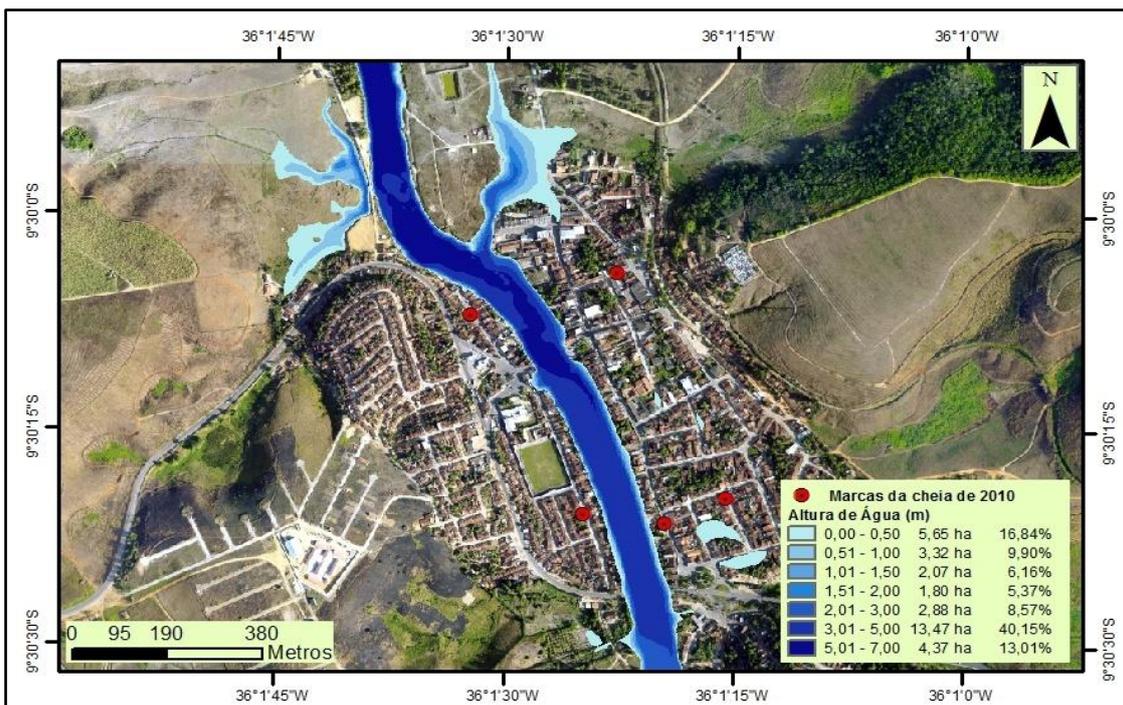


Figura 136. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Atalaia, para o período de retorno de 10 anos.

5.5.7.3 Tempo de retorno de 20 anos

O resultado obtido da altura de água do Rio Paraíba no município de Quebrangulo para o período de retorno de 20 anos variou entre 0,00 m e 5,92 m, um aumento na altura de água da classe mais elevada em 0,31 m, se comparada com o período de retorno de 10 anos. Foi dividido em 07 classes, conforme pode ser visualizado na Figura 137. A classe 06, com valores fixos entre 3,01 m e 5,00 m foi a que apresentou uma maior área atingida, de 15,00 ha, com percentual de 39,56% da área total onde a altura de água estudada foi a referida para este período de estudo. Os maiores valores da altura de água foram registrados ao longo do leito do rio, na área mais central, onde foi indicado o maior valor da altura de água, de 6,11 m.

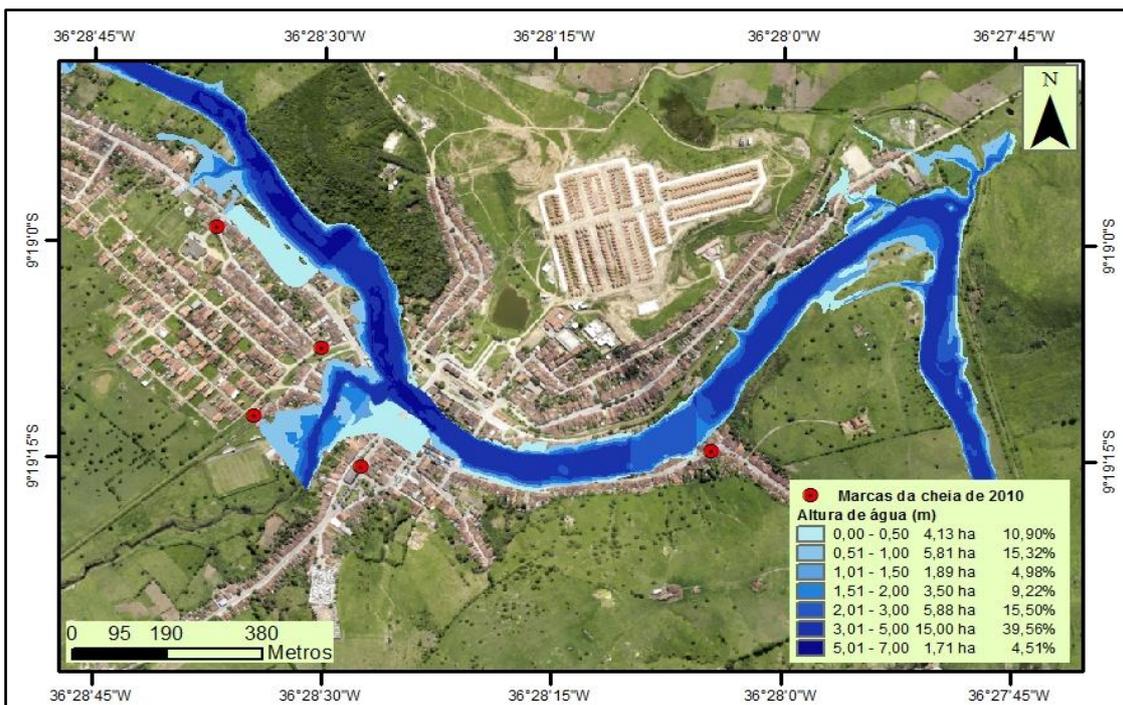


Figura 137. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Quebrangulo, para o período de retorno de 20 anos.

O resultado obtido da altura de água do Rio Paraíba no município de Viçosa para o tempo de retorno de 20 anos variou entre 0,00 m e 6,11 m, um aumento na altura de água da classe mais elevada em 0,59 m, se comparada com o período de retorno de 10 anos. Foi dividido em 07 classes, conforme pode ser conferido na Figura 138. A classe 06, com valores fixos entre 3,01 e 5,00 m foi a que apresentou uma maior área atingida, com 20,35 ha e percentual de 44,68% da área total, onde a altura de água estudada foi a referida para este período. Os maiores valores da altura de água foram registrados ao longo do leito do rio, na área mais a jusante, onde foi indicado o maior valor da altura de água de 6,11 m.

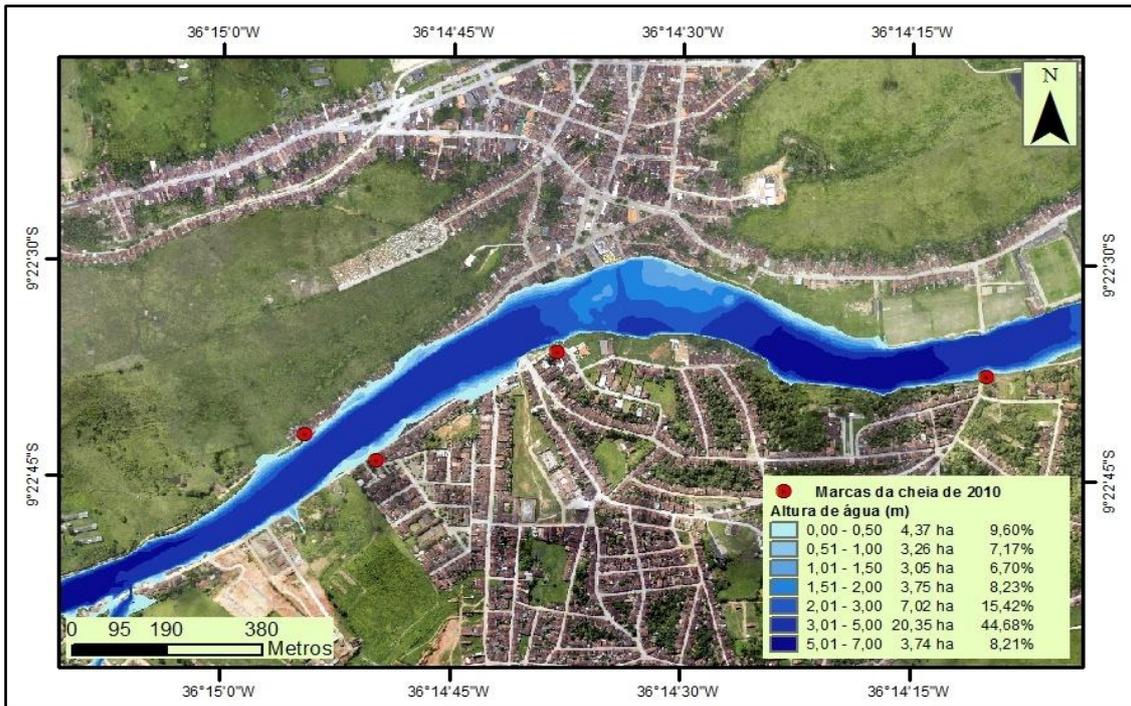


Figura 138. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Viçosa, para o período de retorno de 20 anos.

O resultado obtido da altura de água do Rio Paraíba no município de Atalaia para o tempo de retorno de 20 anos variou entre 0,00 m e 6,42 m, um aumento na altura de água da classe mais elevada em 0,50 m, se comparado com o período de retorno de 10 anos. Foi dividido em 07 classes, conforme pode ser visualizado na Figura 139. As classes 06 e 07, com valores fixos entre 3,01 m e 7,00 m foram as que apresentaram uma maior área atingida, com somatório de 19,08 ha e percentual de 44,40% da área total, onde a altura da água estudada foi a referida para este período de estudo. Os maiores valores da altura de água foram registrados ao longo do leito do rio, na área mais a montante, onde foi indicado o maior valor da altura de água de 6,42 m.

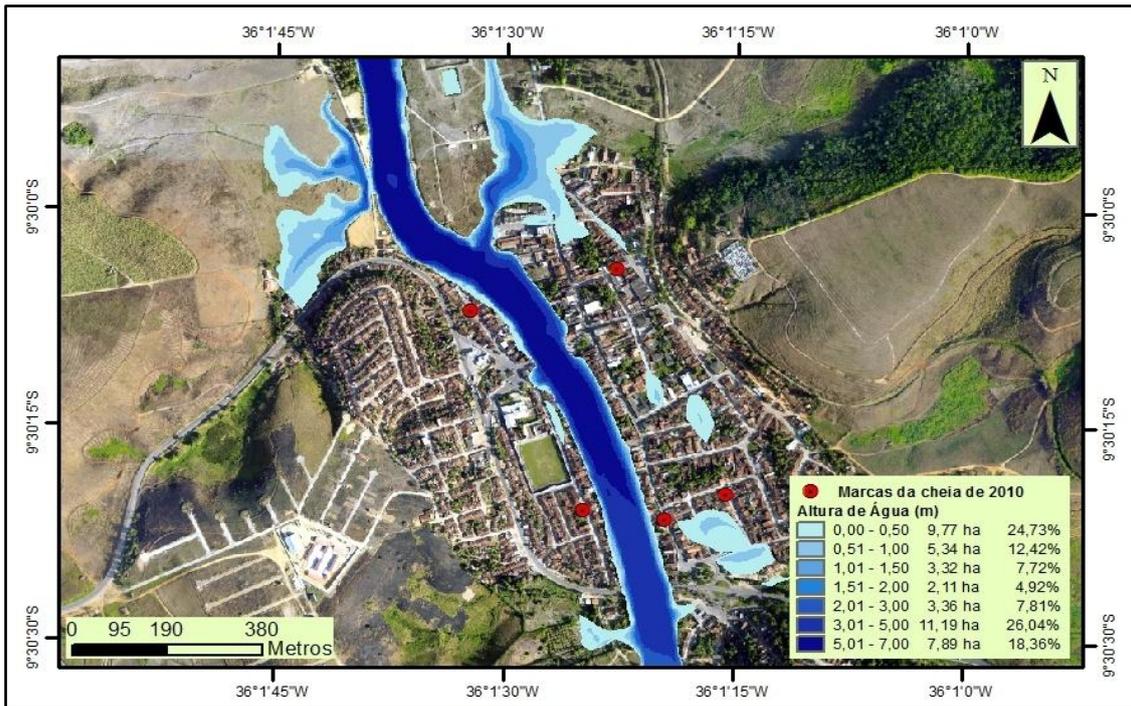


Figura 139. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Atalaia, para o período de retorno de 20 anos.

5.5.7.4 Tempo de retorno de 50 anos

O resultado obtido da altura de água do Rio Paraíba em Quebrangulo para o tempo de retorno de 50 anos variou entre 0,00 m e 6,23 m e foi dividido em 07 classes, conforme pode ser visualizado na Figura 140. As classes 01 (08,94 ha, com percentagem de 19,96%) e 06 (12,95 ha, com percentagem de 28,90%) foram as que apresentaram uma maior área atingida, onde a altura da água estudada foi a referida para este período de estudo.

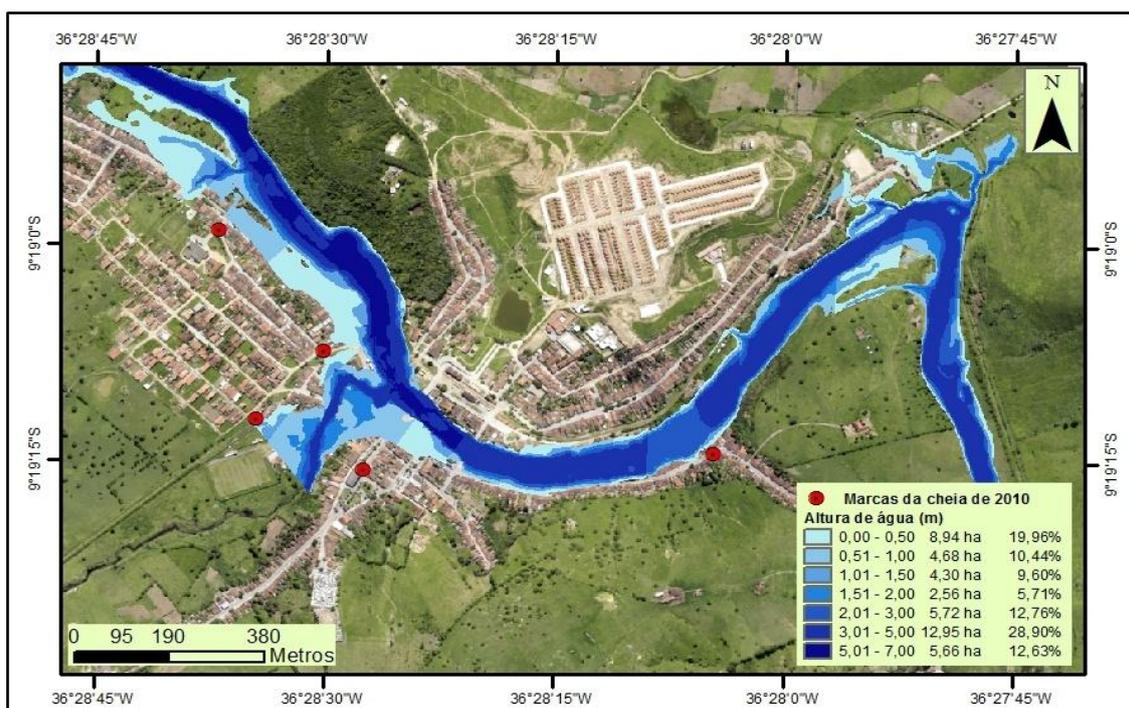


Figura 140. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Quebrangulo, para o período de retorno de 50 anos

O resultado obtido da altura de água do Rio Paraíba em Viçosa para o tempo de retorno de 50 anos variou entre 0,00 m e 6,80 m e foi dividido em 07 classes, conforme pode ser visualizado na Figura 141. As classes 06 e 07 com valores fixos entre 03,00 m e 07,00 m, foram as que apresentaram uma maior área atingida, com somatório de 27,11 ha e percentagem de 52,65% da área total onde a altura de água estudada foi a referida para este período.

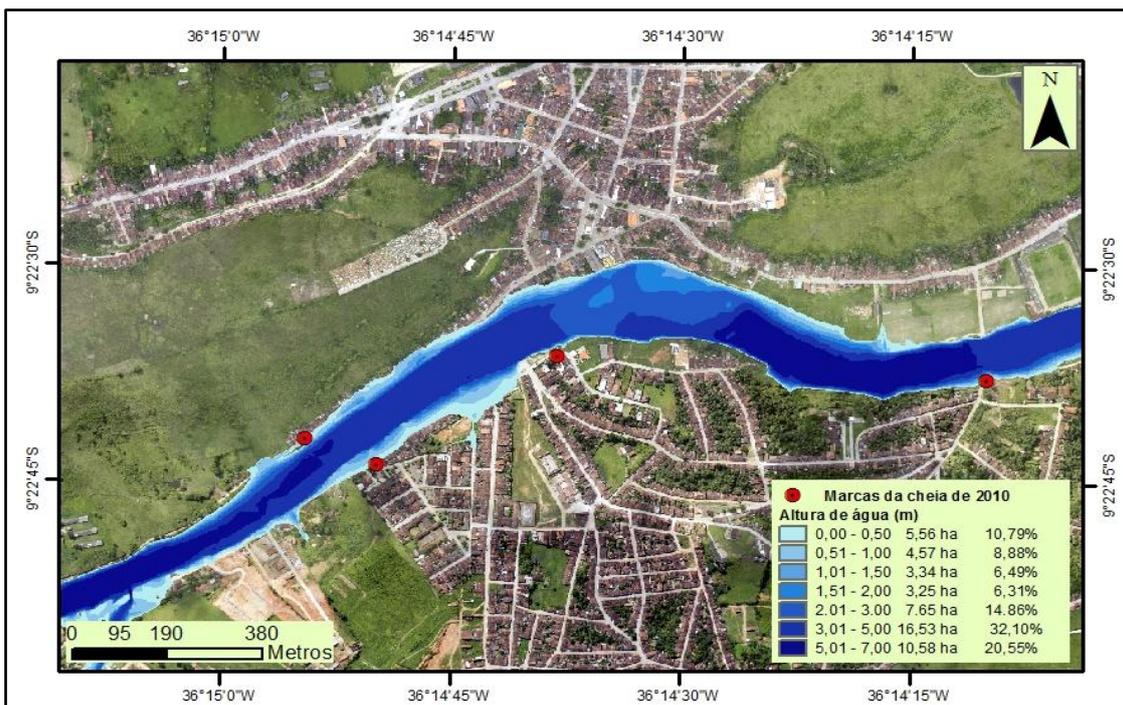


Figura 141. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Viçosa, para o período de retorno de 50 anos.

O resultado obtido da altura de água do Rio Paraíba em Atalaia para o tempo de retorno de 50 anos variou entre 0,00 m e 7,02 m e foi dividido em 07 classes, conforme pode ser visualizado na Figura 142. As classes 01 (14,94 ha, com porcentagem de 24,72%), e 07 (14,30 ha com porcentagem de 23,66%) foram as que apresentaram uma maior área atingida, onde a altura de água estudada foi a referida para este período.

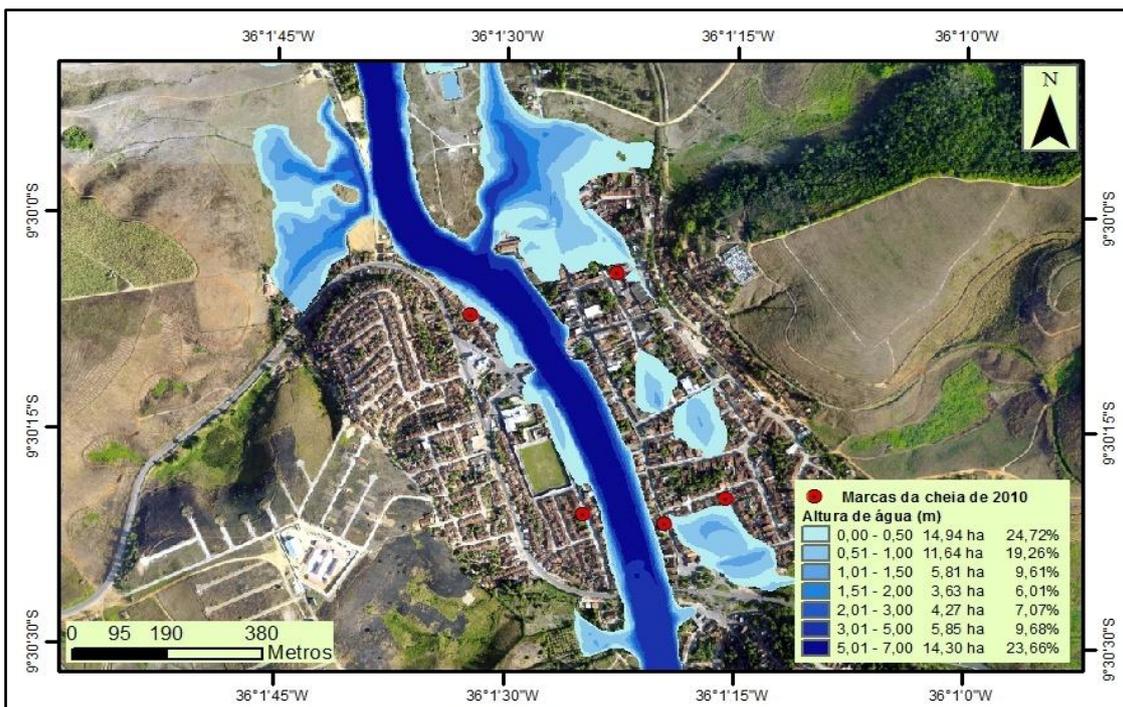


Figura 142. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Atalaia, para o período de retorno de 50 anos.

5.5.7.5 Tempo de retorno de 100 anos

O resultado obtido da altura de água do Rio Paraíba em Quebrangulo para o período de retorno de 100 anos variou entre 0,00 m e 6,40 m, conforme pode ser observado na Figura 143. As classes 01 (8,92 ha - 11,10%) e 06 (13,19 ha - 16,41%) foram as que apresentaram as maiores áreas atingidas da área total, onde a altura de água estudada foi a referida para este período.

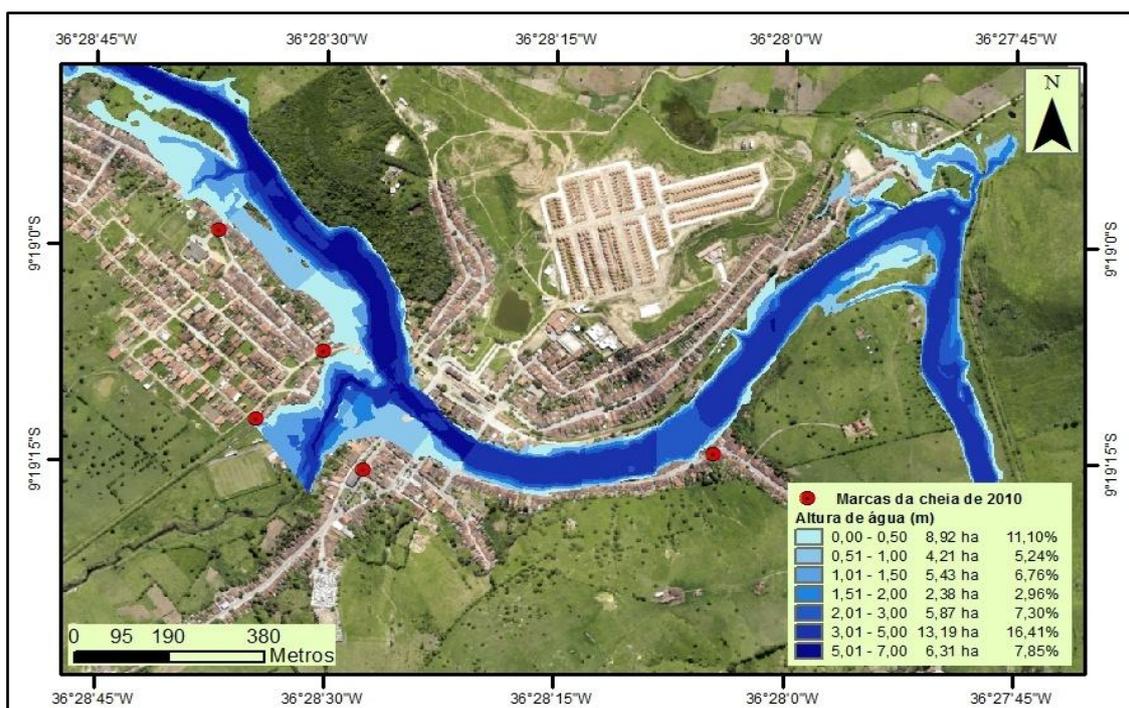


Figura 143. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Quebrangulo, para o período de retorno de 100 anos.

O resultado obtido da altura de água do Rio Paraíba em Atalaia para o período de retorno de 100 anos variou entre 0,00 m e 7,47 m, conforme pode ser visualizado na Figura 144. Para este período em estudo, as áreas de alagamento localizadas próximas a marca de cheia nº 01 (Tabela 37) se expandiram. As classes 01 (15,49 ha, com percentagem de 22,26%) e 02 (14,42 ha, com percentagem de 20,72%), com valores fixos entre 0,00 m e 1,00 m foram as que apresentaram as maiores áreas atingidas da área total, onde a altura de água foi a referida para o período estudado.

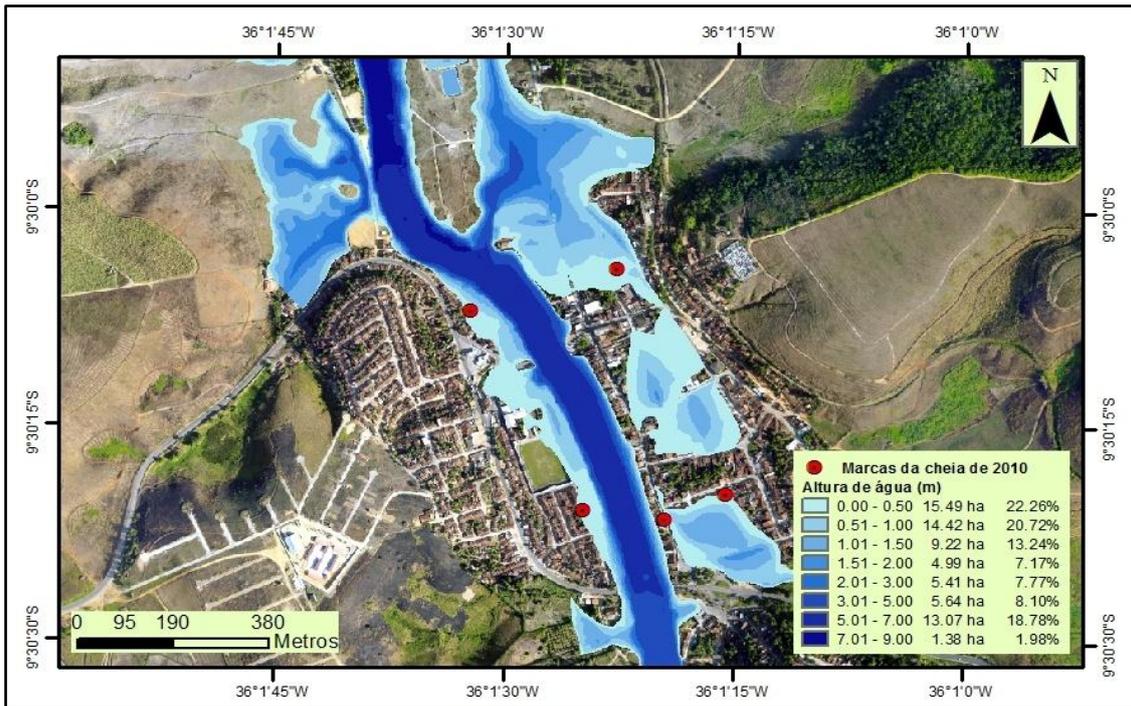


Figura 144. Classes de altura de água, área total afetada por cada classe de altura em ha e percentagem de Atalaia, para o período de retorno de 100 anos.

5.5.8 Resultados da simulação da variabilidade espacial das velocidades atingidas pela vazão

Após a geração dos mapas das zonas inundáveis e das alturas de água, foram gerados os mapas das velocidades atingidas pela vazão. A divisão das classes e seus respectivos valores estão apresentados na Tabela 45. Alguns tempos de retorno utilizados apresentaram variação com relação a quantidade de classes, porém, as medidas utilizadas para cada classe foram as mesmas para todos os municípios estudados.

CLASSE	VELOCIDADE (m ³ s ⁻¹)
01	0,00 - 0,50
02	0,51 - 1,00
03	1,01 - 1,50
04	1,51 - 2,00
05	2,01 - 3,00
06	3,00 - 5,00
07	5,01 - 7,00
08	7,01 - 9,00
09	>9,01

Tabela 45. Classes da velocidade de água corrente utilizadas no estudo.

5.5.8.1 Cheia de 2010

Para o município de Quebrangulo, os dados de velocidade de água aqui apresentados foram distribuídos em 05 classes, com variação de 0,00 m.s⁻¹ a 03,00 m.s⁻¹. Os maiores valores calculados foram localizados em uma região mais a jusante da área urbana do município. A classe 01 (0,00 m.s⁻¹ a 0,50 m.s⁻¹) foi a que apresentou uma maior representatividade na área de estudo. Apesar do município de Quebrangulo ter apresentado a maior área inundável deste estudo, as velocidades apresentadas ficaram abaixo dos valores apresentados em Viçosa e Atalaia, onde foram divididas em 08 e 09 classes respectivamente. Porém, vale ressaltar que estes dois (02) municípios apresentaram valores de velocidades bem mais altos, mas em áreas pontuais, provavelmente devido à declividade irregular da região.

Na região urbana do município, área importante para as análises de inundação, os valores de velocidade variaram entre $0,38 \text{ m.s}^{-1}$ e $1,47 \text{ m.s}^{-1}$. Os valores de velocidade apresentados em algumas seções da área de estudo estão listados na Tabela 46.

SECÇÃO	VELOCIDADE (m.s^{-1})
1	0,75
5	1,51
10	1,21
15	1,24
20	1,47
25	0,73
30	0,38
35	1,90
40	1,96

Tabela 46. Valores da velocidade do Rio Paraíba em m.s^{-1} , em algumas seções demarcadas para a realização do estudo em Quebrangulo.

O município de Quebrangulo, assim como os demais municípios do estudo, também apresentou em algumas regiões do centro da calha do rio, pedregulhos de pequeno e médio porte, assim como em praticamente toda a extensão do Rio Paraíba. As velocidades apresentadas para o evento da cheia de 2010 com suas respectivas classes, podem ser observadas na Figura 145.

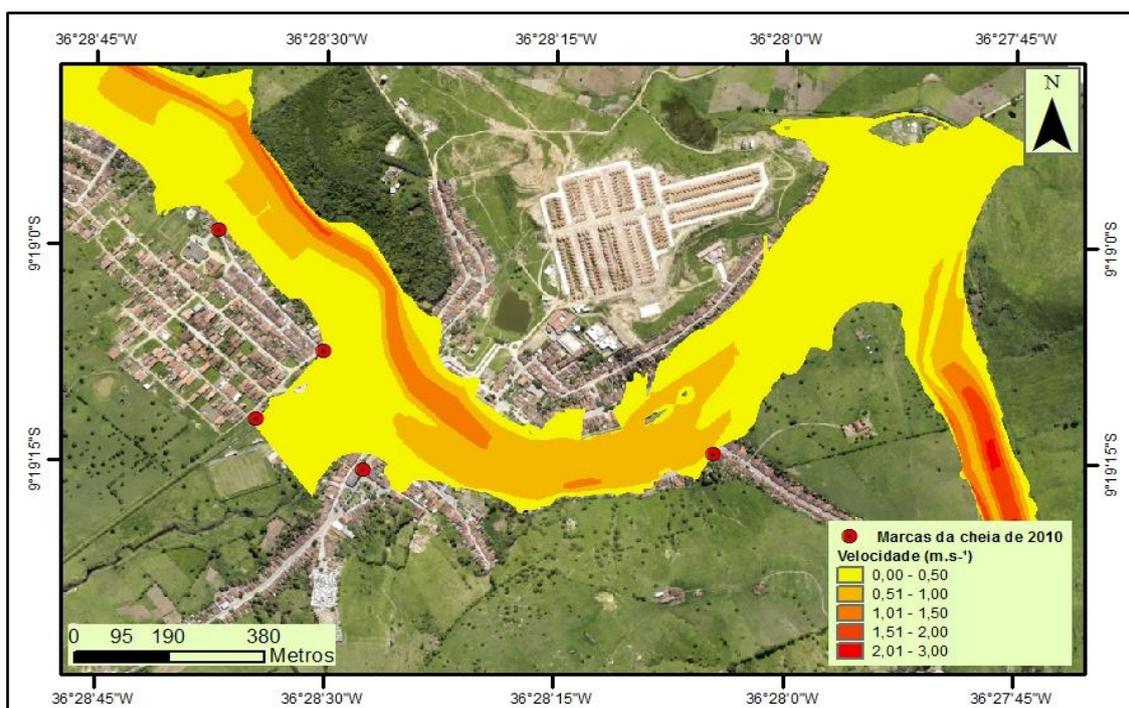


Figura 145. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Quebrangulo para o período do mês de junho de 2010.

Os dados de velocidade de água no município de Viçosa apresentados foram distribuídos em 08 classes, com variação de $0,00 \text{ m.s}^{-1}$ a $08,00 \text{ m.s}^{-1}$. Os maiores valores calculados foram apresentados como casos pontuais, em uma área da calha do Rio Paraíba, localizada em uma região mais a jusante da área urbana do município. Na região urbana do município, área esta importante para as análises de inundação, os valores variaram entre $0,67 \text{ m.s}^{-1}$ e $2,63 \text{ m.s}^{-1}$, de acordo com os dados da Tabela 47.

SEÇÃO	VELOCIDADE (m.s ⁻¹)
1	0,85
5	1,10
10	1,45
15	1,26
20	1,12
25	1,19
30	0,90
35	0,77
40	1,70
45	2,63
50	1,21
55	1,06
60	1,07
65	1,27

Tabela 47. Valores da velocidade corrente do Rio Paraíba em m.s⁻¹, em algumas seções demarcadas para a realização do estudo em Viçosa.

O município de Viçosa também apresentou em algumas regiões do centro da calha do rio, pedregulhos de pequeno e médio porte, assim como em praticamente toda a extensão do Rio Paraíba. Assim sendo, é possível afirmar que a velocidade tem uma variação natural, ao longo da área, devido a estes obstáculos naturais. A velocidade apresentada para o evento da cheia de 2010

e período de retorno de 100 anos com suas respectivas classes, podem ser conferidas na Figura 146.

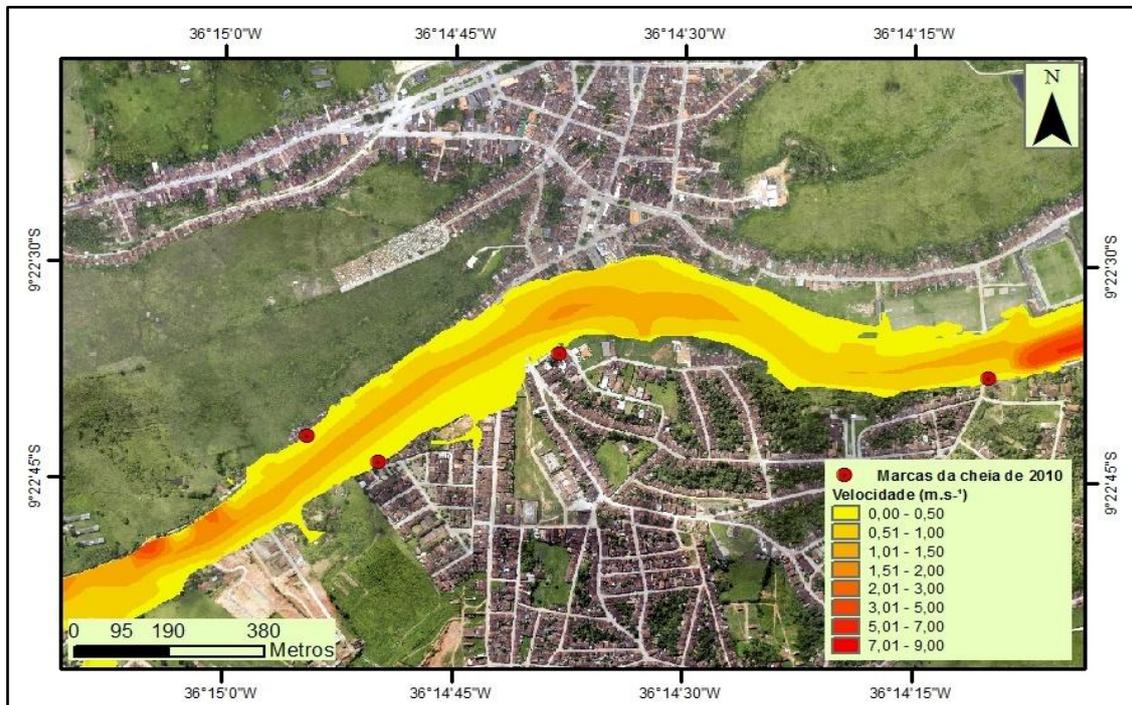


Figura 146. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba de Viçosa para o período do mês de junho de 2010 e período de retorno de 100 anos.

Os dados de velocidade de água apresentados no município de Atalaia foram distribuídos em 09 classes, com variação de $0,00 \text{ m.s}^{-1}$ a $28,51 \text{ m.s}^{-1}$. Os maiores valores calculados foram indicados como casos pontuais, em uma área da calha do Rio Paraíba, localizada em uma região bem acima da área urbana do município. Na região urbana de Viçosa, importante para as análises de inundação, os valores variaram entre $1,31 \text{ m.s}^{-1}$ e $4,12 \text{ m.s}^{-1}$, de acordo com os dados da Tabela 48.

SEÇÃO	VELOCIDADE (m.s ⁻¹)
1	28,51
5	2,31
10	2,39
15	1,74
20	1,92
25	1,53
30	1,49
35	1,74
40	2,09
45	2,52
50	4,25

Tabela 48. Valores da velocidade corrente do Rio Paraíba em m.s⁻¹, em algumas seções demarcadas para a realização do estudo em Atalaia.

Em algumas regiões do centro da calha do Rio Paraíba, foram apresentados pedregulhos de pequeno e médio porte, alguns com a sua visibilidade a "olho nu", ficando expostos em épocas em que as vazões do rio são mais baixas, principalmente na estiagem. Assim sendo, é possível afirmar que a velocidade tem uma variação natural ao longo da área, devido a estes obstáculos naturais. A velocidade apresentada para o evento da cheia de 2010 com suas respectivas classes, pode ser observada na Figura 147.

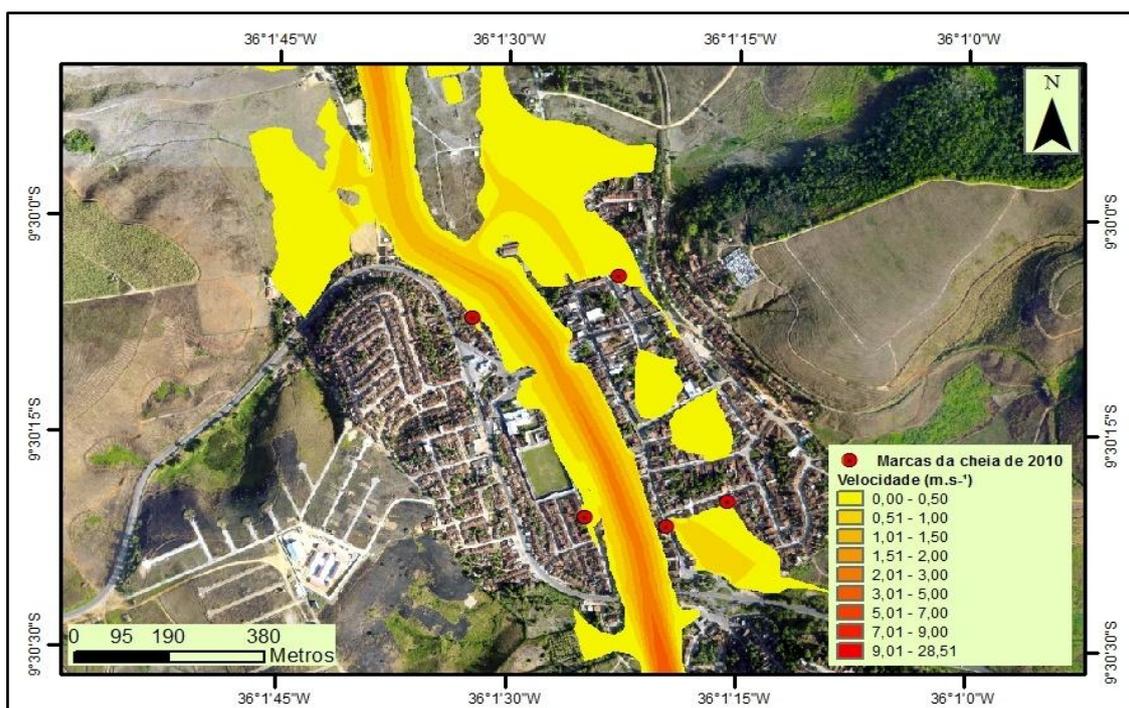


Figura 147. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Atalaia para o período do mês de junho de 2010.

5.5.8.2 Tempo de retorno de 10 anos

A velocidade corrente apresentada no leito do Rio Paraíba no município de Quebrangulo para o período de retorno de 10 anos variou entre $0,00 \text{ m.s}^{-1}$ e $02,52 \text{ m.s}^{-1}$, sendo dividida em 05 classes. As classes 01 e 02 ($0,00 \text{ m.s}^{-1}$ a $1,00 \text{ m.s}^{-1}$) ficaram com uma maior representatividade para esta série em estudo, conforme pode ser verificado na Figura 148.

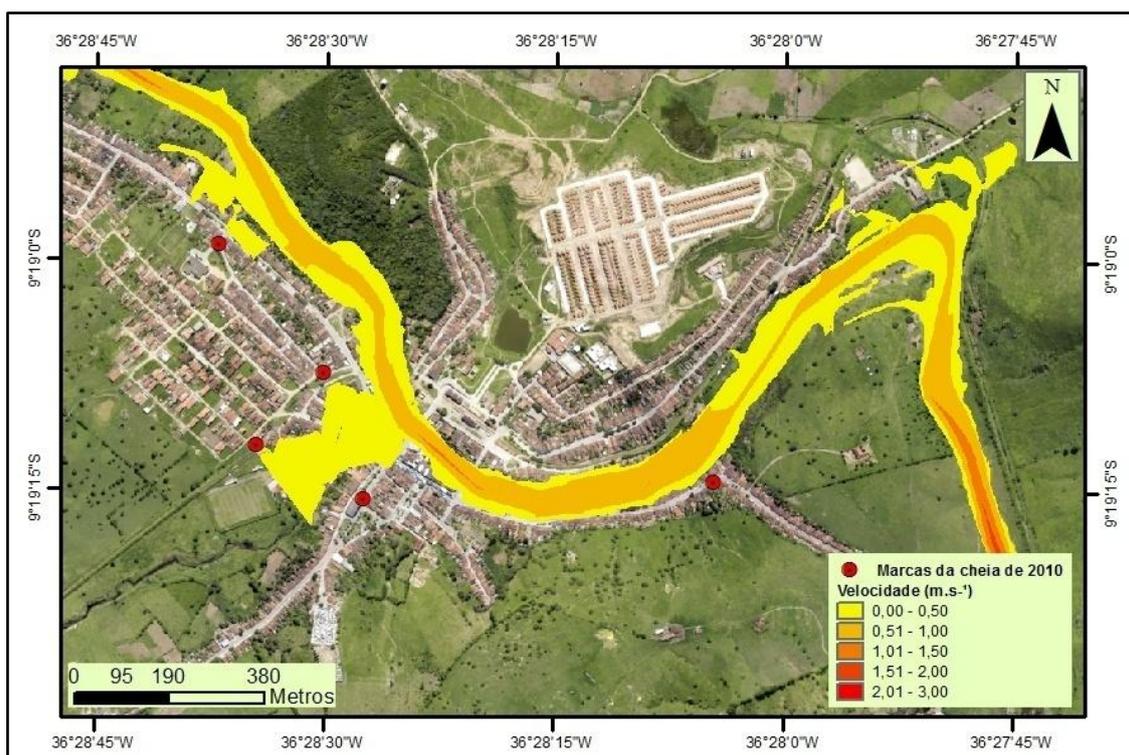


Figura 148. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Quebrangulo para o período de retorno de 10 anos.

A velocidade corrente apresentada no leito do Rio Paraíba no município de Viçosa para o tempo de retorno de 10 anos variou entre $0,00 \text{ m.s}^{-1}$ e $06,84 \text{ m.s}^{-1}$, sendo dividida em 07 classes. Verificou-se que apesar de a classe 07 ter apresentado uma velocidade mais alta que as demais, estes valores foram observados em locais pontuais, na região mais a jusante do município. As classes 01 e 02 ($0,00 \text{ m.s}^{-1}$ a $1,00 \text{ m.s}^{-1}$) ficaram com uma maior representatividade para esta série em estudo, conforme pode ser verificado na Figura 149.

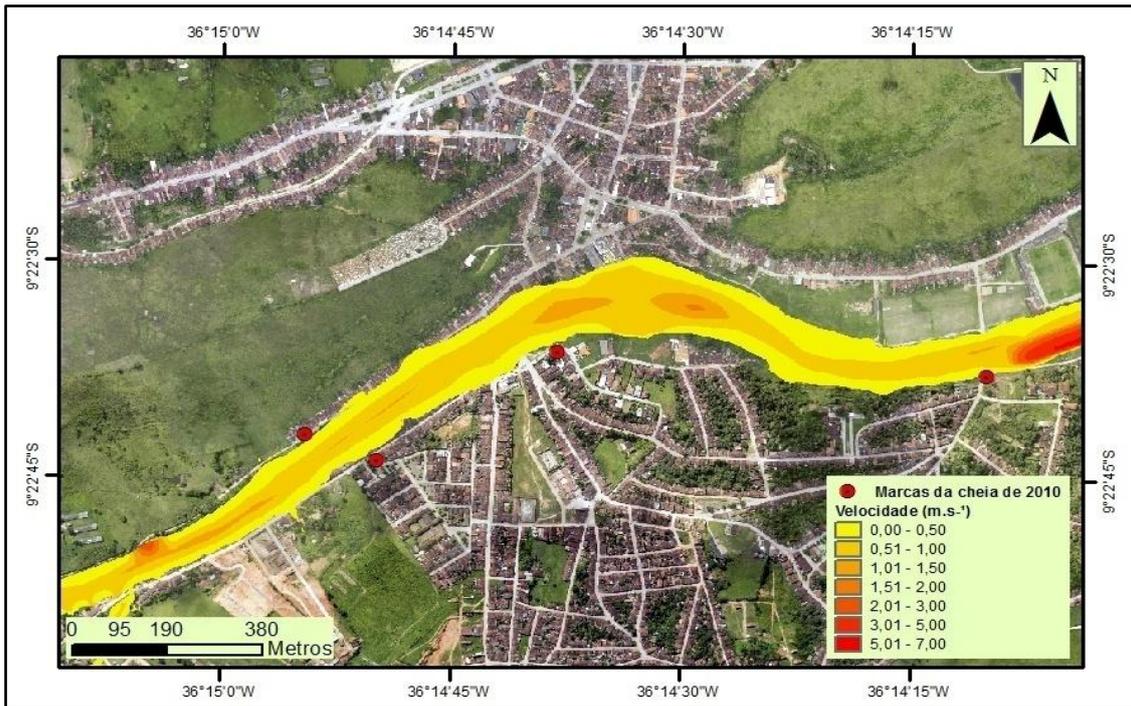


Figura 149. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Viçosa para o período de retorno de 10 anos.

A velocidade corrente apresentada no leito do Rio Paraíba no município de Atalaia para o período de retorno de 10 anos variou entre 0,00 m.s⁻¹ e 23,43 m.s⁻¹, sendo dividida em 09 classes, conforme Figura 150. Verificou-se que apesar da classe 09 ter apresentado uma velocidade bastante significativa, estes valores foram observados em locais pontuais, ficando as classes de 01 a 03 (0,00 m.s⁻¹ a 1,50 m.s⁻¹), com uma maior representatividade para esta série de estudo.

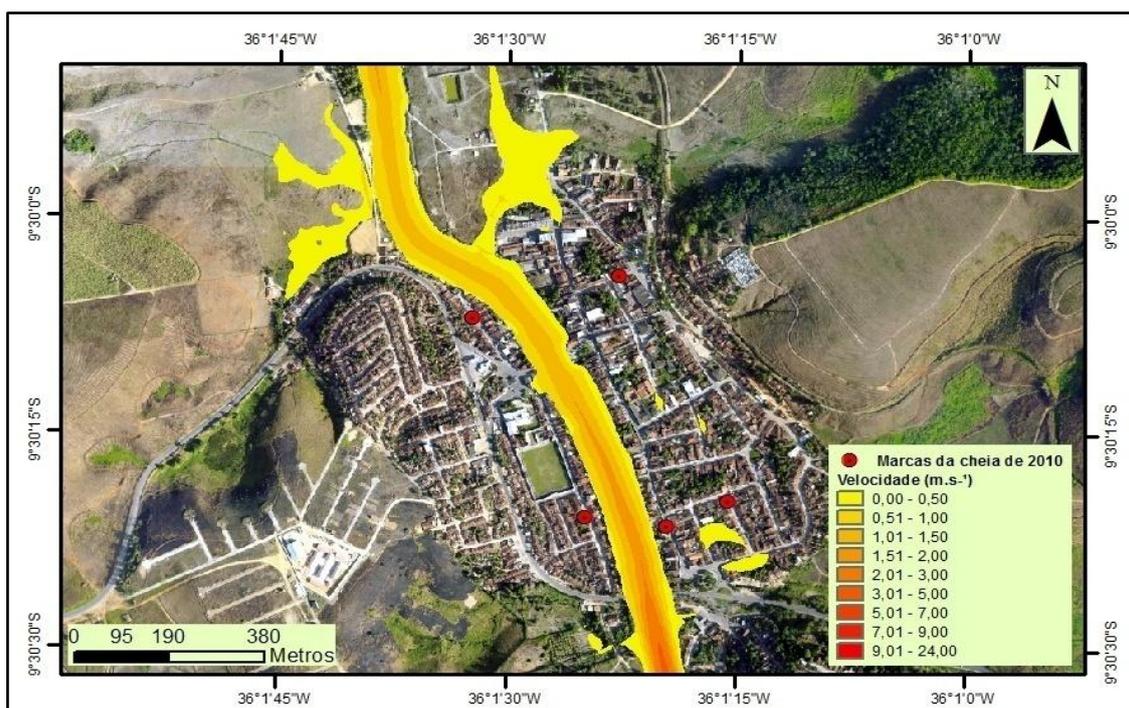


Figura 150. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Atalaia para o período de retorno de 10 anos.

5.5.8.3 Tempo de retorno de 20 anos

A velocidade corrente apresentada no leito do Rio Paraíba no município de Quebrangulo para o tempo de retorno de 20 anos, variou entre $0,00 \text{ m.s}^{-1}$ e $02,66 \text{ m.s}^{-1}$, sendo dividida em 05 classes conforme Figura 151. Houve um aumento da velocidade neste intervalo de 10 anos dos períodos de retorno analisados, porém não muito significativo. A maior velocidade apresentou valor com um aumento de $0,14 \text{ m.s}^{-1}$, se comparado com o resultado do período de retorno anterior.

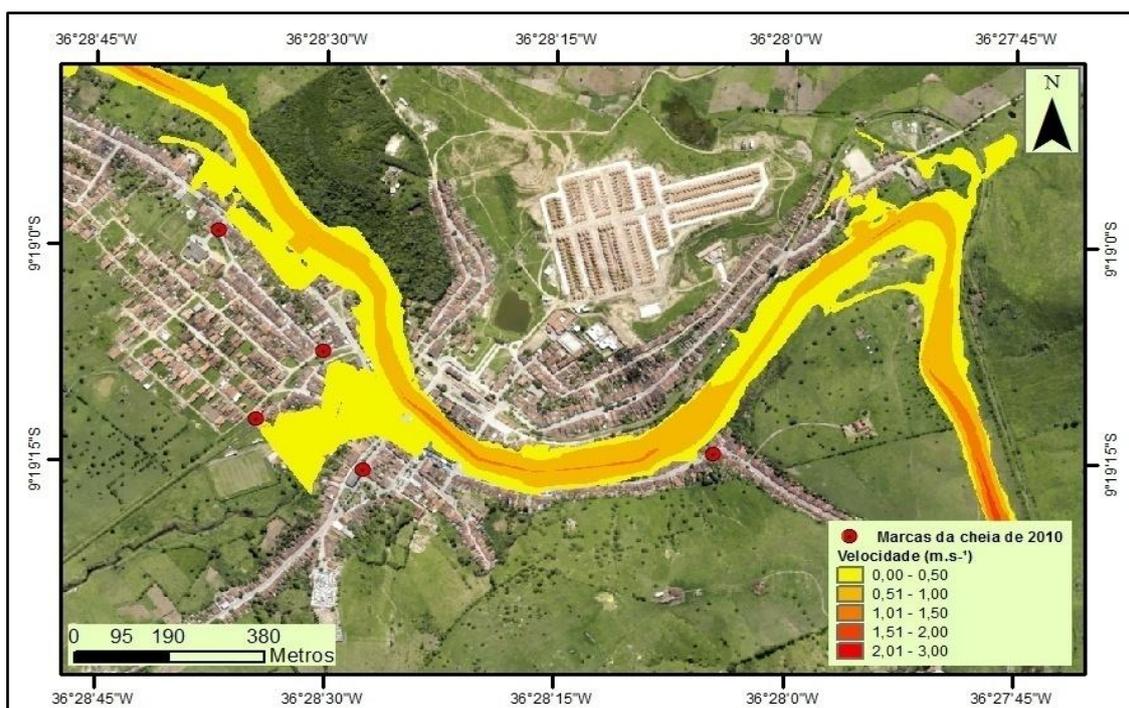


Figura 151. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Quebrangulo para o período de retorno de 20 anos.

A velocidade corrente apresentada no leito do Rio Paraíba no município de Viçosa para o tempo de retorno de 20 anos variou entre $0,00 \text{ m.s}^{-1}$ e $08,25 \text{ m.s}^{-1}$, sendo dividida em 08 classes, conforme Figura 152. Notou-se que houve o aumento da velocidade neste intervalo de 10 anos de variação dos tempos de retornos analisados. Na comparação com o mapa do período de tempo de retorno anterior, o mesmo foi observado para esta análise, onde os valores mais altos, apresentados na classe 08, são bastante pontuais, em uma área à jusante, sendo as velocidades de $0,00 \text{ m.s}^{-1}$ a $1,00 \text{ m.s}^{-1}$, com uma maior representatividade para esta série em estudo.

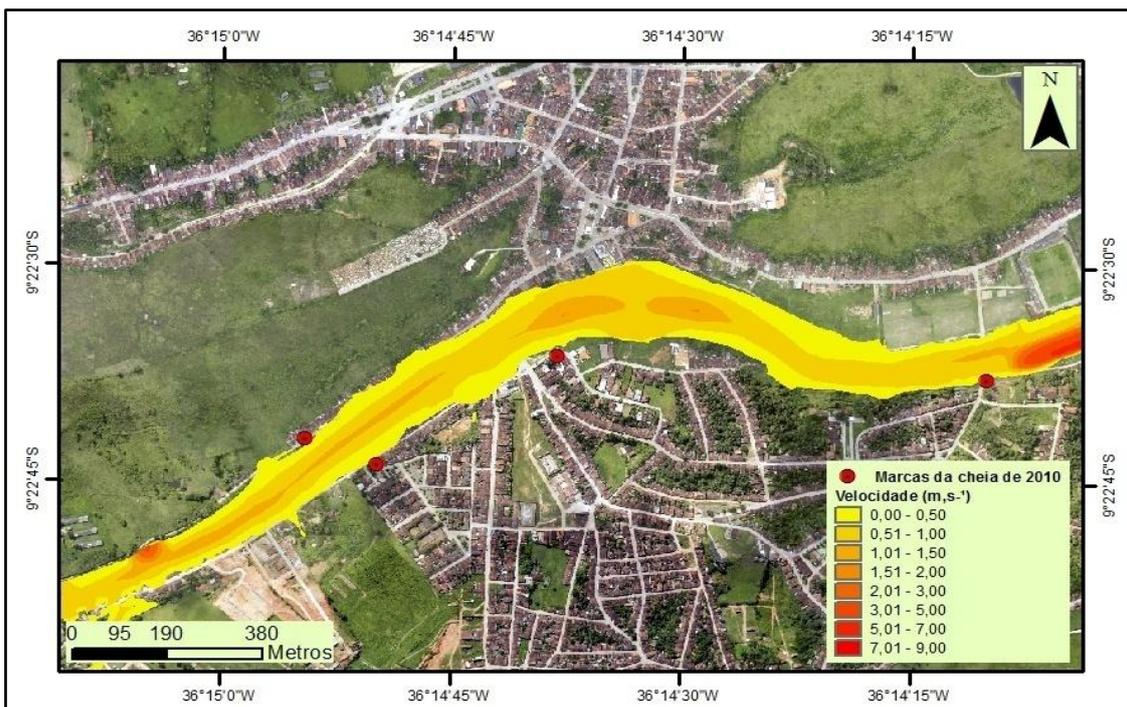


Figura 152. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Viçosa para o período de retorno de 20 anos.

A velocidade corrente apresentada no leito do Rio Paraíba no município de Atalaia para o tempo de retorno de 20 anos variou entre $0,00 \text{ m.s}^{-1}$ e $25,52 \text{ m.s}^{-1}$, sendo dividida em 09 classes, conforme Figura 153. Notou-se que houve o aumento da velocidade neste intervalo de 10 anos de variação dos períodos de retorno analisados. Na comparação com o mapa do período de retorno anterior (10 anos), o mesmo foi observado para esta análise, onde os valores mais altos, apresentados na classe 09, são bastante pontuais, sendo as velocidades de $0,00 \text{ m.s}^{-1}$ a $2,00 \text{ m.s}^{-1}$, com uma maior representatividade para esta série de estudo.

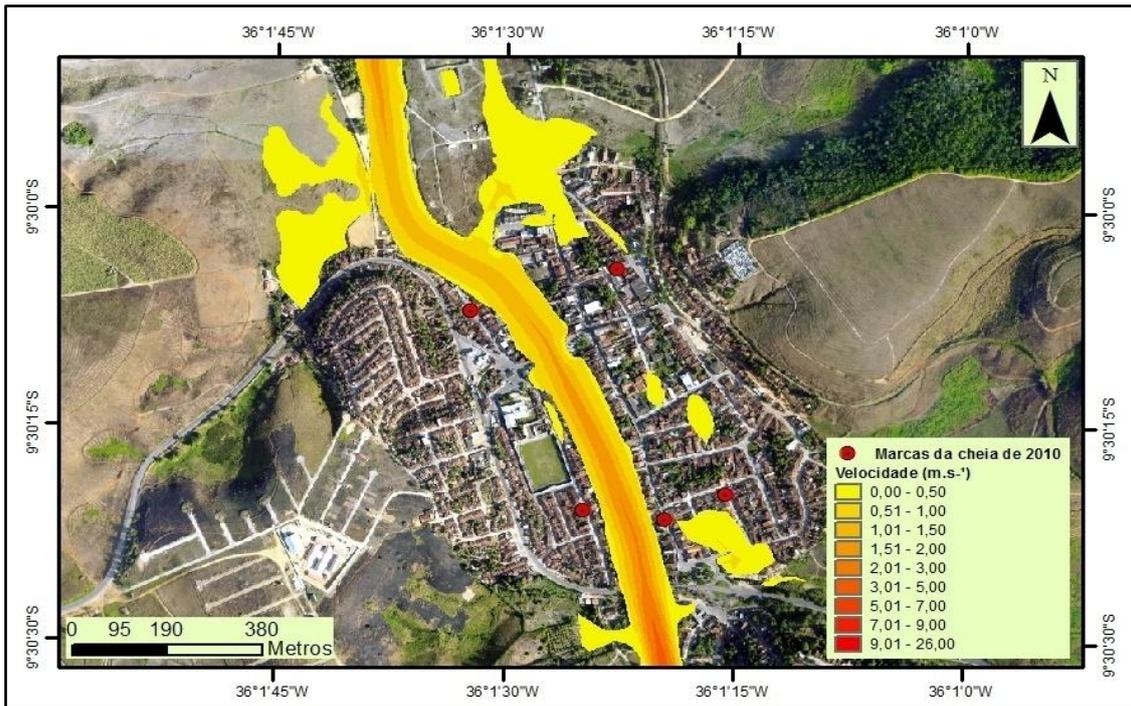


Figura 153. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Atalaia para o período de retorno de 20 anos.

5.5.8.4 Tempo de retorno de 50 anos

A velocidade corrente apresentada no leito do Rio Paraíba em Quebrangulo para o tempo de retorno de 50 anos variou entre 0,00 m.s⁻¹ e 02,82 m.s⁻¹, sendo dividida em 05 classes, conforme Figura 154. A maior parte dos valores de velocidade foi apresentada na faixa entre 0,50 m.s⁻¹ e 1,50 m.s⁻¹. Foram apresentadas as maiores velocidades no centro do rio, principalmente na região mais a jusante do curso de água, da mesma maneira que foram observados nos tempos de retorno anteriores.

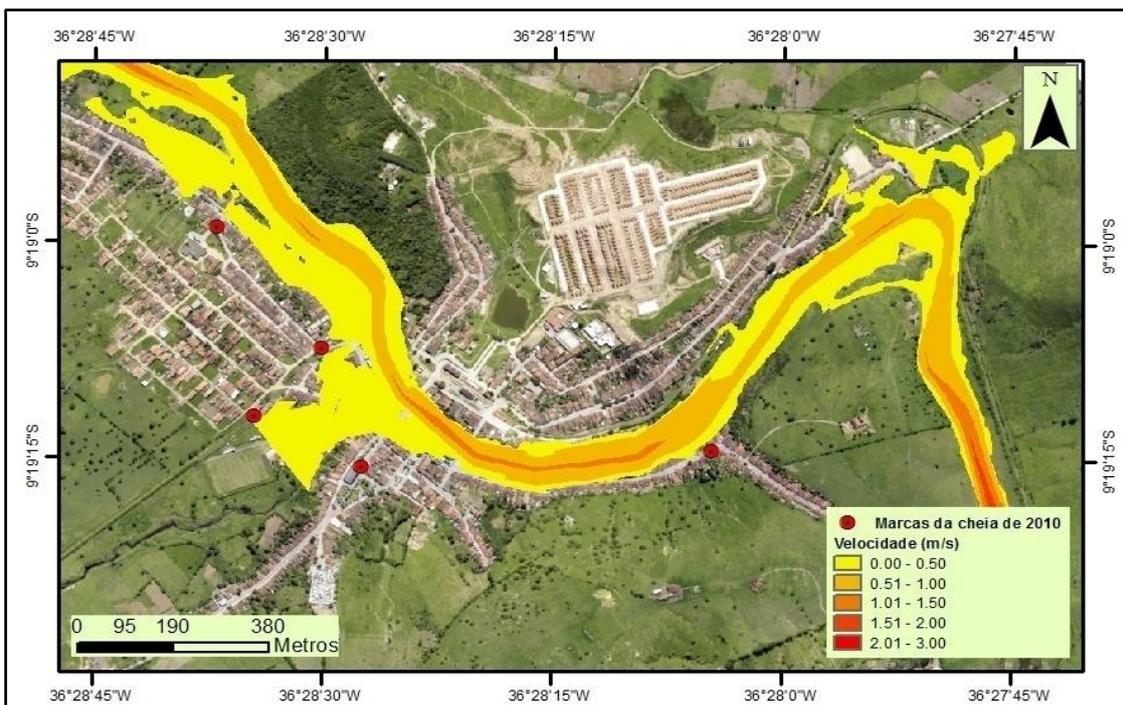


Figura 154. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Quebrangulo para o período de retorno de 50 anos.

A velocidade corrente apresentada no leito do Rio Paraíba em Viçosa para o tempo de retorno de 50 anos variou entre 0,00 e 08,80 m.s^{-1} , sendo dividida em 08 classes, conforme Figura 155. A maior parte dos valores de velocidade corrente ficou na faixa entre 0,50 m.s^{-1} e 1,50 m.s^{-1} . Foram apresentadas as maiores velocidades no centro do rio, principalmente na região mais a jusante do curso de água, da mesma maneira que foram observados nos tempos de retorno anteriores.

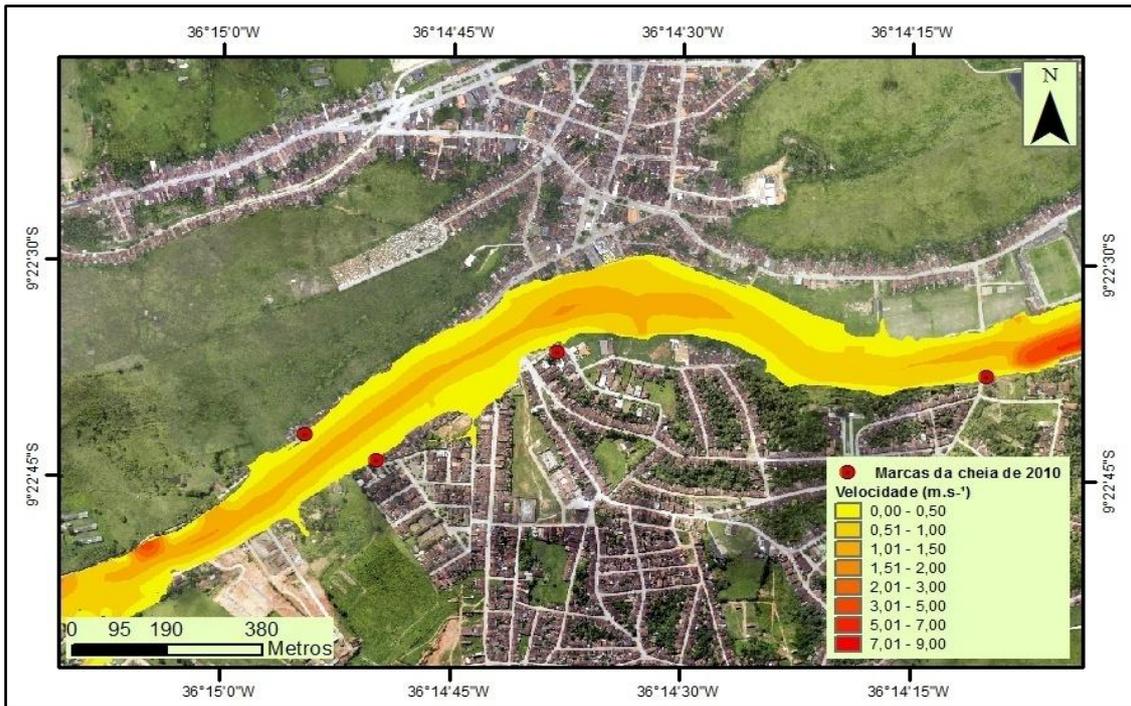


Figura 155. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Viçosa para o período de retorno de 50 anos.

A velocidade corrente apresentada no leito do Rio Paraíba em Atalaia para o tempo de retorno de 50 anos variou entre $0,00 \text{ m.s}^{-1}$ e $27,98 \text{ m.s}^{-1}$, sendo dividida também em 09 classes, conforme Figura 156. Apesar de ter sido observado um valor muito alto para a velocidade de $27,98 \text{ m.s}^{-1}$, este valor foi pontual, a ficar a maior parte dos valores de velocidade na faixa entre $0,50 \text{ m.s}^{-1}$ e $3,00 \text{ m.s}^{-1}$. Foram apresentadas as maiores velocidades no centro do rio, principalmente na região mais a jusante do curso de água.

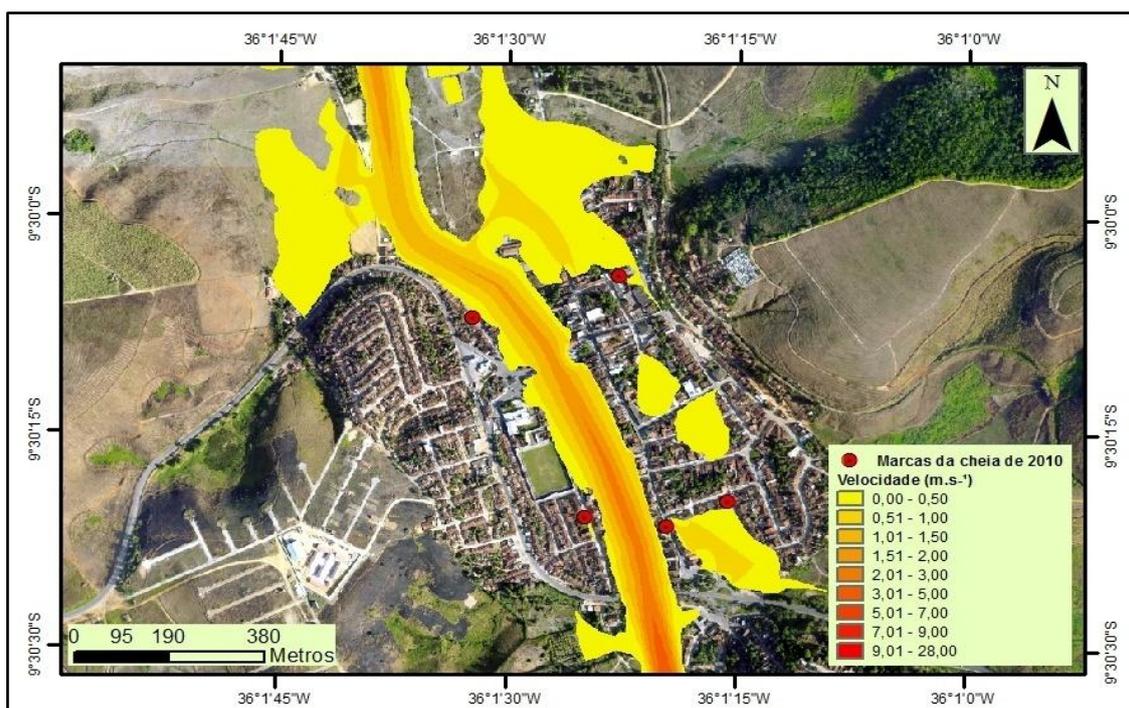


Figura 156. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Atalaia para o período de retorno de 50 anos.

5.5.8.5 Tempo de retorno de 100 anos

A velocidade corrente apresentada no leito do Rio Paraíba e suas margens no município de Quebrangulo para o tempo de retorno de 100 anos variou entre $0,00 \text{ m.s}^{-1}$ e $02,91 \text{ m.s}^{-1}$, sendo dividida em 05 classes, da mesma maneira feita para os períodos de retorno anteriores. A maior velocidade foi encontrada na região a jusante do município, onde não são encontradas áreas urbanas (Figura 157).

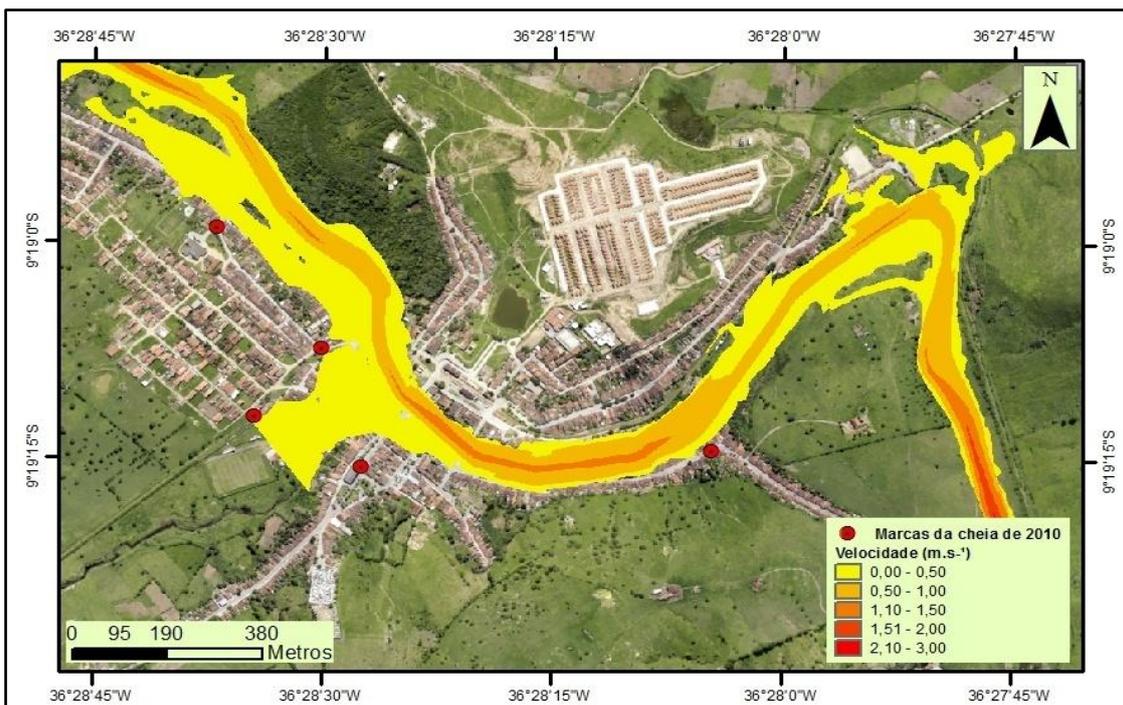


Figura 157. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba em Quebrangulo para o período de retorno de 100 anos.

A velocidade corrente apresentada no leito do rio no município de Atalaia para o tempo de retorno de 100 anos variou entre $0,00 \text{ m.s}^{-1}$ e $29,78 \text{ m.s}^{-1}$, sendo dividida em 09 classes. A mesma variação foi observada juntamente com os dados de velocidade anteriores, onde a maior vazão calculada foi pontual, a ficar a maior parte dos valores de velocidade entre $0,50 \text{ m.s}^{-1}$ e $5,00 \text{ m.s}^{-1}$. A velocidade em alguns trechos apresentou valores bem acentuados, podendo ser conferidos na Figura 158, a indicar 02 trechos com valores mais altos de velocidade, mais próximos da primeira seção demarcada pra o estudo (valores próximos a $4,00 \text{ m.s}^{-1}$), e também mais à jusante, nas últimas seções (valores próximos a $5,00 \text{ m.s}^{-1}$).

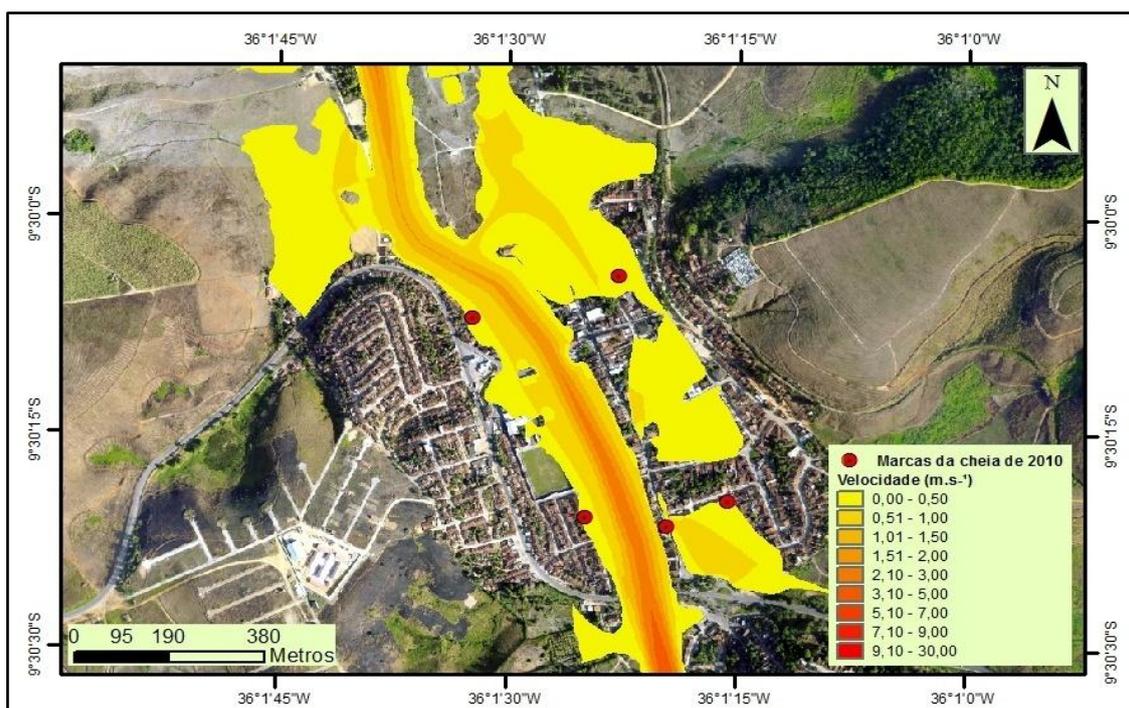


Figura 158. Classes de velocidade corrente do Rio Paraíba de Atalaia para o período de retorno de 100 anos.

5.5.9 Resultados e discussão dos mapas de zonas inundáveis, altura de água e velocidade corrente

De uma maneira geral, as vazões utilizadas para a geração dos mapas de zonas inundáveis, altura de água e velocidade corrente apresentaram excelentes resultados. Apesar de não existirem dados observados de vazão em Quebrangulo e Viçosa para a inundação de 2010, evento responsável pela calibração do modelo, os índices calculados utilizados para estes municípios e os dados observados de Atalaia conseguiram suprir esta deficiência. O modelo hidráulico HEC-RAS foi calibrado e validado de maneira bastante satisfatória, de acordo com os testes propostos neste trabalho.

As maiores zonas inundáveis foram observadas em Quebrangulo na cheia de 2010, com 80,37 ha, valor este bastante expressivo. Percebeu-se que, o único município que apresentou uma área de zona inundável no tempo de retorno de 100 anos maior que na cheia de 2010 foi Atalaia (Cheia de 2010:

64,62 ha e tempo de retorno de 100 anos 69,61 ha). Este município apresentou também a maior variação de zona inundável entre os tempos de retorno estudados (10 anos: 33,55 ha e 100 anos 69,61 ha), com um valor de 36,06 ha.

Os resultados das zonas inundáveis para 10 e 20 anos apresentaram valores baixos, sem grandes impactos nas moradias. Apenas algumas áreas com construções bem próximas das margens do Rio Paraíba apresentaram o aumento do rio. Porém, devido ao atingimento nestas áreas citadas, já é necessário um acompanhamento por parte das instituições de monitoramento. Os cálculos feitos a partir dos tempos de retorno de 50 anos necessitam um aprofundamento e monitoramento maior, visto que os valores indicados para este período apresentaram áreas de grande representatividade de zonas inundáveis.

Para os cálculos de altura de água, Quebrangulo foi o município que apresentou o índice mais elevado, observado na cheia de 2010, com valor de 8,49 m. Este índice foi considerado bastante crítico, o que resultou em grande destruição no município, em diversas moradias que foram impactadas com o grande evento de inundação. Observou-se também, que este município foi o que apresentou a menor variação das alturas de água calculadas, entre os períodos de retorno de 10 a 100 anos, com aumento de 0,79 m neste intervalo de tempo. O município que apresentou a maior variação da altura de água para o mesmo período (tempo de retorno de 10 a 100 anos) foi Viçosa, com 1,78 m, seguido por Atalaia, com 1,57 m.

O maior índice de velocidade corrente foi apresentado no município de Atalaia, com $29,98 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, observado no tempo de retorno de 100 anos. É de ressaltar que, este município encontra-se localizado na região mais a jusante da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, o que justifica estes valores mais altos. Foi observado também que apesar de terem sido indicados valores bem elevados de velocidade corrente, estes índices foram calculados em regiões pontais, devido à presença de pedregulhos de pequeno e médio porte em praticamente toda a extensão do Rio Paraíba.

As velocidades correntes que indicaram uma representatividade maior ficaram em uma faixa entre 0,00 e 4,00 m³s⁻¹. O município de Quebrangulo apresentou as menores velocidades da área de estudo, devido à sua localização, a montante da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

5.6 Resultados do Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC)

O Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC) proposto foi o resultado final da conjugação das ferramentas trabalhadas neste estudo: Modelo Hidrológico MGB-IPH e Modelo Hidráulico HEC-RAS. O SMC foi o responsável pela modelagem através de simulações, sendo capaz de monitorar o risco de ocorrência de inundações na região estudada de acordo com os dados gerados e disponibilizados. Para tanto, a seguir apresentam-se os resultados da variabilidade espacial da Zona de Risco de Impacto de Inundação; e da variabilidade espacial das Classes de Severidade de Risco de Inundação

5.6.1 Resultados da variabilidade espacial das Zonas de Risco de Impacto de Inundação

As zonas de risco de impacto de inundação foram delimitadas de acordo com as informações contidas nos mapas de altura de água, de declividade e de velocidade, bem como sobre as informações do uso e ocupação do solo dos municípios estudados, todas citadas anteriormente neste tópico do Caso de Estudo (Capítulo 05). Para tanto, foram distribuídas em 03 (três) classes de variabilidade espacial da zona de risco de impacto: Inundação de baixo impacto; de médio impacto; e de alto impacto.

As áreas onde apresentaram os maiores problemas com inundação, foram as regiões onde houve a maior parte de construção de habitações em locais susceptíveis, com pouca infra-estrutura, localizadas principalmente nas margens do Rio Paraíba. As regiões onde apresentaram vegetação arbórea, em alguns casos, remanescentes de matas ciliares, às margens do Rio Paraíba e sem edificações, foram consideradas como de baixo impacto. Em alguns

casos, foram àquelas áreas de menor risco, também devido à boa infraestrutura urbana construída, que mesmo em eventos severos de inundação, apresentaram baixos índices de perdas humanas e materiais.

Para Quebrangulo, a área total demarcada para o estudo das zonas de risco de impactos de inundações foi de 34,34 ha (Figura 159), conforme a soma da zona de baixo impacto; médio impacto e alto impacto. A região central do município foi considerada de alto impacto, tendo em vista o irregular planejamento do local, bem como da proximidade com o Riacho Quebrangulinho, afluente do Rio Paraíba, que deixa a região mais susceptível a inundações. Nesta região, a declividade apresentou índices que variaram entre 0,00 e 2,00% (Figura 105), contribuindo assim, para o transbordamento nas margens principais. Ressalta-se que quando ocorrem inundações no local, o Riacho Quebrangulinho e o Rio Paraíba representam visualmente que é um só.

As áreas consideradas como de médio impacto a inundações apresentaram declividades que variaram de 2,00 a 8,00% (Figura 105). No caso das zonas de risco de baixo impacto de inundação do município de Quebrangulo, a declividade apresentou valores acima de 30% em algumas localidades.

Ressalta-se que é de extrema importância a reorganização das edificações em áreas localizadas às margens do Rio Paraíba, visto que o acúmulo de água na região apresentou inúmeros problemas em relação às cheias passadas, como por exemplo àquela registrada no mês de junho de 2010.

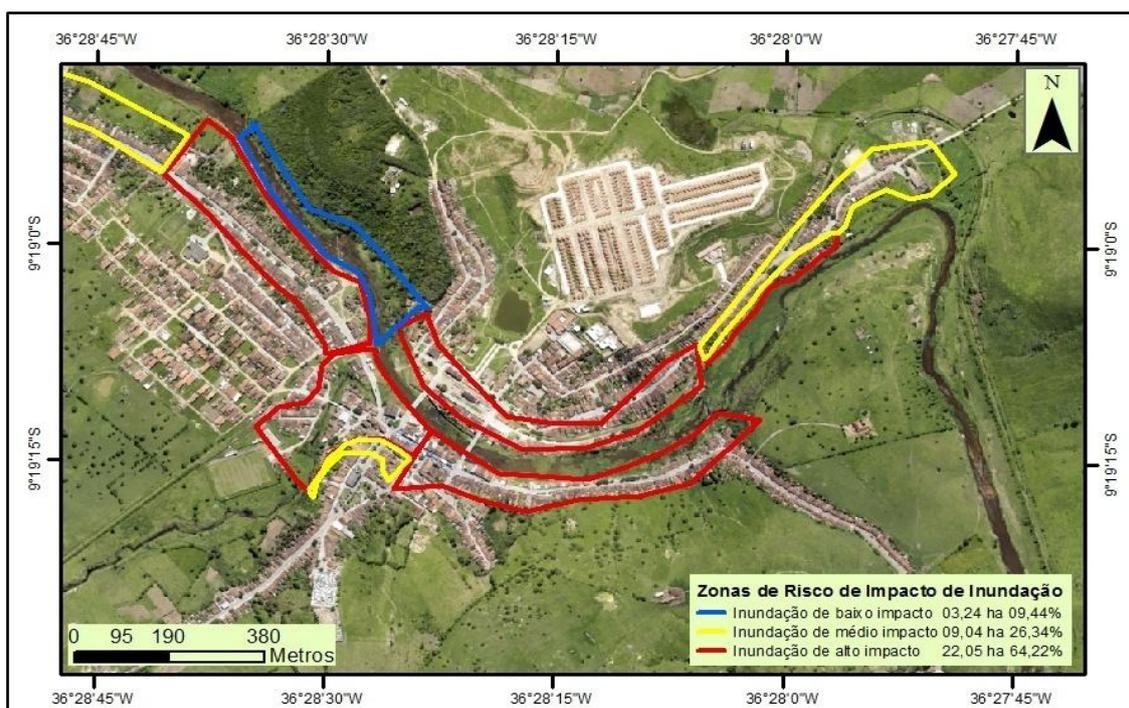


Figura 159. Áreas do município de Quebrangulo com as zonas de risco de inundação de baixo, médio e alto impacto.

O município de Viçosa apresentou um valor total de 13,09 ha (Figura 160) de acordo com a soma da zona de baixo impacto; médio impacto e alto impacto da área demarcada para o estudo das zonas de risco de impacto de inundações. Nas duas margens do Rio Paraíba, foram apresentadas áreas com indicações de zona de risco de alto impacto de inundação, onde apresentou uma declividade entre 0,00 e 02,00% (Figura 106). Nestas regiões, foram observadas moradias construídas em áreas impróprias, que apresentam históricos de inundação e destruição. As áreas que foram demarcadas como médio impacto apresentaram uma classe de declividade entre 02,00 e 08,00% (Figura 106). Foram observadas também áreas que apresentaram indicações de baixo impacto, com alguns pontos de declividade acima de 30,00%.

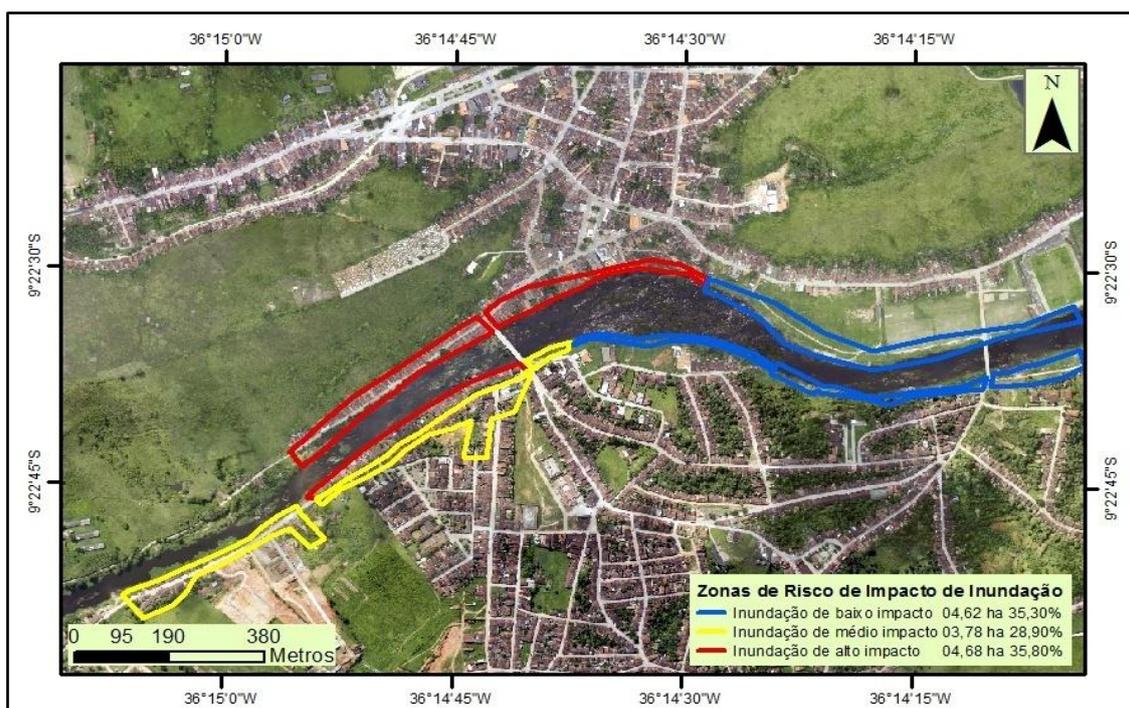


Figura 160. Áreas do município de Viçosa com as zonas de risco de inundação de baixo, médio e alto impacto.

O município de Atalaia apresentou uma área total demarcada para o estudo de 28,54 ha (Figura 161), de acordo com a soma da zona de baixo impacto; médio impacto e alto impacto. A maior parte foi indicada como região de inundação de baixo impacto, sendo pontos de alagamentos, formados devido a declividade da região (classe entre 0,00 e 2,00% - Figura 107), e não ao transbordamento da calha do Rio Paraíba. O município apresentou uma área bastante expressiva às margens do rio, indicadas como zona de alto risco de impacto de inundação, por possuir muitas moradias e apresentar áreas com históricos de inundações.

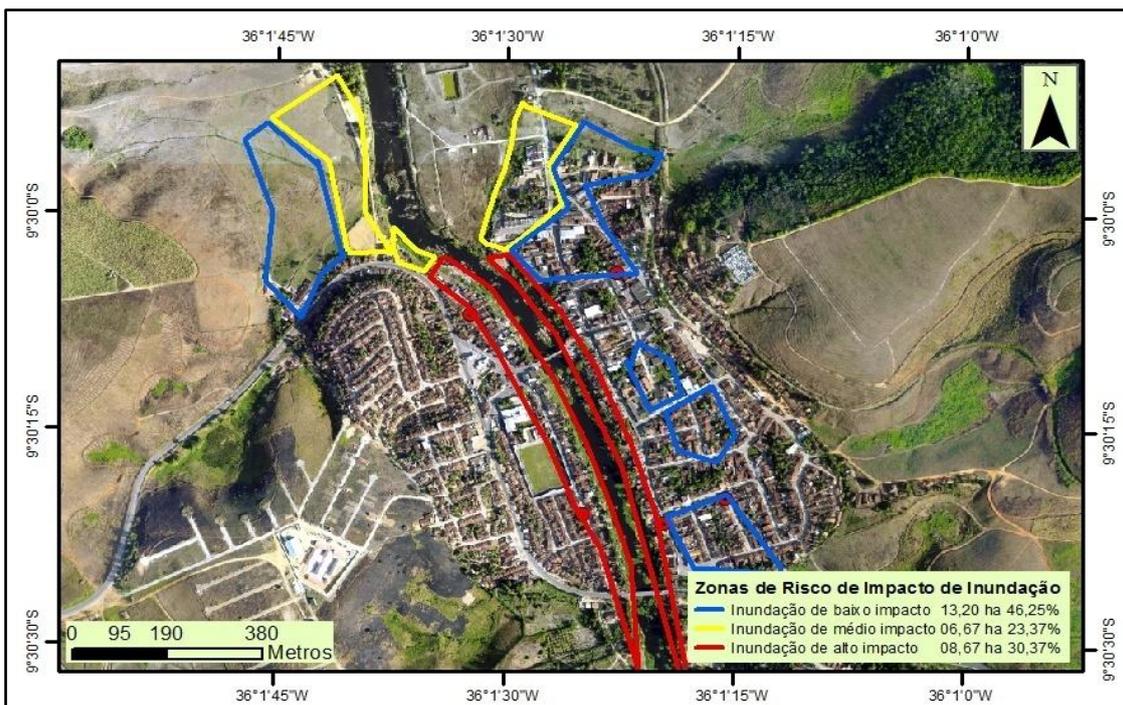


Figura 161. Áreas do município de Atalaia com as zonas de risco de inundação de baixo, médio e alto impacto.

Dos 03 municípios em estudo, o mais vulnerável com relação ao risco de impacto de inundação foi Quebrangulo, tendo em vista a declividade apresentada no município, que o torna mais susceptível a áreas inundáveis, e também ao alto número de moradias inseridas em áreas consideradas como alto risco. É de ressaltar que, em vários pontos do município, as edificações foram construídas praticamente dentro da calha do rio, aumentando os impactos e a destruição das mesmas em anos que apresentaram cheia e inundações.

5.6.2 Resultados da variabilidade espacial das Classes de Severidade de Risco de Inundação

Após o cálculo das médias de alturas de água, nos cinco (05) pontos selecionados (que representou o valor estimado do transbordamento do rio), foi feita uma comparação destes valores com as alturas de água calculadas com as vazões dos tempos de retorno estudados anteriormente (para 10, 20, 50 e

100 anos e cheia de 2010). Portanto foram encontrados os valores, em metros relacionados a altura que a água atingiu, tendo como ponto de partida os valores do transbordamento do Rio Paraíba. Ressalta-se que o maior valor da altura de água de inundação na cheia de 2010, foi encontrado no município de Quebrangulo, atingindo 4,79 m em relação ao nível de transbordamento. Os valores relacionados ao tempo de retorno, vazão e a média do aumento de água para os 03 (três) municípios estudados, apresentam-se na Tabela 49.

QUEBRANGULO-AL		
TEMPO DE RETORNO	VAZÃO (m³s⁻¹)	MÉDIA DO AUMENTO DE ÁGUA (m)
10 anos	191,65	1,70
20 anos	219,99	1,99
50 anos	252,14	2,28
100 anos	273,28	2,45
Cheia de 2010	450,00*	4,79*
VIÇOSA-AL		
TEMPO DE RETORNO	VAZÃO (m³s⁻¹)	MÉDIA DO AUMENTO DE ÁGUA (m)
10 anos	285,69	1,20
20 anos	359,50	1,61
50 anos	464,42	2,15
100 anos	550,65	2,53
Cheia de 2010	550,00	2,53

Continuação

ATALAIA-AL		
TEMPO DE RETORNO	VAZÃO (m³s⁻¹)	MÉDIA DO AUMENTO DE ÁGUA (m)
10 anos	558,01	1,62
20 anos	698,97	2,39
50 anos	900,89	2,93
100 anos	1.068,07	3,33
Cheia de 2010	948,01	3,05

*Por falta de dados medidos, este valor foi calculado de acordo com o explicado no ponto 4.5 deste trabalho.

Tabela 49. Valores médios calculados da altura de água nos tempos de retorno estudados.

Após a fase dos cálculos das alturas de água encontrados nos tempos de retorno estudados, foi feita a classificação qualitativa da Severidade de Inundação, adaptando a metodologia apresentada pelos autores SCHROEDER et al (2016); MURRAY et al. (2012) e COLLIER e FOX (2003), para a região de estudo. Foi efetuada a distribuição em cinco (05) classes, de acordo com a variação das alturas de água calculadas anteriormente. As classes foram distribuídas entre os índices de 0,00 a > 2,50 m (Tabela 50), onde os valores mais altos representam a maior contribuição para o risco de inundação. Os índices mais baixos para a menor contribuição com o risco de inundação. A escala apresentada na Tabela 50 foi escolhida para representar a variação da severidade de inundação, permitindo assim uma margem aceitável em cada divisão, tendo em vista a utilização de uma distribuição para os 03 municípios do caso de estudo.

CLASSES DE SEVERIDADE DE INUNDAÇÃO	
CLASSES (m)	ALTURA DA ÁGUA
0,00 a 1,00	Baixa inundação
1,01 a 1,50	Média inundação
1,51 a 2,00	Alta inundação
2,01 a 2,50	Muito alta inundação
>2,50	Inundação Extrema

Tabela 50. Classes de severidade de inundação apresentadas para os municípios de Quebrangulo, Viçosa e Atalaia.

6 CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento deste trabalho foi possível a criação do Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC), que poderá ser adaptado e utilizado para as demais regiões hidrográficas do Brasil e do mundo. Neste contexto, o SMC poderá ser utilizado por institutos e centros de pesquisa que trabalham no monitoramento e na previsão de eventos extremos de chuva, inundação e vazão.

Respondendo aos impulsos e necessidades que tinham sido levantadas por DU et al. (2012), a modelagem desenvolvida neste trabalho de pesquisa para a criação do SMC, diante dos resultados apresentados pelos modelos de previsão, conclui-se eficaz em relação aos objetivos propostos.

O modelo hidrológico MGB-IPH utilizado para este estudo, representou bem a variabilidade das vazões, com suas ascensões e recessões. Porém, em alguns casos, este modelo não apresentou resultados suficientemente bons para os picos de cheias, ou seja, àqueles resultados de vazões acima de $100,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Assim, conclui-se que este modelo utilizado no Teste-1 (dados pluviométricos observados), é mais recomendável para anos considerados climatologicamente normais, sem a influência de grandes eventos atmosféricos, como o *El Niño* e *La Niña*. Além disso, ressalta-se a necessidade da aplicabilidade de demais simulações para confirmar tal afirmação.

Na maioria dos casos utilizados no Teste-2 (dados MERGE), o modelo MGB-IPH não apresentou informações consistentes para os picos de cheias, ficando apenas com as mais significativas para vazões abaixo de $150,00 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Observou-se que o modelo estudado (MGB-IPH) conseguiu acompanhar o aumento e a diminuição das vazões calculadas em relação às observadas.

Em relação ao Teste-3 (dados pluviométricos observados divididos por sazonalidade), conclui-se que, apesar de o modelo MGB-IPH utilizado neste estudo ter subestimado os valores das maiores vazões registradas no período,

conseguiu acompanhar o aumento nas vazões calculadas do Rio Paraíba, principalmente para os eventos com mais de 03 dias de duração. Observou-se que, para o modelo ter resultados mais coerentes, é importante que sejam utilizados na análise mais dias, no mínimo 07 dias antes e 07 dias após o evento ocorrido.

Desenvolvido com dados diários de chuva calculados pelo modelo atmosférico ETA, o Teste-4 apresentou um provável deslocamento do tempo na ascensão dos picos de cheia, que podem ter sido antecipados em alguns casos. Porém, esta afirmação só pode ser confirmada com dados horários de vazões, inexistentes neste estudo. Ressalta-se que os dados apresentados pelo modelo ETA podem ser uma importante ferramenta de previsão de cheias, se associado a outros sistemas de previsão.

O modelo hidrológico MGB-IPH não representou bem a realidade em anos considerados anómalos, como os com influência dos fenômenos *El Nino* e *La Niña*. Em face a existência e frequência deste tipo de anos, há de procurar um modelo hidrológico de previsão que responda melhor as características dos mesmos. Contudo, a partir dos dados disponibilizados de precipitação para a área de estudo e sua utilização no MGB-IPH, verificou-se que os índices de precipitação utilizados em sua grande maioria, são de regiões circunvizinhas dos municípios de Quebrangulo, Viçosa e Atalaia, sendo um entrave para o desenvolvimento e calibração das simulações.

Contudo, a partir dos índices trabalhados nos Testes propostos, e a utilização no modelo hidrológico MGB-IPH, verificou-se que os melhores resultados dos coeficientes foram encontrados no Teste-3 (dados divididos por sazonalidade), porém, com uma pequena diferença em relação aos dados obtidos no Teste-1 (dados pluviométricos observados). Ressalta-se que o conjunto de dados utilizados foi o mesmo, todavia com formatação de datas diferentes. Além disso, verificou-se que na ausência de dados observados disponíveis para a utilização do MGB-IPH, as informações do MERGE podem ser uma boa opção para suprir esta deficiência.

Portanto, com o objetivo de melhorar a qualidade e o refinamento dos resultados obtidos neste trabalho de pesquisa e na contribuição para o SMC, faz-se necessário testes com outros modelos hidrológicos para a comparação dos resultados referentes aos picos de cheia.

A quantidade de dias com valores expressivos de precipitação acumulada, que antecedem os desastres de inundações na área de estudo precisa ser considerada. A saturação do solo associada a grandes níveis de precipitação podem intensificar a magnitude de um evento extremo, de acordo com os fatores de reforço. Segundo GRACIOSA (2010), o relevo acentuado de uma região também pode contribuir para a ocorrência das cheias rápidas (*Flash floods*).

Em relação ao modelo hidráulico HEC-RAS, que utilizou dados de vazão observadas e dados calculados no tempo de retorno, foram obtidos bons resultados exceto para Quebrangulo, o que indica ser um modelo que difere do Hec-1 experimentado por BEDIANT e HUBER (2002) em seus trabalhos, quando adotaram dados de precipitação. Os resultados obtidos para Quebrangulo podem parecer tão bons, mas a sua diferença atribui-se ao fato do valor da cheia de 2010 não corresponder exatamente ao valor observado, por falta de dados.

Em conformidade as diretrizes da EXCIMAP (2007), tratadas entre os países europeus no campo do mapeamento de enchentes, efetuou-se a delimitação das áreas inundáveis, a altura de água e a velocidade corrente do rio que passa pelos municípios de Quebrangulo, Viçosa e Atalaia, por meio do HEC-RAS. Diante disso, observou-se que esta ferramenta é de extrema relevância para a boa operação do SMC, uma vez que apresentou melhores resultados de calibração e validação dentre todos os modelos estudados (modelo hidrológico MGB-IPH, modelo atmosférico ETA e modelo hidráulico HEC-RAS). A partir do modelo hidráulico HEC-RAS neste trabalho de pesquisa, concluiu-se que, após a geração dos mapas de inundação, Quebrangulo foi o município que apresentou a maior susceptibilidade a eventos

de inundação, pois foi o que demonstrou a maior área inundável, bem como as maiores alturas de água.

Conclui-se que com a demarcação das áreas com risco de inundação dos municípios Quebrangulo, Viçosa e Atalaia, realizada pelo HEC-HAS, as mesmas devem ser propagadas aos seus gestores municipais e à Defesa Civil. Além disso, é de extrema importância que essas áreas sejam monitoradas em relação a esses tipos de desastres, pois conforme MURRAY et al. (2002) as avaliações de risco de inundação oferecem um meio alternativo de monitoramento.

Para um melhor aprofundamento dos resultados, faz-se necessário a utilização de modelos de previsão com mais datas disponíveis, visando mais simulações e comparações com dados onde apresentem os registros de vazões extremas, fator este que foi inexistente em alguns casos dos Testes estudados, utilizando o modelo hidrológico MGB-IPH. Por exemplo, uma forma de tentar melhorar os cálculos de vazão através de modelos hidrológicos, passe pela utilização do modelo hidrológico SWAT e comparar os seus resultados com o comportamento do modelo hidrológico MGB-IPH.

Todos os resultados obtidos neste trabalho são classificados de acordo com CASTRO (1999), como tendo intensidade de nível III: Desastres de grande intensidade, com danos importantes e prejuízos vultosos; De acordo com a Evolução: Desastre súbito, ou seja, são aqueles que se caracterizam pela rápida velocidade com que o processo evolui, por exemplo, as inundações bruscas e os tornados; Com relação a Origem: Mista, associados às ações ou omissões humanas, que contribuem para intensificar, complicar ou agravar os desastres naturais. De acordo com o Autor, é muito difícil ocorrer um desastre puramente natural. Quase todos os desastres recebem de alguma maneira, uma influência antrópica.

Do mesmo modo, de acordo com SIDLE et al. (2004), os resultados deste estudo levam-nos a classificar o evento de acordo com uma duração de

tendência para crônica devido as causas destes eventos estarem relacionadas com a degradação dos solos tal como foi verificado nos resultados. Esta conclusão é igualmente confirmada pelo afirmado por ENOMOTO (2004). Também, se confirma a afirmação de DU et al (2012), ao verificar que os efeitos do uso da terra foram essenciais nos nossos resultados, uma vez que, eles têm implicações nos recursos hídricos sendo por isso indispensáveis no planeamento e projetos de recursos públicos de água, bem como no alerta de cheias com antecedência.

Os resultados obtidos pelo SMC aqui proposto relacionam-se e confirmam as afirmações de SILVA (2014), uma vez que, a enchente aqui estudada foi intensificada por variáveis climatológicas de médio prazo e não apenas pelas variações diárias do tempo. Ou seja, este evento tem tendência a ser cíclico e sazonal, uma vez que se relaciona muito mais com períodos demorados de chuvas contínuas do que com chuvas intensas e concentradas.

Da mesma forma, os resultados aqui obtidos confirmam as afirmações de CASTRO (2003) e RECKZIEGEL (2007), apud SILVA (2014). Dado que, o evento estudado, evoluiu da forma previsível onde a onda de cheia se desenvolveu de montante para jusante.

Segundo FERNANDEZ (2013), o efeito do solo que resulta dos MDEs afetados por diferentes elementos físicos construídos sobre a superfície topográfica que geralmente implica em desvios significativos na distribuição espacial das drenagens naturais do relevo geradas digitalmente, não se verificou representativo neste estudo. Portanto, a utilização do Relevo dos MDEs como dado de base para as técnicas de mapeamento de áreas susceptíveis de enchentes revelou-se bastante útil no método SMC aqui proposto.

A utilização regular do SMC aqui proposto permite um acompanhamento profundo das áreas afetadas por eventos de cheias através do mapeamento das áreas susceptíveis a este tipo de desastre natural. assim

sendo, este trabalho contribui para uma eficaz prevenção de enchentes , sendo um excelente auxiliar dos profissionais e órgãos decisores de políticas públicas de prevenção.

A tabela de Classe de Severidade de Inundação proposta neste trabalho, é um ponto de partida para futuros trabalhos onde deverão ser mapeadas as variabilidades espaciais destas mesmas classes. Contudo, dada a extensão deste trabalho, não foi possível apresentar essa mesma variabilidade aqui no contexto deste estudo.

Por fim, a partir deste trabalho de pesquisa, recomenda-se a utilização do Sistema de Monitoramento de Cheias (SMC) conjugado com os três (03) tipos de modelos utilizados: Modelo Hidrológico MGB-IPH (contribuiu para a indicação de vazões extremas calculadas); Modelo Hidráulico HEC-RAS (contribuiu para a indicação das áreas inundáveis, alturas e velocidades da água de acordo com vazões extremas observadas e calculadas) e Modelo Atmosférico ETA (contribuiu para a utilização de dados pluviométricos calculados, na ausência de dados pluviométricos observados).

7 BIBLIOGRAFIA

ABUSHAND, E.; MERKEL, B. Modelling Rainfall Runoff Relations Using HEC-HMS and HAC-RES for a Single Rain Event in an Arid Region of Jordan. *Water Resources Management*, v.27, 2391-2409p. May, 2013.

AHRENS, C. D. *Essentials of meteorology: An invitation to the atmosphere*. 3. ed. Belmont: Thomson Brooks/Cole. 463 p. 2000

ALCÂNTARA-AYALA, I. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, v. 47, n. 2-4, Cambridge - MA, USA, 2002, p. 107-124. Disponível em: <http://xbiblio.ecologia.edu.mx/biblioteca/Cursos/Manejo/Alcantara_ayala.pdf>. Acesso em: 05 dez. 2016.

ALCÂNTARA, L. H.; ZEILHOFER, P. Aplicação de técnicas de geoprocessamento para avaliação de enchentes urbanas: estudo de caso - Cáceres, MT. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1. (GEOPANTANAL), 2006, Campo Grande. Anais... Campinas-SP. Brasil. Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: INPE, 2006.

ALVES, A.V.P.; SANTOS, G.B.S.; FILHO, F.C.M.M.; SANCHES, L. Análise dos Métodos de Estimativa para os Parâmetros das Distribuições de Gumbel e GEV em Eventos de Precipitações Máximas na Cidade de Cuiabá- MT. Brasil. REEC. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*. v.6. n.1. 32-43p. 2013.

ALVES, C.D.; PEREIRA, M.N.; FLORENZANO, T.G.; SOUZA, I.M. Análise orientada a objeto no mapeamento de áreas urbanas com imagens LANDSAT, V.15, n.01, p.120-141. Curitiba/PR, Brasil. jan-mar, 2009, *Boletim de Ciências Geodésia*. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/3939/393937707007.pdf>>. Acesso em: 17 fev, 2016.

ALVES, K.M.A.S.; CAVALCANTI, L.C.S.; NÓBREGA, R.S. Eventos extremos e risco de inundação: uma análise do comportamento evolutivo dos Distúrbios Ondulatórios de Leste em junho de 2010 sobre a Bacia do Rio Una - Pernambuco. Recife-PE. Brasil. *Revista GeoTextos*, 2013. v. 9, n. 2,p. 173-189.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*, 2013. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/PDFs%20agregados/Conjuntura_2013_parte2_cap_5_ao_12-52mb.pdf>. Último acesso em: 18 jun. 2017.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *HIDROWEB. Índices de Precipitação e Vazão*. Brasília-DF. Brasil. 2017. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>>. Último acesso em: 22 jun 2017.

ANDRADE, M.M.; LIMA, K.C. Projeção climática da frequência de eventos de precipitação intensa no Nordeste do Brasil: Resultados preliminares. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.6, n.5. 1158-1173p. 2013. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbge/index.php/revista/article/view/752/469>>. Acesso em: 11 fev. 2016.

APAC. AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUA E CLIMA. HIDROWEB. Índices de Precipitação e Vazão. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>>. Último acesso em: 22 abr. 2017.

ARAKAWA, A.; LAMB, V. R. Computational design of the basic dynamical processes of the UCLA general circulation model. *Methods in Computational Physics*, v. 17. p. 173-265. 1977.

ARAÚJO, A.S. *Calibração do modelo MGB/IPH na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal -RN, Brasil, 2017.

ARIAS, R.; BLANCO, M.L.R.; CASTRO, M.M.T.; NUNES, J.P.; KEIZER, J.J.; CASTRO, M.T.T. Water Resources response to changes in temperature, rainfall and CO² concentration: A first approach in NW Spain. *Water*, 2014, 6, 3049-3067. doi:10.3390/w6103049.

ASSOCIAÇÃO CONTAS ABERTAS – Chuvas: governo gastou apenas 13% com prevenção a desastres. 2009. Brasil. Disponível em: <http://contasabertas.uol.com.br/noticias/detalhes_noticias.asp?auto=2826> Acesso em: 14 jan. 2016.

BANCO MUNDIAL (BM). Avaliação de Perdas e Danos: Inundações Bruscas em Alagoas - Junho de 2010. Brasília/DF, Brasil, 2012. Disponível em: <http://mi.gov.br/pt/c/document_library/get_file?uuid=aecec215-5c64-4971-89ee-ed9c6c81ce40&groupId=10157>. Acesso em: 23 jun. 2016.

BARNES, S. L. Mesoscale objective analysis using weighted time-series observations, NOAA Tech. Memo. ERL NSSL-62 National Severe Storms Laboratory, Norman, OK 73069, 60 pp. [NTIS COM-73- 10781.], 1973. 2359. Disponível em: <https://docs.lib.noaa.gov/noaa_documents/OAR/NSSL/NOAA_TM_ERL_NSSL/ERL_NSSL_62.pdf>. Acesso em: 10 fev 2016.

BARROS, A.H.C. Território Mata Sul Pernambucana. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Recife/PE, Brasil. 2011. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000fbz2ztdp02wx5eo0sawqe3h68l5n4.html>. Acesso em: 30 nov. 2014.

BARTH, F.T. et al. Fundamentos para Gestão de Recursos Hídricos-- Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.1, São Paulo: Nobel/ABRH, 1987, 526p.

BASTOS, B.C., FILHO, L.E. Utilização da Tecnologia LIDAR em projetos de engenharia e infraestrutura viária. In: XI CONGRESSO NACIONAL Y VIII LATINOAMERICANO DE AGRIMENSURA. 2011, Córdoba - Argentina, 2011.

BEDIENT, R. B.; HUBER, C. W. Hydrology and floodplain analysis. 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall. 763 p. 2002.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. de; ALMEIDA, E. X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-Elefante-Anão cv. Mott. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília-DF, Brasil. v.35, n.5, 1047-1054p. 2000.

BETTS, A. K.; MILLER, M. J. A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX and arctic air-mass data sets. Quart. J. Roy. Meteor. Soc, v. 112, 693-709p. 1986. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/70f3/f6e737c8cde6c5850ede7953229bc6dc663d.pdf>>. Acesso em: 15 fev 2016.

BEVEN, K. J. 1985 *Distributed models* In: Anderson, M. G.; Burt, T. P. *Hydrological forecasting*. Wiley. Chichester. 604p.

BRAGA, T.M.; OLIVEIRA, E.L.; GIVISIEZ, G.H.N. Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. São Paulo em Perspectiva, São Paulo - SP, Brasil. Fundação Seade, v. 20, n. 1, p. 81-95, jan/mar 2006.

BRANDÃO, V.S.; CECÍLIO, R.A.; PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D. Infiltração de água no solo. Viçosa-MG, Brasil: UFV, 2006. 120 p.

BRASIL. Planalto Central. Release sobre Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais. Brasília-DF, Brasil. 2012.

BRASIL. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012. Volume Alagoas. 2013. 96p. 2^a edição Disponível em: <<http://www.ceped.ufsc.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais-2012/>>. Último acesso em: 23 ago. 2017.

BRASIL. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres. Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012. Volume Pernambuco. 2013. 131p. 2^a edição Disponível em: <<http://www.ceped.ufsc.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais-2012/>>. Último acesso em: 23 ago. 2017.

BRASIL. Ministério da Integração. PNPDEC. Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Brasília-DF, Brasil. 2012. Disponível

em:<<http://www.mi.gov.br/defesa-civil/pnpdec>>. Último acesso em: 17 fev. 2016.

BRAVO, J.M. Manual do MGB. Modelo hidrológico distribuído MGB/IPH. Etapa 2 de preparação de informações de entrada. Versão 1.0. 2008. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/~alexandre/ThReleases/MANUAL_MGBauxi_v1mar08.pdf. Último acesso em: 12 fev. 2015.

BRIVIO, P. A.; COLUMBO, R.; MAGGI, M.; TOMASONI, R. Integration of Remote Sensing Data and GIS for Accurate Mapping of Floods Areas. *International Journal of Remote Sensing*. London, UK, Taylor and Francis, v. 23, n. 3, 429-441p. Fev. 2002.

BURROUGH, P. A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford: Clarendon Press, 1986. 194p.

BUSTAMANTE, J. F.; CHOU, S. C.; ROZANTE, J. R.; GOMES, J. L. Uma avaliação da previsibilidade de tempo do Modelo ETA para a América do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 20, n. 1, p. 59-70, Abr. 2005. (INPE-12500-PRE/7802). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1915/2005/05.12.17.41>>. Acesso em: 14 jun 2016.

BURTON, I.; KATES, R.W.; WHITE, G.F. The environment as hazard. New York: Oxford University, 1978. 240p.

CABRAL, S.L.; CAMPOS, J.N.B.; SILVEIRA, C.S.; TEIXEIRA, F.A.A. Integração do SIG, HEC/HMS e HEC/RAS no mapeamento de área de inundação urbana: Aplicação à Bacia do Rio Granjeiro - CE. Brasil. *Geociências*, v. 35, n. 1 São Paulo, UNESP, 2016, p.90-101. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/287319008_Integracao_do_sig_HEC_HMS_e_HECRAS_no_mapeamento_de_area_de_inundacao_urbana_Aplicacao_a_bacia_do_rio_granjeiro-ce>. Acesso em: 12 fev 2016.

CALVETTI, L. *Previsão hidrometeorológica probabilística na Bacia do Alto Iguaçu – PR com os modelos WRF e TopModel*. 2011. 141p. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo - SP, Brasil. 2011.

CAMARGO, E. C. G; MONTEIRO, A. M. V., FELGUEIRAS, C. A., FUKS, S. D., 1999. Integração de Geoestatística e Sistemas de Informação Geográfica: Uma necessidade. [CD-ROM]. In: V Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento da América Latina, 7, Salvador, Anais. Bahia, Brasil, Gisbrasil '99. Seção de Posters Técnico-Científicos.

CARAM, R.O. *Mudanças no uso do solo e cobertura do solo e resposta hidrológica da bacia do rio Piracicaba*. 2010. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, Brasil, 2010.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. Hidrologia. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. 115 p. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/it113-hidrologia.htm>>. Acesso em 25 fev. 2016.

CASTRO, A. L. C. Manual de Desastres: desastres naturais. V.1. Brasília-DF, Brasil: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1996, 182 p.

CASTRO, A. L. C. Manual de planejamento em defesa civil. 1999. 133p. Defesa Civil. Brasília-DF. Brasil. Disponível em: <<http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa%20Civil/manuais/Manual-PLANEJAMENTO-1.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2014.

CASTRO, A. L. C. Manual de desastres: desastres naturais. Brasília-DF, Brasil: MIN, 2003. 174 p. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=47a84296-d5c0-474d-a6ca-8201e6c253f4&groupId=10157>. Acesso em: 27 jul. 2015.

CATALDI, M.C.; MACHADO, C.O.; GUILHON, L.G.F.; CHOU, S.C.; GOMES, J.L.; BUSTAMANTE, J.F. Análise das Previsões de Precipitação Obtidas com a Utilização do Modelo Eta como Insumo para Modelos de Previsão Semanal de Vazão Natural. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos, V. 12 n.3, 5-12p. Jul/Set 2007.

CHAN, C.S. Cenários de mudanças climáticas: Regionalização ('downscaling'). Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos. 2014. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/saepr/3-cenrios-de-mudanas-climticas-regionalizao-chou>>. Último acesso em: 13 mar. 2017.

CHAVES, M. B., *Previsão e Modelagem de áreas de inundação no município de Rio Largo/AL*. 2003. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil. Centro de Tecnologia. 2013.

CHAVES, M. B.; AMORIM, A. G. S.; FREIRE, P. A. F.; FRAGOSO JR, C. R. Caracterização do Regime Hidrológico da Bacia do Rio Mundaú Através de Um Modelo Hidrológico Distribuído. In: XIV CONGRESSO MUNDIAL DA ÁGUA, 2011, Ipojuca, PE. Brasil. Anais..., Ipojuca (Pernambuco): XIV WWC, 2011.

CHEN, F.; JANJIC, Z. I.; MITCHELL, K. Impact of atmospheric surface-layer parameterization in the new landsurface scheme of the NCEP mesoscale Eta model. *Boundary Layer Meteorology*, V. 85, 391-421p. 1997.

CHOW, Ven Te. *Open-Channel Hydraulics*. 1959. McGraw-Hill. New York. Disponível em: <<http://heidarpour.iut.ac.ir/sites/heidarpour.iut.ac.ir/files/u32/open-chow.pdf>>. Acesso em: 26 abr 2014.

- CHOU, S. C. *Análise de distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico equatorial Sul*. 1990. 134p. Dissertação de Mestrado em Meteorologia - INPE. São José dos Campos - SP. Brasil. 1990.
- CHOU, S. C.; JUSTI DA SILVA, M. G. An Objective evaluation of Eta model precipitation forecasts over South America. *Climanálise*. v.14, n.1, 1999.
- CHOU, S. C.; BUSTAMANTE, J. F.; ROZANTE, J. R. Eta Model forecast for the Venezuela flood event of December 1999. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.19, 2004.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Modelagem de sistemas ambientais*. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 236p.
- CHUNG, J. C. Correlations between the Tropical Atlantic trade winds and precipitations in northeast Brazil. *Journal of Climatology*. 1982.35-46p. 1988.
- CITEAU, J.; BERGÉS, J. C.; DEMARQ, H.; MAHÉ, G. Position de la Zone de Convergence a 28 N et température de surface de l'ocean. *Veille Climatique Satellitaire*. 1988a. 3-7p. 1988.
- CITEAU, J.; BERGÉS, J. C.; DEMARCQ, H.; MAHÉ, G. The watch of ITCZ migrations over tropical Atlantic as an indicator in drought forecast over Sahelian area. *Ocean-Atmosphere Newsletter*. 1988b:1-3p. 1988.
- CLIMANÁLISE. *Boletim de Análise Climática*. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Cachoeira Paulista/SP. Brasil. 2010. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0512.shtml>>. Acesso em: 01 mar. 2017.
- COLLIER, C. G.; KRZYSZTOFOWICZ, R. Quantitative precipitation forecasting. *Journal of Hydrology*. Local, Vol. 239, 1-2p. 2000.
- COLLIER, C. G., FOX, N. I. Assessing the flooding susceptibility of river catchments to extreme rainfall in the United Kingdom. *Int. J. River Basin Manage*. n.1, 1–11p. 2003.
- COLLISHCHONN, B. *Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído*. 2006. Dissertação de mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil 2006.
- COLLISCHONN, W. *Simulação Hidrológica de Grandes Bacias*. 2001. 270p. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E. M. Simulação hidrológica de grandes bacias. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2001.v. 6, n. 1.

COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; SILVA, B.C.; TUCCI, C.E.M. Simulação Hidrológica da Bacia do Rio São Francisco Usando Precipitação Estimada pelo Satélite TRMM: Resultados Preliminares. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2005, João Pessoa-PB. Brasil. Anais. 2005.

CONDE, R.A.N.G. *Análises de sensibilidade em modelação numérica de escoamento em leito móvel com Hec-Ras. Aplicação ao Rio Mondego*. 2007. 98p. Dissertação de Mestrado - Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior Técnico, Lisboa - Portugal, 2007.

COOK, A.; MERWADE, V.; Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*. p131–142, 2009.

CORTE-REAL, J. A importância da previsão do tempo na prevenção de riscos meteorológicos. Finisterra, Espanha, 2015, pp. 97-105 doi: 10.18055/Finis7867. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/fin/n100/n100a09.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2017.

CORTINAS JR.; J.V.; STENSRUD, D.J. The importance of understanding mesoscale model parameterization schemes for weather forecasting. *Weather Forecasting*, v. 10, 716-740p. 1995.

COSTA, F.C. *Inundações urbanas no semiárido nordestino: o caso da cidade de Pau dos Ferros - RN*. 2010. 87p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Rio Grande do Norte, Brasil.

COUTINHO, E. C.; FISCH, G. Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) na região do Centro de Lançamento de Alcântara – MA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2007. v.22, n. 2, p. 193-203.

CPRM. COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Diagnóstico do município de Quebrangulo/Alagoas. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. 2005. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15334/rel_cadastros_quebrangulo.pdf?sequence=3>. Acesso em: 15 mar. 2016.

CPTEC/INPE. CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI) Imagens realçadas do satélite GOES 12 e 13, em dois (02) recortes: América do Sul e Região Nordeste. Cachoeira Paulista-SP. 2010. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/>>. Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DSA. Último acesso em: 25 mar. 2017.

CPTEC/INPE. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI). Dados do modelo atmosférico ETA. Responsável pela Geração dos Dados: Felipe Alves. Cachoeira Paulista, SP, Brasil.

CPTEC/INPE. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI). Análise Sinótica. Cachoeira Paulista, SP, Brasil. 2017. Disponível em: <<http://tempo.cptec.inpe.br/>>. Último acesso em: 15 jul. 2017.

CRAWFORD, H.H.; LINSLEY, R.K. (1966) Digital Simulation in Hydrology: Stanford Watershed Model IV. Technical Report No. 39, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, Stanford. Disponível em: [http://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjct55\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1477339](http://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjct55))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1477339). Acesso em: 21/01/2015.

CRISPIN, A.B.; SOUZA, M.J.N.; QUEIROZ, P.H.B.; LIMA, R.J.R. A ocupação desigual do espaço geográfico semi-árido: O contexto do município de Quixadá, CE. Brasil. Universidade Federal do Piauí. Vol. 5, Nº 4 (Edição Especial 03), p.56 – 74. 2016. Disponível em: <<http://www.ojs.ufpi.br/index.php/equador>>. Acesso em: 25 jun. 2016.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Geomorfologia Fluvial. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. Caderno de Saúde Pública. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Bertrand. Brasil, 1998, 211 – 252p.

DA HORA, H.S. *Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do município de Itabuna/BA*. 101p. 2009. Dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA, Brasil, 2009. Disponível em: <<http://www.biblioteca.uesc.br/biblioteca/bdtd/200760102d.pdf>> Acesso em: 14 ago. 2015.

DALE, P.F., McLAUGHLIN, J.D. Land information management: an introduction with special reference to cadastral problem in Third World countries. New York: Oxford University Press, 1988. 263p.

DE CARIA, A. Exploring the land/sea breeze circulations. Lead to learn modules, Millersville. 2005. Disponível em: <<http://www.atmos.millersville.edu/~lead/modules.htm>>. Acesso em: 28 jun. 2017.

DIETRICH, W. E.; REISS R.; HSU M. L.; MONTGOMERY, D. R. A process-based model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data. Hydrological Processes, v. 9, 383-400p. 1995.

DMET/SEMARH. DIRETORIA DE METEOROLOGIA. SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS DE ALAGOAS. Maceió, Alagoas, Brasil. Responsável pela geração do Mapa: Meteorologista Rômulo Abreu. 2010.

DSA. DIVISÃO DE SATÉLITES E SISTEMAS AMBIENTAIS. Cachoeira Paulista, SP, Brasil. 2017. Disponível em: http://sigma.cptec.inpe.br/prec_sat/. Último acesso em: 14 mar. 2017.

DU, J.; QIAN, L.; RUI, H. Assessing the effects of urbanization on annual runoff and flood events using the integrated hydrological modeling system for Qinhuai River basin, *Journal of Hydrology, China*, 2012; v. 464–465, 127–139p.

EINSTEIN, H.H. 1988. Landslides risk assessment procedure. In: *International Symposium on Landslides*, 5, Lausanne, 1988. Vol. 2. p. 1075-1090.

EJIMEKE, J.O., IGBOKWE, J.L., EXEOMEDO, L.C, AWEH, D.S, AKINROYE, R. Analysis of Risks and Impacts of Flooding with Satellite Remote.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 306p. 2005.

ESPINOZA, E. S. Distúrbios nos Ventos de Leste no Atlântico Tropical. 1996, 149f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil. 1996.

JORNAL DIÁRIO DE PERNAMBUCO. Enchente de 1969. Disponível em: <http://xandmendes5.wixsite.com/laje/enchente-1969>. Acesso em: 01 mai. 2016.

ENOMOTO, C. F. *Método para elaboração de mapas de inundação: estudo de caso na bacia do rio Palmital, Paraná*. 2004. 132p. Tese de Mestrado – Universidade do Paraná, Curitiba. PR, Brasil. 2004.

ESPINOZA, E. S. *Distúrbios nos Ventos de Leste no Atlântico Tropical*. 1996, 149p. Dissertação de Mestrado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.

EXCIMAP. European exchange circle on flood mapping. Handbook on good practices for flood mapping in Europe. 2007. disponível em: http://ec.europa.eu/environment/water/flood_risk/flood_atlas/. Último acesso em: 28 ago. 2017.

FAN, F.M. Acoplamento entre modelos hidrológicos e sistemas de informação geográfica: Integração do modelo MGB/IPH. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. 2011. 183p. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/114609/000929279.pdf?sequence=1>. Acesso em: 30 jan. 2016.

FELS, S. B.; SCHWARZKOPF, M. D. The simplified exchange approximation. A new method for radiative transfer calculations. *J. Atmos. Sci.* v. 32, 1475-1488p. 1975. Disponível em: <http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520->

0469(1975)032%3C1475:TSEAAN%3E2.0.CO%3B2>. Acesso em: 29 ago. 2016.

FEMA. Federal Emergency Management Agency. Guidance for flood risk analysis and mapping. Flood Depth and analysis grids. 2014. Disponível em: <<https://www.fema.gov/guidelines-and-standards-flood-risk-analysis-and-mapping>>. Último acesso em: 25 mai. 2017.

FERNANDES, N. S.; MIOLA, A. C. M. Geoprocessamento aplicado no mapeamento de áreas com risco de inundação em Santa Maria-RS. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.

FERNANDEZ, P., MOURATO, S., MOREIRA, M. Comparação dos modelos Hec-Ras e Lisflood-FP na delimitação de zonas inundáveis. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Volume 34. n.01. 63-73p, 2013. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rh/pdf/rh34_n1-5.pdf>. Acesso em: 02 fev 2016.

FERREIRA, N. S. Zona de Convergência Intertropical. 1998. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/acit_1.html>. Acesso em: 27 fev 2017.

FERREIRA, L.G.B.S.; CARAMORI, P.H.; MORAIS, H.; NITSCHKE, P.R.; COSTA, A.B.F. O Fenômeno El Niño de 2015/2016 e seus impactos nas chuvas do Paraná. 2017. 13p. Disponível em: http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/agrometeorologia/2017-01-09-boletim-enos.pdf. Acesso em: 15 ago 2017.

FILHO, G.M.M.; ANDRADE, R.S.; ZUKOWSKI, J.C.; FILHO, L.N.L.M. Modelos hidrológicos: Conceitos e aplicabilidades. Revista de Ciências Ambientais, Canoas. v.6, n.2, 35 a 47p. 2012. Disponível em: <<http://www.revistas.unilasalle.edu.br/index.php/Rbca/article/view/268/761>>. Acesso em: 20 set. 2015.

FRAGOSO JR., C. R.; PEDROSA, V. DE A.; SOUZA, V. C. B. DE. Reflexões sobre a Cheia de Junho de 2010 nas Bacias do Rio Mundaú e Paraíba. Fortaleza: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste - SRHN, 2010b.

FRAGOSO JÚNIOR, C. R.; PEDROSA, V. A.; SOUZA, V. C. B.. Reflexões sobre a Cheia de Junho de 2010 nas Bacias do Rio Mundaú e Paraíba. In: X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2010, Fortaleza, CE. ABRH. 2010. v. 1.

FRANK, N. L. On the energetics of cold lows. Proceedings of the Symposium on Tropical Meteorology. American Meteorological Society, EIV 1 – EIV 6p, June 1970.

FREIRE, N.C.F., BONFIM, C.V., NATENZON, C.E. Vulnerabilidade socioambiental, inundações e repercussões na Saúde em regiões periféricas: o caso de Alagoas, Brasil. *Ciênc. Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, Vol.19, No.9, Set. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-81232014199.07572014>. Acesso em: 19 set. 2016.

G1 NOTÍCIAS. Com histórico de cheias em Alagoas, estado aprendeu a recomeçar do zero.. Disponível em: <http://g1.globo.com/al/alagoas/noticia/2014/06/com-historico-de-cheias-em-alagoas-estado-aprendeu-recomecar-do-zero.html>. Acesso em: 01 mai. 2016.

GAMA, W. M. *Estimativa das Mudanças Climáticas na resposta hidrológica da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio (AL/PE)*. 2013.115p. Tese de Mestrado – Universidade Federal de Alagoas, Maceió-AL, Brasil. 2013.

GAN, M.A. *Um estudo observacional sobre as baixas frias da alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil*. Tese de Mestrado em Meteorologia – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil, 1983.

GGWEATHER. Golden Gate Weather Services. 2017. Disponível em: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>.> Último acesso em: 23 ago. 2017.

GICHAMO, Z.G.; POPESCU, I.; JONOSKI, A.; SOLOMATINE, D.P. River Cross Section Extraction from ASTER Global DEM for Flood Modeling, *Environ. Modell. Softw*, v.31. 37–46 p. 2012.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. Considerações sobre as inundações no Brasil. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, Anais... 2005. Disponível em: http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/ABRH2005_inundacoes.pdf. Acesso em: 30 ago. 2016.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; PELLERIN, J.R.G.M. Proposta metodológica para o mapeamento de áreas de risco a inundações: Estudo de caso do município de rio Negrinho-SC. *Boletim de Geografia*. 2012. Maringá/SC. V.30, n.1. p.81-100. Disponível em: http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/Goerl_Risco_de_inundacao.pdf. Acesso em: 20 fev. 2016.

GONÇALVES, A.P.S. *Metodologias de sistemas de informação geográfica em sistemas de produção florestal. Uma aplicação Geoestatística*. 2015. 110p. Dissertação de Mestrado – Universidade de Lisboa. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Lisboa, Portugal, 2015.

GOYAL R.K. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (India), *Agricultural Water Management*: 69(1), 1-11 .2004.

GRACIOSA, M.C.P. *Modelo de seguro para riscos hidrológicos com base em simulação hidráulico-hidrológica como ferramenta de gestão do risco de inundações*. 2010.190p - Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, SP, Brasil. 2010.

GRAYSON, R.B.; MOORE, I.D.; McMAHON, T.A. Physically based hydrologic modeling: a terrain based model for investigative purposes. *Water Resour Researsh*. v. 28(10), 2639-2658p. October, 1992.

GRIFFITH, D. A. Advanced spatial statistics for analysing and visualizing georeferenced data. 1993. *International Journal of Geographical Information Systems*, 7(2), 107–123.

GRIMM, A.; FERRAZ, S.E.T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in Southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. *J. Climate*, 11:2863-2880, 1998. Disponível em: < [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1998\)011<2863:PAISBA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1998)011<2863:PAISBA>2.0.CO;2)>. Último acesso em: 15 abr. 2017.

GROSSI, C. H. *Sistema de informação geográfica - Basins 3.0 na modelagem hidrológica da bacia experimental do Rio Pardo, SP*. 2003. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, SP, Brasil. 101 p. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/90607>>. Acesso em 22 fev. 2015.

GUARNIERI, R. A. *Emprego de redes neurais artificiais e regressão linear múltipla no refinamento das previsões de radiação solar do modelo Eta*. 2006. Dissertação de Mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, SP, Brasil, 2006. Disponível em: http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/teses/DISSERTACAO_RICARDO-GUARNIERI.pdf. Acesso em: 25 jan. 2015.

GUIBU, F. Falsos desabrigados tentam casa em AL. *Jornal Folha de São Paulo*, São Paulo, SP, Brasil, p. C10, 4 jul. 2010.

HAGHIZADEH, A.; SHUI, L.T; MIRZAEI, M; MEMARIAN, H. Incorporation of GIS Based Program into Hydraulic Model for Water Level Modeling on River Basin. *Journal of Water Resource and Protection*, v.4, 25-31p. January, 2012. Disponível em: <https://file.scirp.org/pdf/JWARP20120100002_67371040.pdf>. Acesso em: 12 out. 2016.

HALL, B.A. Westward-moving disturbances in the South Atlantic coinciding with heavy rainfall events at Ascension Island. *Meteorology Magazine*, v.118, p.175-181, 1989.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. *Quartely Journal of the Royal Meteorological Society*. 103(435):77-92p. 1977.

HASTENRATH, S.; LAMB. *Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans*. University of Wisconsin Press, 177 p. 1977.

- HEIDORN, K. C. The weather doctor. Sea and land breezes local. 1998. Disponível em: < <http://www.islandnet.com/~see/weather/elements/seabrz.htm>>. Acesso em: 01 mar. 2016.
- HEITZMANN, K.; CANAGARAJAH, R. S.; & SIEGEL, P. B. Guidelines for assessing the sources of risk and vulnerability. Washington: World Bank. Washington, D. C.: Social Protection Discussion Paper Series, 0218. 2002. Disponível em:< www.worldbank.org/socialanalysisourcebook/analytic5.htm>. Acesso em: 25 abr. 2013.
- HISTÓRIA DE ALAGOAS. São José da Laje e a tromba d'água de 1969. Disponível em: <<http://www.historiadealagoas.com.br/sao-jose-da-laje-e-a-tromba-dagua-de-1969.html>>. Acesso em: 01 mai. 2016.
- HOLZMANN, R.; SHERBURNE-Bens, L.; & TESLIUC, E. Social risk management: the World Bank's approach to Social Protection in a globalizing world. Washington, D. C.: Social Protection Department. 2003. Disponível em: <www.siteresources.worldbank.org/SOCIALPROTECTION/.../SRMWBAApproachtoSP.pdf >. Acesso em: 29 out. 2015.
- HOOGEVEEN, J.; TESLIUC, E.; & VAKIS, R. (2005). A Guide to the Analysis of Risk, Vulnerability and Vulnerable Groups. Washington, D. C.: World Bank. 2005. Disponível em: <www.worldbank.org/sp/.../Training/GuidetoRVAandVulnerableGroups.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2016.
- HOOKE, J.; MANT, J. Geomorphological impacts of a flood event on ephemeral channels in SE Spain. Research output: Contribution to journal. Geomorphology, Vol. 34, No. 3-4, September,2000, 163-180p. Disponível em: <[https://researchportal.port.ac.uk/portal/en/publications/geomorphological-impacts-of-a-flood-event-on-ephemeral-channels-in-se-spain\(ad4c8eb4-bda9-48db-ac02-b119f289b90a\).html](https://researchportal.port.ac.uk/portal/en/publications/geomorphological-impacts-of-a-flood-event-on-ephemeral-channels-in-se-spain(ad4c8eb4-bda9-48db-ac02-b119f289b90a).html)>. Acesso em: 12 dez. 2016.
- HUNTER, N. M.; BATES, P.D.; HORRITT, M.S.; WILSON, M.D. Simple patially-distributed models for predicting flood inundation, A review. Geomorphology. Volume 90, Issues 3-4, 208-225p. Out, 2007.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo. População dos municípios. 2017. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=270040>>. Acesso em: 15 mar. 2016.
- IMBELLONE P.A.; GUICHON A.B.; GIMENEZ J.E. Dynamics of PhysicalChemical Properties in Soils With Anthropic Flooding, Buenos Aires Province, Argentina. Soil Sci., V.166. 930-938p. 2001.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Índices climáticos. 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Último acesso em: 17 mai. 2017.

JANJIC, Z.I. The step-mountain eta coordinate model: further developments of the convection, viscous sublayer and turbulence closure schemes. *Monthly Weather Review*, v. 122, 927-945p. May, 1994. Disponível em: <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/phys_refs/PBL/MYJ.pdf>. Acesso em 15 mai 2015.

JULIÃO, R.P.; NERY, F.; RIBEIRO, J.L.; BRANCO, M.C; ZÊZERE, J.L. Guia metodológico para a produção municipal de cartografia municipal de risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de base municipal. Autoridade Nacional de Protecção Civil, Portugal, 2009. Disponível em: <http://www.prociv.pt/bk/Documents/guia_metodologico_SIG.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2016.

JÚNIOR, P.A.V.; NETO, D.D.; CHOU, S.C.; MARTIN, T.N. Previsões meteorológicas do Modelo Eta para subsidiar o uso de modelos de previsão agrícola no Centro-Sul do Brasil. *Ciência Rural*, Santa Maria, RS, Brasil, v.39, n.2, p.412-420, mar-abr, 2009.

KIRPICH, T.P. Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds. *J. of Civ. Eng.* v.10, n.6, 362p. 1940. Disponível em: < http://theodores-pro.ttu.edu/research-projects/txdot_0-6070/Literature_Archive/kirpich1940/kirpich1940.pdf>. Acesso em: 15 abr 2016.

KOBIYAMA, M.; MARCELINO, E.V.; MENDONÇA, M.; MORENO, D.A.; MARCELINO, I.P.V.O.; GONÇALVES, E.F.; BRAZETTI, L.L.P.; GOERL, R.F.; MOLLERI, G.S.F.; RUDORFF, F.M. Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. 1ª Edição. Curitiba, PR, Brasil, 2006. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/28/2014/05/prevencaodedesastresnaturaisconceitosbasicos.pdf>>. Último acesso em: 27 jul. 2016.

KOSTER, R. D.; REICHLER, R. H.; MAHANAMA, S. P. Regions of Strong Coupling Between Soil Moisture and Precipitation. *Science* 305, 2004. Disponível em: <<http://soilphysics.okstate.edu/teaching/soil-4683/references/koster%20et%20al%202004.pdf>>. Acesso em: 29 mai. 2017.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. L. Upper tropospheric cyclonic vortices in the subtropical South Atlantic. *Tellus*, v. 33, p. 538-551, Nov. 1981.

KOUWEN, N.; PIETRONIRO, A.; HARRINGTON, R. A. Grouping Response Units for Distributed Hydrologic Modelling. *J. of Water Resources Management and Planning*, Canadá, ASCE, v. 119, 289-305p. May, 1993.
KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in the Northeast Brazil. *Mon. Wea. Rev.*, Boston, v.108, n.4, 488 – 498p. 1980.

- LACIS, A. A.; HANSEN, J. E.: A parameterization of the absorption of solar radiation in earth's atmosphere. *J. Atmos. Sci.* v. 31, 118-133p. mês, 1974. Disponível em: <[https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1976\)015<0021:APFTAO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1976)015<0021:APFTAO>2.0.CO;2)>. Acesso em: 15 dez 2016.
- LACTEC. Mapeamento digital a laser e ortofotos digitais em área de 1.235 km² no estado de Pernambuco. Relatório Técnico Final. Curitiba, PR, Brasil, LACTEC, 2011.
- LAMB, P. Large-scale tropical Atlantic circulations patterns associated with Subsaharan weather anomalies. *Tellus.* p240-251. 1978. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2153-3490.1978.tb00839.x/epdf>> Acesso em: 19 jan. 2016.
- LATUF, M.O. *Modelagem hidrológica aplicada ao planejamento dos Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Acre*. 2011. Tese de Doutorado – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, SP, Brasil, 2011.
- LEANDRO, R.A.D.R. *Risco de cheias e inundações na cidade de Setúbal*. 2013.129p. Dissertação de Mestrado - Instituto Superior de Educação e Ciências. Escola Superior de Segurança, Tecnologia e Aviação, Setúbal, Portugal, 2013. Disponível em: <<http://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/10866>>. Último acesso em: 01 abr. 2017.
- LIMA, L. S. de. *Implementação de um modelo hidrológico distribuído na plataforma de modelagem dinâmica*. 2011. 95p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2011.
- LIRA, S.A. *Análise de Correlação: Abordagem Teórica e de Construção dos Coeficientes com Aplicações*. 2004. Dissertação de Mestrado - Universidade do Paraná. Curso de Pós-Graduação de Métodos Numéricos em Engenharia. Curitiba, PR, Brasil.
- LOU, R.F. *Modelagem Hidrológica Chuva - Vazão e Hidrodinâmica aplicada na Bacia Experimental do Rio Paraibinha/RJ*. 2010. 190p. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro-RJ, Brasil. 2010.
- LOURENÇO, R.W. *Modelagem geoestatística por geoprocessamento em uma área da baixada santista*. 2002. 234p. Tese de Doutorado - Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas Campus de Rio Claro, SP, Brasil. 2002.
- LUCIO, C.M.C. *Análise do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio de Loures e modelação da sua susceptibilidade a cheias*. Dissertação de Mestrado - Instituto de Geografia e Ordenamento do Território - IGOT. Lisboa, Portugal. 2014.

- MACEDO, M. J.H. *Aplicações de redes neurais artificiais e satélite TRMM na modelagem chuva-vazão da Bacia Hidrográfica do Rio Paraguaçu/BA*. 2013. 109p. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, 2013.
- MACHADO, M.L.; NASCIMENTO, N.; BAPTISTA, M.; GONÇALVES, M.; SILVA, ADRIANO.; LIMA, J.C.; DIAS, R.; SILVA, ANDERSON; MACHADO, E.; FERNANDES, W. Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de uma metodologia. *Revista REGA*, V.2, n.1, 35-52p, jan/jun 2005. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=2&ID=65&SUMARIO=813>>. Acesso em: 30 ago. 2016.
- MACHADO, R. E. *Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento*. 2002. 166p. Tese de doutorado – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. 2002.
- MAGALHÃES, I. A.L.; THIAGO, C.R.L., AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. Uso de Geotecnologias para Mapeamento de Áreas de Risco de Inundação em Guaçuí, ES. Uma análise comparativa entre dois métodos. *Cadernos de Geociências*, v. 8, n. 2, novembro 2011. Disponível em: <www.cadernosdegeociencias.igeo.ufba.br>. Acesso em: 29 ago. 2014.
- MAHRT, L; EK, M. The Influence of Atmospheric Stability on Potential Evaporation, *J. Clim. Appl. Meteorol. Local*, v. 23, 222–234p. 1984. Disponível em: <<http://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0450%281984%29023%3C0222%3ATIOASO%3E2.0.CO%3B2>>. Acesso em: 25 abr. 2015.
- MAHRT, L.; PAN, H. L. A Two-Layer Model of Soil Hydrology, *Boundary-Layer Meteorol. Local*, v. 29, 1–20p. January, 1984. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/226313395_A_2-layer_model_of_soil_hydrology>. Acesso em: 15 mai 2016.
- MAIDMENT, D. R. *Handbook of Hydrology*, USA: McGraw-Hill, Inc., 1993.
- MAKTAV, D. Remote Sensing of Urban Areas. *International Journal of Remote Sensing*. v.26, No.4, fevereiro, 2005. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160512331316469>>. Acesso em: 15 mar 2016.
- MAKTAV, D. Remote Sensing of Urban Areas. *International Journal of Remote Sensing, Local* v.26, N^o.4, February, 2005.
- MARCELINO, E. V. 2008. *Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos*. Caderno Didático nº 1.40p. INPE/CRS, Santa Maria, RS, Brasil, 2008. Disponível em: <<http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.02.16.22/doc/publicacao.pdf>>. Último acesso em: 27 jul. 2017.

MARTIN, O.; RUGUMAYO, A.; OVCHAROVICHOVA, J. Application of HEC HMS/RAS and GIS tools in flood modeling: A case study for river Sironko – Uganda. *Journal of Engineering, Design and Technology*, v.1(2), 19-31p. 2012. Disponível em: <<http://gifre.org/library/upload/volume/19-31-vol-1-2-12-gjedt.pdf>>. Acesso em: 12 out 2016.

McCOLLOR, D.; STULL, R. Hydrometeorological Short-Range Forecasts in Complex Terrain. Part I. Meteorological Evaluation. *Weather and Forecasting. American Meteorological Society Journals* . Aug, 2008.: Vol 23. p. 533 - 556.

McCOLLOR, D.; STULL, R. hydrometeorological Short-Range Forecasts in Complex Terrain. Part II.Economic Evaluation. *Weather and Forecasting. American Meteorological Society Journals*. Aug, 2008: Vol 23. p. 557-574.

MELLOR, G. L.; YAMADA, T.: Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophys. Space Phys.*, v. 20, 851-875p. Novembro, 1982. Disponível em: <<http://www.fap.if.usp.br/~hbarbosa/uploads/Teaching/Modclim2010a/MellorYamada1982.pdf>>. Acesso em: 02 fev 2017.

MENDES, P.P.M., ORLANDO, P.H.K. Mapeamento das áreas de risco dos espaços periféricos da cidade de Catalão (GO): o uso do Cadastro para identificar os riscos. 18p. Seminário de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação da Regional Catalão. 2014. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/openaccess/coletanea-interdisciplinar/vol1/V1_Cap19.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2015.

MENEZES, D.J. *Zoneamento de risco de inundação na área urbana de Santa Cruz do Sul - RS*. 2014. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria,RS, Brasil, 2014.

MERZ, B., HALL, J., DISSE, M., SCHUMANN, A. (2010) Fluvial flood risk management in a changing world. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, European Geosciences Union, 2010. 10(3), 509–527. Disponível em: <<https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/509/2010/>>. Último acesso em: 01/11/2016.

MESINGER, F. A blocking technique for representation of mountains in atmospheric models. *Rivista di Meteorologia Aeronautica*, v. 44, n.1-4, p. 195-202, 1984.

MESINGER, F.; BLACK, T.L.; PLUMMER, D.W.; WARD, J.H. Eta model precipitation forecast for a period including tropical storm Alison. *Weather and Forecasting*. v.5, n.3, p. 483-493, 1990.

MICHEL, G.P. *Estimativa da profundidade do solo e seu efeito na modelagem de escoamentos*. 2015. 164p. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2015.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL .Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres - CENAD. Anuário Brasileiro de Desastres Naturais. Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=f22ccccc-281a-4b72-84b3-654002cff1e6&groupId=185960>. Último acesso em: 26 jun. 2017.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED). Atlas Brasileiro de Desastres Naturais. 1991 a 2012. Brasília, DF, Brasil Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=e3cab906-c3fb-49fa-945d-649626acf790&groupId=185960>. Acesso em: 11 abr. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos. 2007. Brasília, DF, Brasil. Disponível em: <http://fld.com.br/uploads/documentos/pdf/Vulnerabilidade_Ambiental_Desastres_Naturais_ou_Fenomenos_Induzidos.pdf>. Último acesso: 23 jul. 2015.

MOLION, L.C.B., BERNARDO, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro-RJ, v.17 n.1 01-10, 2002. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/327219140/Uma-revisao-da-dinamica-das-chuvas-no-Nordeste-brasileiro-pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2017.

MONTE, B. E. O., COSTA, D.D., CHAVES, M.B., MAGALHÃES, L.O., UVO, C.B. Modelagem hidrológica e hidráulica aplicada ao mapeamento de áreas inundáveis. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS, Brasil, Versão On-line . RBRH, v. 21, no.1, jan./mar. 2016, 152 - 167p. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbrh/v21n1/2318-0331-rbrh-21-1-152.pdf>. Acesso em: 15 fev 2015.

MORAES, J.F.V. Efeitos da inundação do solo 1. Influência sobre o pH, o potencial de óxido-redução e a disponibilidade do fósforo no solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira Série Agrônômica. Versão 08, pg 93-101, 1973. Disponível em: < <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/viewFile/17416/11680>> Acesso em 29 jan 2016.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; LIEW, M. W. VAN; BINGER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. 2007, Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, 50, 885-900.

MOURA, R. G.; NOGUEIRA, V. S.; ROZANTE, J. R. O Impacto da Condição de Contorno nas Previsões de Precipitação do Modelo Eta de Alta Resolução. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 14., 2006, Florianópolis. Anais Eletrônicos...Rio de Janeiro: SBMet, 2006.Disponível em: <<http://www.cbmet.com/edicoes.php?cgid=14&imageField2.x=45&imageField2.y=12>> Acesso em: 25 mai. 2015.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of the droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulations model. *Journal of the Atmospheric Science*. 2653-2673p. 1981. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/4680953_On_the_Dynamics_of_Droughts_in_Northeast_Brazil_Observations_Theory_and_Numerical_Experiments_with_a_General_Circulation_Model>. Acesso em: 19 ago. 2016.

MOURA, R.G.; HERDIES, D.L.; MENDES, D.; MENDES, M.C.D. Avaliação do modelo regional ETA utilizando s análises do CPTEC e NCEP. *Revista Brasileira de Meteorologia*. c.25, n.1, 46-53p. 2009.

MULONGO, H. *Estudo de inundação na bacia do campus da UFSC*. 2012. 171 p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2012.

MUNGAI, N.W.; NJUE, A.M.; ABAYA, S. G.; SAID, V.A.H.; IBEMBE, J.D. Periodic flooding and land use effects on soil properties in Lake Victoria basin. *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 6(19), 4613-4623p. 19 September, 2011. Disponível em: <<http://www.academicjournals.org/AJAR> DOI: 10.5897/AJAR11.741>. Acesso em: 23/06/2016.

MURRAY, S.J.; SMITH, D.; PHILLIPS, C. A Modified Flood Severity Assessment for Enhanced Decision Support: Application to the Boscastle Flash Flood of 2004. School of Earth Sciences, University of Bristol, Bristol, United Kingdom. October, 2012.

NASCIMENTO.P.T.S.; XAVIER, R.A. Análise pluviométrica do Estado de Alagoas. In: *Simpósio Alagoano de Gestão Ambiental*. 2010, Arapiraca, Alagoas, Brasil.

NEVES, R., CHAMBEL-LEITÃO, P., LEITÃO, P.C. Modelação numérica da circulação da água no solo. O modelo MOHID. Instituto Superior Técnico. Universidade de Lisboa. *Pedologia*, Oeiras 28: 46-55p. Jan. 2000. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/255623440_Modelacao_numerica_da_circulacao_da_agua_no_solo_o_modelo_mohid>. Acesso em: 15/04/2017.

NOAA. Manual de Definições e Terminologia Geral. National Weather Service do National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA, 2012. Disponível em: <<http://www.nws.noaa.gov/directives/sym/pd01009050curr.pdf>>. Último acesso em: 12 fev. 2017.

NOBRE, C.A.; MOLION, L.C.B. The climatology of drought prediction. Kluwer Academic Publishers. The impact of variation on agriculture, v. 2, 1988.

OLIVEIRA, A. S. *Interações entre Sistemas na América do Sul e Convecção na Amazônia*. 1986. 115p. Dissertação de Mestrado em Meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil.

OLIVEIRA, D.L.; CARAMORI, V. B. S.; JR, R. F. Análise Hidrológica da Cheia Excepcional Ocorrida em Junho de 2010 nas Bacias dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio em Alagoas e Pernambuco. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. VOLUME. 19 - Nº. 3 - JUL/SET. 279-293p. 2014. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=168&SUMARIO=4799>>. Acesso em: 23 jun. 2015.

OLIVEIRA, D.L., SOUZA, V.C.B., FRAGOSO JR., C.R. Análise hidrológica da cheia excepcional ocorrida em junho de 2010 nas Bacias dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio em Alagoas e Pernambuco. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 19 n.3 –Jul/Set 2014.

OLIVEIRA, G.G.; SALDANHA, D.L.; GUASSELLI, L. A. Espacialização e análise das inundações na bacia hidrográfica do rio Caí/RS. v.29. Geociências, local UNESP, São Paulo, Brasil, 2010. p.413-427.

OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, L.A. Relação entre a suscetibilidade a inundações e a falta de capacidade nos condutos da Sub-bacia do Arroio da Areia, em Porto Alegre/RS. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.16, 5-15p. jan-mar, 2011.

OLIVEIRA, G.S. O El Niño e você: o fenômeno climático. São José dos Campos: Transtec Editorial, 1999, 116p.

PACA, V.H.M. *Análise de informações satelitais e dados convencionais da rede pluvio-fluviométrica como contribuição à modelagem hidrológica na região Amazônica - Estudo de Caso: Bacia do Rio Guamá - Pará*. 2008. 132p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

PAIVA, R.C.D. *Modelagem Hidrológica e Hidrodinâmica de grandes Bacias. Estudo de Caso. Bacia do Rio Solimões*. 2009.182p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, 2009.

PAIVA, R. C. D.; COLLISCHONN, W.; BUARQUE, D. C. Validation of a full hydrodynamic model for large-scale hydrologic modelling in the Amazon. Hydrological Processes, v. 27, n. 3, p. 333–346p. Jan. 2013.

PAIXÃO, E. B.; GANDU, A. W. Caracterização do vórtice ciclônico de ar superior sobre o Nordeste do Brasil (Parte I). In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 11., 2000, Rio de Janeiro, Brasil. Anais. 2000. p. 3422-3428. 1 CD- ROM.

PALMER, C. E. On High-level Cyclones Originating in the Tropics. American Geophysical Union, v. 32, n. 5, p. 683-695, Oct. 1951.

PAN, H-L.; MAHRT, L. Interaction Between Soil Hydrology and Boundary-Layer Development, *Boundary-Layer Meteorol. Local*, v. 38, 185–202p. October, 1987. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00121563>>. Acesso em: 15 mai 2015.

PARIS, A., OLIVEIRA, G.G., BAYER, D.M., COLLISCHONN, W. Método Alternativo de Calibração e Simulação de Modelos Hidrológicos Baseado no Fracionamento do Hidrograma. XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS. Maceió - AL, 2011.

PARIZZI, M.G. Desastres Naturais e Induzidos e o Risco Urbano. Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa - Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Ed 22. pg 1-9. 2014. Disponível em: <www.igc.ufmg.br/geonomos>. Acesso em: 25 jun. 2015.

PEREIRA e SILVA, L. *Modelagem e geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá*. 2007. 118p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB, Brasil, 2007.

PEREIRA, D. C. *Proposta Metodológica para o mapeamento de áreas de risco a movimentos de massa: Aplicação na área urbana da subbacia hidrográfica do Córrego da Pedra Branca no município de Alfenas - MG*. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2011.

PETERSON, J.R., HAMLETT, J.M. Hydrologic calibration of the SWAT model in a watershed containing fragipan soils. *Journal of the American Water Resources Association*. Local, vol 34, n.3, 531 - 544p. June, 1998.

PINHEIRO, A. Enchente e inundação. 2º Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos. Brasília: MMA, dez 2007. p. 95-106.

PNRRC. Plataforma Nacional para a Redução do Risco de Catástrofes. Gestão do risco de inundação. Documento de apoio a boas práticas. Autoridade Nacional de Proteção Civil. 2016. Disponível em: <<http://www.proxiv.pt/bk/RISCOSPREV/REDRISCOCATASTROFE/Documents/GEST%C3%83O%20DO%20RISCO%20DE%20INUNDA%C3%87%C3%83O.pdf>>. Último acesso em: 28 ago. 2017.

PONTES DA SILVA, B.F. *Contribuição dos Distúrbios Ondulatórios de Leste para a chuva no Leste do Nordeste do Brasil: evolução sinótica média e simulações numéricas*. 2011. 123p. Dissertação de Mestrado – Universidade de São Paulo. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências atmosféricas. Departamento de Ciências Atmosféricas, São Paulo, SP, Brasil, 2011.

PONTES, P. ; FAN, F. M. ; FLEISCHMANN, AYAN SANTOS ; PAIVA, R. ; BUARQUE, D. C. ; SIQUEIRA, V. A. ; JARDIM, P. ; SORRIBAS, M. ; COLLISCHONN, WALTER . MGB-IPH model for hydrological and hydraulic

simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. *Environmental Modelling & Software*, v. 94, 1-20p. Mar, 2017.

POPESCU, S. C. *Estimating Plot-Level Forest Biophysical Parameters Using Small-Footprint Airborne Lidar Measurements*. 2002. 115p. Tese de Doutorado – Blacksburg, Virginia, EUA. 2002.

POZZER, C.; MAZZEGA, P. A redução de risco de inundação no Brasil: uma prioridade no quadro legislativo do país. Paranoá, Brasília, 2013. n° 10. p 25-36.

RADAMBRASIL. Projeto. Uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DIPUB, 1983. p. 653-852. (LRN, Folhas SC. 24/25 Aracaju/Recife, Vol. 30).

RANZANI, G. Manual de levantamento de solos, 2 ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1969.

RAWLS, W.J.; AHUJA, L.R.; BRAKENSIEK, D.L.; SHIRMOHAMMADI, A. Infiltration and soil water movement. In: MAIDMENT, D. *Handbook of hydrology*. New York: McGraw- Hill, 1993. 1-51p.

RECKZIEGEL, B. W. *Levantamento dos desastres desencadeados por eventos naturais adversos no Estado do Rio Grande do Sul no período de 1980 a 2005*. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Área de Concentração em Análise Ambiental e Dinâmica Espacial, da Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Naturais e Exatas. Universidade de Santa Maria. Santa Maria, RS, Brasil. 2007. Disponível em: http://w3.ufsm.br/ppggeo/files/dissertacoes_06-11/BernadeteReckziegel.pdf. Acesso em: 27 nov. 2014.

REIS, L. G. M.; SILVA JUNIOR, O. B.; PEDROSA, V. A. Análise de cheias de agosto de 2000 no rio Mundaú em Alagoas. In: V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2000, Natal. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. v. 1. p. 729-740.

RENNÓ, C.D. *Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas*. 2003. 156p. Tese de Doutorado - São José dos Campos: INPE. Disponível em: <<http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/jeferson/2003/06.10.13.53/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2015.

RENNÓ, C.D., SOARES, J.V. Conceitos básicos de modelagem hidrológica. Cap. 2. 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/cursos/tutoriais/modelagem/cap2_modelos_hidrologicos.pdf>. Último acesso em: 04 mai. 2017.

RIBEIRO, C.B.M; LIMA, R.N.S. Simulação de inundações urbanas a partir da integração de técnicas de geoprocessamento à modelagem hidráulica. *Revista*

de Geografia. v.1.n.2.2011. Disponível em:
<<https://geografia.ufjf.emnuvens.com.br/geografia/article/view/18/18>>. Acesso em: 26 set. 2015.

RIGHI, E. *Metodologia para Zoneamento de Riscos e Inundações Graduais*. 2016. 196p. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, Brasil, 2016.

ROBAINA, L. E. S.; BERGER, M. G.; DE CRISTO, S. S. V. et al. Análise dos ambientes urbanos de risco do município de Santa Maria - RS. V. 23. Santa Maria: Ciência & Natura, 139-152p. 2001.

ROCKWOOD, D. M. Columbia basin streamflow routing by computer. *Journal of Waterway and Harbors Division ASCE*, v. 2, n. 1, 1958.

RODRIGUES, M.T. *Acoplamento do modelo hidrológico MGB ao modelo atmosférico WRF visando estimar vazão na Bacia do Rio Paraíba do Meio - AL/PE*. 2012. 103p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Alagoas, Brasil, 2012.

ROGOWSKI, A. S. Quantifying soil variability in GIS applications: II Spatial distribution of soil properties. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(4), 455–475p. 1996.

ROTUNNO, R. et al. Coastal Meteorology. A review of the state of the science. Panel on Coastal Meteorology, Committee on Meteorological Analysis, Prediction, and Research, Board on Atmospheric Sciences and Climate, Commission on Geosciences, Environment, and Resources, National Research Council, National Academy of Sciences. Washington: The National Academy Press, 1992. 112 p.

ROZALIS, S.; MORIN, E.; YAIR, Y.; PRICE, C. Flash flood prediction using an uncalibrated hydrological model and radar rainfall data in a Mediterranean watershed under changing hydrological conditions. *Journal of Hydrology*, n. 394, p. 245–255, 2010.

ROZANTE, J.R., MOREIRA, D.S., GONÇALVES, L.G. VILA, D.A. Composição de campos de precipitação em grade regular utilizando redes pluviométricas e estimativa de precipitação por satélite. 2000. 18p. Disponível em:
< http://avaliacaodemodelos.cptec.inpe.br/pdf/Metodologia_prec.pdf>. Acesso em: 25 jan 2016.

SAMPAIO, E. (1999), *UTILIZAÇÃO DA CARTA DE SOLOS*, Universidade de Évora, Évora, Portugal, ISBN 972-778-018-0.

SAMPAIO, E.P. Estudio de las Prácticas Culturales, Porosidad del Suelo y Gestión Hídrica e nel Combate contra la Desertificación. *Revista Información Tecnológica*. Vol. 20(3), 101-112. 2009.

SAMPAIO, G., DIAS, P.L.S. Evolução dos modelos climáticos e de previsão de tempo e clima. REVISTA USP. São Paulo. n. 103. p. 41-54. 2014.

SAMUELS, W. B. ICWater: Incident Comlobal Terrestrial Network for River Discharge G. A. Artan, S. Pervez, C. Bandaragoda and K. Asante, "A Wide-Area Flood ahadur, D. E. R. D. Macuacua, G. A. Artan, R. W. Lietmand Tool for Protecting Drinking Water. In: Proceedings ESRI International User Conference, 2005, San Diego, Anais... San Diego, 2005.

SANTOS, F.C. *Enchentes em itajaí (SC) relatos, percepções e memórias*. 2010. 109 p. Dissertação de Mestrado - Universidade do Estado de Santa Catarina. Florianópolis, SC, Brasil. 2010. Disponível em: <<http://www.tede.udesc.br/bitstream/handle/1413/1/Caio.pdf>>. Acesso em: 23 ago. 2015.

SANTOS, K. A. *Modelagem do acompanhamento e controle de cheias em bacias hidrográficas de grande variação de altitude*. 2013. 127p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2013.

SANTOS, L.A. *Acurácia do modelo regional ETA utilizado no CPTEC/INPE em detectar vórtices ciclônicos de altos níveis atuantes no Nordeste do Brasil*. 2015. 101p. Dissertação de mestrado - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São José dos Campos, SP, Brasil. 2015.

SANTOS, L.L. MODELOS HIDRÁULICOS-HIDROLÓGICOS: Conceitos e Aplicações. RBGF- Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, PE, Brasil, Vol.2, n.03. 01-19p. set-dez, 2009.

SANTOS, P.M.P. *Cheias e Inundações: Avaliação, Impactos e Instrumento para a Gestão do Risco*. 2015. 282p. Tese de Doutorado – Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa. Disponível em:< <http://repositorio.ul.pt/handle/10451/22720>>. Último acesso em: 17mai. 2016.

SAPUCCI, L. F.; MONICO, J. F. G.; MACHADO, L. A. T.; ROSA, G. P. S. Avaliação das Previsões do Atraso Zenital Troposférico para a América do Sul, Obtidas Usando Modelo de Previsão Numérica de Tempo com Alta Resolução Espacial. Bol. Ciênc. Geod., sec. Comunicações, Curitiba, PR, Brasil, v. 14, n. 4, p.592 – 605, out-dez, 2008.

SARTORI, A. *Avaliação da classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos*. 2004. 189p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, Brasil, 2004. Disponível em: < http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/257875/1/Sartori_Aderson_M.pdf>. Último acesso em: 25 mai 2017.

SCHAETZL, R. J.; ANDERSON, S. N. Soils Genesis and Geomorphology. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. 817p. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/7e35/981c42417e9f6b7177f9548d27f6d67740f5.pdf>. Último acesso em: 14 fev. 2017.

SCHROEDER, A.J.; GOURLEY, J.J.; HARDY, J.; HENDERSON, J.J.; PARHI, P.; RAHMANI, V.; REED, K.A.; SCHUMACHER, R.S.; SMITH, B.K. TARALDSEN, M.J. The development of a flash flood severity index. *Journal of Hydrology*, v. 541, 523–532p. April, 2016.

SEGONI, S.; ROSSI, G.; CATANI, F. Improving basin scale shallow landslide modelling using reliable soil thickness maps, *Natural Hazards*, v. 61, 85–101p. 2012.

SELUCHI, M. E.; SAULO, A. C.; NICOLINI, M.; SATYAMURTY, P. The Northwestern Argentinean Low: A Study of Two Typical Events. *Monthly Weather Review*, v. 131, p. 2361-2378, 2003.

SEMARH/AL. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas. Responsável pela geração da imagem: Meteorologista Ms. Vinicius Nunes Pinho. Maceió, AL - Brasil. 2010.

SEMARH/AL. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas. Fotografias da cheia ocorrida em 2010. Dados fornecidos a pedido da Autora. Maceió, AL - Brasil. 2010.

SEMARH/AL. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos de Alagoas. Imagens de Alta Resolução e relatórios complementares da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. Dados fornecidos a pedido da Autora pelo Engenheiro Civil José Gino de Oliveira. Maceió, AL- Brasil. 2015.

SEPLAN. Secretaria de Planejamento de Alagoas. Estudos das Características Físicas e Socio-Econômicas da Bacia do Rio Paraíba. Maceió/AL. 1999.
SHIMAKURA, S.E. Interpretação do coeficiente de Correlação. 2006.
Disponível em: < <http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html> >. Último acesso em: 15 mai. 2017.

SHUTTLEWORTH, W. J. Evaporation In: MAIDMENT, D. R. Handbook of hydrology. New York: McGraw-Hill. 1993.

SIDLE, R. C.; TAYLOR, D.; LU, X. X.; ADGER, W. N.; LOWE, D. J.; LANGE, W. P.; NEWNHAM, R. M.; DODSON, J. R. Interactions of natural hazards and society in Austral-Asia: evidence in past and recent records. n.118-119. *Quaternary International*, 2004, p.181-203. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/222526662_Interactions_of_natural_hazards_and_society_in_Austral-Asia_Evidence_in_past_and_recent_records>. Último acesso em: 17 abr. 2016.

SIGNORINI, E. *Processos Sinóticos Associados com a Intensificação da Extremidade da Frente Fria no Sul do Brasil*. 2001. Dissertação De Mestrado - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas,RS, Brasil, 2001.

SIKKA, D. R.; GADGILI, S. On the maximum cloud zone and the ITCZ over indian longitudes during the Southwest monsoon. *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter*, sv. 1985. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/244947968_On_the_Maximum_Cloud_Zone_and_the_ITCZ_over_Indian_Longitudes_during_the_Southwest_Monsoon>. Acesso em: 19 fev. 2016.

SILVA, A.B. *Sistemas de informações geo-referenciados (SIG): conceitos e fundamentos*. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, SP, Brasil, 2000. 240p.

SILVA, B. C. *Previsão Hidroclimática para a Bacia do Rio São Francisco*. 2005. 280p. Tese de Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil. 2005.

SILVA, E.R. *Modelagem integrada para controle de cheias, previsão e alerta de inundações: Estudo de Caso da Bacia do Rio Una em Pernambuco*. 2015.145p. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, Brasil, 2015. Disponível em: <<http://repositorio.ufpe.br/bitstream/handle/123456789/15030/TESE%20Vers%C3%A3o%20Completa%20Final%20%28Digital%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 12 jan. 2017.

SILVA, L.T. *Vulnerabilidade Ambiental. Vulnerabilidade ao escorregamento de terras*. Estudo de caso: Bacia do Rio Bengalas, 2011. 282p Tese de Doutorado - Universidade de Évora, Évora, Portugal, 2014.

SILVA, V. P.R; MACIEL, G.F.; GUEDES, M.J.F. Influência dos eventos fortes do fenômeno El Niño na precipitação pluvial do Nordeste do Brasil. In: X Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, DF, Brasil. Anais...CD-ROM, 1998.

SILVA, V.P. *Distúrbios Ondulatórios de Leste: Estudo de Caso que afetaram a Costa Leste do NEB*. 2011. 88p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB, Brasi. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. 2011.

SILVEIRA, C.S.; COUTINHO, M.M.; COSTA, A.A.; MARIA, P.H.S. Previsão do tempo por conjuntos para a região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*. São Paulo.v.29, n.3. July/Sept. 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620100275>> Acesso em: 27 jul.2017.

- SILVESTRE, E. *Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico tropical*. 1996. Dissertação de Mestrado em Meteorologia – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, SP, Brasil. 1996.
- SIMÕES, L.B. *Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias*. 2001. 168p Tese de Doutorado – Universidade Estadual paulista "Júlio de Mesquita Filho", São Paulo, 2001.. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/101754/simoes_lb_dr_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Último acesso em: 28 ago. 2015.
- SIMPSON, R. H. Evolution of the Kona Storm, a subtropical cyclone. *Journal of Meteorology*. v. 9, p. 24-35, Fev. 1952.
- SINGH, S.K.; BARDOSSY, A. Calibration of hydrological models on hydrologically unusual events. *Advances in Water Resources* 38. Elsevier, 2012. 81–91p.
- SMALL, C. A global analysis of urban reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, v.26, No.4, pp.3403-3412. February 2005.
- SMITH, R. L. Maximum likelihood estimation in a class of nonregular cases. *Biometrika*, London, v. 72, n. 1, p. 67-90, 1985.
- SOBRAL, A.; FREITAS C.M.; ANDRADE E.V., LYRA G.F.D., MASCARENHAS M.S., ALENCAR, M.R.F., CASTRO, R.A., FRANÇA, R.F. *Desastres Naturais - Sistemas de Informação e Vigilância: Uma revisão de literatura*. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*. Periódico trimestral. Brasília,DF, Brasil, 2010. Disponível em: <<http://scielo.iec.pa.gov.br/pdf/ess/v19n4/v19n4a09.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2017.
- SOBRINHO, M.A.L. *Avaliação dos efeitos da disponibilidade espacial e temporal dos dados hidrológicos sobre a calibração de um modelo distribuído na Bacia do Rio Ipanema*. 2012. 115p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, Alagoas, Brasil, 2012.
- SONG, L.; ZHANG, J. Hydrological response to climate change in Beijiang River basin based on the SWAT model. In: *International Conference on Modern Hydraulic Engineering*. 2012, Elsevier. p. 241-245. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S1877705812007230/1-s2.0-S1877705812007230-main.pdf?_tid=2ed6236a-9f30-11e7-a003-00000aacb35d&acdnat=1506041675_b8b6cca3b8b5408edbb5c3e29ec29e10>. Acesso em: 18 mar 2015.
- SOUZA, A.C.C.; SILVA, M.L. Geoprocessamento aplicado ao levantamento de solos no município de Inconfidentes-MG . *Revista Brasileira de Geografia Física*, UFPE, Pernambuco. V. 09 N. 01, 200-214p. 2016.

SOUZA, C. O. J. Análise do Evento Climático Extremo Ocorrido na Região Leste de Alagoas: Bacias Hidrográficas dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio, Revista Brasileira de Geografia, n 02, v.04 p. 377-395. 2011. . Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/221/178>>. Acesso em: 22 mai. 2017.

SOUZA, J.C.O. Análise do Evento Climático Extremo Ocorrido na Região Leste de Alagoas: Bacias Hidrográficas dos Rios Mundaú e Paraíba do Meio. Revista Brasileira de Geografia Física. n.02. p377-395. 2011. Disponível em: <<http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/viewFile/221/178>>. Acesso em: 13 jul 2016.

SRINIVASAN, R., ARNOLD, J. G. Integration of the basin-scale water quality model with GIS Water Resources Bulletin. Journal of the American Water Resources Association. v. 30, n.03, 453-462p.June, 1994.

STAR, J., ESTES, J. Geographic Information Systems: an introduction. New Jersey: Prentice Hall, 1990. 302p.

SULEIMAN, H.C.E.; BARBASSA, A.P. Mapeamento preliminar de áreas urbanas de inundação. V.15 Ciência & Engenharia, Uberlândia - MG, 2005. v.15, p.51-58.

TACHINI, M.; KOBIYAMA, M.; FRANK, B. Descrição do desastre: as enxurradas.UFSC. Blumenal-SC, 2009. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/Projetos/ARTI_2009/Cap%C3%ADtulo.pdf>. Último acesso: 01 fev. 2016.

TEIXEIRA, R.F.B. O fenômeno da brisa e sua relação com a chuva sobre Fortaleza - CE. Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro-RJ, v.23, n.3, 282-291p. 2008.

TODINI, E. Hydrological catchment modelling: past, present and future. Hydrologyand Earth System Sciences. v. 11, 468-482p. January, 2007.

TOMAZ, P. Curso de Manejo de águas pluviais. Capítulo 3. Tempo de Concentração. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_calculoshidrolicos/capitulo04.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2016.

TOMAZ, P. Curso de Manejo de águas pluviais. Capítulo 29- Método de Muskingum-Cunge. 2008. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/capitulo29_metodo_de_muskingum_cunge.pdf>. Acesso em: 25 mai. 2016.

TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J., AMARAL, R. Desastres naturais: conhecer para prevenir. Instituto Geológico. 2009. 196p. Disponível em:

<<http://www.igeologico.sp.gov.br/downloads/livros/DesastresNaturais.pdf>>. Último acesso em: 20 mar. 2017.

TSCHIEDEL, A.F.; COLOSSI, B.R.; PAIVA, C.D. Modelagem hidrológica chuva-vazão na bacia do a partir do modelo MGB-IPH. 10º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Outubro 2016.

TUCCI, C.E.M. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos: estudo preparado como contribuição da ANA (Agência Nacional de Águas) para a Câmara Temática sobre Recursos Hídricos do Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas. 150 p. Brasília: ANA, 2002.

TUCCI, C. E. M. Gestão das inundações urbanas. Global Water Partnership, editora do Ministério das Cidades, Brasília, 2005. Disponível em: <https://labgeologiaambiental.jatai.ufg.br/up/285/o/Gest%C3%A3o_de_Aguas_Pluviais_.PDF?1370615799>. Acesso em: 29 out. 2016.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4º ed. Rio Grande do Sul, UFRGS. 2009. 944p.

UFRGS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Manual introdutório para aplicação do modelo MGB/IPH. Versão 2.0. 2017. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B1CDpnDPA5HMTjQwek1DZj4UTQ/view>>. Acesso em: 02 mar. 2013.

UN-ISDR - International Strategy for Disaster Reduction. 2004. Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives. Inter-Agency Secretariat International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), United Nations. Geneva. Suíça. 152pp. Disponível em: <http://www.unisdr.org>. Acesso em: 30 jan. 2016.

UNDP. Reducing Disaster Risk: a Challenge for Development. New York, 2004. Disponível em: <<http://www.undp.org/content/undp/en/home/librarypage/crisis-prevention-and-recovery/reducing-disaster-risk--a-challenge-for-development.html>>. Acesso em: 15 fev. 2014.

UNGER, I.M.; MOTAVALLI, P.P.; MUZIKA, R.M. Changes in soil chemical properties with flooding: A field laboratory approach. Agric. Ecosyst. Environ., 2009. Wang XC, Lu Q, V.131, 105-110p. 2006.

UNIÃO EUROPÉIA. Communication from the commission to the European Parliament and the Council - Addressing the challenge of Water Scarcity and Droughts in the European Union, Commission of the European Communities. Bruxelas: 2007.

U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS (2008) - “HEC-RAS. Hydrologic Modeling System – User’s Manual (version 2.1.2)”, Hydrologic Engineering Center, Davis.

U. S. ARMY CORPS OF ENGINEERS - "HEC-HMS. River Analysis System.– User's Manual (version 3.5)". Hydrologic Engineering Center, Davis. 2010. Disponível em: < http://www.hec.usace.army.mil/software/hechms/documentation/hechms_users_manual_3.5.pdf>. Acesso em: 02 fev 2015.

UVO, C.B. *A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro*. 1989. Dissertação de Mestrado – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil, 1989.

VAREJÃO-SILVA, M. A. Meteorologia e Climatologia Versão Digital 1. In: *Perturbações Atmosféricas*. Recife. 2005. p. 444-446.

VARNES, D. J. *Landslide Hazard Zonation: Review of Principles and Practice*. In: UNESCO Press, Paris - France. 1984. 56 p.

VENABLES, W.N.; RIPLEY, B.D.; *Modern applied statistics with S-Plus*, Springer, 2002.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. *Meteorologia básica e aplicações*, Viçosa/MG: Imprensa Universitária, 1991. 449 p.

VIANNA, A. P. P. *Utilização de modelagens Hidrológica e Hidráulica Associadas a um sistema de informações geográficas para mapeamento de áreas inundáveis – Estudo de caso: município de Itajubá, MG*. 2000. Dissertação de Mestrado - UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2000.

VILCA, M.M. *Simulación Hidráulica aplicada, usando o HEC-RAS*. May, 2009. CIP_Lambayeque - Cap de IngenieriaAgrícola.

VIVAS, E.; MAIA, R. A gestão de escassez e secas enquadrando as alterações climáticas. *Recursos Hídricos*. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. Volume 31. n.01. Disponível em: <http://paginas.isep.ipp.pt/sites/default/files/ebv/files/23-vivasmaia_2010_revista_recursos_hidricos.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2015.

WIGMOSTA, M. S.; VAIL, L. W.; LETTENMAIER, D. P. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. *Water Resources Research*. Vol. 30 No. 6, 1665-1679p. June, 1994. Disponível em: <<http://www.unc.edu/courses/2007fall/geog/801/001/www/ET/Wigmosta94-WWR.pdf>>. Acesso em: 24 jun 2015.

WOODCOCK, C. E., STRAHLER, A. H., & JUPP, D. L. B. (1988). The use of variograms in remote sensing: I. Scene models and simulated images. *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 323–348.

WU, W.; SIDLE, R. C. A distributed slope stability model for steep forested basins. *Water Resources Research*. v. 31, n. 8, 2097-2110p. 1995.

YANG, X.L.; REN, L.L.; Singh, V.P.; LIU, X.F.; YUAN, F.; JIANG, S.H.; YONG, B. 2012. Impacts of land use and land cover changes on evapotranspiration and runoff at Shalamulun River watershed, China. *Hydrology Research*. v43 (1–2), 23–37p.

YEE, T.W. VGAM: Vector Generalized Linear and Additive Models. R package version 0.9, 2013.

YEVJEVICH, V. Probability and Statistics in Hydrology. Water Resources Publications. Littleton, Colorado: Water Resources Publications, 1992.

ZAAPA, M. Multiple-response verification of a distributed hydrological model at different spatial scales. Thesis (Ph.D. in Natural Science) – Swiss Federal Institute of Technology, 2002.

ZHAO, Q.; CARR, F. H.: A prognostic cloud scheme for operational NWP Models, *Mon. Wea. Rev.* v. 125, 1931–1953p. August, 1997.

ZHANG, H. G.; FU, S. H.; FANG, W. H.; IMURA, H.; ZHANG, X. C. (2007), Potential effects of climate change on runoff in the Yellow River Basin of China. *Transactions of the ASABE*, 50, 911-918.

ANEXO I

Dados de chuva e vazão utilizados no desenvolvimento do modelo
hidrológico MGB-IPH

Tabela 51. Total pluviométrico mensal, valores máximos e médios de precipitação mensal para o período 1990-2010 no posto pluviométrico de Quebrangulo.

Fonte: ANA.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÁXIMOS	TOTAIS ANUAIS
1990	s/d	15,10	25,20	25,20	65,50									
1991	8,00	30,50	39,40	56,60	189,30	114,30	122,30	231,30	26,90	12,20	28,20	0,00	231,30	1.090,30
1992	142,50	185,40	237,80	162,00	33,80	144,10	142,50	66,00	81,00	0,00	1,20	0,00	237,80	1.340,40
1993	0,00	0,00	0,00	12,00	22,30	111,20	156,90	44,30	1,20	202,20	54,70	5,00	202,20	812,00
1994	5,00	0,00	40,60	77,20	168,20	312,50	155,20	101,70	72,90	11,60	16,20	36,00	312,50	1.309,60
1995	6,00	22,90	11,50	105,60	107,80	182,60	108,60	18,30	35,80	0,00	21,10	0,00	182,60	802,80
1996	32,20	12,10	38,00	307,80	131,70	217,80	212,00	179,30	30,50	60,10	73,80	7,00	307,80	1.610,10
1997	15,10	50,60	203,00	122,60	224,60	126,30	189,50	91,30	0,00	6,20	8,60	40,40	224,60	1.302,80
1998	16,00	1,80	30,90	54,90	100,80	116,10	127,50	99,90	34,10	3,90	0,00	0,00	127,50	713,4
1999	0,20	24,50	7,20	7,20	95,90	60,60	146,60	63,20	61,80	106,40	4,50	13,90	146,60	738,60
2000	113,10	62,50	35,00	136,10	117,30	228,10	142,10	178,30	254,90	9,70	51,80	129,90	254,90	1.713,70
2001	11,50	0,00	0,30	6,50	0,00	319,30	190,80	127,20	12,90	73,30	0,00	16,70	319,30	1.077,80
2002	225,20	155,40	25,30	48,40	112,40	218,20	97,10	122,60	21,30	23,20	9,80	40,70	225,20	1.324,80
2003	17,60	33,80	79,00	38,80	65,70	89,90	88,60	49,90	76,20	19,80	63,90	9,10	89,90	722,20
2004	278,30	58,80	12,20	67,10	96,70	303,70	153,50	122,30	77,90	6,00	5,00	12,90	303,70	1.498,10

Continuação

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÁXIMOS	TOTAIS ANUAIS
2005	0,00	58,10	66,00	99,20	215,90	202,20	109,30	192,80	50,30	0,00	0,00	11,90	215,90	1.221,60
2006	10,20	0,00	44,40	84,60	225,10	253,30	172,90	78,60	66,50	15,50	55,40	1,30	253,30	1.261,10
2007	11,00	193,20	173,00	123,40	93,90	165,40	158,50	188,50	56,30	14,80	0,30	22,10	193,20	1.393,60
2008	0,00	22,30	38,10	108,80	275,10	141,20	191,10	96,80	21,90	24,40	0,00	0,00	275,10	1.194,80
2009	37,30	50,60	23,50	80,70	297,40	195,60	152,00	138,10	31,90	0,00	5,00	24,90	297,40	1.334,40
2010	19,60	62,80	s/d	257,70	34,90	428,00	196,80	82,90	108,20	87,2	s/d	12,80	428,00	1.718,90

*s/d- Sem Dados

Tabela 52. Valores máximos e médias das máximas mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Quebrangulo

Fonte: ANA.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÁXIMOS
1990	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	0,41	0,56	0,51	0,56
1991	0,46	0,56	28,47	4,46	11,06	7,59	9,64	236,09	s/d	1,20	2,88	0,15	236,09
1992	79,29	55,44	121,23	291,87	s/d	s/d	s/d	s/d	21,54	2,74	0,96	0,96	291,87
1993	0,81	0,96	0,32	0,46	1,47	8,32	6,66	4,46	0,96	59,71	10,77	0,15	59,71
1994	5,21	5,21	3,47	1,47	5,40	157,38	s/d	24,32	11,97	1,67	s/d	s/d	157,38
1995	0,03	1,12	0,36	7,12	6,44	7,35	23,65	4,64	2,74	0,46	1,57	0,46	23,65

Continuação

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÁXIMOS
1996	0,01	0,00	0,08	101,44	20,03	172,79	57,99	67,79	9,83	2,74	5,79	0,93	172,79
1997	3,49	3,64	15,43	11,93	86,39	77,32	30,35	25,47	4,66	1,11	0,84	3,18	86,39
1998	2,74	0,93	0,93	3,97	8,38	15,13	26,65	9,83	2,88	0,36	0,00	0,00	26,65
1999	0,00	2,88	44,26	0,00	1,30	1,01	3,80	2,74	3,03	9,83	12,21	3,97	44,26
2000	4,31	5,02	17,01	17,34	4,48	13,34	79,29	157,38	226,26	13,06	4,31	14,22	226,26
2001	0,00	0,00	0,00	0,21	0,48	118,81	45,02	69,65	3,97	30,35	0,76	0,01	69,65
2002	22,63	13,63	1,61	2,47	5,40	44,30	58,85	17,01	5,79	1,30	0,31	2,21	58,85
2003	1,11	1,40	16,69	2,74	4,66	9,83	7,03	8,14	8,37	1,50	5,79	s/d	16,69
2004	79,29	136,18	15,16	1,16	1,94	30,35	111,71	90,58	17,95	2,97	0,33	0,00	111,71
2005	0,00	0,00	5,62	5,07	9,98	109,39	39,83	67,79	9,49	1,50	0,44	0,00	109,39
2006	0,00	0,00	0,00	3,12	9,49	177,11	111,71	18,93	30,35	2,06	2,83	1,03	177,11
2007	0,94	23,45	30,35	30,35	20,96	70,11	132,37	168,52	16,53	5,07	1,83	2,06	168,52
2008	2,83	45,78	114,06	64,14	310,42	48,90	171,36	24,32	10,73	4,04	2,56	s/d	310,42
2009	6,91	10,73	10,73	10,73	61,85	s/d	54,92	32,31	8,32	2,06	1,72	2,83	61,85
2010	13,00	8,78	13,98	45,37	2,77	s/d	s/d	29,61	s/d	57,37	9,49	2,06	57,37

*s/d- Sem Dados

Tabela 53. Totais pluviométricos mensais, valores máximos e médios de precipitação mensal e totais anuais para o período 1990-2010 no posto pluviométrico de Viçosa

Fonte: ANA.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÁXIMOS	TOTAIS ANUAIS
1990	27,40	5,40	14,80	202,50	197,80	329,20	225,20	171,40	110,40	48,60	20,00	7,70	329,20	1.360,40
1991	20,00	5,70	91,20	115,10	209,80	140,20	174,50	158,80	120,70	15,80	14,60	0,00	209,80	1.066,40
1992	s/d	158,70	17,20	11,00	0,00	158,70	186,90							
1993	0,00	0,00	4,10	24,80	52,90	136,80	78,00	57,80	16,10	101,90	56,60	47,70	136,80	576,70
1994	8,40	19,00	87,20	59,10	177,50	271,60	267,80	101,00	159,50	75,20	18,00	18,10	271,60	1.262,40
1995	1,80	34,60	0,00	137,10	73,80	270,60	159,10	96,20	87,00	0,00	12,50	0,00	270,60	872,70
1996	37,30	0,00	62,70	347,20	162,20	299,20	160,90	150,00	141,80	113,70	62,30	0,00	347,20	1.537,30
1997	85,40	112,70	350,10	280,10	368,80	163,60	362,10	40,70	2,20	10,30	2,60	20,10	368,80	1.798,70
1998	44,60	19,30	73,80	55,30	139,50	165,10	174,40	182,30	67,10	21,80	0,00	2,60	182,30	945,80
1999	1,80	47,10	16,70	74,60	164,10	95,80	187,50	79,30	63,90	127,20	26,00	38,10	187,50	922,10
2000	83,90	36,40	55,50	135,60	136,30	238,40	303,20	223,90	334,00	24,60	65,00	75,00	334,00	1.711,80
2001	18,10	4,60	60,10	99,40	29,90	358,90	134,10	97,00	28,40	91,60	34,80	63,90	358,90	1.020,80
2002	316,30	198,90	104,80	158,00	226,50	334,00	170,10	208,70	23,50	25,00	18,40	37,30	334,00	1.821,50
2003	13,20	60,20	303,60	68,20	53,10	124,50	72,10	82,30	124,80	35,70	58,40	17,70	303,60	1.013,80
2004	285,40	172,00	49,20	84,00	102,00	437,70	147,00	133,10	90,70	13,30	6,20	3,70	437,70	1.524,30
2005	3,10	35,00	53,50	77,20	263,20	328,10	149,90	211,50	31,80	5,70	10,80	51,60	328,10	1.221,40

Continuação

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÁXIMOS	TOTAIS ANUAIS
2006	24,40	0,40	131,50	215,20	237,10	343,10	160,60	109,10	95,80	7,80	42,70	5,20	343,10	1.372,90
2007	30,40	93,90	170,50	76,70	49,20	100,10	205,30	141,50	108,00	17,40	33,50	23,20	205,30	1.049,70
2008	45,10	21,70	158,30	75,60	260,50	160,10	s/d	191,60	45,50	49,60	6,00	4,60	260,50	1.018,60
2009	23,00	81,50	95,00	129,60	398,90	161,40	90,50	102,20	14,70	6,30	5,80	30,00	398,90	1.138,90
2010	26,40	53,80	47,50	116,90	59,00	169,40	109,10	66,20	41,30	64,60	8,60	4,30	169,40	767,10

*s/d- Sem Dados

Tabela 54. Valores máximos e médias das máximas mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Viçosa

Fonte: ANA.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÁXIMOS
1990	8,17	7,81	3,29	17,08	13,15	21,49	27,66	20,91	25,73	15,05	2,61	2,00	27,66
1991	2,00	1,02	45,45	1,02	46,28	16,05	27,66	381,11	s/d	1,95	3,29	s/d	381,11
1992	s/d	39,63	6,52	s/d	s/d	39,63							
1993	s/d	s/d	s/d	7,95	8,26	s/d	21,15	14,75	3,48	29,35	22,68	s/d	29,35
1994	4,54	0,87	17,35	7,66	27,6	256,39	83,08	38,54	27,61	8,24	2,78	2,02	256,39
1995	2,16	s/d	s/d	s/d	s/d	25,98	119,25	14,78	s/d	s/d	s/d	s/d	119,25
1996	s/d	s/d	3,86	248,37	s/d	89,15	46,16	70,72	15,59	8,24	6,08	2,02	248,37

Continuação

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÁXIMOS
1997	3,48	6,33	25,98	12,14	73,48	57,75	53,74	35,31	10,41	3,30	2,17	3,67	73,48
1998	2,95	1,75	3,48	9,77	8,83	27,61	47,63	20,91	6,84	1,75	0,88	0,01	47,63
1999	0,00	0,14	10,75	0,00	12,86	2,78	8,83	4,90	4,26	13,24	1,88	1,39	13,24
2000	5,35	6,33	7,39	14,39	8,83	72,55	92,26	217,57	418,65	34,06	8,53	37,23	418,65
2001	1,75	0,31	1,07	3,66	2,31	92,26	64,49	80,14	9,76	24,92	3,86	2,31	92,26
2002	36,58	62,77	8,53	27,61	35,31	158,18	85,08	44,72	13,61	5,35	2,95	3,12	158,89
2003	3,29	3,29	11,78	5,83	5,59	32,23	11,09	9,14	40,54	2,95	4,90	0,08	40,54
2004	151,29	154,03	23,88	2,95	5,35	91,22	s/d	107,56	44,01	13,24	2,62	1,17	154,03
2005	0,49	1,39	31,04	11,09	53,73	84,08	51,40	97,58	17,27	5,12	2,31	25,44	97,58
2006	3,86	0,79	7,95	11,43	44,01	328,68	115,68	32,83	37,23	6,07	8,53	2,62	328,68
2007	2,95	62,77	33,44	135,41	38,53	151,29	136,70	225,90	29,30	7,38	4,47	2,95	225,90
2008	s/d	-											
2009	s/d	-											
2010	s/d	-											

*s/d- Sem Dados

Tabela 55. Totais pluviométricos mensais, valores máximos e médios de precipitação mensal e totais anuais para o período 1990-2010 no posto pluviométrico de Atalaia

Fonte: ANA.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÁXIMOS	TOTAIS ANUAIS
1990	3,00	0,8	4,3	112,8	65,9	51,7	137,2	62,9	62,0	35,9	1,4	6,2	137,2	544,10
1991	1,10	3,90	28,20	24,90	52,70	103,00	220,50	61,10	23,30	3,20	0,00	0,00	220,50	521,90
1992	27,80	55,00	36,70	s/d	s/d	s/d	s/d	87,50	173,20	8,60	7,70	0,10	173,20	396,60
1993	0,00	0,00	1,10	8,00	13,20	18,90	65,20	58,40	7,90	50,70	42,40	7,70	65,20	273,50
1994	5,50	9,70	60,20	95,50	124,30	s/d	208,00	134,60	96,90	17,80	9,90	7,10	208,00	769,50
1995	3,60	0,80	1,30	35,70	126,80	212,10	190,90	43,80	23,30	2,50	17,40	0,10	212,10	658,30
1996	21,10	3,70	25,60	223,40	19,10	72,20	117,40	147,70	3,40	8,40	10,40	25,20	223,40	677,60
1997	40,20	29,30	71,20	100,60	183,20	85,70	196,70	89,30	0,80	3,40	7,00	15,20	196,70	822,60
1998	17,60	7,00	32,80	111,60	130,80	137,30	170,40	129,70	55,70	23,70	0,00	0,00	170,40	816,60
1999	4,50	38,80	22,00	37,60	175,70	128,60	182,00	99,60	96,10	132,40	40,60	27,90	182,00	985,80
2000	103,70	144,50	55,60	209,50	186,50	230,50	245,00	228,50	198,60	14,60	62,10	31,90	245,00	1.711,00
2001	29,70	3,00	63,90	78,80	31,10	357,60	259,90	152,40	26,80	90,70	26,70	26,70	357,60	1.147,30
2002	202,40	95,30	113,60	106,30	218,90	376,80	45,00	141,10	14,30	18,40	4,00	61,90	376,80	1.398,00
2003	19,90	41,40	86,20	74,90	125,90	243,80	88,80	86,40	81,30	86,40	7,30	2,60	243,90	944,90
2004	159,40	93,10	101,00	130,10	63,40	472,60	93,20	209,80	119,80	7,60	7,20	4,00	472,60	1.461,20
2005	3,10	61,60	38,40	132,50	237,20	364,30	107,20	136,60	21,80	7,60	3,70	41,30	364,30	1.155,30

Continuação

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÁXIMOS	TOTAIS ANUAIS
2006	41,50	0,00	101,70	75,80	358,10	315,40	165,20	109,20	124,10	15,00	26,80	2,00	358,10	1.334,80
2007	16,00	63,90	195,30	131,80	121,30	179,30	177,70	177,60	92,60	45,40	14,60	33,60	179,30	1.290,10
2008	41,10	61,10	119,60	60,90	462,80	143,30	256,20	193,20	26,70	47,30	1,90	5,90	462,80	1.420,00
2009	23,80	120,50	81,40	114,20	312,90	241,20	89,60	98,10	5,30	1,50	33,60	28,00	312,90	1.150,10
2010	16,30	45,80	31,10	58,10	61,90	499,30	127,90	84,00	98,70	18,60	8,80	24,40	499,30	1.074,90

*s/d- Sem Dados

Tabela 56. Valores máximos e médias das máximas mensais de vazão para o período 1990 - 2010 no posto fluviométrico de Atalaia

Fonte: ANA.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÁXIMOS
1990	19,05	11,72	10,33	35,80	25,44	36,43	41,64	45,77	50,10	30,40	8,41	14,76	50,10
1991	11,02	6,42	57,74	12,45	129,84	25,44	28,70	381,51	s/d	7,81	4,03	2,04	381,51
1992	393,73	295,93	36,43	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	74,65	15,17	12,08	6,15	393,73
1993	4,92	4,24	3,82	5,40	11,72	68,49	50,84	50,84	5,89	s/d	171,81	2,69	171,81
1994	5,64	1,89	26,51	10,33	74,65	412,43	101,04	54,74	62,74	20,25	8,69	6,06	412,43
1995	4,33	7,47	4,33	18,84	54,74	78,47	116,13	25,31	19,77	8,07	12,15	3,27	116,13

Continuação

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÁXIMOS
1996	5,04	4,80	5,04	254,70	73,04	166,11	122,90	168,77	43,72	19,77	15,32	9,34	168,77
1997	43,72	14,09	86,01	72,15	271,24	128,69	146,82	94,89	22,71	11,78	14,90	18,38	271,24
1998	17,93	6,33	4,33	33,30	12,15	38,99	81,26	39,65	15,74	5,04	2,70	1,72	81,26
1999	1,31	2,18	18,38	3,47	37,05	9,01	27,48	9,67	14,49	26,38	14,49	0,57	37,05
2000	6,06	3,47	6,61	34,53	37,05	230,85	171,45	423,60	409,51	38,99	17,73	44,70	423,60
2001	6,22	2,42	4,25	8,16	6,84	215,03	106,82	145,32	22,89	85,11	18,71	8,51	215,03
2002	120,21	144,08	107,91	86,09	77,42	339,14	133,10	88,07	31,08	16,77	9,59	11,92	339,14
2003	10,34	16,30	31,08	20,24	19,22	104,66	37,62	38,99	41,09	11,12	21,28	4,00	104,66
2004	224,03	194,69	24,55	26,26	18,71	346,46	88,07	171,21	63,03	20,75	8,16	4,51	346,46
2005	10,73	6,22	44,70	41,80	74,62	266,53	125,99	139,15	32,35	10,72	6,84	30,46	266,53
2006	5,62	3,06	11,92	31,08	123,66	268,17	171,21	65,63	107,91	11,92	15,37	6,52	268,17
2007	8,17	97,24	71,87	237,83	99,34	213,55	158,03	250,41	69,16	-	10,72	12,75	250,41
2008	14,15	37,66	138,70	79,49	733,61	140,52	617,65	155,47	48,81	-	8,80	-	733,61
2009	4,98	51,79	31,92	36,18	445,73	970,89	159,32	183,36	34,73	8,80	6,75	13,69	970,89
2010	16,54	30,56	11,11	136,90	13,24	948,00	227,02	101,60	106,34	74,03	15,56	5,83	948,00

*s/d- Sem Dados

Tabela 57. Postos mais próximos dos pontos de grade do modelo atmosférico ETA utilizados no Teste 04.

Fonte: CPTEC/INPE.

CÓDIGO	MUNICÍPIO	ESTADO	RESPONSÁVEL	SÉRIE
PostoETA_06_05	Cajueiro	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_06_07	Mal. Deodoro	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_06_08	Mal. Deodoro	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_07_05	Maribondo	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_07_07	Atalaia	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_07_08	Pilar	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_07_09	Satuba	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_07_10	Maceió	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_08_03	P. dos Índios	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_08_04	Quebrangulo	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_08_05	Paulo Jacinto	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_08_06	Cajueiro	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_08_07	Cajueiro	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_08_08	Rio Largo	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_09_03	L. S. João	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_09_04	Quebrangulo	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_09_05	Chã Preta	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_09_07	U. dos Palmares	AL	CPTEC/INPE	2012/2013

Continuação

CÓDIGO	MUNICÍPIO	ESTADO	RESPONSÁVEL	SÉRIE
PostoETA_09_08	Murici	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_10_01	Iati	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_10_03	Bom Conselho	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_10_04	C. do Pinto	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_10_05	Correntes	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_10_06	S. do Mundaú	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_10_07	U. dos Palmares	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_10_08	U. dos Palmares	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_10_09	U. dos Palmares	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_11_03	Paranatama	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_11_04	Garanhuns	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_11_05	Palmerina	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_11_07	S. J. da Laje	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_11_08	S.J.Laje	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_11_09	C. Leopoldina	AL	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_12_03	Garanhuns	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_12_04	Garanhuns	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_12_05	Calçado	PE	CPTEC/INPE	2012/2013

Continuação

CÓDIGO	MUNICÍPIO	ESTADO	RESPONSÁVEL	SÉRIE
PostoETA_12_09	Palmares	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_13_03	Garanhuns	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_13_04	Lajedo	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_13_05	Lajedo	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_13_09	Catende	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_14_03	Pesqueira	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_14_04	Lajedo	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_14_05	S.B. do Una	PE	CPTEC/INPE	2012/2013
PostoETA_14_07	Agrestina	PE	CPTEC/INPE	2012/2013

ANEXO II

Parâmetros fixos utilizados no desenvolvimento do modelo
hidrológico MGB-IPH

Tabela 58. Valores de Albedo utilizados como parâmetros fixos no modelo Hidrológico MGB-IPH.

Fonte: Adaptado de GAMA (2013).

BLOCOS		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Solo Delgado + Vegetação pouco densa	1	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Solo Delgado + Pastagem	2	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Solo Profundo + Vegetação pouco densa	3	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Solo Profundo+ Pastagem	4	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Solo Profundo + Floresta	5	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Solo Delgado + Floresta descontínua	6	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13

Tabela 59. Valores de Índice de área Foliar utilizados como parâmetros fixos no modelo Hidrológico MGB-IPH.

Fonte: Adaptado de GAMA (2013).

BLOCOS		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Solo Delgado + Vegetação pouco densa	1	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Solo Delgado + Pastagem	2	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Solo Profundo + Vegetação pouco densa	3	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Solo Profundo+ Pastagem	4	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Solo Profundo + Floresta	5	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Solo Delgado + Floresta descontínua	6	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00

Tabela 60. Valores de Alturas das Árvores utilizados como parâmetros fixos no Modelo Hidrológico MGB-IPH.

Fonte: Adaptado de GAMA (2013).

BLOCOS		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Solo Delgado + Vegetação pouco densa	1	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Solo Delgado + Pastagem	2	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Solo Profundo + Vegetação pouco densa	3	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Solo Profundo+ Pastagem	4	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Solo Profundo + Floresta	5	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Solo Delgado + Floresta descontínua	6	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00

Tabela 61. Valores de Resistência Superficial utilizados como parâmetros fixos no Modelo Hidrológico MGB-IPH.

Fonte: Adaptado de GAMA (2013).

BLOCOS		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Solo Delgado + Vegetação pouco densa	1	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Solo Delgado + Pastagem	2	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Solo Profundo + Vegetação pouco densa	3	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Solo Profundo+ Pastagem	4	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
Solo Profundo + Floresta	5	100,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00
Solo Delgado + Floresta descontínua	6	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	80,00	80,00

ANEXO III

Sub-Bacias inseridas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba.

Tabela 62. Sub-bacias, áreas de drenagens, tipos de solos, áreas e porcentagens dos tipos de solos em relação às áreas das sub-bacias.

Fonte: SEPLAN (1999).

SUB-BACIAS	ÁREAS DE DRENAGENS (km ²)	TIPOS DE SOLOS	ÁREA (km ²)	% EM RELAÇÃO À SUB-BACIA
I	1175,33	LVd12	7,69	0,65
		PV10	132,28	11,25
		PE13	252,04	21,44
		PE17	156,29	13,30
		PL8	258,09	21,96
		PL9	12,13	1,03
		REd2	156,49	13,31
		REd3	5,59	0,48
		REe2	154,71	13,16
		Re3	9,11	0,78
Re9	30,91	2,63		
II	229,32	PE4	97,97	42,72
		PE5	11,58	5,05
		PL2	117,49	51,23
		Re1	2,29	1,00
III	208,49	PV3	10,69	5,13
		PV4	1,07	0,51
		PE4	20,77	9,96
		PL2	175,97	84,40
IV	355,53	LVd1	3,06	0,86
		PV2	1,45	0,41
		PV3	5,19	1,46
		PV4	142,13	39,98
		PV15	11,82	3,32
		PE4	142,30	40,02
		PL2	49,57	13,94

Continuação

SUB-BACIAS	ÁREAS DE DRENAGENS (km ²)	TIPOS DE SOLOS	ÁREA (km ²)	% EM RELAÇÃO À SUB-BACIA
V	444,98	LVd1	17,43	3,92
		LVd2	6,82	1,53
		PV2	141,59	31,82
		PV4	242,45	54,49
		PV5	35,56	7,99
		Ade	1,11	0,25
VI	77,28	PV2	23,63	30,58
		PV4	50,61	65,49
		PV5	2,23	2,89
		PE4	0,8	1,04
VII	107,34	LVd2	34,32	31,97
		PV2	17,30	16,12
		PV5	34,33	31,98
		PV10	21,23	19,78
VIII	529,53	LVd2	85,23	16,10
		PV3	103,6	19,56
		PV4	38,76	7,32
		PV5	119,82	22,63
		PV7	28,6	5,40
		PV10	122,26	23,09
		HGd	13,86	2,62
		Ade	17,40	3,29

ANEXO IV

Resultados anuais do modelo hidrológico MGB-IPH

Tabela 63. Valores dos Coeficientes de correlação calculados pelo Modelo Hidrológico MGB-IPH no Teste-1, Município de Quebrangulo - Estado de Alagoas.

POSTO FLUVIOMÉTRICO	LOCAL	PEARSON	R2 - NASH	ERRO VOLUME	EVENTO ATMOSFÉRICO
Ano - 1998					
39850000	Quebrangulo	0,88	0,67	-0,304	El Nino Forte
Ano - 1999					
39850000	Quebrangulo	0,35	0,002	-0,163	Transição
Ano - 2000					
39850000	Quebrangulo	0,93	0,80	0,81	La Niña Fraco
Ano - 2001					
39850000	Quebrangulo	0,86	0,41	0,93	Transição
Ano - 2002					
39850000	Quebrangulo	0,88	0,68	0,45	EN Moderado
Ano - 2003					
39850000	Quebrangulo	0,80	0,42	-0,52	EN Moderado
Ano - 2004					
39850000	Quebrangulo	0,87	0,65	0,29	El Niño Fraco
Ano - 2005					
39850000	Quebrangulo	0,96	0,91	0,22	El Niño Fraco
Ano - 2006					
39850000	Quebrangulo	0,92	0,82	0,35	El Niño Fraco
Ano - 2007					
39850000	Quebrangulo	0,91	0,80	-0,06	El Niño Fraco

Figura 162. Hidrograma para o posto fluviométrico de Quebrangulo, no Teste-1, no período: (A) 1998; (B) 1999; (C) 2000; (D) 2001; (E) 2002 e (F) 2003.

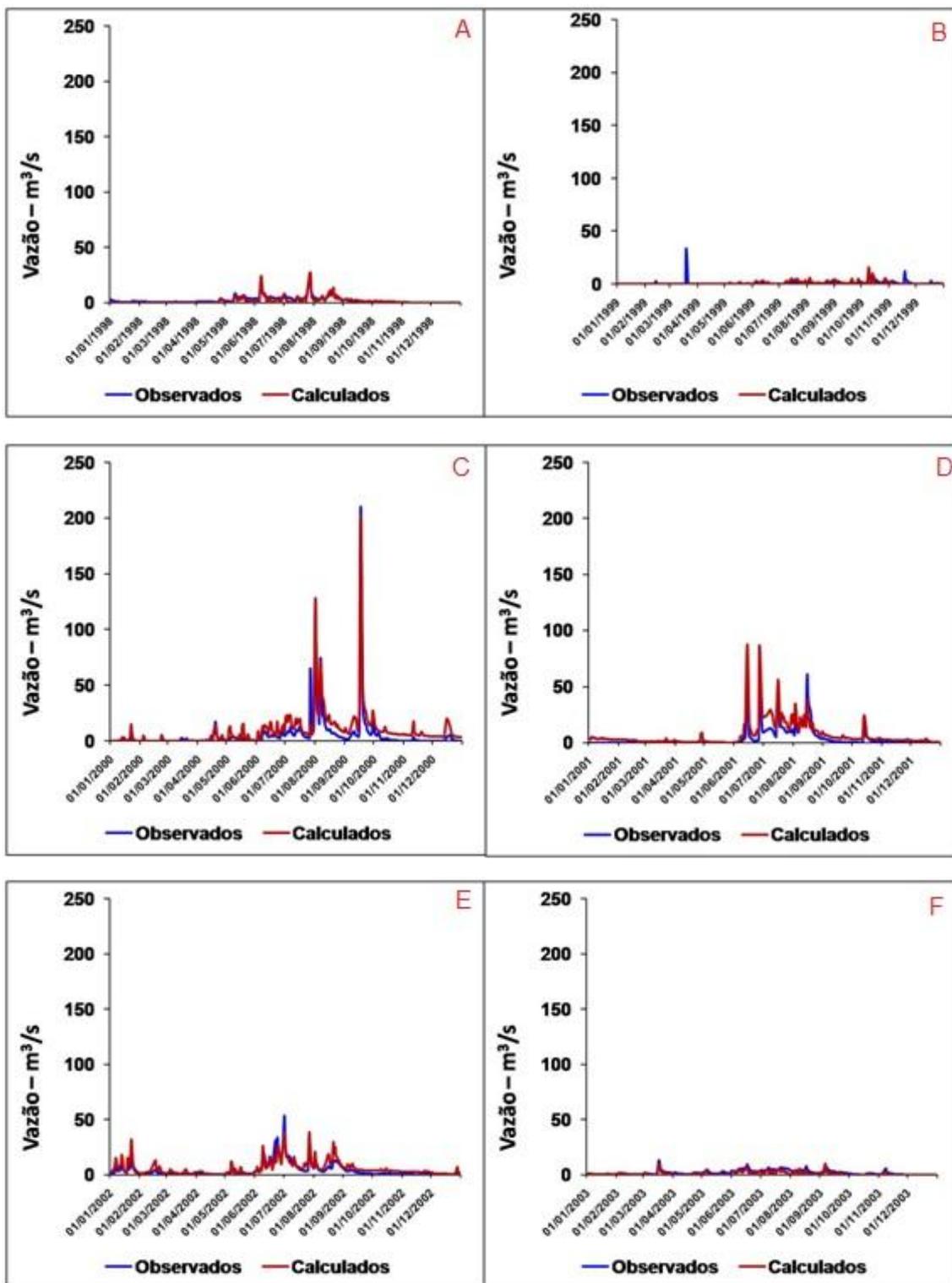


Figura 163. Hidrograma para o posto fluviométrico de Quebrangulo no Teste-1, no período: (G) 2004; (H) 2005; (I) 2006 e (J) 2007.

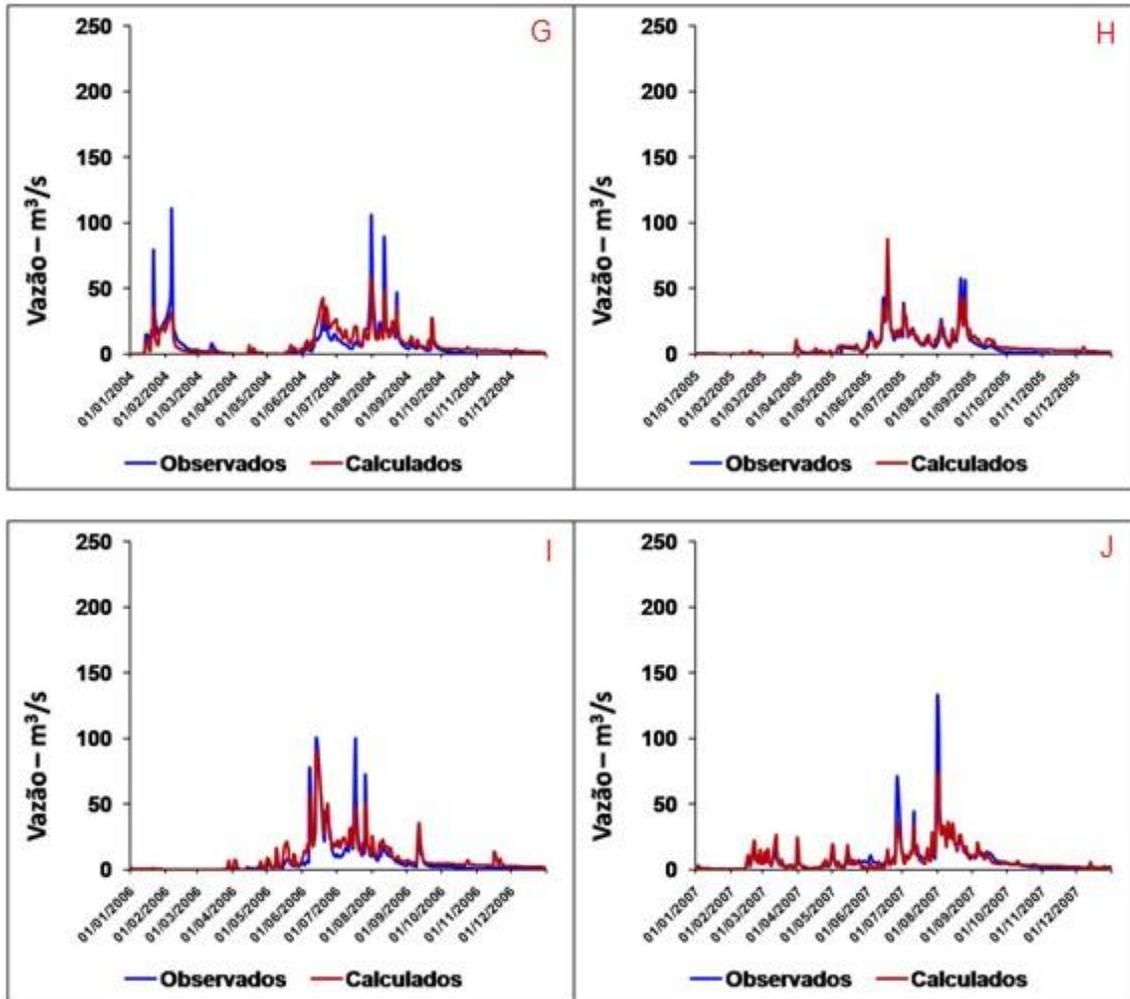


Tabela 64. Valores dos Coeficientes de correlação calculados pelo Modelo Hidrológico MGB-IPH no Teste-1, Município de Viçosa - Estado de Alagoas.

POSTO FLUVIOMÉTRICO	LOCAL	PEARSON	R2 - NASH	ERRO VOLUME	EVENTO ATMOSFÉRICO
Ano - 1998					El Nino Forte
39890000	Viçosa	0,93	0,75	-0,04	
Ano - 1999					Transição
39890000	Viçosa	0,71	0,19	0,19	
Ano - 2000					La Niña
39890000	Viçosa	0,91	0,81	0,28	
Ano - 2001					Transição
39890000	Viçosa	0,93	0,81	0,18	
Ano - 2002					El Niño Moderado
39890000	Viçosa	0,81	0,64	-0,18	
Ano - 2003					El Niño Moderado
39890000	Viçosa	0,85	0,60	-0,39	
Ano - 2004					El Niño Fraco
39890000	Viçosa	0,89	0,75	-0,15	
Ano - 2005					El Niño Fraco
39890000	Viçosa	0,95	0,91	0,04	
Ano - 2006					El Niño Fraco
39890000	Viçosa	0,90	0,78	-0,01	
Ano - 2007					El Niño Fraco
39890000	Viçosa	0,85	0,61	-0,28	

Figura 164. Hidrograma para o posto fluviométrico de Viçosa, no Teste-1, no período:
 (A) 1998; (B) 1999; (C) 2000; (D) 2001; (E) 2002 e (F) 2003.

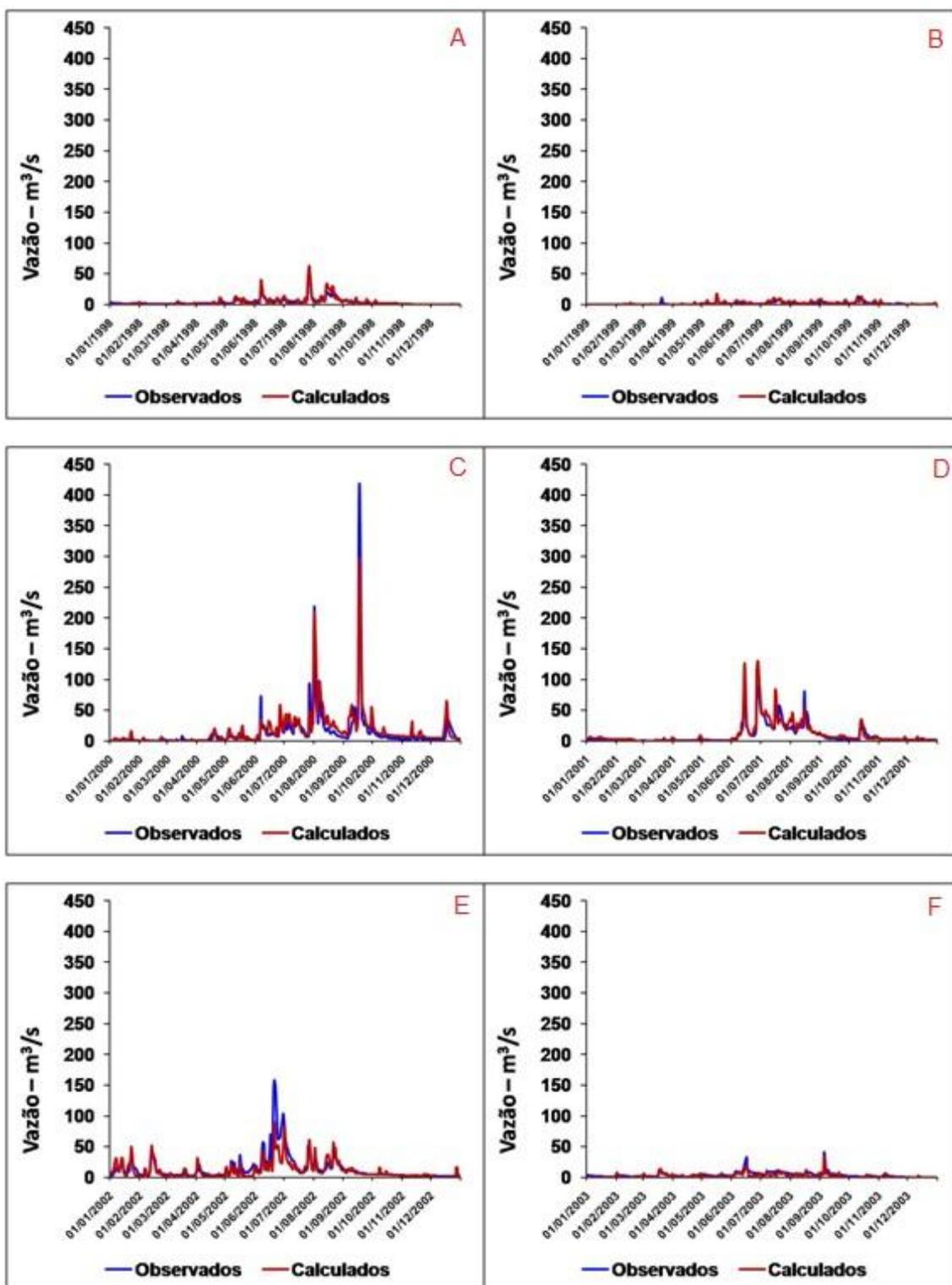


Figura 165. Hidrograma para o posto fluviométrico de Viçosa no Teste-1, no período: (G) 2004; (H) 2005; (I) 2006 e (J) 2007.

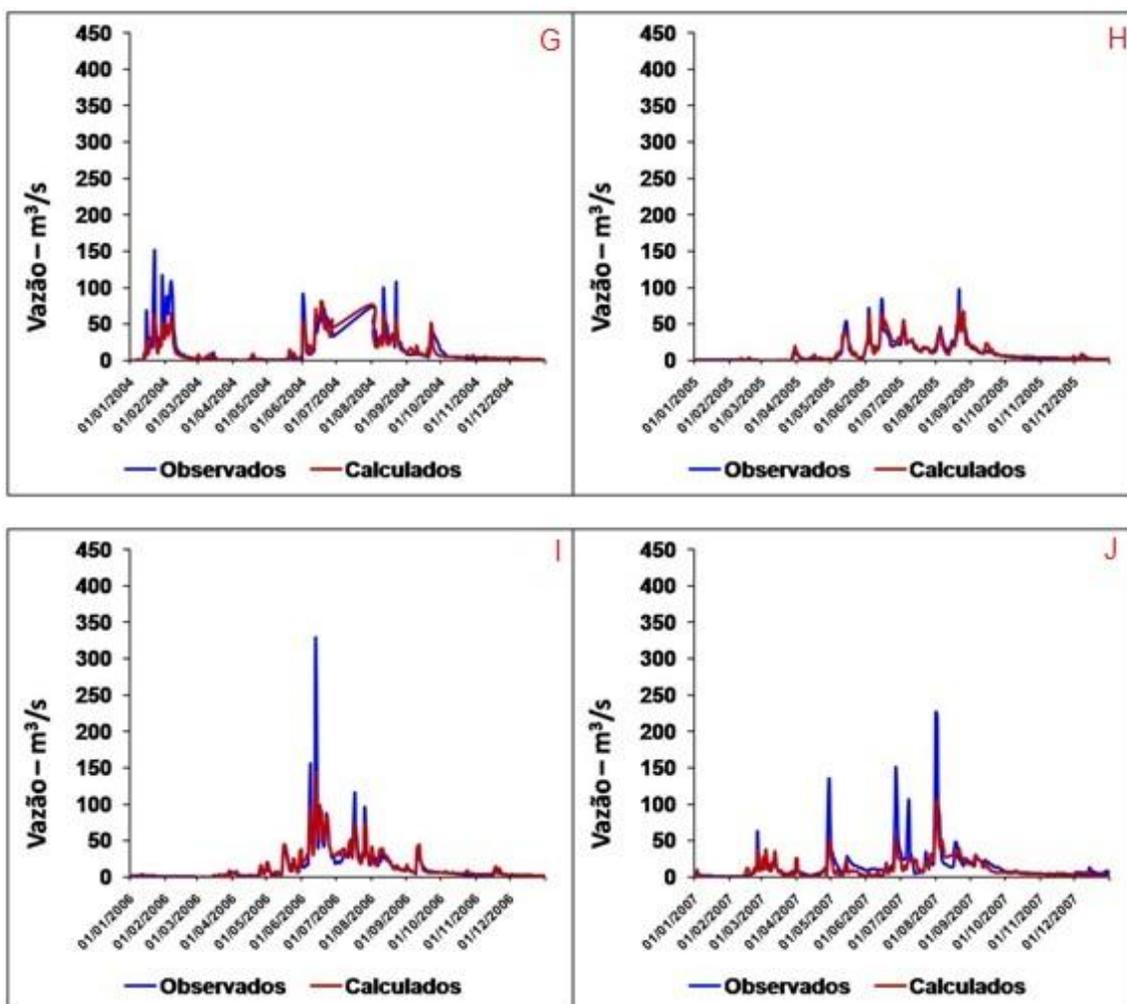


Tabela 65. Valores dos Coeficientes de correlação calculados pelo Modelo Hidrológico MGB-IPH no Teste-1, Município de Atalaia - Estado de Alagoas.

POSTO FLUVIOMÉTRICO	LOCAL	PEARSON	R2 - NASH	ERRO VOLUME	EVENTO ATMOSFÉRICO
Ano - 1998					El Nino Forte
39870000	Atalaia	0,90	0,69	-0,38	
Ano - 1999					Transição
39870000	Atalaia	0,71	0,19	0,19	
Ano - 2000					La Niña
39870000	Atalaia	0,93	0,80	-0,24	
Ano - 2001					Transição
39870000	Atalaia	0,87	0,73	-0,26	
Ano - 2002					El Niño Moderado
39870000	Atalaia	0,86	0,46	-0,50	
Ano - 2003					El Niño Moderado
39870000	Atalaia	0,72	-0,28	-0,68	
Ano - 2004					El Niño Fraco
39870000	Atalaia	0,86	0,60	-0,40	
Ano - 2005					El Niño Fraco
39870000	Atalaia	0,94	0,75	-0,38	
Ano - 2006					El Niño Fraco
39870000	Atalaia	0,90	0,78	-0,01	
Ano - 2007					El Niño Fraco
39870000	Atalaia	0,85	0,61	-0,28	

Figura 166. Hidrograma para o posto fluviométrico de Atalaia, no Teste-1, no período:
 (A) 1998; (B) 1999; (C) 2000; (D) 2001; (E) 2002 e (F) 2003.

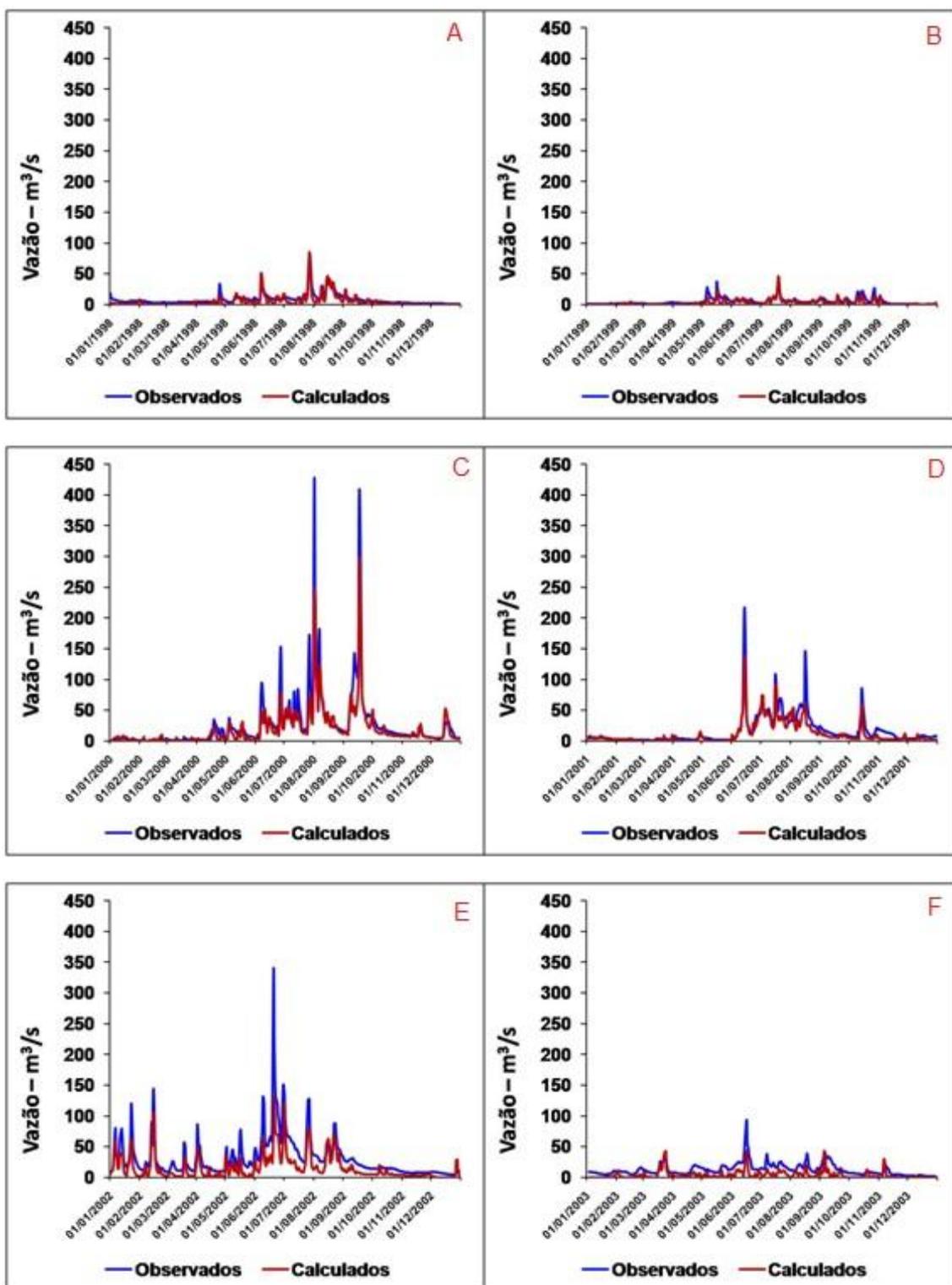


Figura 167. Hidrograma para o posto fluviométrico de Atalaia no Teste-1, no período: (G) 2004; (H) 2005; (I) 2006 e (J) 2007.

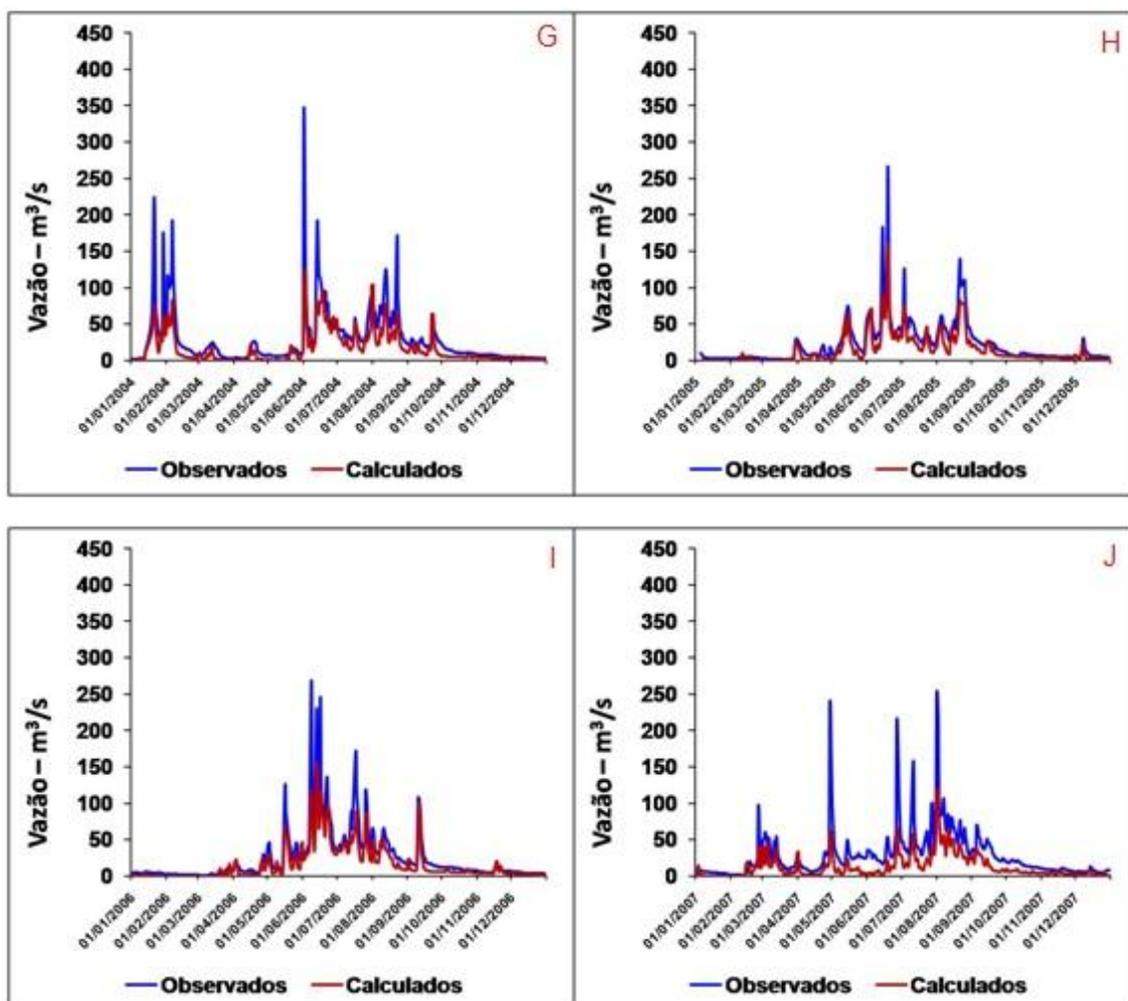


Tabela 66. Valores dos Coeficientes de correlação calculados pelo Modelo Hidrológico MGB-IPH no Teste-2, Município de Viçosa - Estado de Alagoas.

POSTO PLUVIOMÉTRICO	LOCAL	PEARSON	R2 - NASH	ERRO VOLUME	EVENTO ATMOSFÉRICO
Ano - 2004					
39860000	Viçosa	0,88	0,76	0,46	El Niño Fraco
Ano - 2005					
39860000	Viçosa	0,88	0,74	0,28	El Niño Fraco
Ano - 2006					
39860000	Viçosa	0,73	0,64	0,01	El Niño Fraco
Ano - 2007					
39860000	Viçosa	0,75	0,55	0,14	LN Moderado
Ano - 2008					
39860000	Viçosa	0,62	0,56	0,00	LN Moderado
Ano - 2009					
39860000	Viçosa	0,82	0,71	-0,09	EN Moderado
Ano - 2010					
39860000	Viçosa	0,90	0,80	0,22	EN Moderado
Ano - 2011					
39860000	Viçosa	0,65	0,40	-0,07	LN Moderado
Ano - 2012					
39860000	Viçosa	0,81	0,80	0,03	La Niña Fraco
Ano - 2013					
39860000	Viçosa	0,90	0,71	0,73	Ano Normal

Figura 168. Hidrograma para o posto fluviométrico de Viçosa, no Teste-2, no período: (A) 2004; (B) 2005; (C) 2006; (D) 2007; (E) 2008 e (F) 2009.

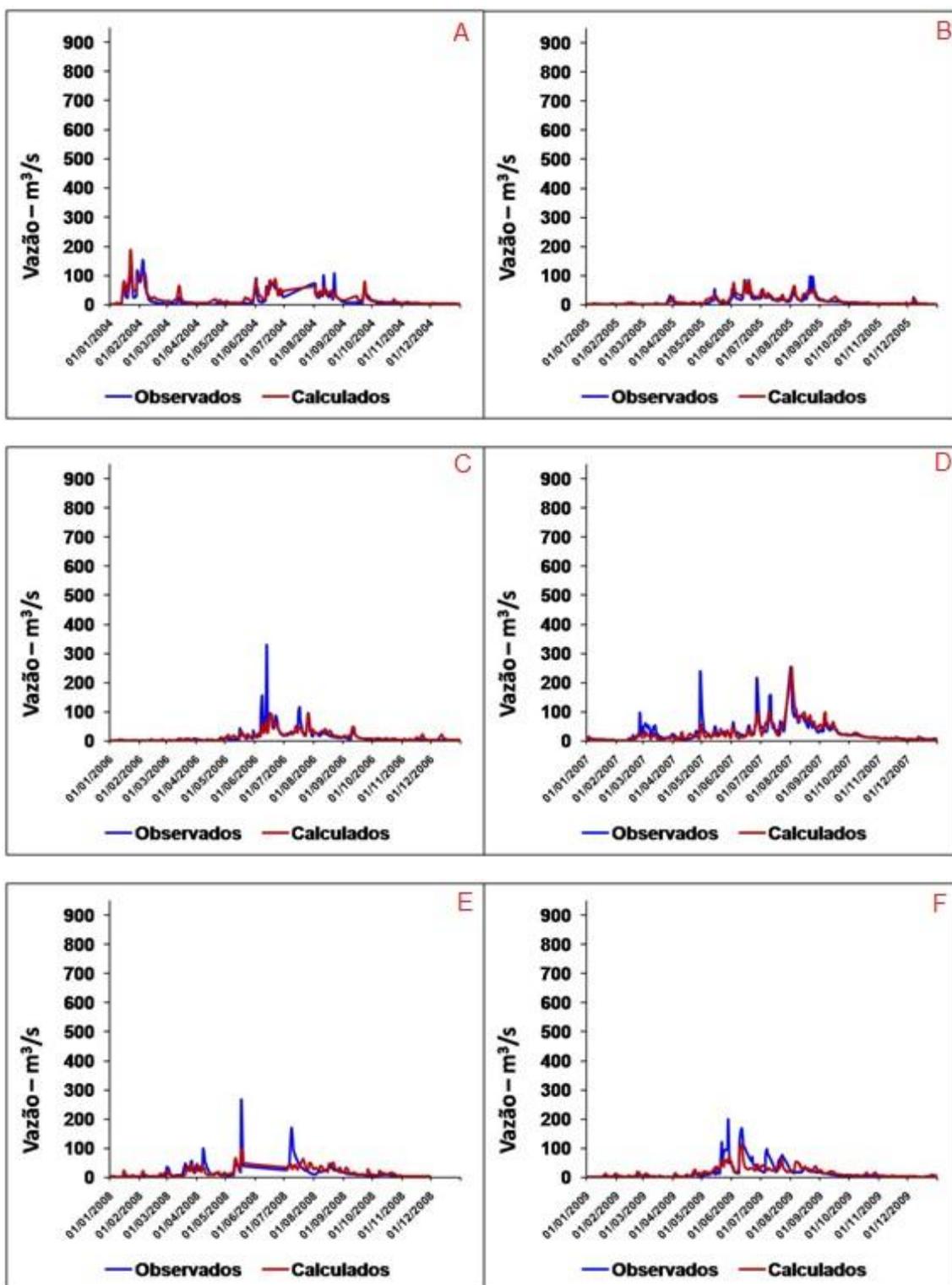


Figura 169. Hidrograma para o posto fluviométrico de Viçosa, no Teste-2, no período: (G) 2010; (H) 2011; (I) 2012 e (J) 2013.

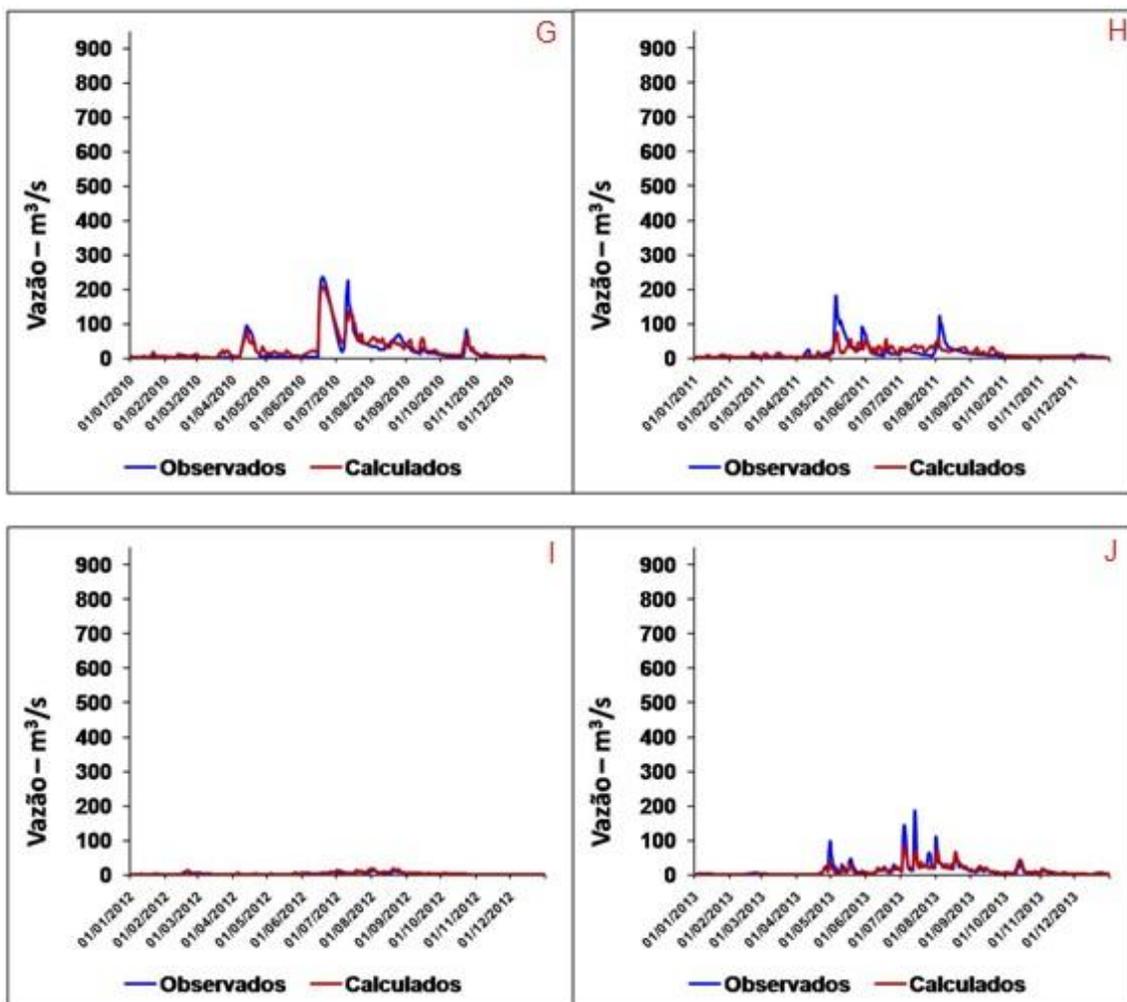


Tabela 67. Valores dos Coeficientes de correlação calculados pelo Modelo Hidrológico MGB-IPH no Teste-2, Município de Atalaia - Estado de Alagoas.

POSTO FLUVIOMÉTRICO	LOCAL	PEARSON	R2 - NASH	ERRO VOLUME	EVENTO ATMOSFÉRICO
Ano - 2004					
39870000	Atalaia	0,81	0,78	0,00	El Niño Fraco
Ano - 2005					
39870000	Atalaia	0,87	0,71	-0,19	El Niño Fraco
Ano - 2006					
39870000	Atalaia	0,85	0,78	-0,16	El Niño Fraco
Ano - 2007					
39870000	Atalaia	0,78	0,75	-0,06	LN Moderado
Ano - 2008					
39870000	Atalaia	0,86	0,55	-0,28	LN Moderado
Ano - 2009					
39870000	Atalaia	0,86	0,74	-0,16	EN Moderado
Ano - 2010					
39870000	Atalaia	0,84	0,52	-0,07	EN Moderado
Ano - 2011					
39870000	Atalaia	0,85	0,53	-0,33	LN Moderado
Ano - 2012					
39870000	Atalaia	0,83	0,30	-0,54	La Niña Fraco
Ano - 2013					
39870000	Atalaia	0,82	0,64	-0,14	Ano Normal

Figura 170. Hidrograma para o posto fluviométrico de Atalaia, no Teste-2, no período: (A) 2004; (B) 2005; (C) 2006; (D) 2007; (E) 2008 e (F) 2009.

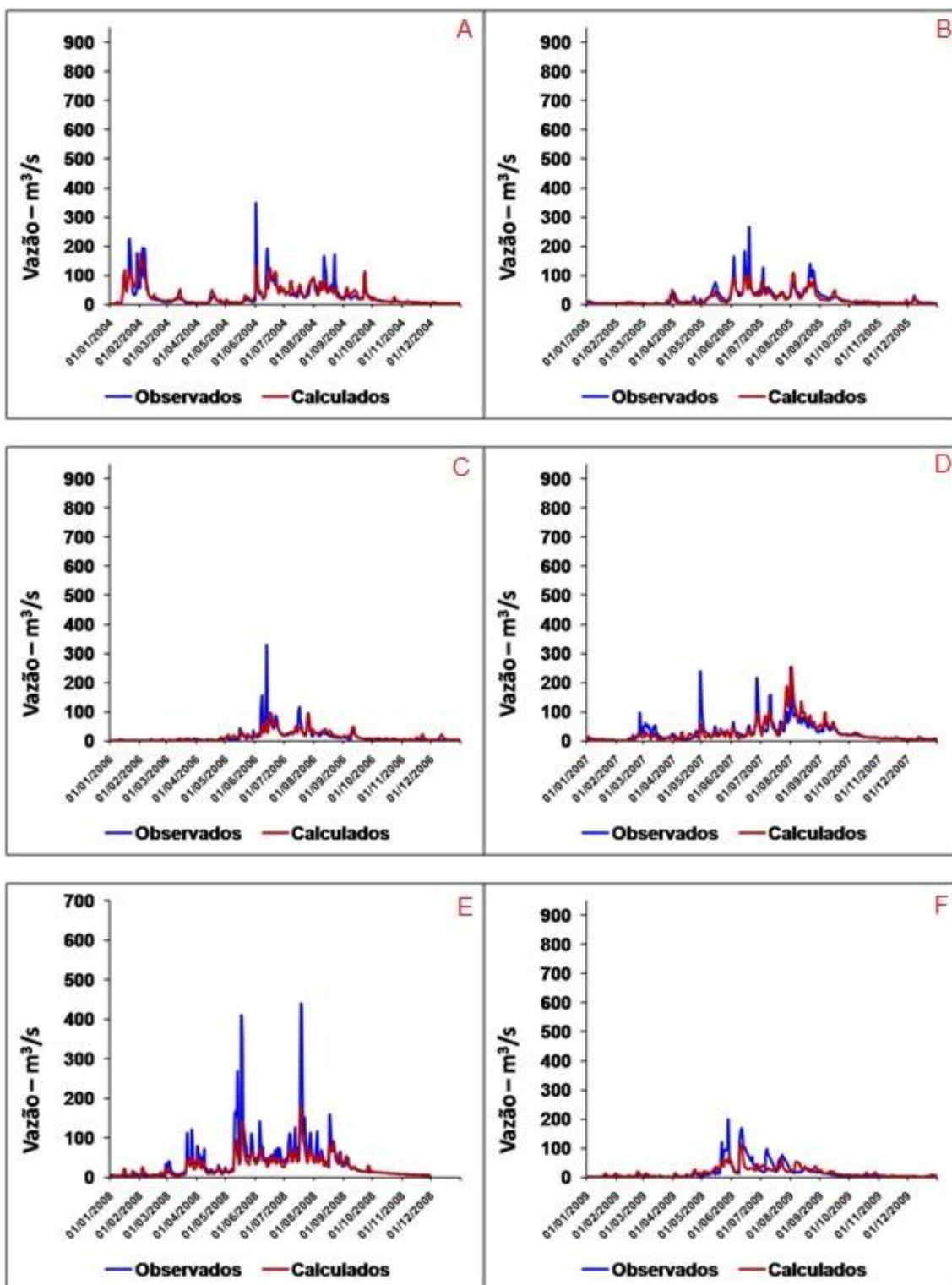


Figura 171. Hidrograma para o posto fluviométrico de Atalaia, no Teste-2, no período:
(G) 2010; (H) 2011; (I) 2012 e (J) 2013.

