

PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA
SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO

PROGRAMA LAGOAS DO NORTE

ACORDO DE EMPRÉSTIMO Nº 7523-BR - BIRD

PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA DE TERESINA

Rev.01
Volume 25 – Tomo 05
Relatório Final

 **CONCREMAT**
E N G E N H A R I A
Julho/2012

PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA
SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO

PROGRAMA LAGOAS DO NORTE

ACORDO DE EMPRÉSTIMO Nº 7523-BR - BIRD

PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA DE TERESINA



Rev.01
Volume 25 – Tomo 05
Relatório Final

 **CONCREMAT**
E N G E N H A R I A
Julho/2012

Ficha Catalográfica

Município de Teresina, Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação, Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina – 2010.

Teresina: Concremat Engenharia, 2010

V.25, T.05/15

Conteúdo: 25 V

Relatório Final - Tomo 05.

1. Planejamento. 2. Plano Diretor de Drenagem Urbana. 3. Teresina.

I. Concremat Engenharia, II. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação, III. Programa Lagoas do Norte

CDU 556:711.4

SUMÁRIO

TOMO 05

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE QUADROS	XVI
7 CARACTERIZAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA	364
7.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	364
7.1.1 <i>Eventos extremos</i>	365
7.1.2 <i>Clima em Teresina</i>	369
7.1.3 <i>Análise de parâmetros meteorológicos</i>	369
7.1.4 <i>Balanco Hídrico</i>	377
7.2 DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO IDF DE CHUVAS PARA TERESINA	381
7.2.1 <i>Metodologia</i>	383
7.2.2 <i>Resultados</i>	389
8 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE DRENAGEM ATUAL	399
8.1 DISCRETIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	399
8.2 ANÁLISE DOS RISCOS A SEREM CONSIDERADOS	401
8.3 ESCOLHA DOS MODELOS DE SIMULAÇÃO	404
8.3.1 <i>Modelo de simulação hidrológica</i>	404
8.3.2 <i>Modelo de simulação hidráulica</i>	411
8.4 HIDROGRAMAS DE PROJETO – CENÁRIO DIAGNÓSTICO	413
8.4.1 <i>Macrobacia da margem direita do rio Poti</i>	416
8.4.2 <i>Macrobacia da margem esquerda do rio Poti</i>	425
8.4.3 <i>Macrobacia do rio Parnaíba</i>	441
8.5 MODELAGEM E DIAGNÓSTICO HIDRÁULICO DO SISTEMA DE DRENAGEM	452

9	CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE INTEGRADA DAS SUB-BACIAS DE DRENAGEM.....	453
9.1	MACROBACIA DA MARGEM DIREITA DO RIO POTI	453
9.1.1	Sub-bacia PD01	453
9.1.2	Sub-bacia PD02	454
9.1.3	Sub-bacia PD03	454
9.1.4	Sub-bacia PD04	456
9.1.5	Sub-bacia PD05	456
9.1.6	Sub-bacia PD06	457
9.1.7	Sub-bacia PD07	459
9.1.8	Sub-bacia PD08	461
9.1.9	Sub-bacia PD09	462
9.1.10	Sub-bacia PD10	463
9.1.11	Sub-bacia PD11	464
9.1.12	Sub-bacia PD12	466
9.1.13	Sub-bacia PD13	470
9.1.14	Sub-bacia PD14	470
9.1.15	Sub-bacia PD15	474
9.1.16	Sub-bacia PD16	475
9.2	MACROBACIA DA MARGEM ESQUERDA DO RIO POTI	475
9.2.1	Sub-bacia PE01.....	475
9.2.2	Sub-bacia PE02.....	476
9.2.3	Sub-bacia PE03.....	476
9.2.4	Sub-bacia PE04.....	477
9.2.5	Sub-bacia PE05.....	478
9.2.6	Sub-bacia PE06.....	478

9.2.7	Sub-bacia PE07.....	479
9.2.8	Sub-bacia PE08.....	479
9.2.9	Sub-bacia PE09.....	480
9.2.10	Sub-bacia PE10.....	483
9.2.11	Sub-bacia PE11.....	483
9.2.12	Sub-bacia PE12.....	484
9.2.13	Sub-bacia PE13.....	484
9.2.14	Sub-bacia PE14.....	485
9.2.15	Sub-bacia PE15.....	487
9.2.16	Sub-bacia PE16.....	487
9.2.17	Sub-bacia PE17.....	488
9.2.18	Sub-bacia PE18.....	489
9.2.19	Sub-bacia PE19.....	490
9.2.20	Sub-bacia PE20.....	491
9.2.21	Sub-bacia PE21.....	491
9.2.22	Sub-bacia PE22.....	492
9.2.23	Sub-bacia PE23.....	492
9.2.24	Sub-bacia PE24.....	493
9.2.25	Sub-bacia PE25.....	493
9.2.26	Sub-bacia PE26.....	494
9.2.27	Sub-bacia PE27.....	495
9.2.28	Sub-bacia PE28.....	495
9.2.29	Sub-bacia PE29.....	496
9.2.30	Sub-bacia PE30.....	496
9.2.31	Sub-bacia PE31.....	497

9.2.32	Sub-bacia PE32.....	497
9.3	MACROBACIA DO RIO PARNAÍBA	498
9.3.1	Sub-bacia P01	498
9.3.2	Sub-bacia P02	500
9.3.3	Sub-bacia P03	501
9.3.4	Sub-bacia P04	501
9.3.5	Sub-bacia P05	502
9.3.6	Sub-bacia P06	502
9.3.7	Sub-bacia P07	503
9.3.8	Sub-bacia P08	503
9.3.9	Sub-bacia P09	504
9.3.10	Sub-bacia P10	504
9.3.11	Sub-bacia P11	505
9.3.12	Sub-bacia P12	506
9.3.13	Sub-bacia P13	507
9.3.14	Sub-bacia P14	508
9.3.15	Sub-bacia P15	508
9.3.16	Sub-bacia P16	509
9.3.17	Sub-bacia P17	510
9.3.18	Sub-bacia P18	511
9.3.19	Sub-bacia P19	511
9.3.20	Sub-bacia P20	511
9.4	SUB-BACIAS LDN E MOC	512
9.5	MODELAGEM DOS RIOS PARNAÍBA E POTI.....	519
9.5.1	O sistema modelado	520

9.5.2	<i>Modelo hidráulico utilizado.....</i>	522
9.5.3	<i>Representação do sistema no modelo hidráulico.....</i>	523
9.5.4	<i>Critérios de modelagem</i>	530
9.5.5	<i>Ajuste do modelo hidráulico dos rios Parnaíba e Poti</i>	533

LISTA DE FIGURAS

TOMO 05

Figura 7.1. Alternância entre períodos secos e úmidos de 1911 a 1988 no estado do Ceará: índice de precipitação LRDI e anos ENSO. Adaptado: FREITAS (2004).	367
Figura 7.2. Alternância entre períodos secos e úmidos de 1933 a 2001 no estado do Piauí: índice de precipitação LRDI e anos ENSO. Adaptado: FREITAS (2004).	368
Figura 7.3. Precipitação média mensal de Teresina, período de 1914 - 2009.....	371
Figura 7.4. Totais precipitados e a média anual de chuvas em Teresina, período 1914 - 2009.	372
Figura 7.5. Temperatura média, máxima média e mínima média mensal de Teresina.	374
Figura 7.6. Tendência da temperatura média anual em Teresina.	375
Figura 7.7. Umidade relativa média mensal e anual em Teresina.	376
Figura 7.8. Representação esquemática dos fluxos do balanço hídrico (Adaptado: PEREIRA et al., 2002).	378
Figura 7.9. Balanço hídrico mensal para o período de 1961 a 1990.	381
Figura 7.10. Chuvas observadas e calculadas pela distribuição de Gumbel no município de Teresina.	390
Figura 7.11. Estimativa do parâmetro c.	391
Figura 7.12. Curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para cidade de Teresina, ajustadas pelo método de Gumbel.	393
Figura 7.13. Curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para cidade de Teresina, calculadas pela equação 11.	393
Figura 7.14 Comparação da curva IDF deste estudo e de Fragoso Jr. (2004), para o tempo de retorno de 5 anos.	394

Figura 7.15. Comparação da curva IDF deste estudo e de Fragoso Jr. (2004), para o tempo de retorno de 100 anos.....	395
Figura 7.16. Série histórica de máximos diários anuais para o posto ANA-CHESF código 00542012, em Teresina.....	396
Figura 7.17. Frequência da chuva máxima diária anual para o posto ANA-CHESF código 00542012, em Teresina, período anterior a 1957.	397
Figura 7.18. Frequência da chuva máxima diária anual para o posto ANA-CHESF código 00542012, em Teresina, período posterior a 1957.....	397
Figura 8.1. Principais macrobacias urbanas de Teresina.	400
Figura 8.2. Hietograma de projeto de Teresina para o tempo de retorno de 2 anos.	408
Figura 8.3. Hietograma de projeto de Teresina para o tempo de retorno de 5 anos.	408
Figura 8.4. Hietograma de projeto de Teresina para o tempo de retorno de 10 anos.	409
Figura 8.5. Hietograma de projeto de Teresina para o tempo de retorno de 25 anos.	409
Figura 8.6. Hietograma de projeto de Teresina para o tempo de retorno de 50 anos.	410
Figura 8.7. Hietograma de projeto de Teresina para o tempo de retorno de 100 anos.	410
Figura 8.8. Relações CN x Área Impermeável para os grupos de solo do SCS (Adaptado: SCS, 1957).....	414
Figura 8.9. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD01.	417
Figura 8.10. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD02.....	417
Figura 8.11. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD03.....	418
Figura 8.12. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD04.....	418
Figura 8.13. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD05.....	419
Figura 8.14. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD06.....	419
Figura 8.15. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD07.....	420
Figura 8.16. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD08.....	420

Figura 8.17. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD09.....	421
Figura 8.18. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD10.....	421
Figura 8.19. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD11.....	422
Figura 8.20. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD12.....	422
Figura 8.21. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD13.....	423
Figura 8.22. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD14.....	423
Figura 8.23. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD15.....	424
Figura 8.24. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD16.....	424
Figura 8.25. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE01.	425
Figura 8.26. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE02.	426
Figura 8.27. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE03.	426
Figura 8.28. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE04.	427
Figura 8.29. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE05.	427
Figura 8.30. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE06.	428
Figura 8.31. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE07.	428
Figura 8.32. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE08.	429
Figura 8.33. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE09.	429
Figura 8.34. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE10.	430
Figura 8.35. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE11.	430
Figura 8.36. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE12.	431
Figura 8.37. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE13.	431
Figura 8.38. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE14.	432
Figura 8.39. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE15.	432
Figura 8.40. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE16.	433

Figura 8.41. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE17.	433
Figura 8.42. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE18.	434
Figura 8.43. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE19.	434
Figura 8.44. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE20.	435
Figura 8.45. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE21.	435
Figura 8.46. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE22.	436
Figura 8.47. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE23.	436
Figura 8.48. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE24.	437
Figura 8.49. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE25.	437
Figura 8.50. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE26.	438
Figura 8.51. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE27.	438
Figura 8.52. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE28.	439
Figura 8.53. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE29.	439
Figura 8.54. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE30.	440
Figura 8.55. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE31.	440
Figura 8.56. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE32.	441
Figura 8.57. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P01.	442
Figura 8.58. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P02.	442
Figura 8.59. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P03.	443
Figura 8.60. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P04.	443
Figura 8.61. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P05.	444
Figura 8.62. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P06.	444
Figura 8.63. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P07.	445
Figura 8.64. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P08.	445

Figura 8.65. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P09.	446
Figura 8.66. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P10.	446
Figura 8.67. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P11.	447
Figura 8.68. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P12.	447
Figura 8.69. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P13.	448
Figura 8.70. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P14.	448
Figura 8.71. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P15.	449
Figura 8.72. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P16.	449
Figura 8.73. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P17.	450
Figura 8.74. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P18.	450
Figura 8.75. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P19.	451
Figura 8.76. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P20.	451
Figura 9.1. Alagamento na Curva São Paulo.	454
Figura 9.2. Casa em construção dentro de área alagadiça do bairro Recanto dos Pássaros.	455
Figura 9.3. Rua Desembargador Sá Barreto, no Bairro Extrema, inundada pela invasão de águas do rio Poti.	457
Figura 9.4. Região pertencente a sub-bacia PD06 próxima a Av. Deputado Paulo Ferraz (BR-343).	458
Figura 9.5. Alagamento de galpões de atacadista às margens da Av. Deputado Paulo Ferraz.	459
Figura 9.6. Formação de lagoas ao lado da Av. Deputado Paulo Ferraz. (Foto: Erasmo Júnior)	459
Figura 9.7. Vista para a Rua Apolo XI a partir da Rua Rotary Club (Foto: Edgar Felipe).	461
Figura 9.8. Alagamento no Bairro São João: Av. Dr. Wladimir Monteiro.	464

Figura 9.9. Estabelecimentos comerciais atingidos por alagamento no bairro São João.....	465
Figura 9.10. Vista das regiões naturalmente alagadas (Fonte: Google Earth).....	466
Figura 9.11. Av. Cajuína inundada pelo rio Poti.	467
Figura 9.12. Alagamento Av. Pres. Kennedy (Foto: Hérlon Moraes).	468
Figura 9.13. Traçado do projeto básico existente para o sistema de galerias na sub-bacia PD12: ramais e galerias a serem implantados (Fonte: PMT/SEMPPLAN).....	469
Figura 9.14. Alagamento na rotatória da Av. Raul Lopes com a Av. Jóquei Clube.	471
Figura 9.15. Alagamento na Av. Raul Lopes.	471
Figura 9.16. Alagamento nas margens do rio Poti, ao lado da Av. Raul Lopes.	472
Figura 9.17. R. Ipê inundada pelas águas do rio Poti, Bairro Fátima (Fonte: Portal 180 graus).	472
Figura 9.18. Alagamento na Av. Raul Lopes em frente ao Shopping Riverside.	473
Figura 9.19. Alagamento na Av. Ininga, que passa atrás do Shopping Riverside, distante cerca de 300 metros da margem do rio Poti.	474
Figura 9.20. Visão parcial do Nova Alegria em construção: junho/2009 (Fonte: www.pi.gov.br/materia.php?id=35618).	478
Figura 9.21. Cheias de 2009 no Rio Poti: vista da Ponte da BR-343 (Fonte: Google Earth Panoramio – Erasmo Júnior).	481
Figura 9.22. Cheia do Rio Poti, Av. Celso Pinheiro (Fonte: Google Earth Panoramio – Erasmo Júnior).....	481
Figura 9.23. Inundação na Av. Celso Pinheiro (Fonte: Google Earth Panoramio – Erasmo Júnior).....	482
Figura 9.24. Inundação na Av. Celso Pinheiro. (Fonte: Portal 180 Graus).	482
Figura 9.25. Cheia do rio Poti (Fonte: Google Earth Panoramio - Adalto Araújo).	485

Figura 9.26. Avenida Marechal Castelo Branco inundada pelas águas do rio Poti. (Fonte: extraída de vídeo do CidadeVerde.com).....	486
Figura 9.27. Av. Castelo Branco inundada.....	488
Figura 9.28. Avenida Marechal Castelo Branco represou águas nas adjacências da Ponte da Primavera, ano 2009 (Fonte: extraída de vídeo do CidadeVerde.com).....	490
Figura 9.29. Cheia no rio Parnaíba (Foto: Erasmo Júnior).....	499
Figura 9.30. Rua Estômato próximo a esquina com Av. Goytacaz, na Vila Irmã Dulce: pavimento destruído pelas chuvas.	500
Figura 9.31. Acúmulo de águas pluviais e consequente engarrafamento do tráfego, promovido pela falta de dispositivos de drenagem pluvial no Balão da Av. Miguel Rosa. ...	505
Figura 9.32. Av. Maranhão submersa pelas águas do rio Parnaíba no ano de 1985.	507
Figura 9.33. Cheia do rio Parnaíba vista da Av. Maranhão, ao lado do Iate Clube de Teresina. Em épocas de vazante, a diferença de cotas entre a avenida e o rio pode alcançar 4 metros.	509
Figura 9.34. Visão parcial da área de pasto da sub-bacia P16.	510
Figura 9.35. Detalhes do controle de cheias nas lagoas do Norte de Teresina (Fonte: Geni Moura, 2005).....	515
Figura 9.36. Habitações em áreas de risco.....	516
Figura 9.37. Enchentes nas lagoas do Norte (Fonte: UPJ Nordeste, 2004).	518
Figura 9.38. Situação sanitária nas lagoas do Norte (Fonte: Geni Moura, 2005).	519
Figura 9.39. Representação esquemática do sistema modelado na área urbana de Teresina.	521
Figura 9.40. Representação do sistema dos rios Parnaíba e Poti na área urbana da cidade de Teresina no programa HEC-RAS.	524
Figura 9.41. Representação do sistema e seções transversais no modelo hidráulico dos rios Parnaíba e Poti na área urbana da cidade de Teresina no programa HEC-RAS.....	526

Figura 9.42. Exemplo de seção transversal composta, onde na cor verde é apresentada a seção da calha e na cor marrom e azul as planícies de inundação.....	529
Figura 9.43. Seção transversal do rio Parnaíba s2 (progressiva 21963), localizada a 20 km da confluência com o rio Poti, com identificação das margens da calha e coeficiente de rugosidade (η).	532
Figura 9.44. Seção transversal do rio Parnaíba, localizada a 20 km da confluência com o rio Poti, no programa HEC-RAS, com identificação das margens da calha e coeficiente de rugosidade (η).	532
Figura 9.45. Série histórica de vazões no posto fluviométrico Teresina, no rio Parnaíba.....	534
Figura 9.46. Série histórica de vazões no posto fluviométrico Fazenda Cantinho, no rio Poti.	534
Figura 9.47. Série histórica de níveis no posto fluviométrico Teresina, no rio Parnaíba.....	535
Figura 9.48. Série histórica de vazões no posto fluviométrico Teresina, no período de calibração.	536
Figura 9.49. Série histórica de vazões no posto fluviométrico Fazenda Cantinho, no período de calibração.	536
Figura 9.50. Série histórica de níveis no posto fluviométrico Teresina, no período de calibração.	537
Figura 9.51. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no período de calibração completo.	538
Figura 9.52. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no ano de 1981 – período de calibração.	538
Figura 9.53. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no ano de 1985 – período de calibração.	539

Figura 9.54. Mancha de inundação no rio Parnaíba no dia 19/04/1985, data de uma das maiores cheias acontecidas na região. Os pontos vermelhos indicam os limites da calha do rio, enquanto que os pontos na cor rosa indicam o traçado da Av. Boa Esperança.	540
Figura 9.55. Mancha de inundação no rio Poti no dia 19/04/1985, data de uma das maiores cheias acontecidas na região. Os pontos vermelhos indicam os limites da calha do rio.	541
Figura 9.56. Perfil longitudinal do rio Parnaíba e níveis máximos d'água durante o evento de 1985.....	542
Figura 9.57. Perfil longitudinal do rio Poti e níveis máximos d'água durante o evento de 1985.	543
Figura 9.58. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no período de verificação completo.	545
Figura 9.59. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no ano de 1997 – período de verificação.	545
Figura 9.60. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no ano de 2004 – período de verificação.	546
Figura 9.61. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no ano de 2008 – período de verificação.	546
Figura 9.62. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no ano de 2009 – período de verificação.	547
Figura 9.63. Mancha de inundação no rio Parnaíba no dia 06/04/2008, data de uma cheia acontecidas na região. Os pontos vermelhos indicam os limites da calha do rio, enquanto que os pontos na cor rosa indicam o traçado da Av. Boa Esperança.	548

Figura 9.64. Mancha de inundação no rio Poti no dia 06/04/2008, data de uma cheia acontecida na região. Os pontos vermelhos indicam os limites da calha do rio. 549

Figura 9.65. Pontos críticos identificados Defesa Civil durante o evento crítico de 2008 (Imagem esquemática)..... 550

LISTA DE QUADROS

TOMO 05

Quadro 7.1. Estações meteorológicas na cidade de Teresina.	370
Quadro 7.2. Resumo das ocorrências de precipitações médias, máximas e mínimas em Teresina.	372
Quadro 7.3. Resultados do balanço hídrico para Teresina.	380
Quadro 7.4. Postos pluviométricos da cidade de Teresina (ANA, 2010).	384
Quadro 7.5. Coeficientes para desagregação de chuvas: relações entre durações para Teresina (Fonte: PMT, 2005).	384
Quadro 7.6. Chuvas mínimas para cada duração segundo diversos autores.	385
Quadro 7.7. Intensidades das chuvas máximas (mm/h), segundo tempos de retorno e durações, calculadas pelo método de Gumbel para cidade de Teresina: período de 1914 a 2009.	390
Quadro 7.8. Intensidades das chuvas máximas (mm/h), segundo tempos de retorno e durações, calculadas pela equação IDF (eq. 11), obtida com dados de pluviômetro do período de 1914 a 2009.	392
Quadro 8.1. Valores do parâmetro tempo de concentração por sub-bacia de drenagem. ..	405
Quadro 8.2. Valores médios do parâmetro CN por sub-bacia de drenagem.	415
Quadro 9.1. Precipitação anual, dias com chuva e famílias desabrigadas em Teresina, referente ao período de 1995 a 2004.	517
Quadro 9.2 Identificação das seções transversais do levantamento topográfico no rio Parnaíba.	527
Quadro 9.3 Identificação das seções transversais do levantamento topográfico no rio Poti.	528

7 CARACTERIZAÇÃO HIDROMETEOROLÓGICA

A caracterização hidrometeorológica no contexto deste estudo tem como objetivos identificar o regime característico de precipitações em Teresina e estabelecer uma relação IDF para utilização na geração da chuva de projeto a ser empregada no âmbito do presente Plano Diretor de Drenagem, bem como em estudos subsequentes relacionados à drenagem urbana.

Desta forma, o primeiro item aborda a caracterização climática da área urbana de Teresina através da análise do comportamento das principais variáveis meteorológicas, bem como a realização do balanço hídrico para a área em estudo.

Na sequência, é apresentada a metodologia e os resultados obtidos no estabelecimento da relação IDF das chuvas intensas para Teresina.

7.1 Caracterização Climática

O Nordeste brasileiro é uma região com característica semi-árida cuja temperatura média anual varia entre 20 e 28°C, além de apresentar grande variabilidade temporal e espacial da precipitação anual e alta taxa de evaporação. Áreas da costa leste do nordeste recebem um total anual de chuvas superior a 1600 mm, enquanto que para algumas áreas do interior da região a precipitação anual total não ultrapassa 400 mm. A distribuição irregular das chuvas em consequência dessa variabilidade torna extensas áreas da região Nordeste vulnerável tanto aos efeitos de cheias quanto aos de fortes estiagens.

Particularmente no estado do Piauí a variabilidade interanual das chuvas é influenciada principalmente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e pelos Vórtices Ciclônicos de Ar Superior (NURY *et al.*, 1997) que, de acordo com a posição do centro desse sistema, também exercem grande influência na quantidade das chuvas, além dos efeitos locais como a orografia e a cobertura vegetal. Além destes fatores existem diversos

elementos climáticos que tendem a prolongar os períodos de seca (ausência de chuvas) sobre o estado, principalmente durante os anos de ocorrência do fenômeno *El Niño*.

7.1.1 Eventos extremos

7.1.1.1 Seca

O conceito climático da *seca* a caracteriza como um fenômeno que se instala em uma determina região inibindo a ocorrência natural da precipitação com período de persistência prolongado de anomalia climática de modo a causar problemas na agricultura, na pecuária e/ou no abastecimento de água no meio urbano e interior. Esse fenômeno, quando se instala, tem reflexo direto sobre a redução do nível de água em rios e reservatórios superficiais e subterrâneos. Neste caso, o fenômeno é chamado de *seca hidrológica*.

Em bacias hidrográficas, a *seca* é um fenômeno característico de situações em que a chuva dentro do período considerado úmido ocorre fora do tempo ou quando a distribuição irregular da precipitação prejudica o crescimento ou desenvolvimento das plantações agrícolas. Quando o total anual de chuvas é inferior ao mínimo necessário para as atividades agrícolas, tem-se a *seca absoluta*.

7.1.1.2 Cheia

A *cheia* ou enchente é um fenômeno natural dos regimes dos rios, originada de uma vazão relativamente grande do escoamento superficial. Aumentos significativos do escoamento superficial poderão acontecer e provocar inundações, caso haja obstrução do canal natural do rio em decorrência do excesso de chuvas durante um curto período de tempo.

Estudos sobre a natureza, distribuição e organização da precipitação no semi-árido do Nordeste (CORREIA, 1989; ARAÚJO, 1994; SILVA ARAGÃO *et al.*, 2000), mostram que os grandes eventos de chuva estão relacionados com sistemas meteorológicos de grande escala acoplados aos de mesoescala com reflexo direto sobre a microescala no meio urbano e pequenas zonas agrícolas.

As cheias na bacia do rio Parnaíba e seus principais afluentes como o Poti, entre outros, são normalmente causadas por superelevação dos seus níveis e o alagamento das várzeas. Outro tipo de cheia, bem comum nesta região da bacia, está associado à urbanização nas sub-bacias, gerando o fenômeno conhecido por cheias urbanas. Nestes casos, as inundações surgem logo após a ocorrência de chuvas intensas, de natureza convectiva, geralmente de curta duração.

7.1.1.3 *El Niño*

O *El Niño* é um dos principais sistemas meteorológicos de grande escala responsável pela maior parte das ocorrências de chuvas e secas sobre as regiões da bacia hidrográfica em estudo, o qual é uma das funções forçantes que desencadeia uma situação ou outra. Em geral, o *El Niño* atua a partir do mês de dezembro e, dependendo de seu grau de intensidade, pode estender-se até o mês de junho, como ocorreu entre 2009 e 2010, com reflexos sobre o nordeste do Brasil, segundo Melo *et al.* (2010). O intervalo de atuação do *El Niño* nos meses de janeiro a dezembro de 2010 coincide com o período chuvoso do estado do Piauí e em particular na cidade de Teresina. Nesse sentido, em abril de 2010 foi registrado na estação meteorológica do INMET de Teresina um total pluviométrico de 267,9 mm, que provocou enchente na capital, cujo valor foi 11,3% mais elevado do que a Normal Climatológica esperada para região, que é de 240,8 mm.

O fenômeno *El Niño* representa alterações significativas de curta duração (12 a 18 meses) na distribuição da temperatura da superfície da água do Oceano Pacífico, com profundos efeitos no clima global. Estes eventos modificam um sistema de flutuação das temperaturas do Oceano Pacífico chamado Oscilação Sul e, por essa razão, são referidos muitas vezes como ENSO (Oscilação Sul-*El Niño*). Seu papel no aquecimento e resfriamento global é uma área de intensa pesquisa, ainda sem um consenso definido.

O principal fenômeno que regula o clima do nordeste é a oscilação da Zona de Convergência Intertropical ZCIT, entretanto o fenômeno *El Niño* vem ganhando destaque na explicação de longos períodos de seca e cheias da região. Dentre outros aspectos, diversos autores relataram a possível conexão entre o fenômeno do *El Niño* e da Oscilação Sul

(*Southern Oscillation*) e o comportamento pluviométrico no Nordeste do Brasil. Ropelewski e Halpert (1987), dentre outros autores, abordaram tal relação.

Na Figura 7.1 e Figura 7.2, são apresentadas, respectivamente para os estados do Ceará e do Piauí, as alternâncias entre períodos úmidos e secos e os anos ENSO – *El Niño/Southern Oscillation*, conforme Rasmusson e Carpenter (1983). O índice de precipitação utilizado foi o LRDI (*Lamb Rainfall Departure Index*), que expressa em termos regionais o desvio da precipitação em relação à média, em termos de desvio padrão (LAMB *et al.*, 1986).

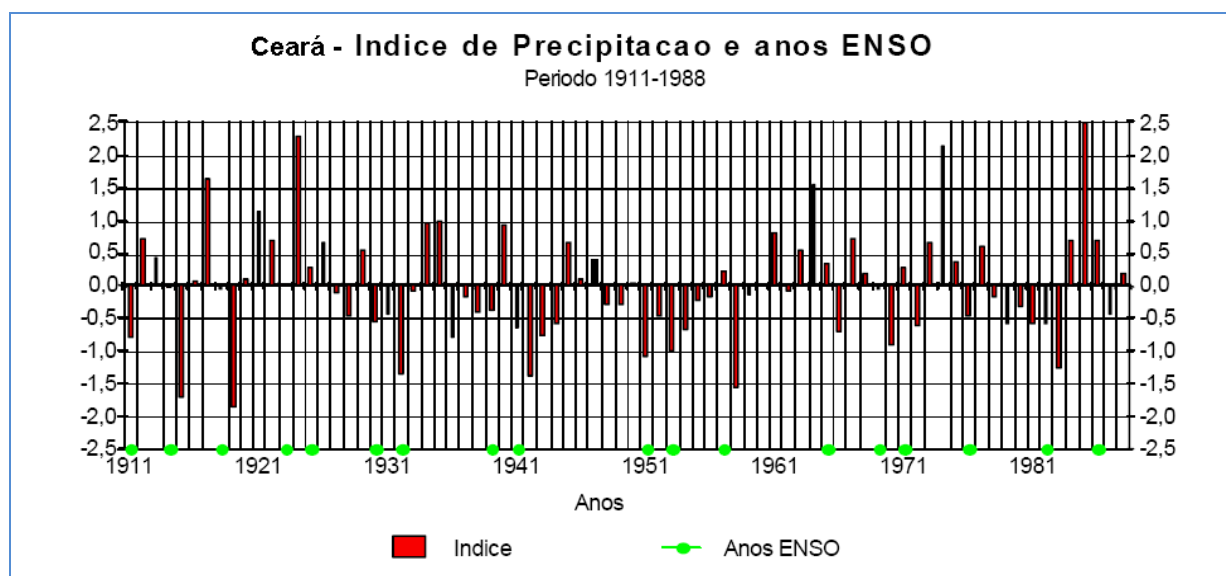


Figura 7.1. Alternância entre períodos secos e úmidos de 1911 a 1988 no estado do Ceará: índice de precipitação LRDI e anos ENSO. Adaptado: FREITAS (2004).

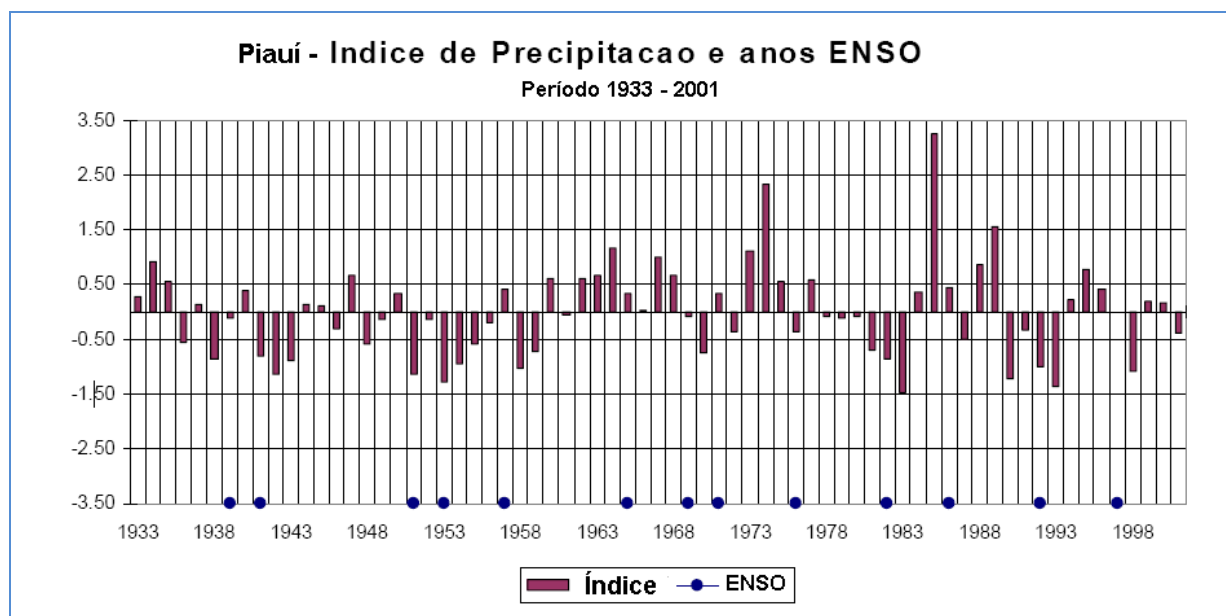


Figura 7.2. Alternância entre períodos secos e úmidos de 1933 a 2001 no estado do Piauí: índice de precipitação LRDÍ e anos ENSO. Adaptado: FREITAS (2004).

Observa-se na Figura 7.1 que, no estado do Ceará de um modo geral, ocorrem anos de secas após anos de ocorrência do fenômeno do *El Niño*. Isto aconteceu nos anos 1914, 1918, 1930, 1941, 1951, 1953, 1957, 1965, 1969, 1971, 1982, 1986, 1992 e 1997. O ano seguinte a um ano de *El Niño*, entretanto, nem sempre é um ano seco, como se pode ver em 1912, 1924 e 1926. Há também anos secos que não seguiram anos de *El Niño*, como por exemplo, 1936 e 1979.

No estado do Piauí, a Figura 7.2 mostra que ocorrem anos de secas após anos de ocorrência do fenômeno do *El Niño*. Isto aconteceu nos anos 1938, 1940, 1951, 1953, 1957, 1965, 1969, 1975, 1982, 1986, 1992 e 1997. O fenômeno da alternância de ano seco se repete também no estado do Piauí, isto é, o ano seguinte a um ano de *El Niño*, nem sempre é um ano seco, como se pode ver em 1964, 1968 e 1985. Há também anos secos que não seguiram anos de *El Niño*, como por exemplo, 1984 e 1999.

7.1.2 Clima em Teresina

A localização geográfica da cidade de Teresina lhe confere aspectos peculiares em relação à umidade relativa do ar, ao sistema de chuvas, à ausência de ventos e às altas temperaturas durante o ano todo. O conjunto destas condições traz certo desconforto térmico para a população, conferindo-lhe uma conotação historicamente popularizada como “cidade quente”.

O clima da cidade ainda é objeto de poucos estudos, no sentido de buscar caracterização e explicação dos mecanismos atmosféricos e de suas relações com os fatores locais de interferência no seu arranjo, ficando apenas nas descrições relativas às médias dos dados meteorológicos.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da cidade de Teresina pertence ao tipo Tropical-Equatorial com chuvas de verão e outono (Aw'). Dessa forma, a condição climática da região não apresenta as características típicas das estações do ano da região sudeste do Brasil, portanto o mês mais frio é dotado de temperaturas acima de 18 °C.

7.1.3 Análise de parâmetros meteorológicos

A seguir é analisado o comportamento dos parâmetros meteorológicos de Teresina com base na série de dados meteorológicos de 1914 a 2002.

7.1.3.1 Precipitação

A precipitação é um fenômeno meteorológico resultante da presença de energia na atmosfera que induz o movimento vertical do vapor d'água, o qual se condensa sobre os núcleos de condensação formando a nebulosidade apropriada que resulta na ocorrência de chuvas sobre a superfície terrestre.

O fenômeno da precipitação é o elemento alimentador da fase terrestre do ciclo hidrológico que se constitui em fator importante para os processos de escoamento superficial direto, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos e a vazão básica dos rios.

Para analisar a precipitação de Teresina verificou-se a existência de duas estações meteorológicas apresentadas na Quadro 7.1. Os dados de precipitação da estação do INMET apresentaram muitas falhas, apesar de possuir um período de 88 anos de dados. O posto da CHESF apresentou dados de precipitação mais representativos, com um número mínimo de falhas, além de possuírem uma série histórica com o dobro da extensão da série do INMET. Da estação meteorológica do INMET foram utilizadas apenas as informações de temperatura.

Quadro 7.1. Estações meteorológicas na cidade de Teresina.

ESTAÇÃO	CÓDIGO	PERÍODO	TIPO	ANOS
INMET parâmetros climáticos	82578	1914 a 2002	diário	88
ANA-CHESF (precipitação)	00542012	1914 a 2009	diário	95

* Latitude: 5.08° S; Longitude: 42.817° W.

A análise dos dados de precipitação é apresentada nas figuras a seguir. A Figura 7.3 mostra a média mensal da precipitação em Teresina, onde é possível observar que os meses mais chuvosos são março, com uma média de 321 mm, e abril, com altura média precipitada de 247 mm. O mês mais seco é julho, cujo total médio é 8 mm. A média anual da precipitação acumulada é de 1332 mm, apesar disso, sua distribuição é bastante irregular. O valor médio anual (reta vermelha) é apresentado como uma referência para mostrar o período úmido (janeiro, fevereiro, março e abril) e o período seco (de maio a dezembro). Portanto, o regime pluviométrico da região concentra 75,6% da chuva nos primeiros quatro meses do ano e 24,4% restantes nos oito meses subsequentes, o que caracteriza uma distribuição anual de chuvas bastante irregular.

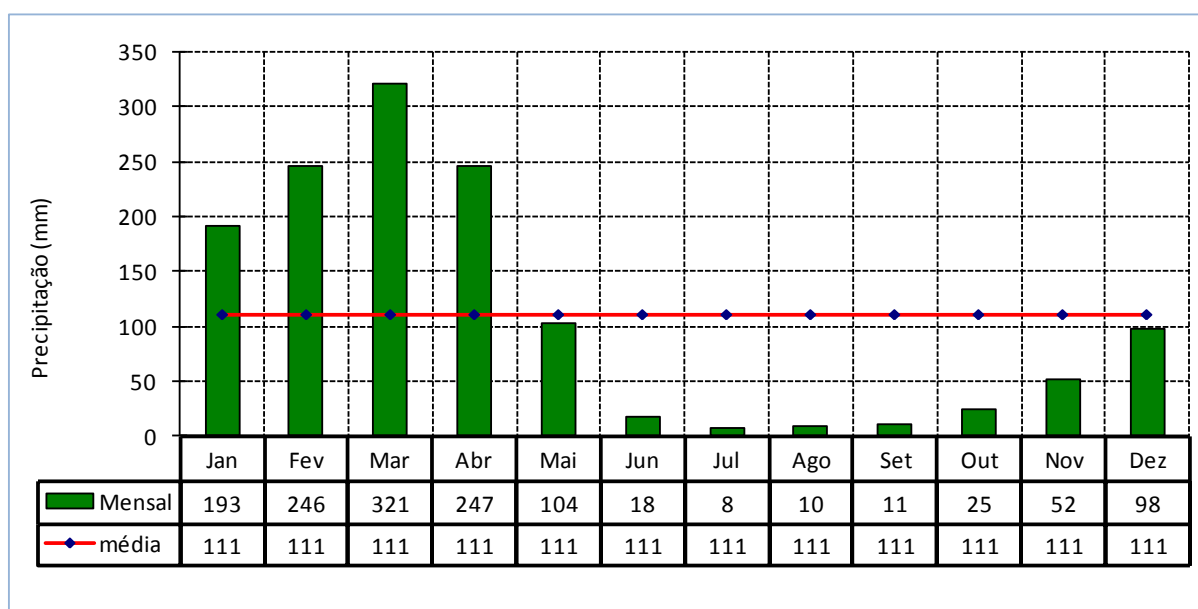


Figura 7.3. Precipitação média mensal de Teresina, período de 1914 - 2009.

A Figura 7.4 apresenta o comportamento da precipitação média anual em termos de tendência, de 1914 a 2009. O objetivo desse gráfico foi mostrar que ao longo de uma série quase secular se a chuva está tendendo a elevar ou decrescer ao longo dos anos ou se está estacionária. Conforme pode-se observar a tendência é de comportamento estacionário sem qualquer indicador de redução ou elevação das chuvas ao longo dos anos.

Merecem destaque no gráfico da Figura 7.4 os totais de chuva ocorridos em 1947 e 1950, com registros de 3913 mm e 4013 mm, respectivamente. Esses totais representam cerca de três vezes a média atual, considerando toda a série. Com relação aos totais mensais, no mês de março de 1947 e de 1950 a precipitação atingiu 1394 e 1370 mm, respectivamente, valores acima da média anual de 1332 mm, ou seja, em apenas um mês choveu mais que o esperado em média para a precipitação de um ano inteiro.

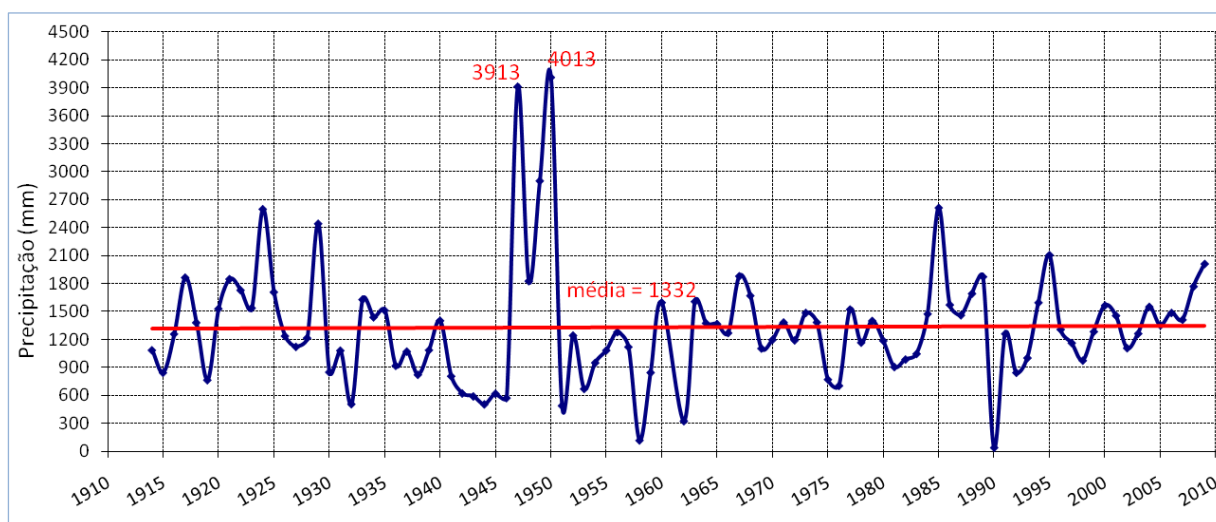


Figura 7.4. Totais precipitados e a média anual de chuvas em Teresina, período 1914 - 2009.

Com base nos resultados da análise da precipitação realizada pela SEMAR-PI (2009) da série de 1914 a 2009, apresenta-se a seguir algumas observações sobre as ocorrências de precipitações máximas em Teresina, cujos eventos são sumarizados no Quadro 7.2. Pode-se observar no Quadro 7.2 os valores de precipitação média, máxima e mínima. Percebe-se que além dos totais máximos registrados no mês de março de 1947 e 1950 comentados anteriormente, ainda em 1950 choveu 936 mm no mês de fevereiro e em abril de 1950 choveu 811 mm, caracterizando estes dois anos como aqueles em que ocorreram os maiores totais pluviométricos sobre Teresina ao longo dos 95 anos de dados de precipitação.

Quadro 7.2. Resumo das ocorrências de precipitações médias, máximas e mínimas em Teresina.

MÊS	P MÉDIA (mm)	P MÁXIMA (mm)	ANO OCORRÊNCIA	P MÍNIMA (mm)	ANO OCORRÊNCIA
Janeiro	193	505	1985	0,0	1945
Fevereiro	246	936	1950	13,2	1958
Março	321	1394	1947	16,4	1958
Abril	247	811	1950	15,0	*
Mai	104	337	1995	0,0	*
Junho	18	98	1985	0,0	*

MÊS	P MÉDIA (mm)	P MÁXIMA (mm)	ANO OCORRÊNCIA	P MÍNIMA (mm)	ANO OCORRÊNCIA
Julho	8	72	1973	0,0	*
Agosto	10	258	1949	0,0	*
Setembro	11	98	1948	0,0	*
Outubro	25	295	1950	0,0	*
Novembro	52	251	1947	0,0	*
Dezembro	98	420	1947	0,0	1926, 1946, 1950, 1990

*Ocorrência em vários anos.

A ocorrência das precipitações totais de 1394 mm, em 1947, e 1370 mm, em 1950, coincidiu com as ocorrências do fenômeno *El Niño* em ambas as épocas, de acordo com o gráfico da Figura 7.2 anteriormente apresentada, referente ao levantamento dos efeitos deste fenômeno sobre o clima no estado do Piauí. Vale lembrar que o período chuvoso do estado do Piauí abrange os meses de janeiro a maio (Figura 7.3) o qual coincide com o mesmo período do ano quando da ocorrência do fenômeno *El Niño*.

Na Figura 7.2, embora sejam observados registros de vários eventos do fenômeno *El Niño*, não se verificou na Figura 7.4 a ocorrência de totais pluviométricos da mesma magnitude dos detectados em 1947 e 1950 nos demais anos que coincidiram com os eventos de *El Niño*. Esses eventos de chuvas intensas ocorreram na metade do século 20, o que não impede de se repetir no decorrer do século 21. Percebe-se no Quadro 7.2 que no passado, principalmente nas décadas de 40 e 50, as chuvas foram mais intensas, e mais recentemente nos anos de 1985 e 1995, respectivamente, nos meses de janeiro e maio, os totais pluviométricos mensais, apesar de terem sido elevados, foram de magnitudes inferiores aos 1947 e 1950, conforme assinalados no Quadro 7.2.

7.1.3.2 Temperatura

A temperatura média mensal sofre pouca oscilação ao longo do ano em Teresina, conforme se constata em toda a região nordeste. Esse fato é marcante devido à localização do estado do Piauí, próximo da linha do equador. Com essa localização, a incidência da radiação solar é quase perpendicular sobre Teresina, o que intensifica a convecção difundindo o calor sobre toda área urbana ao longo do ano.

Para analisar a temperatura foram utilizados dados da estação meteorológica do INMET (código 82578), nas coordenadas de 5,08° S; 42,817° W. Os resultados da análise são apresentados na Figura 7.5, em termos de médias mensais, e na Figura 7.6, como tendência da temperatura média anual.

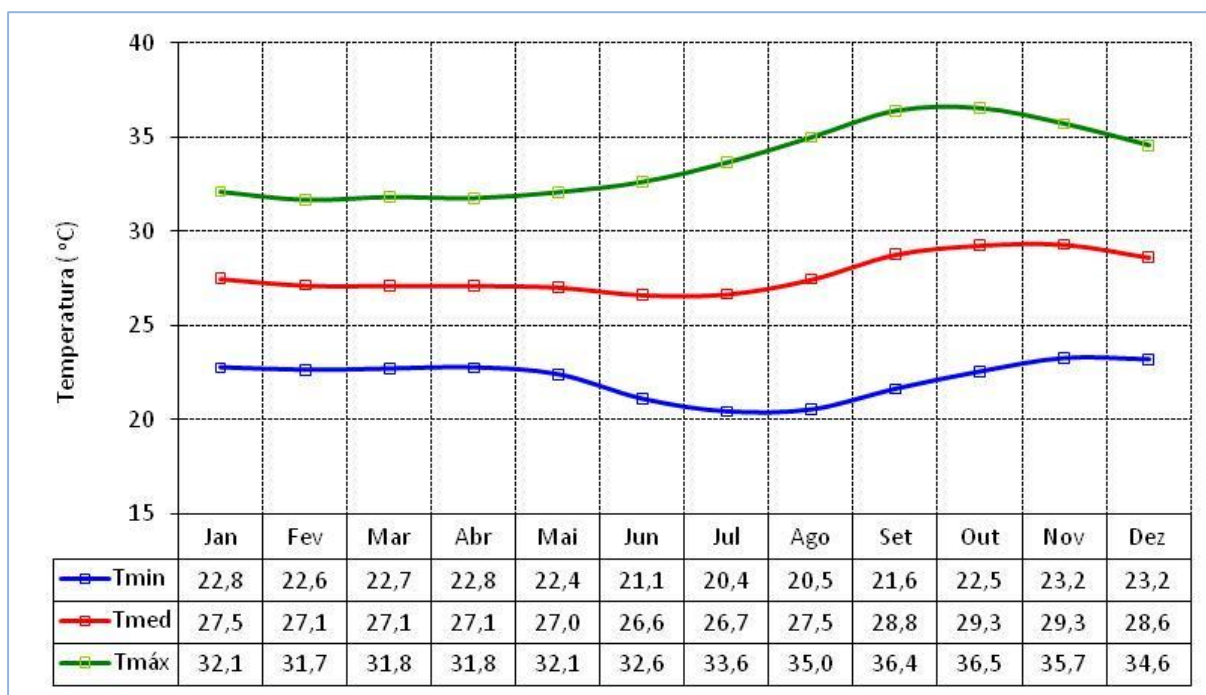


Figura 7.5. Temperatura média, máxima média e mínima média mensal de Teresina.

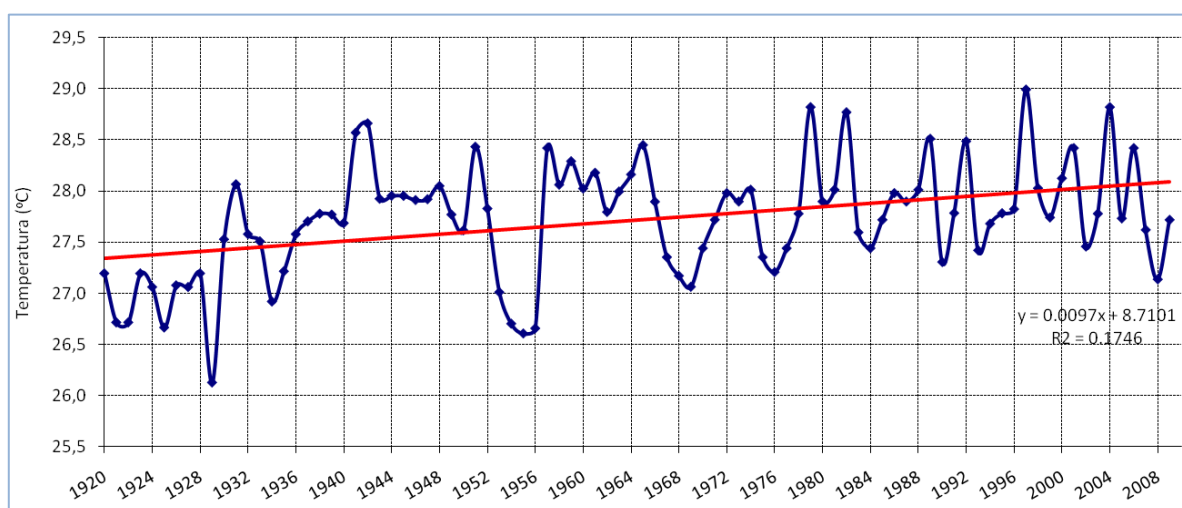


Figura 7.6. Tendência da temperatura média anual em Teresina.

De acordo com a Figura 7.5 a temperatura média dos meses mais quentes é de 29,3 °C, relativa a outubro e novembro. A mais alta média das máximas, de 36,5 °C, ocorre em outubro. O mês de julho é o menos quente com uma mínima de 20,4 °C. A temperatura média anual é de 27,7 °C. Diante disso, e contemplando as curvas de temperatura, pode-se afirmar que as amplitudes térmicas são relativamente altas no intervalo entre o dia e a noite e pouco significante durante o dia.

Observa-se no gráfico que os meses de agosto a dezembro registram temperaturas mais elevadas do que os demais. Paradoxalmente nessa época a atmosfera da região é praticamente seca, caracterizando Teresina como uma cidade de grande desconforto térmico, principalmente durante o dia.

Para constatar a evolução desse quadro de aquecimento urbano na região, analisou-se a marcha da evolução da temperatura média da cidade considerando o período de 1914 a 2002. Verificou-se que em 1914 a temperatura média foi de 26,2 °C. Atualmente, acusa valores da ordem de 28,1 °C, um aumento de quase 2 °C, reflexo da descaracterização de ocupação e uso do solo na evolução da urbanização de Teresina. O gráfico mostra que a marcha anual de aquecimento é da ordem de 0,0097 °C, com uma tendência positiva.

7.1.3.3 Umidade relativa

A umidade relativa representa o teor de vapor d'água disponível no ar em relação a porcentagem necessária para atmosfera se tornar saturada. A região tem um grande déficit de vapor d'água, sendo que nos quatro primeiros meses do ano há um excedente de vapor na atmosfera e uma grande secura nos demais meses, conforme comprovado mais adiante na realização do balanço hídrico.

Para analisar a umidade relativa não foi possível obter séries longas de dados, como ocorreu com a temperatura e a precipitação. Portanto, recorreu-se a Normal Climatológica Média de 30 anos do INMET, referente ao período de 1961 a 1990, a qual é apresentada na Figura 7.7.

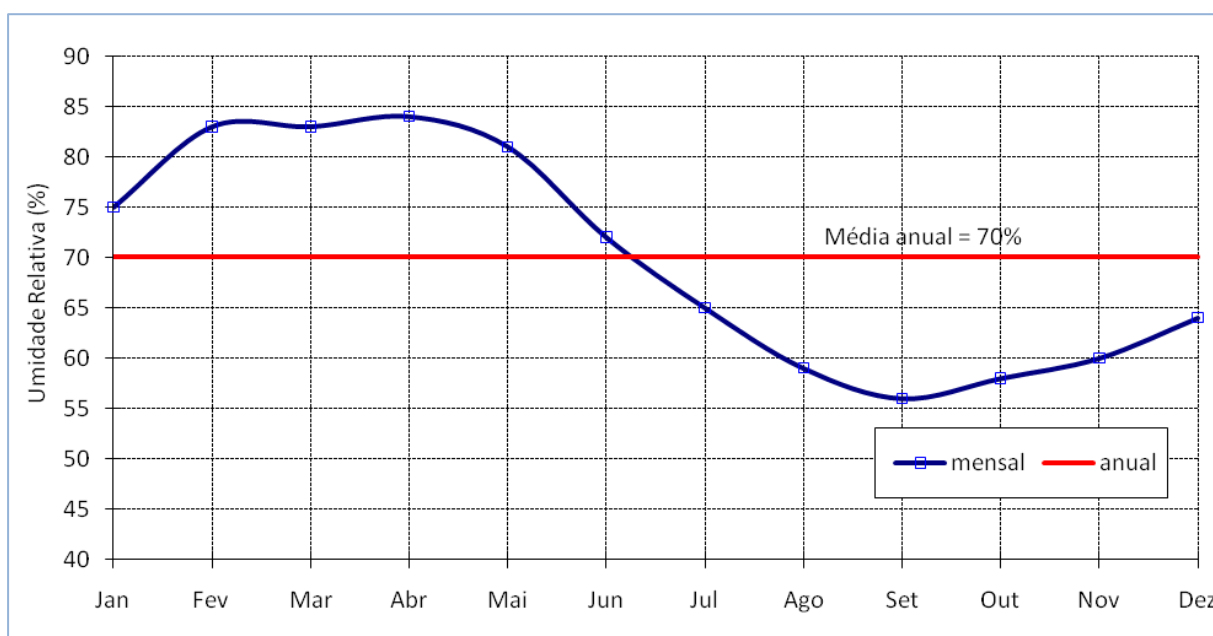


Figura 7.7. Umidade relativa média mensal e anual em Teresina.

Observa-se o marcante comportamento da umidade relativa caracterizando o primeiro semestre como relativamente úmido, sendo a média mais elevada em abril com 84%, e o segundo semestre com uma redução drástica de umidade, com o menor valor de

56% incidindo no mês de setembro. Essa alternância da umidade com um semestre muito úmido e outro menos úmido está diretamente vinculado a oscilação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que intensifica a convecção do calor e regula o balanço de umidade sobre o estado do Piauí. A baixa taxa de umidade relativa no segundo semestre é também um indicador da evaporação elevada do vapor d'água que domina sobre a região urbana de Teresina.

7.1.4 Balanço Hídrico

O ciclo hidrológico representa a circulação da água na hidrosfera e ocorre de forma global e ininterruptamente na Terra. Esse fenômeno é de grande aplicação nos projetos de engenharia de recursos hídricos para avaliação do ciclo na unidade hidrológica básica, representada pela bacia hidrográfica. De acordo com SILVA (1986) a importância do balanço hídrico consiste em explicar os vários componentes de um ciclo hidrológico e fornecer a visão de técnicas de resolução de problemas em regiões hidrológicas complexas, como o meio urbano. Teoricamente, um balanço hídrico é um instrumento extremamente útil, o qual pode ser usado de diversos modos para estimar a magnitude e a distribuição no tempo das variáveis hidrológicas.

Do ponto de vista prático o balanço de volumes de água em circulação na atmosfera é conhecido como o *balanço hídrico* para um dado intervalo de tempo, o qual é representado por uma equação que relaciona as entradas e saídas do volume de água de uma bacia hidrográfica.

O conceito de balanço hídrico leva em consideração o aporte de água no solo (precipitação), o depósito no solo (capacidade de armazenamento) e a perda de água para a atmosfera (evapotranspiração). A evapotranspiração consiste na soma da perda de água do solo para a atmosfera através da superfície do solo (evaporação) e da superfície das plantas (transpiração). O conceito de evapotranspiração potencial (ETP) refere-se à evapotranspiração de uma vegetação de porte baixo, verde, cobrindo totalmente o solo e com toda a sua necessidade de água suprida por ele. Já a evapotranspiração real (ETR), que

realmente ocorre na área considerada, depende da disponibilidade de água no solo e o principal parâmetro é a precipitação,

Entende-se por *precipitação* a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre em qualquer forma, como chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada. A água que escoar nos rios ou que está armazenada na superfície terrestre pode ser sempre considerada como um resíduo das precipitações.

A chuva é um parâmetro hidrometeorológico fundamental nos estudos de drenagem urbana, cuja unidade é expressa em milímetros, isto é, em litros de água por metro quadrado de superfície. Para facilitar a contabilização do balanço hídrico na bacia, adota-se também uma área superficial de 1 m^2 para o volume de controle, que se admite ser esse volume de controle representativo de toda a área em estudo. Genericamente, o balanço hídrico de uma área vegetada pode ser representado pela Figura 7.8, que mostra as entradas e saídas de água de um volume de controle.

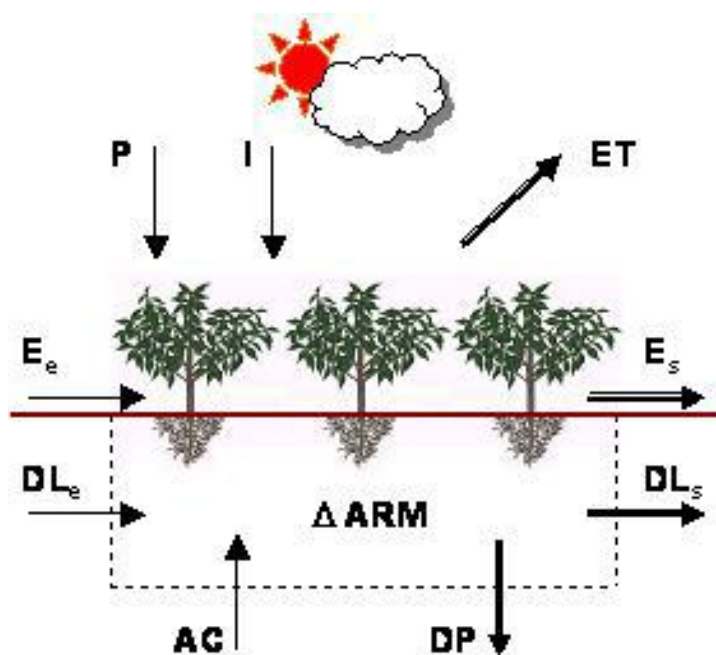


Figura 7.8. Representação esquemática dos fluxos do balanço hídrico (Adaptado: PEREIRA *et al.*, 2002).

As letras indicadoras dos fluxos no balanço hídrico da Figura 1 são: **P** = precipitação; **ET** = evapotranspiração; **I** = irrigação; **E_s** = escoamento superficial; **DL_s** = drenagem lateral (saída); **DL_e** = drenagem lateral (entrada) ; **DP** = drenagem profunda; **AC** = Ascensão capilar; **ΔARM** = variação do armazenamento de água no volume considerado.

O balanço hídrico climatológico foi desenvolvido utilizando-se o método de Thornthwaite & Mather (1955) por se tratar de técnica tradicionalmente empregada para estimar a variação do armazenamento de água no solo. Através da contabilização do suprimento natural de água ao solo pela chuva (P), da demanda atmosférica pela evapotranspiração potencial (ETP), e com um nível máximo de armazenamento ou capacidade de água disponível (CAD) apropriada ao estudo em questão. O balanço hídrico fornece estimativas da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM), podendo ser elaborado desde a escala diária até a mensal (CAMARGO, 1971; PEREIRA *et al.*, 1997).

De acordo com Camargo & Camargo (1993), o balanço hídrico climatológico é um instrumento utilizado nos estudos de drenagem urbana por ser de grande utilidade e prático para caracterizar os períodos secos e úmidos ao longo do ano, além da sua utilização indispensável na caracterização climática de uma determinada região (VIANELO & ALVES, 1991; PEDRO JÚNIOR *et al.*, 1994).

Os dados meteorológicos empregados na estimativa do balanço hídrico climatológico para cidade de Teresina foram os da Normal Climatológica do INMET, referente ao período de 1961-1990, que serviu de base na aplicação do método de Thornthwaite & Mather (1955). Nesse método a capacidade de água disponível (CAD) é um parâmetro fundamental, onde se assumiu como valor de referência 100 mm, e a evapotranspiração potencial foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948). Para calcular os componentes do balanço hídrico adotou-se o critério computacional desenvolvido no trabalho de Mendonça (1958) devido à facilidade de sua informatização em relação ao método original.

Os resultados dos cálculos são sumarizados no Quadro 7.3, que contém os valores médios mensais da: evapotranspiração real, da deficiência hídrica, do excedente hídrico, do armazenamento de água no solo, da temperatura e da precipitação.

Quadro 7.3. Resultados do balanço hídrico para Teresina.

Parâmetros Mês	T (°C)	P (mm)	ETP (mm)	P-ETP (mm)	NEG.AC	ARM (mm)	ALT (mm)	ETR (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)
Janeiro	26,7	248,0	141,1	106,9	0,0	100,0	0,0	141,1	0,0	6,9
Fevereiro	23,6	261,0	82,4	178,6	0,0	100,0	0,0	82,4	0,0	178,6
Março	25,9	283,0	128,2	154,9	0,0	100,0	0,0	128,2	0,0	154,9
Abril	26,3	268,0	129,8	138,2	0,0	100,0	0,0	129,8	0,0	138,2
Maio	26,1	109,0	128,9	-19,9	-19,9	82,0	-18,0	127,0	-1,8	0,0
Junho	24,0	25,0	90,3	-65,3	-85,1	42,7	-39,3	64,3	-26,0	0,0
Julho	26,0	13,0	125,8	-112,8	-197,9	14,4	-28,9	41,9	-83,9	0,0
Agosto	25,7	12,0	121,1	-109,1	-307,0	5,2	-9,2	21,2	-99,9	0,0
Setembro	28,4	17,0	172,3	-155,3	-462,4	1,5	-3,7	20,7	-151,6	0,0
Outubro	29,0	18,0	194,9	-176,9	-639,3	0,7	-0,8	18,8	-176,1	0,0
Novembro	28,7	65,0	183,5	-118,5	-757,8	0,6	-0,1	65,1	-118,4	0,0
Dezembro	28,0	126,0	174,1	-48,1	-805,9	0,6	0,0	126,0	-48,1	0,0
Total		1445,0	1672,4					966,5		478,6
Média	26,5	120,4	139,4					80,5		

Legenda:

- T = Temperatura
- P = Precipitação
- ETP = Evapotranspiração Potencial
- P-ETP = Diferença entre a coluna precipitação e a evapotranspiração
- NEG.AC= Negativo acumulado de água no solo
- ARM = Armazenamento de Água no solo.
- ALT = Alteração entre o ARM do mês atual e o ARM do mês anterior
- ETR = Evapotranspiração real
- DEF = Deficiência hídrica.
- EXC = Excedente Hídrico.

Os resultados do balanço hídrico demonstram a ocorrência de déficit hídrico de maio a dezembro, com um déficit máximo em outubro (-176,1 mm) para o município de Teresina. No mês de janeiro, a precipitação é maior do que a evapotranspiração, havendo reposição das reservas de água do solo. De janeiro a abril, as reservas do solo atingem sua capacidade máxima, ocorrendo excedente hídrico, com valor máximo em fevereiro (178,6 mm).

A Figura 7.9 ilustra os meses do ano onde ocorre o período úmido (área de cor azul) e o período seco (área de cor vermelha). Observa-se que de janeiro a maio concentra quase 81% da disponibilidade de água excedente. O período seco se estende entre junho a dezembro, sendo outubro o mais seco dos meses.

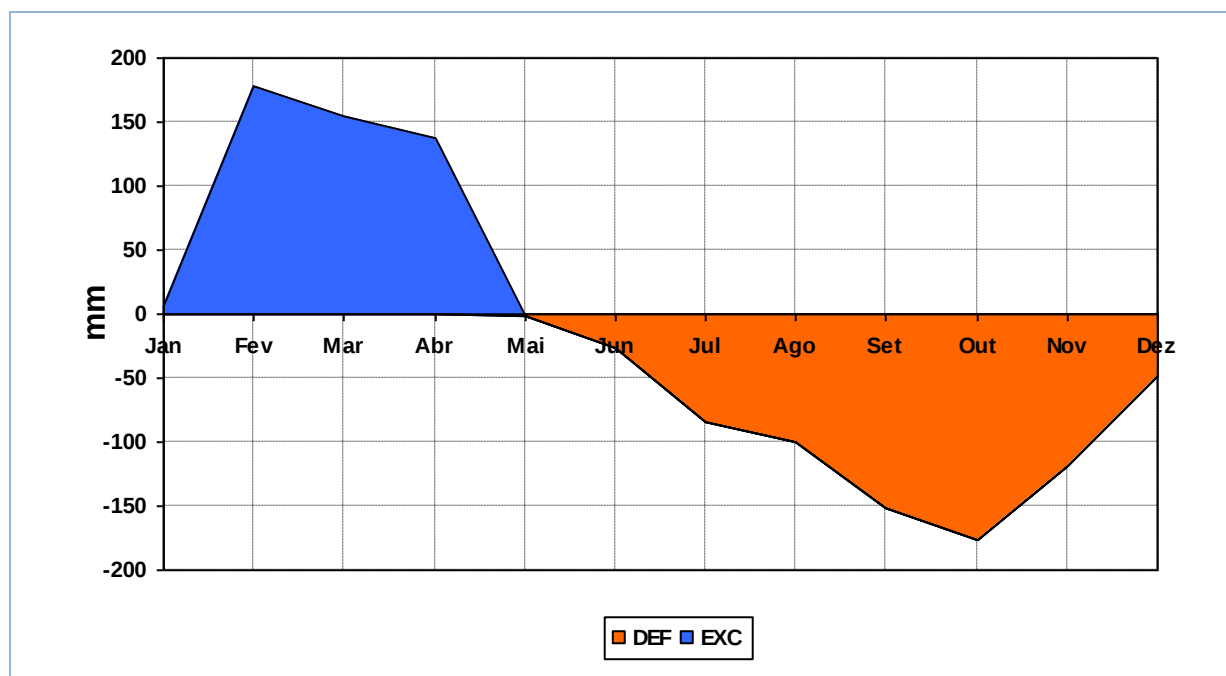


Figura 7.9. Balanço hídrico mensal para o período de 1961 a 1990.

7.2 Determinação da relação IDF de chuvas para Teresina

O sistema de drenagem urbana de uma cidade como Teresina, afeta uma grande quantidade de pessoas e propriedades. Quando esse sistema é bem projetado, pode-se obter uma diminuição considerável de custos e garantir um bom funcionamento do mesmo, evitando-se que as inundações mais sérias ponham em risco propriedades e vidas humanas.

Em engenharia hidrológica, nem sempre interessa construir uma obra que seja adequada para escoar qualquer vazão possível de ocorrer. No caso normal, pode-se correr o risco, assumido após considerações de ordem econômica, de que o sistema venha a falhar durante sua vida útil. No entanto, é necessário conhecer este risco, que pode ser

interpretado a partir da probabilidade de ocorrência de um determinado evento de chuva, ou tempo de retorno (calculado como o inverso da probabilidade de ocorrência), cuja definição é o tempo médio em que um determinado evento poderá ser igualado ou superado.

Uma das grandes dificuldades no estudo de bacias urbanas é o conhecimento do hidrograma de projeto, ou seja, o gráfico que relaciona os volumes escoados no tempo (as vazões), para um determinado tempo de retorno. Sua determinação torna-se difícil devido à falta de dados, às numerosas variáveis envolvidas na distribuição da chuva e às condições de cada bacia urbana.

Sendo a chuva a causa direta do hidrograma de projeto, a escolha de uma chuva de projeto é uma etapa básica na estimativa do hidrograma de projeto. A chuva de projeto caracteriza a variabilidade temporal das chuvas intensas, associada a uma determinada probabilidade de ocorrência. As chuvas são tanto mais raras quanto mais intensas. As chuvas de alta intensidade e de curta duração são o tipo que mais contribui para a formação de vazões significativas numa bacia urbana.

Uma ferramenta fundamental para a determinação da chuva de projeto, ou da vazão máxima de um sistema de drenagem urbana, são as relações de intensidade-duração-frequência, as curvas IDF. Elas são obtidas a partir da análise estatística de eventos passados e permitem que se possa estimar a intensidade máxima de uma chuva, para uma determinada duração e um certo tempo de retorno.

No Brasil, a dificuldade da geração dos modelos que descrevem as curvas IDF reside na baixa densidade dos registros pluviográficos com longa série de dados, que relacionam os totais precipitados em diferentes tempos (por exemplo, 5, 10, 15, 30 minutos e 1, 2 horas). Além disso, a metodologia para sua obtenção exige um exaustivo trabalho de tabulação, análise e interpretação de grande quantidade de pluviogramas (Cecílio & Pruski, 2003).

Por outro lado, existe uma vasta rede pluviométrica instalada, principalmente para atender ao setor de geração de energia elétrica (Oliveira *et al.*, 2005). Nos dados

pluviométricos os totais precipitados são acumulados nos dias, não sendo registrados em intervalos de tempo menor, justamente quando ocorrem as chuvas de grande intensidade.

Na cidade de Teresina a realidade é a mesma. O objetivo do presente trabalho é determinar as relações intensidade-duração-frequência válidas para a área urbana de Teresina. A seguir são apresentados a metodologia utilizada e os resultados obtidos.

7.2.1 Metodologia

A metodologia empregada para a determinação do IDF de Teresina consistiu na execução de três etapas:

- 1) Análise e seleção dos registros de chuvas disponíveis;
- 2) Determinação das relações IDF por meio do ajuste de uma distribuição estatística de extremos aos registros de chuva; e
- 3) Determinação de uma equação genérica para as relações IDF (curvas IDF).

7.2.1.1 Análise e seleção dos registros de precipitação disponíveis

As relações IDF podem ser estabelecidas utilizando métodos de desagregação de chuvas diárias (chuva acumulada no período diário) medidas por pluviômetros na área em estudo. Diversos estudos realizados no Brasil têm empregado esta metodologia (PINTO *et al.*, 1996; CARDOSO *et al.*, 1998; DAMÉ, 2001; DAMÉ *et al.*, 2006, 2008, 2010). Assim, esta atividade teve início com a análise de dados de um pluviômetro, interpretados em intervalos de tempo adequados.

As séries históricas de dados pluviométricos diários do município de Teresina foram obtidas do banco de dados do Sistema de Informações Hidrológicas, da Agência Nacional de Águas (ANA, 2010). Para o município de Teresina foram encontrados dois postos pluviométricos, conforme Quadro 7.4.

O posto 00542011 foi eliminado, pois sua série apresentava muitas falhas. Para o posto 00542012 foi montada uma série histórica de dados de chuvas máximas diárias anuais, correspondente ao período de 1914 a 2009.

Quadro 7.4. Postos pluviométricos da cidade de Teresina (ANA, 2010).

POSTO	CÓDIGO	PERÍODO	TIPO	ANOS
ANA-INMET	00542011	1920 a 2002	diário	88
ANA-CHESF	00542012	1914 a 2009	diário	95

Para a desagregação da chuva diária acumulada utilizou-se coeficientes de desagregação, obtendo-se alturas de chuva com intervalos de tempo de curta duração, prática comum em estudos de curvas IDF (CETESB, 1979). No presente estudo foram utilizados os coeficientes de desagregação mostrados no Quadro 7.5, para determinar as precipitações para as durações de 5, 15 e 30 minutos, 1, 2, 4, 8, 14 e 24 horas.

Os coeficientes foram obtidos em PMT (2005), a partir da análise dos dados de chuva de Teresina no estudo de Pfafstetter (1982), que analisou registros pluviográficos de 98 postos espalhados pelo território brasileiro, em épocas variadas. O trabalho de Pfafstetter, em sua primeira edição na década de 1950 (PFAFSTETTER, 1957), é sem dúvida o mais significativo no estudo de chuvas intensas no Brasil. Devido a isso é que estes coeficientes de desagregação foram utilizados, em detrimento aos coeficientes de desagregação médios para todo o Brasil, mostrados, por exemplo, em CETESB (1979). Além disso, se tratam de coeficientes específicos para Teresina. Segundo Tucci (1993), sempre é conveniente utilizar os fatores de desagregação deduzidos a partir de dados próximos ao local de estudo.

Quadro 7.5. Coeficientes para desagregação de chuvas: relações entre durações para Teresina (Fonte: PMT, 2005).

RELAÇÃO	VALOR MÉDIO
5min/1dia	0,14
15min/1dia	0,23
30min/1dia	0,37
1h/1dia	0,41
2h/1dia	0,52
4h/1dia	0,63

RELAÇÃO	VALOR MÉDIO
8h/1dia	0,73
14h/24h	0,82
24h/1dia	1,15

Após a desagregação das chuvas diárias, foi feita uma análise se os dados caracterizavam-se como de grande intensidade. Na literatura não existe uma definição fixa destes limites mínimos que caracterizam as chuvas intensas para cada duração (Quadro 7.6). Os pesquisadores estabeleceram estes valores mínimos primeiramente, para retirar valores considerados baixos, que não representam chuvas intensas, e com um segundo objetivo, de garantir uma quantidade adequada de dados para as estimativas estatísticas. No presente estudo, foram utilizados os valores de referência de Pfafstetter (1957), mostrados no Quadro 7.6. Assim, as chuvas desagregadas inferiores a estes valores foram retiradas. Mesmo com estes valores retirados, para todas as durações, obteve-se uma quantidade de dados adequada, haja vista que existia uma série com 95 anos de extensão.

Quadro 7.6. Chuvas mínimas para cada duração segundo diversos autores.

t (min)	WILKEN (1978)	PFAFSTETTER (1957)	AYRES E LOPES (1985)
5	10	8	-
10	12	-	10
15	15	15	-
20	17	-	15
30	20	20	20
45	23	-	-
60	25	25	30
90	28	-	-
120	30	30	35
180	32	-	40
240	34	35	-

t (min)	WILKEN (1978)	PFAFSTETTER (1957)	AYRES E LOPES (1985)
360	36	-	45
480	36,5	40	-
720	37	-	50
840	-	47	-
1440	-	55	55
2880	-	70	-

7.2.1.2 Determinação das relações IDF por meio do ajuste de uma distribuição estatística de extremos aos registros de chuva

Existem diferentes distribuições estatísticas de extremos que podem ser avaliadas no ajuste de um conjunto de dados hidrológicos, como por exemplo, a distribuição Tipo I ou de Gumbel, a distribuição Tipo III e a distribuição Log-Pearson III. No presente trabalho utilizou-se o método de Gumbel, sendo que a função cumulativa de probabilidade dessa distribuição dada pela equação (1):

$$P = 1 - \exp[-\exp(-Y_{TR})] \quad (1)$$

Sendo:

P = probabilidade de um valor extremo da série ser maior ou igual à magnitude de um determinado evento;

Y_{TR} = variável reduzida.

Chow (1964) determinou uma equação que permite calcular o valor da chuva segundo a distribuição de Gumbel, conforme equação (2).

$$X = \bar{X} - K_{TR} \times S \quad (2)$$

Sendo:

K_{TR} = fator de frequência, função do tempo de retorno;

X = valor da altura de chuva para o tempo de retorno adotado (mm);

$\bar{X}$ = média das alturas de chuva (mm);

S = desvio padrão das alturas de chuva (mm).

A variável reduzida da distribuição de Gumbel é obtida pela aplicação da função de distribuição de frequência de Chow (1964), dada pelas equações (3) e (4):

$$K_{TR} = (0,78 * Y_{TR}) - 0,45 \quad (3)$$

$$Y_{TR} = -\ln[-\ln(1 - \frac{1}{Tr})] \quad (4)$$

Sendo Tr o tempo de retorno.

A aderência da distribuição de Gumbel às séries anuais das chuvas intensas foi realizada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Esse teste mede a distância máxima entre os resultados de uma distribuição a ser testada e os valores associados à distribuição hipoteticamente verdadeira. A estatística do teste é dada por D , representando a diferença máxima entre as funções acumuladas de probabilidade teórica e observada. A aceitação do ajuste dos dados à função pretendida será exigente, visto que será considerado o nível de significância de 5%. Para este caso particular, em que o n é superior a 90, foi utilizado o valor adequado do teste corresponde a valores $< 0,188$.

Os tempos de retorno utilizados foram 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos. O ajuste dos dados de chuva à distribuição de Gumbel permitiu estabelecer as relações IDF.

7.2.1.3 *Determinação da equação genérica para as relações IDF*

Assim, foi possível determinar uma equação genérica para as relações IDF. Schwab *et al.* (1966) e Villela e Mattos (1975) reportam que a equação genérica mais utilizada para expressar a relação intensidade-duração-frequência da chuva é expressa da seguinte forma:

$$i = \frac{a \cdot Tr^b}{(t + c)^d} \quad (5)$$

Sendo:

i = Intensidade máxima média de chuva, (mm/h);

Tr = Tempo de retorno (anos);

t = Duração da chuva, (minutos);

a, b, c, d = Constantes que variam para cada local.

Para estimar as constantes a, b, c, d utilizou-se o método proposto por Wilken (1978). Por este método, primeiramente, é realizada a linearização da equação (5), aplicando-se logaritmo, conforme equações 6 e 7.

$$\log i = \log(a \cdot Tr^b) - \log(t + c)^d \quad (6)$$

$$\log i = -d \cdot \log(t + c) + m \cdot \log(Tr) + \log(a) \quad (7)$$

Após a aplicação do logaritmo, determina-se a constante $\underline{c}$. Para isso emprega-se a curva de intensidade-duração, calculada em escala bi-logarítmica, para o tempo de retorno $Tr = n/5$, sendo n o número total de anos da amostra. No caso, como existiam 95 anos de dados, utilizou-se o $Tr = 20$ anos. Por meio deste procedimento, procura-se transformar a curva obtida em uma reta, pois mesmo com a aplicação do logaritmo a equação (5) não foi totalmente linearizada. Após, escolhem-se dois pontos extremos da curva, cujas coordenadas são, respectivamente, (i_1, t_1) e (i_2, t_2) . Considera-se então um terceiro ponto, (i_3, t_3) , na mesma curva, sendo calculado conforme a equação 8.

$$i_3 = \sqrt{i_1 \cdot i_2} \quad (8)$$

O tempo t_3 é obtido por interpolação na curva. Desta forma, obtêm-se o valor da constante c por:

$$c = \frac{t_3^2 - t_1 \cdot t_2}{t_1 + t_2 - 2 \cdot t_3} \quad (9)$$

As demais constantes ($\underline{a}$, $\underline{b}$, $\underline{d}$) são determinadas pelo método de regressão linear múltipla, por meio da técnica de mínimos quadrados, aplicada à equação (7).

A fim de corroborar a IDF estabelecida neste estudo, os resultados obtidos com a equação genérica da IDF para Teresina foram comparados com os resultados obtidos com a equação do estudo de Fragoso Jr. (2004), que ajustou os parâmetros a , b , c e d para os dados de chuvas intensas de projeto obtidas por Pfafstetter *apud* CETESB (1986) em 24 cidades brasileiras, dentre as quais figura Teresina.

A equação (10) apresenta a curva determinada por Fragoso Jr. (2004), que utilizou os dados até a década de 1950.

$$i = \frac{1248,856 \cdot Tr^{0,177}}{(t + 10)^{0,769}} \quad (10)$$

7.2.2 Resultados

Após os procedimentos descritos no item 7.2.1, constatou-se que para todas as durações de chuva utilizadas a distribuição de Gumbel mostrou-se adequada para representar as estimativas dos valores das intensidades das chuvas, no nível de 5% de significância, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. A Figura 7.10 apresenta os valores observados e estimados pela distribuição de Gumbel, para a estação pluviométrica localizada no município de Teresina em diferentes tempos de duração. Verifica-se que os resultados observados se ajustaram bem aos calculados pela distribuição teórica de Gumbel. As intensidades pluviométricas para diferentes tempos de retorno calculados pelo método Gumbel são apresentados no Quadro 7.7.

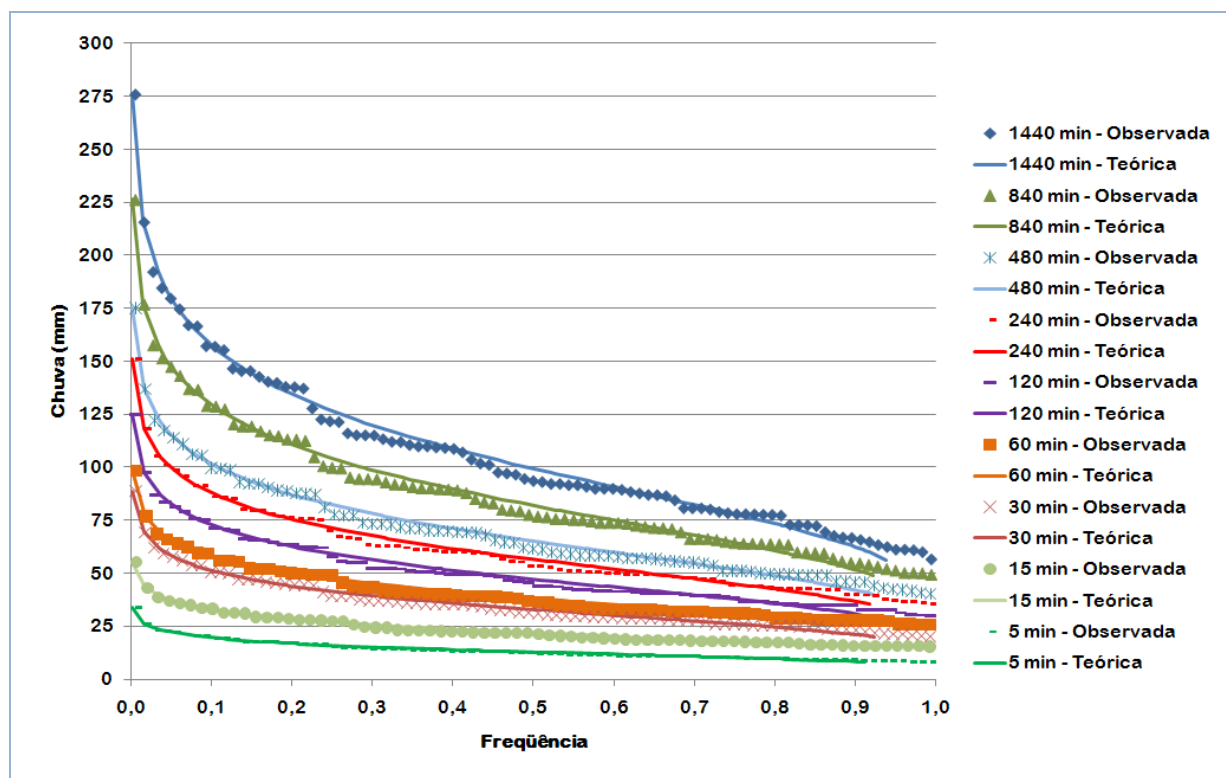


Figura 7.10. Chuvas observadas e calculadas pela distribuição de Gumbel no município de Teresina.

Quadro 7.7. Intensidades das chuvas máximas (mm/h), segundo tempos de retorno e durações, calculadas pelo método de Gumbel para cidade de Teresina: período de 1914 a 2009.

DURAÇÃO (MIN)	TEMPO DE RETORNO (ANOS)					
	2	5	10	20	50	100
5	178,95	209,93	236,94	267,47	314,04	354,64
15	121,79	142,71	160,94	181,56	213,00	240,41
30	85,76	100,33	113,03	127,40	149,30	168,40
60	56,82	66,29	74,55	83,89	98,14	110,56
120	36,43	42,32	47,45	53,25	62,10	69,82
240	23,22	26,78	29,88	33,39	38,74	43,41
480	15,05	17,17	19,02	21,11	24,30	27,09
840	10,89	12,28	13,49	14,86	16,95	18,77
1440	8,23	9,15	9,96	10,87	12,25	13,46

Para a determinação da equação genérica para as relações IDF primeiramente obteve-se o valor do parâmetro c , conforme descrito em 7.2.1.3. O parâmetro c calculado foi igual a 10, que lineariza a curva de intensidade x duração com tempo de retorno 20 anos ($n/5$), na escala bi-logarítmica (Figura 7.11).

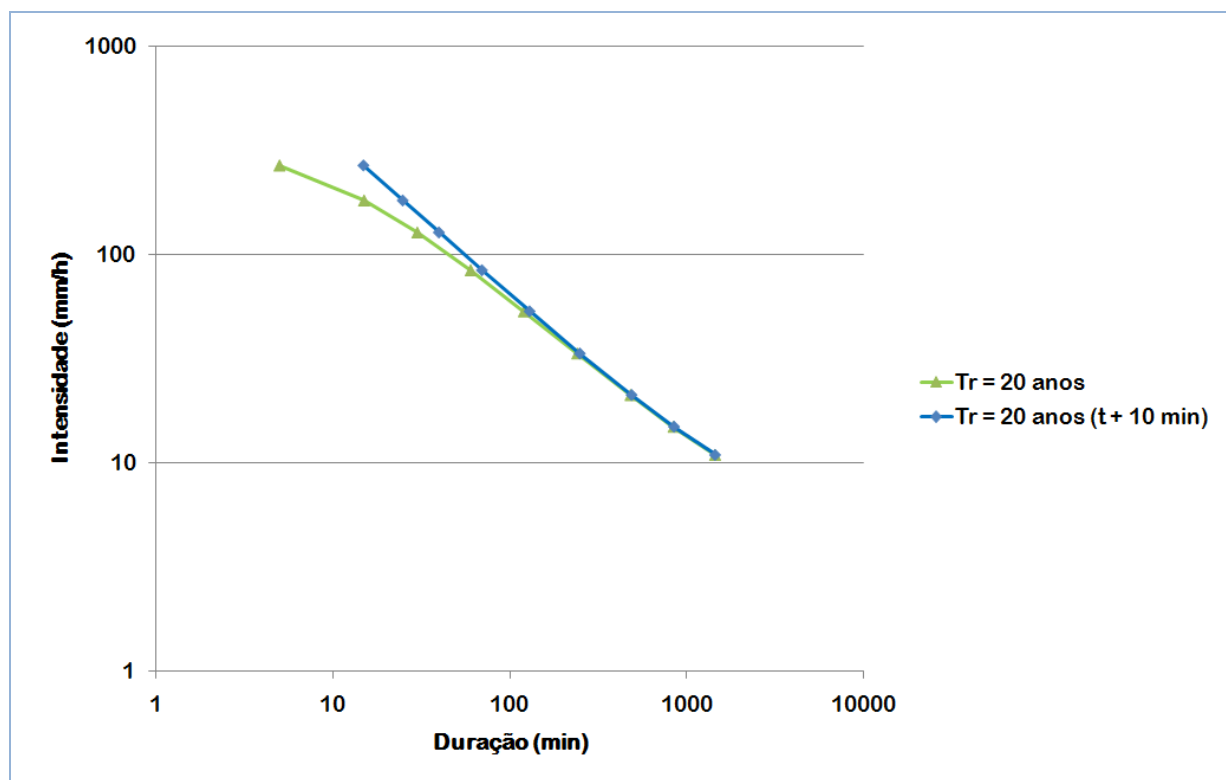


Figura 7.11. Estimativa do parâmetro c .

Aplicando-se a regressão linear múltipla por meio da técnica de mínimos quadrados encontrou-se a equação genérica para as curvas IDF, conforme equação (11). Com esta equação, obtêm-se as intensidades pluviométricas para diferentes tempos de retorno, conforme o Quadro 7.8.

$$i = \frac{1194,273 \cdot T^{0,1738}}{(t + 10)^{0,7457}} \quad (11)$$

Quadro 7.8. Intensidades das chuvas máximas (mm/h), segundo tempos de retorno e durações, calculadas pela equação IDF (eq. 11), obtida com dados de pluviômetro do período de 1914 a 2009.

DURAÇÃO (MIN)	TEMPO DE RETORNO (ANOS)					
	2	5	10	20	50	100
5	178,81	209,67	236,51	266,79	312,84	352,89
15	122,17	143,25	161,59	182,28	213,74	241,10
30	86,05	100,90	113,82	128,39	150,55	169,82
60	56,69	66,47	74,98	84,58	99,18	111,88
120	35,73	41,90	47,26	53,31	62,51	70,51
240	21,94	25,73	29,02	32,74	38,39	43,30
480	13,28	15,58	17,57	19,82	23,24	26,21
840	8,81	10,33	11,65	13,14	15,41	17,38
1440	5,91	6,94	7,82	8,82	10,35	11,67

A Figura 7.12 e a Figura 7.13 apresentam os resultados anteriores em forma de gráfico. Verifica-se que não ocorreram diferenças significativas entre os dois resultados, demonstrando que a equação 11 obtida representa adequadamente as relações intensidade-duração-frequência (IDF) de chuvas intensas para cidade de Teresina. O coeficiente de determinação (R^2) da curva IDF calculada foi de 0,9975.

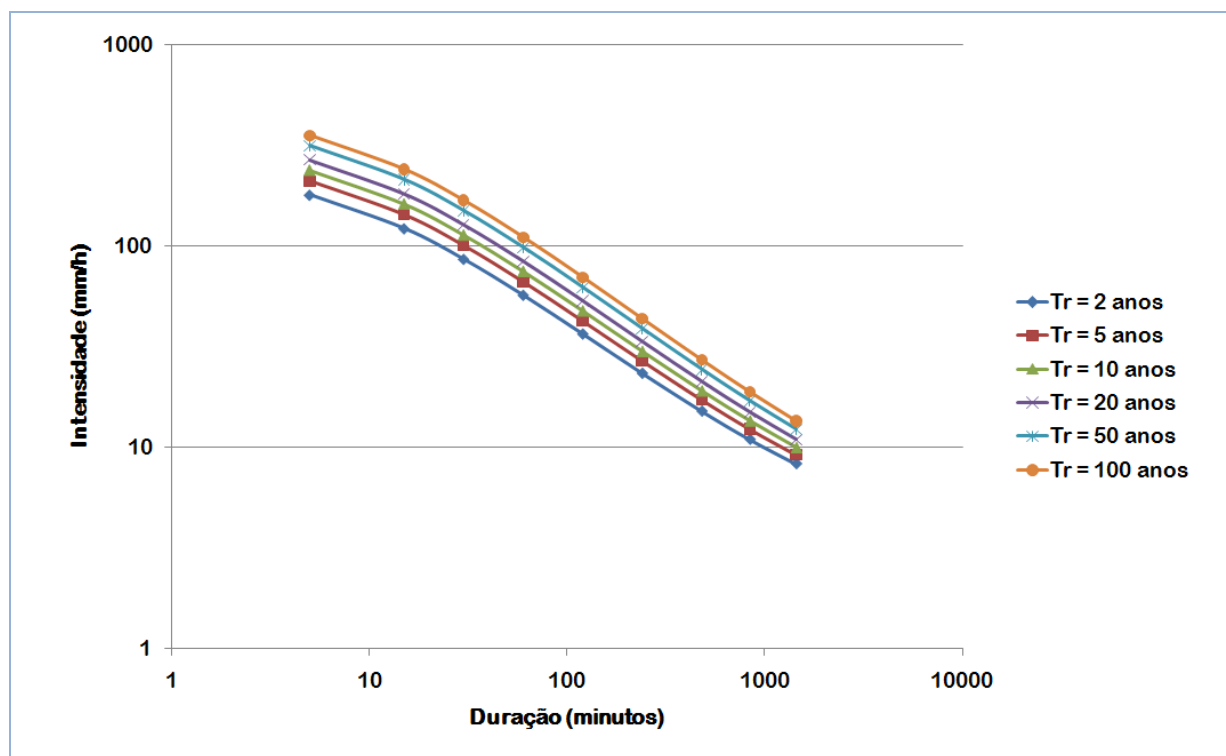


Figura 7.12. Curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para cidade de Teresina, ajustadas pelo método de Gumbel.

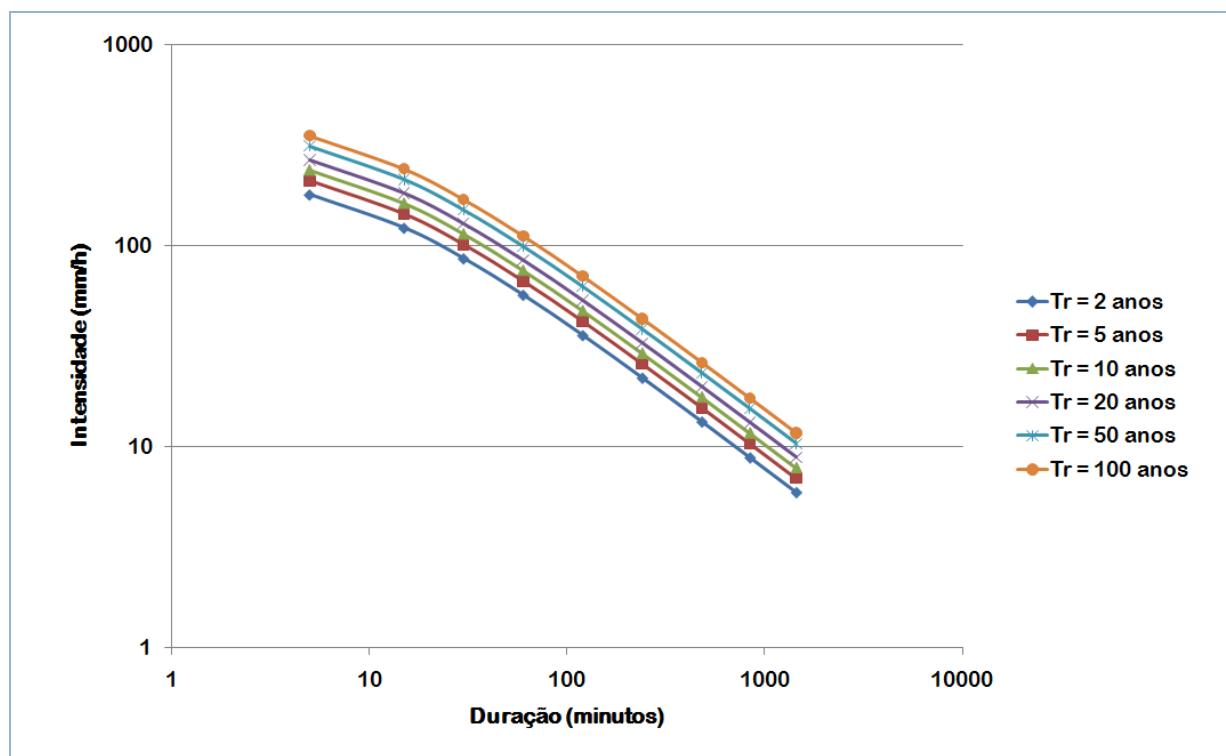


Figura 7.13. Curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) para cidade de Teresina, calculadas pela equação 11.

Além disso, os resultados obtidos com a equação genérica da IDF para Teresina, equação (11), foram comparados com os resultados obtidos com a equação do estudo de Fragoso Jr. (2004), equação (10). As figuras a seguir apresentam as intensidades calculadas com estas equações para os tempos de retorno de 5 e 100 anos, como forma de comparação.

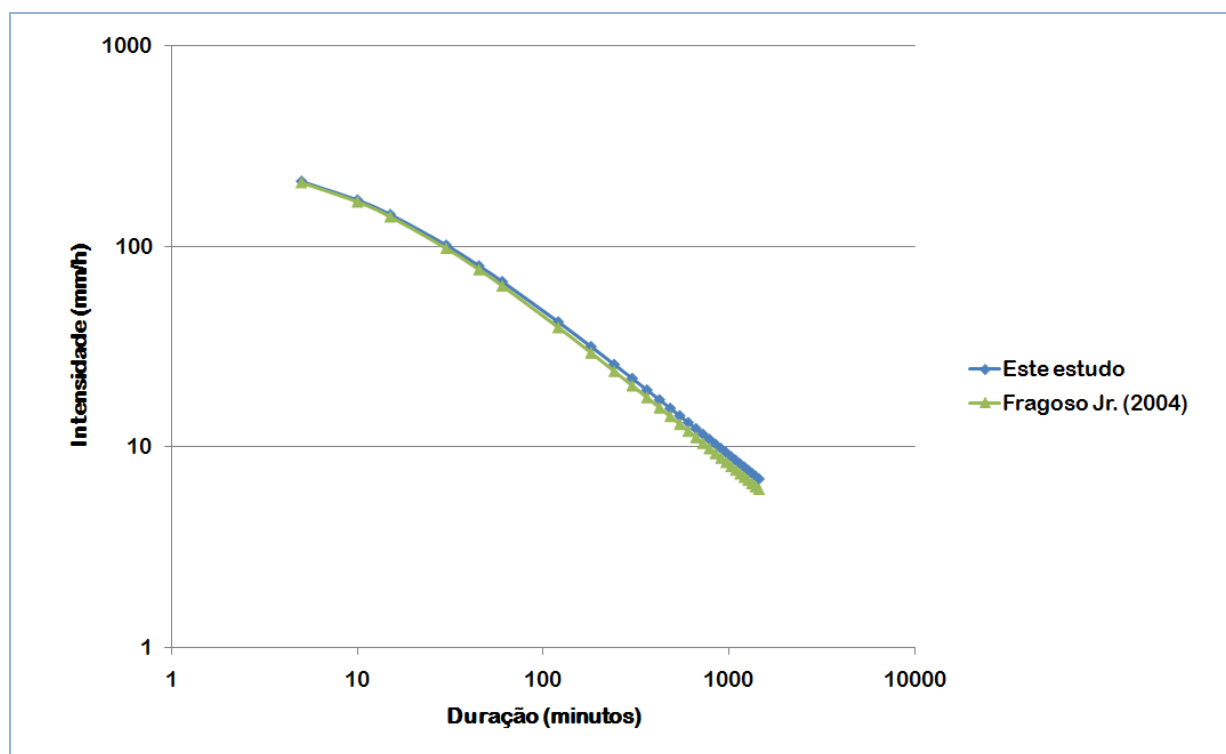


Figura 7.14 Comparação da curva IDF deste estudo e de Fragoso Jr. (2004), para o tempo de retorno de 5 anos.

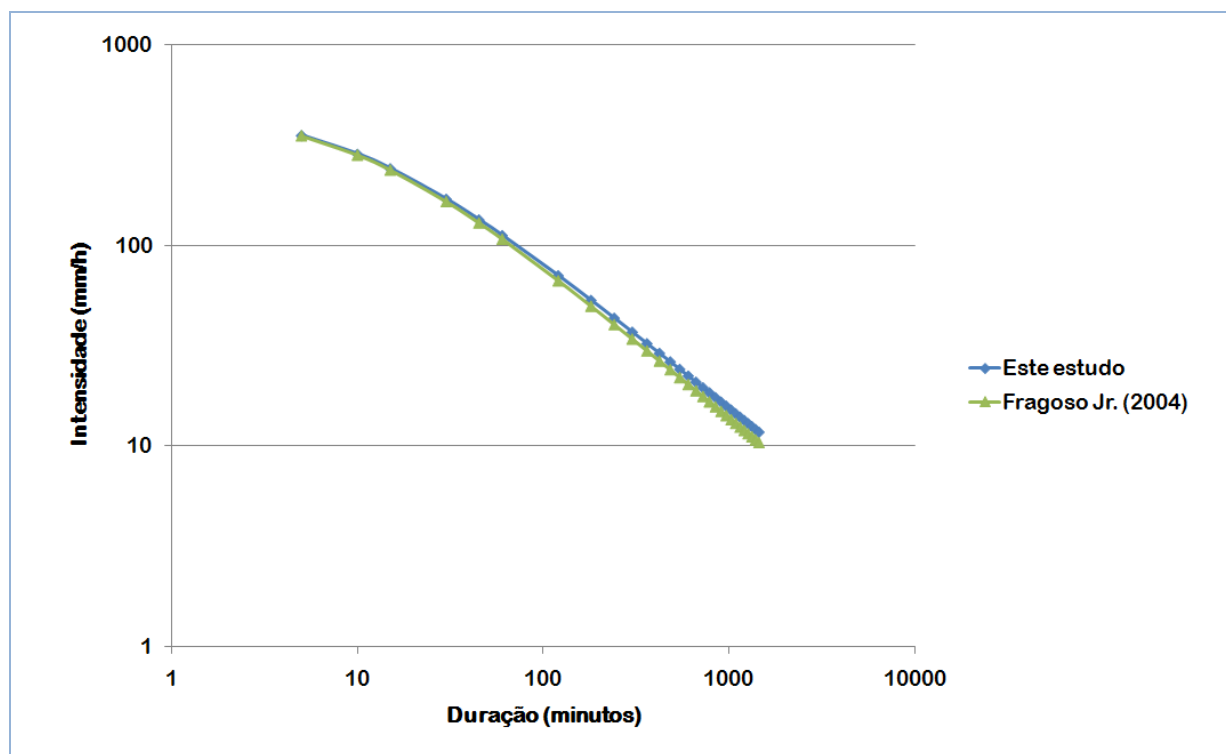


Figura 7.15. Comparação da curva IDF deste estudo e de Fragoso Jr. (2004), para o tempo de retorno de 100 anos.

Para ambos os tempos de retorno as intensidades do presente estudo apresentaram resultados muito semelhantes, porém, um pouco superiores ao do estudo de Fragoso Jr. (2004). Uma provável explicação está relacionada aos dados utilizados. Fragoso Jr. (2004) utilizou os dados de Pfafstetter (1957) e o presente trabalho utilizou dados até o ano de 2009, que, conforme Figura 7.16, apresentaram uma tendência de crescimento após a década de 1950. Mesmo com os dois maiores valores anteriores a 1957, a tendência de crescimento pós 1957 é maior.

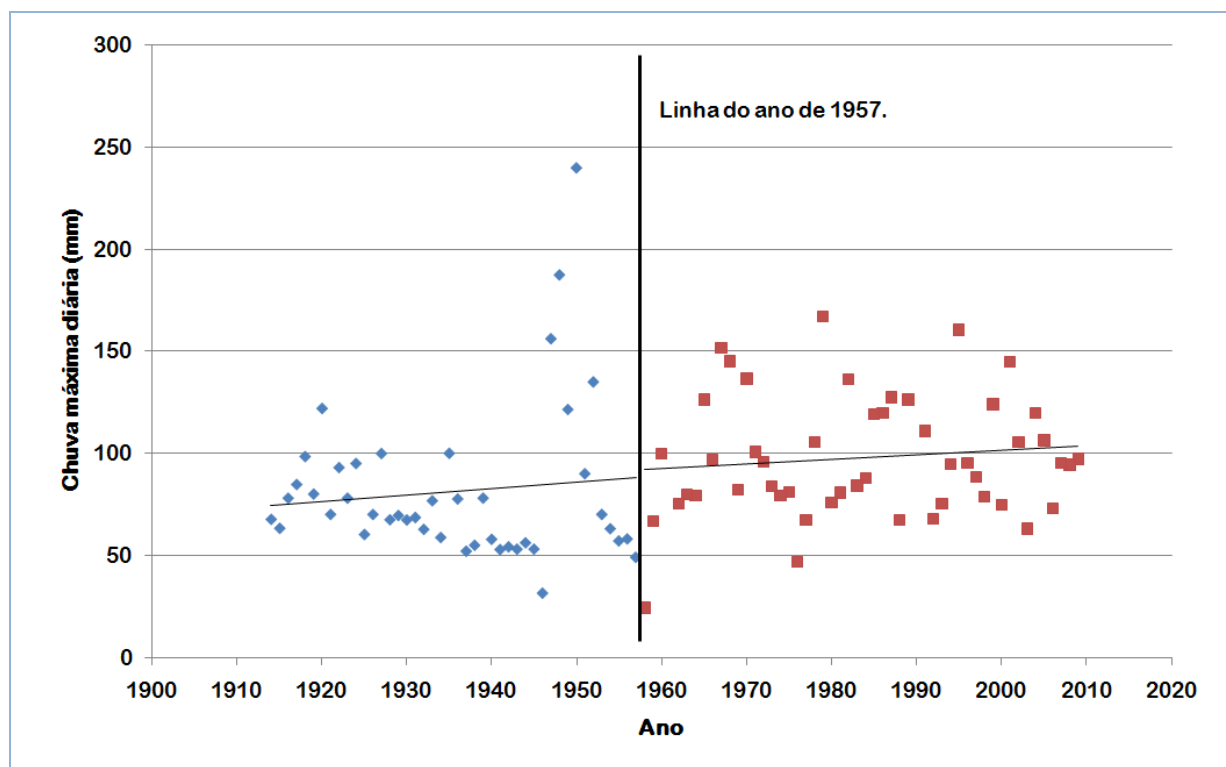


Figura 7.16. Série histórica de máximos diários anuais para o posto ANA-CHESF código 00542012, em Teresina.

A Figura 7.17 e a Figura 7.18 demonstram este resultado, indicando um aumento de valores de chuvas máximas diárias superiores a 100 mm após o ano de 1957. Estes valores passaram de 7 ocorrências para 20 ocorrências. A razão para este incremento de valores máximos merece maiores estudos e podem ser resultado da variabilidade natural das chuvas. Alguns estudos, por exemplo, Marengo (2008) e Araújo *et al.* (2008), analisam o efeito de mudanças climáticas no aumento de chuvas intensas no Brasil e, em especial, na região Nordeste do país. Os autores defendem que os eventos extremos de chuva serão intensificados, mas, por outro lado, os totais precipitados diminuirão, aumentando os períodos de seca no Nordeste. Contudo, esta hipótese ainda deve ser mais bem analisada.

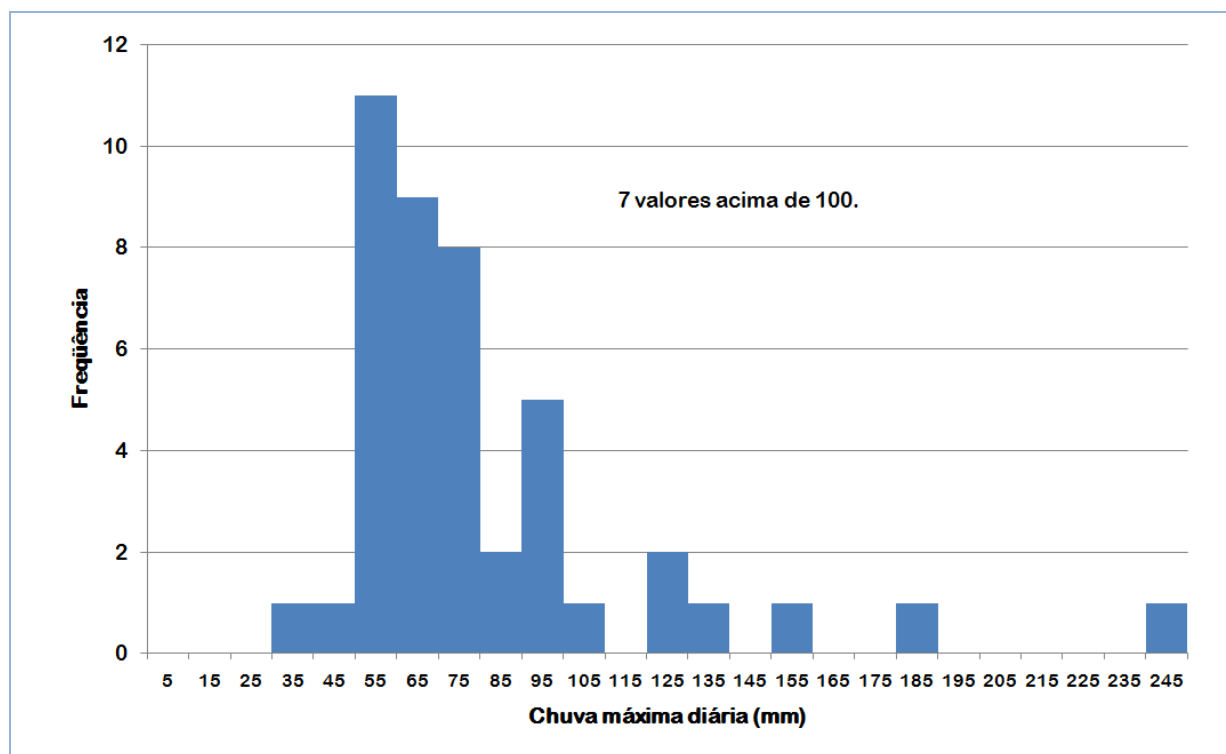


Figura 7.17. Frequência da chuva máxima diária anual para o posto ANA-CHESF código 00542012, em Teresina, período anterior a 1957.

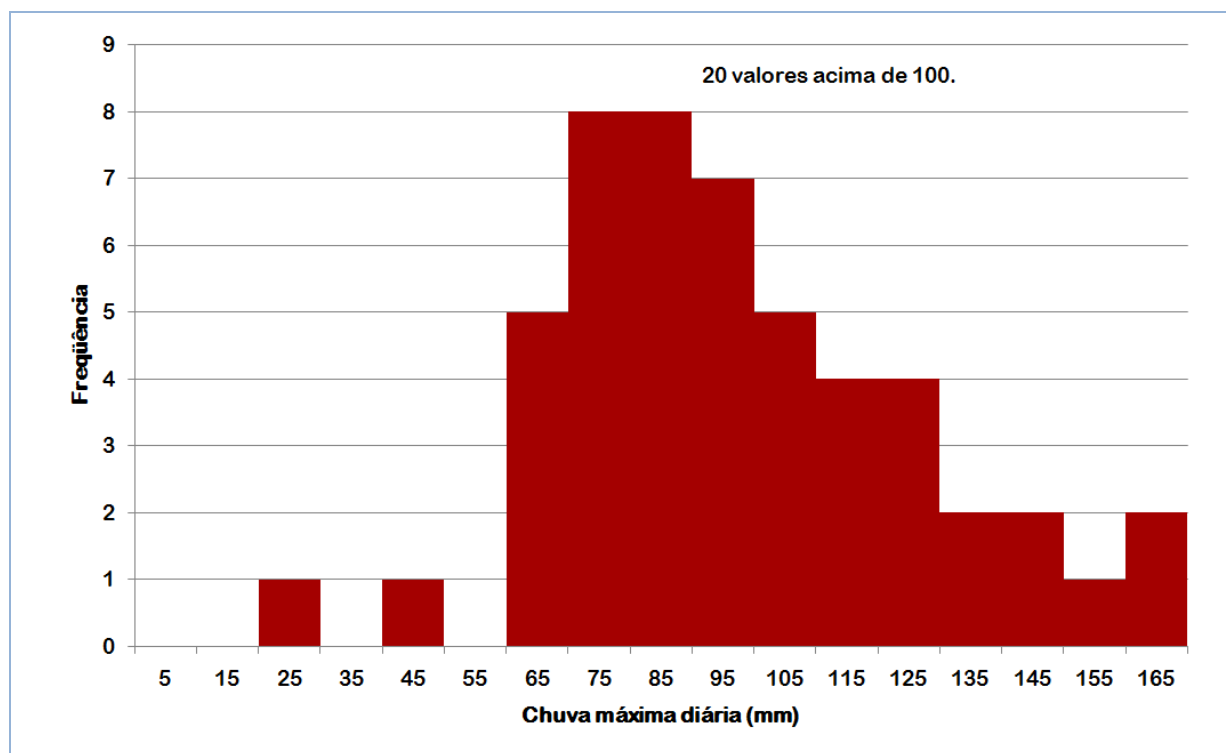


Figura 7.18. Frequência da chuva máxima diária anual para o posto ANA-CHESF código 00542012, em Teresina, período posterior a 1957.

Conforme Marengo (2008) discute, ainda não se tem uma figura clara e certa sobre os possíveis impactos da mudança do clima na distribuição espacial e temporal das chuvas no Brasil. As incertezas ainda representam obstáculos para o planejamento operacional e gerenciamento do recurso água, mas mesmo assim esse fato não pode ser utilizado para evitar ações imediatas. Uma das primeiras ações seria estabelecer programas de pesquisas e monitoramento para avaliar os riscos relativos às mudanças do clima.

8 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE DRENAGEM ATUAL

As atividades básicas desenvolvidas para o diagnóstico do sistema de drenagem atual consistem em: i) discretização do sistema de drenagem urbana; ii) definição de riscos a serem considerados; iii) escolha das metodologias e modelos de simulação a serem utilizados; iv) estimativa dos hidrogramas de projeto; v) modelagem e diagnóstico do sistema de drenagem.

A seguir são apresentadas as considerações e definições estabelecidas para cada uma delas.

8.1 Discretização das bacias hidrográficas

Em função do relevo e da hidrografia de Teresina, foram identificadas três macrobacias de escoamento das águas pluviais (Figura 8.1). Uma delas de contribuição direta ao rio Parnaíba e outras duas de contribuição direta ao rio Poti. Esses rios possuem inúmeros pequenos afluentes, que descaracterizados e escondidos pela ocupação urbana, fazem escoar suas águas até esses dois rios. Eles são os corpos receptores dos caudais gerados sobre ruas, avenidas ou conduzidos no interior das galerias existentes.

Para a realização do diagnóstico serão consideradas sub-bacias de menor tamanho ou unidades de gerenciamento da drenagem urbana. As unidades foram definidas levando em consideração a relação entre as características físicas, os recursos hídricos e os aspectos políticos e socioeconômicos.

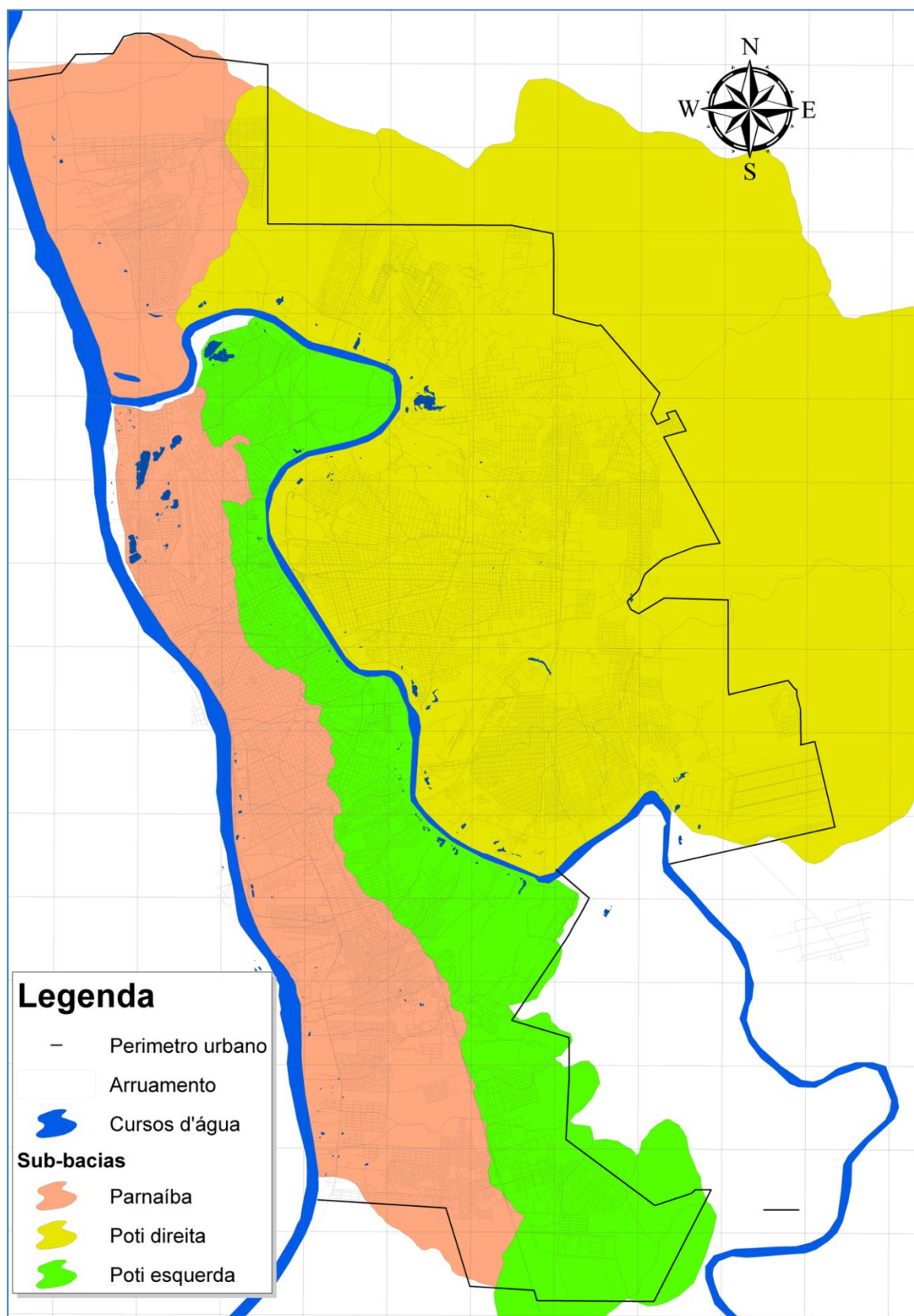


Figura 8.1. Principais macrobacias urbanas de Teresina.

A discretização das bacias foi realizada em três etapas: na primeira, procedeu-se uma divisão da área urbana de Teresina em três regiões hidrográficas, baseando-se nas três grandes bacias de referência citadas anteriormente (Figura 8.1). Em uma segunda etapa, tomando como referência os principais rios, córregos e redes nas macrobacias urbanas, estas foram subdivididas em setenta sub-bacias hidrográficas. No desenvolvimento do diagnóstico, as sub-bacias são consideradas as bacias elementares de estudo. Para simplificar o entendimento foi adotada uma nomenclatura, conforme segue:

- Sub-bacias nomeadas com o índice "P" são tributárias do rio Parnaíba;
- Sub-bacias tributárias do rio Poti, foram nomeadas com os índices "PD" e "PE", que dizem respeito às bacias de contribuição da margem direita e da margem esquerda, respectivamente.

A delimitação destas sub-bacias pode ser vista no mapa constante no Anexo 29, juntamente com a ocupação na área urbana de Teresina.

8.2 Análise dos riscos a serem considerados

No projeto ou planejamento de uma bacia urbana é necessário determinar as vazões máximas para as condições com impactos e com os controles que eliminam os impactos. De acordo com Tucci (2010) a determinação da vazão se baseia em alguns critérios básicos.

Para o projeto e planejamento é necessário definir os seguintes critérios:

(a) Risco de projeto: O risco do projeto é definido em função dos potenciais impactos que podem ser provocados se o mesmo for superado.

(b) Cenários de desenvolvimento urbano: para analisar as vazões é necessário definir a ocupação urbana de planejamento. Não faz sentido determinar a vazão com base nas condições urbanas atuais, pois a cidade tenderá a crescer e o projeto ficará obsoleto. Usualmente, utiliza-se o cenário futuro de ocupação previsto pelo Plano Diretor Urbano.

(c) Parâmetros hidrológicos: Como as bacias hidrográficas urbanas sofrem alterações ao longo do tempo, os dados fluviométricos não representam uma série estacionária e, portanto podem ser utilizados apenas para ajuste dos modelos, mas não podem ser utilizados para determinar a probabilidade das cheias. Portanto, é necessário utilizar as chuvas máximas para determinar as vazões, considerando que as chuvas não se alteram com urbanização, o que não é totalmente seguro, pois o efeito da ilha de calor poderia aumentar as intensidades de chuva. Quando se utiliza a chuva com um determinado risco para determinar a vazão de projeto, o risco não é da vazão, mas da precipitação.

Quando a bacia hidrográfica é menor que 2 km^2 pode-se utilizar o método Racional, mas quando a área aumenta o método racional tende a subdimensionar a vazão. Para bacias maiores deve-se utilizar o método do hidrograma.

Os parâmetros hidrológicos fundamentais dependem do objetivo do estudo. Quando envolve somente vazão máxima pode-se utilizar o critério de tempo de duração da chuva igual ao tempo de concentração. No entanto, quando o projeto envolve reservatórios, detenções ou outro nome utilizado para um ou mais reservatórios numa bacia não pode ser utilizado o tempo de duração da chuva igual ao tempo de concentração, erro comum dos projetistas no Brasil. Este critério errôneo faz com os reservatórios fiquem subdimensionados, pois num período chuvoso de sequência de chuvas, quando chega a chuva crítica o reservatório já estará em parte ocupado, reduzindo o volume disponível para amortecimento.

O critério utilizado nos Estados Unidos e Canadá tem sido o de simular uma série de anos de precipitações, reduzindo o erro das condições iniciais. Esta é uma alternativa pouco viável no Brasil devido à falta de dados de pluviógrafo disponível aos usuários, apesar de existirem. Sendo assim, o critério deve ser o de utilizar pelo menos 1 dia de duração, aumentando a duração para verificar se os volumes se alteram. Estabelecer uma distribuição temporal da chuva com o período crítico na parte final da duração. Outra forma é utilizar o conceito de incerteza e adotar uma distribuição estatística para distribuição temporal da chuva (este será um assunto no futuro).

Em resumo, é necessário determinar a curva Intensidade duração e frequência para o local, a distribuição temporal da chuva para um tempo de duração longo suficiente para que os reservatórios tenham testada a sua condição inicial. Também é necessário considerar a distribuição espacial para bacias maiores que 10 km².

Conforme visto, o risco de projeto adotado para o dimensionamento de redes de drenagem define a dimensão dos investimentos envolvidos e a segurança quanto às enchentes. A definição adequada do risco de projeto envolve um estudo de avaliação econômica e social dos impactos das enchentes. No entanto, na grande maioria dos casos, essa prática é inviável devido ao alto custo do próprio estudo e o prazo exíguo, normalmente imposto nesse tipo de análise. Assim, Tucci (2010) indica que em ruas de menor tráfego e com danos materiais o risco fica entre 5 e 10 anos. Para áreas de grande tráfego e maior prejuízo em horas perdidas e danos materiais o risco geralmente é da ordem de 25 anos e, quando existe risco maior, relacionados com a vida das pessoas pode ser de 50 a 100 anos. Dentro de uma visão econômica o tempo de retorno pode ser determinado onde a relação benefício/custo é ótima. Neste caso o benefício é a redução das enchentes. É comum encontrar este ótimo para 10 anos de tempo de recorrência.

Consequentemente, o risco de ocorrência de um evento de cheia é normalmente calculado com base na série histórica observada no local. Em projetos de drenagem em áreas urbanas, como há alterações no uso da bacia hidrográfica, o risco adotado refere-se à ocorrência de uma determinada precipitação, e não necessariamente da vazão resultante, que é consequência da precipitação em combinação com outros fatores da bacia hidrográfica.

Dessa forma, para fins de determinação dos hidrogramas de projeto de dimensionamento de redes de drenagem urbana, em geral, assume-se que os eventos de cheia possuem o mesmo período de recorrência da precipitação. Assim, foram considerados hidrogramas de projeto com 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos de período de recorrência para a obtenção dos hidrogramas de projeto. Já para dimensionamento de estruturas em nível de

gestão abordado neste Plano, será utilizado o risco de projeto de 10 anos com urbanização futura.

O Cenário Futuro de Ocupação do Solo, que será abordado em relatórios posteriores deste Plano, de acordo com Tucci (2003), é utilizado para fins de dimensionamento das medidas de controle do escoamento. Este é o cenário de uso de solo utilizado para avaliar os impactos que a população pode sofrer caso o processo de urbanização continue e nenhuma medida para o controle da impermeabilização e, conseqüentemente, do escoamento, seja implantada.

8.3 Escolha dos modelos de simulação

8.3.1 Modelo de simulação hidrológica

Para representar o processo de transformação chuva-vazão em sub-bacias com área superior a 2 km² é recomendada a utilização dos seguintes modelos hidrológicos: i) método do SCS (SCS/TR55, 1986) para a determinação da precipitação efetiva; ii) método do Hidrograma Unitário Sintético do SCS (HUS-SCS, 1957) para a propagação do escoamento superficial. Essas metodologias têm sido amplamente utilizadas no Brasil e no mundo, em vários estudos envolvendo o dimensionamento e verificação das redes de drenagem urbana.

Para a determinação da precipitação efetiva no SCS, é necessária a definição de um único parâmetro: o CN (*Curve Number*). O CN depende do tipo de solo, condições de uso, da umidade antecedente (AMC – *Antecedent Moisture Condition*) e ocupação do solo, refletindo, portanto, as condições de urbanização do local, já analisadas nas etapas anteriores.

Para a transformação da chuva em vazão, com o uso do Hidrograma Unitário Sintético do SCS, é necessário determinar apenas o tempo de concentração da bacia hidrográfica.

O tempo de concentração, que é uma característica de cada sub-bacia, será determinado conforme discretização apresentada no item 8.1. A equação utilizada para determinar o tempo de concentração foi apresentada por Schaake *et al.* (1967). A escolha desta equação foi apoiada em um trabalho (SILVEIRA, 2005) que analisou os resultados obtidos por meio da aplicação de diferentes equações para a estimativa do tempo de concentração. Considerou-se que a equação de Schaake forneceria as melhores estimativas do tempo de concentração para situações semelhantes às encontradas em Teresina. A equação de Schaake é dada por:

$$t_c = \frac{4,968 \cdot L^{0,24}}{S^{0,16} A_{imp}^{0,26}} \quad (12)$$

Onde: t_c é o tempo de concentração em minutos; L é o comprimento do talvegue em km; S é a declividade (m/m); A_{imp} é a fração de área impermeável.

No cálculo do tempo de concentração das sub-bacias foi utilizada toda a informação obtida a partir do processamento dos dados topográficos e de mapas. O mapa temático de áreas impermeáveis por sub-bacia de drenagem (em valores percentuais) é apresentado no Anexo 30.

Os valores de tempo de concentração calculados para cada sub-bacia são apresentados no Quadro 8.1.

Quadro 8.1. Valores do parâmetro tempo de concentração por sub-bacia de drenagem.

SUB-BACIA	ÁREA (km ²)	Tc (min)
PE01	1,634	18,28
PE02	0,999	14,25
PE03	3,291	16,27
PE04	1,452	13,71
PE05	2,604	16,56
PE06	1,458	13,04
PE07	1,574	13,79

SUB-BACIA	ÁREA (km ²)	Tc (min)
PE08	1,805	13,91
PE09	2,212	14,75
PE10	0,710	12,79
PE11	2,559	15,53
PE12	1,171	13,73
PE13	1,345	11,74
PE14	1,089	13,47

SUB-BACIA	ÁREA (km²)	Tc (min)
PE15	1,467	14,99
PE16	0,894	14,08
PE17	0,309	11,82
PE18	1,043	11,87
PE19	0,819	9,81
PE20	0,773	11,82
PE21	0,801	16,11
PE22	0,478	12,39
PE23	0,478	14,46
PE24	1,889	16,17
PE25	0,338	15,11
PE26	2,051	18,11
PE27	2,831	15,54
PE28	2,918	16,16
PE29	3,652	15,31
PE30	2,222	15,09
PE31	10,386	19,19
PE32	0,729	15,25
MOC	2,046	
PD01	1,404	11,67
PD02	2,496	14,55
PD03	47,837	25,90
PD04	2,368	13,99
PD05	2,166	14,98
PD06	5,396	14,54
PD07	59,107	23,06
PD08	3,775	14,98
PD09	2,302	14,20
PD10	2,388	14,82
PD11	89,828	29,12
PD12	5,381	14,83

SUB-BACIA	ÁREA (km²)	Tc (min)
PD13	2,237	15,82
PD14	4,250	16,89
PD15	13,145	18,79
PD16	5,034	15,66
P01	9,075	20,11
P02	1,412	14,41
P03	5,325	16,97
P04	1,949	13,62
P05	2,120	14,96
P06	2,230	14,21
P07	2,658	13,37
P08	1,529	13,15
P09	3,774	14,78
P10	2,469	13,84
P11	2,386	14,62
P12	1,990	14,79
P13	2,391	14,29
P14	1,685	12,70
P15	1,127	14,80
P16	3,630	17,35
P17	8,120	16,56
P18	4,079	16,17
P19	9,061	16,87
P20	3,505	16,25
LDN	10,527	

Portanto, com relação aos parâmetros necessários para a modelagem hidrológica, junto com o valor do tempo de concentração é necessário o valor do parâmetro Curva Número ou simplesmente CN. O valor do CN foi estabelecido para cada sub-bacia hidrográfica para o cenário de urbanização atual, a partir de metodologia já detalhada neste relatório e descrita brevemente no próximo item para melhor entendimento.

Outro critério a ser definido, diz respeito à duração da chuva de projeto. Foram gerados hietogramas para chuvas com duração, no mínimo, uma vez e meia maior que o tempo de concentração da bacia analisada. No entanto, conforme Tucci (2010), quando o projeto envolve reservatórios, detenções ou outro nome utilizado para um ou mais reservatórios em uma bacia não pode ser utilizado o tempo de duração da chuva igual ao tempo de concentração, erro comum dos projetistas no Brasil. O indicado pelo mencionado autor foi corroborado pelos resultados obtidos no Distrito Federal (CONCREMAT, 2009), os quais indicaram que a análise utilizando a chuva de 24 horas de duração é a melhor opção para avaliar estruturas de armazenamento de água. Desta forma, foram utilizadas chuvas de projeto com duração de 24 horas em Teresina.

O intervalo de tempo considerado para a discretização da chuva de projeto foi determinado em função do menor tempo de concentração encontrado para as sub-bacias. Foi considerado um intervalo de tempo aproximadamente igual a um quinto do menor tempo de concentração, a saber, 2 minutos, garantindo, assim, que o hidrograma gerado possua informações antes que decorra o tempo de concentração na menor das sub-bacias e eventuais subdivisões posteriores.

Os hietogramas de projeto foram obtidos a partir da equação IDF (equação 11) determinada para Teresina, cuja metodologia e resultados foram anteriormente apresentados neste relatório, no item 7.2. A seguir são apresentados os hietogramas obtidos para os tempos de retorno considerados (Figura 8.2 a Figura 8.7).

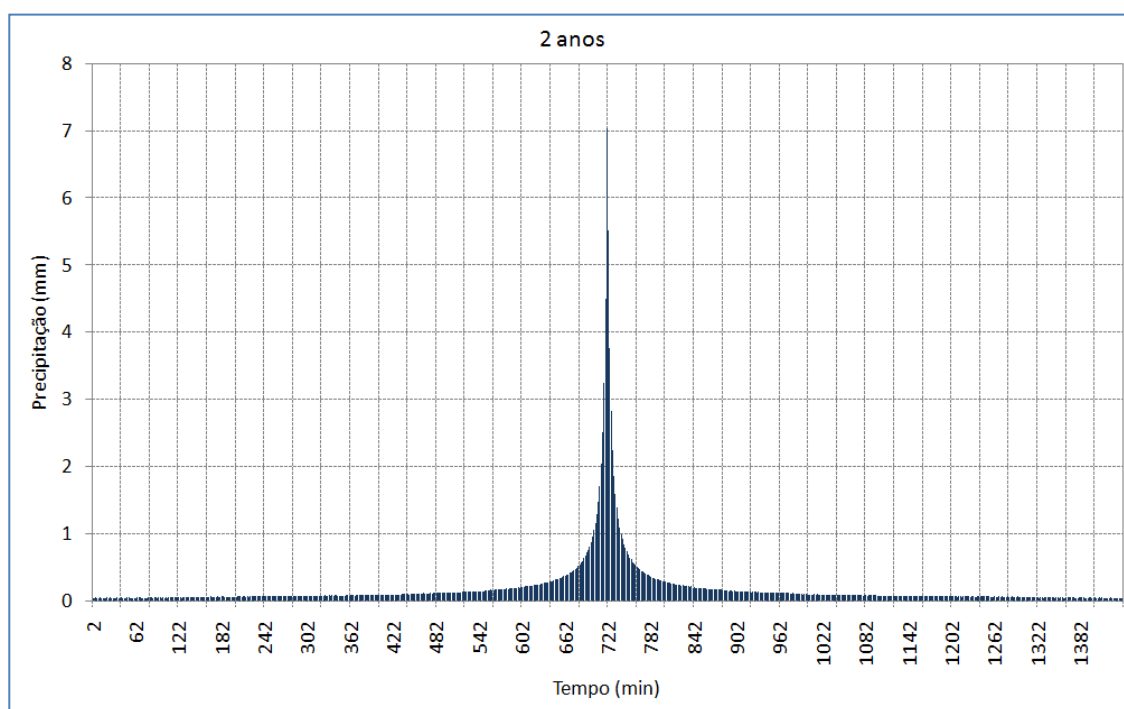


Figura 8.2. Hietograma de projeto de Teresina para o tempo de retorno de 2 anos.

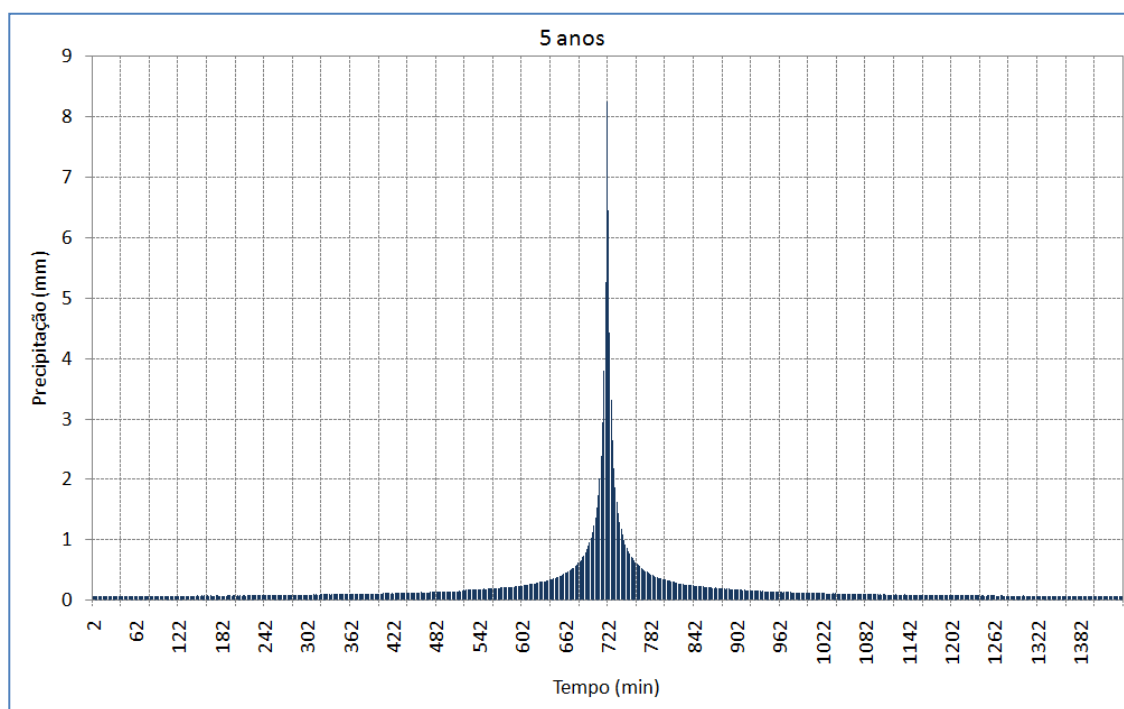


Figura 8.3. Hietograma de projeto de Teresina para o tempo de retorno de 5 anos.

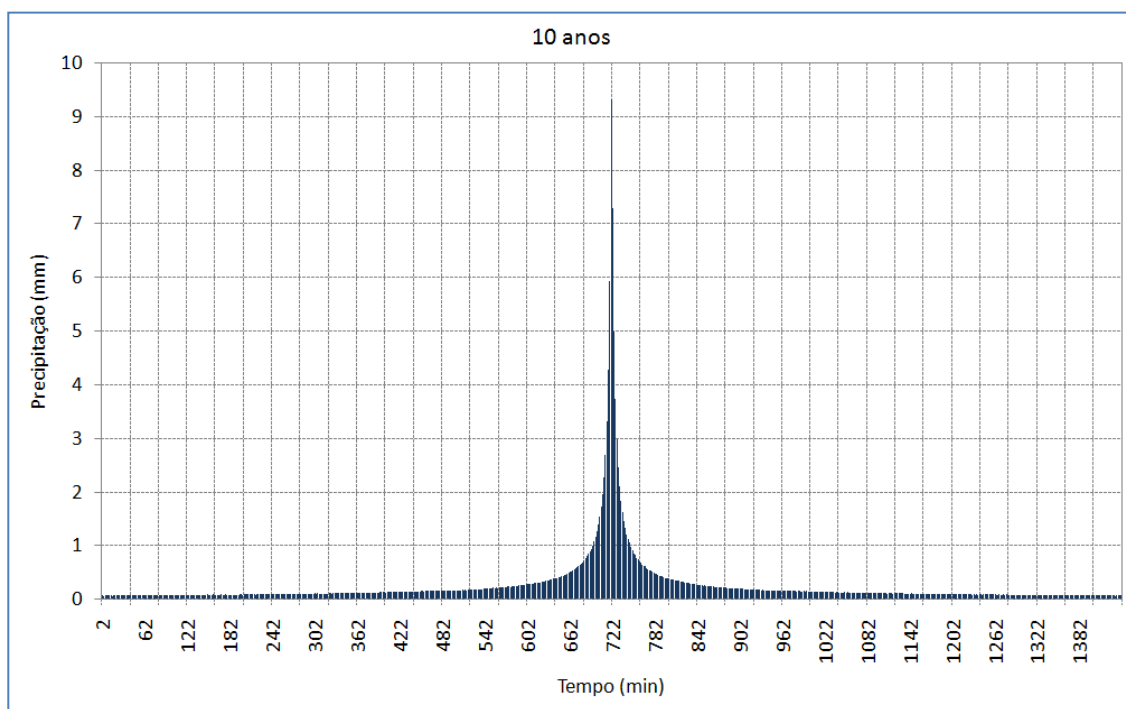


Figura 8.4. Hietograma de projeto de Teresina para o tempo de retorno de 10 anos.

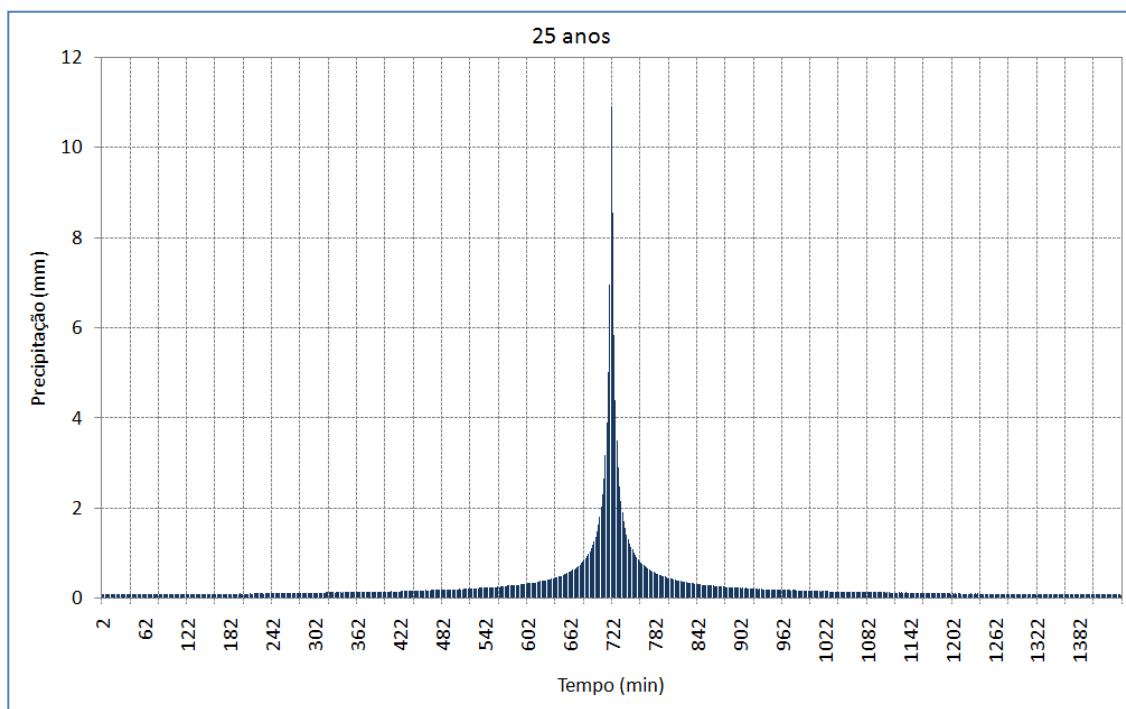


Figura 8.5. Hietograma de projeto de Teresina para o tempo de retorno de 25 anos.

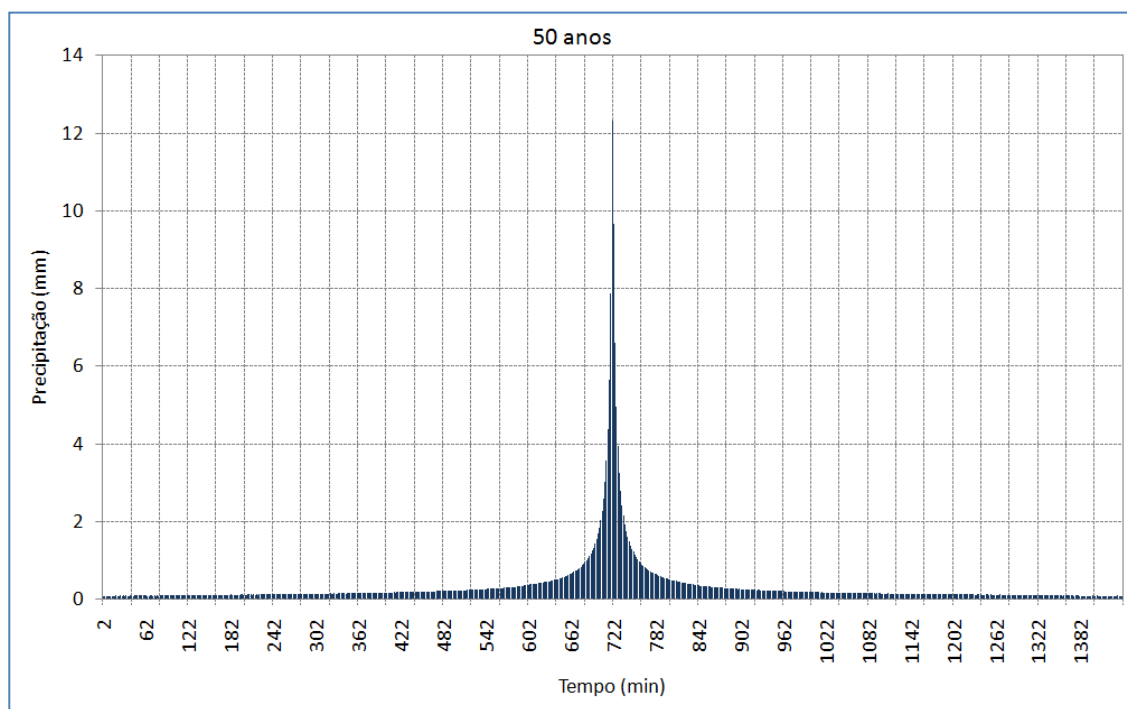


Figura 8.6. Hietograma de projeto de Teresina para o tempo de retorno de 50 anos.

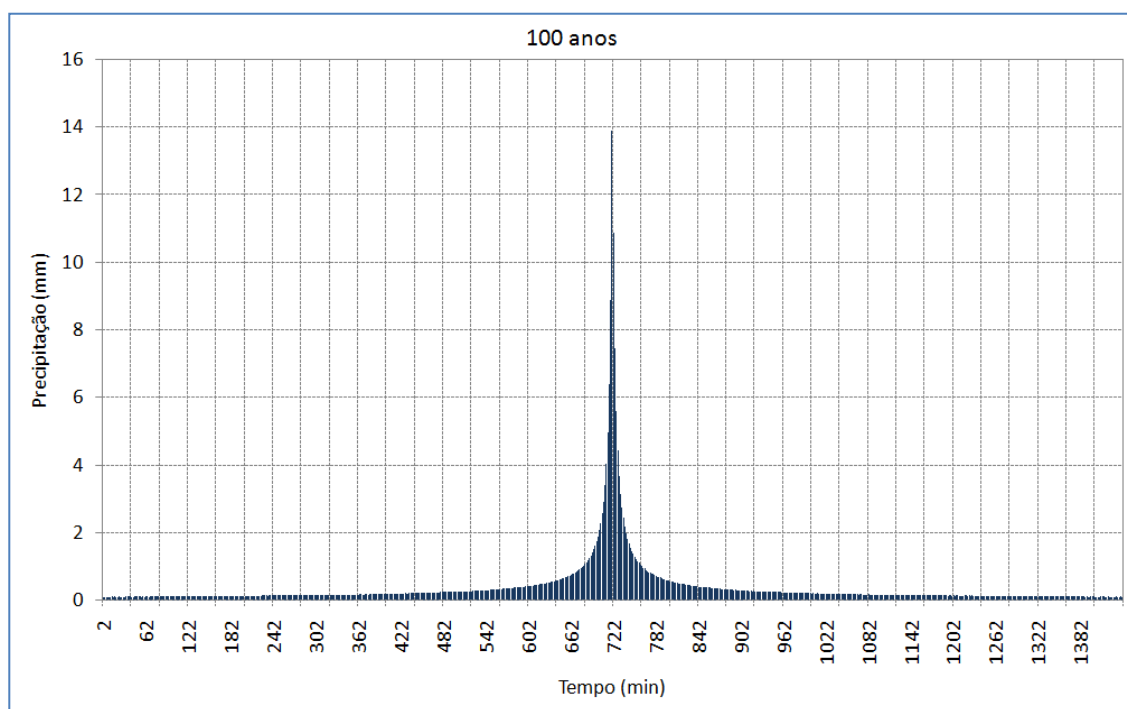


Figura 8.7. Hietograma de projeto de Teresina para o tempo de retorno de 100 anos.

8.3.2 Modelo de simulação hidráulica

O modelo hidrodinâmico do HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*) (USACE, 2008) é o escolhido para a melhor representação e avaliação das condições hidráulicas dos rios Poti e Parnaíba, nos trechos urbanos desses cursos d'água. Trata-se de um programa de uso público e gratuito, desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos.

As principais razões para a utilização desse *software* na calha principal dos cursos d'água urbanos são as seguintes:

- O modelo HEC-RAS tem sido amplamente utilizado na modelagem hidráulica de rios e canais sendo, atualmente, o aplicativo preferido pela maioria dos engenheiros que trabalha nessa área;
- O módulo hidrodinâmico do programa HEC-RAS resolve as equações completas de Saint Venant usando um esquema implícito de quatro pontos de Preismann de diferenças finitas (CUNGE *et al.*, 1980), o que confere maior credibilidade aos resultados obtidos na simulação;
- É possível uma representação bem detalhada das seções compostas e pelas planícies de inundação. O coeficiente de Manning pode apresentar valores diferentes na calha e nas planícies ou variar na seção com base na cota;
- Permite introduzir obstruções nas seções transversais, como por exemplo, prédios sobre as planícies de inundação, favorecendo a correta delimitação das manchas de inundação. As planícies de inundação podem ser representadas por dados de levantamento de campo ou por dados extraídos automaticamente do SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission* - NASA);
- Permite definir regras de operação complexas em estações de bombeamento e outras estruturas especiais. Essas regras incluem a entrada ou saída de funcionamento de bombas em função da hora do dia, dos níveis de seções localizadas a montante ou jusante da estação de bombeamento, da vazão, etc.;

- Permite a representação detalhada de pontes e outras estruturas que existem ao longo da calha dos cursos d'água;
- Possibilidade de representação de áreas inefetivas. As áreas inefetivas são parte das seções transversais onde a água fica praticamente parada, como por exemplo, acontece nas cabeceiras das pontes ou quando as planícies de inundação apresentam pontos mais baixos que a margem da calha principal do arroio. Assim, quando existe extravasamento, a água pode ficar estancada gerando pequenas áreas de armazenamento. Nesses casos, o programa HEC-RAS considera que a água na parte da seção transversal definida como área inefetiva tem velocidade igual à zero (sem *conveyance*) e, embora participe no cálculo do armazenamento nos trechos, não é considerada como parte da área ativa ao escoamento;
- O HEC-RAS pode gerar seções transversais localizadas entre duas seções transversais, através de um processo de interpolação. As seções interpoladas podem estar equidistantes ou podem ser definidas em distâncias específicas. Isso favorece tanto a representação dos resultados, dado que podem ser gerados resultados em pontos onde não existem seções medidas, como à estabilidade numérica da solução;
- Análise de modificações nos canais. Essa ferramenta permite estimar o efeito que mudanças nas características das seções transversais podem causar sobre as vazões e níveis da água. Isso permite, por exemplo, estimar na situação atual de diagnóstico o efeito dos processos de limpeza e extração de sedimentos, favorecendo determinação de pontos críticos;
- Facilidade de representação visual dos resultados e intercâmbio de informação com software GIS, que outros modelos não apresentam;
- Apresentação de manchas de inundação em desenhos 3D;
- Os resultados do programa HEC-RAS podem ser exportados para o ArcView® 9.2 permitindo a utilização de todas as ferramentas de geoprocessamento e de apresentação gráfica disponíveis nesse aplicativo;

- O software ArcView® 9.2 pode ser utilizado para gerar os dados de entrada ao programa HEC-RAS, permitindo a extração automática de informações;

Como desvantagens do uso do HEC-RAS, pode-se citar que, embora o módulo hidrodinâmico (unicamente na versão 4) possa modelar condutos fechados sob pressão, ele encontra-se em processo de aprimoramento e não tem, atualmente, a capacidade de representar perdas localizadas. No entanto, como a aplicação do HEC-RAS será apenas nos grandes cursos d'água a céu aberto, essa limitação não afeta a qualidade dos resultados.

Os resultados da aplicação deste modelo nos rios Parnaíba e Poti são apresentados de forma detalhada no item 9.5 deste relatório.

8.4 Hidrogramas de projeto – Cenário Diagnóstico

Visto que os hidrogramas de projeto são um reflexo do tipo e grau de impermeabilização do solo, os parâmetros necessários à simulação hidrológica chuva-vazão foram obtidos em função do cenário de ocupação do solo.

O cenário atual de ocupação do solo foi avaliado mediante levantamento de campo, análise e processamento complementar com imagem do satélite, e outras informações levantadas na Etapa 1 deste Plano.

Para a determinação do valor do parâmetro CN do método do SCS, além do tipo de ocupação do solo, são necessárias as características do solo (atividade realizada na etapa 1) e condições de umidade antecedente do solo (critério de projeto). O SCS fornece tabelas ou equações (Figura 8.8) para a obtenção do CN em áreas urbanas, onde é necessário identificar o tipo de solo e o percentual de impermeabilização do solo.

A condição de umidade antecedente adotada foi a Condição II, que consiste na situação média na época das cheias: considera que as chuvas nos últimos 5 dias totalizaram entre 15 e 40 mm (TUCCI, 1993). Esta condição é a normalmente utilizada em projetos de macrodrenagem no mundo todo.

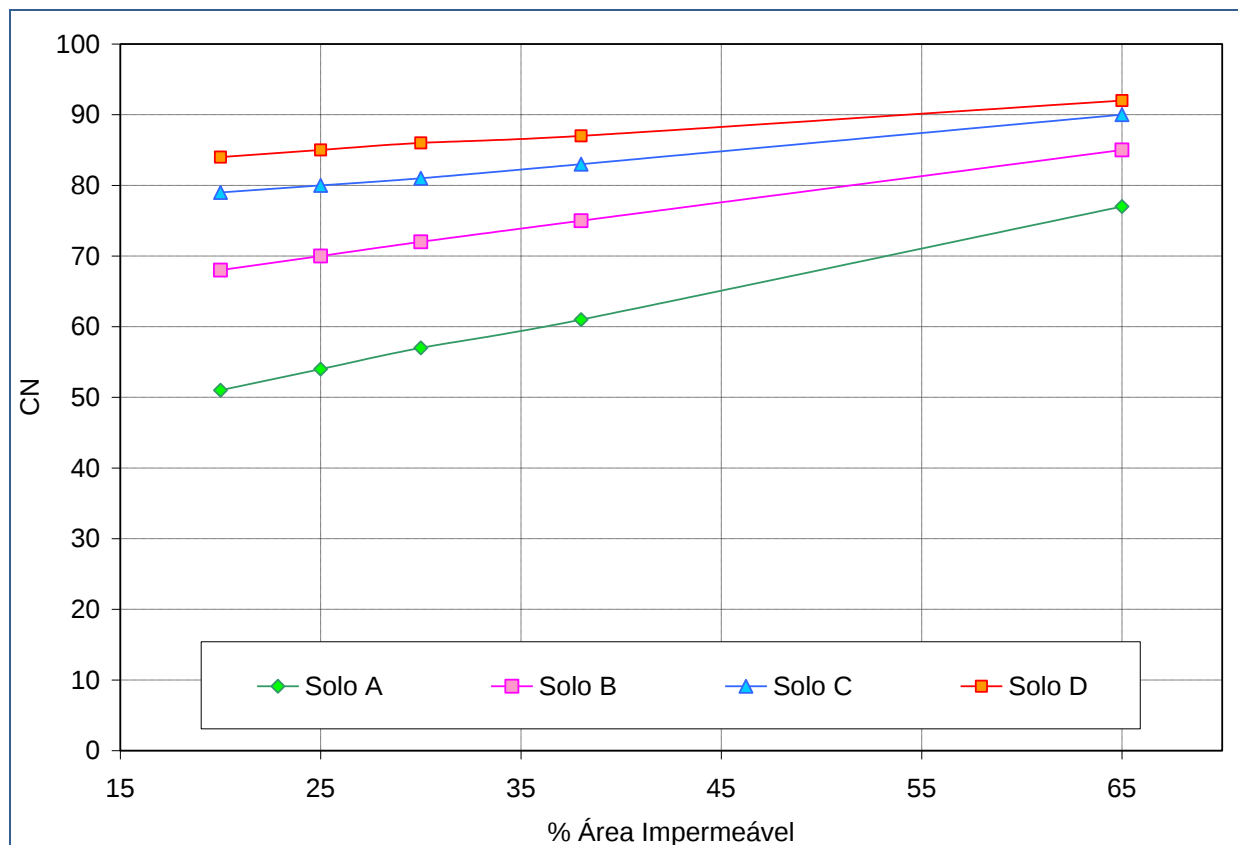


Figura 8.8. Relações CN x Área Impermeável para os grupos de solo do SCS (Adaptado: SCS, 1957).

Uma vez que todos os elementos necessários à determinação do CN foram definidos, o procedimento realizado, de forma a determinar o CN para cada sub-bacia, consistiu no cruzamento do mapa de tipo e uso do solo. Visto que em uma mesma sub-bacia podem coexistir mais de um tipo de solo e diferentes usos, esse cruzamento é realizado de forma a fornecer um valor de CN médio ponderado, considerando a área de influência do solo com relação à área do uso correspondente. Após a determinação do CN médio para cada sub-bacia, o mesmo foi corrigido para a condição de umidade antecedente adotada.

O mapa do parâmetro CN para as sub-bacias urbanas de Teresina é apresentado no Anexo 31. Os valores médios ponderados determinados para cada sub-bacia urbana são apresentados no Quadro 8.2.

Quadro 8.2. Valores médios do parâmetro CN por sub-bacia de drenagem.

SUB-BACIA	ÁREA (km ²)	PERÍMETRO (m)	CN	SUB-BACIA	ÁREA (km ²)	PERÍMETRO (m)	CN
PE01	1,634	7999,94	84,3	PE31	10,386	14481,30	76,2
PE02	0,999	4218,48	75,8	PE32	0,729	5665,43	81,7
PE03	3,291	7993,77	81,2	MOC	2,046	6415,38	87,0
PE04	1,452	5278,07	80,5	PD01	1,404	6138,89	81,2
PE05	2,604	8321,34	80,1	PD02	2,496	7302,73	79,8
PE06	1,458	6052,55	79,4	PD03	47,837	34712,40	76,3
PE07	1,574	5851,49	86,8	PD04	2,368	6884,83	72,0
PE08	1,805	6014,65	87,2	PD05	2,166	7139,36	77,3
PE09	2,212	6740,51	87,9	PD06	5,396	10472,80	85,0
PE10	0,710	4163,64	80,0	PD07	59,107	37202,50	84,6
PE11	2,559	6902,74	87,2	PD08	3,775	8466,90	81,4
PE12	1,171	4793,75	86,9	PD09	2,302	6999,65	79,1
PE13	1,345	4640,28	89,1	PD10	2,388	8350,76	85,5
PE14	1,089	4271,46	87,4	PD11	89,828	58693,90	77,4
PE15	1,467	6052,37	88,1	PD12	5,381	13537,80	87,3
PE16	0,894	4386,93	88,2	PD13	2,237	7574,85	76,8
PE17	0,309	2911,93	87,8	PD14	4,250	9828,34	87,2
PE18	1,043	4554,08	85,9	PD15	13,145	16004,00	77,6
PE19	0,819	3956,90	79,9	PD16	5,034	10812,40	79,4
PE20	0,773	3816,49	83,2	P01	9,075	13932,00	78,6
PE21	0,801	3919,87	74,1	P02	1,412	5116,13	88,0
PE22	0,478	2875,63	72,0	P03	5,325	12177,50	88,8
PE23	0,478	2795,64	72,0	P04	1,949	6135,23	83,0
PE24	1,889	6108,75	72,5	P05	2,120	8191,56	86,5
PE25	0,338	4513,61	72,7	P06	2,230	8090,85	88,6
PE26	2,051	8759,78	81,4	P07	2,658	7601,80	84,7
PE27	2,831	7826,76	76,4	P08	1,529	7146,05	84,5
PE28	2,918	7136,82	72,2	P09	3,774	8393,44	82,7
PE29	3,652	8259,66	76,5	P10	2,469	6838,86	90,3
PE30	2,222	6580,51	75,1	P11	2,386	7157,89	90,7

SUB-BACIA	ÁREA (km ²)	PERÍMETRO (m)	CN	SUB-BACIA	ÁREA (km ²)	PERÍMETRO (m)	CN
P12	1,990	6462,23	90,5	P17	8,120	14057,00	83,2
P13	2,391	6889,70	90,9	P18	4,079	10724,20	84,1
P14	1,685	5422,52	89,8	P19	9,061	13918,90	83,2
P15	1,127	5963,07	87,2	P20	3,505	10479,60	83,9
P16	3,630	7847,01	91,0	LDN	10,527	16350,30	84,0

Os hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico consistem em hidrógrafas, que representam a evolução da onda de cheia ao longo do tempo, estabelecidos para cada sub-bacia. A seguir, são apresentados os hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico para cada uma das sub-bacias da área urbana de Teresina

8.4.1 *Macrobacia da margem direita do rio Poti*

Na área urbana de Teresina, a bacia que drena em direção à margem direita do rio Poti foi discretizada em 16 sub-bacias. Para cada uma dessas sub-bacias foram estabelecidos os hidrogramas para o cenário de diagnóstico, frente a chuvas com períodos de recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Estes hidrogramas são apresentados por sub-bacias a seguir.

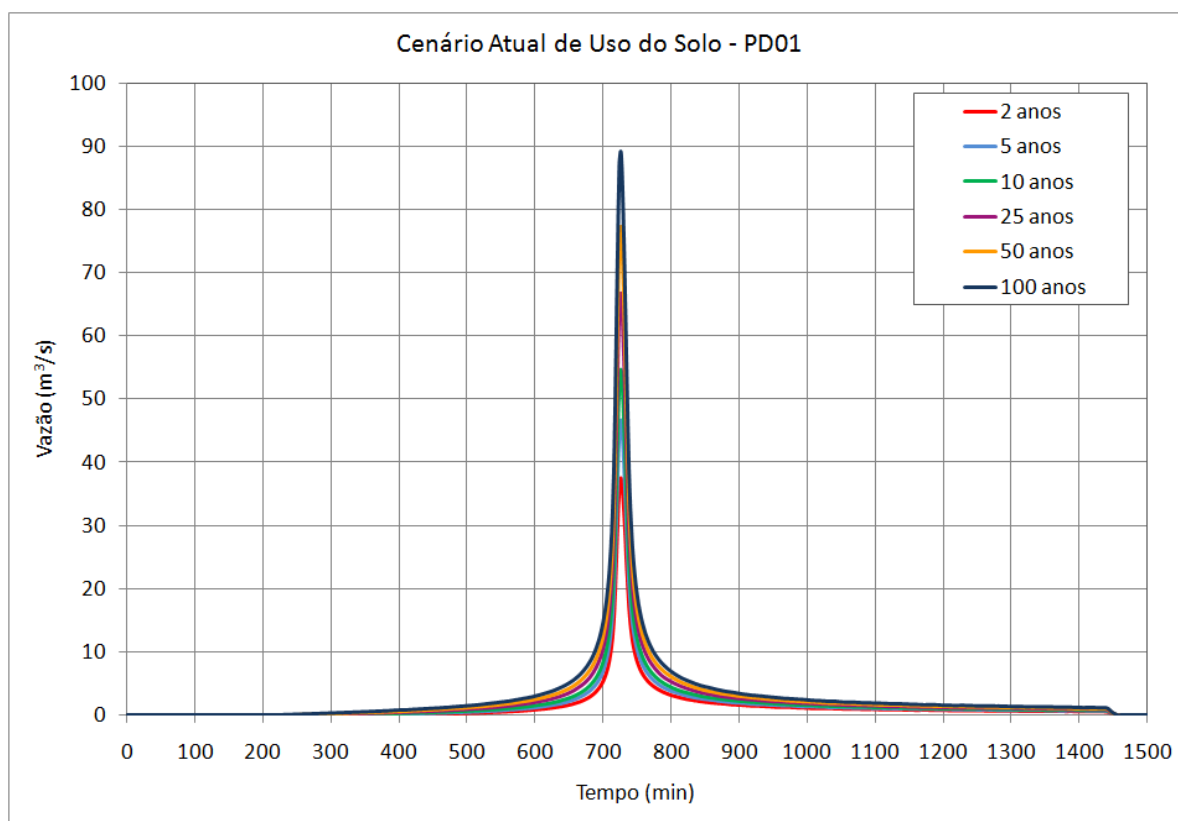


Figura 8.9. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD01.

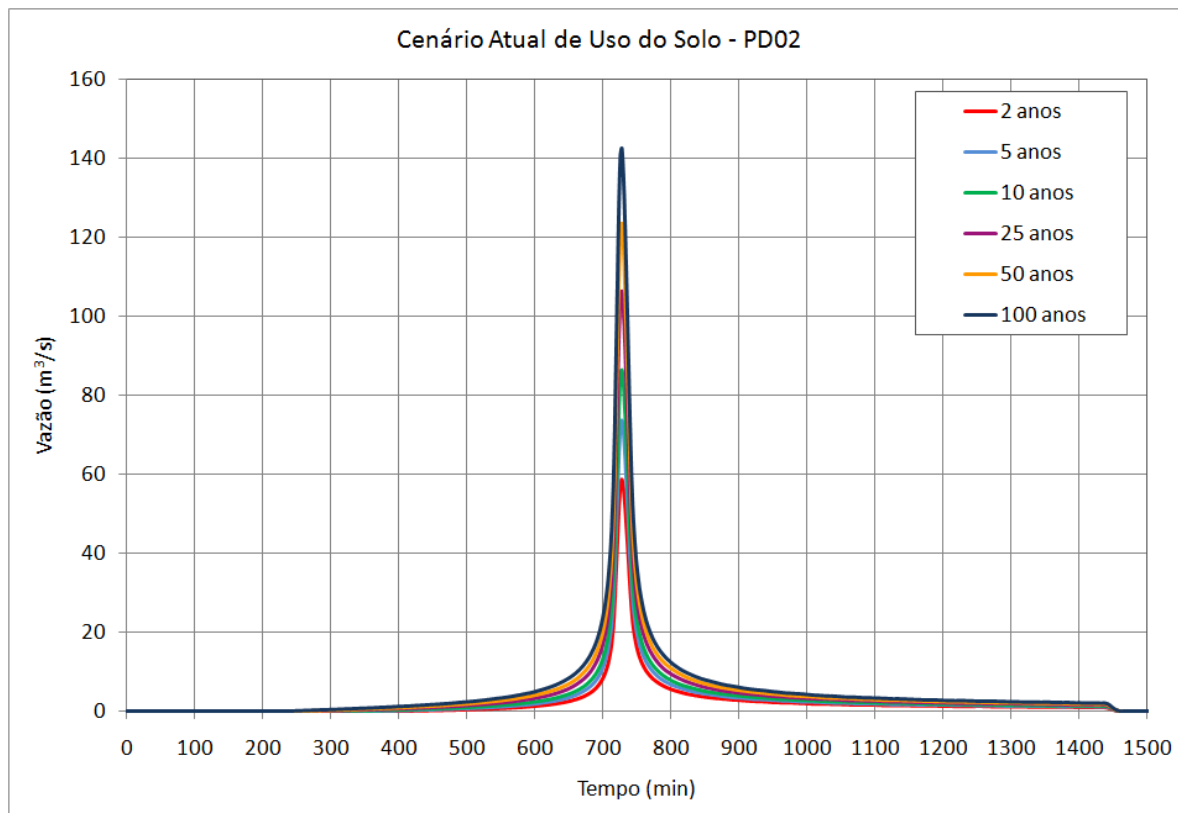


Figura 8.10. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD02.

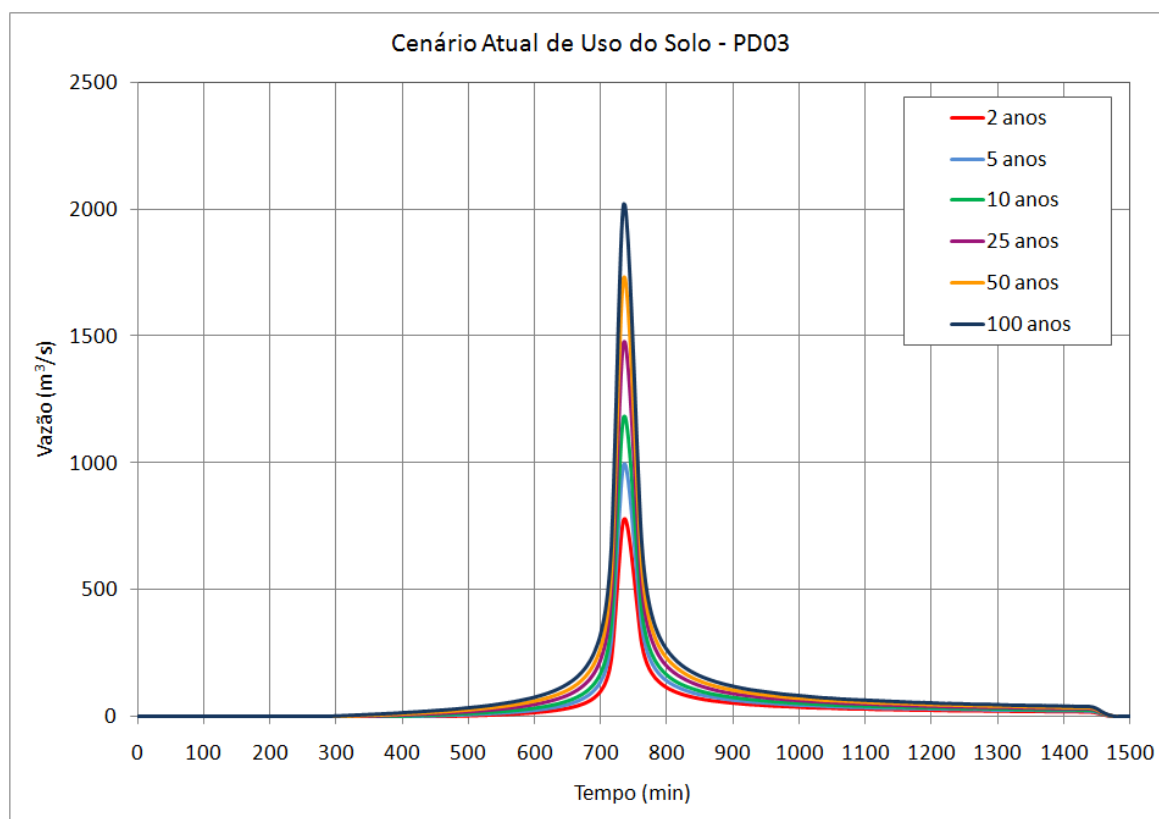


Figura 8.11. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD03.

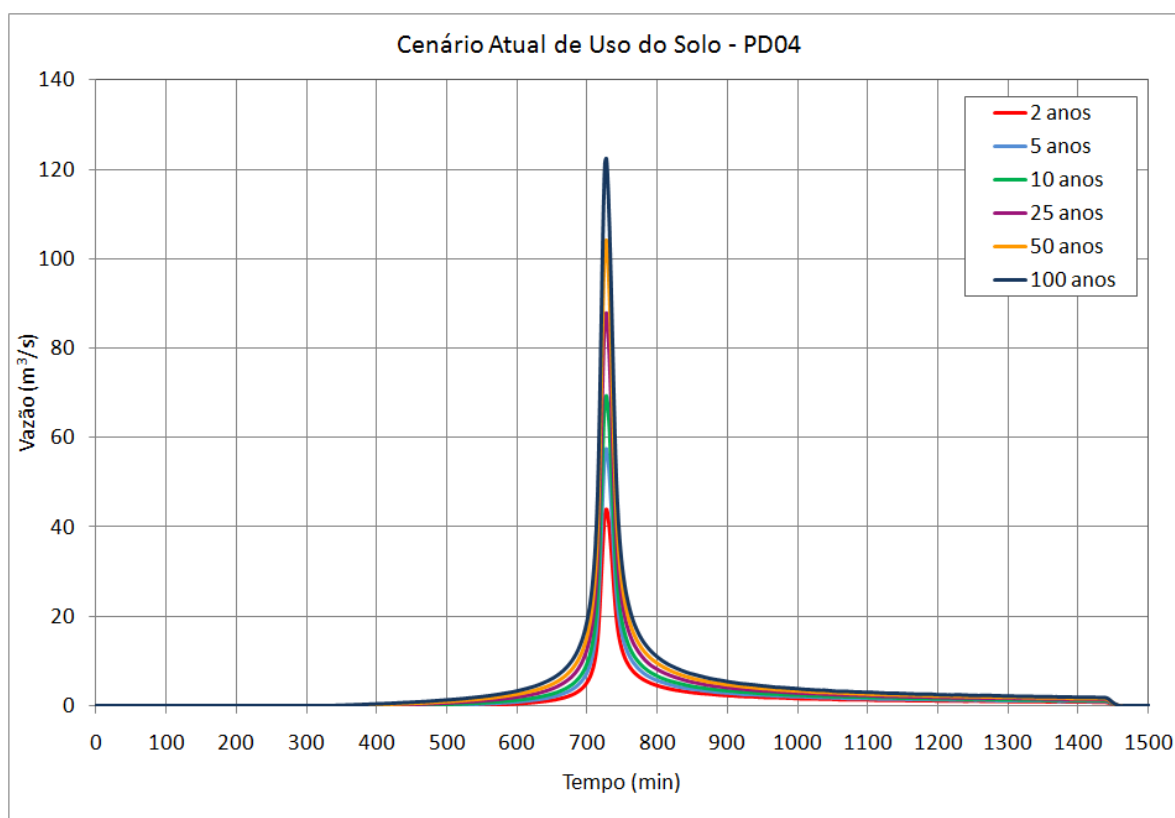


Figura 8.12. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD04.

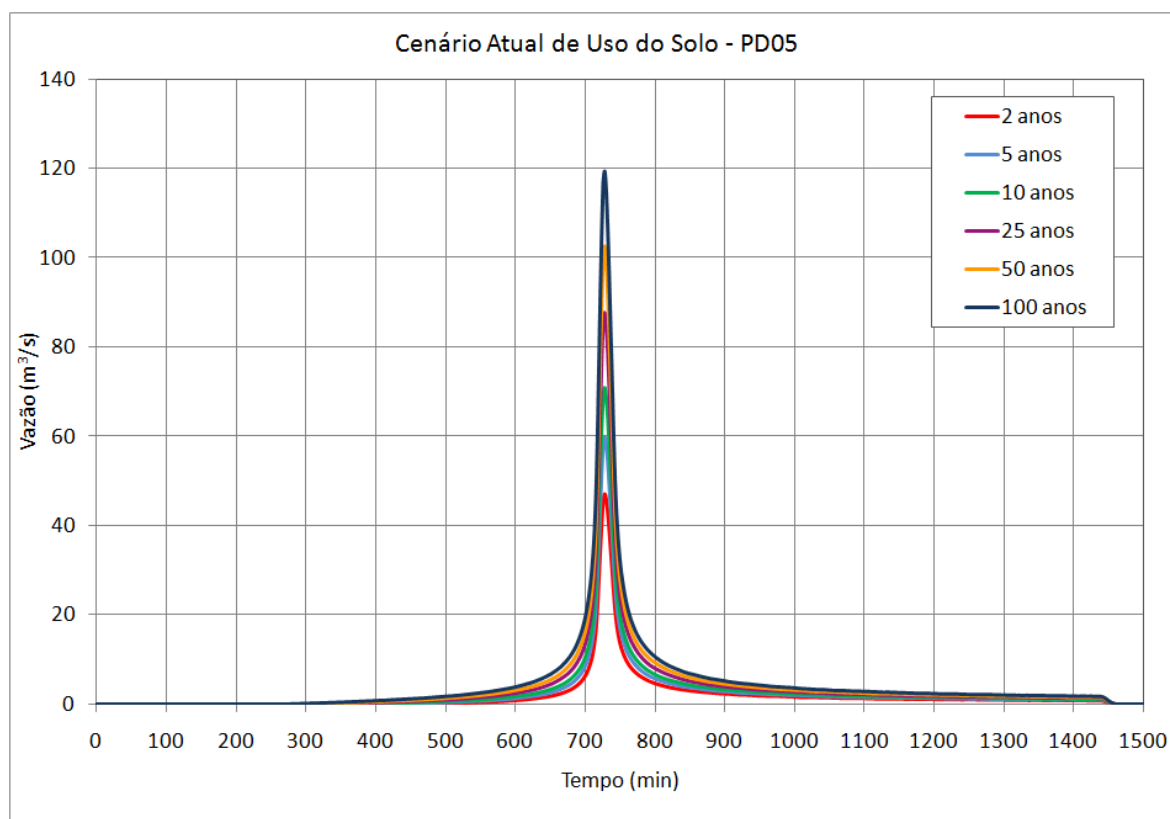


Figura 8.13. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD05.

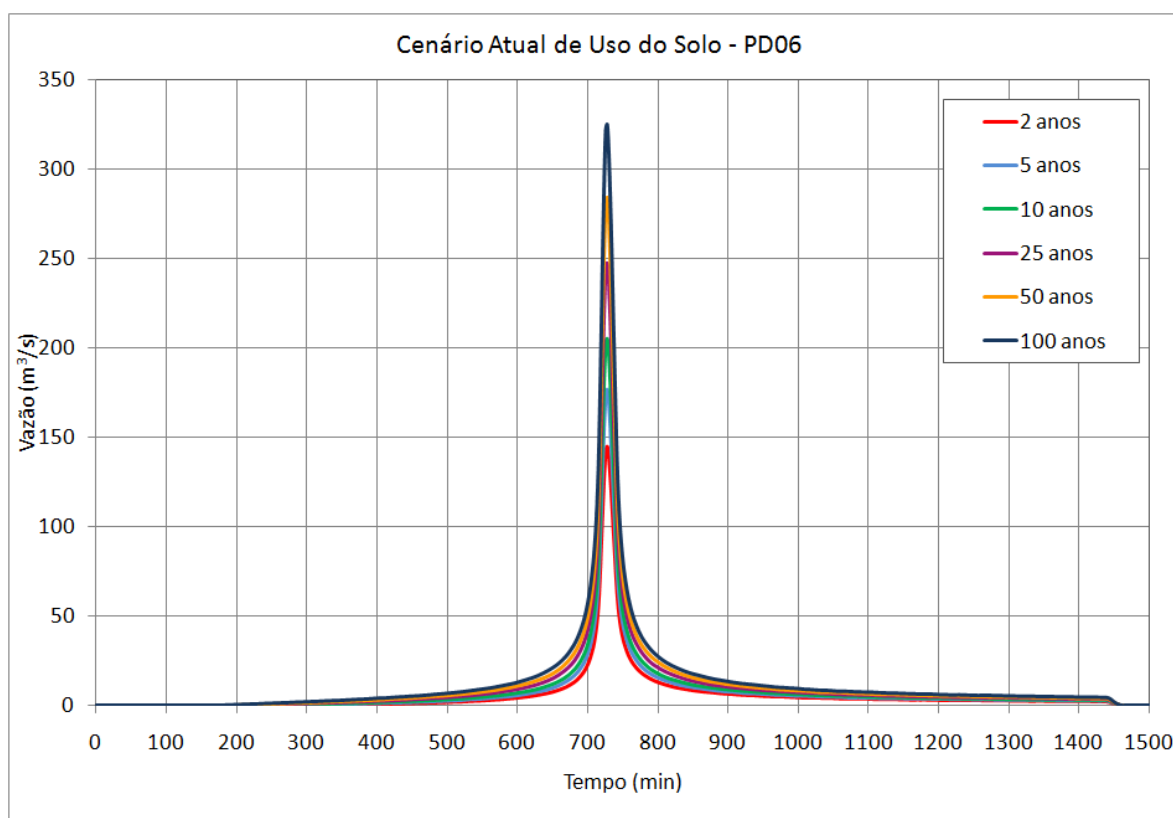


Figura 8.14. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD06.

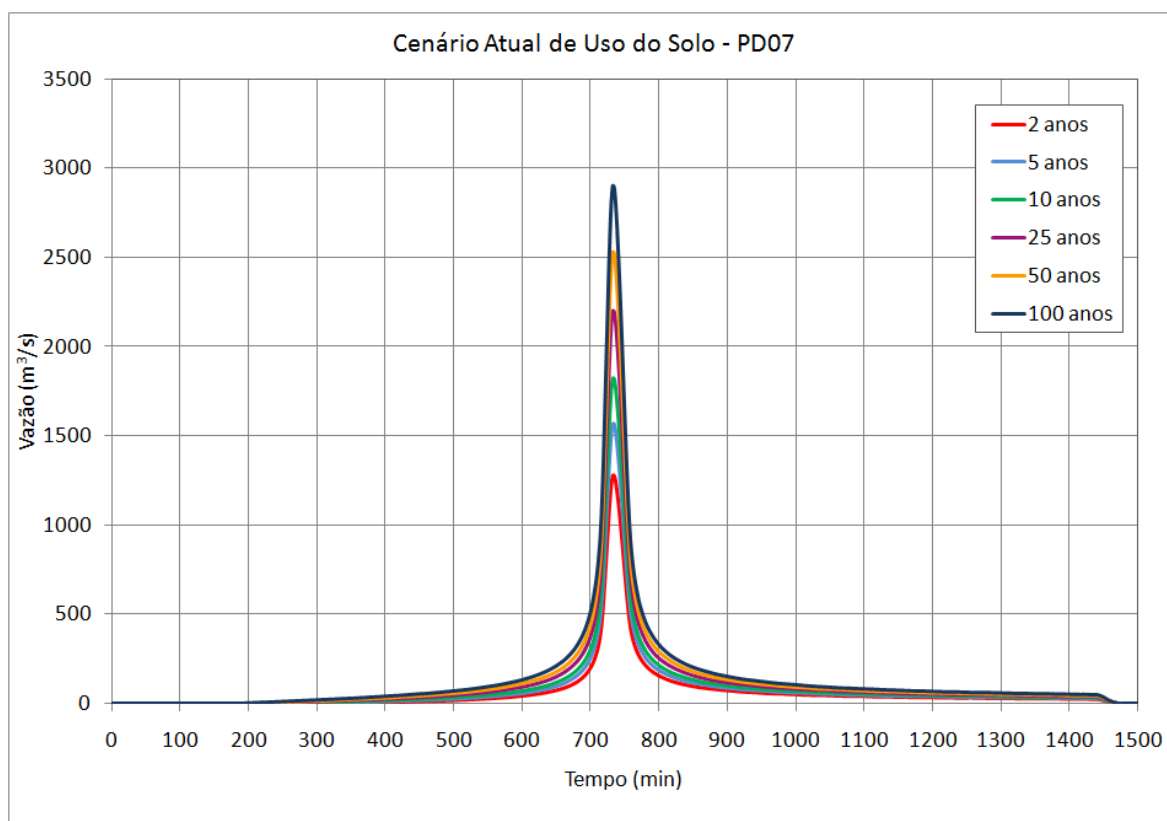


Figura 8.15. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD07.

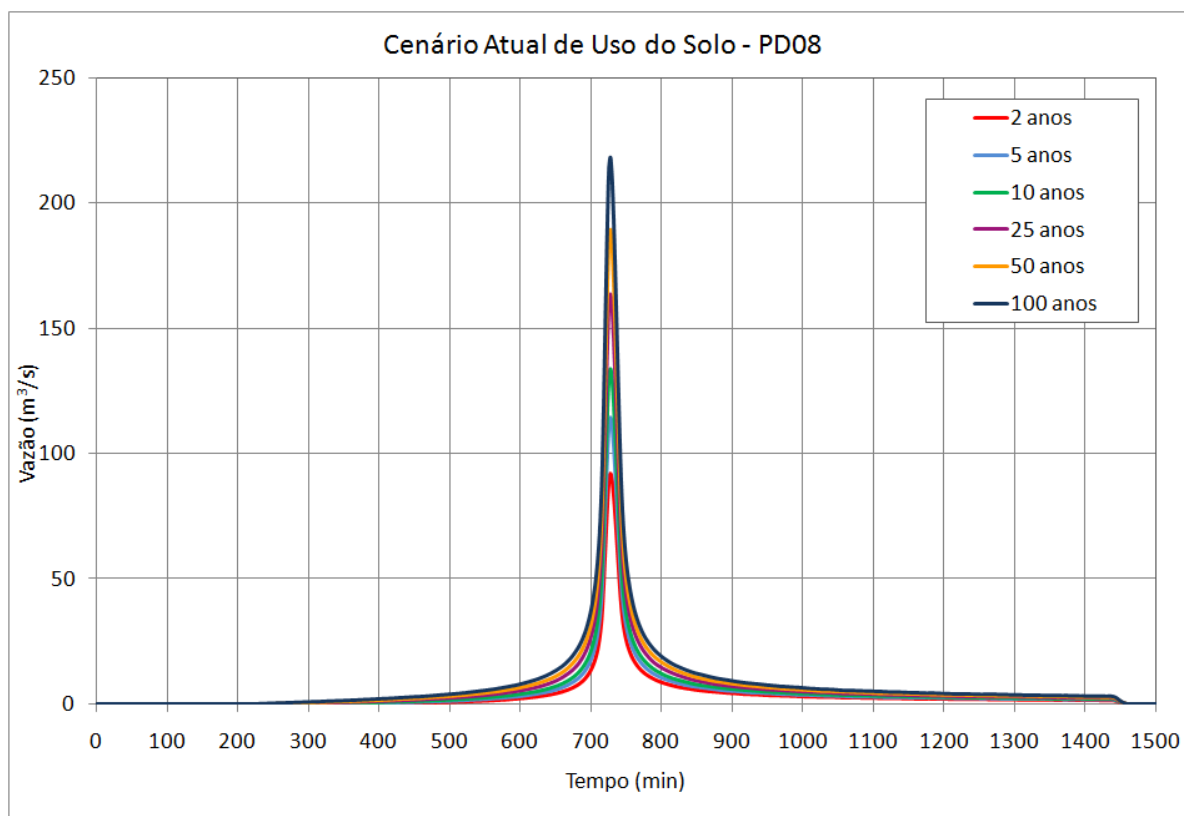


Figura 8.16. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD08.

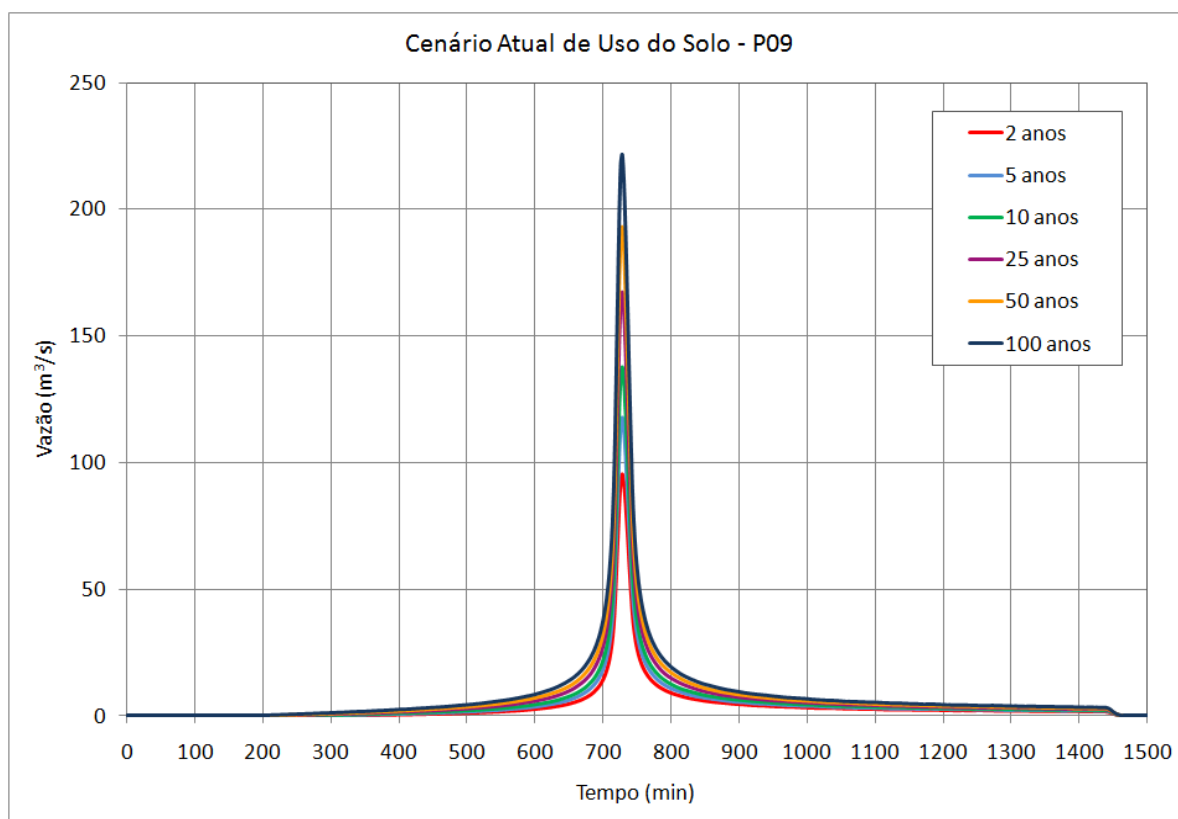


Figura 8.17. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD09.

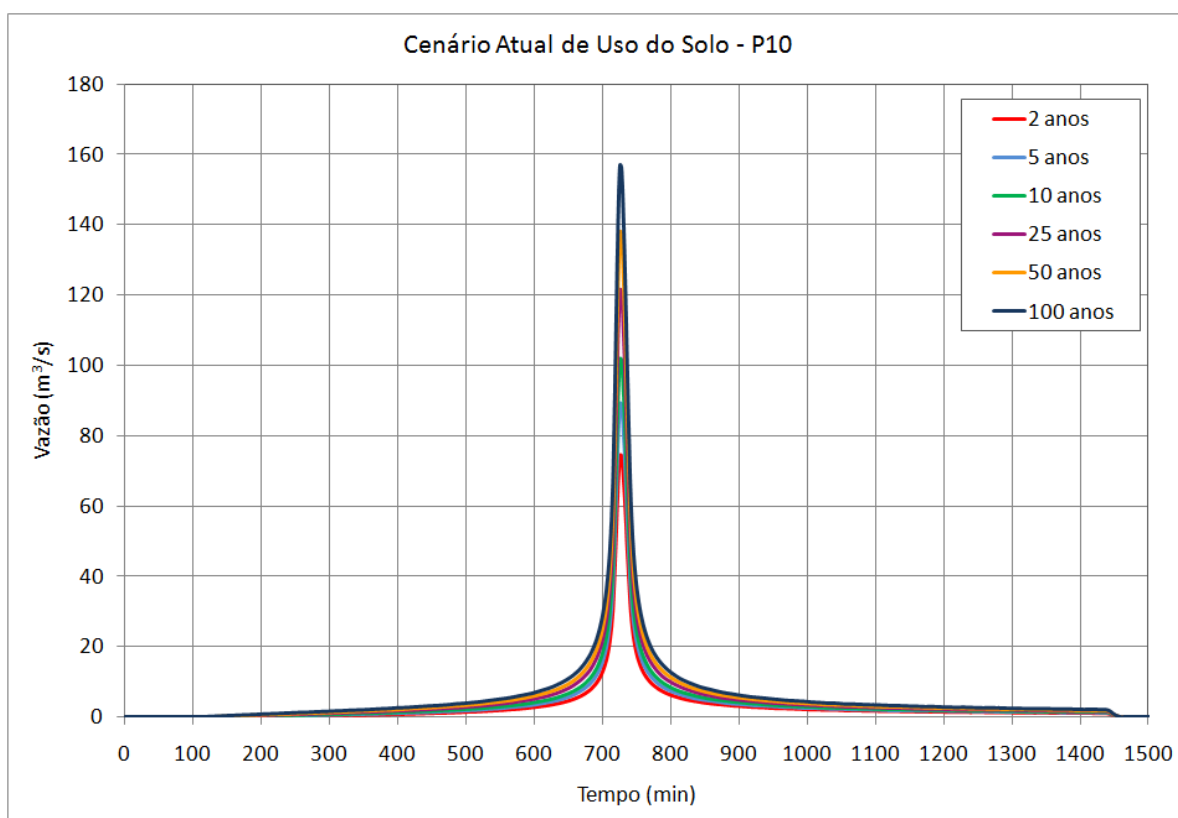


Figura 8.18. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD10.

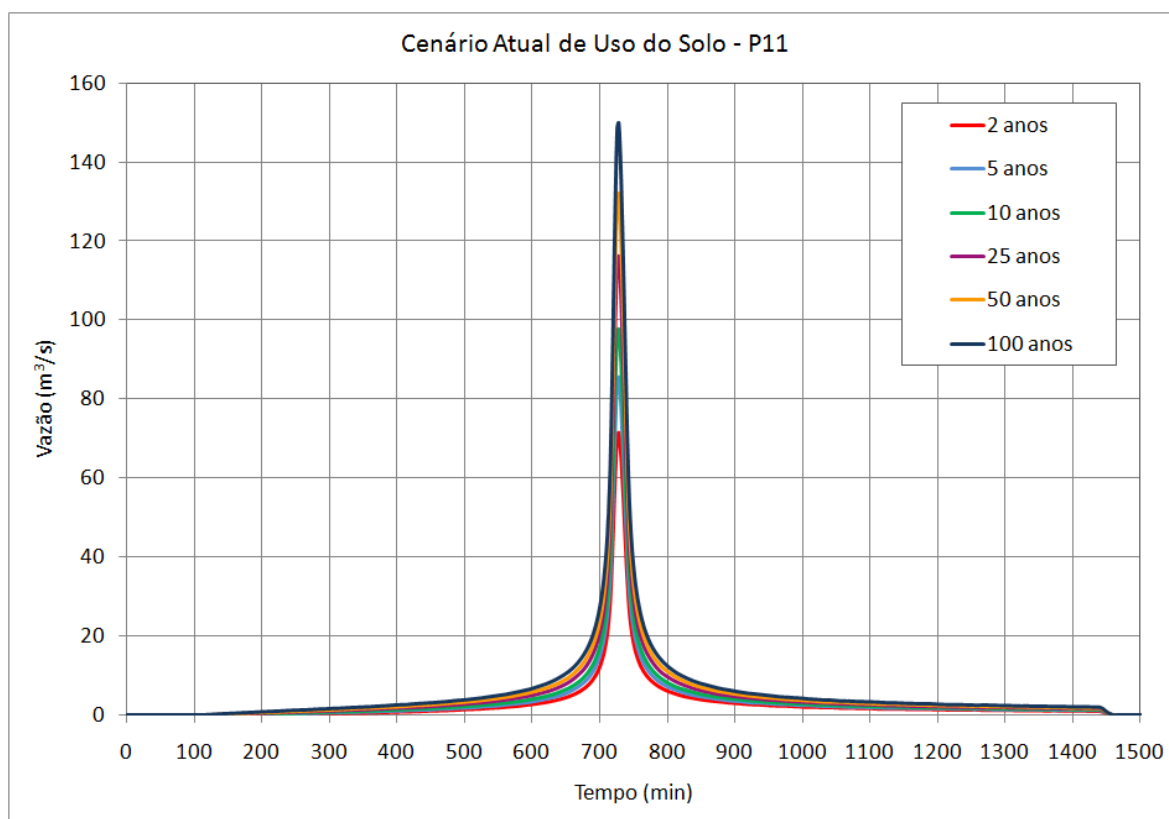


Figura 8.19. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD11.

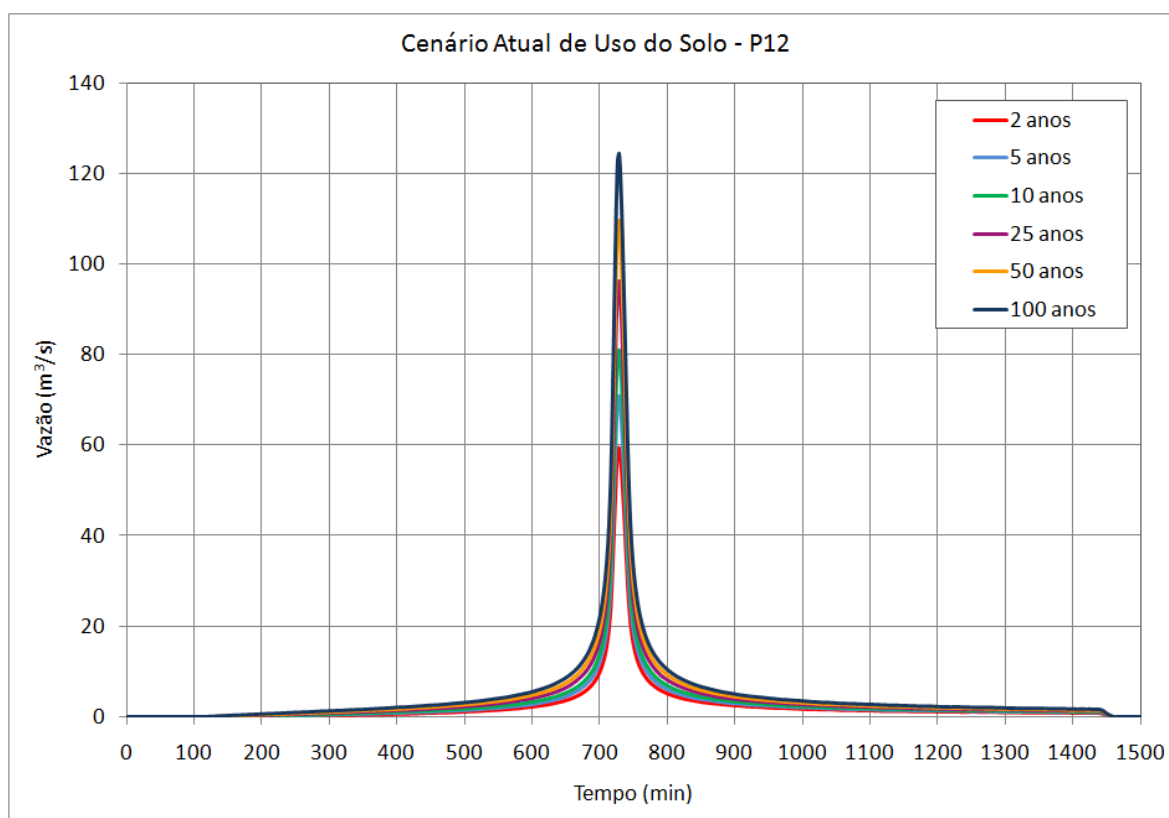


Figura 8.20. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD12.

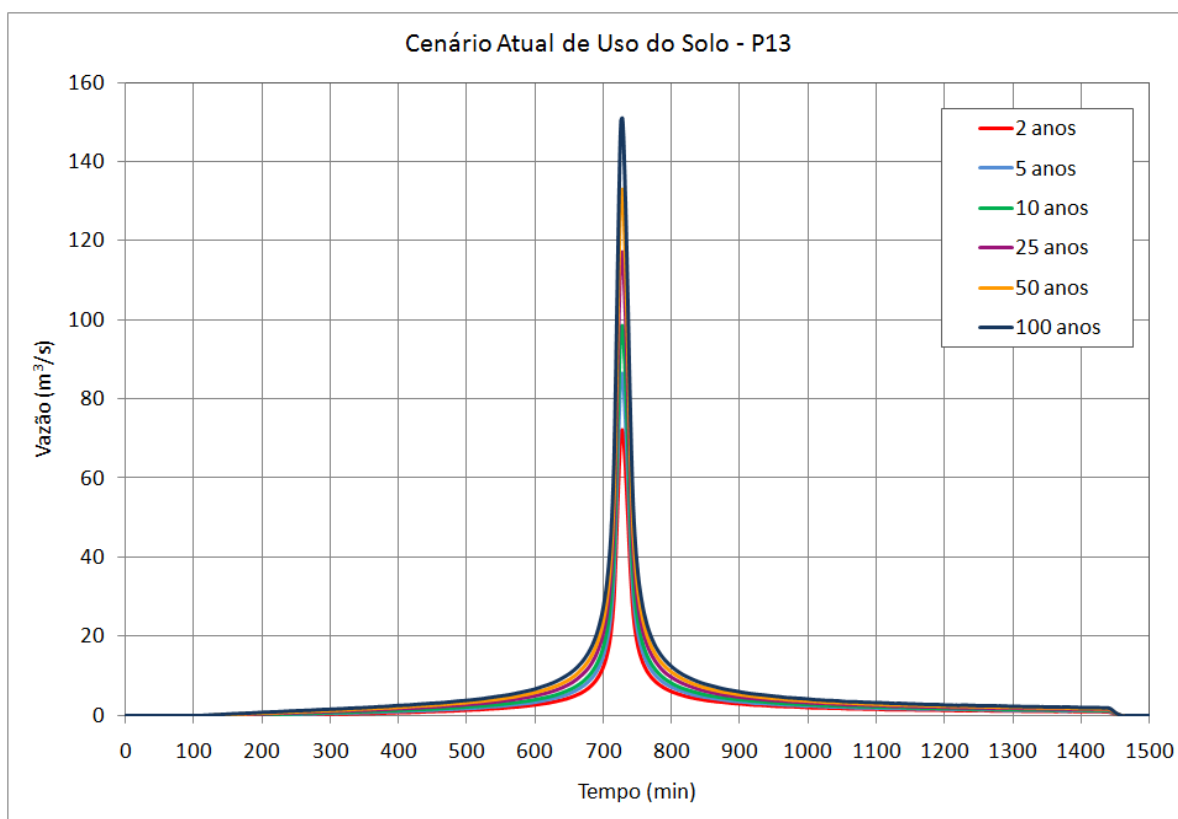


Figura 8.21. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD13.

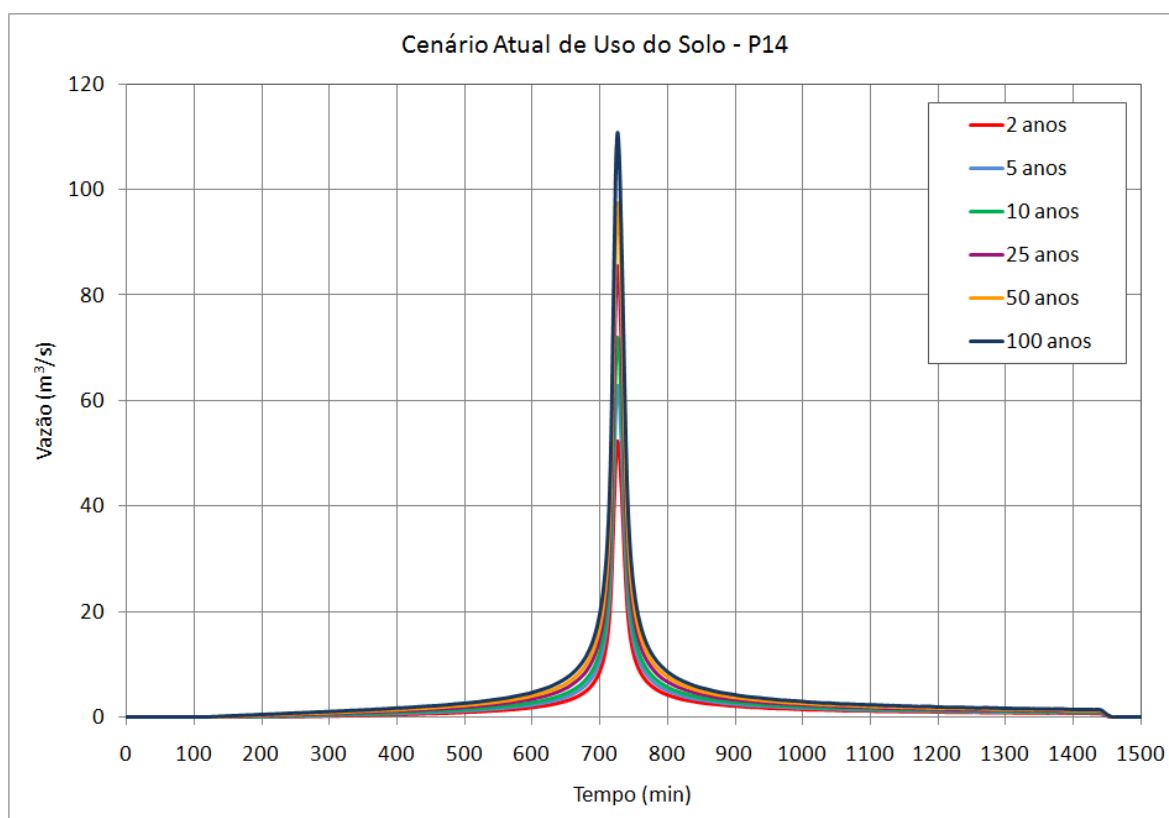


Figura 8.22. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD14.

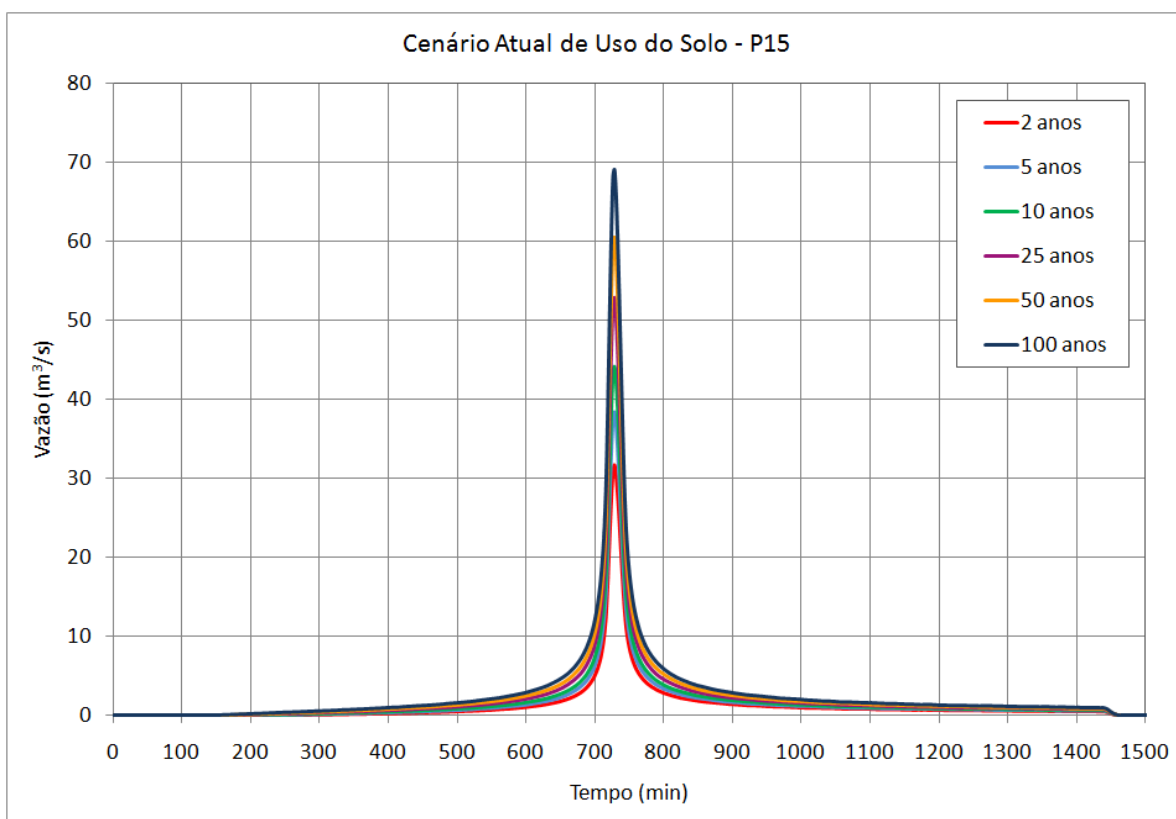


Figura 8.23. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD15.

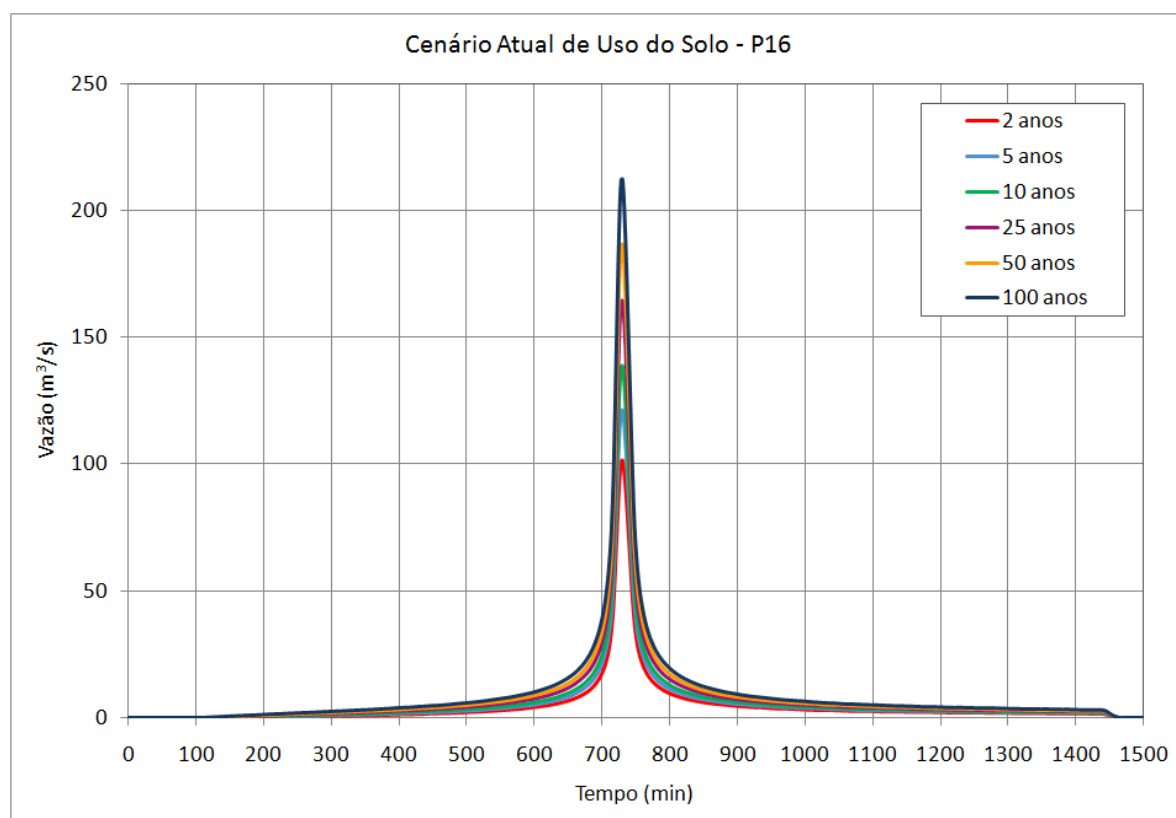


Figura 8.24. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PD16.

8.4.2 Macrobacia da margem esquerda do rio Poti

Na área urbana de Teresina, a bacia que drena em direção à margem esquerda do rio Poti foi discretizada em 32 sub-bacias. Para cada uma dessas sub-bacias foram estabelecidos os hidrogramas para o cenário de diagnóstico, frente a chuvas com períodos de recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Estes hidrogramas são apresentados por sub-bacias a seguir.

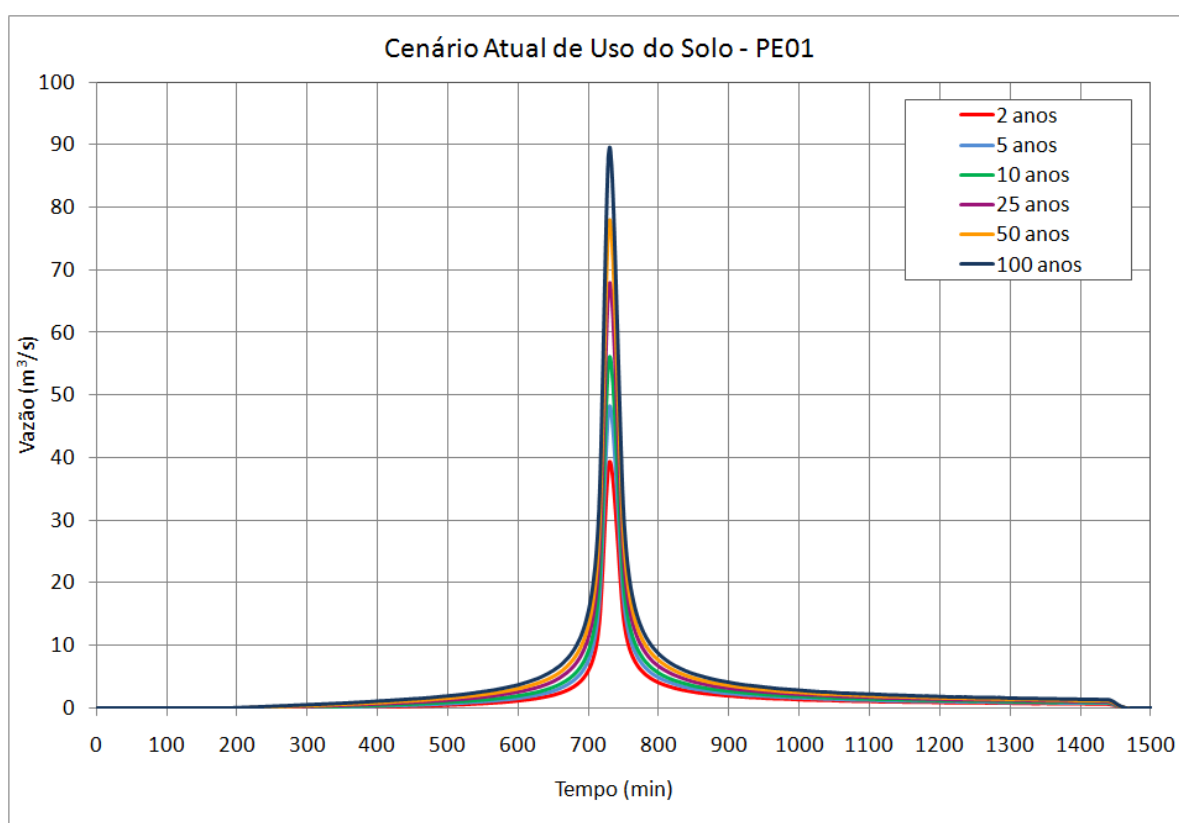


Figura 8.25. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE01.

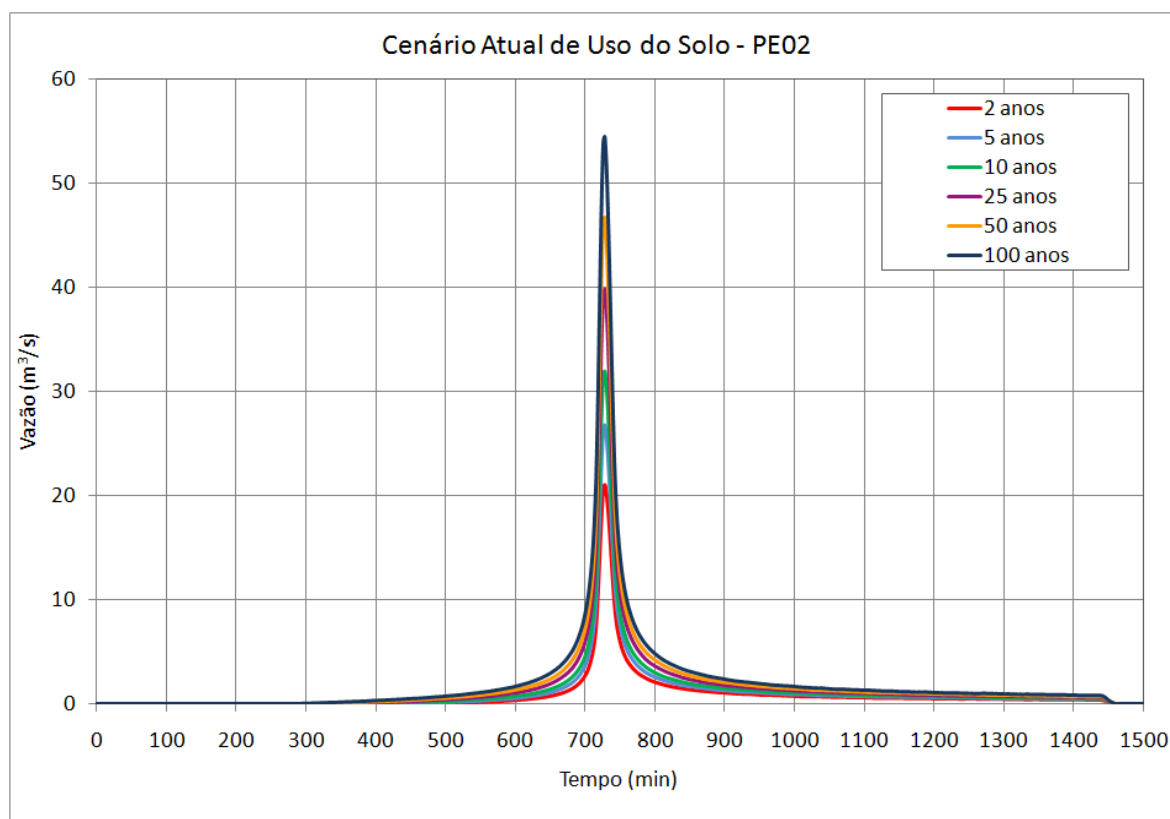


Figura 8.26. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE02.

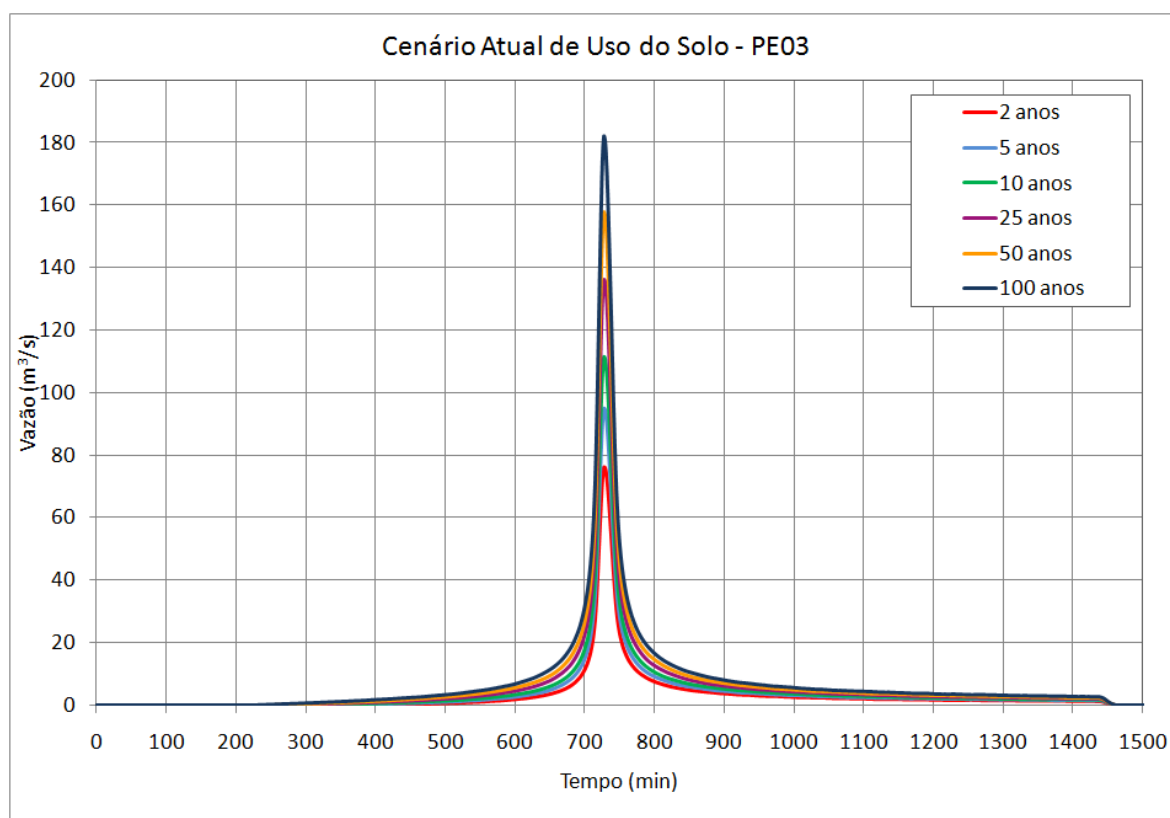


Figura 8.27. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE03.

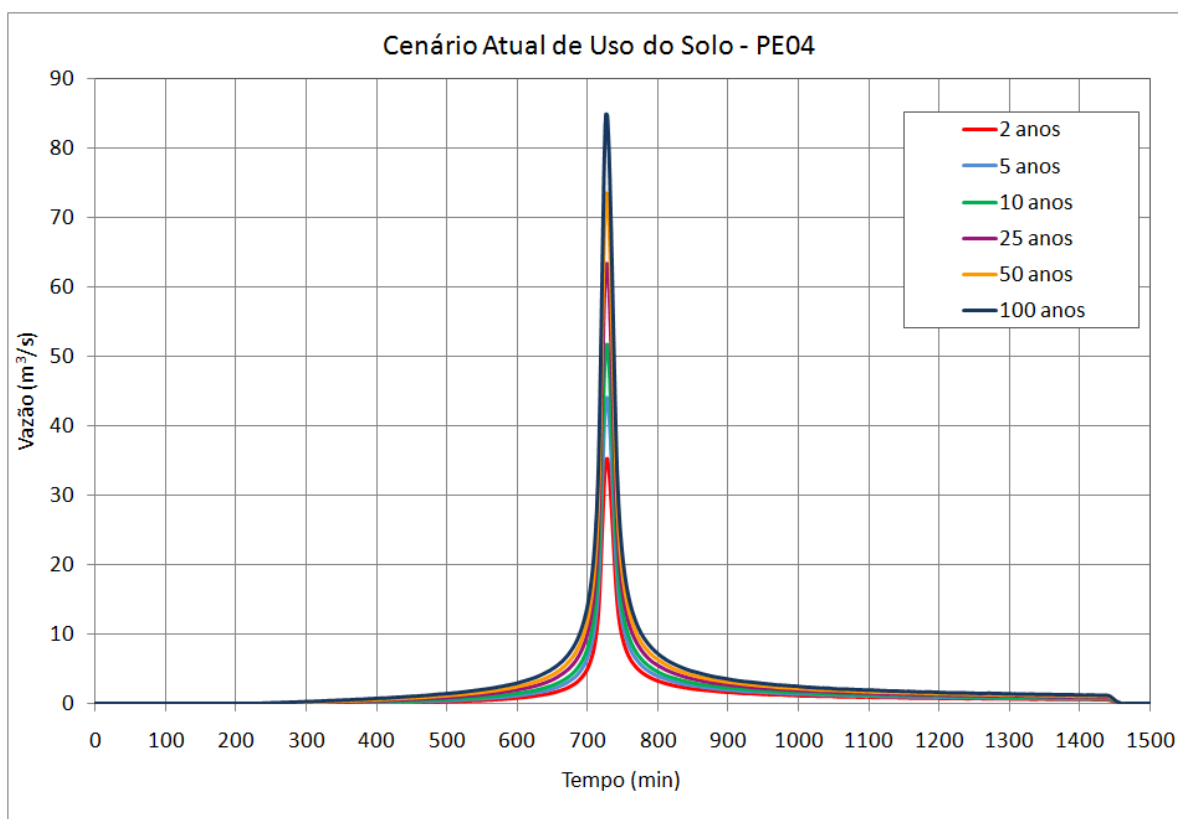


Figura 8.28. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE04.

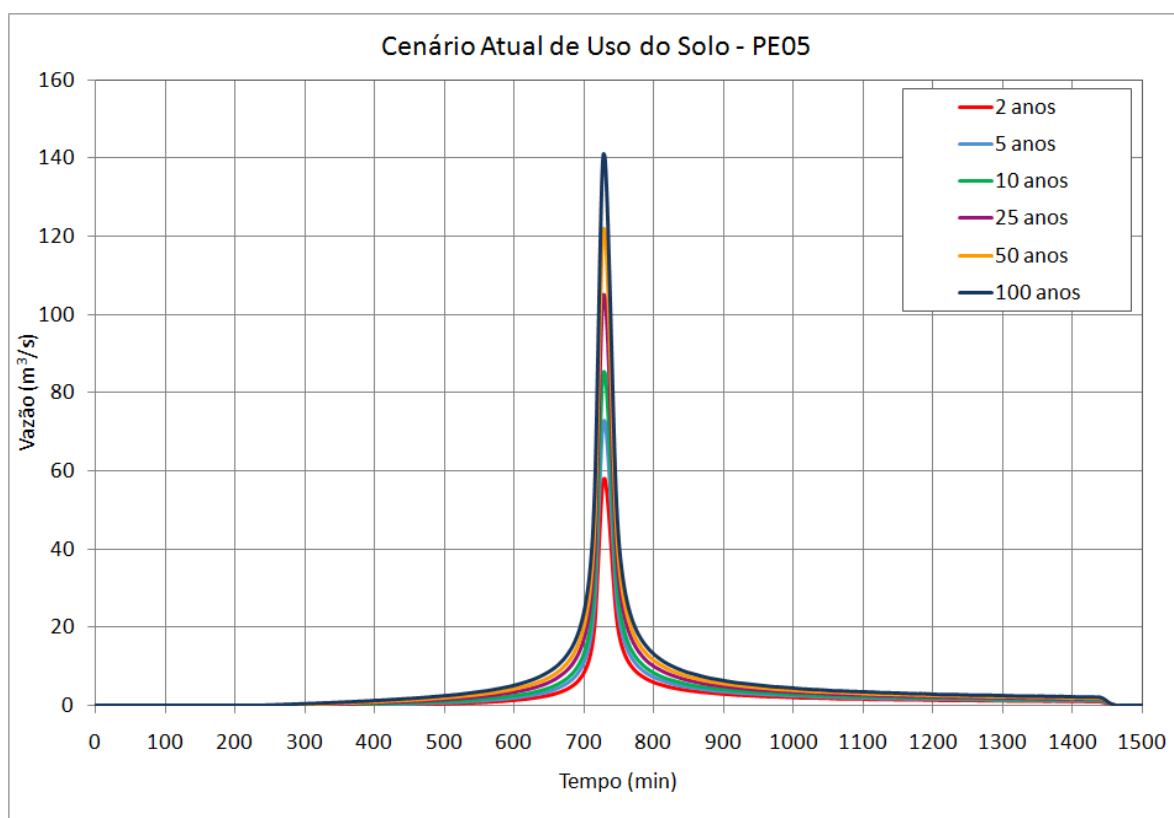


Figura 8.29. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE05.

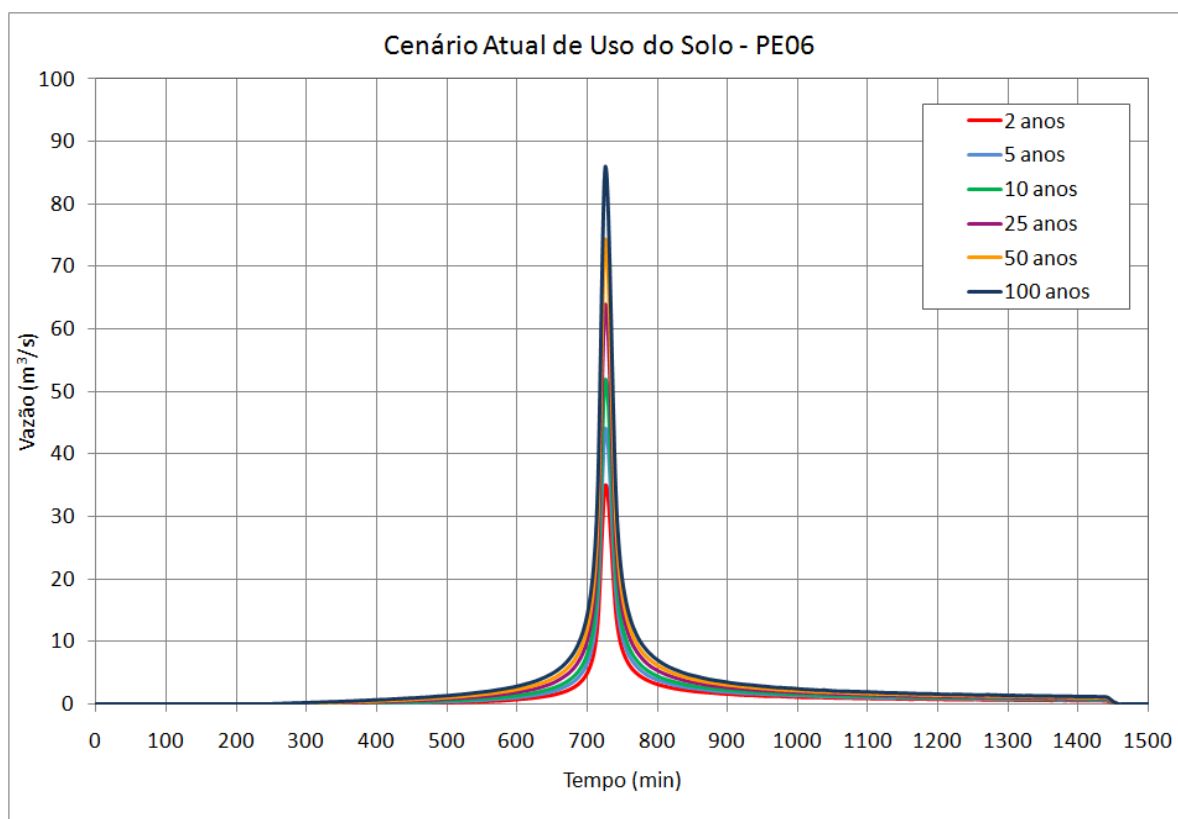


Figura 8.30. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE06.

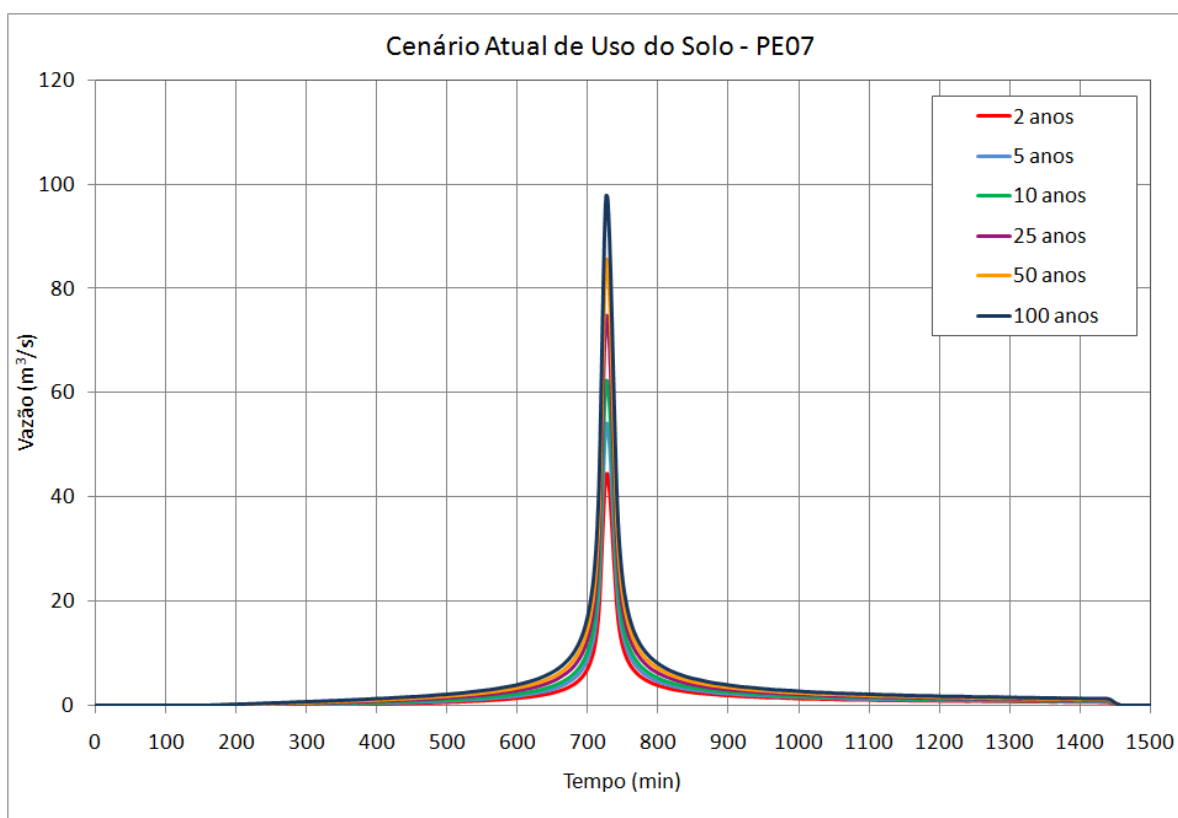


Figura 8.31. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE07.

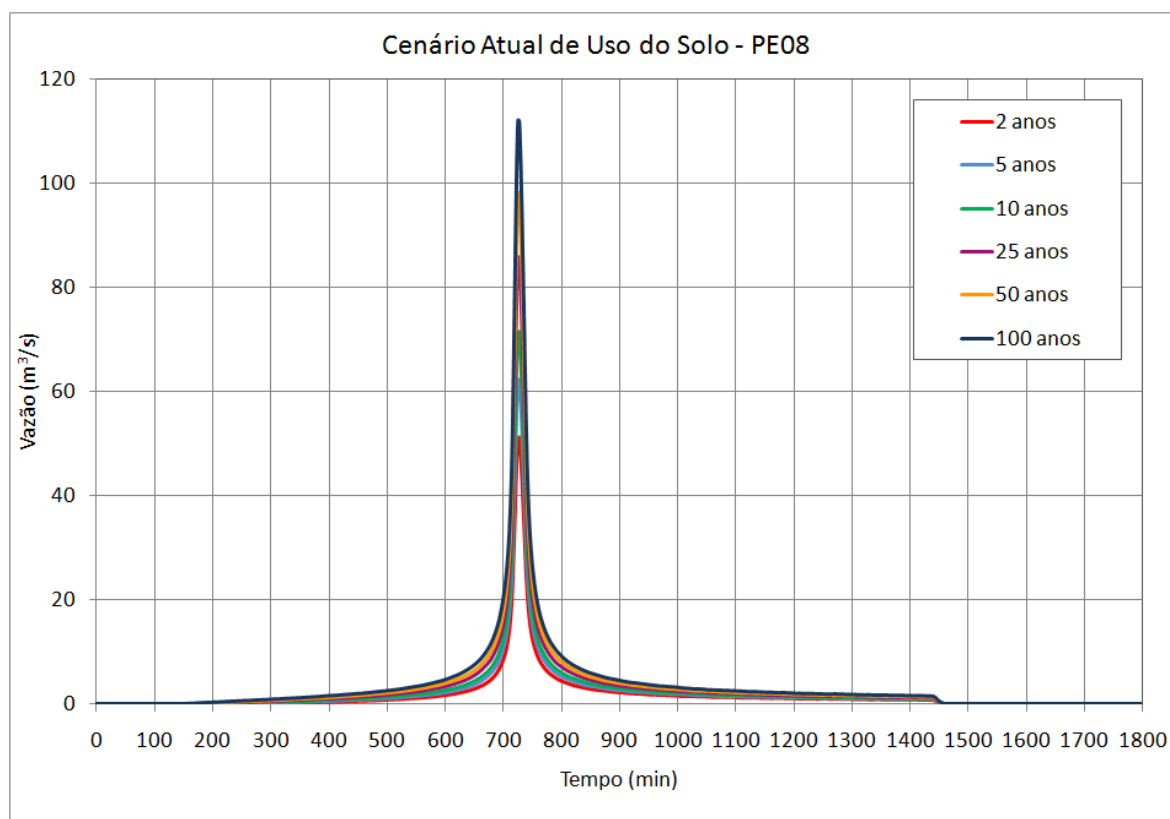


Figura 8.32. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE08.

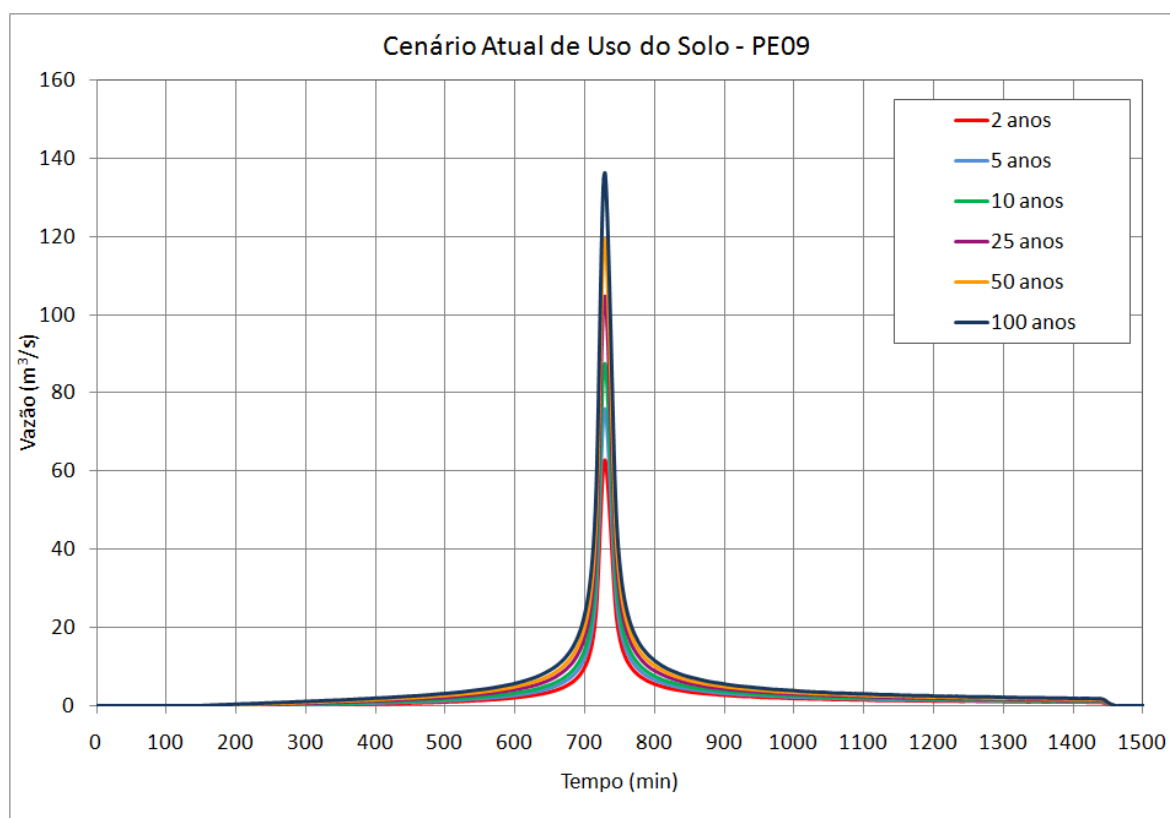


Figura 8.33. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE09.

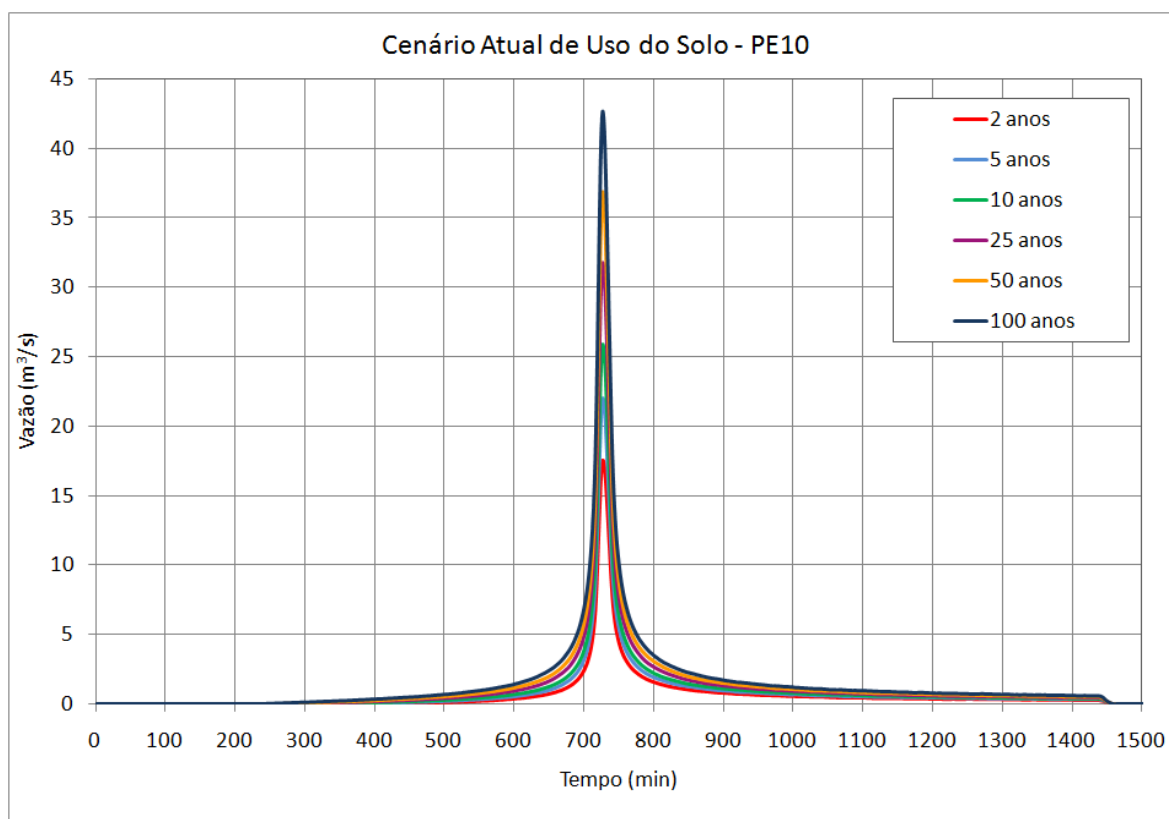


Figura 8.34. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE10.

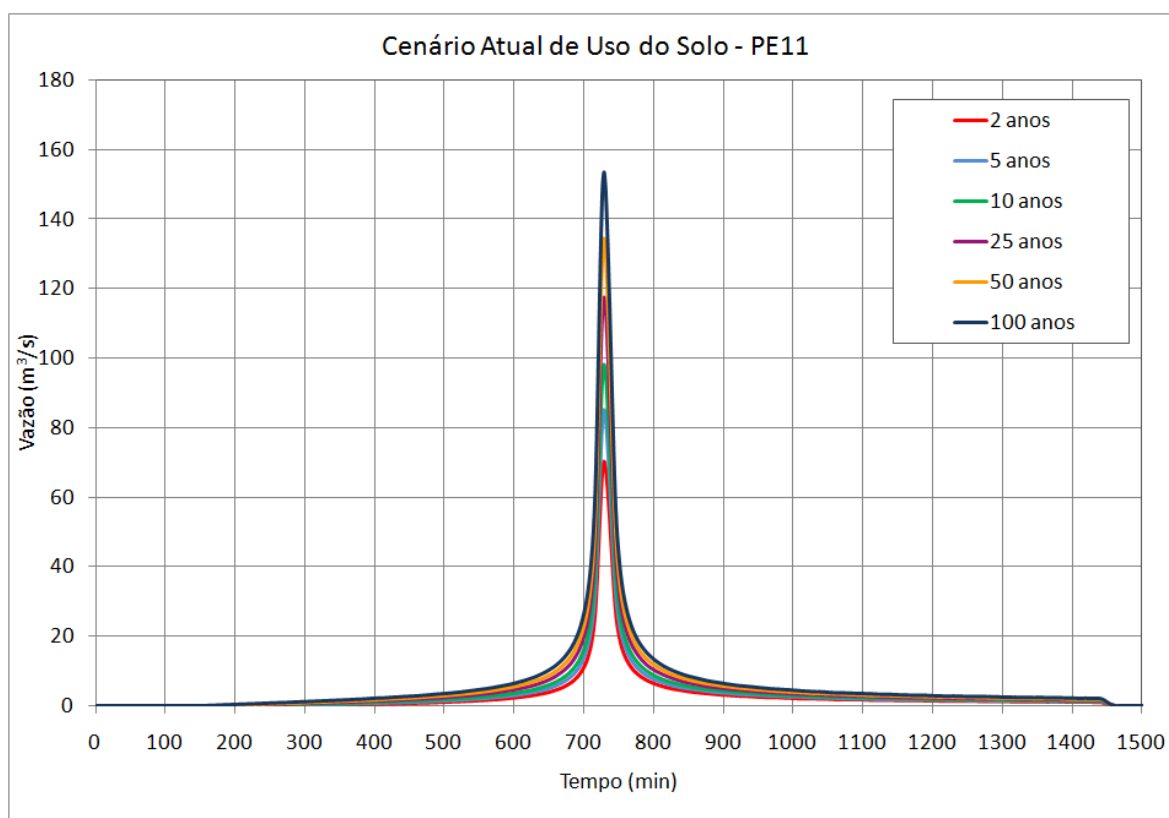


Figura 8.35. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE11.

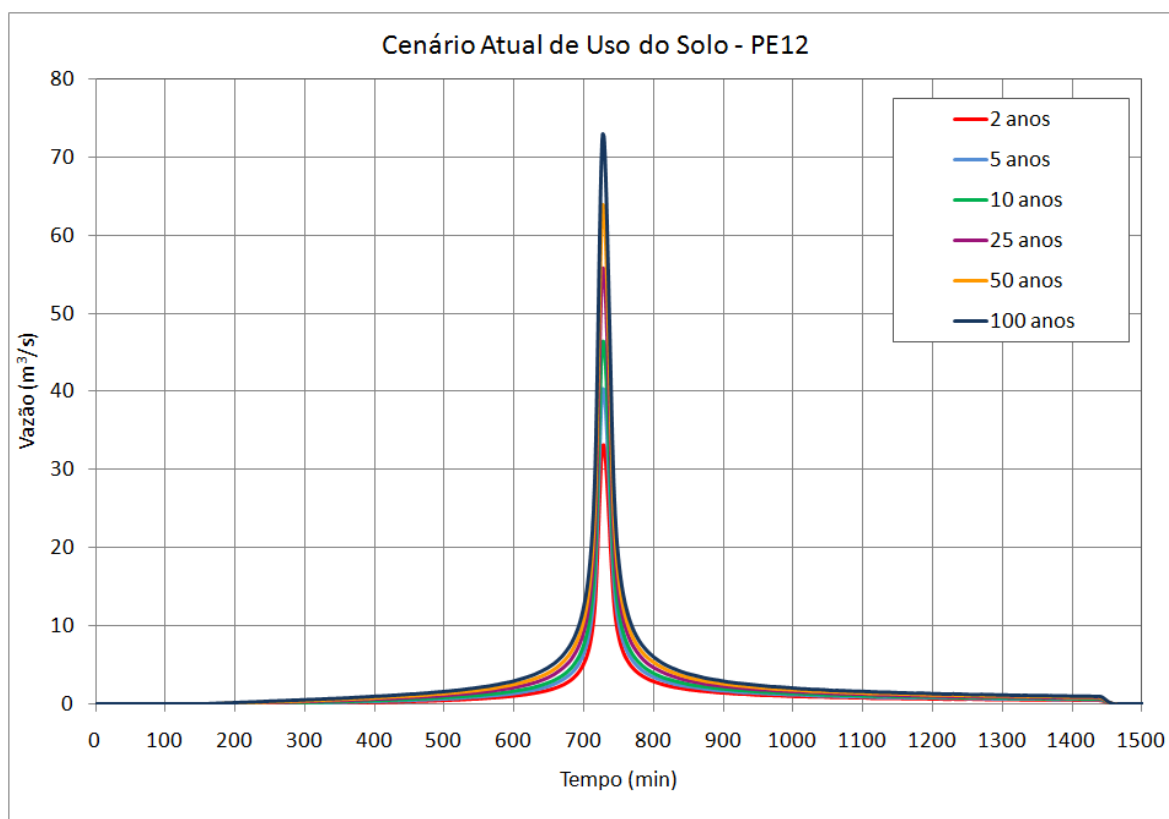


Figura 8.36. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE12.

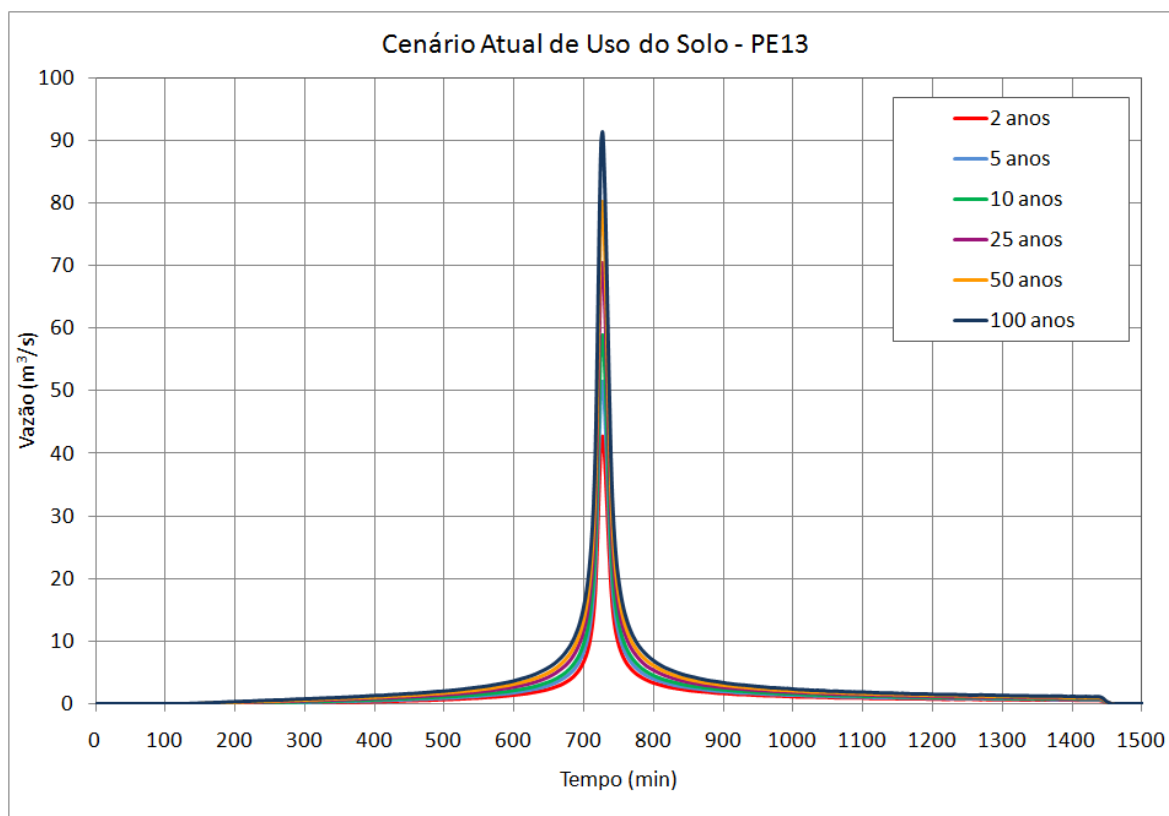


Figura 8.37. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE13.

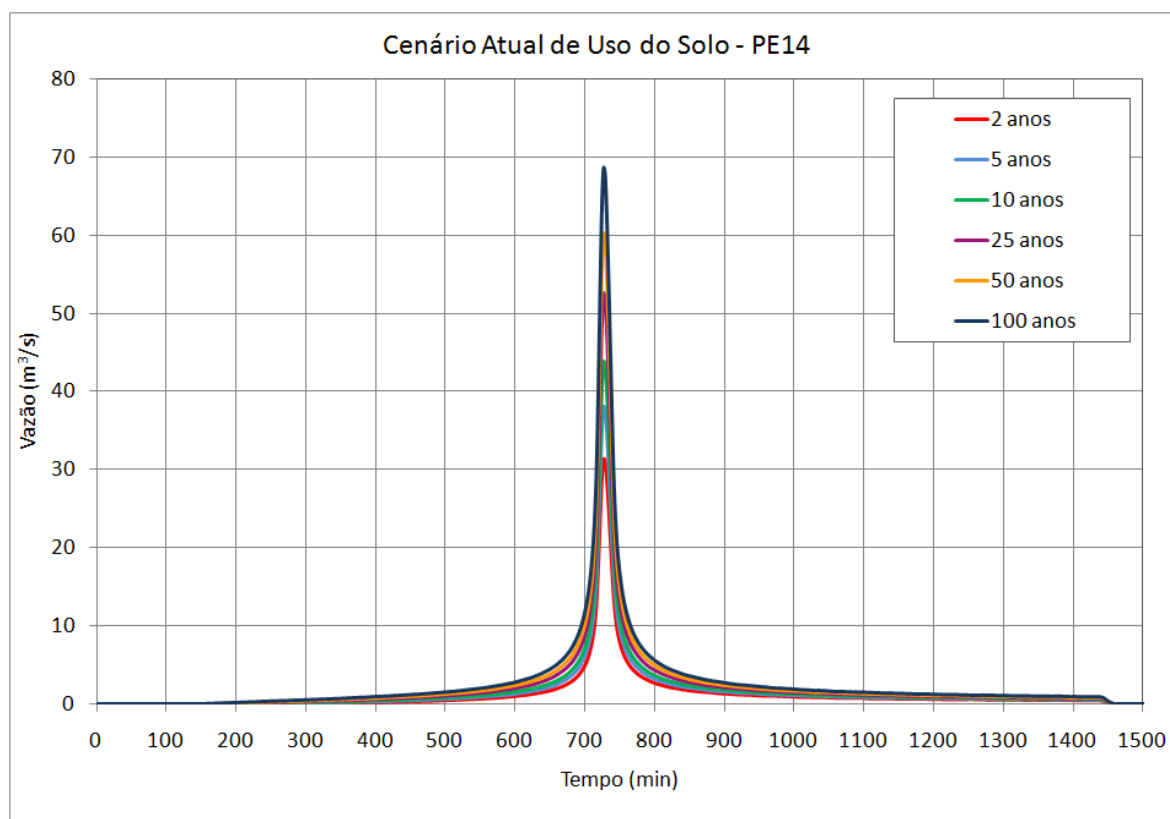


Figura 8.38. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE14.

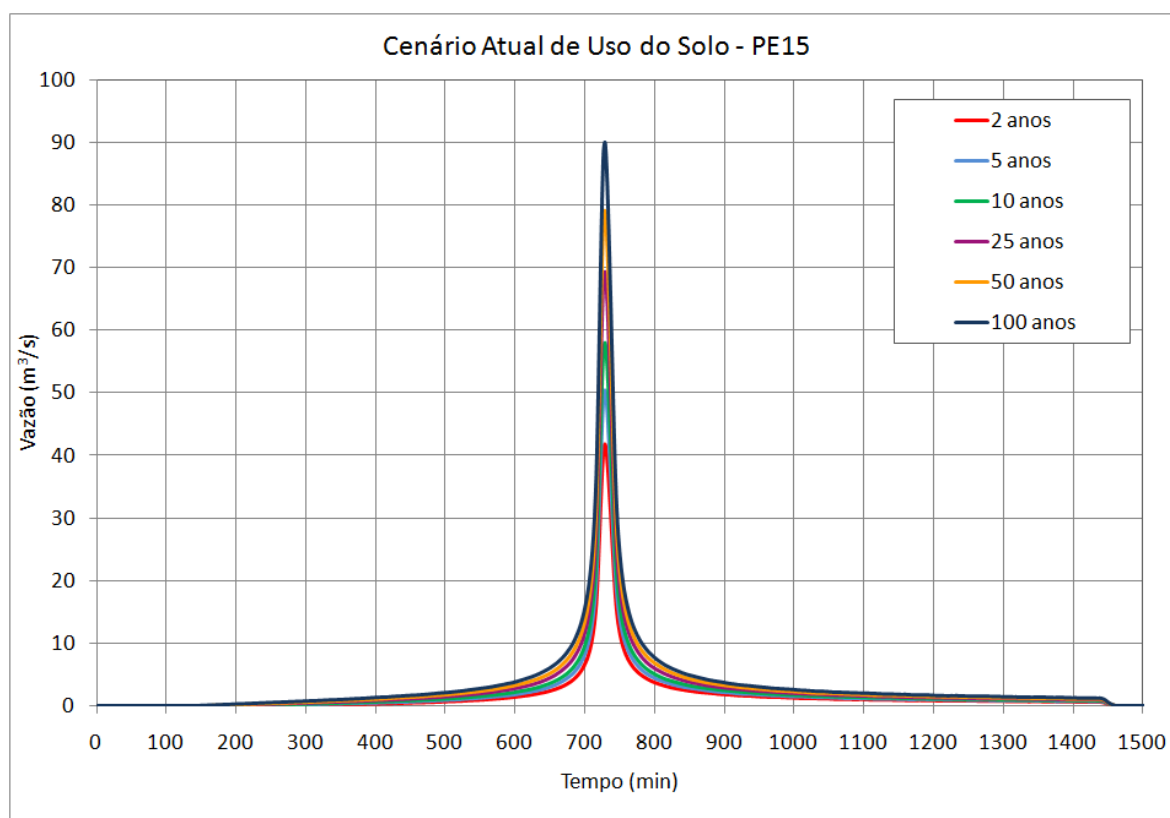


Figura 8.39. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE15.

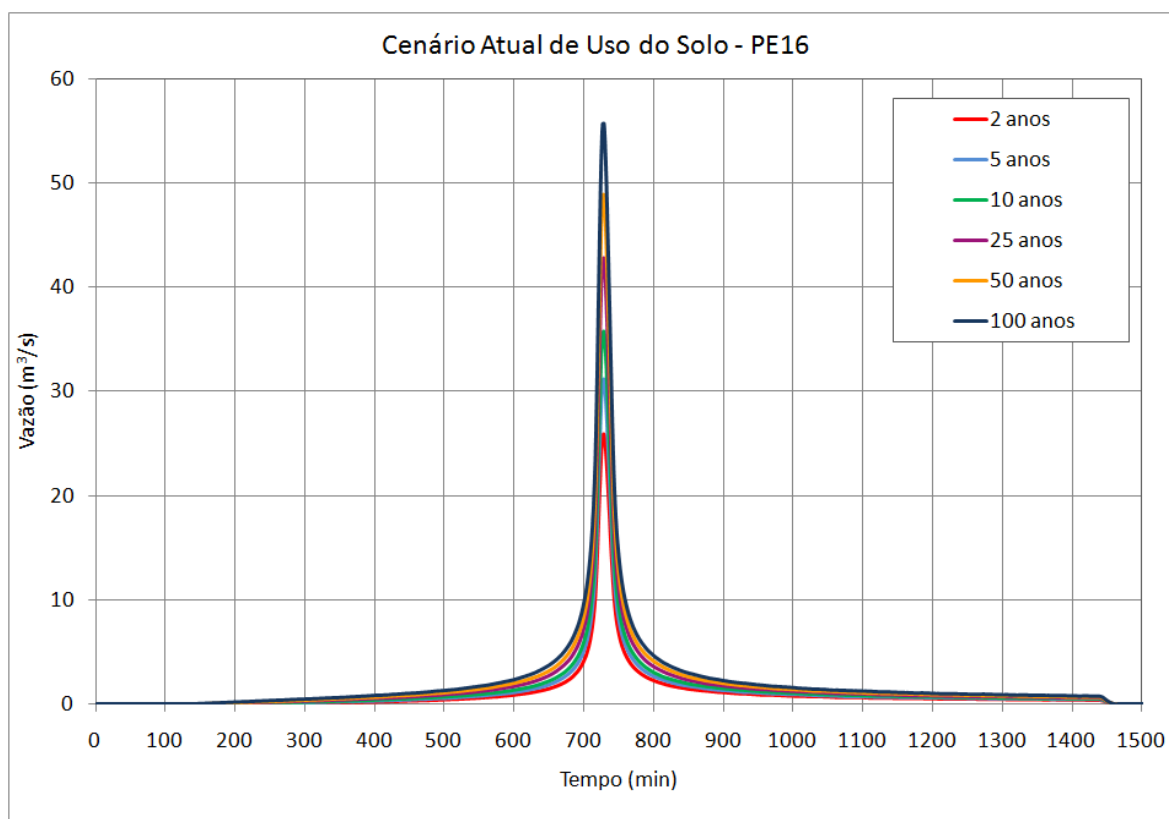


Figura 8.40. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE16.

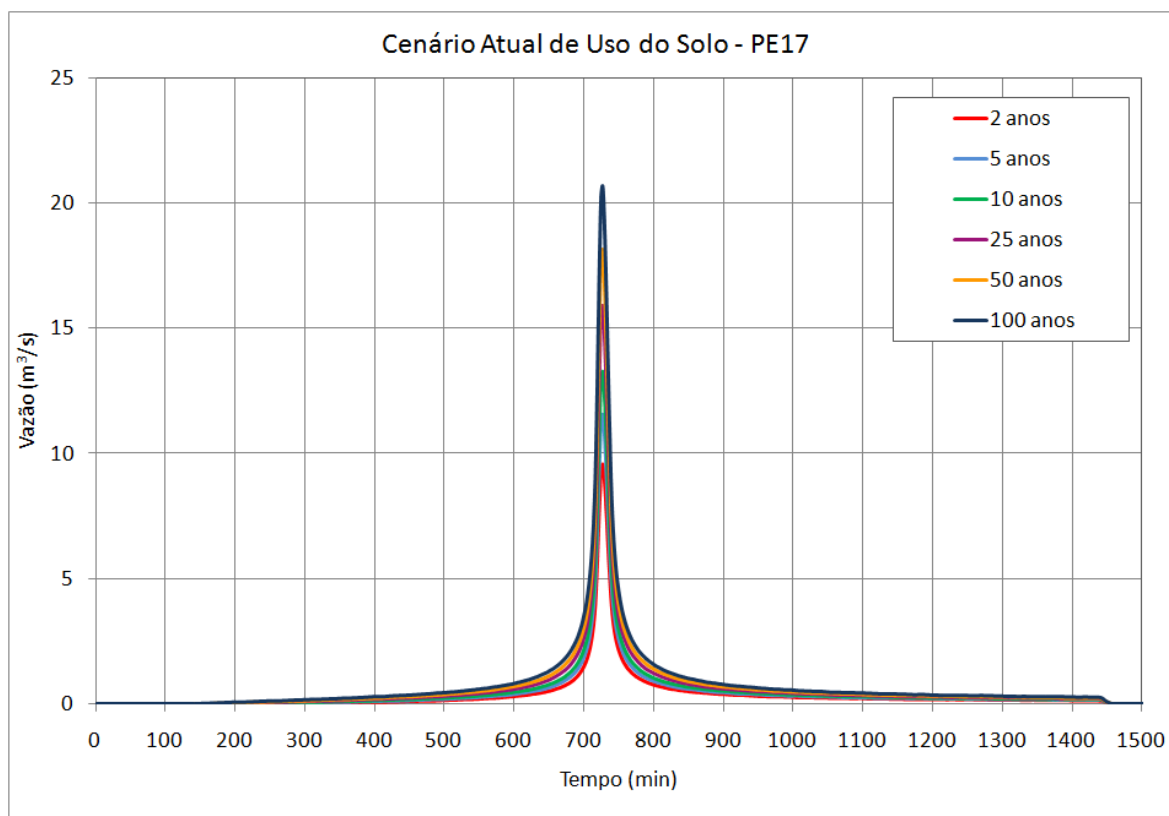


Figura 8.41. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE17.

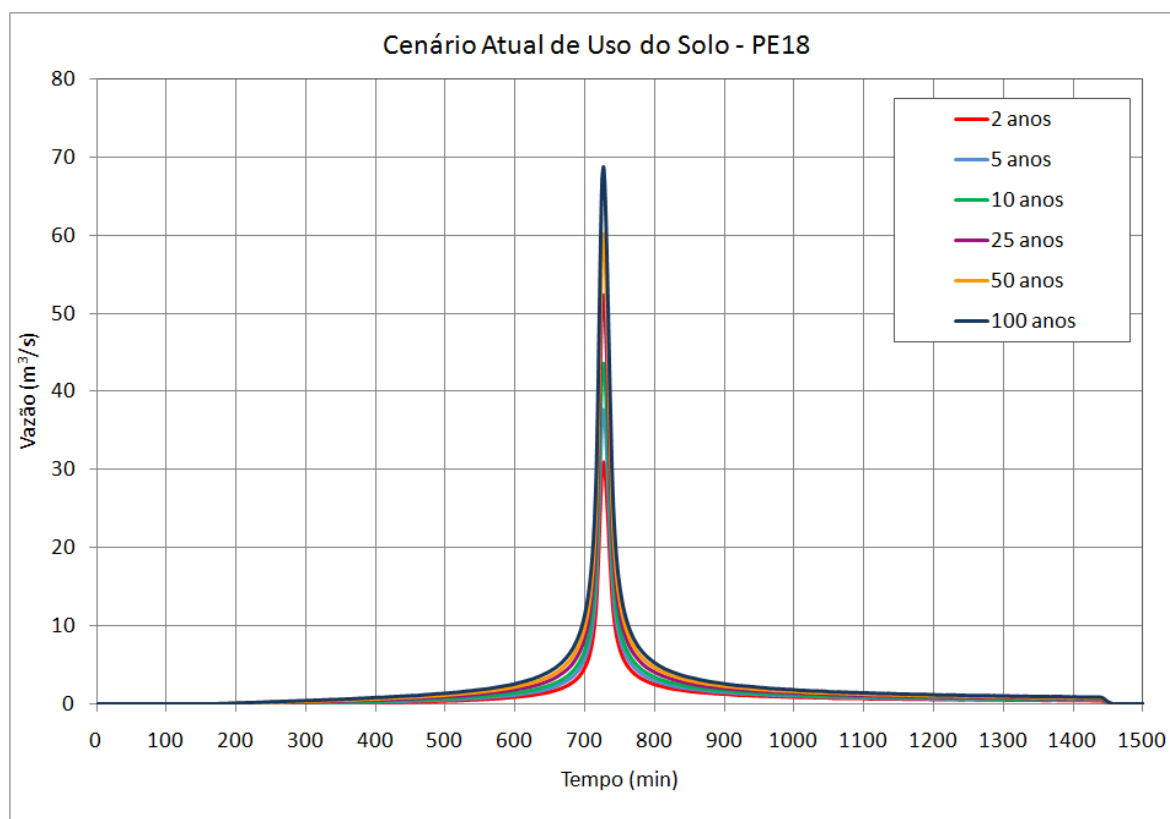


Figura 8.42. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE18.

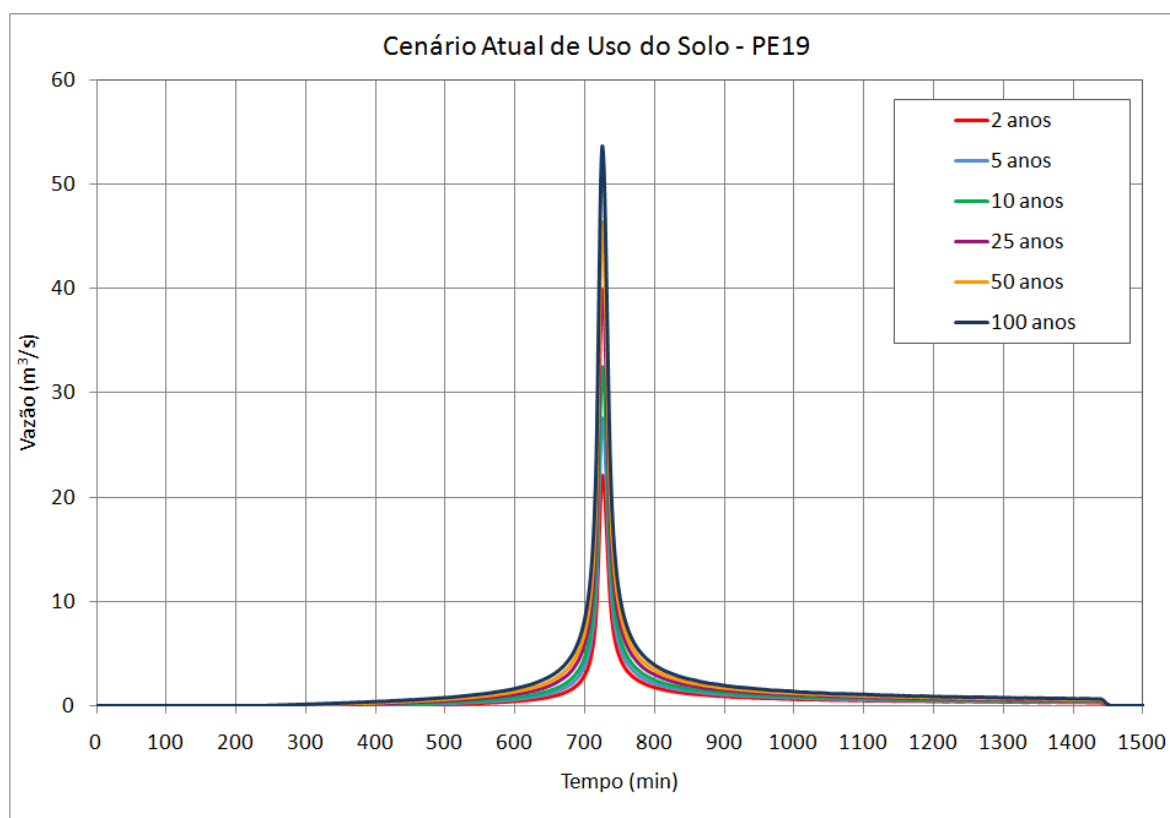


Figura 8.43. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE19.

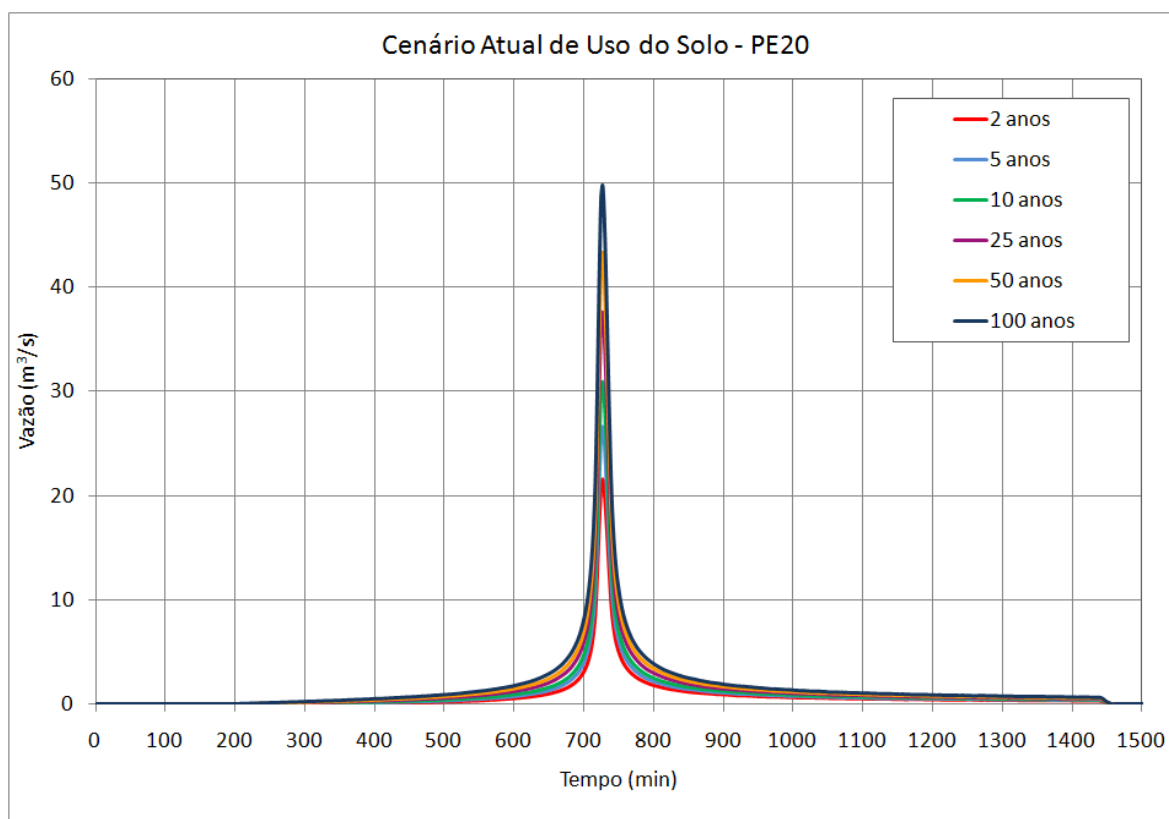


Figura 8.44. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE20.

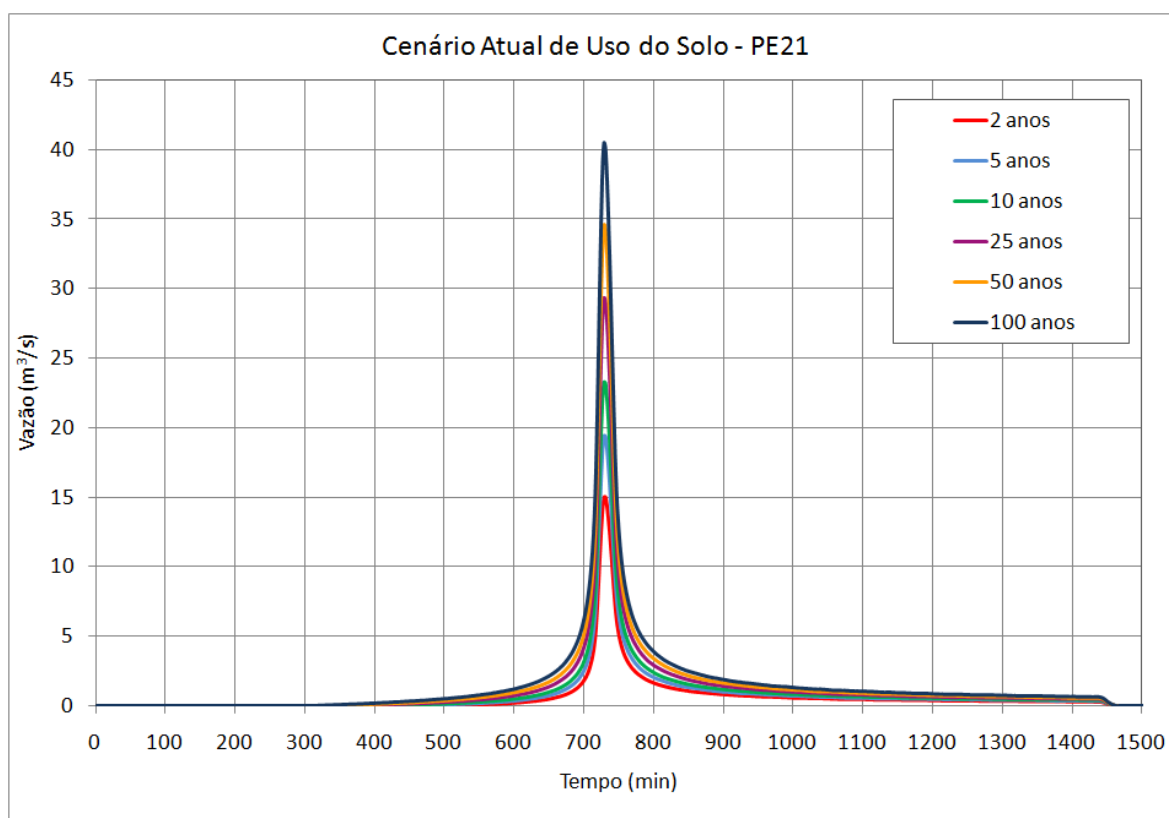


Figura 8.45. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE21.

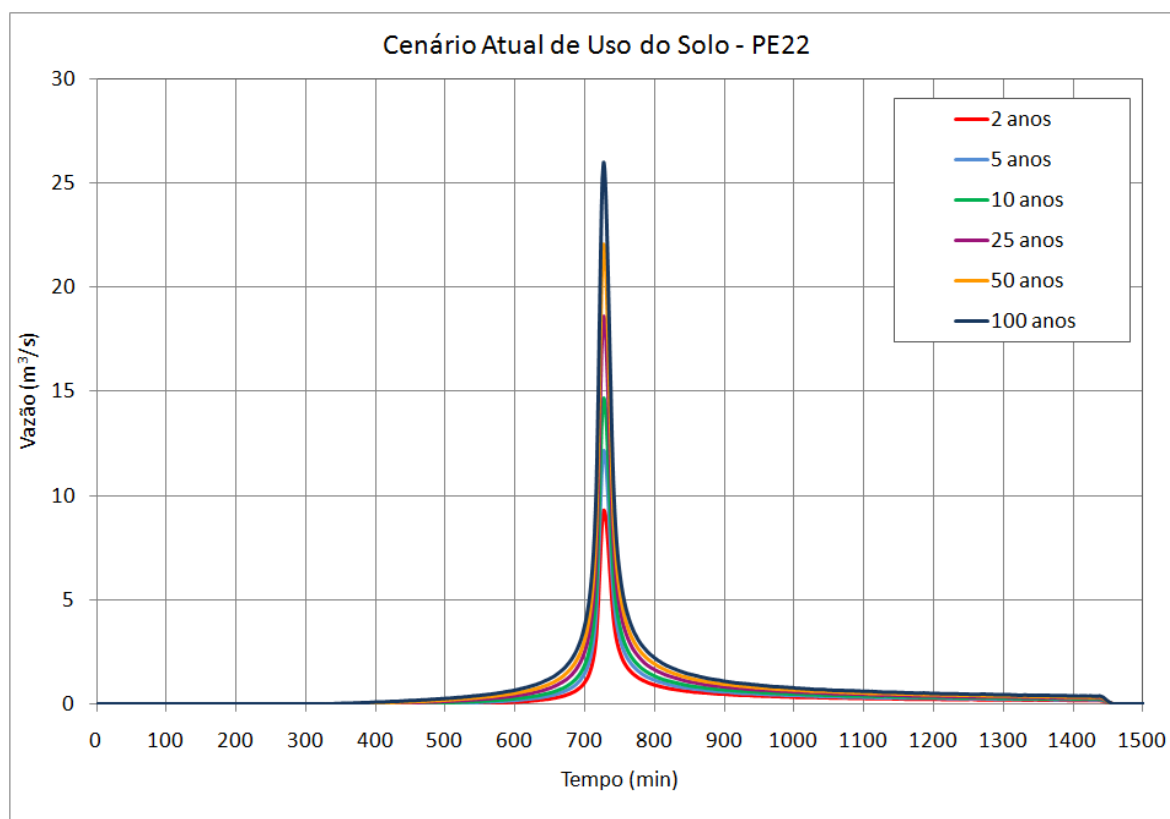


Figura 8.46. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE22.

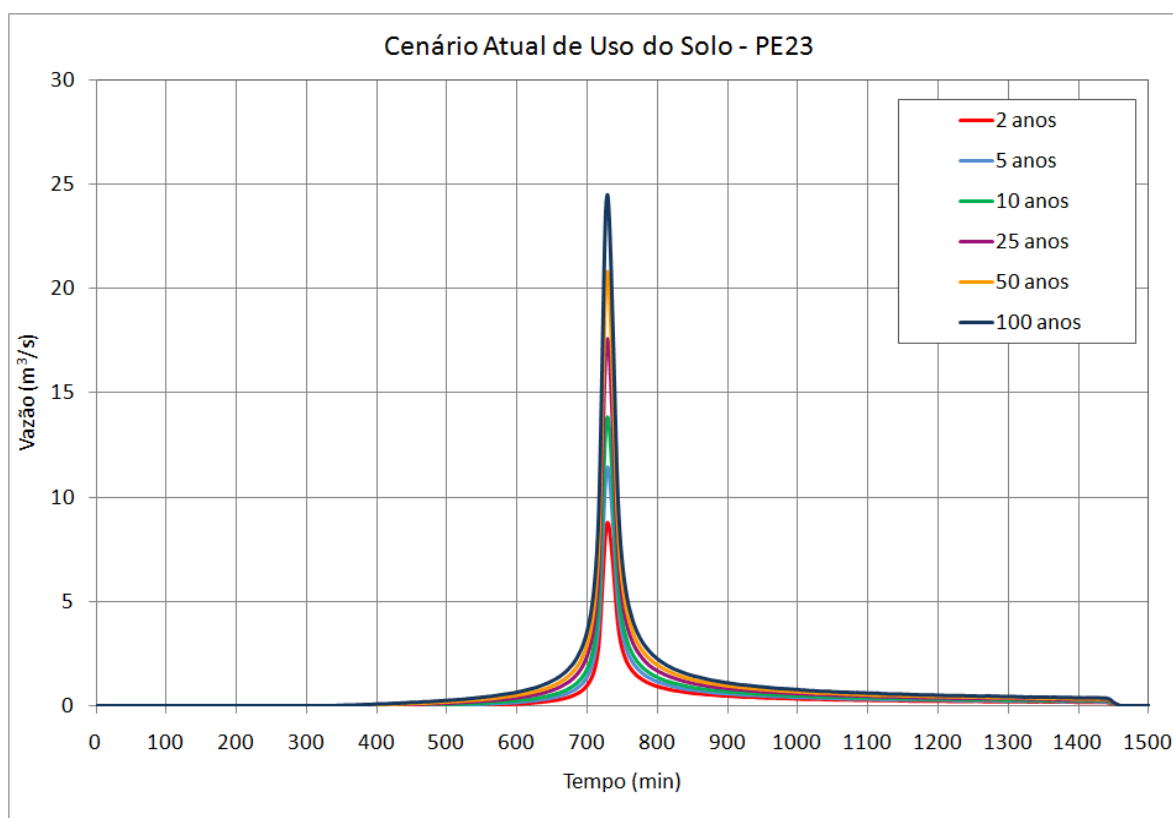


Figura 8.47. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE23.

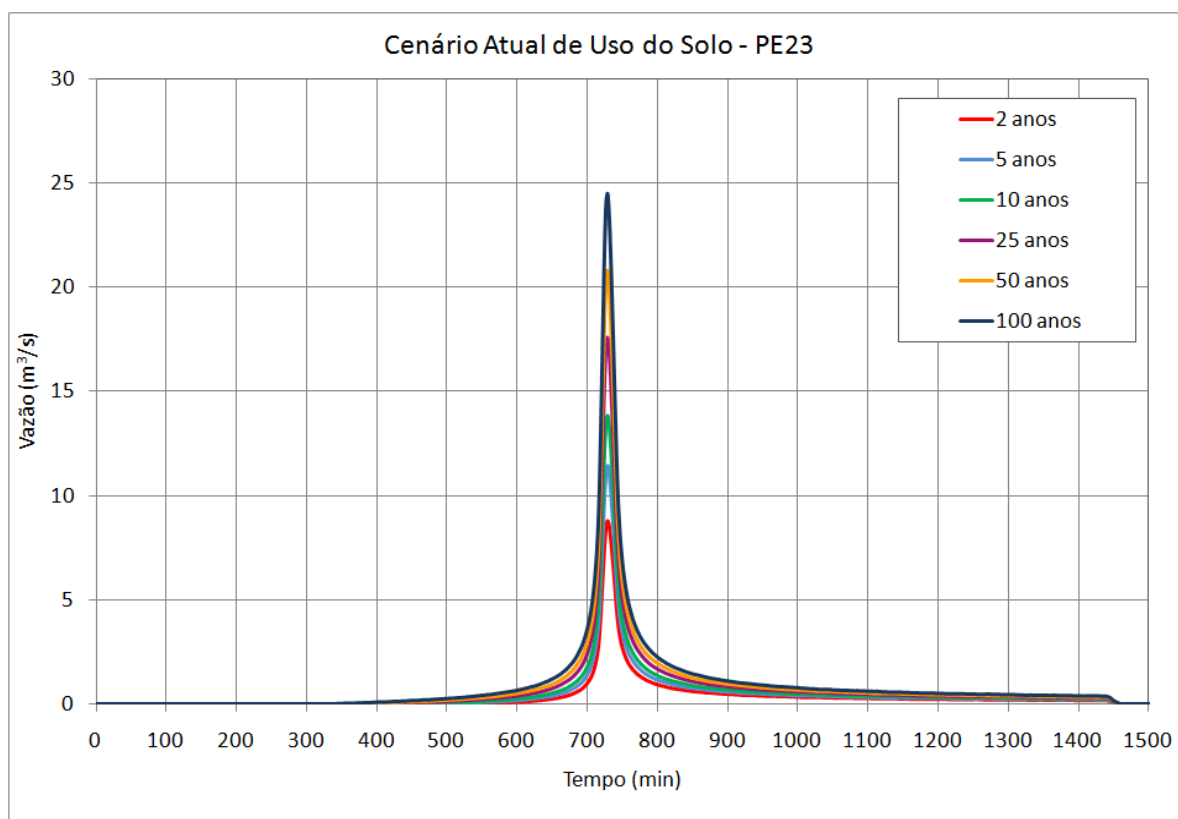


Figura 8.48. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE24.

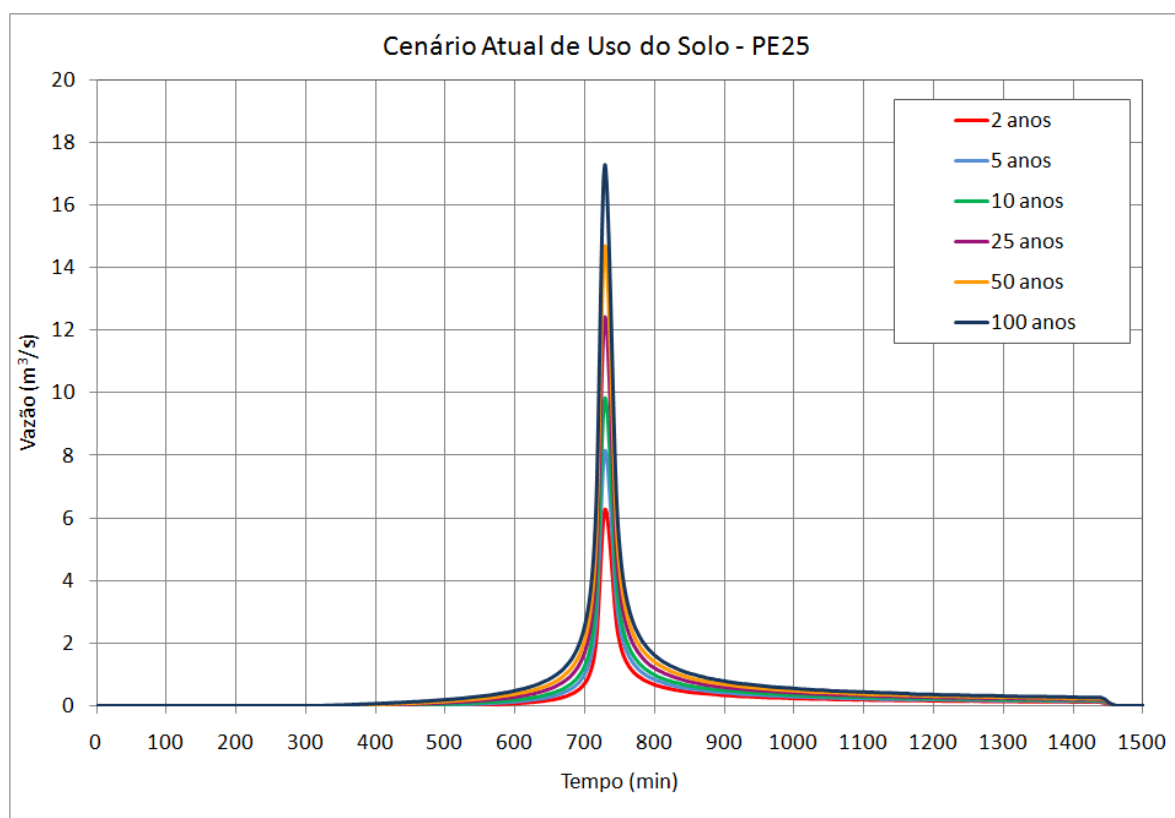


Figura 8.49. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE25.

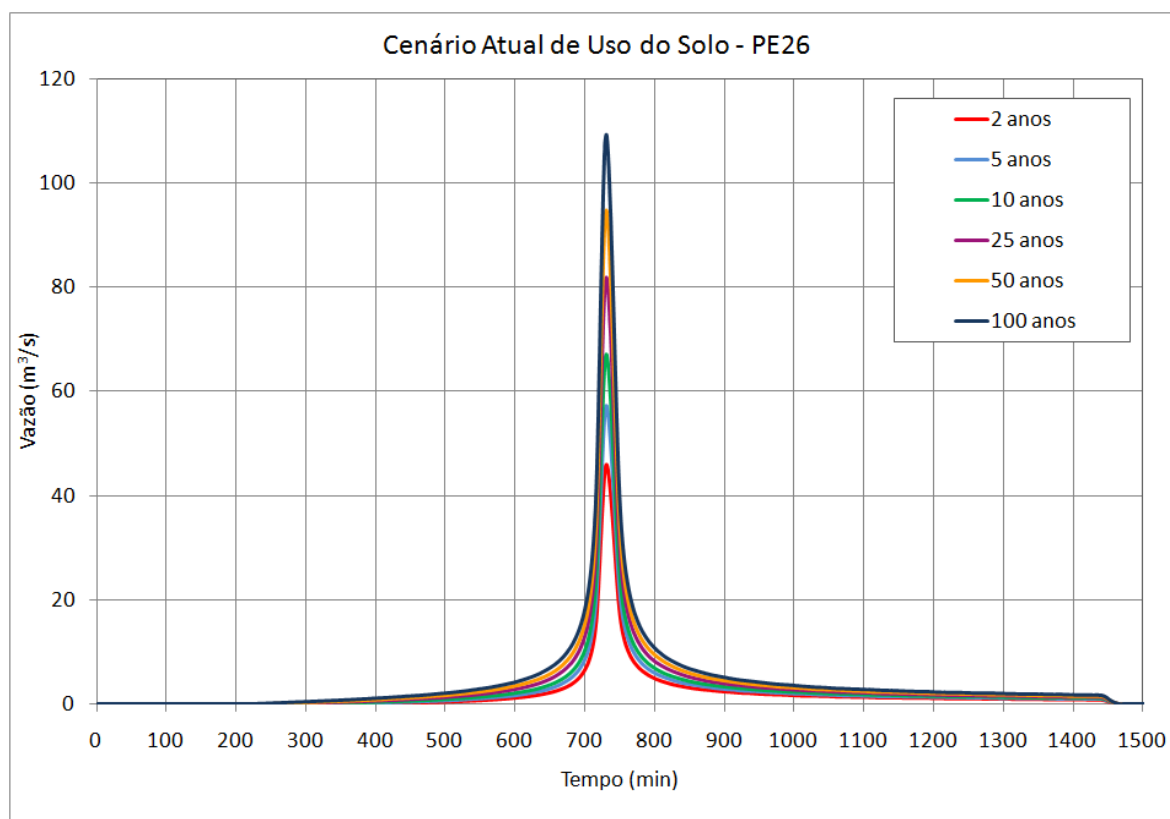


Figura 8.50. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE26.

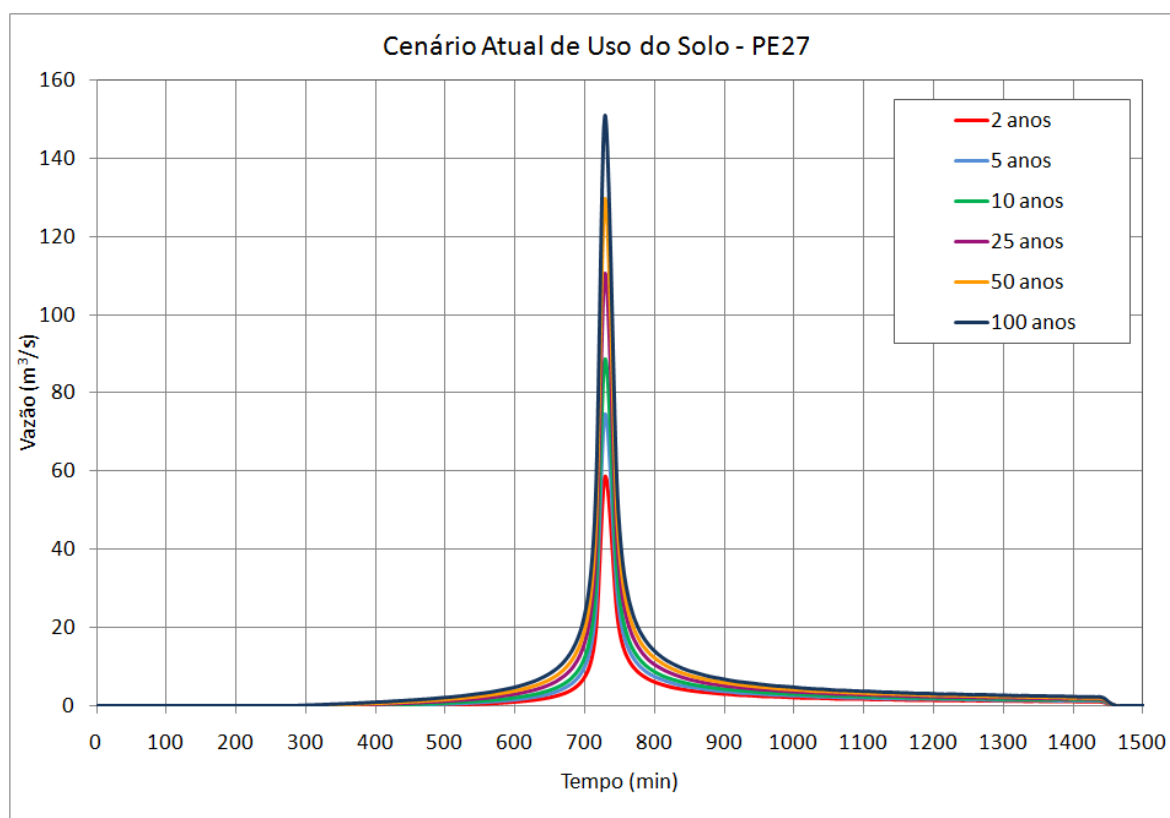


Figura 8.51. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE27.

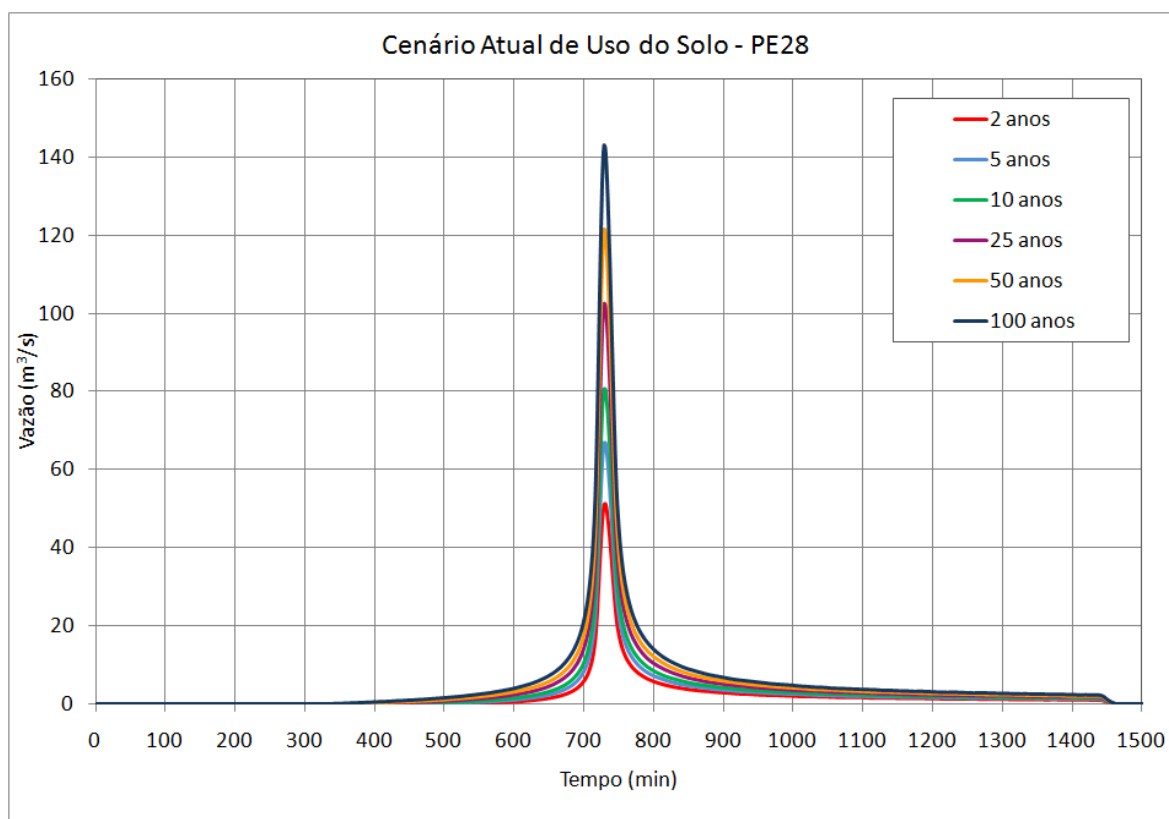


Figura 8.52. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE28.

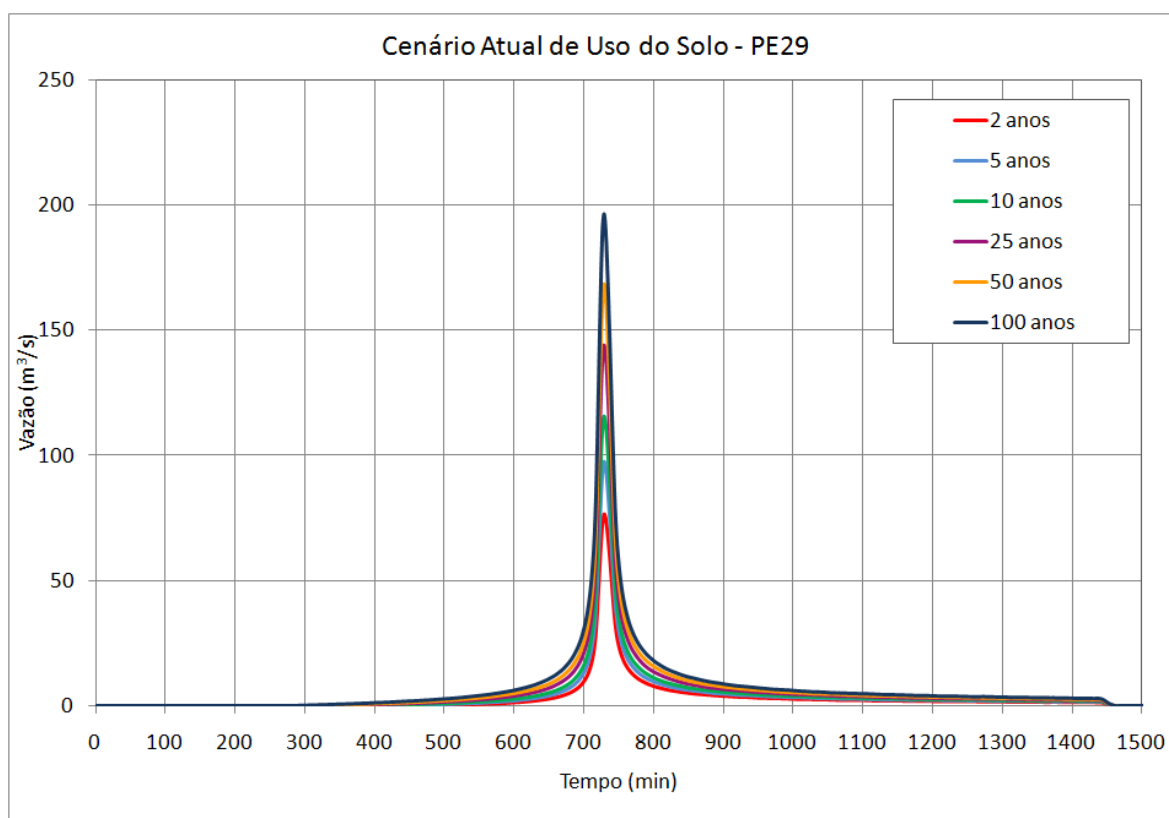


Figura 8.53. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE29.

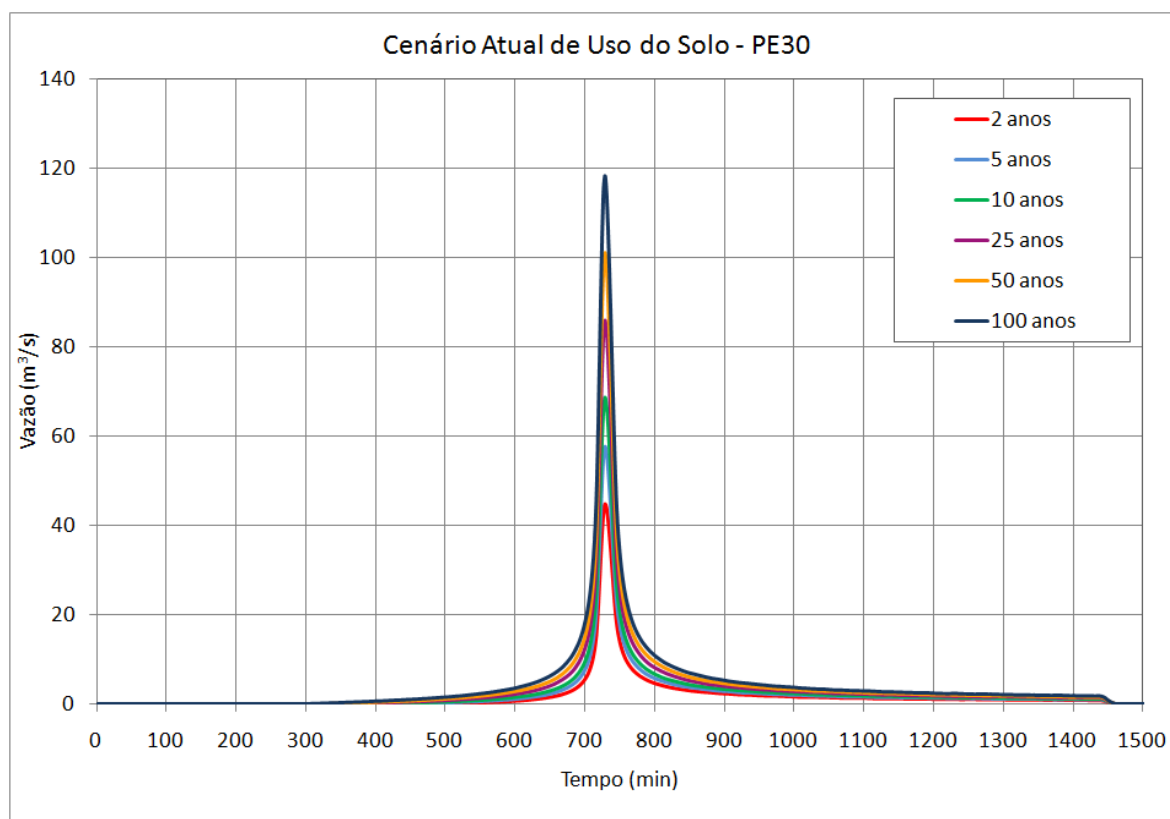


Figura 8.54. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE30.

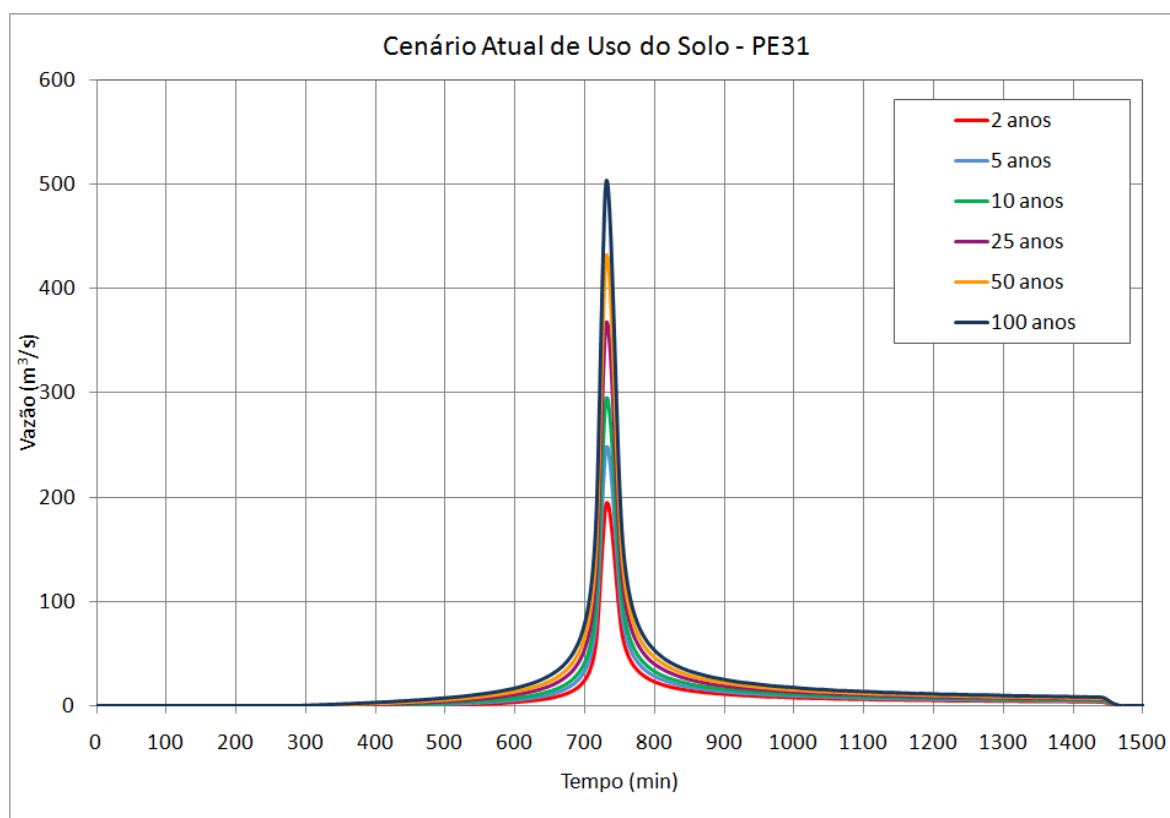


Figura 8.55. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE31.

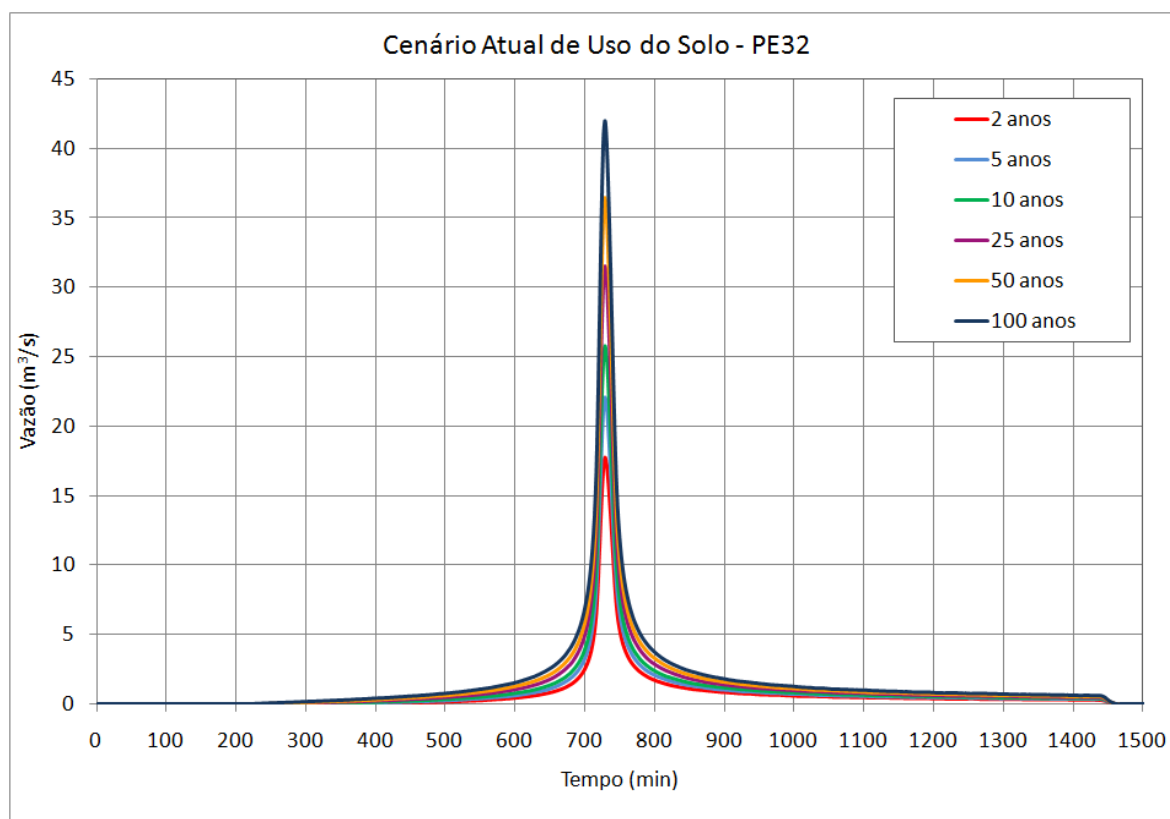


Figura 8.56. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia PE32.

8.4.3 Macrobacia do rio Parnaíba

A área urbana de Teresina, que drena para a margem direita do rio Parnaíba, foi dividida em 20 sub-bacias. Para cada uma dessas sub-bacias foram estabelecidos os hidrogramas para o cenário de diagnóstico, frente a chuvas com períodos de recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Estes hidrogramas são apresentados por sub-bacias a seguir.

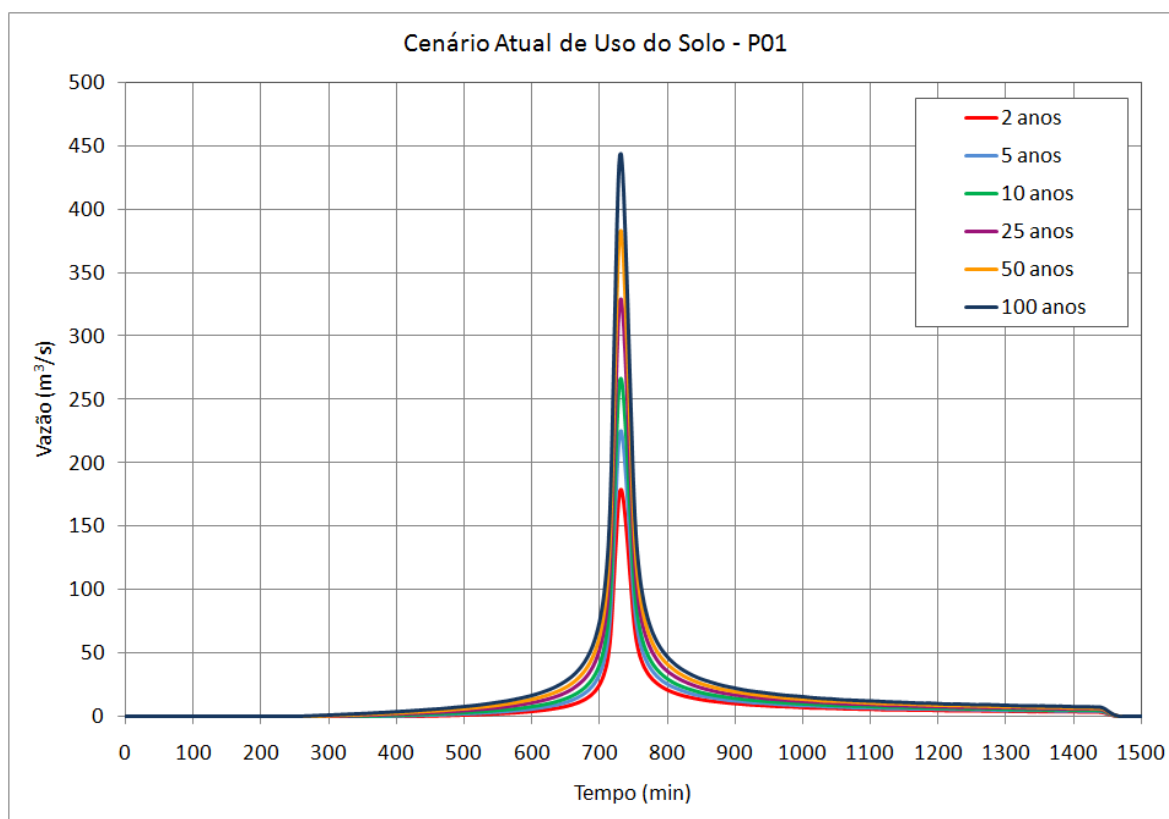


Figura 8.57. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P01.

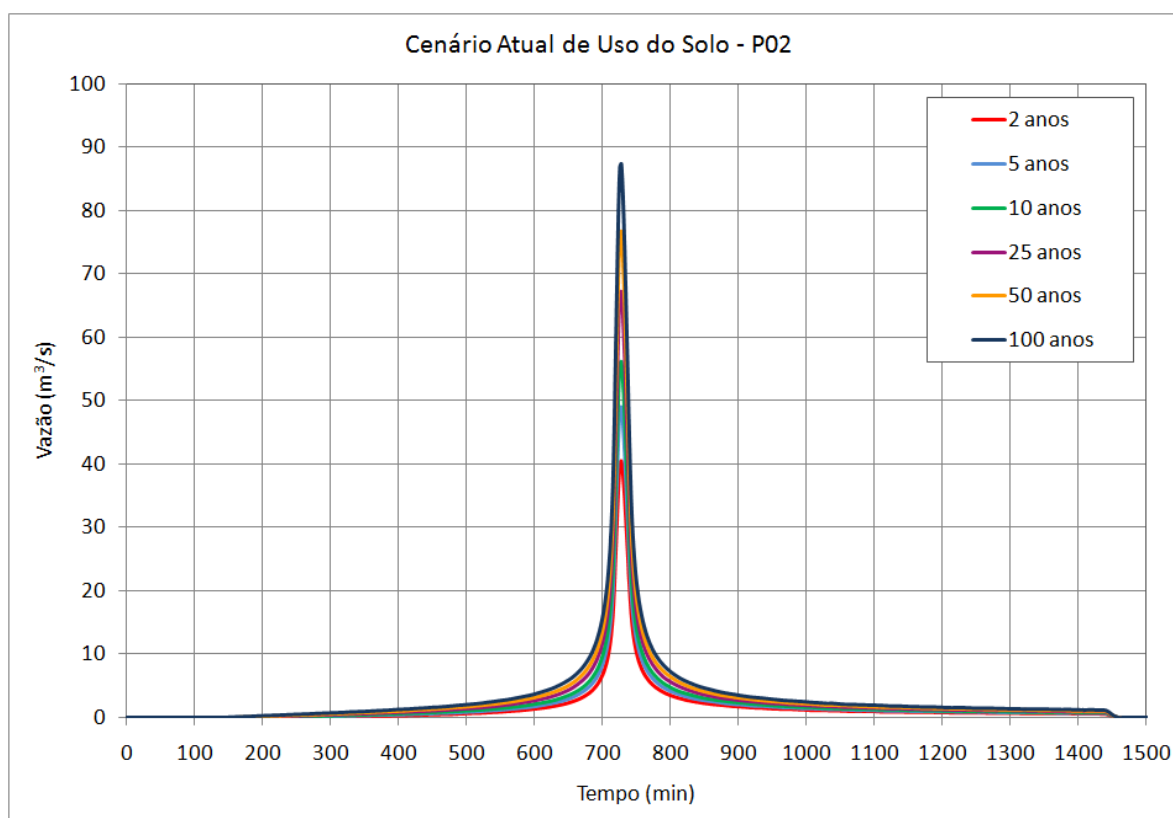


Figura 8.58. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P02.

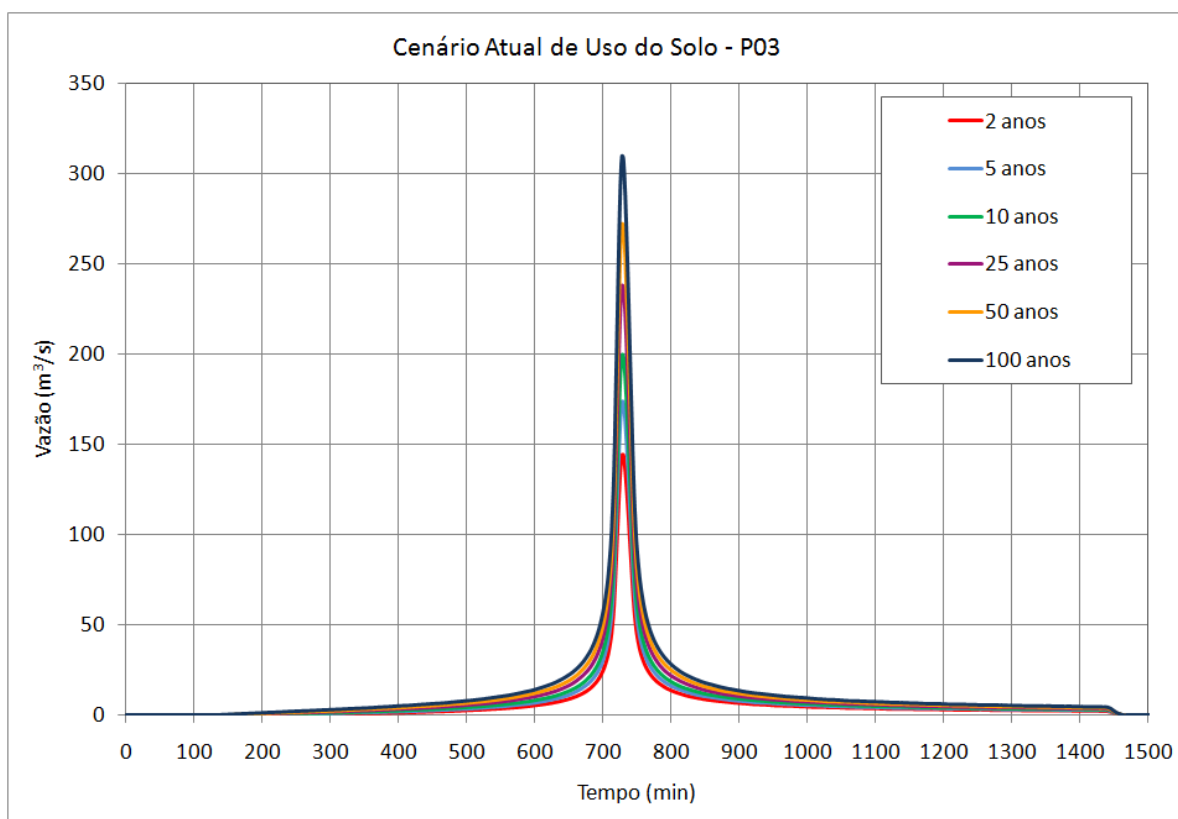


Figura 8.59. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P03.

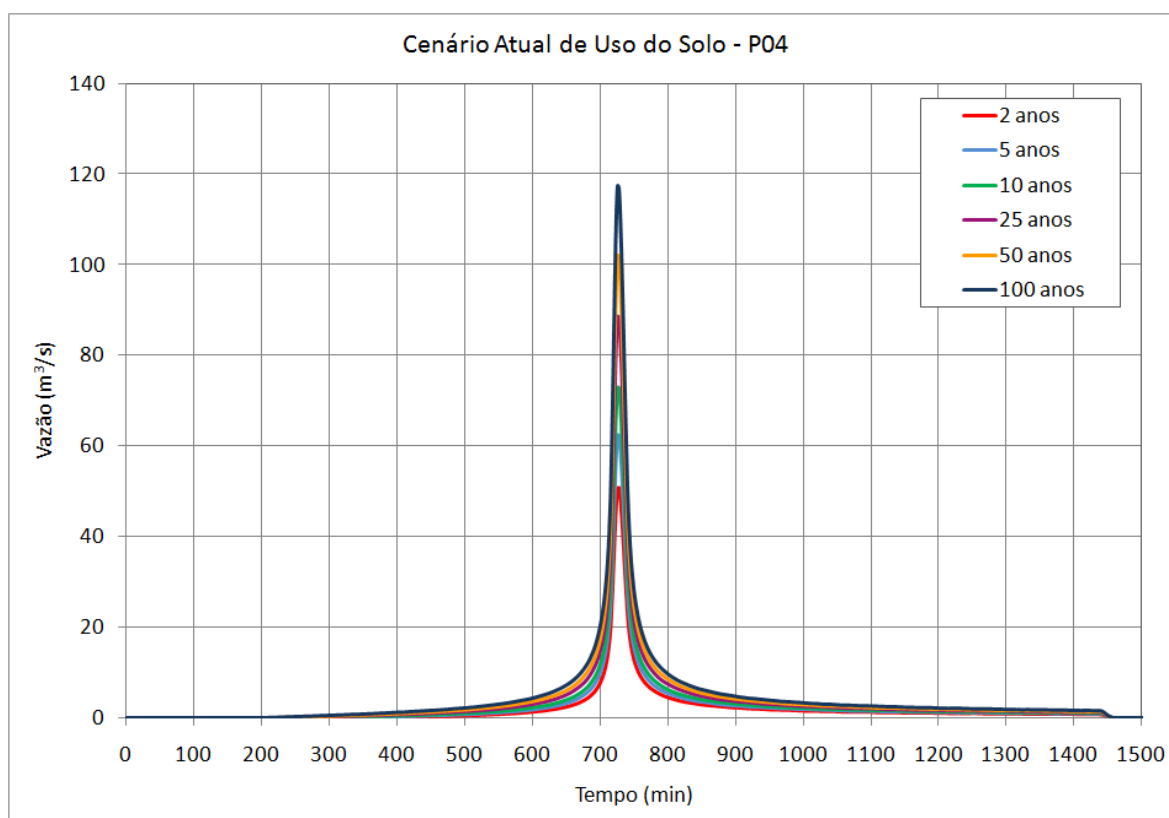


Figura 8.60. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P04.

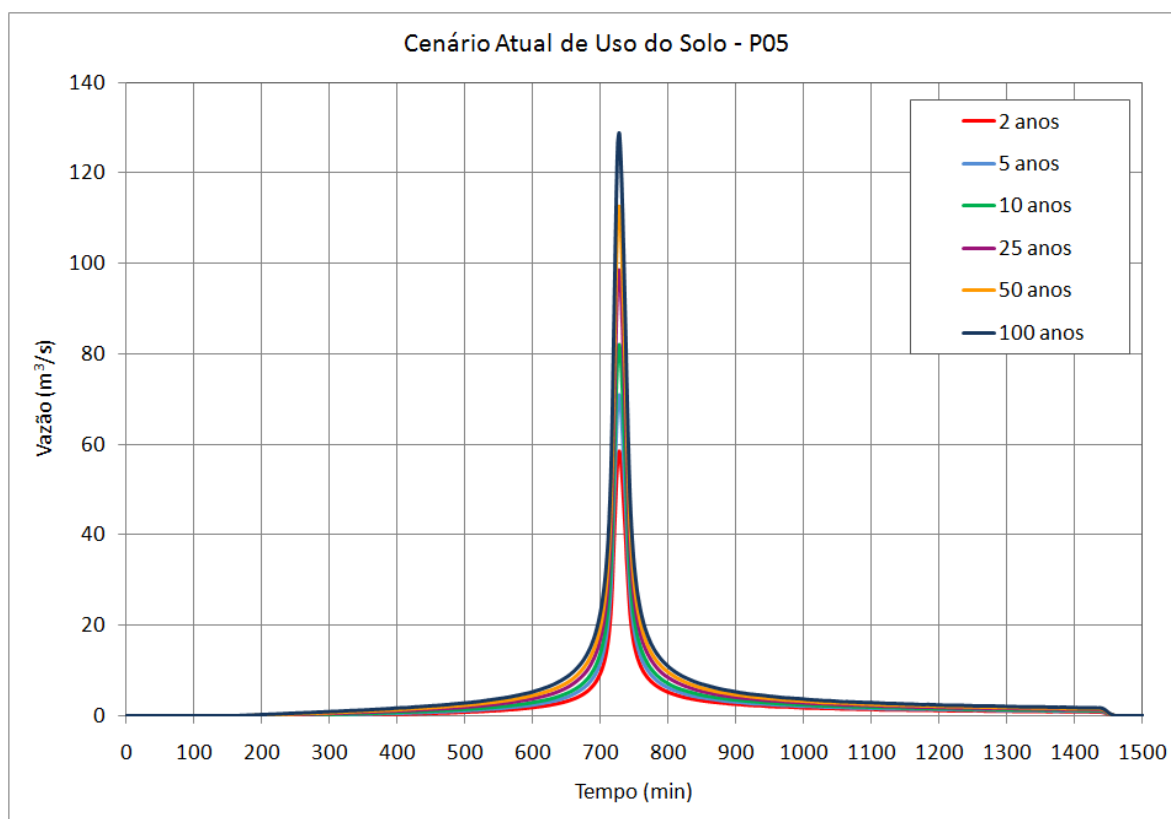


Figura 8.61. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P05.

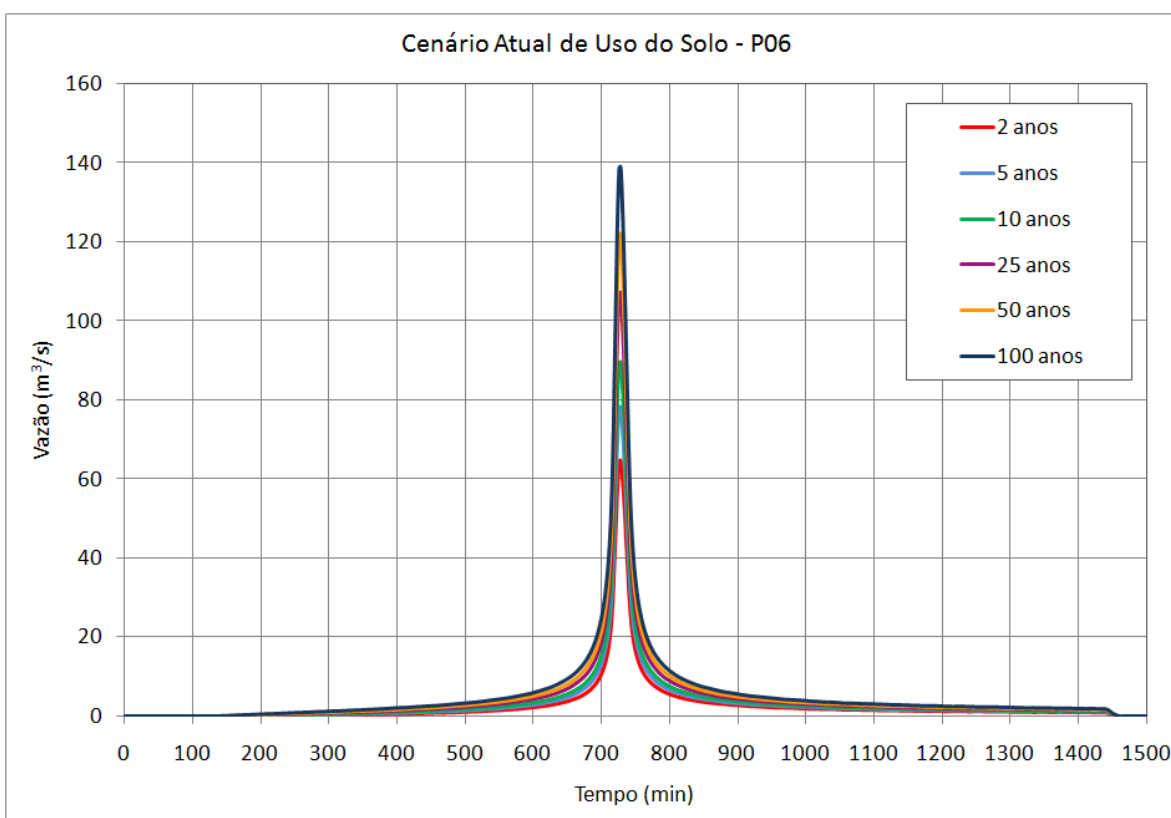


Figura 8.62. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P06.

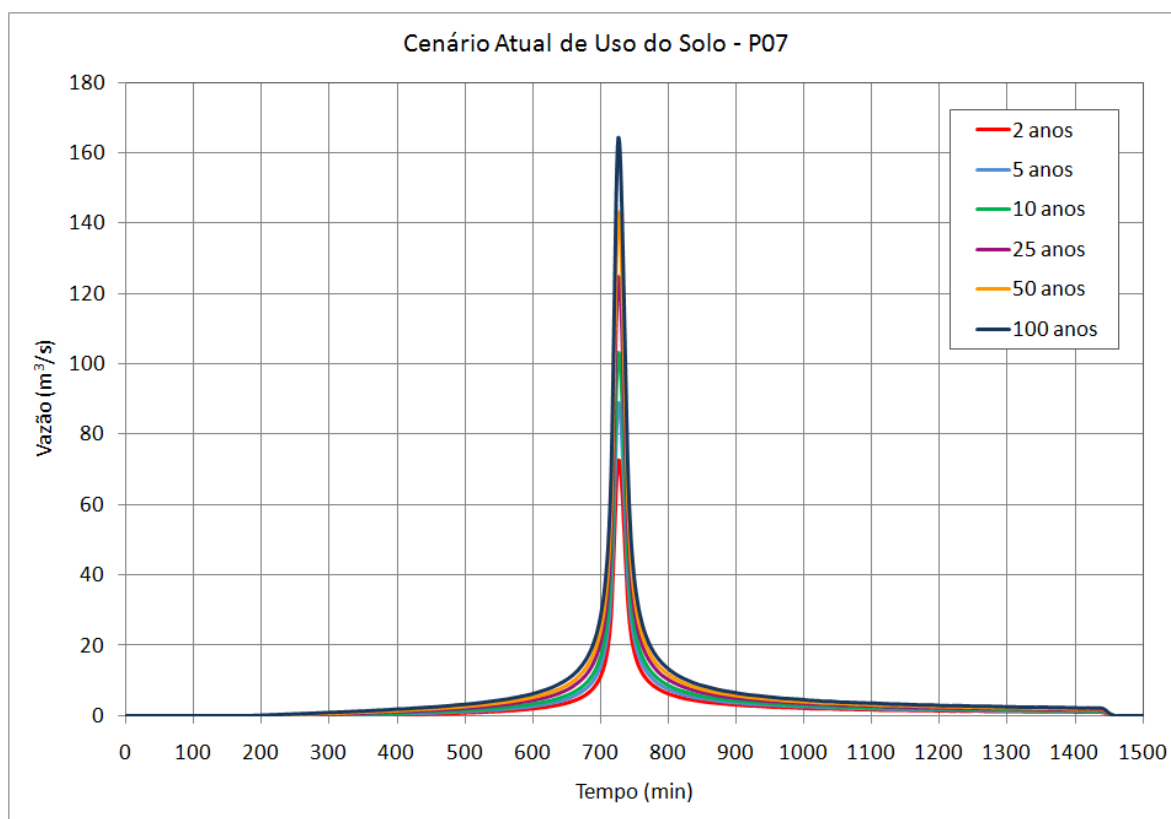


Figura 8.63. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P07.

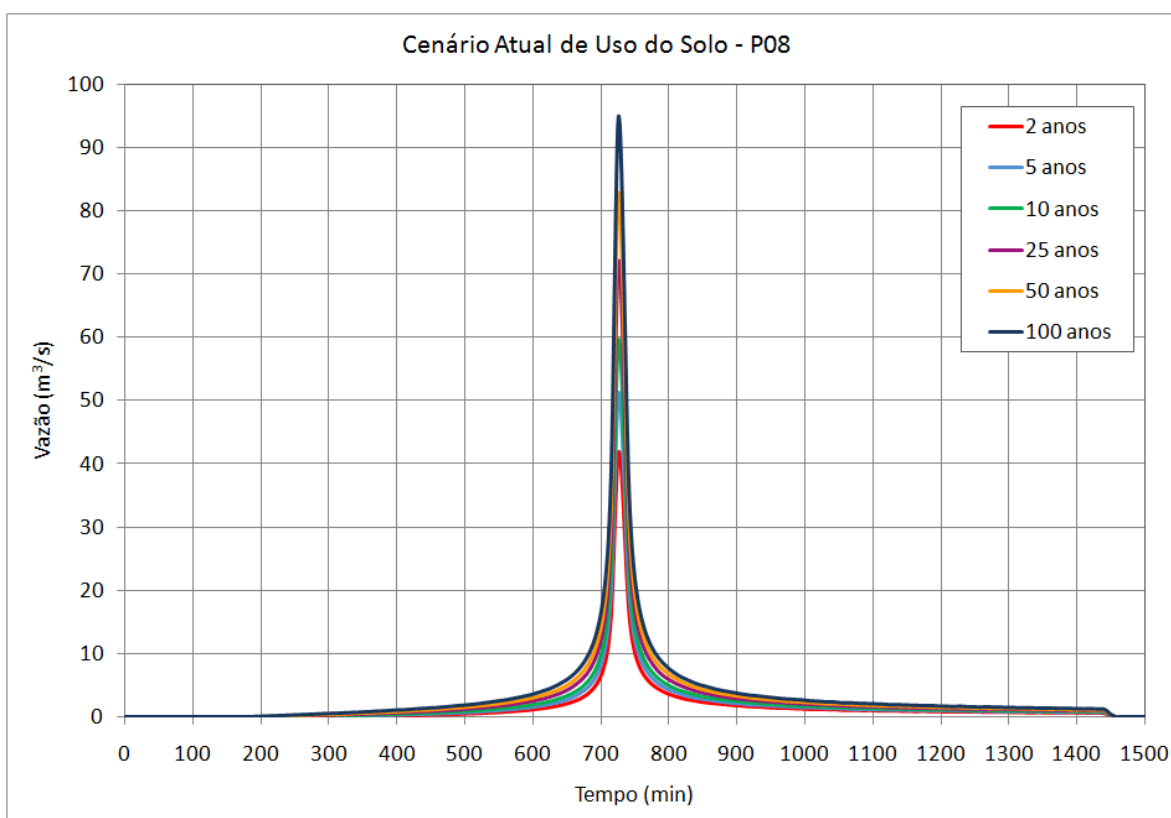


Figura 8.64. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P08.

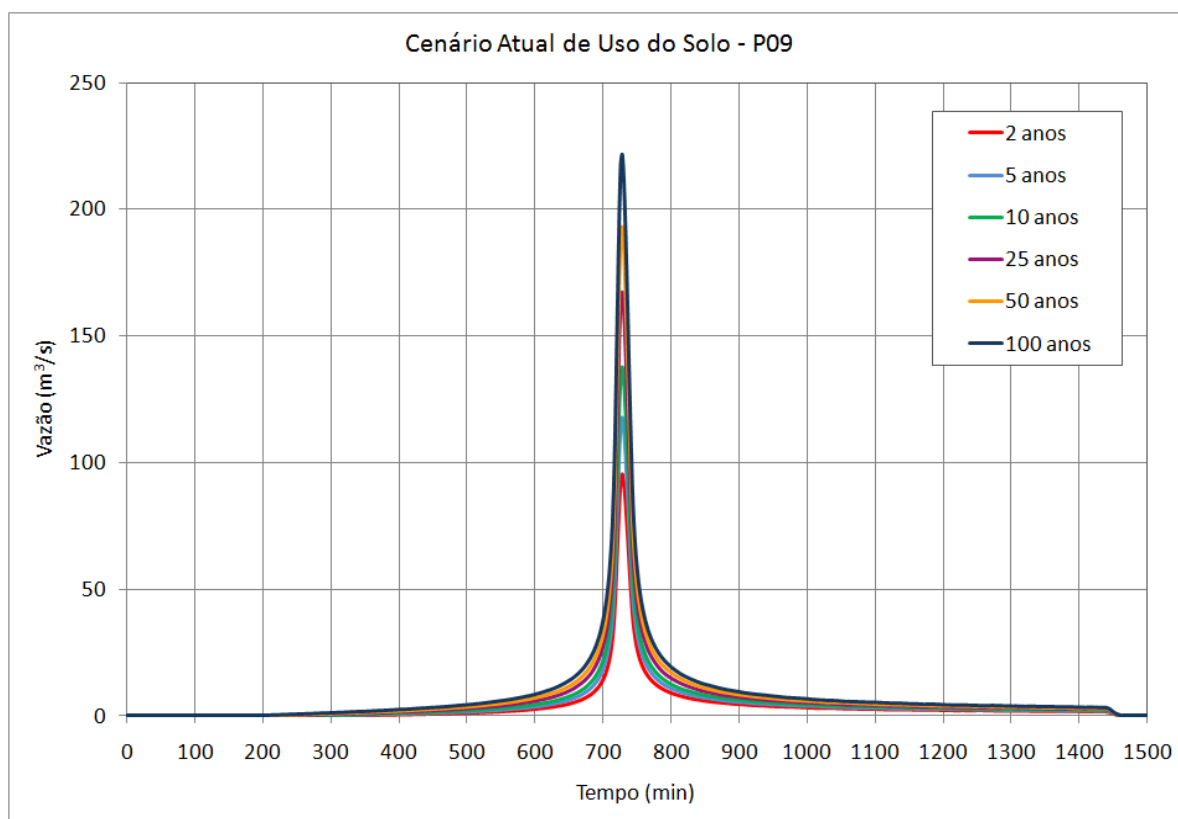


Figura 8.65. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P09.

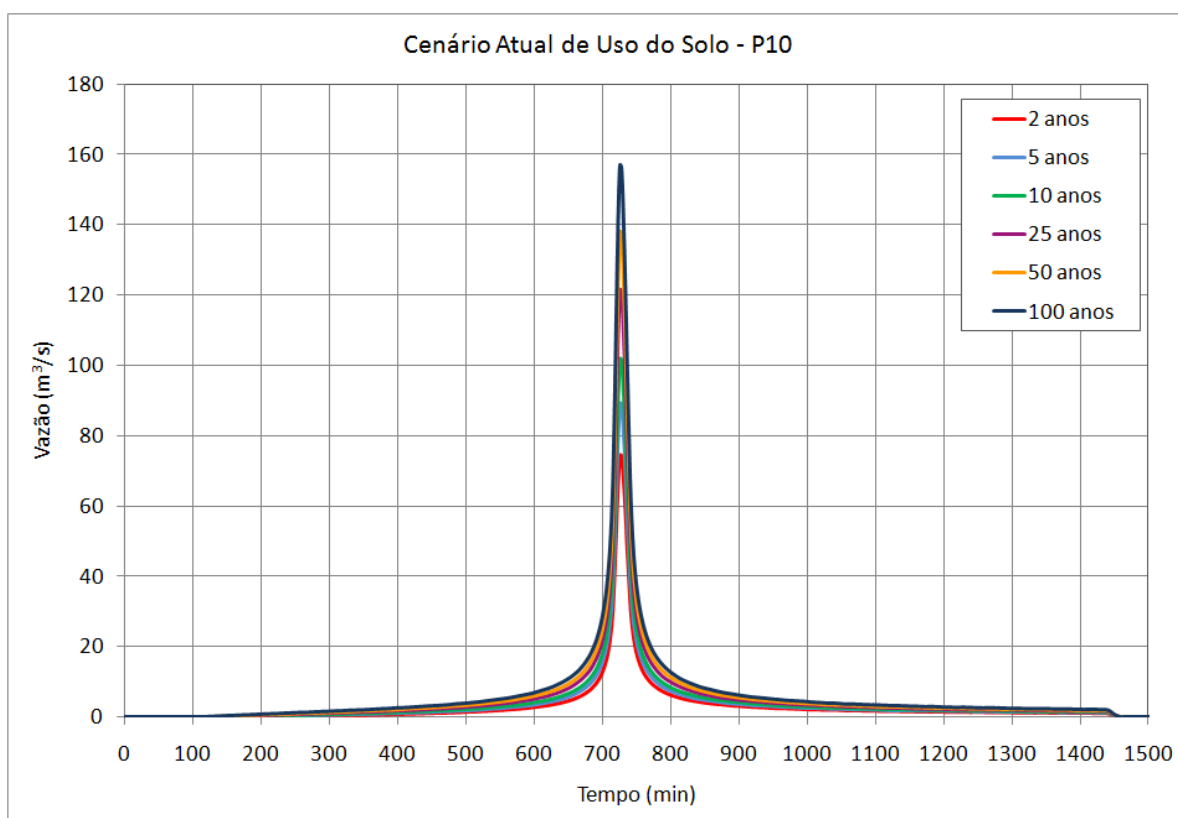


Figura 8.66. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P10.

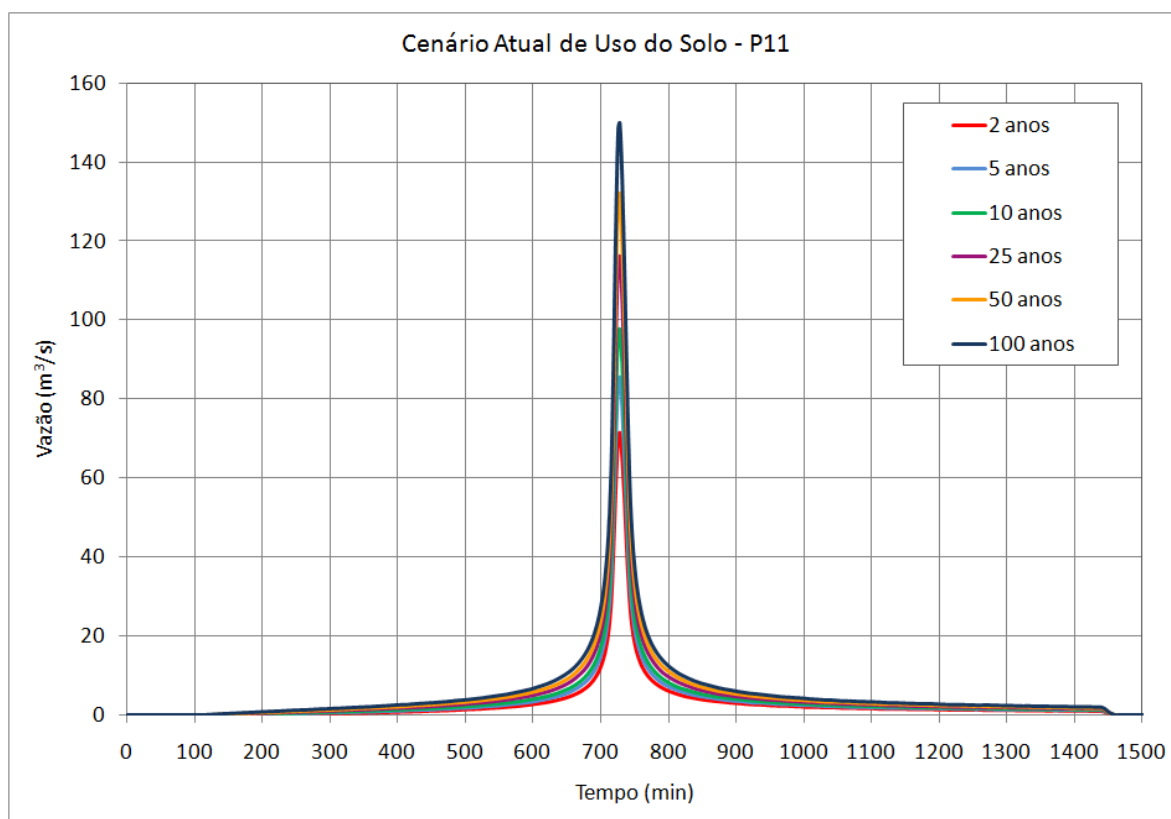


Figura 8.67. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P11.

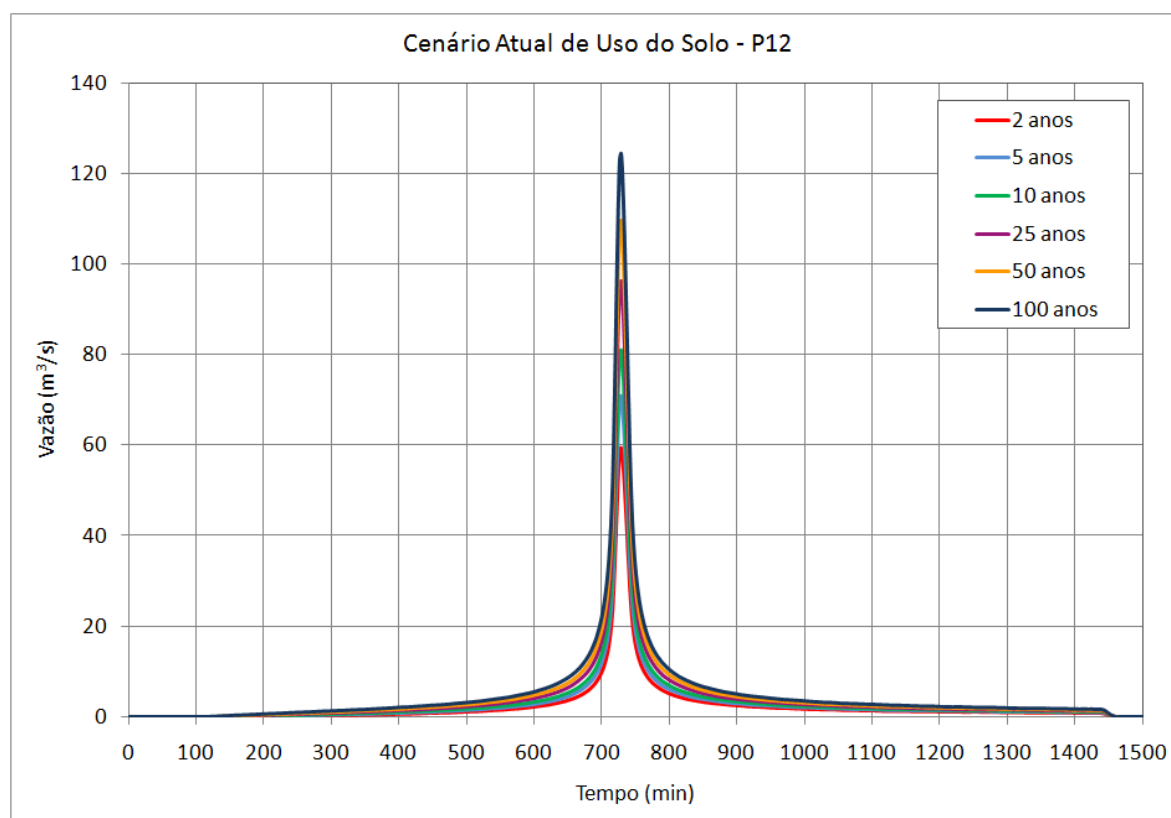


Figura 8.68. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P12.

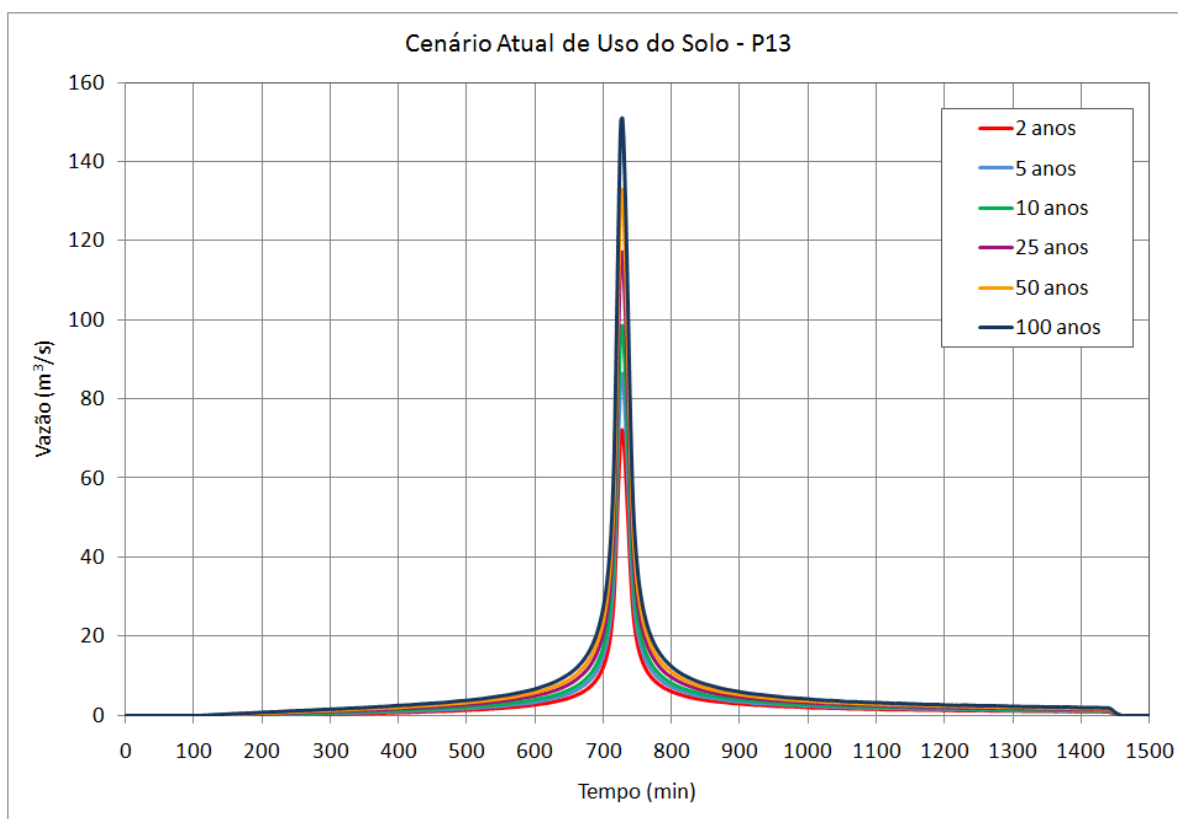


Figura 8.69. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P13.

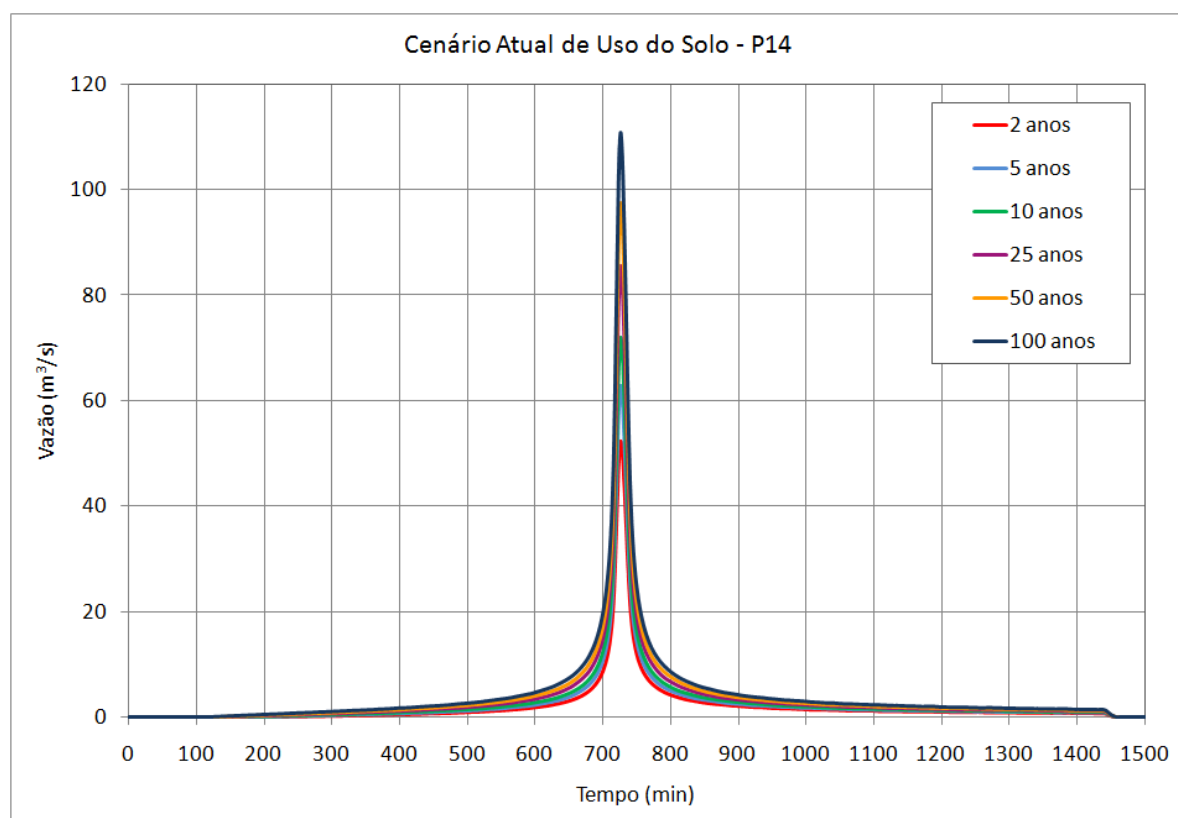


Figura 8.70. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P14.

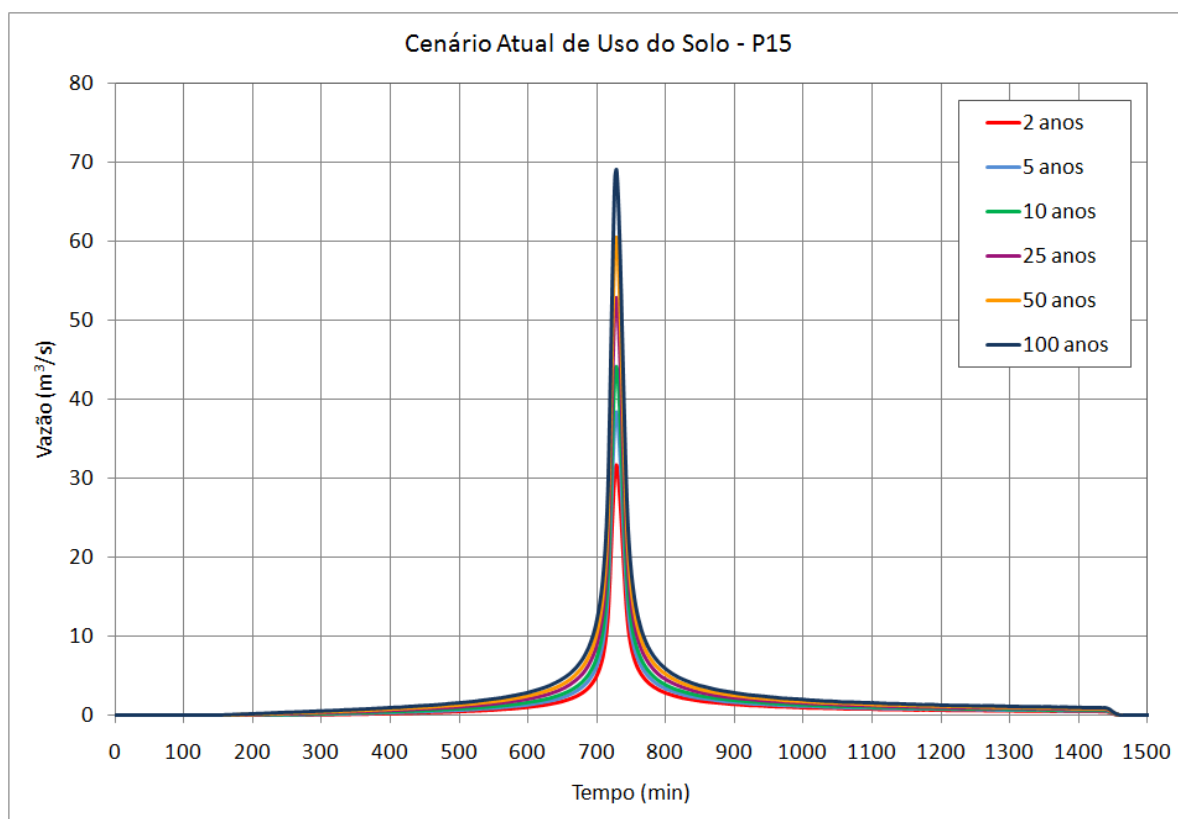


Figura 8.71. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P15.

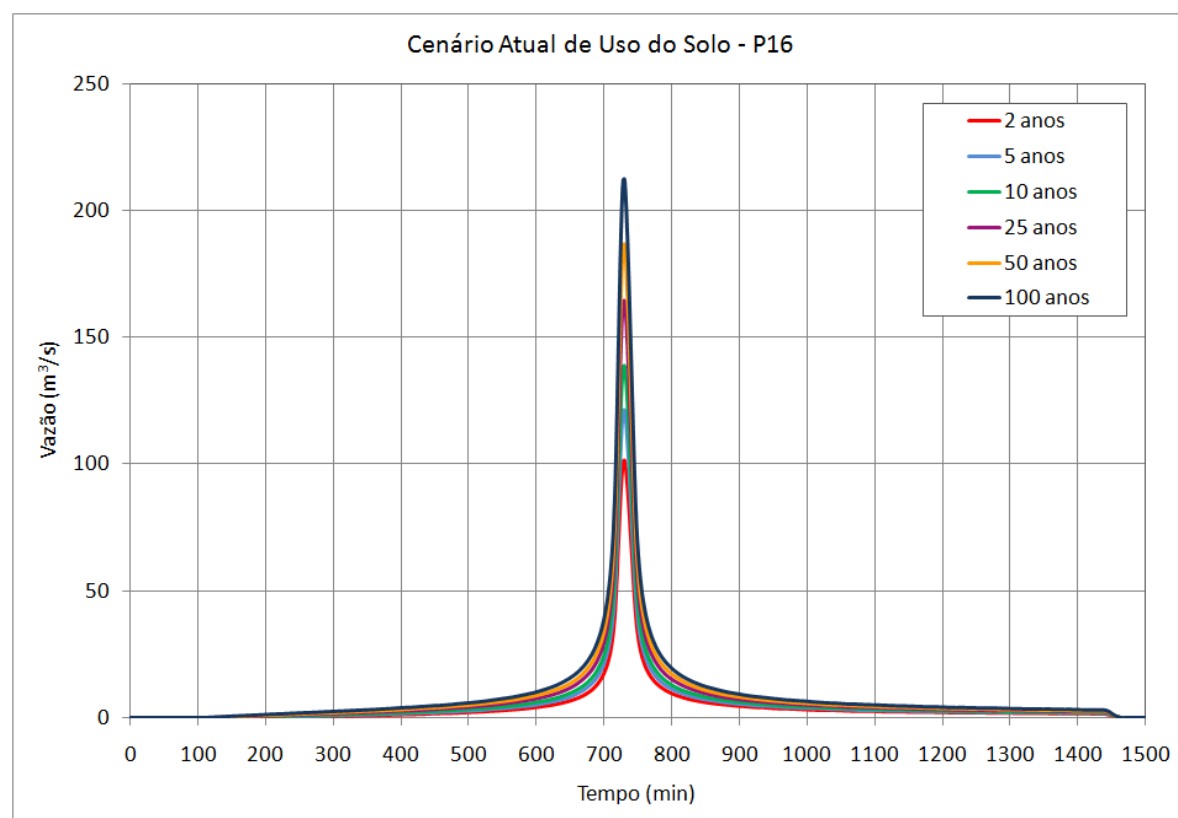


Figura 8.72. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P16.

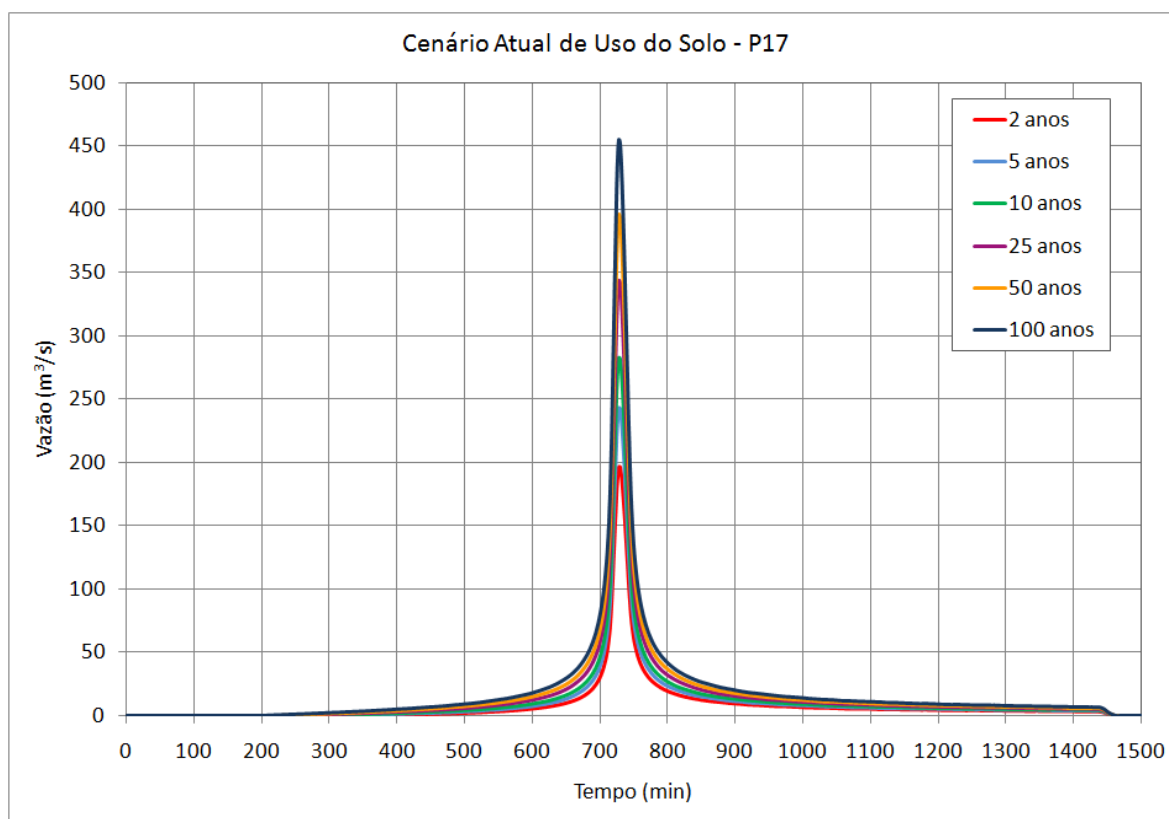


Figura 8.73. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P17.

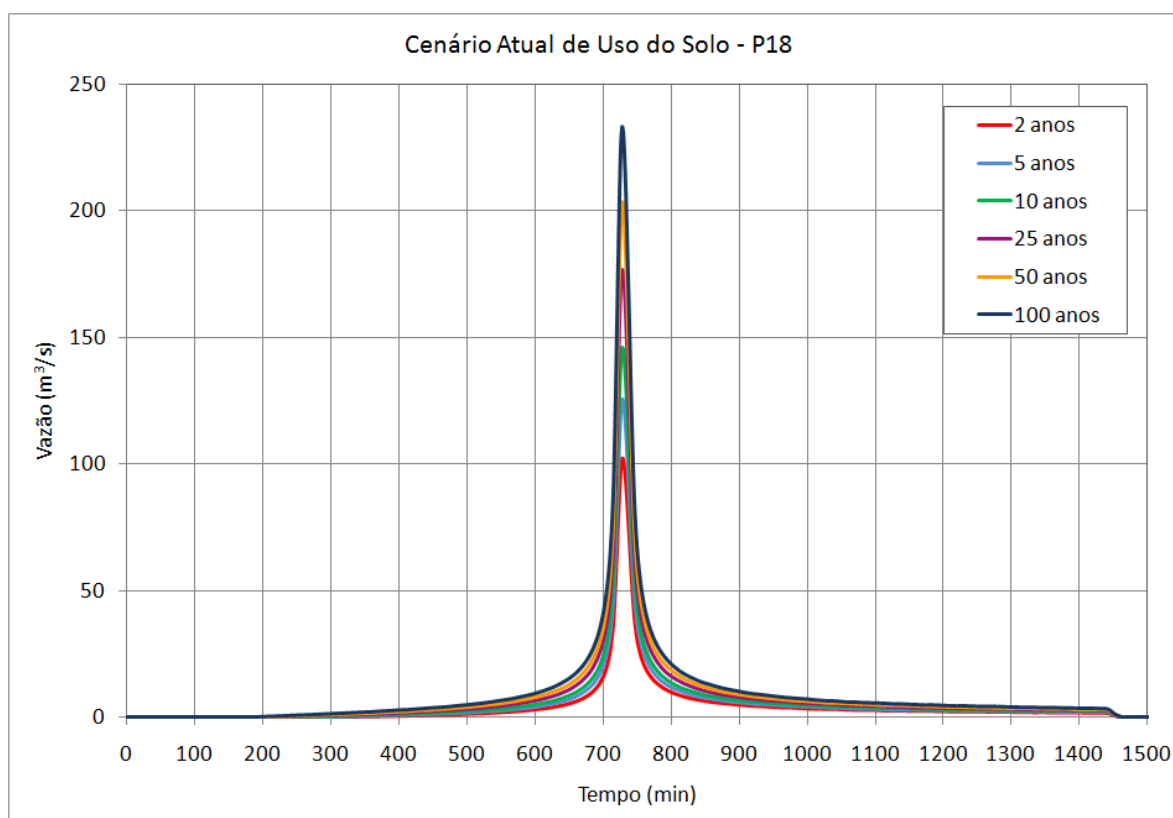


Figura 8.74. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P18.

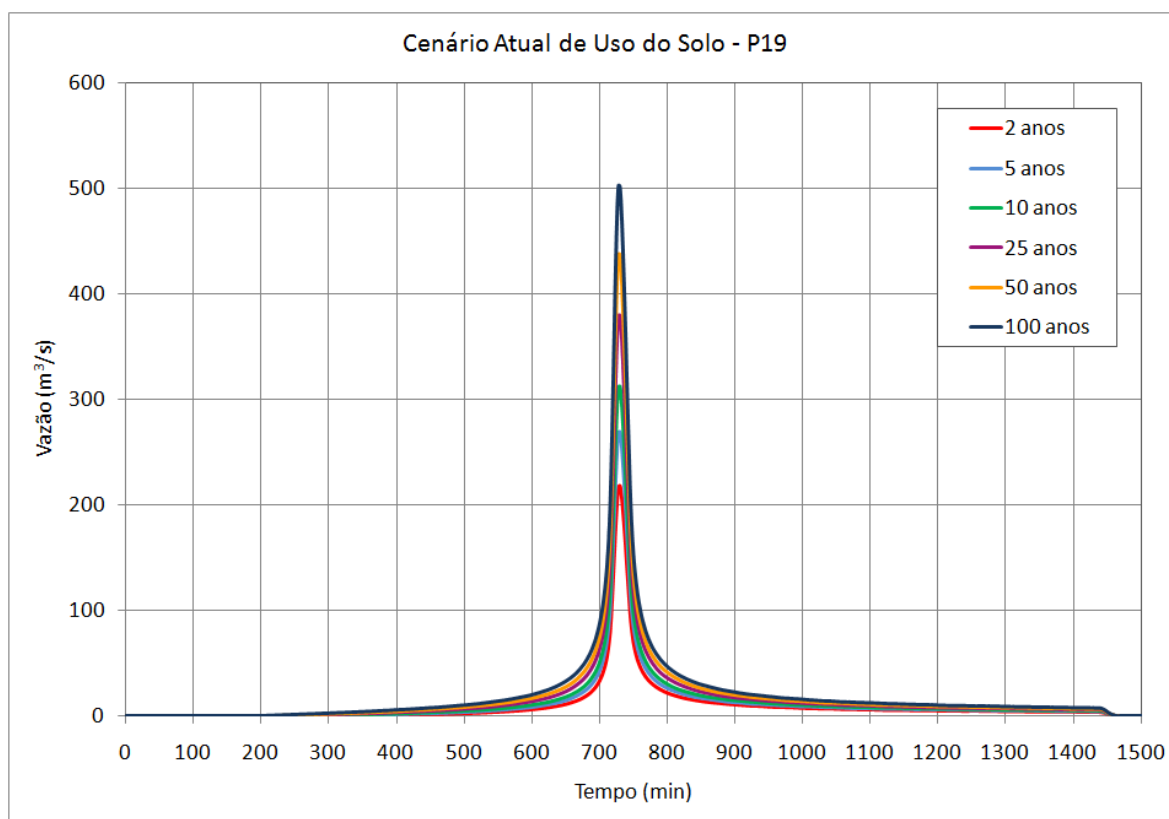


Figura 8.75. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P19.

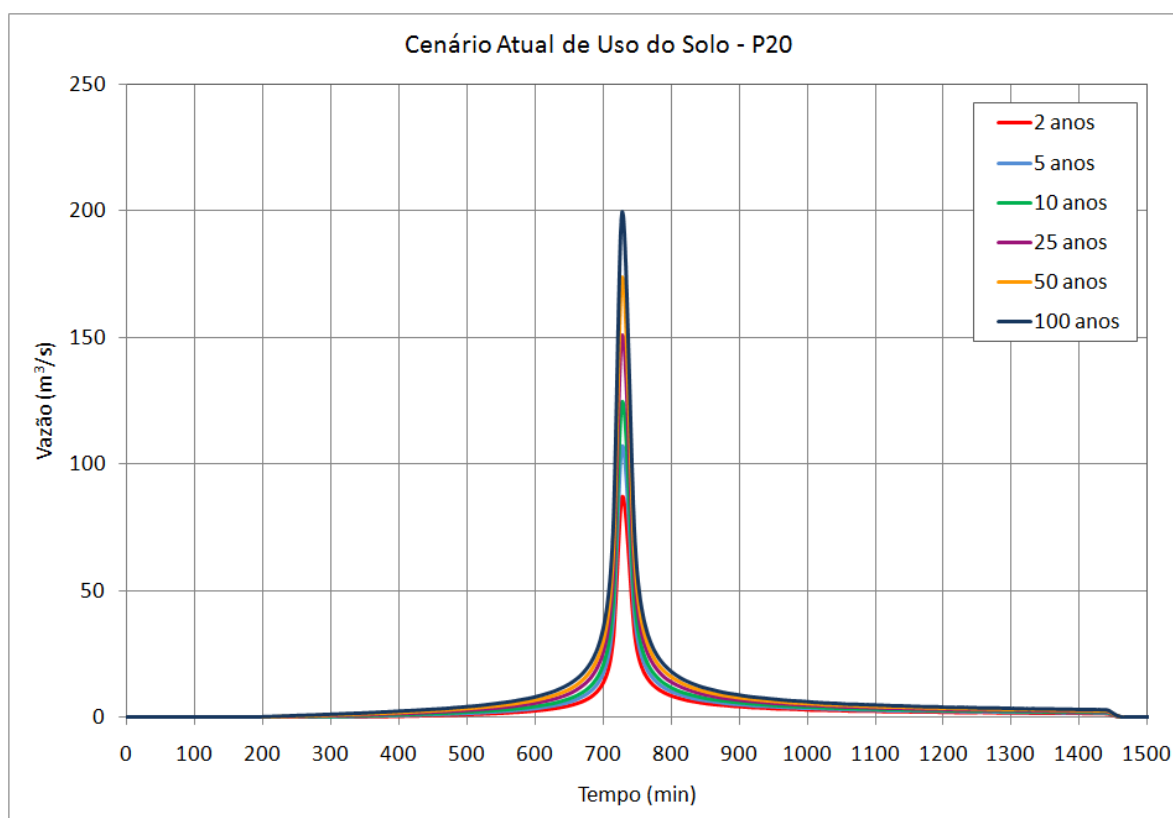


Figura 8.76. Hidrogramas de projeto para o cenário de diagnóstico na sub-bacia P20.

8.5 Modelagem e diagnóstico hidráulico do sistema de drenagem

Em virtude da não existência de um cadastro sistematizado das redes de drenagem urbana de Teresina, a metodologia de trabalho para o diagnóstico precisou ser alterada, conforme estabelecido em comum acordo com a equipe de fiscalização e supervisão do PDDrU, visto que inviabilizou a realização da modelagem das redes.

Desta forma, um diagnóstico descritivo integrado da situação das sub-bacias urbanas de drenagem de Teresina, realizado com base na análise e consolidação de informações levantadas acerca da drenagem pluvial, bem como na modelagem hidrodinâmica dos principais cursos d'água que cortam a área urbana de Teresina, os rios Poti e Parnaíba, é apresentado no capítulo a seguir.

9 CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE INTEGRADA DAS SUB-BACIAS DE DRENAGEM

9.1 Macrobacia da margem direita do rio Poti

Na área urbana de Teresina, a bacia que drena em direção à margem direita do rio Poti foi discretizada em 16 sub-bacias. Os principais problemas detectados em cada uma destas sub-bacias, para fins de diagnóstico da drenagem urbana, são apresentados a seguir.

9.1.1 Sub-bacia PD01

A sub-bacia PD01 localiza-se na porção sudeste da cidade de Teresina, próximo ao limite do perímetro urbano da cidade, sendo contribuinte do rio Poti na sua margem direita. Esta bacia localiza-se em uma região de baixa declividade. A variação altimétrica é da ordem de 40 metros, com altitude máxima de 73 m.

Nas proximidades do acesso ao Conjunto Residencial São Paulo e nas ruas próximas à encosta do rio concentra-se frequentes alagamentos em função das cheias do rio, apoiado pelas baixas cotas do local. Este local é conhecido como região da Curva São Paulo e popularmente indicado como local sujeito a enchentes (Figura 9.1).

Além disso, levantamentos da Defesa Civil apontam porções do bairro São Sebastião e a Vila Beira Rio como áreas de grande vulnerabilidade a enchentes ribeirinhas.

Como consequência das inundações ribeirinhas, observam-se áreas úmidas no local, que são alimentadas pelo rio durante a época de enchentes. A coloração do solo do local nas imagens de satélite consultadas (IKONOS 2005 e 2007; Landsat e CBERS, já descritas nos tomos anteriores) também demonstra a presença de concentração de água durante a época úmida.



Figura 9.1. Alagamento na Curva São Paulo.

9.1.2 Sub-bacia PD02

A sub-bacia PD02 localiza-se na porção sudeste da cidade de Teresina, próximo ao limite do perímetro urbano da cidade. Localiza-se em uma região de baixa declividade. A variação altimétrica na bacia é da ordem de 50 metros, com altitude máxima de aproximadamente 80 m. Concentra-se próximo ao Parque Poti, estendendo-se ao longo do território do Parque Itararé. Não foram observados nem reportados problemas relacionados à drenagem urbana nesta sub-bacia.

9.1.3 Sub-bacia PD03

Esta sub-bacia localiza-se em uma região de gradiente topográfico considerável com cotas que variam dos 165 m, junto à cabeceira, aos 40 m, na foz. A cabeceira desta sub-bacia se encontra fora da área urbana de Teresina.

De acordo com o levantamento da Concremat junto aos profissionais que atuam na drenagem urbana e que participaram do treinamento realizado em Teresina, existe alta incidência de alagamentos ao longo da Rua Projetada 457, paralela a Alameda dos Sabiás, atingindo a Estrada Usina Santana. Trata-se de uma região com arruamento de terra,

caracterizada pela ausência de sistemas de micro e macrodrenagem, sendo esse o principal motivo do represamento de água. É provável que nesta região aconteça o encontro do escoamento de água proveniente de ruas e regiões vizinhas que, reforçada pela falta de drenagem, conduz ao intenso acúmulo de água sobre a mencionada rua.

A Defesa Civil ainda apontou em 2008 que o Residencial Novo Milênio e Bairro São Raimundo desta sub-bacia estariam com sérios problemas de alagamento, cuja origem aparenta ser similar ao apontado na região acima.

Em outro caso, no bairro Recanto dos Pássaros, em parte de uma de suas quadras centrais, ocorreu a implantação de casas sobre áreas alagadiças (brejos), como mostrado na fotografia a seguir (Figura 9.2).



Figura 9.2. Casa em construção dentro de área alagadiça do bairro Recanto dos Pássaros.

Na parte de jusante da sub-bacia PD 03, por estar próxima da região da curva São Paulo, se observam inundações ribeirinhas, tendo sido apontada a Vila Beira Rio como a região mais problemática.

9.1.4 Sub-bacia PD04

A sub-bacia PD04 localiza-se na porção noroeste da cidade de Teresina, na proximidade da confluência do rio Poti com o rio Parnaíba, localizada totalmente no interior do perímetro urbano. Apresenta-se como uma região de gradiente topográfico bastante uniforme, com cotas que variam dos 100 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz.

Mesmo inteiramente no perímetro urbano, a bacia é bastante despovoada. Segue ao longo da Avenida Dr. Josué Moura Santos por aproximadamente 2000 m. A região apresenta ausência e/ou baixa vegetação. Na superfície é visível ocorrência de áreas de solo exposto, com um aspecto “lavado”, o que é um indicativo de intenso alagamento em períodos de extravasamento do rio Poti que, desta forma, se conecta ao Parnaíba formando um verdadeiro canal sobre a planície. A região alagadiça concentra-se em cota baixa, onde existe a formação de lagoas ao longo de toda a extensão do limite de jusante da bacia.

9.1.5 Sub-bacia PD05

Localizada na porção sul da cidade de Teresina, junto a um meandro do rio Poti, a sub-bacia PD 05 está inserida em uma região de gradiente topográfico bastante suave, com cotas que variam dos 75 m, junto à cabeceira, aos 45 m, na foz.

Sub-bacia cortada pela Avenida Joaquim Nelson, culminando no estreitamento da curvatura do rio, para o qual apresenta gradual declividade. Nas partes mais baixas foram relatados alagamentos durante eventos críticos do rio Poti nas Vilas Extrema (Figura 9.3) e Dona Lucy e, mais a jusante, nos bairros Redonda e Vila Verde. Os alagamentos coincidem com as cotas mais baixas, sendo esta a sua causa.

Na porção esquerda da sub-bacia (visando de montante para jusante da sub-bacia), nas proximidades do rio Poti antes da curva, se observa uma área sem grande povoamento, e as edificações presentes concentram-se a uma distância significativa da margem, fornecendo indícios de que essa área apresenta ocorrência de enchentes ribeirinhas.



Figura 9.3. Rua Desembargador Sá Barreto, no Bairro Extrema, inundada pela invasão de águas do rio Poti.

9.1.6 Sub-bacia PD06

A sub-bacia PD06 localiza-se na porção sul da cidade de Teresina, localizada totalmente no interior do perímetro urbano da cidade. É uma região de gradiente topográfico bastante suave com cotas que variam dos 80 m, junto à cabeceira, aos 45 m, na foz.

A PD06 é de grande extensão, tendo a sua região nordeste intensamente povoada. Destaca-se o Bairro Itararé nesta sub-bacia, em vista de sua alta densidade populacional. Até mesmo por causa dessa intensa ocupação, nesta parte da bacia há um bom número de dispositivos e redes de drenagem instaladas pela municipalidade. Mas, como nos demais pontos da malha urbana de Teresina, essa drenagem ainda tem a sua densidade muito incipiente, necessitando de novos ramais auxiliares.

Já a extensão sudoeste desta sub-bacia, que acompanha o rio Poti, tem pouco ou nenhum povoamento. Essa região inferior é alvo de grandes alagamentos, em função do extravasamento do leito do rio, reforçada pelas baixas cotas do local. Toda a extensão ao longo das margens apresenta vegetação esparsa ou inexistente, conforme verificado em



Figura 9.5. Alagamento de galpões de atacadista às margens da Av. Deputado Paulo Ferraz.
(Foto: Erasmo Júnior)

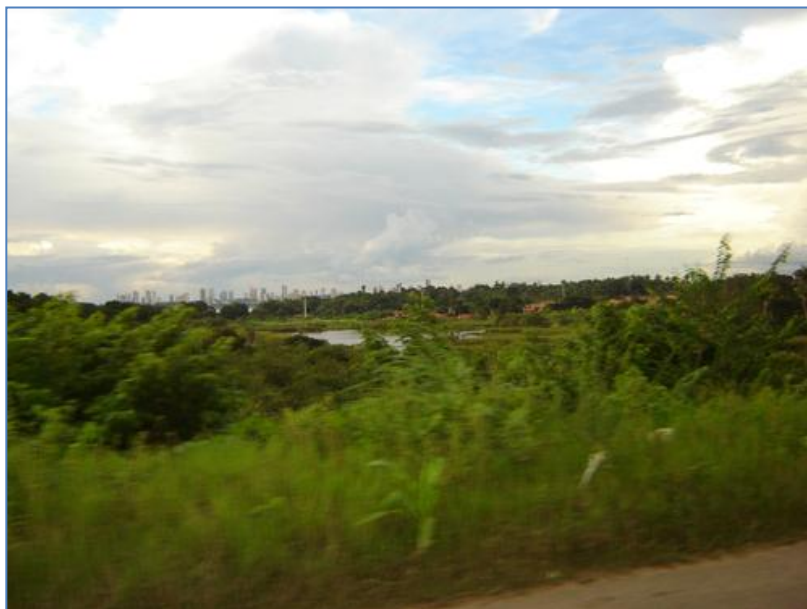


Figura 9.6. Formação de lagoas ao lado da Av. Deputado Paulo Ferraz. (Foto: Erasmo Júnior)

9.1.7 Sub-bacia PD07

A sub-bacia PD07 insere-se na porção nordeste da cidade de Teresina, tendo sua área de drenagem localizada parte no interior do perímetro urbano, parte em região rural. Esta

sub-bacia está situada em uma região de gradiente topográfico bastante íngreme com cotas que variam dos 160 m, junto à cabeceira, aos 50 m, na foz, sendo a parte mais alta pertencente à região rural.

Esta sub-bacia apresenta grande extensão com área habitada significativa, principalmente em seu extremo sul e região central. Trata-se de área com potencial para adensamento populacional e onde já tem acontecido um grande número de novos empreendimentos habitacionais, com destaque para o Vale do Gavião, porção leste da sub-bacia, para classe média baixa.

Há também loteamentos para quem tem poder aquisitivo maior, como é o caso do *Aldebaran Ville*, na porção norte da sub-bacia, limitando-se a área rural.

Nos bairros instalados nessa região de topografia recortada e bastante irregular (alterna morros com baixios em grande número) acontecem muitos locais de ocupação habitacional próxima à drenagem natural, precedente à urbanização.

Deste fato, notam-se problemas de alagamento intenso e frequentes, como por exemplo, nas proximidades da Rua Urano e Rua Bela, no Bairro Satélite. Esta é uma região de baixa altitude em relação à vizinhança e, portando naturalmente um talvegue. Assim, acaba sendo ponto de fuga do escoamento oriundo das demais regiões. O alagamento é proveniente da insuficiência do sistema de drenagem, que por diversos motivos (entupimentos por lixo carreado, sinuosidades, etc.) não vem desempenhando seu papel adequadamente, conforme projetado. Essas deficiências acabam provocando o extravasamento da água das redes, atingindo as residências no entorno.

O mesmo fenômeno ocorre na Rua Apolo XI (Figura 9.7), que tem pavimentação em paralelepípedos, sem indícios de tubulações de drenagem. Como o terreno é bastante acidentado, em cotas inferiores acaba acumulando água, surgindo os alagamentos.



Figura 9.7. Vista para a Rua Apolo XI a partir da Rua Rotary Club (Foto: Edgar Felipe).

Esta sub-bacia apresenta remanescentes de um curso d'água, que aparentemente preserva seu traçado e drena naturalmente porções dos bairros Satélite, Porto do Centro e Morros. Na parte de jusante, ao final deste córrego, se encontra uma lagoa de porte, a Lagoa do Zoobotânico, marginal ao rio Poti e que atua como bacia de retenção natural.

9.1.8 Sub-bacia PD08

A sub-bacia PD08 localiza-se na porção central da cidade de Teresina, concentrando-se toda no perímetro urbano. Tem gradiente topográfico relativamente suave, com cotas que variam dos 85 m, junto à cabeceira, aos 40 m, na foz.

Apresenta incidência de inundações decorrentes das cheias do Rio Poti cuja extensão decorre desde o leito do rio até proximidades da Rua Elon Constantino Aguiar, espaço caracterizado pela presença de lagoas artificiais destinadas ao tratamento de esgoto. A região é bastante desabitada em função das frequentes cheias e extravasamento do rio. Há presença de áreas úmidas naturais alimentadas pela água escoada de regiões de cota superior e pela infiltração da água do rio, pois ambos apresentam cotas muito próximas.

Ao longo da Rua João José Braga, que se estende desde a Rua Elon Constantino Aguiar até o encontro com a Rua Antônio Ubiratan, tem-se a presença de constantes e

frequentes alagamentos. A área de concentração desse problema estende-se principalmente até a Rua Dr. Natan Nunes. Esse trecho apresenta arruamento de terra, sendo interceptada por diversos arruamentos com revestimentos asfáltico, em cota superior. Nota-se que não foi possível observar no local nenhum sistema de drenagem específico, desta forma, fica dificultada a passagem da água, promovendo o seu acúmulo ao longo de toda essa extensão.

Na avenida que se prolonga ao longo da UFPI e dá acesso ao Centro Tecnológico têm-se alagamentos pouco frequentes. Já nas proximidades da rotatória com a Av. Nossa Senhora de Fátima, onde se encontra o letreiro da UFPI, e mais adiante nesta mesma avenida, no cruzamento com a Rua Dirce Oliveira, os alagamentos são bastante intensos. A principal causa dessa incidência é a provável deficiência no sistema de drenagem, cuja capacidade acaba por ser rapidamente superada. Também em função da repetida execução de capas de pavimento asfáltico, as ruas tornam-se dispostas em cotas cada vez mais altas e dessa forma, contribuem com a ineficiência do sistema de drenagem, pois fica prejudicada a condução de água pelas sarjetas, agora pouco profundas.

Ao longo da extensão da Rua Jorn. Hélder Feitosa, constatam-se alagamentos bastante frequentes. A causa principal é a deficiência do sistema de drenagem. Isso é de notável veracidade pelo fato da região concentrar-se em uma cota elevada e, portanto, não deveria apresentar dificuldades de escoamento.

Nota-se que nessa sub-bacia, praticamente todas as causas de alagamento concentram-se no ineficiente sistema de drenagem. Com a implantação das rodovias asfaltadas é imprescindível a construção de eficiente micro e macrodrenagem ao longo de toda a sua extensão.

9.1.9 Sub-bacia PD09

A sub-bacia PD09 localiza-se na porção central da cidade de Teresina, no interior do perímetro urbano da cidade e abrange parte dos bairros Ininga e Planalto. Esta sub-bacia está inserida em uma região de grande gradiente topográfico, com cotas que variam dos 100 m, junto à cabeceira, aos 45 m, na sua foz.

A bacia tem considerável declividade ao longo de toda a sua extensão. Apresenta grande povoamento na região sul. Já na região mais ao norte e noroeste, há predominância de intensa vegetação e poucas construções, o que contribui para a boa dissipação da água proveniente das precipitações.

Os problemas de drenagem verificados resultam da quantidade excessiva de água pluvial passando pelas ruas inseridas nos pontos baixos da topografia local e que não possuem dispositivos de captação, encaminhamento e descarga final em ponto viável de lançamento.

9.1.10 Sub-bacia PD10

A sub-bacia PD10 localiza-se na porção central da cidade de Teresina. Apresenta gradiente topográfico relativamente suave, com cotas que variam dos 85 m, junto à cabeceira, aos 25 m, na foz.

A bacia tem incidência de inundações ao longo da Av. Nossa Senhora de Fátima, com início no cruzamento da Av. Cel. Costa Araújo até a Av. Rio Poti. A topografia do local indica menor cota na região central dessa extensão, combinando com o local de maior alagamento, que é bastante frequente. Em função da topografia, o escoamento da vizinhança é todo conduzido justamente para essa região, levando a um alagamento devido à combinação de ineficiência (problemas de dimensionamento ou entupimento) com inexistência do sistema de captação superficial de água em quantidade e extensão suficientes. Na própria Av. Nossa Senhora de Fátima, próximo do limite da sub-bacia, as inundações só ocorrem em alguns períodos mais críticos.

Na última grande enchente do rio Poti, significativa extensão de área da sub-bacia ficou influenciada pela inundação e pelo remanso formado pelas suas águas. Até a estação de bombeamento de esgotos do interceptor mestre da Zona Leste ficou prejudicado. As garagens do subsolo dos edifícios do condomínio existente próximo à rotatória da Av. Raul Lopes, com 180 apartamentos (Vila Mediterrâneo), ficaram submersas pelas águas pluviais misturadas a águas servidas. Portanto, trata-se de mais uma sub-bacia que, em função da altura da lâmina d'água do rio Poti, tem prejudicada a sua drenagem.

9.1.11 Sub-bacia PD11

A sub-bacia PD11 localiza-se na porção leste da cidade de Teresina e possui grande extensão fora do perímetro urbano da cidade. Esta sub-bacia apresenta gradiente topográfico bastante suave, com cotas que variam dos 80 m, junto à cabeceira, aos 25 m, na foz, porém em grande extensão.

Próximo ao rio Poti, na travessia da Ponte Férrea, na região da Vila São Raimundo, tem-se a incidência de frequentes inundações. A região é naturalmente alagada e apresenta formação de lagoas, fato que justifica as poucas habitações em torno da região.

A extensão marginal da sub-bacia próxima ao rio Poti tem cota bastante baixa, o que favorece o extravasamento da água do rio em períodos de cheia.

A Av. Wladimir Monteiro no Bairro São João tem indicativo de frequente inundação (Figura 9.8 e Figura 9.9), com danos e prejuízos à população. A causa provável do fenômeno é a baixa declividade do local, aliada a problemas no sistema de drenagem. A região é densamente povoada, possui pavimento asfáltico nas vias principais, e é dotada de micro e macrodrenagem. Porém, sua eficiência é limitada pela superação da sua capacidade de escoamento e pelo efeito de remanso promovido pelo rio.



Figura 9.8. Alagamento no Bairro São João: Av. Dr. Wladimir Monteiro.



Figura 9.9. Estabelecimentos comerciais atingidos por alagamento no bairro São João.

A região do cruzamento da Av. dos Expedicionários com a Av. Noronha Almeida é naturalmente alagada, com intensa presença de áreas úmidas e cursos de água, mesmo em períodos de seca (Figura 9.10). O seu entorno é bastante despovoado, em função do aumento dos alagamentos em períodos de significativa precipitação, sendo ponto crítico de presença de edificações.

Na Av. João XXIII, em frente ao condomínio Mirante do Lago, tem-se alguns pontos de alagamentos, porém pouco frequentes. A extensão deve apresentar elementos de drenagem, que em função de elevadas precipitações, acaba por ter sua capacidade superada, o que vem a causar os alagamentos. A baixa cota das imediações da região contribui para esse fenômeno.



Figura 9.10. Vista das regiões naturalmente alagadas (Fonte: Google Earth).

9.1.12 Sub-bacia PD12

A sub-bacia PD12 localiza-se na porção central da cidade de Teresina, numa das regiões mais urbanizadas e com gradiente topográfico suave, com cotas que variam dos 110 m, junto à cabeceira, aos 45 m, na foz.

A bacia é propícia a alagamentos principalmente em torno do rio Poti na extensão da Av. Cajuína (Figura 9.11). A região costeira é bastante plana e o extravasamento do rio é comum.

Nesta sub-bacia está preservada a área de mata ciliar com a implantação do Parque da Floresta Fóssil, o que justifica a ausência de áreas povoadas e que permite cumprir o papel de proteção para os períodos de cheias.



Figura 9.11. Av. Cajuína inundada pelo rio Poti.

Na região da Av. João XXIII, seguindo para o norte até a Av. Sen. Area Leão, e para leste até a Av. Presidente Kennedy, englobando toda a extensão de povoamento, tem-se frequentes alagamentos (Figura 9.12). A região concentra significativa declividade para a região central. A causa mais provável das inundações é a deficiência do sistema de macrodrenagem, em função de problemas no dimensionamento e/ou entupimento das tubulações, impedindo a livre passagem da água. Isso é justificado por várias ruas apresentarem alagamentos, e com grande frequência e intensidade, indício de insuficiência da macrodrenagem.



Figura 9.12. Alagamento Av. Pres. Kennedy (Foto: Hérlon Moraes).

Na Av. Sen. Area Leão, nas proximidades da Rua Prof^a. Tonha e Rua Odilo Falcão, apresentam-se pontos de alagamento frequente. O mesmo fenômeno é comum na Av. Dom Severino, entre a Av. Pres. Kennedy e Rua Jaime da Silveira. As regiões são de cota inferior em relação às vizinhanças, concentrando toda a água proveniente do escoamento. Por apresentar deficiência em apenas algumas ruas, não se estendendo por toda a região, infere-se que esses locais necessitam de microdrenagem, pois é sabido que nada em especial se tem construído para esses locais. As águas pluviais se acumulam a todo tempo dentro da sub-bacia e passam a escoar em grandes volumes superficialmente, extrapolando os limites das ruas que funcionam como verdadeiras calhas. Deste modo, fica prejudicado o trânsito de pedestres e automóveis, que com as ruas repletas de água, ficam a mercê das limitações dessas rotas de deslocamento.

Nota-se também um desgaste prematuro do pavimento asfáltico por conta deste constante encharcamento das bases de sustentação dos mesmos. Aliado ao tráfego em excesso, os pavimentos requerem constantemente operação de tapa-buracos, como por exemplo, a Avenida Dom Severino.

Notícias veiculadas à época de elaboração deste relatório registram a obtenção por parte da Prefeitura de Teresina de recursos financeiros advindos do Governo Federal (algo

em torno de 25 milhões de reais) e suficientes para a execução da tão esperada galeria de drenagem pluvial do “Pão de Açúcar”, em referência ao supermercado que tem a sua garagem constantemente inundada pelas águas pluviais, ou da Rua Eustáquio Portela, em função da rua que experimenta forte enxurrada no bairro Jóquei. Com extensão aproximada de 6,1 quilômetros, o sistema de redes e galerias (Figura 9.13), aliado a implantação de uma bacia de retenção, fará com que a região desta sub-bacia tenha solucionado grande parte dos problemas advindos da falta de infraestrutura.

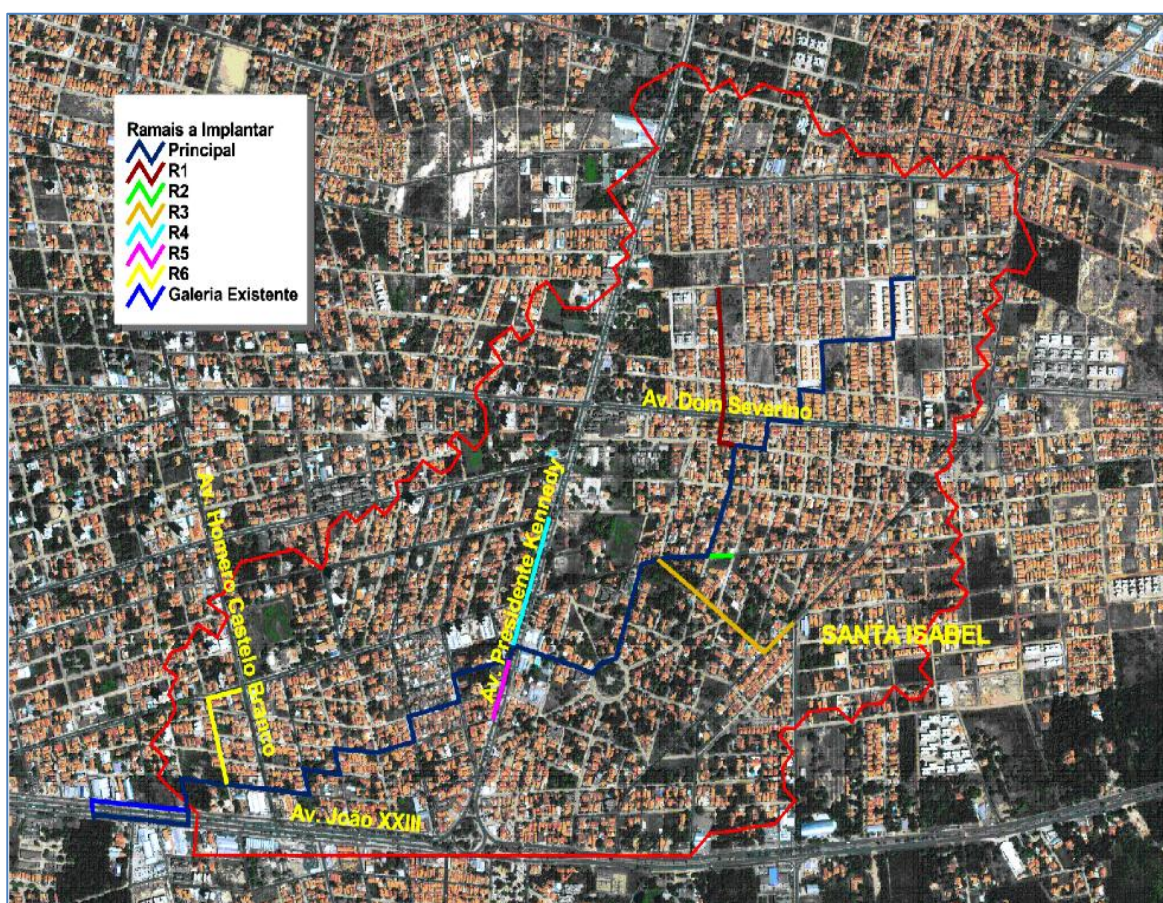


Figura 9.13. Traçado do projeto básico existente para o sistema de galerias na sub-bacia PD12: ramais e galerias a serem implantados (Fonte: PMT/SEMPPLAN).

Ainda, a região do bairro dos Noivos, na parte de jusante da sub-bacia PD12, foi apontada pela Defesa Civil como sujeita a inundações, que pelas características do local é

uma repetição do que acontece normalmente para os locais de cota muito baixa, como o que foi citado anteriormente.

9.1.13 Sub-bacia PD13

A sub-bacia PD13 localiza-se na porção central da cidade de Teresina, totalmente localizada no perímetro urbano do município. Esta sub-bacia localiza-se em uma região de gradiente topográfico bastante suave com cotas que variam dos 105 m, junto à cabeceira, aos 25 m, na foz.

A sub-bacia não apresenta grande concentração de áreas povoadas. As áreas habitadas encontram-se na cabeceira desta sub-bacia, que se constituem em uma porção do bairro Planalto.

Nesta sub-bacia está inserida parte da área do Colégio Agrícola da Universidade Federal do Piauí. Não foram detectados problemas de alagamento, apenas inundações ribeirinhas na parte mais próxima ao rio Poti.

9.1.14 Sub-bacia PD14

A sub-bacia PD14 localiza-se na porção central da cidade de Teresina junto a um segmento praticamente retilíneo do rio Poti. É uma região de grande urbanização e gradiente topográfico bastante suave, com cotas que variam dos 105 m, junto à cabeceira, aos 45 m, na foz.

A bacia é propícia a alagamentos, principalmente em proximidades do rio Poti (Figura 9.14 a Figura 9.16), na extensão da Av. Raul Lopes, desde o cruzamento da Av. João XXIII até a Av. Julio Mendes. Concentra grande ocupação próxima ao rio, caracterizando-se uma área de risco.



Figura 9.14. Alagamento na rotatória da Av. Raul Lopes com a Av. Jôquei Clube.



Figura 9.15. Alagamento na Av. Raul Lopes.

Os alagamentos também atingem locais mais afastados das margens do rio Poti, como ilustra a Figura 9.17, onde se observa inundação atingindo a Av. Ipê, que se localiza a mais de 200 m da margem do rio.



Figura 9.16. Alagamento nas margens do rio Poti, ao lado da Av. Raul Lopes.



Figura 9.17. R. Ipê inundada pelas águas do rio Poti, Bairro Fátima (Fonte: Portal 180 graus).

Ao longo da Av. Nossa Senhora de Fátima tem-se constantes alagamentos, sendo com maior intensidade e frequência no cruzamento da Rua Anfrísio Lobão até a Rua Raimundo Portela. O problema existente ao longo de toda essa extensão é ocasionado pela ausência dos sistemas de micro e macrodrenagem. Nas cotas mais baixas (inundações mais frequentes), onde se concentra maior volume de escoamento, a descarga pelos logradouros públicos acaba por não atender as necessidades de vazão.

Inundações também são frequentes nos seguintes trechos:

- Cruzamento da Av. Nossa Senhora de Fátima com a Av. João XXIII, cujo problema provável concentra-se nas galerias subterrâneas, com a superação da capacidade de escoamento ou problemas de entupimento;
- Extensão da Av. Dom Severino, no cruzamento com a Rua Thomaz Tajra até cruzamento com a Rua Rubi.

A sub-bacia PD14 apresenta vários problemas com relação ao sistema de drenagem sendo, para aquelas localizadas a direita do rio Poti, a que apresenta maiores incidências de inundações, juntamente com a bacia PD12.

Em mais um exemplo de prejuízo financeiro advindo da falta de infraestrutura de drenagem adequada para a região somada ao extravasamento do rio Poti, apresenta-se a seguir (Figura 9.18 e Figura 9.19), fotografias da inundação verificada no ano de 2009 em frente ao *Shopping Riverside*.



Figura 9.18. Alagamento na Av. Raul Lopes em frente ao *Shopping Riverside*.



Figura 9.19. Alagamento na Av. Ininga, que passa atrás do *Shopping Riverside*, distante cerca de 300 metros da margem do rio Poti.

9.1.15 Sub-bacia PD15

A sub-bacia PD15 localiza-se na região norte da cidade de Teresina, sendo que o limite do perímetro urbano da cidade praticamente corta a sub-bacia em duas regiões: uma ao norte e outra ao sul.

Dada a sua extensão longitudinal, esta sub-bacia localiza-se em uma região de gradiente topográfico bastante suave, com cotas que variam dos 125 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz.

Trata-se de área conhecida como Nova Theresina, onde há predominância de novos empreendimentos habitacionais para pessoas de baixa renda. Portanto, trata-se de um vetor de crescimento populacional recente.

Ao longo da extensão de cota baixa da Av. Dr. Josué Moura Santos presencia-se alagamentos devido ao extravasamento do rio Poti aliado ao recém incremento de vazões advindas das partes altas da sub-bacia, agora urbanizadas. A região é bastante plana junto à margem do rio, contribuindo para a situação adversa. Também em períodos sem cheias, a extensão é naturalmente alagada, devido à proximidade do rio e por concentrar-se em cotas muito próximas a de maior nível d'água deste.

9.1.16 Sub-bacia PD16

A sub-bacia PD16 localiza-se na região norte da cidade de Teresina, estando praticamente toda inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Esta sub-bacia localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente íngreme com cotas que variam dos 110 m, junto à cabeceira, aos 25 m, na foz.

Abrange uma área em torno da curvatura do rio Poti, acompanhando a Av. Dr. Josué Moura Santos, nas imediações do Bairro Pedra Mole. Não apresenta áreas sujeitas a alagamentos, porém é caracterizada como área úmida, com presença de brejos ou banhados. Há extração comercial de areia e seixo rolado.

Apesar de não apresentar risco aparente, a falta de infraestrutura de drenagem é sentida em alguns locais que não dispõem de redes e dispositivos de coleta e condução das águas pluviais. Não se tem notícia de grave problema de inundação na região.

Boa extensão de sua área é ainda despovoada, mas, a exemplo da sub-bacia PD15, apresenta potencial de crescimento populacional com a chegada de novos loteamentos.

9.2 Macrobacia da margem esquerda do rio Poti

A macrobacia urbana que drena para a margem direita do rio Poti foi subdividida em 32 sub-bacias urbanas, que se constituem nas bacias elementares para gerenciamento da drenagem desta porção de Teresina. Os pontos críticos da drenagem de cada uma destas sub-bacias são destacados a seguir.

9.2.1 Sub-bacia PE01

A sub-bacia PE01 localiza-se na região sul da cidade de Teresina, totalmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade.

Esta sub-bacia compreende parte dos bairros Bela Vista I e II. Tem uma forma praticamente retangular, bastante alongada, com gradiente topográfico relativamente íngreme, com cotas que variam dos 120 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz. Apresenta

grande densidade de vegetação. Não foram reportados problemas de inundações ao longo de toda a sua extensão.

9.2.2 Sub-bacia PE02

A sub-bacia PE02 localiza-se na região sudeste da cidade de Teresina, estando muito próxima ao limite do perímetro urbano da cidade. Esta sub-bacia situa-se em cotas cujo gradiente topográfico é relativamente suave, variando dos 80 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz.

Desde o ano de 2009, a sub-bacia concentra parte de um bairro maior que promove grande expansão populacional na sua porção sudoeste e não mostrada na imagem Ikonos do ano 2007, como é o caso do bairro Nova Alegria do programa Minha Casa, Minha Vida com 900 novas casas. Apesar de causar modificações à drenagem local, as necessidades de implantação de dispositivos de coleta e condução das águas pluviais estão contempladas nos projetos desses loteamentos, sempre que julgados necessários.

Ao sul, a sub-bacia também é cortada pela Estrada para Alegria, na região de curvatura do Rio Poti e que contém parte do Bairro Parque Sul, no entanto, com ruas não pavimentadas. Na região Ocidental, e avançando em direção ao rio Poti, é possível identificar uma extensa região em que existem remanescentes de área verde. Mesmo com grande tendência de enchentes, em função de sua forma, as inundações são praticamente ausentes, não caracterizando um ponto crítico.

9.2.3 Sub-bacia PE03

A sub-bacia PE03 encontra-se na região sudeste da cidade de Teresina. Esta sub-bacia corresponde à região de cabeceira de uma bacia maior, que aflui ao rio Poti em sua margem esquerda, já fora do limite do perímetro urbano do município.

Contém o Bairro Santo Antônio (que ocupa cerca de 20% da sub-bacia) e o Aterro Controlado Municipal para descarte de lixo domiciliar e hospitalar.

Esta sub-bacia localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente suave com cotas que variam dos 120 m, junto à cabeceira, aos 70 m, junto à região em que contribui para uma sub-bacia maior, fora do limite da zona urbana.

Apresenta grande concentração de remanescente de área verde, e pouco povoamento. Apesar de sua forma circular, que indicaria certa tendência à alagamentos, na sub-bacia PE03 não foram reportadas inundações.

9.2.4 Sub-bacia PE04

A sub-bacia PE04 localiza-se na região sudeste da cidade de Teresina. Esta sub-bacia corresponde à região de cabeceira de uma bacia maior, que aflui ao rio Poti em sua margem esquerda, já fora do limite do perímetro urbano do município.

Localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente suave com cotas que variam dos 115 m, junto à cabeceira, aos 60 m, na foz. Tem formato característico de gota, indicando que a bacia apresenta tendência às inundações. Porém, apesar dessas características não foram reportadas inundações.

Com relação à ocupação do solo nesta sub-bacia, verifica-se que embora se encontre em uma região de nascentes, a ocupação urbana predomina, com alguns remanescentes de área verde.

Assim como na PE02, desde o ano de 2009, esta sub-bacia concentra parte de um bairro maior que é o Residencial Nova Alegria. Portanto, o que se vê de solo exposto na sua porção oeste já foi tomado por urbanização.



Figura 9.20. Visão parcial do Nova Alegria em construção: junho/2009 (Fonte: www.pi.gov.br/materia.php?id=35618).

9.2.5 Sub-bacia PE05

A sub-bacia PE05 localiza-se na região sudeste da cidade de Teresina, estando totalmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Esta sub-bacia localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente íngreme, com cotas que variam dos 120 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz.

Esta sub-bacia tem uma forma retangular alongada, indicando que a bacia não apresenta tendência às inundações, o que está associado a sua forma retangular. Apesar da presença de regiões com áreas úmidas especialmente na região próxima ao rio Poti, não foram reportados alagamentos na mesma.

9.2.6 Sub-bacia PE06

A sub-bacia PE06 localiza-se na região sudeste da cidade de Teresina, estando totalmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Esta sub-bacia localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente suave, com cotas que variam dos 120 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz.

Esta sub-bacia encontra-se pouco urbanizada, com foco de urbanização somente a montante. A jusante há porção de terra remanescente com áreas verdes, até a margem do rio Poti.

Assim como a sub-bacia PE05, ela apresenta forma retangular alongada, indicando que a bacia não tem tendência às inundações, o que está de acordo com sua forma e coincide com a ausência de reportes de enchentes.

Nota-se com evidência um canal natural com margens preservadas e passíveis de que se mantenha certo espaçamento em ocupações futuras.

9.2.7 Sub-bacia PE07

A sub-bacia PE07 localiza-se na região sudeste da cidade de Teresina estando totalmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade em uma região de gradiente topográfico relativamente suave, com cotas que variam dos 120 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz.

Esta sub-bacia tem uma forma retangular alongada, indicando que a bacia não apresenta provável tendência às inundações. Encontra-se bastante urbanizada, principalmente de montante para jusante onde se apresenta o bairro Lourival Parente, um dos mais povoados de Teresina. No curso médio a urbanização é mais esparsa que a montante, e a jusante. Na margem do rio Poti são encontradas algumas lagoas marginais, em meio à vegetação. Mesmo com a presença de áreas úmidas na região próxima ao rio Poti, é ausente o reporte de incidência de alagamentos.

Às margens do Rio Poti e baseada ao lado da Estrada da Alegria, pode-se notar a presença da Estação de Tratamento de Esgotos da Morada Nova, feita por lagoas de estabilização.

9.2.8 Sub-bacia PE08

A sub-bacia PE08 localiza-se na região sudeste da cidade de Teresina estando totalmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade em uma região de gradiente

topográfico relativamente suave com cotas que variam dos 110 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz.

Esta sub-bacia tem uma forma retangular, indicando que a bacia apresenta pequena tendência às inundações.

Esta sub-bacia apresenta-se densamente urbanizada à montante. Seguindo para jusante é possível identificar que as margens do curso d'água encontram-se vegetadas, até a afluição com o rio Poti, com exceção da região noroeste, onde o solo encontra-se exposto, com possível sistema viário em formação.

9.2.9 Sub-bacia PE09

A sub-bacia PE09 localiza-se na região central cidade de Teresina totalmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade. A região apresenta gradiente topográfico relativamente suave, com cotas que variam dos 100 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz. Esta sub-bacia tem uma forma aproximadamente quadrada, indicando que a bacia apresenta pequena tendência às inundações.

Apresenta grande concentração de povoamento na maior parte de sua área. A Av. Getúlio Vargas (BR-343) atravessa a sub-bacia no sentido montante-jusante. É possível verificar que os cursos d'água se encontram em meio às edificações, no entanto, com vegetação remanescente em torno das margens. No lado direito da Av. Getúlio Vargas, no sentido montante-jusante, existe uma extensa região para onde a urbanização parece estar avançando.

Contém os Bairros Morada Nova, Redenção e Vila da Paz. São áreas naturalmente bem drenadas, mas que não possuem infraestrutura urbana de drenagem pluvial suficiente.

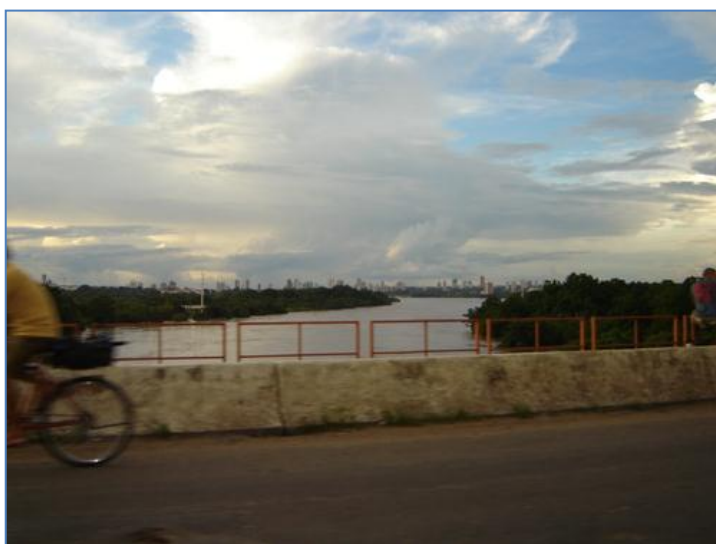


Figura 9.21. Cheias de 2009 no Rio Poti: vista da Ponte da BR-343 (Fonte: Google Earth Panoramio – Erasmo Júnior).

As inundações nessa bacia se estendem ao longo do prolongamento da Av. Celso Pinheiro, na faixa que beira o rio Poti (Figura 9.22 a Figura 9.24). Sua decorrência é devido ao extravasamento do leito do rio.



Figura 9.22. Cheia do Rio Poti, Av. Celso Pinheiro (Fonte: Google Earth Panoramio – Erasmo Júnior).



Figura 9.23. Inundação na Av. Celso Pinheiro (Fonte: Google Earth Panoramio – Erasmo Júnior).



Figura 9.24. Inundação na Av. Celso Pinheiro. (Fonte: Portal 180 Graus).

Paralelamente a BR-343, segue um grande e algumas vezes profundo talvegue que permeia a Vila da Paz e por onde passa grande parte da água drenada na sub-bacia. Já houve ações de retiradas de moradias em áreas de risco em épocas passadas, o que fez melhorar o ambiente urbano no local. Mas por falta de dispositivos de drenagem em número suficiente, algumas ruas do Conjunto Redenção ainda sofrem com a contribuição de grande caudal proveniente da rodovia federal.

Ainda, no Bairro Três Andares foram detectados problemas de alagamento, cuja origem é mista: nas enchentes do Poti e na falta de dispositivos de drenagem.

9.2.10 Sub-bacia PE10

A sub-bacia PE10 localiza-se na região central da cidade de Teresina, estando totalmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade. O gradiente topográfico da região é relativamente suave, com cotas que variam dos 60 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz.

Apresenta forma triangular achatada, indicando que a bacia não apresenta tendência às inundações. Apesar dessas características, tem-se incidência de inundações ao longo da extensão da bacia, em função da cheia do rio e extravasamento do leito.

Com exceção da cabeceira desta sub-bacia, que está urbanizada, a região marginal ao rio Poti ainda está bastante preservada, com áreas verdes, o que torna a região não crítica quanto aos alagamentos. Também nesta área é que está prevista a implantação de uma nova Estação de Tratamento de Esgotos da concessionária local.

9.2.11 Sub-bacia PE11

A sub-bacia PE11 localiza-se na região central da cidade de Teresina, estando totalmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Apresenta gradiente topográfico relativamente suave, com cotas que variam dos 80 m, junto à cabeceira, aos 25 m, na foz.

Esta sub-bacia tem uma forma de leque, o que indica tendência às inundações, dada a sua forma. Predomina o uso do solo residencial, embora com áreas verdes na região central das quadras.

Apesar da tendência a inundações, a bacia é ausente de inundações ribeirinhas por haver preservação das áreas próximas ao rio sem haver ocupações indevidas.

9.2.12 Sub-bacia PE12

Localizada na região central da cidade de Teresina a sub-bacia está totalmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Localiza-se em uma região de gradiente topográfico suave, com cotas que variam dos 70 m, junto à cabeceira, aos 25 m, na foz. Apresenta formato similar a uma gota, com pequena tendência às inundações.

Esta sub-bacia encontra-se praticamente toda urbanizada. Em algumas regiões a urbanização já está mais consolidada, a exemplo dos limites do divisor da sub-bacia. No centro, a urbanização é mais esparsa, com alguma vegetação remanescente. Atravessam esta sub-bacia importantes avenidas, como a Av. Marechal Castelo Branco e a Av. Higino Cunha. A sub-bacia acomoda a maternidade pública e o quartel geral da PM perfazendo um misto de área residencial e comercial.

A bacia não apresenta inundações interiores. O único foco em destaque é ao longo das margens do Rio Poti, seguindo pela Av. Castelo Branco. Uma notável erosão do solo é perceptível nas imagens de satélite de períodos posteriores a enchentes. A baixa declividade do local contribui, em momentos de cheia, para o extravasamento do leito do rio, adentrando no terreno urbano.

9.2.13 Sub-bacia PE13

A sub-bacia PE13 localiza-se na região central da cidade de Teresina e concentra-se totalmente dentro do perímetro urbano. Esta sub-bacia localiza-se em uma região de gradiente topográfico suave com cotas que variam dos 60 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz no rio Poti.

Apresenta formato bastante circular, o que é um indicativo de grande tendência às inundações, aspecto este relacionado a sua forma convergente de escoamento.

A sub-bacia está totalmente urbanizada, inclusive até a margem esquerda do rio Poti. A urbanização que se desenvolveu nesta região manteve algumas poucas áreas verdes, o que é possível observar em alguns quarteirões isolados.

Presenciam-se alagamentos ribeirinhos ao longo da Av. Castelo Branco, até a Rua Jarbas Martins, próximo do Centro de Educação Física da Polícia Militar. O alagamento é função do extravasamento do leito do Rio Poti (Figura 9.25), em função das baixas declividades. Ainda nesta região, o alagamento se estende por outros setores no Bairro Ilhotas, de acordo com levantamentos da Defesa Civil.



Figura 9.25. Cheia do rio Poti (Fonte: Google Earth Panoramio - Adalto Araújo).

Na cabeceira da bacia, ao longo da Av. Leônidas Melo, alguns alagamentos pouco frequentes tem sido relatados, muito provavelmente pela ineficiência da microdrenagem, embora não possa ser descartado o efeito de redes de macrodrenagem subdimensionadas.

9.2.14 Sub-bacia PE14

A sub-bacia PE14 localiza-se na região central da cidade de Teresina e está totalmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Apresenta gradiente topográfico relativamente suave com cotas que variam dos 60 m, junto à cabeceira, aos 25 m, na foz no rio Poti.

Esta sub-bacia tem uma forma triangular alongada e curvada na sua região mais estreita, indicando que a bacia apresenta tendência às inundações, dada a sua forma, que favorece a rápida formação de cheias convergentes.

Esta sub-bacia encontra-se praticamente toda urbanizada. Em algumas regiões a urbanização já está mais consolidada, a exemplo da região central desta sub-bacia. Junto ao divisor de águas a urbanização é mais esparsa, com alguma vegetação remanescente.

Contém o Bairro Cabral e também as sedes de órgãos governamentais (Assembléia Legislativa, Centro de Convenções, Agespisa, Associações de Classe).

Os focos de inundações concentram-se basicamente ao longo do da planície de inundação do rio Poti, acompanhando a Av. Marechal Castelo Branco e prejudicando o acesso ao prédio da Assembléia – à direita na Figura 9.26.



Figura 9.26. Avenida Marechal Castelo Branco inundada pelas águas do rio Poti. (Fonte: extraída de vídeo do CidadeVerde.com).

Outro ponto de alagamento frequente é a região ao longo da Av. Miguel Rosa, nas proximidades da Estação Central do Metrô de Teresina. O motivo do acúmulo de água é a ineficiente operação do sistema de drenagem do local, o que acarreta em parte o

comprometimento do tráfego na região e até talvez as atividades normais da estação. Ainda, próximo desta rua, embora sobre a Av. Frei Serafim, foram relatados alagamentos esporádicos, que tem também a sua origem num sistema de drenagem deficiente.

9.2.15 Sub-bacia PE15

A sub-bacia PE15 tem gradiente topográfico suave com cotas que variam dos 60 m, junto à cabeceira, aos 25 m, na foz do rio Poti. Apresenta forma característica retangular alongada, indicando a não tendência às inundações.

Esta sub-bacia encontra-se totalmente urbanizada, com ocupação bastante uniforme. Apenas na região marginal do rio Poti, a leste, ainda é encontrado algum remanescente verde.

Como indicado pelo formato, a sub-bacia não possui foco de inundação em áreas povoadas. Foram indicados alagamentos pouco frequentes na Raimundo Artur Vasconcelos, entre as ruas Tiradentes e Clodoaldo Freitas cuja origem deve estar certamente relacionada com falhas na rede de drenagem.

Porém, em função da cheia do Rio Poti, e acompanhando as sub-bacias anteriores, apresenta alagamentos ribeirinhos em toda a extensão do rio que acompanha a Av. Castelo Branco em particular na região do Bairro Porenquanto.

9.2.16 Sub-bacia PE16

A sub-bacia PE16 se encontra totalmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Tem gradiente topográfico relativamente suave com cotas que variam dos 60 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz.

Esta sub-bacia tem formato aproximadamente triangular, o que indica a não tendência às inundações. Encontra-se totalmente urbanizada, com ocupação bastante uniforme, avançando inclusive sobre a margem do rio Poti. A urbanização está mais densa justamente às margens do rio Poti, e a montante é possível encontrar poucos remanescentes de áreas verdes.

A bacia apresenta áreas inundadas em períodos de cheias ao longo da Av. Castelo Branco (Figura 9.27), que acompanha todo o contorno da bacia nas proximidades do leito do rio.



Figura 9.27. Av. Castelo Branco inundada.

Ainda foram relatadas inundações devido à insuficiência do sistema de drenagem na Rua Treze de Março, nas proximidades do cruzamento com a Rua Amazonas.

9.2.17 Sub-bacia PE17

A sub-bacia PE17 localiza-se em uma região de gradiente topográfico suave com cotas que variam dos 60 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz do rio Poti. Tem formato triangular alongado, indicando que a sub-bacia não apresenta forte tendência às inundações.

A região encontra-se totalmente urbanizada, com ocupação bastante uniforme, avançando, inclusive, sobre a margem do rio Poti. Várias vias importantes cortam esta sub-

bacia, a exemplo da Av. Duque de Caxias e da Petrônio Portela. Junto às margens do rio Poti encontra-se um remanescente de áreas verdes.

As inundações presentes são ribeirinhas, ocasionadas pela cheia do Rio Poti. Em função da urbanização ter se estendido muito próxima ao rio, forma-se uma zona crítica devido ao alagamento que se origina do remanso do rio.

9.2.18 Sub-bacia PE18

A sub-bacia PE18 localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente suave com cotas que variam dos 70 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz do rio Poti. Esta sub-bacia tem uma forma aproximadamente quadrada, sendo indicativo de pequena tendência às inundações.

A sub-bacia é cortada pela Av. Duque de Caxias no sentido Norte-Sul. É possível identificar que a montante da avenida, a urbanização está bastante consolidada. A partir dela, até o Rio Poti, ainda são encontradas remanescentes de área verde, em meio a uma urbanização que avança em direção ao rio. O Parque Ambiental Municipal retém toda especulação imobiliária que poderia ocorrer nessa região, mantendo uma vegetação próxima da natural.

Os alagamentos nessa sub-bacia concentram-se desde as margens do leito do Rio Poti, em seguimento a Av. Castelo Branco, até a Av. Duque de Caxias. São alagamentos provenientes do extravasamento do leito do rio, favorecida pelas baixas declividades, favorecendo a dissipação da água para o interior do terreno urbano.

Já na chamada Vila Alagoinha, há uma retenção das águas drenadas na sub-bacia dada pela continuidade da Av. Marechal Castelo Branco que acabou por funcionar como um dique. Porém, através de uma permuta com o grupo varejista francês Carrefour, a Prefeitura de Teresina viabilizou a construção por conta dessa empresa de uma estação de bombeamento dessas águas para o local. Ela deve começar a operar ainda no início do ano 2011.



Figura 9.28. Avenida Marechal Castelo Branco represou águas nas adjacências da Ponte da Primavera, ano 2009 (Fonte: extraída de vídeo do CidadeVerde.com).

Por outro lado, ao longo da Av. Território Fernando de Noronha até proximidades da Rua Largo Longá, há pontos de alagamento frequentes, e inclusive, ao longo desta última, acontecem alagamentos menos frequentes. A causa provável é a deficiência no sistema de drenagem, já que predominam ruas de pavimento asfáltico.

9.2.19 Sub-bacia PE19

Na sub-bacia PE19, as cotas variam suavemente dos 70 m, junto à cabeceira, aos 25 m, na foz do rio Poti. Esta tem uma forma aproximadamente quadrada, indicando pequena tendência às inundações.

Esta sub-bacia apresenta-se bastante urbanizada na sua margem esquerda, principalmente a montante. Na margem direita existe uma vasta área vegetada, aparentemente produto de reflorestamento. Nela se encontra a Embrapa Teresina. O principal curso d'água drena para uma lagoa, que por sua vez, escoar para o rio Poti. Na região marginal do rio Poti existem algumas áreas verdes remanescentes.

A sub-bacia se corresponde com o Bairro Água Mineral, sendo um ponto conhecido de enchentes ribeirinhas. Ao longo da extensão da bacia, que acompanha o rio, têm-se

constantes alagamentos em função do extravasamento do seu leito. A região fica predominantemente alagada, e por ser bastante urbanizada, constitui-se uma área crítica.

9.2.20 Sub-bacia PE20

A sub-bacia PE20 também faz parte do Bairro Água Mineral. Localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente suave com cotas que variam dos 75 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz do rio Poti.

Esta sub-bacia tem uma forma triangular alongada, indicando que a bacia apresenta pequena tendência às inundações. Nos bairros instalados nessa região de topografia recortada e bastante irregular, há alguns dispositivos instalados de drenagem pluvial que funcionam com certa sobrecarga, apresentando insuficiências localizadas.

Encontra-se totalmente urbanizada, sendo que a montante, e junto ao Rio Poti ocorre às maiores impermeabilidades do solo, pois a ocupação é mais densa, com poucas áreas verdes. No curso médio desta sub-bacia a urbanização é mais esparsa. Junto à margem do rio Poti, na margem esquerda desta sub-bacia, ainda é possível identificar uma região não ocupada.

Ao longo das margens do rio, ocorre o alagamento pelo transbordamento do leito do rio que acaba atingindo algumas áreas urbanizadas, tornando a região um ponto crítico e que necessita de especial atenção.

9.2.21 Sub-bacia PE21

A sub-bacia PE21 localiza-se na região central da cidade de Teresina estando totalmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade embora com uma ocupação tipicamente rural. Apresenta gradiente topográfico suave com cotas que variam dos 55 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz do rio Poti.

Esta sub-bacia tem uma forma trapezoidal, indicando pequena tendência às inundações, devido a sua forma.

Com exceção da ponta oeste, na margem direita desta sub-bacia, onde é possível identificar um conjunto de edificações, o restante da mesma encontra-se desocupada de urbanização, área esta pertencente a EMBRAPA. São encontradas áreas florestadas, em meio a zonas em que o solo apresenta-se com vegetação mais rasteira. Na margem do rio Poti, predomina a vegetação de maior porte.

Apesar das cotas bastante baixas, e acompanhando a pequena tendência às inundações em função de sua forma, não foram encontrados problemas de alagamentos na sub-bacia.

9.2.22 Sub-bacia PE22

A sub-bacia PE22 localiza-se na região central da cidade de Teresina estando totalmente inserida no limite do perímetro urbano. Apresenta gradiente topográfico muito suave, com cotas que variam dos 35 m, junto à cabeceira, aos 25 m, na foz do rio Poti.

Esta sub-bacia tem uma forma triangular achatada o que indica que a sub-bacia apresenta grande chance de inundações, devido à forma convergente. Em toda esta sub-bacia predominam áreas florestadas, com poucas edificações esparsas, também da Embrapa.

Contrariando a grande probabilidade de ocorrência de inundações devido ao seu formato e o predomínio de cotas baixas, a bacia não apresenta indícios de incidência de alagamentos provavelmente pela ocupação principalmente rural que diminui as chances de reportes de problemas e efeitos das enchentes.

9.2.23 Sub-bacia PE23

A sub-bacia está presente na região central da cidade de Teresina e está toda inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Esta sub-bacia localiza-se em uma região de gradiente topográfico bastante suave, com cotas que variam dos 35 m, junto à cabeceira, aos 25 m, na foz do rio Poti.

Ainda englobando área da Embrapa, essa sub-bacia tem formato quadrangular, indicando que a bacia apresenta tendência às inundações dada a sua forma, que favorece o

escoamento convergente e rápido. Em toda a extensão da sub-bacia predominam áreas florestadas, com um cinturão de vegetação rasteira, que corta a sub-bacia no sentido norte-sul

Como em outras situações apesar da tendência de incidir inundações pela sua forma, em função da ocupação predominantemente rural, a sub-bacia PE23 não evidencia inundações urbanas, e não há reportes de inundações ribeirinhas.

9.2.24 Sub-bacia PE24

A sub-bacia PE24 localiza-se na região central da cidade de Teresina estando toda inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Apresenta gradiente topográfico relativamente suave com cotas que variam dos 55 m, junto à cabeceira, aos 25 m, na foz do rio Poti.

Esta sub-bacia tem uma forma aproximadamente quadrada indicando que apresenta baixa tendência às inundações urbanas.

Em toda esta sub-bacia predominam áreas florestadas da Embrapa ,assim como nas sub-bacias 21, 22 e 23. Na porção mais a montante da sub-bacia observa-se o uso do solo para fins de cultivo de frutíferas e vegetação mais rasteira.

Não foram reportadas nem observadas nas informações disponíveis inundações ao longo de toda a sua extensão.

9.2.25 Sub-bacia PE25

A sub-bacia PE25 localiza-se na região norte da cidade de Teresina estando totalmente inserida no limite do perímetro urbano. Possui gradiente topográfico relativamente suave, com cotas que variam dos 55 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz do rio Poti.

Esta sub-bacia tem uma forma bastante peculiar, com um longo trecho alongado a montante, abrindo-se em forma de gota a jusante, com um coeficiente de compacidade de 2,18. Este coeficiente, extremamente elevado, está relacionado com a forma particular

desta sub-bacia, indicando que é bastante improvável que ocorram inundações no local devido ao escoamento natural.

Em toda esta sub-bacia predominam áreas florestadas e de cultivo de frutíferas e vegetação mais rasteira.

Apesar da tendência a poucas inundações, a bacia apresenta incidência de alagamentos em sua região próxima ao Rio Poti em função de seu extravasamento. Os alagamentos atingem toda a área costeira, estendendo-se normalmente até a Rua Santa Clara. Em sua região central apresenta pontos úmidos, que permanecem intactos mesmo em períodos de escassez de precipitação.

9.2.26 Sub-bacia PE26

A sub-bacia PE26 localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente suave, com cotas que variam dos 70 m, junto à cabeceira, aos 30 m, na foz do rio Poti.

Esta sub-bacia tem uma forma triangular alongada, indicando que apresenta pouca tendência às inundações.

Com exceção da região marginal do rio Poti, esta sub-bacia encontra-se bem urbanizada. O padrão de urbanização é bastante denso e uniforme, com raras áreas verdes. No trecho médio desta sub-bacia é possível identificar uma área com vegetação densa, entre a Av. Sinhá Borges e Av. Prefeito Freitas Neto que praticamente divide os bairros do Mocambinho e Buenos Aires.

Tem-se a incidência de alagamentos ribeirinhos ao longo da Rua Santa Clara, na região de curvatura, onde a rua mais se aproxima do rio. Esses alagamentos também são incidentes sobre a extensão da Av. Pref. Freitas Neto, a partir da Rua Angelo Paz. Tem-se também a presença de pontos úmidos, localizados ao final da Rua José Loiola Santos.

Nota-se a presença de alagamentos na Av. Pref. Freitas Neto, nas aproximações da Quadra B Doze até a Quadra B Oito. O que indica a causa das inundações é o provável problema do sistema de drenagem do local, incidente sobre toda a extensão da avenida.

9.2.27 Sub-bacia PE27

A sub-bacia PE27 localiza-se na região sul da cidade de Teresina estando praticamente toda inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Esta sub-bacia corresponde à região de cabeceira de uma bacia maior, que aflui ao rio Poti em sua margem esquerda, já fora do limite do perímetro urbano do município.

Localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente suave com cotas que variam dos 120 m, junto à cabeceira, aos 60 m, na foz do rio Poti.

Esta sub-bacia tem uma forma oval, indicando que a bacia não tem tendência às inundações. Possui grande parte de sua área ocupada pela vegetação. Somente a oeste, junto à cabeceira da sub-bacia, são encontrados alguns focos de urbanização.

Não foram reportados problemas relacionados a inundações ou drenagem urbana na sub-bacia.

9.2.28 Sub-bacia PE28

A sub-bacia PE28 localiza-se na região sul da cidade de Teresina estando parcialmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Esta sub-bacia também corresponde à região de cabeceira de uma bacia maior, que aflui ao rio Poti em sua margem esquerda, já fora do limite do perímetro urbano do município.

Localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente suave com cotas que variam dos 120 m, junto à cabeceira, aos 60 m, na região em que drena para a sub-bacia complementar a jusante.

Com relação à ocupação desta sub-bacia, verifica-se que ainda predominam as áreas verdes, com ocupação florestal. Na porção de jusante, o solo exposto também pode ser identificado. Ao igual que na sub-bacia PE27 não foram reportados problemas relacionados a inundações ou drenagem urbana na sub-bacia.

9.2.29 Sub-bacia PE29

A sub-bacia PE29 localiza-se na região sul da cidade de Teresina estando parcialmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Esta sub-bacia corresponde à região de cabeceira de uma bacia maior, que aflui ao rio Poti em sua margem esquerda, já fora do limite do perímetro urbano do município.

Esta sub-bacia localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente suave com cotas que variam dos 120 m, junto à cabeceira, aos 60 m, na região de drenagem à sub-bacia complementar. Tem formato triangular, indicando que a bacia apresenta pequena tendência às inundações.

Com relação ao uso do solo, a zona central desta sub-bacia encontra-se intensamente urbanizada, com uma ocupação mais esparsa em direção aos divisores de água. Nestas regiões em que a urbanização é mais rarefeita, ainda é possível encontrar grandes áreas vegetadas e a ocorrência de solo exposto em diversas regiões.

Inspeções locais dão conta da presença de redes de drenagem ao longo de alguns dos corredores de trânsito, mas de maneira igual às sub-bacias PE27 e PE28, não foram reportados problemas relacionados a inundações ou drenagem urbana na sub-bacia.

9.2.30 Sub-bacia PE30

A sub-bacia PE30 localiza-se no extremo sul da cidade de Teresina estando parcialmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Esta sub-bacia corresponde à região de cabeceira de uma bacia maior, que aflui ao rio Poti em sua margem esquerda, já fora do limite do perímetro urbano do município.

Esta sub-bacia localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente íngreme com cotas que variam dos 130 m, junto à cabeceira, aos 55 m, junto à drenagem para a sub-bacia complementar. Esta sub-bacia tem uma forma oval indicando que a bacia apresenta pequena tendência às inundações.

O uso do solo desta sub-bacia é predominantemente vegetal, com predomínio de vegetação arbórea, sendo uma das poucas sub-bacias da margem esquerda do rio Poti em

que não há maiores evidências de urbanização. Não foram observados problemas relacionados a inundações ou drenagem urbana na sub-bacia.

9.2.31 Sub-bacia PE31

A sub-bacia PE31 localiza-se no extremo sul da cidade de Teresina estando parcialmente inserida no limite do perímetro urbano da cidade. Esta sub-bacia corresponde à região de cabeceira de uma bacia maior, que aflui ao rio Poti em sua margem esquerda, já fora do limite do perímetro urbano do município.

Localiza-se em uma região de gradiente topográfico relativamente íngreme, com cotas que variam dos 155 m, junto à cabeceira, aos 60 m, junto à drenagem para a sub-bacia complementar.

Esta sub-bacia tem formato oval, indicando que a bacia apresenta pequena tendência às inundações.

Nesta sub-bacia predomina a vegetação arbórea no uso do solo. São encontradas zonas urbanizadas na região do curso médio da sub-bacia, com pavilhões, edificações esparsas e ruas não pavimentadas.

Apesar da tendência a inundações em função de suas características geométricas, não foram reportados alagamentos em nenhum ponto de sua extensão. Como se trata de área urbana predominantemente destinada à implantação de indústrias, centros de armazenagem e estoque de materiais, será preciso cogitar um planejamento da ocupação de forma que ela se dê de forma ordenada e com a infraestrutura de drenagem projetada para tal.

9.2.32 Sub-bacia PE32

A sub-bacia PE32 localiza-se na região centro-norte da cidade de Teresina e está totalmente inserida no interior do limite do perímetro urbano da cidade.

Esta sub-bacia localiza-se em uma região de gradiente topográfico bastante suave com cotas que variam dos 65 m, junto à cabeceira, aos 25 m, na foz no rio Poti.

Apresenta um formato bastante alongado, indicando que a bacia não tem tendência às inundações, de acordo com o esperado para uma sub-bacia com esta forma.

Esta sub-bacia encontra-se urbanizada em uma maior parte. Na porção de montante ocorre intensa urbanização com taxas de impermeabilidade elevada, embora seja possível encontrar alguns remanescentes de vegetação. No curso médio da sub-bacia são encontradas áreas não urbanizadas, mas com vegetação bastante esparsa, entre as Av. Sinhá Borges e Av. Prefeito Freitas Neto. No extremo de jusante, novamente ocorre intensa urbanização, com taxas de impermeabilização superiores à de montante, avançando até as proximidades do rio Poti. Predomina o uso do solo residencial, embora existam áreas verdes na parte central da sub-bacia.

Os pontos críticos de inundação desta sub-bacia concentram-se ao longo da Rua Santa Clara, acompanhando toda a extensão do rio. A incidência é função do extravasamento das águas do rio Poti.

9.3 Macrobacia do rio Parnaíba

Foram delimitadas, ao todo, 20 sub-bacias urbanas de Teresina que drenam em direção ao rio Parnaíba. A seguir são apresentados os principais problemas de drenagem detectados em cada uma delas.

9.3.1 Sub-bacia P01

A sub-bacia P01 se localiza mais ao sul da capital do Piauí, na margem direita do rio Parnaíba. A região de jusante da bacia possui muito pouca ocupação. Observa-se uma série de áreas úmidas, indicando que boa parte desta região é sujeita a alagamentos ribeirinhos. Esses alagamentos são bastante influenciados pela atividade de operação das comportas da represa Boa Esperança situada no município de Guadalupe-PI, cerca de 200 km ao sul do Estado.

Esta sub-bacia apresenta grandes declividades, com cotas variando de aproximadamente 140m a 35m. Apesar das frequentes cheias do rio Parnaíba (Figura 9.29), na região, não foram reportados alagamentos.



Figura 9.29. Cheia no rio Parnaíba (Foto: Erasmo Júnior).

Apesar do mapa administrativo oficial do município tratar a área como sendo o bairro Angelim, não só desta maneira é conhecida a região urbanizada instalada por ali. Também está instalada ali a Vila Irmã Dulce, região preliminarmente ocupada por invasores na década de 90 e que agora começa a ser urbanizada pela Prefeitura. Possui um desenho urbanístico precário. Não houve um planejamento para a correta disposição dos lotes e quadras dentro da topografia existente, o que acarretou inúmeros problemas de inundações, com cursos d'água naturais cortando interiores de quarteirões e que, nos períodos chuvosos, extravasam fazendo adentrar água em vários lotes.

Na Figura 9.30, a seguir, pode-se constatar o que ocorreu na Rua Estômato, no período chuvoso do ano de 2009, quando um bueiro não suportou a quantidade e a força da inundação e causou a completa destruição de um calçamento em pedra poliédrica irregular, recém executado.



Figura 9.30. Rua Estômato próximo a esquina com Av. Goytacaz, na Vila Irmã Dulce: pavimento destruído pelas chuvas.

A sub-bacia P01 tem experimentado um enorme adensamento populacional e impermeabilização nos últimos anos, o que destaca a necessidade de um planejamento para as futuras ocupações. A drenagem natural dada em direção ao rio Parnaíba atualmente é feita através de um bueiro sob a rodovia estadual PI-130, que já apresenta insuficiência, causando problemas às áreas marginais.

9.3.2 Sub-bacia P02

Análoga à sub-bacia P01, a urbanização na P02 se concentra na região de cabeceira da sub-bacia, a montante da Av. Henry Wall de Carvalho, enquanto que, em sua porção de jusante se observam lagoas e áreas úmidas. Desta forma, percebe-se que a citada avenida praticamente atua como um dique.

As cotas nesta sub-bacia são baixas, e se trata de uma bacia relativamente plana. Esta sub-bacia caracteriza-se como sendo de susceptibilidade média a enchentes. Apesar dessa tendência, na região não foram reportados alagamentos.

9.3.3 Sub-bacia P03

Nesta sub-bacia a ocupação do território não tem um padrão definido, acontecendo alternância de locais urbanizados com grandes áreas ainda desabitadas.

As cotas nesta sub-bacia variam entre 70m e 125m, aproximadamente. Desta forma o relevo da bacia pode ser considerado como acentuado. A sua forma se assemelha muito a um funil, uma vez que sua cabeceira é circular e a parte de jusante é retangular. Nestas condições se prevê que na parte superior as águas chegam ao mesmo tempo “na boca do funil”, criando uma situação especialmente complicada para as cheias.

Apesar dessa intensa chance de ocorrerem inundações, na região não foram reportados alagamentos, até mesmo porque em sua região central ainda existe um remanescente de área para a drenagem natural e que deverá ser preservada para a manutenção das condições hidrológicas.

9.3.4 Sub-bacia P04

A sub-bacia P04 é relativamente pequena. A urbanização acontece à montante da Av. Henry Hall Ferraz, e a jusante predominam áreas úmidas e lagoas, indicando que a região sofre constantes alagamentos do rio Parnaíba e que sua ocupação habitacional deve ser desaconselhada. Está prevista a instalação da Estação de Tratamento de Esgotos do Bairro Areias neste local, concebida para atuar conforme a disposição de um padrão de lagoas de estabilização do tipo australiano que serão erguidas em cotas acima da máxima enchente previsível.

As cotas a montante da Av. Henry Hall Ferraz são relativamente altas, configurando uma bacia íngreme enquanto que, a jusante, tem-se uma área relativamente plana.

As características anteriores indicam que se trata de uma sub-bacia crítica quanto à drenagem, uma vez que pela própria urbanização e solos mais impermeáveis a montantes, se obtém grande escoamento superficial, e em função das grandes declividades escoam mais rapidamente, prejudicando a drenagem a jusante. Pela forma, resulta em moderada susceptibilidade a alagamentos.

Os alagamentos são incidentes ao longo da Av. Henry Hall Ferraz, iniciando-se nas proximidades da Rua José Nilo Fortes. Como mencionado, a provável causa são as altas vazões incidentes sobre o sistema de drenagem que atingem as partes baixas do Bairro Areias.

9.3.5 Sub-bacia P05

A sub-bacia P05 tem forma alongada, o que indica a sua baixa susceptibilidade a cheias. A urbanização ocupa grande parte da bacia, especialmente a montante da Av. Henry Hall Ferraz, embora ainda existam glebas e locais com predominância de vegetação.

Considera-se como uma bacia crítica para inundações, em função do tipo de solo e características de ocupação, embora esteja favorecida pela sua forma para minimizar o problema de enchentes.

Tem-se a incidência de alagamentos ao longo de toda a extensão da Av. Henry Hall de Ferraz, inserida na sub-bacia. Sua causa provável é a sobrecarga do sistema de drenagem. Além disso, a parte de jusante da sub-bacia apresenta ocorrência de enchentes ribeirinhas.

9.3.6 Sub-bacia P06

A sub-bacia P06 apresenta características muito semelhantes à P05, com formato alongado e urbanização a montante da Av. Henry Hall Ferraz. Distintamente da sub-bacia P05, as declividades são menores.

A bacia tem alagamentos ao longo de toda a extensão da Av. Henry Hall Ferraz, inserida perpendicularmente ao formato da bacia. Também há pequenas inundações localizadas por grande parte dos bairros que a compõem, por sinal, bairros com enorme índice populacional, como por exemplo, o bairro Promorar. A causa provável é a superação das vazões de escoamento dos sistemas de drenagem, juntamente às enchentes ribeirinhas provocadas pelo Parnaíba.

A sub-bacia apresenta também um córrego canalizado, servindo de ponto de fuga da água proveniente do escoamento da região leste da bacia.

9.3.7 Sub-bacia P07

A sub-bacia P07 tem distribuição retangular ao longo da região Sul de Teresina. A urbanização se localiza principalmente a montante da Av. Henry Hall Ferraz e é composta majoritariamente por residências de um dos bairros mais povoados de Teresina: o Parque Piauí. No entanto, a jusante da referida avenida, se localizam construções de grande porte (ex: indústrias, centros de distribuição, etc.) em regiões mais propensas a inundação, devido à proximidade com o rio Parnaíba.

As cotas na sub-bacia variam de quase 140m, na parte de montante, até aproximadamente 30m, na região de jusante. Tem relativamente baixa suscetibilidade a inundações pela forma da bacia.

As vazões incidentes são devidas aos problemas do sistema de drenagem (provavelmente microdrenagem) e a enchentes ribeirinhas (a bacia apresenta alguns pontos úmidos naturais que identificam regiões sujeitas a enchentes periódicas). O fenômeno se estende ao longo da Av. Henry Hall Ferraz, até as proximidades da Av. Mal. Juarez Távora.

9.3.8 Sub-bacia P08

A sub-bacia P08, em sua região de montante, encontra-se entre as mais urbanizadas. No entanto, nesta sub-bacia a Av. Henry Hall Ferraz não atua mais como uma espécie de “dique”, uma vez que seu traçado segue mais ao leste da localização inicial, e já não divide claramente a região baixa e alta da bacia.

Na parte de jusante ainda se encontra parte da região destinada a indústrias e centro de distribuição, citada na sub-bacia P07. Destaque para a localização da Estação de Tratamento e bombeamento de Água de Teresina, a única existente na capital.

A bacia tem forma alongada e é pouco susceptível a inundações. Dessa forma, foi constatado nesta sub-bacia ausência de alagamentos, mesmo em períodos críticos de precipitação.

9.3.9 Sub-bacia P09

A sub-bacia P09 possui forma retangular, próxima a um quadrado. Apresenta uma distribuição irregular da população dentro da bacia. Como questão importante, deve mencionar-se que nesta bacia começa a Av. Maranhão, que de acordo com os registros existentes, constitui o dique de proteção de Teresina contra cheias do Parnaíba, de acordo com o projeto do DNOS. Lamentavelmente não há registros em nenhum organismo do referido projeto e o sistema é caracterizado em função das informações disponíveis.

As cotas na bacia variam entre 30m e 100m, sendo que as partes mais baixas, a partir da cotas de 40m de localizam a jusante da Rua Cajueiro (rua “A”).

Para a sub-bacia em questão presenciaram-se alagamentos ao longo da Av. Maranhão, estendendo-se desde a Quadra Setenta e Quatro até a Rua Dois. A provável causa do alagamento é em função das enchentes ribeirinhas, embora possam existir problemas no escoamento da água proveniente da região urbanizada, permanecendo estocada na região da avenida especialmente quando as cotas da linha d’água do rio Parnaíba estão altas, dificultando o escoamento normal das águas.

Em sua região ribeirinha (porção sul), também está prevista a instalação de uma Estação de Tratamento de Esgotos do Bairro Saci, que receberá efluentes dos interceptores das bacias adjacentes.

9.3.10 Sub-bacia P10

A sub-bacia P10 apresenta declividade relativamente acentuada com cotas variando desde os 80m até aproximadamente 30m. Sua área é basicamente toda urbanizada, com exceção de uma pequena extensão ao longo da Av. Maranhão. Apresenta também alguns pontos úmidos naturais, intactos mesmo em períodos de escassez de precipitação.

A sub-bacia apresenta indícios de alagamentos frequentes em uma pequena extensão da Av. Maranhão, adentrando na Av. Ind. Gil Martins. A possível causa do alagamento é função das enchentes ribeirinhas, tendo sido apontado pela Defesa Civil como área crítica.

Outro foco notável de inundação é na extensão da Av. Ind. Gil Martins, cruzamento com a Av. Barão de Gurguéia. A área é instensamente urbanizada, tendo como possível causa do alagamento, deficiência no sistema de escoamento. Alagamentos também são notados, embora menos frequentes, ao longo da citada Av. Barão de Gurguéia até a Av. Prof. Walter Alencar.

Alagamentos também são frequentes na extensão do cruzamento das BR 343 e BR 316 com a Av. Miguel Rosa Sul. É uma região com cotas bastante elevadas, e a causa do acúmulo de água é a ausência no sistema de drenagem aliado à prática de terraplenagens para instalação de comércio na região (Figura 9.31).



Figura 9.31. Acúmulo de águas pluviais e consequente engarrafamento do tráfego, promovido pela falta de dispositivos de drenagem pluvial no Balão da Av. Miguel Rosa.

9.3.11 Sub-bacia P11

Esta sub-bacia apresenta declividade relativamente acentuada, com cotas variando desde os 80m até aproximadamente 30m. A bacia é intensamente urbanizada em toda a sua extensão.

São notados focos de alagamento frequente na Av. Miguel Rosa, na intersecção com as Ruas Climério Gonçalves e Eurípedes Aguiar (rua com maior incidência de acúmulo de água). O mesmo fenômeno é incidente ao longo da Av. Miguel Rosa, na extensão correspondente a intersecção com as avenidas Prof. Walter Alencar e Ind. Gil Martins. Apesar das quadras contarem com sistema de drenagem, os alagamentos são bastante frequentes. A provável causa é ineficiência do sistema de escoamento dessas águas.

Pode-se notar também acúmulo de água na Av. Pedro Freitas, nas proximidades da Av. das Nações. A região apresenta pontos úmidos naturais.

9.3.12 Sub-bacia P12

A bacia tem relevo bastante suave, com cotas variando entre os 80 metros, a montante, e 30m, a jusante. Apresenta intensa urbanização, sendo a grande maioria de caráter residencial e uma pequena parcela industrial, nas proximades da Av. Maranhão. Nota-se também pequena área verde acompanhando as margens do rio Parnaíba, tratando-se da faixa de mata ciliar delimitada por essa avenida.

Também margeando a avenida Maranhão está o prédio da concessionária local de energia, atualmente a Eletrobrás Piauí. Foi deste prédio que em 1985 foi feita a fotografia apresentada a seguir (Figura 9.32) que ilustra a enchente do ano de 1985 inundando toda a Av. Maranhão e adjacências.



Figura 9.32. Av. Maranhão submersa pelas águas do rio Parnaíba no ano de 1985.

Atualmente, a sub-bacia P12 não apresenta indícios de alagamentos significativos, apesar de que, alguns poucos pontos no seu interior, apresentam pequenas inundações localizadas devido ao excesso de águas pluviais que percorrem extensões maiores do que as desejáveis antes de adentrar ao sistema existente.

9.3.13 Sub-bacia P13

A P13 consiste em uma sub-bacia com relevo relativamente suave, que apresenta intensa incidência de urbanização, grande parte de caráter residencial. As cotas variam de aproximadamente 60m, a montante, até 30m, a jusante.

São notados focos de alagamento ao longo de toda a Av. Maranhão, partindo da Av. José dos Santos. A causa principal é a ausência do escoamento da água proveniente da bacia em períodos de cheia do rio Parnaíba.

Outro foco frequente de inundação é na intersecção das Av. Joaquim Ribeiro, Miguel Rosa, Higino Cunha e Rua Des. Pires de Castro. A região apresenta cota inferior com relação às áreas vizinhas que, aliada à insuficiência do sistema de drenagem, leva ao acúmulo de água. O mesmo ocorre no entroncamento das Ruas Aerolino de Abreu e Gabriel Ferreira, com inundações bastante frequentes.

Inundações menos frequentes foram reportadas nas cabeceiras da bacia, ao longo da rua Gov. Artur de Vasconcelos, e na parte central da sub-bacia, na rua São Pedro, próximo à rua Arlindo Nogueira.

9.3.14 Sub-bacia P14

Esta sub-bacia está concentrada inteiramente no perímetro urbano, cortada pela Av. Miguel Rosa. Apresenta cotas em torno de 60m, a montante, e 30m, a jusante. A bacia é intensamente urbanizada, com alguns pontos de área verde.

Engloba a Zona Central da cidade adjacente ao rio Parnaíba. Predominantemente comercial, inclui quartéis de polícia, teatros, igrejas e maior número de praças. Nesta sub-bacia está inserida a sede do Governo Municipal (Palácio do Governo).

Alagamentos são notáveis ao longo de toda a Av. Maranhão, com início na Av. José dos Santos estendendo-se até o entroncamento com a Av. Miguel Rosa, sendo de maior frequência na interseção da avenida com a Rua Des. Freitas. A área é costeada pelo rio Parnaíba e os alagamentos são consequência das enchentes ribeirinhas, em forma isolada, ou em combinação com inundações urbanas, uma vez que em épocas de enchentes podem causar problemas de escoamento na rede de drenagem, ocasionado pelo remanso no interior das canalizações. Inundações menos frequentes foram indicadas ao longo da Av. Campos Sales, próximo da Av. Maranhão, tendo como causas as mesmas apontadas acima.

9.3.15 Sub-bacia P15

A sub-bacia P15 tem formato bastante estreito na sua região à jusante, alargando-se gradativamente à medida que se estende para montante. Apresenta-se intensamente urbanizada na região leste, diminuindo o povoamento à medida que se estende a oeste. As cotas variam de 60m a 30m. Não foram relatados problemas significativos com relação a alagamentos nesta sub-bacia.

Contém os Bairros Mafuá e Pirajá. Inclui um dos sistemas de tratamento de esgotos (lagoas de estabilização).

Abaixo, nota-se na Figura 9.33 a altura alcançada pelas águas do rio Parnaíba frente ao talude de concreto do dique da Av. Maranhão e que prossegue pela Rua Boa Esperança, limitando as enchentes em toda a área dos bairros englobados pela região do Projeto Lagoas do Norte.



Figura 9.33. Cheia do rio Parnaíba vista da Av. Maranhão, ao lado do Clube de Teresina. Em épocas de vazante, a diferença de cotas entre a avenida e o rio pode alcançar 4 metros.

9.3.16 Sub-bacia P16

Esta sub-bacia se encontra na confluência dos rios Parnaíba e Poti, podendo considerar-se tanto como uma sub-bacia da margem direita do rio Parnaíba ou do Poti.

A ocupação da bacia é de pastagens em função da facilidade de ser inundada pelos rios em períodos de cheia (Figura 9.34). A baixa cota do local, muito próximo a cota do rio, contribui para o alagamento.

Durante os eventos de cheia, o rio Poti extravasa e se conecta com o Parnaíba pela sub-bacia que, desta forma, passa a ser um braço do Poti. Em períodos de cheia, praticamente toda a extensão da sub-bacia é inundada.



Figura 9.34. Visão parcial da área de pasto da sub-bacia P16.

9.3.17 Sub-bacia P17

A urbanização nesta sub-bacia acontece na região das maiores cotas, onde o perigo de alagamento durante as enchentes do Parnaíba é menor. Apesar disso, a recente ocupação da área faz com que a infraestrutura de drenagem pluvial instalada ainda seja quase inexistente. Isso acomete alguns trechos da sub-bacia de inundações localizadas, como é o exemplo das adjacências à via de ligação da Cidade Industrial com o Residencial Santa Maria da Codipi. Também os Bairros Parque Brasil II e III, assentados em área muito plana e sem infraestrutura, experimentam inundações localizadas em vários pontos de seu interior. Em função da geologia do terreno que é predominantemente composta de areia média de boa infiltração, as primeiras chuvas não promovem tamanho problema. Este se verifica com a continuidade das mesmas e com a subida do lençol freático que promovem a estagnação da água pluvial.

O relevo tem cotas variando entre 115m até 40m de forma praticamente linear, formando a jusante uma região quase que horizontal, onde as cotas se mantêm em níveis baixos.

A sub-bacia P17 apresenta baixa suscetibilidade a enchentes em função da sua forma, embora sua parte baixa esteja sujeita a incidência de inundações em períodos de cheia do rio Parnaíba.

9.3.18 Sub-bacia P18

Na sub-bacia 18 a urbanização acontece à montante da Rua João Izidoro França. As mesmas considerações da sub-bacia P17, quanto às inundações verificadas nas suas áreas mais planas, também se aplicam a esta sub-bacia.

As cotas variam entre 100m a montante até 30m a jusante. Observa-se que, aproximadamente, a partir da cota 40m o relevo da bacia torna-se menos acentuado.

A bacia apresenta baixa susceptibilidade a alagamentos pela sua forma, mas deverá receber atenção especial devido à forte expansão habitacional verificada nos últimos anos. Apesar da baixa tendência a alagamentos, a região próxima ao rio Parnaíba é despovoad, pois apresenta riscos de inundações em períodos de cheia.

9.3.19 Sub-bacia P19

Nesta sub-bacia, análoga a sub-bacia 18, a urbanização acontece à montante da Rua João Izidoro França. As cotas variam entre 125m a montante, até aproximadamente 30m a jusante. A partir da cota 50, o relevo é suavizado.

Tem formato retangular, o que a torna menos suscetível a inundações urbanas. A região ribeirinha é menos povoada, como forma de garantir seguridade em períodos de cheia. Justamente nesta região apresenta também alguns pontos úmidos naturais, que indicam inundações ribeirinhas frequentes.

No entanto, a Defesa Civil indica a ocorrência de inundações a montante da Rua João Izidoro França, que atingem diversos pontos dos Bairros Santa Rosa e Santa Maria da Codipi.

9.3.20 Sub-bacia P20

A sub-bacia 20 é tipicamente rural. Com um relevo com cotas variando desde os 110m até os 30m.

Tem formato bastante alongado, o que significa menor propensão a cheias. Por ser de área rural, não se apresenta como ponto crítico a incidência de cheias.

9.4 Sub-bacias LDN e MOC

Estas sub-bacias são áreas de intervenção previstas no Programa Lagoas do Norte para receber melhorias visando à requalificação urbano-ambiental. Abrangem o sistema de drenagem das lagoas do Norte e, em vista disso, tiveram o seu sistema de drenagem detalhado ao longo do tempo em diversos estudos, em um nível de detalhamento superior ao previsto neste Plano Diretor de Drenagem. Por isso, são analisadas em separado neste item.

A sub-bacia LDN abrange uma área de aproximadamente 1052 ha, localizada na porção norte de Teresina, exatamente na confluência dos rios Parnaíba e Poti. Apresenta densa ocupação residencial e atividades de extração mineral.

A sub-bacia MOC encontra-se situada na região norte de Teresina, totalmente inserida no perímetro urbano. Localizada em uma região baixa e de declividades suaves, apresenta ocupação urbana consolidada e áreas alagadiças, com a ocorrência de lagoas. Nesta sub-bacia encontra-se a lagoa do Mocambinho, que inspirou sua nomenclatura para este estudo. Esta lagoa pode ser considerada dividida em três porções: lagoa Nativa, lagoa Azul 1 e lagoa Azul 2 (TERESINA *apud* MOURA & LOPES, 2006). As lagoas apresentam um aumento nos seus níveis d'água durante o período chuvoso e tendem a se esvaziar pela evaporação ao longo dos meses secos.

Para proteger a população de Teresina das inundações, o DNOS construiu um sistema de diques de proteção contra enchentes ribeirinhas e estações de recalque para drenar a água precipitada na região protegida pelo dique. Esta área da cidade é denominada de Lagoas do Norte (inclui ainda a bacia da lagoa Mocambinho) devido às lagoas que se formam no período chuvoso pelo enchimento das depressões existentes nas áreas alagáveis. Assim, essas lagoas funcionam como reguladoras das inundações dentro da área urbanizadas.

Com a proteção destas regiões, a urbanização expandiu-se, reduzindo a capacidade das lagoas e provocando, em consequência, um aumento dos impactos adversos dos eventos de precipitação. Nessa região, as inundações ocorrem, principalmente, devido a: (1) falta de capacidade de bombeamento; (2) falta de um volume de armazenamento suficiente para amortecer os picos das vazões; (3) falta de capacidade nos condutos de ligação entre as lagoas ou (4) limitada capacidade de infiltração dos solos numa sequência de dias chuvosos.

Em função dos problemas de alagamentos apresentados por estas bacias, as mesmas estão contempladas em um plano de desenvolvimento integrado, que inclui diversas ações relacionadas com a drenagem urbana. Em 1999 (JB Engenharia, 1999) foi realizado um estudo de alternativas para a área com a finalidade de avaliar as condições hidráulicas do sistema de lagoas, projetando os espaços urbanos para a sua fixação, visando impedir a expansão da mesma sobre as áreas das lagoas e buscando projetar os dispositivos hidráulicos para evitar inundações na região. Posteriormente Tucci e Cruz (2005) complementaram e revisaram o estudo anterior.

Com base nestes estudos prévios e no estudo mais recente intitulado “Lagoas da Zona Norte de Teresina e seu Entorno: Uma Análise Ambiental” elaborado por de Moura e Lopes, no ano de 2006, e de outras informações disponibilizadas para a execução deste trabalho, foi realizada uma análise dos principais problemas que atingem a drenagem urbana da região.

A região Lagoas do Norte abriga 34 lagoas, algumas delas naturais, outras artificiais com profundidades e dimensões variadas. Há muito tempo essa região é alvo da ação antrópica devido à retirada de argila para a construção civil e fabricação de tijolos e outros produtos cerâmicos, tanto que as lagoas artificiais são produtos dessa atividade.

As lagoas da zona norte de Teresina compõem um sistema natural de acumulação de água que recebe as águas de chuvas diretamente precipitadas sobre elas e as águas propagadas por um sistema integrado de drenagem pluvial composto de vias, canais e galerias, totalizando cerca de 10 km² de área de captação.

A partir da década de 1960, principalmente com a valorização dos terrenos das zonas Sul e Leste da cidade, as classes mais empobrecidas da população, sem alternativas habitacionais, passaram a ocupar as terras da zona Norte. Assim, atualmente a região é uma área suscetível às inundações, que apresenta ainda um processo desordenado de ocupação do solo, com um grande número de habitações construídas às margens das lagoas, que comprometem o ecossistema local.

Nas enchentes ocorridas em 1960 e 1970, toda a área foi inundada, tanto que, em meados de 1974, foi construído o dique de proteção na Av. Boa Esperança, que proporcionou uma proteção relativa às cheias dos rios, até aproximadamente a cota de 60,0 m. Com a continuidade do processo de urbanização os problemas de inundação foram se agravando.

Em abril de 1985, houve coincidência dos picos de vazão dos rios Parnaíba e Poti, resultando no extravasamento do rio Poti em pontos não protegidos pelo dique da Av. Boa Esperança, resultando em inundações da região graves consequências para a população residente. Este fato motivou as autoridades locais, que resolveram prolongar o dique da Avenida Boa Esperança até o conjunto Mocambinho e instalar dois sistemas de recalque: o primeiro na lagoa dos Oleiros (ou Cacimba Velha) e o segundo na lagoa do Mocambinho, com capacidades de $2\text{m}^3/\text{s}$ e $1\text{m}^3/\text{s}$, respectivamente (TERESINA, 1999).

Nessa época foi ainda implantado um projeto de controle de cheias, que interligou diversas lagoas (Barreiro do Zé Nelson, Jacaré, Mazerine, etc.) com a lagoa São Joaquim, por meio de canais e dutos de conexões, visando à laminação de vazões entre as lagoas, definindo, assim, um caminhamento preferencial para o escoamento superficial (Figura 9.35). A lagoa São Joaquim foi interligada à lagoa dos Oleiros, de onde se faz o bombeamento para o rio Parnaíba.



a) Ligação entre as Lagoas Barreiro do Nelson e São Joaquim



b) Casa de bombas da Lagoa dos Oleiros.



c) Tubulação da casa de bombas da Lagoa dos Oleiros.



d) Bombeamento para o rio Parnaíba – Lagoa dos Oleiros.

Figura 9.35. Detalhes do controle de cheias nas lagoas do Norte de Teresina (Fonte: Geni Moura, 2005).

Apesar das medidas estruturais de drenagem urbana, desenvolvidas na área, como a construção do dique de proteção, a instalação das comportas, a instalação de bombas de recalque e a interligação das lagoas, os problemas persistiram. Em consequência da laminação de vazão efetuada nas lagoas de maior porte, e observando o esvaziamento no período de estiagem das lagoas menores, que atinge um período de cerca de nove meses no ano, ocorreu a partir de então, a ocupação com moradias precárias das áreas destinadas ao enchimento das lagoas (Figura 9.36). Além disso, a falta de uma fiscalização pelos órgãos

competentes permitiu à população a ocupação de maneira rápida e desordenada destas áreas.



a) Habitações na orla da Lagoa do Jacaré. Fonte: Teresina (2003).



b) Habitações na orla da Lagoa Poti II. Fonte: Geni Moura (2005).

Figura 9.36. Habitações em áreas de risco.

O processo contínuo e desordenado de ocupação da região, acompanhado do aumento do grau de impermeabilização dos bairros pela construção de novas habitações e da implantação de calçamento das vias com pedras poliédricas, tornou mais críticas as consequências dos alagamentos produzidos pelos eventos de precipitação. Estes eventos voltaram a produzir efeitos gravíssimos na região, diminuindo sobremaneira a qualidade de vida de seus habitantes.

O volume total de chuva no período de 1995 a 2004 foi de 14.325,3mm variando de 1.038,08mm, no ano de 1988, a 1.888,3mm, no ano de 1995, conforme o Quadro 9.1. Na comparação realizada entre a precipitação anual, dias com chuvas e o número de famílias desabrigadas, observa-se que, nos anos de 1998 e de 1999, como o volume de chuva foi pequeno e espaçoso, não houve inundações na região estudada, consequentemente, não houve famílias desabrigadas.

Observa-se ainda que, no ano de 2004, choveu menos que no ano de 1995, mas o número de famílias desabrigadas foi bem maior devido ao fato de existir um maior número de famílias morando nas áreas destinadas ao enchimento das lagoas no período das chuvas. Este resultado também poderia estar relacionado às características dos eventos críticos de precipitação que aconteceram no período chuvoso de cada ano.

Quadro 9.1. Precipitação anual, dias com chuva e famílias desabrigadas em Teresina, referente ao período de 1995 a 2004.

PARÂMETROS	ANOS									
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Precipitação anual (mm)	1.888	1.545	1.228	1.039	1.303	1.538	1.564	1.163	1.210	1.648
Nº de dias com chuva	120	106	94	73	117	124	103	96	118	149
Famílias desabrigadas	2.000	97	40	0	0	362	314	33	100	2.932

Fonte: Moura (2006).

No período chuvoso de 1995, quando as precipitações foram de 1.888,30 mm, a Prefeitura de Teresina com apoio da Defesa Civil e outros órgãos da sociedade civil e militar, instalou cerca de 2.000 famílias em 87 abrigos (creches, ginásios, etc.), dando-lhes apoio logístico, solidariedade, assistência médica e alimentação durante, aproximadamente, cem dias. Além das famílias desabrigadas, outras tantas famílias tiveram suas casas atingidas pelas águas das lagoas (Figura 9.37). É importante ressaltar que nesse período foi decretado Estado de Calamidade Pública no Município (TERESINA, 2003).



a) Enchente na Lagoa dos Oleiros.



b) Enchente na Lagoa São Joaquim.

Figura 9.37. Enchentes nas lagoas do Norte (Fonte: UPJ Nordeste, 2004).

Nas inundações ocorridas em janeiro/2004 a fevereiro/2004, com precipitações de 1.648,2 mm, segundo dados da Superintendência de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente - SDU Centro/Norte (TERESINA, 2005), 2.932 famílias ficaram desabrigadas nessa região. Desse total, 1.394 famílias foram inseridas no Projeto Família Acolhedora, que se refere à ação realizada pela SDU Centro/Norte, em parceria com a Secretaria Municipal do Trabalho Cidadania e Assistência Social. O restante das famílias não acolhido por este projeto foi abrigado em creches e escolas.

As lagoas vêm demonstrando sinais de saturação de sua capacidade de depuração dos esgotos, devido ao lançamento de carga orgânica, cada vez maior em seu interior, resultando em uma severa degradação do ambiente, com alterações acentuadas na qualidade de suas águas, o que é perceptível, principalmente, pelo odor séptico, verificado nas proximidades. Como grande parte da área das lagoas compõe um sistema de drenagem de águas residuárias e pluviais, esses corpos d'água representam hoje, sérios problemas ambientais e sanitários, o que se agrava com a ocupação desordenada de suas margens e com o lançamento indiscriminado de esgoto e lixo doméstico, caracterizando, assim, um avançado processo de deterioração ambiental e sérios riscos à saúde pública. Na época das chuvas, ocorrem trasbordamentos das águas de superfície, provocando inundações e epidemias.

Em resumo, as áreas encontram-se completamente degradadas, devido à ocupação desordenada de suas orlas e ao lançamento de esgotos e de lixo, o que reduz a capacidade de escoamento do sistema e transforma às lagoas em grandes focos de doenças e de desconforto para a população (Figura 9.38).



a) Lagoa Barreiro do Nelson.

b) Lagoa São Joaquim.

Figura 9.38. Situação sanitária nas lagoas do Norte (Fonte: Geni Moura, 2005).

9.5 Modelagem dos rios Parnaíba e Poti

Os níveis d'água nos rios Parnaíba e Poti influenciam o funcionamento da rede de macrodrenagem da cidade de Teresina. Além disso, os rios Parnaíba e Poti se apresentam como agentes geradores de alagamentos, através de inundações ribeirinhas, que acontecem quando o nível d'águas atinge áreas urbanas da cidade.

A modelagem dos rios Parnaíba e Poti tem o objetivo de representar seu comportamento hidráulico, permitindo conhecer os níveis correspondentes a determinadas vazões e riscos de projeto ao longo do trecho simulado, que inclui toda a área urbana da cidade de Teresina.

Em uma etapa inicial, denominada de calibração, os parâmetros do modelo são definidos a partir de diferentes eventos da série histórica, dos quais existem registros

pontuais de níveis máximos atingidos e informações acerca de seus impactos (alagamentos) na área urbana da cidade de Teresina. Esse último processo consiste no cruzamento das informações coletadas sobre os locais críticos com relação às inundações. Considerou-se um resultado satisfatório quando foi possível reproduzir as condições observadas no local. Caso contrário, os parâmetros dos modelos foram revisados buscando um melhor resultado.

Uma vez feito o ajuste dos parâmetros do modelo, este é utilizado para a definição de níveis máximos e manchas de inundação, ao longo do trecho simulado, para eventos de projeto com períodos de recorrência de 10, 25, 50 e 100 anos. Dessa forma, é possível identificar as regiões que teriam uma maior probabilidade de se apresentarem como críticas durante eventos de diferentes magnitudes, em função dos dados disponibilizados. Essas regiões críticas estão associadas, comumente, à contração ou à diminuição das seções transversais dos rios sem mudança de declividade de fundo, à diminuição da declividade de fundo ou à presença de planícies de inundação com cotas mais baixas.

É importante ressaltar que todo modelo é uma representação simplificada da realidade e, em consequência, seu desempenho é influenciado pela qualidade das informações de entrada, das informações dos levantamentos topográficos e das próprias incertezas do ajuste em função dos processos sendo representados.

9.5.1 O sistema modelado

O sistema de drenagem dos rios Parnaíba e Poti na área urbana da cidade de Teresina é conformado por trechos naturais de rios, sem intervenções estruturais do tipo canalização ou semelhantes. O rio Poti é um afluente do rio Parnaíba, sobre a margem direita, e a confluência se encontra, precisamente, na região norte da área urbana da cidade de Teresina.

Conforme pode ser observado esquematicamente na Figura 9.39, o rio Parnaíba apresenta um traçado praticamente retilíneo na região de análise, com curvas de grandes raios, que não alteram o sentido predominante do escoamento, de Sul para Norte. A largura da calha do rio Parnaíba ao longo da área urbana da cidade de Teresina varia entre 300m e 400m, aproximadamente, apresentando um valor de 650m na confluência com o rio Poti. A

jusante dessa confluência predomina a largura da calha do rio Parnaíba na ordem de 500m a 550m.

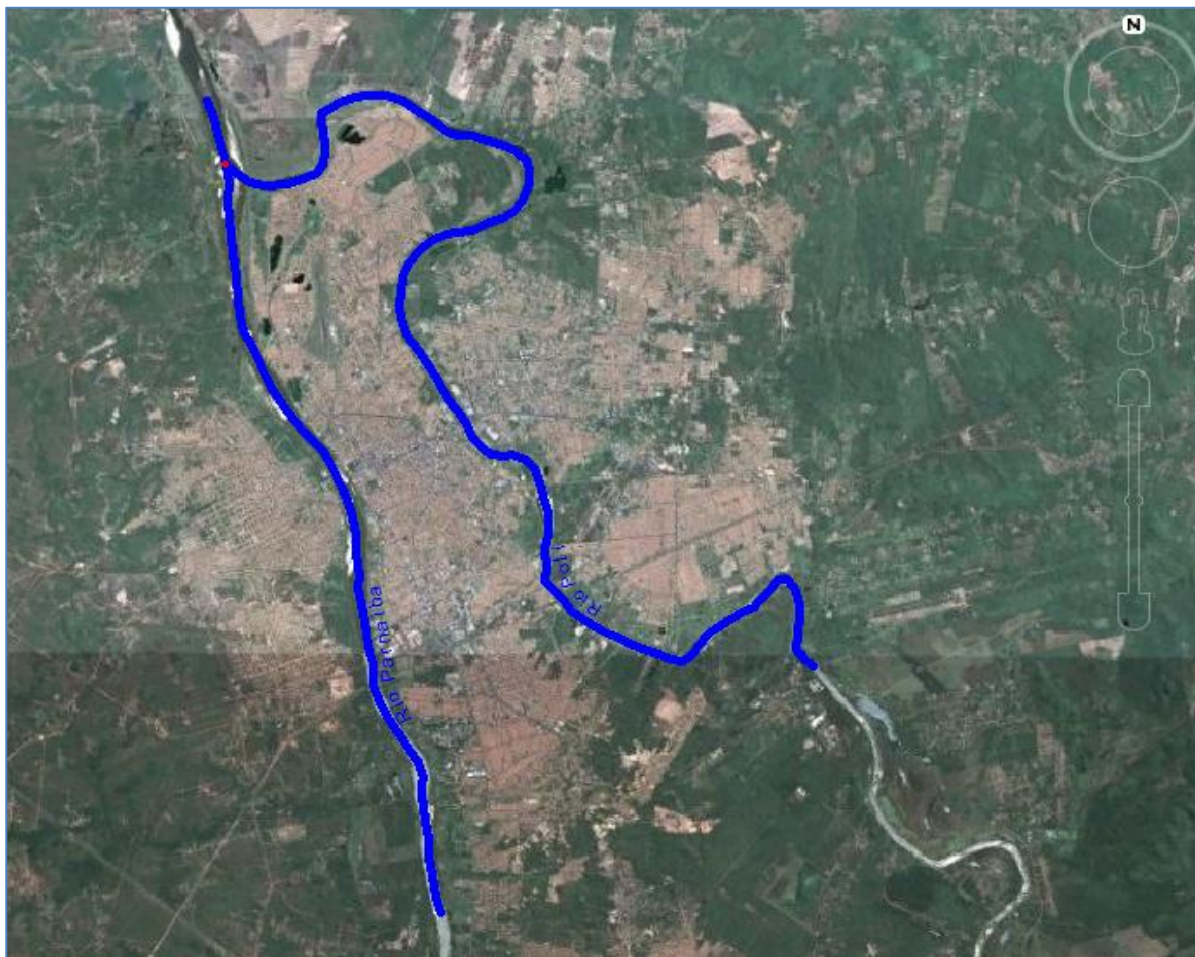


Figura 9.39. Representação esquemática do sistema modelado na área urbana de Teresina.

O traçado do rio Poti na região de análise é mais acidentado, apresentando pelo menos sete curvas com ângulos de 90° , cinco próximas à confluência com o rio Parnaíba e outras duas em trechos intermediários e no extremo de montante do sistema. A largura da calha do rio Poti ao longo da área urbana da cidade de Teresina varia entre 150m-170m, aproximadamente.

Ambos os rios apresentam bancos de areia, caracterizando a existência de um fundo móvel na calha, que pode influenciar os ajustes do modelo.

O sistema modelado dos rios Parnaíba e Poti na área urbana da cidade de Teresina foi definido com uma extensão de, aproximadamente, 53 km, correspondendo 23,5km ao rio Parnaíba e 29,5km ao rio Poti, aproximadamente. Os limites desse sistema foram definidos em função da disponibilidade de informações dos levantamentos topográficos executados para os fins deste plano e conforme estipulado no edital correspondente e nas orientações da equipe de apoio da PMT. Nesse sentido, o rio Poti foi modelado desde a confluência com o rio Parnaíba até 2km a montante da curva de São Paulo, aproximadamente. Por sua vez, o rio Parnaíba foi modelado desde 1,7km a jusante da confluência com o rio Poti até a região próxima da Vila Irmã Dulce, ou bairro Angelim, conforme o mapa administrativo oficial do município.

9.5.2 Modelo hidráulico utilizado

O modelo hidráulico-hidrodinâmico unidimensional HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*; USACE, 2008) foi o escolhido para a melhor representação e avaliação das condições hidráulicas dos rios Parnaíba e Poti, nos trechos urbanos desses cursos d'água. Trata-se de um programa de uso público e gratuito, desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos.

Dadas as condições nas quais, normalmente está submetido o escoamento nos rios Parnaíba e Poti, durante a modelagem do sistema foi utilizado um modelo do tipo unidimensional. A modelagem unidimensional se justifica, pois o escoamento nesses rios, nos trechos analisados, tem um sentido predominante ao longo do comprimento longitudinal.

As principais razões para a utilização desse *software* na calha principal dos cursos d'água urbanos foram apresentadas no item 8.3.2.

9.5.3 Representação do sistema no modelo hidráulico

A Figura 9.40 apresenta o esquema utilizado na modelagem hidráulica do sistema dos rios Parnaíba e Poti na área urbana da cidade de Teresina no programa HEC-RAS. Como mencionado anteriormente, um total de 53 km de rios foi representado no modelo, correspondendo 23,5km ao rio Parnaíba e 29,5km ao rio Poti, aproximadamente. O rio Poti foi modelado desde a confluência com o rio Parnaíba até 2km a montante da curva de São Paulo, aproximadamente. Por sua vez, o rio Parnaíba foi modelado desde 1,7km a jusante da confluência com o rio Poti até a região próxima da Vila Irmã Dulce, ou bairro Angelim.

A representação de um sistema no HEC-RAS é feita através de um conjunto de seções transversais que descrevem suas características hidráulicas. Dessa forma, são informados ao modelo, os dados de cada seção transversal obtida do levantamento topográfico. Nos casos em que a distância entre as seções do levantamento seja superior à discretização espacial adotada, seções interpoladas podem ser determinadas, por meio de um algoritmo de interpolação, interno ao próprio programa.

Na modelagem de manchas de inundação, as seções transversais utilizadas são compostas pela calha do rio e as planícies de inundação. A calha do rio representa a parte da seção transversal por onde circula normalmente a água, enquanto que as planícies de inundação são temporariamente ocupadas durante as cheias, quando a calha do rio não consegue transportar toda a vazão. As planícies de inundação em regiões urbanas contêm diferentes obstáculos (por exemplo, casas), sendo necessário um banco de dados topográfico detalhado para uma boa delimitação das manchas de inundação.

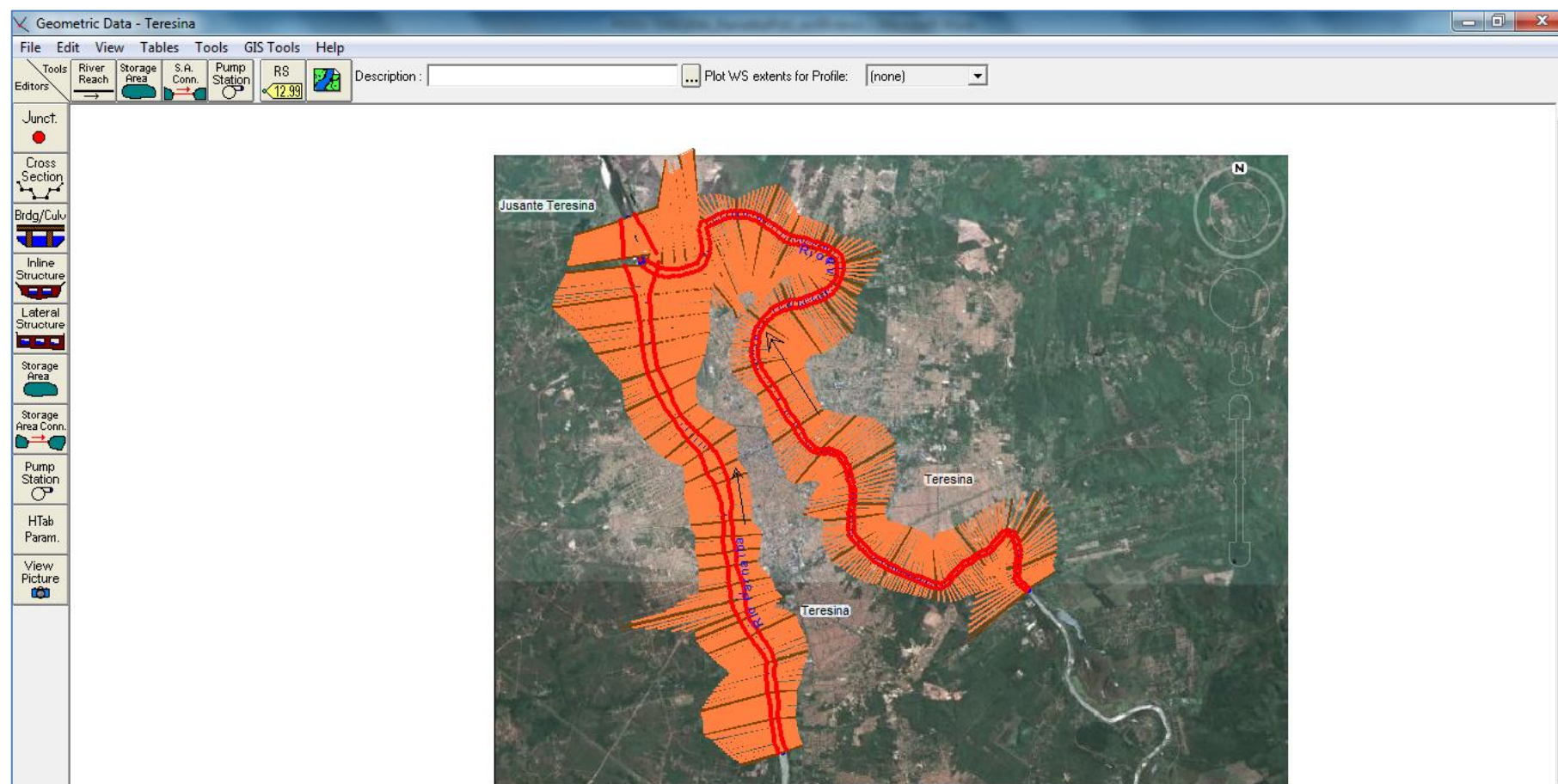


Figura 9.40. Representação do sistema dos rios Parnaíba e Poti na área urbana da cidade de Teresina no programa HEC-RAS.

Uma vez definido o traçado do sistema modelado nos rios Parnaíba e Poti, foram representados todos os dados de topografia e cadastro para a definição das seções transversais (calha+planície). A Figura 9.41 apresenta a localização das seções transversais e a denominação adotada. Nessa figura são indicadas na cor preta, as seções transversais obtidas do levantamento topográfico, enquanto que na cor laranja são indicadas as seções interpoladas. Essas últimas são necessárias para atender a discretização espacial adotada na simulação.

A cada seção transversal foi dado um nome que representa a distância progressiva ao ponto de referência considerado. Assim, os nomes das seções transversais existentes no rio Parnaíba indicam a distância progressiva das seções transversais ao local onde foi feito o levantamento topográfico da seção localizada mais a jusante no sistema, aproximadamente, 1,7 km a jusante da confluência com o rio Poti. Por sua vez, os nomes das seções existentes no rio Poti indicam a distância progressiva ao local de confluência com o rio Parnaíba (Figura 9.41).

Os dados utilizados na definição das seções transversais (calha+planície) dos rios Parnaíba e Poti foram obtidos do levantamento topográfico e de informação plani-altimétrica disponibilizada em formato digital pela prefeitura nas cartas 1:5.000, além de curvas de nível mestre e secundária com equidistância de 2m.

As informações do levantamento topográfico foram utilizadas para definir as calhas de cada uma das seções transversais introduzidas no modelo. Por sua vez, as informações plani-altimétricas da região permitiram a definição das planícies de inundação de cada seção transversal, tanto na sua margem direita como na sua margem esquerda.

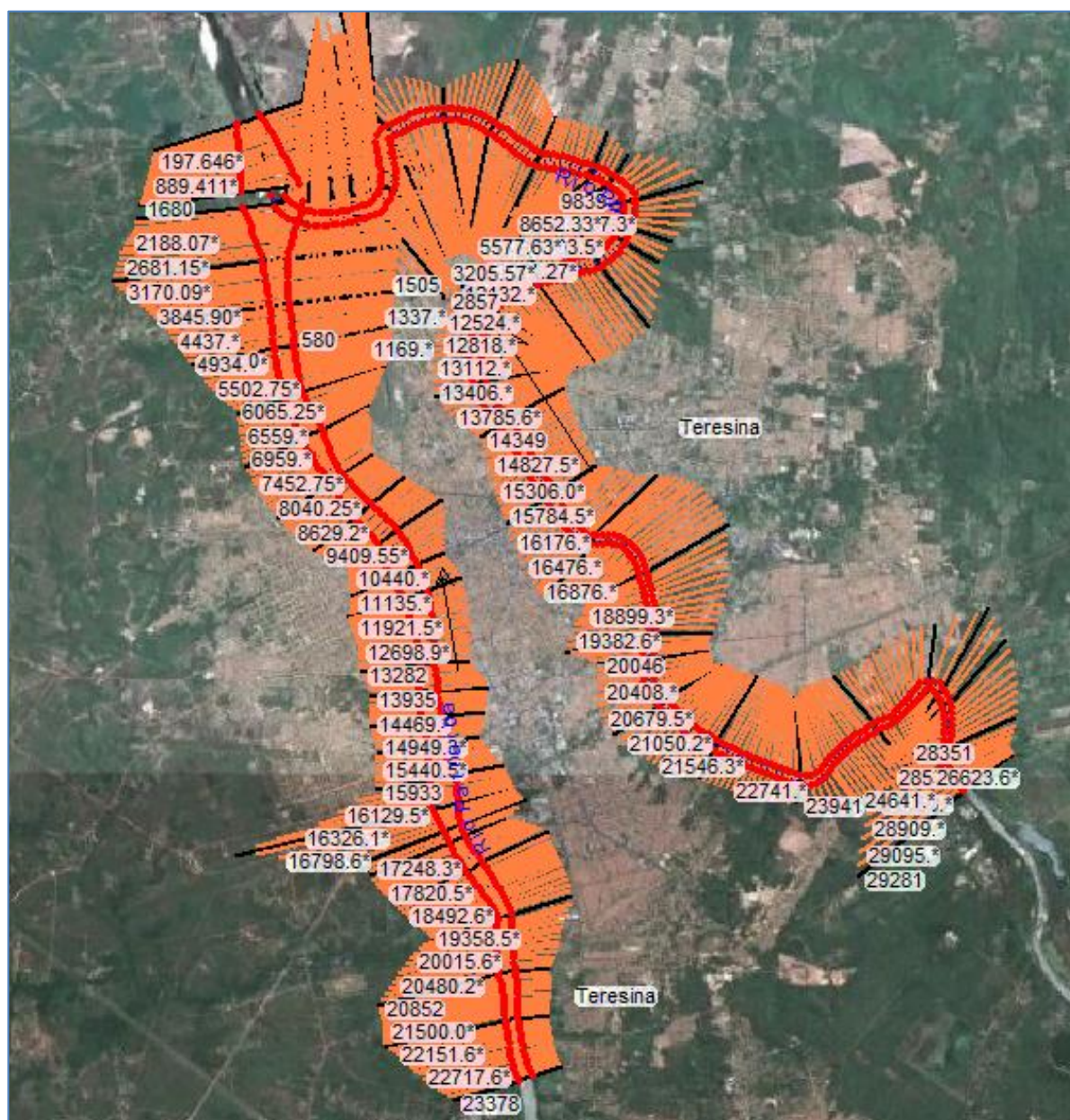


Figura 9.41. Representação do sistema e seções transversais no modelo hidráulico dos rios Parnaíba e Poti na área urbana da cidade de Teresina no programa HEC-RAS.

A seguir é apresentada uma descrição dos pasos que foram executados para a definição das seções compostas (calha+planícies) que foram introduzidas no modelo para a representação do sistema.

9.5.3.1 Representação das seções transversais da calha dos rios

As seções transversais da calha dos rios Parnaíba e Poti obtidas do levantamento topográfico foram introduzidas no modelo hidráulico. Um total de 60 seções foi carregado no modelo, conforme apresentado no Quadro 9.2 e no Quadro 9.3.

Quadro 9.2 Identificação das seções transversais do levantamento topográfico no rio Parnaíba.

SEÇÃO RIO PARNAÍBA	PROGRESSIVA
s1	23378
s2	21963
s3	20852
s4	19551
s5	18204
s6	17437
s7	17154
s8	16621
s9	15933
s10	15145
s11	14558
s12	13935
s13	13282
s14	11630
s15	11036
s16	10142
s17	9318
s18	8334
s19	7159
s20	6159
s21	5034
s22	4039
s23	2977
s24	1695
s25	0

Posteriormente, essas seções que correspondem à calha dos rios Parnaíba e Poti nos locais do levantamento topográfico, foram interpoladas para atender a discretização espacial do modelo. Assim, um total de 555 seções foram definidas para a modelagem.

Quadro 9.3 Identificação das seções transversais do levantamento topográfico no rio Poti.

SEÇÃO RIO POTI	PROGRESSIVA
s35	29281
s34	28351
s33	27551
s32	27301
s31	27016
s30	25741
s29	23941
s28	22241
s27	20951
s26	20046
s25	19576
s24	18416
s23	17176
s22	15976
s21	14349
s20	13504
s19	12034
s18	11019
s17	9839
s16	9239
s15	8989
s14	8484
s13	7954
s12	7554
s11	6514
s10	5484
s9	4547
s8	3467
s7	2857
s6	2350
s5	1920
s4	1505
s3	1085
s2	580
s1	0

9.5.3.2 Acoplamento das planícies às seções de calha

Uma vez definidas as seções transversais da calha dos rios Parnaíba e Poti foi feito o acoplamento das planícies de inundação a cada uma delas. Nesse sentido, os traços das seções transversais foram expandidos para incorporar as planícies de inundação. Nesse caso, as seções transversais da planície foram obtidas pela interseção do mapa contendo os traços das seções com as informações plani-altimétricas da região disponibilizadas.

Posteriormente, cada uma das 555 seções transversais compostas (calha+planície) foi obtida acoplando ambas as bases de dados, originando as seções transversais definitivas utilizadas na modelagem hidráulica-hidrodinâmica dos rios Parnaíba e Poti (um exemplo é apresentado na Figura 9.42).

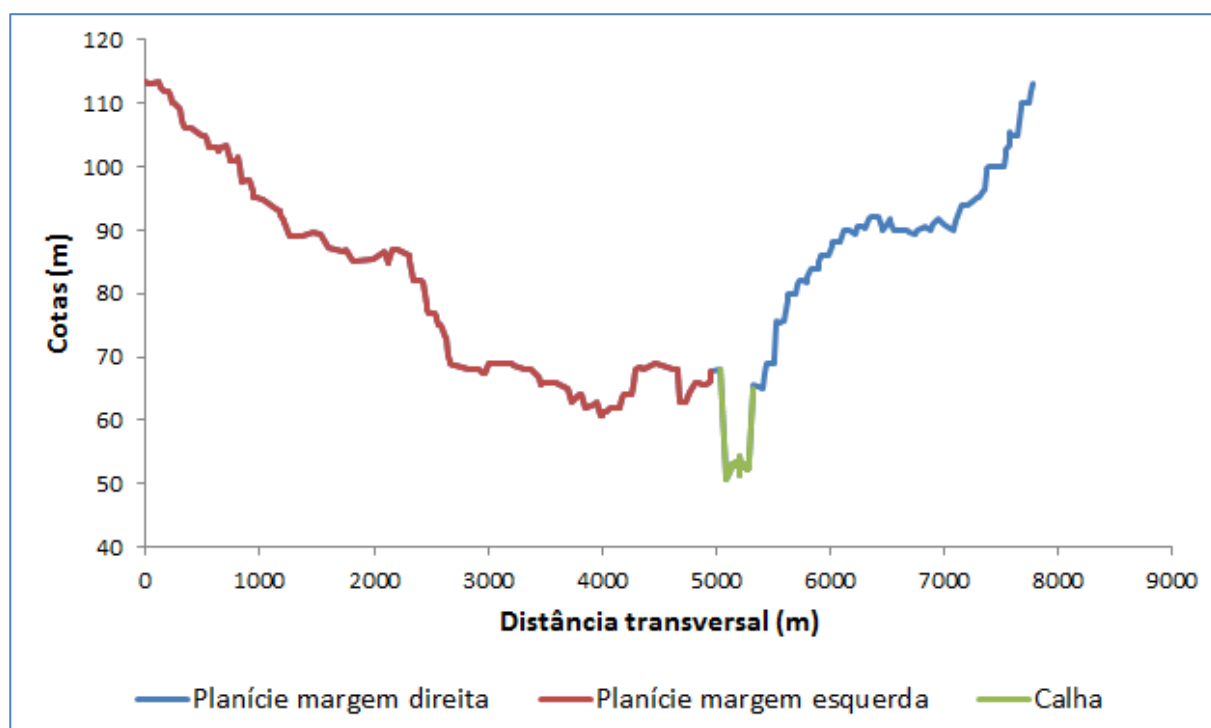


Figura 9.42. Exemplo de seção transversal composta, onde na cor verde é apresentada a seção da calha e na cor marrom e azul as planícies de inundação.

9.5.4 Critérios de modelagem

Deve-se destacar que a modelagem numérica é sempre uma representação simplificada da realidade e, em consequência, seu desempenho é influenciado pela qualidade das informações de entrada, das informações dos levantamentos topográficos e das próprias incertezas do ajuste em função dos processos sendo representados.

A seguir são discutidos em detalhe os critérios estabelecidos durante o desenvolvimento do modelo hidráulico e da modelagem propriamente dita.

9.5.4.1 Tipo e regime de escoamento

Durante a etapa de ajuste do modelo, o escoamento foi simulado em regime não permanente e não uniforme, isto é, foram utilizados hidrogramas da série históricas em diferentes períodos de tempo.

Na etapa de determinação de níveis máximos e manchas de inundação para eventos de projeto, o escoamento foi simulado em regime permanente e não uniforme, isto é, mantendo a vazão constante no valor definido em função do período de recorrência avaliado.

9.5.4.2 Discretização espaço-temporal

A discretização espacial adotada no modelo é 100 m. Esse valor se mostrou adequado em função das características das seções transversais dos rios simulados, atendendo às condições impostas pela solução numérica das equações de Saint Venant. A discretização temporal no modelo hidráulico durante a etapa de ajuste do modelo foi de 1(um) dia, em correspondência ainda com a discretização dos dados de séries históricas de vazão e níveis.

9.5.4.3 Características hidráulicas das seções

A rugosidade das seções transversais representa um dos principais parâmetros hidráulicos que devem ser definidos na etapa de ajuste do modelo dos rios Parnaíba e Poti.

O conhecimento da localização das margens na seção transversal permite identificar a calha do rio e as duas planícies de inundação. Dessa forma, o valor da rugosidade é definido tanto na calha do rio como nas planícies de inundação. A Figura 9.43 apresenta uma seção transversal obtida do levantamento topográfico, acoplada às planícies de inundação definidas a partir das informações plani-altimétricas. Nessa figura a calha do rio é indicada na cor verde, a planície sobre a margem esquerda na cor marrom, enquanto que a planície sobre a margem direita é representada na cor azul. Um detalhe dessa mesma seção transversal representada no programa HEC-RAS, é apresentado na Figura 9.44, onde os limites entre as planícies e calha são identificados na cor vermelha.

Os valores das rugosidades no rio Parnaíba foram definidos em função da representação das séries de níveis a partir da série de vazões do posto Teresina (34690000), conforme apresentado no item correspondente. Ainda foi realizada uma verificação qualitativa com a representação dos pontos críticos em diferentes eventos de cheias (Ex, cheia de 2008). Por sua vez, em função da inexistência de informações de séries históricas no interior da área urbana de Teresina no rio Poti, o ajuste dos valores das rugosidades foi realizado apenas em forma qualitativa, sendo avaliada a capacidade do modelo de representar os pontos críticos previamente identificados em diferentes eventos de cheias.

9.5.4.4 *Condições de contorno de montante*

As condições de contorno de montante do modelo hidráulico dos rios Parnaíba e Poti variam em função da etapa da modelagem. Na etapa inicial, de ajuste do modelo, as condições de contorno de montante são hidrogramas da série histórica em diferentes períodos de tempo. Por sua vez, na etapa de determinação de níveis máximos e manchas de inundação para eventos de projeto, as condições de contorno de montante são vazões que permanecem constante ao longo dos diferentes trechos, para os diferentes período de recorrência avaliados.

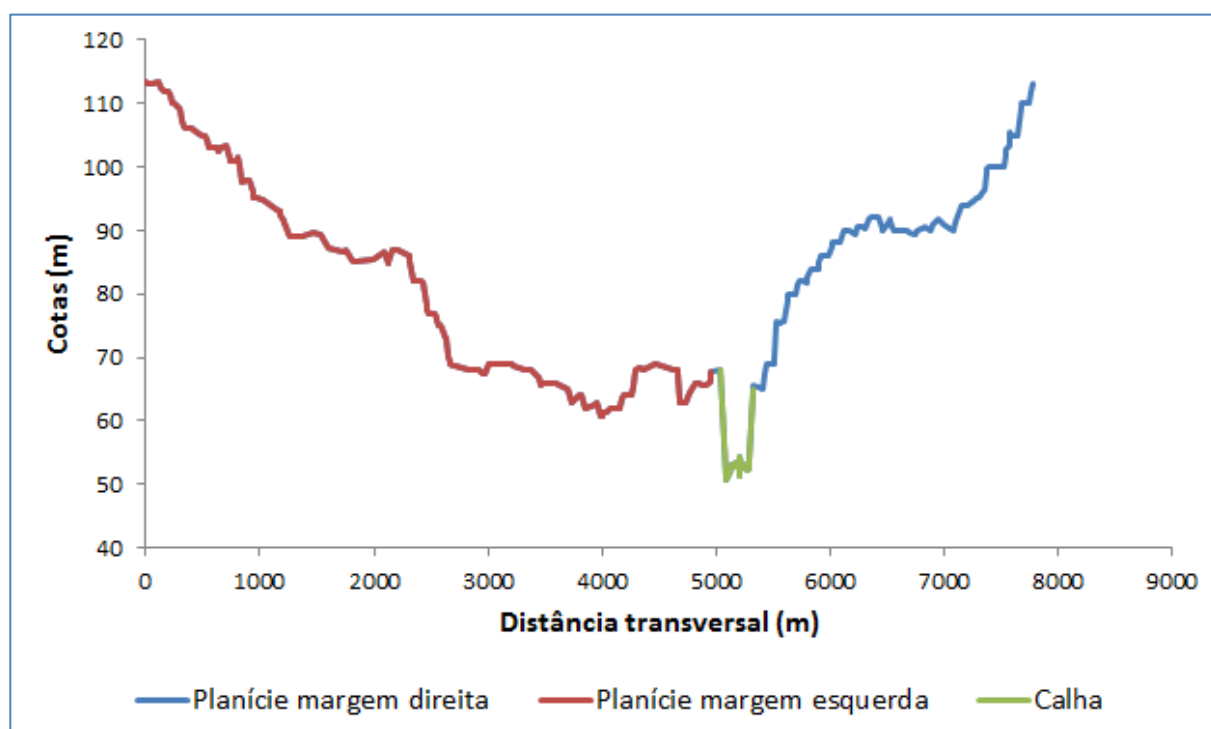


Figura 9.43. Seção transversal do rio Parnaíba s2 (progressiva 21963), localizada a 20 km da confluência com o rio Poti, com identificação das margens da calha e coeficiente de rugosidade (η).

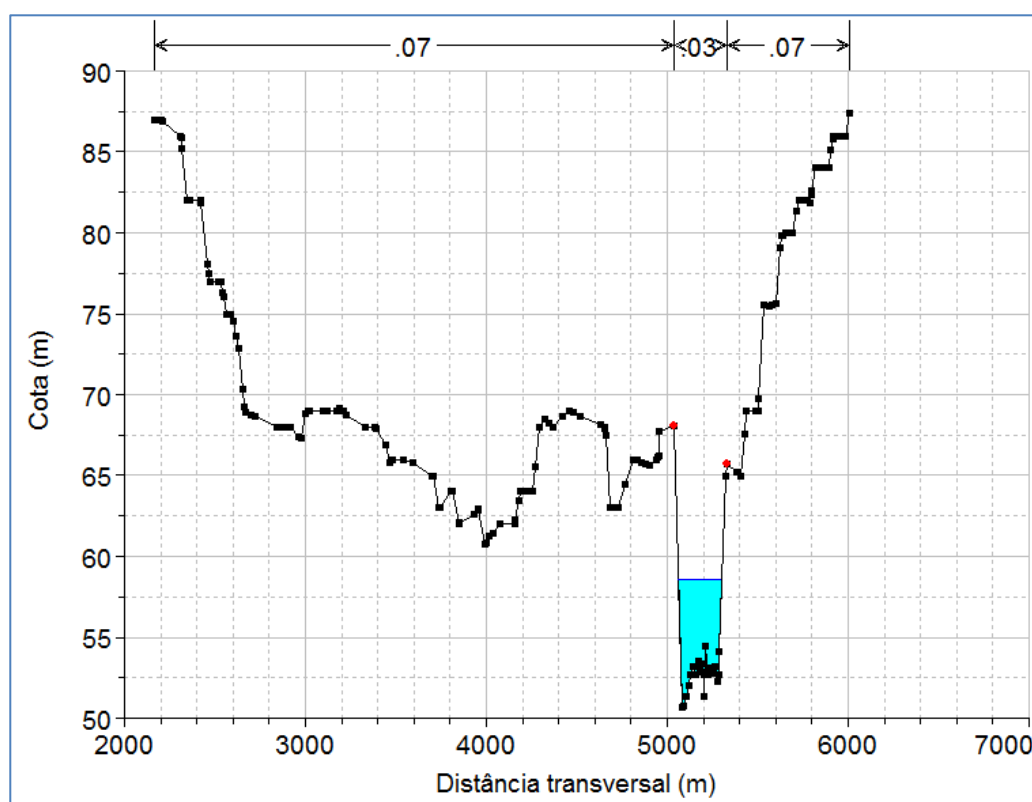


Figura 9.44. Seção transversal do rio Parnaíba, localizada a 20 km da confluência com o rio Poti, no programa HEC-RAS, com identificação das margens da calha e coeficiente de rugosidade (η).

9.5.4.5 Condições de contorno de jusante

Em função da escassez de dados, na condição de contorno de jusante do modelo hidráulico dos rios Parnaíba e Poti foi adotada a equação de Manning considerando uma declividade da linha da água paralela à declividade de fundo média do rio Parnaíba no trecho simulado, estimada em $0,000163\text{m.m}^{-1}$.

9.5.5 Ajuste do modelo hidráulico dos rios Parnaíba e Poti

O ajuste do modelo hidráulico dos rios Parnaíba e Poti foi efetuado através de duas etapas principais, a calibração do modelo, onde os valores dos parâmetros são definidos com base em um determinado período da série histórica e, a verificação do modelo, onde considerando os valores dos parâmetros previamente definidos é utilizado o modelo em outro período da série histórica.

Em função da disponibilidade de dados, o ajuste do modelo seguiu procedimentos diferentes no caso do rio Parnaíba e Poti, conforme apresentado adiante no texto.

9.5.5.1 Calibração do modelo hidráulico

Na calibração do modelo hidráulico dos rios Parnaíba e Poti foi considerado o escoamento em regime não permanente e não uniforme. As condições de contorno de montante são hidrogramas da série histórica dos postos fluviométricos de Teresina (34690000) no rio Parnaíba, e Fazenda Cantinho I (34790000) e II (34789000), no rio Poti. É importante ressaltar que isso representa uma simplificação, dado que a localização desses postos fluviométricos não coincide exatamente com os extremos de montante do sistema, embora se encontrem próximos. Entretanto, não se observam aportes laterais de importância entre o local dos postos fluviométricos e o local onde o sistema começa a ser simulado, o qual permite supor que as vazões serão praticamente as mesmas em ambos locais.

As séries históricas de vazões no período de 01/01/1973 a 30/04/2010 são apresentadas na Figura 9.45 e na Figura 9.46, no posto Teresina (34690000) – rio Parnaíba – e no posto Fazenda Cantinho (34790000) – rio Poti –, respectivamente.

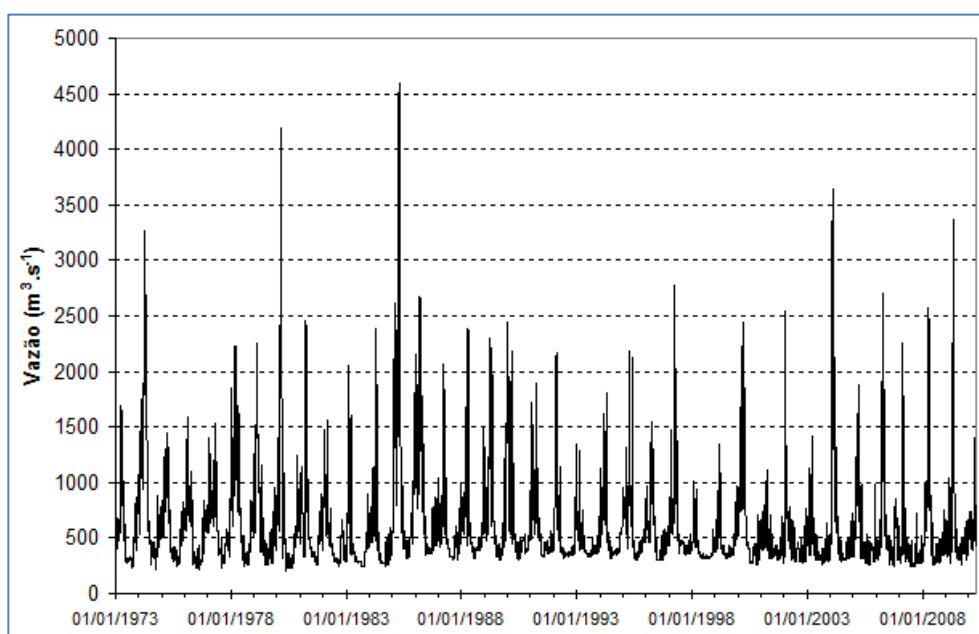


Figura 9.45. Série histórica de vazões no posto fluviométrico Teresina, no rio Parnaíba.

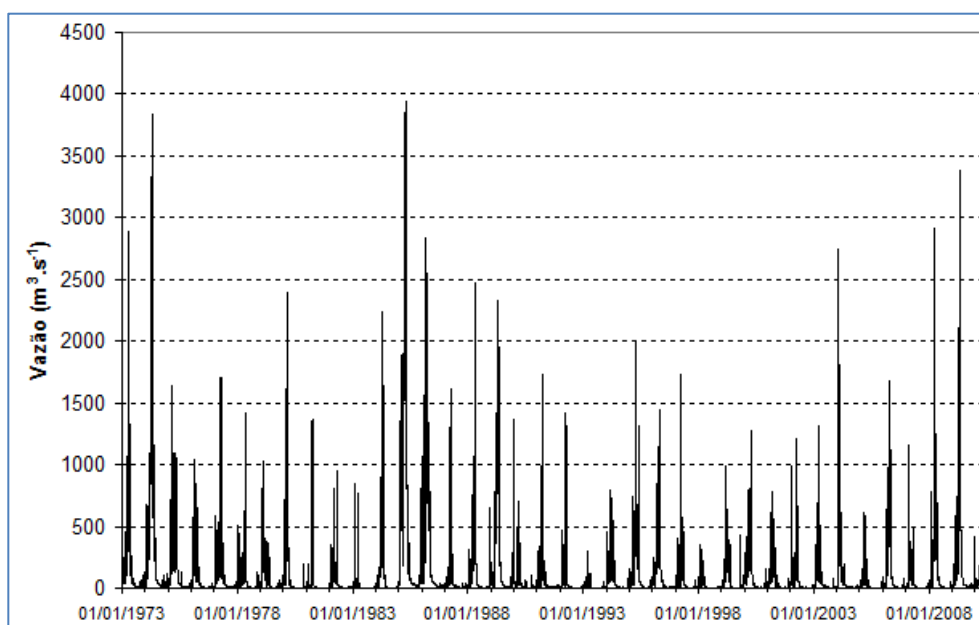


Figura 9.46. Série histórica de vazões no posto fluviométrico Fazenda Cantinho, no rio Poti.

Por sua vez, a Figura 9.47 apresenta a série histórica de níveis no posto Teresina e que será utilizada para ajustar os valores dos parâmetros do modelo no rio Parnaíba.

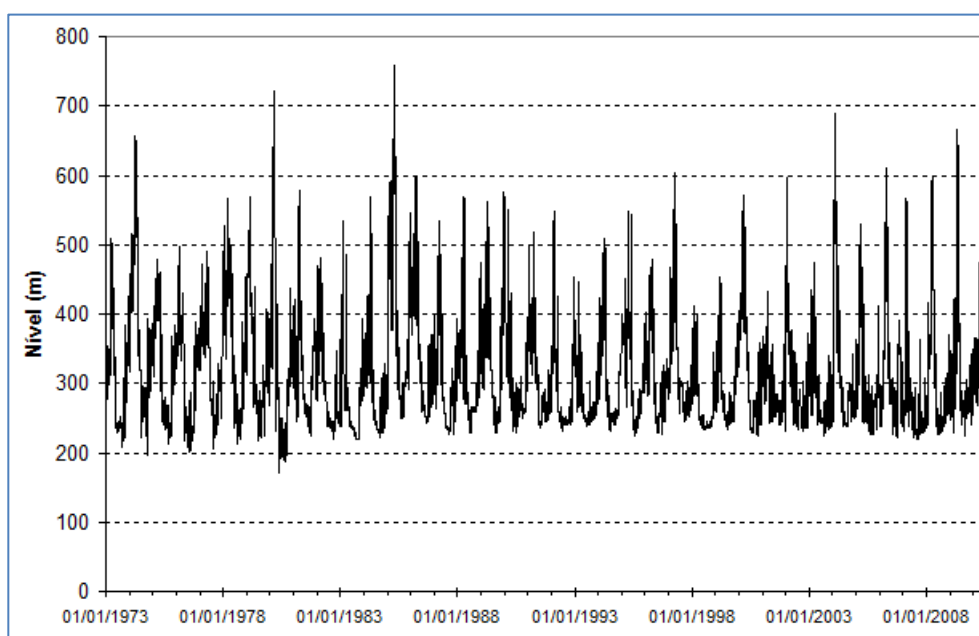


Figura 9.47. Série histórica de níveis no posto fluviométrico Teresina, no rio Parnaíba.

No local do posto fluviométrico de Teresina foi feito o levantamento de uma seção transversal, correspondente à progressiva 13935 no modelo hidráulico desenvolvido. Dessa forma, durante a calibração, os hidrogramas dos postos Teresina e Fazenda Cantinho são propagados pelo sistema integrado pelos rios Parnaíba e Poti. No caso do rio Parnaíba, os parâmetros do modelo foram modificados para alcançar uma boa representação da variação dos níveis observados no posto de Teresina.

O período utilizado na calibração do modelo foi 01/01/1980 a 31/12/1986, a Figura 9.48 e Figura 9.49 apresentam as séries históricas de vazões nesses períodos nos postos Teresina e Fazenda Cantinho. Por sua vez, a Figura 9.50 apresenta a série histórica de níveis no posto de Teresina durante o período de calibração.

O período escolhido para calibração do modelo considerou-se representativo do comportamento geral da série histórica, além de apresentar dois dos eventos mais críticos da série, que resulta de maior interesse para esse estudo, dado que o modelo será posteriormente utilizado para definir os valores de níveis máximos e manchas de inundação em eventos de projetos de determinadas recorrências.

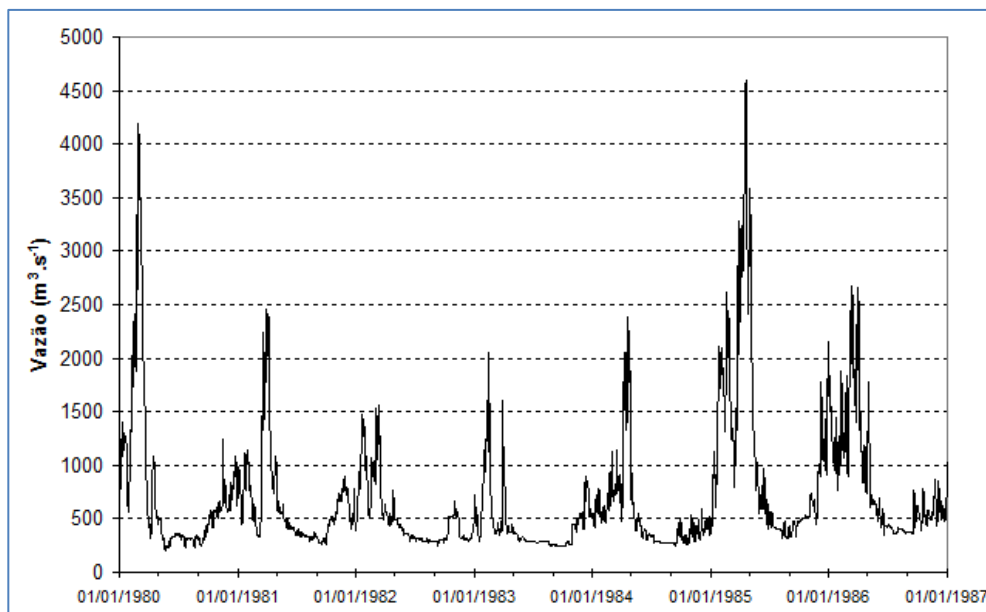


Figura 9.48. Série histórica de vazões no posto fluviométrico Teresina, no período de calibração.

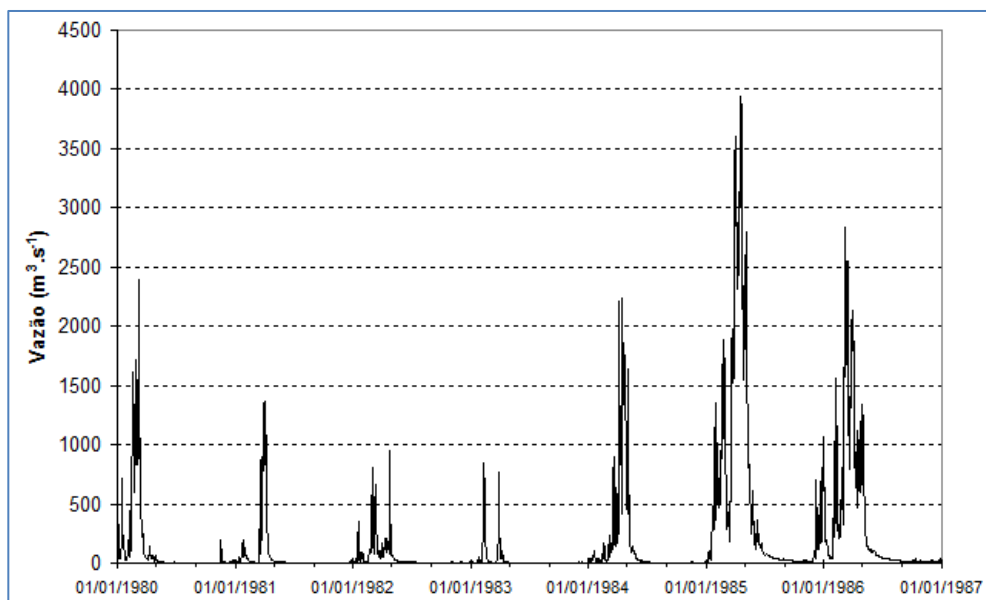


Figura 9.49. Série histórica de vazões no posto fluviométrico Fazenda Cantinho, no período de calibração.

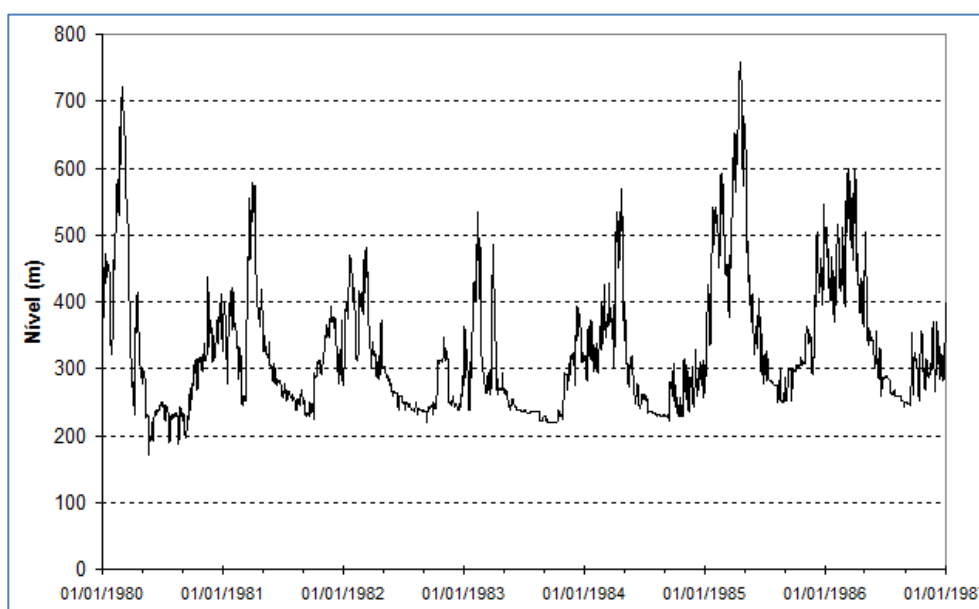


Figura 9.50. Série histórica de níveis no posto fluviométrico Teresina, no período de calibração.

Após diferentes tentativas, os parâmetros do modelo hidráulico foram definidos, de forma a obter uma boa representação no período de calibração. Assim, o valor do coeficiente de rugosidade de Manning na calha do rio Parnaíba resultou igual a 0,03. Por sua vez, no rio Poti, o valor do coeficiente de rugosidade de Manning foi um pouco maior, e igual a 0,04. Por fim, o coeficiente de rugosidade de Manning nas planícies de inundação de ambos os rios resultou igual a 0,07. É importante ressaltar que todos esses valores do coeficiente de rugosidade de Manning se encontram dentro da faixa de valores típicos definidos na literatura especializada para rios com características similares aos rios Parnaíba e Poti no trecho analisado (CHOW, 1959).

Os resultados da simulação utilizando o modelo hidráulico ajustado no período de calibração são apresentados na Figura 9.51 a Figura 9.57. As primeiras três figuras apresentam uma comparação de anomalias de níveis obtidas com o modelo e as existentes na série histórica. Adotou-se como variável de comparação a anomalia (valor – valor médio do período) já que permite comparar os resultados do modelo (cotas) com os resultados das séries históricas (níveis). Observa-se nessas figuras o bom ajuste obtido no posto Teresina,

no qual o modelo consegue representar muito bem a séries de anomalias de níveis, com o erro absoluto médio inferior a 8 cm no período de calibração.

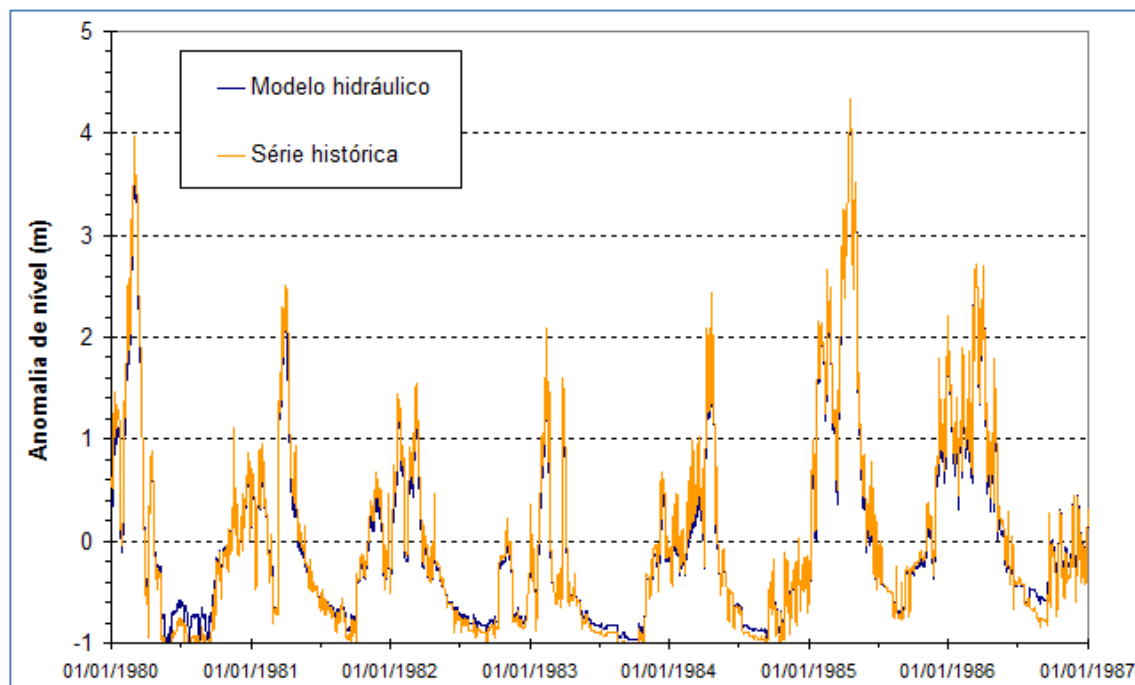


Figura 9.51. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no período de calibração completo.

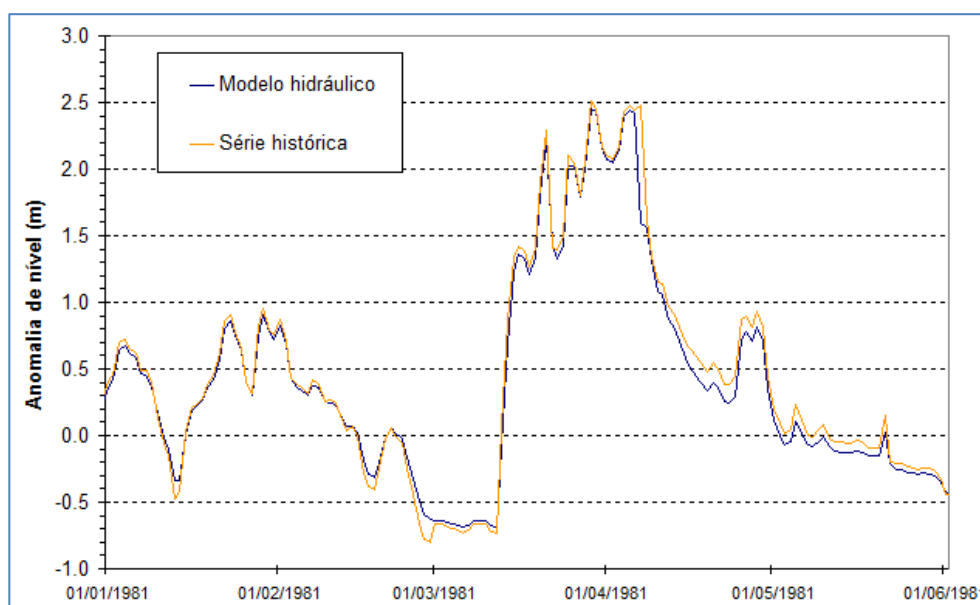


Figura 9.52. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no ano de 1981 – período de calibração.

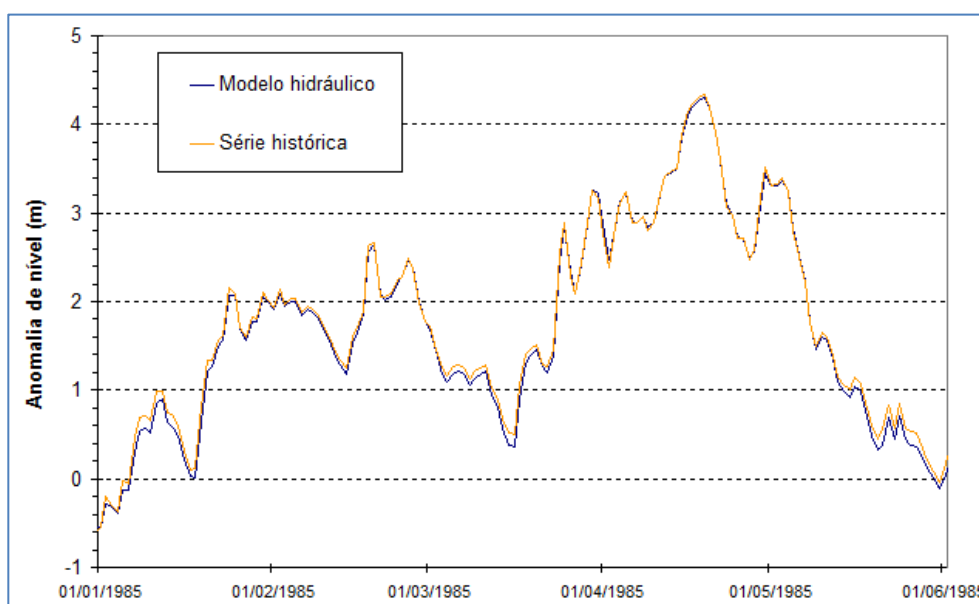


Figura 9.53. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no ano de 1985 – período de calibração.

O modelo conseguiu representar melhor os níveis máximos, sendo que apresenta uma maior discrepância com os valores observados nos níveis mínimos. Isto pode estar associado às características do leito desses rios, o qual é arenoso e com fundo móvel e, em consequência, os níveis podem mudar em função de mudanças próprias da seção ao longo do tempo. Entretanto, a correta representação dos níveis máximos é de maior interesse para esse estudo, onde eventos de projetos críticos serão simulados para estimar os níveis máximos da água e as correspondentes manchas de inundação.

A Figura 9.54 e a Figura 9.55 apresentam as manchas de inundação calculadas pelo modelo hidráulico durante o evento de 1985. Nessas figuras as linhas pretas representam a superfície ou terreno, enquanto que os pontos vermelhos indicam a localização da margem direita e esquerda da calha de cada seção transversal. Ainda os pontos na cor rosa indicam o traçado da Av. Boa Esperança. Assim, quando a largura da área alagada é maior que a largura entre as margens da calha, significa que existe água ocupando a planície de inundação. O sentido de escoamento é sempre do extremo inferior para o extremo superior de cada uma dessas figuras.

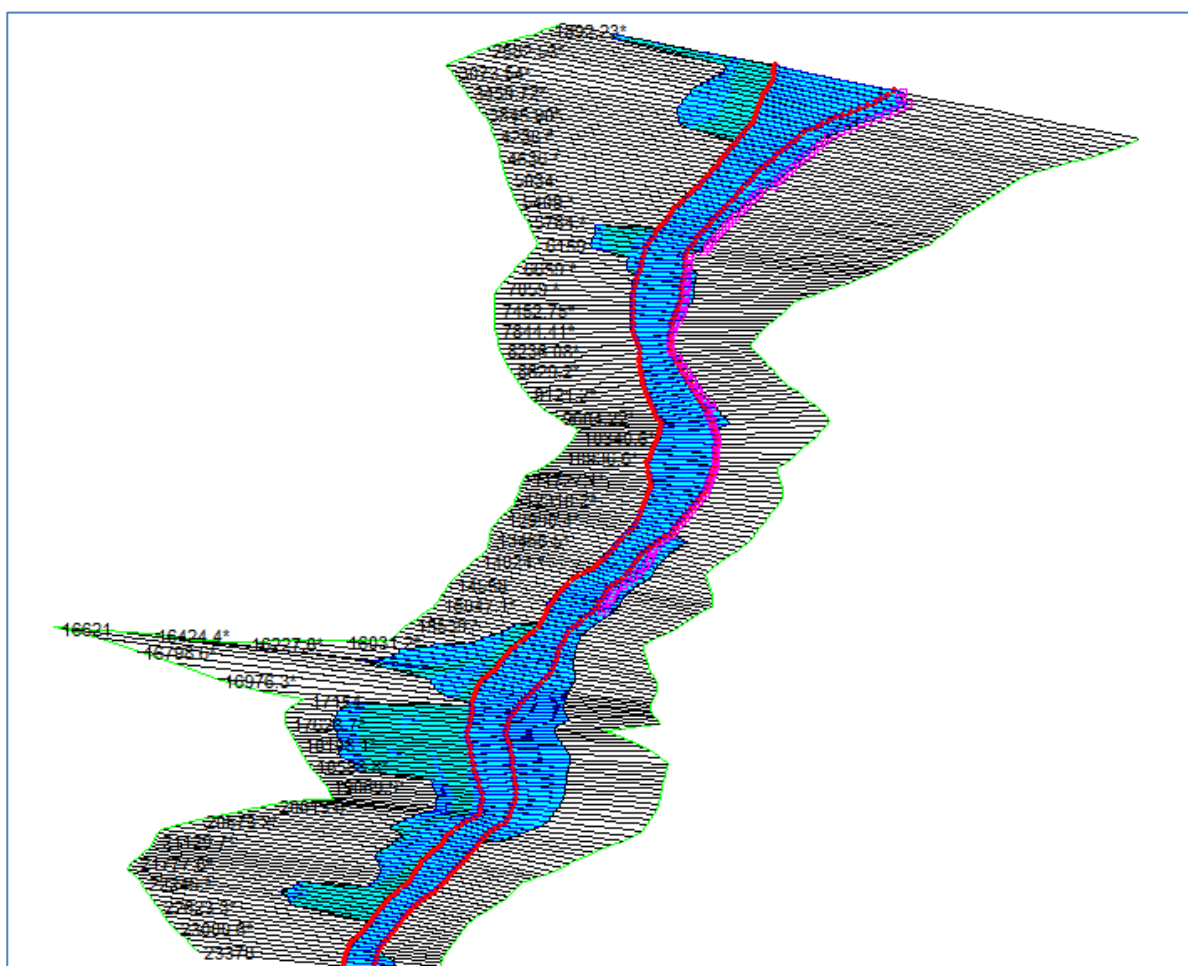


Figura 9.54. Mancha de inundação no rio Parnaíba no dia 19/04/1985, data de uma das maiores cheias acontecidas na região. Os pontos vermelhos indicam os limites da calha do rio, enquanto que os pontos na cor rosa indicam o traçado da Av. Boa Esperança.

Observa-se nessas figuras que a mancha de inundação estimada através da modelagem conseguiu representar corretamente os principais relatos das consequências da cheia de 1985. Observa-se na Figura 9.54 que o nível da água não superou as cotas do traçado da Av. Boa Esperança, fato confirmado por relatos da época e apresentados em JB Engenharia (1999). Entretanto, diferentes pontos a montante do começo da Av. Boa Esperança apresentaram alagamentos.

No caso do arroio Poti, a Figura 9.55 mostra claramente como o escoamento atingiu as planícies de inundação praticamente ao longo de todo o trecho simulado, com maiores áreas de alagamentos na região Moçambinho.

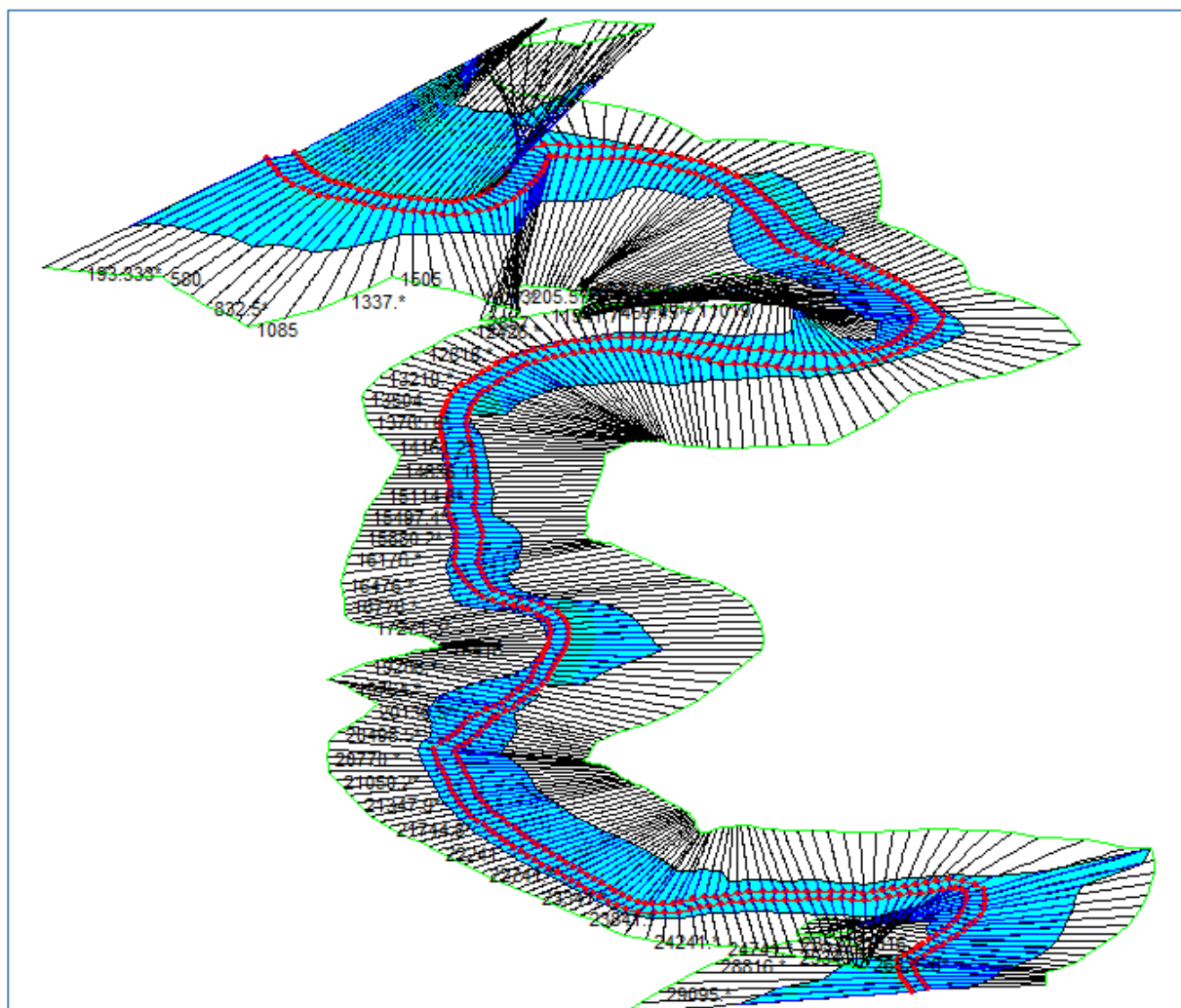


Figura 9.55. Mancha de inundação no rio Poti no dia 19/04/1985, data de uma das maiores cheias acontecidas na região. Os pontos vermelhos indicam os limites da calha do rio.

Por fim, a Figura 9.56 e a Figura 9.57 apresentam o perfil longitudinal dos rios Parnaíba e Poti, respectivamente, e os níveis da água máximos durante o evento de 1985.

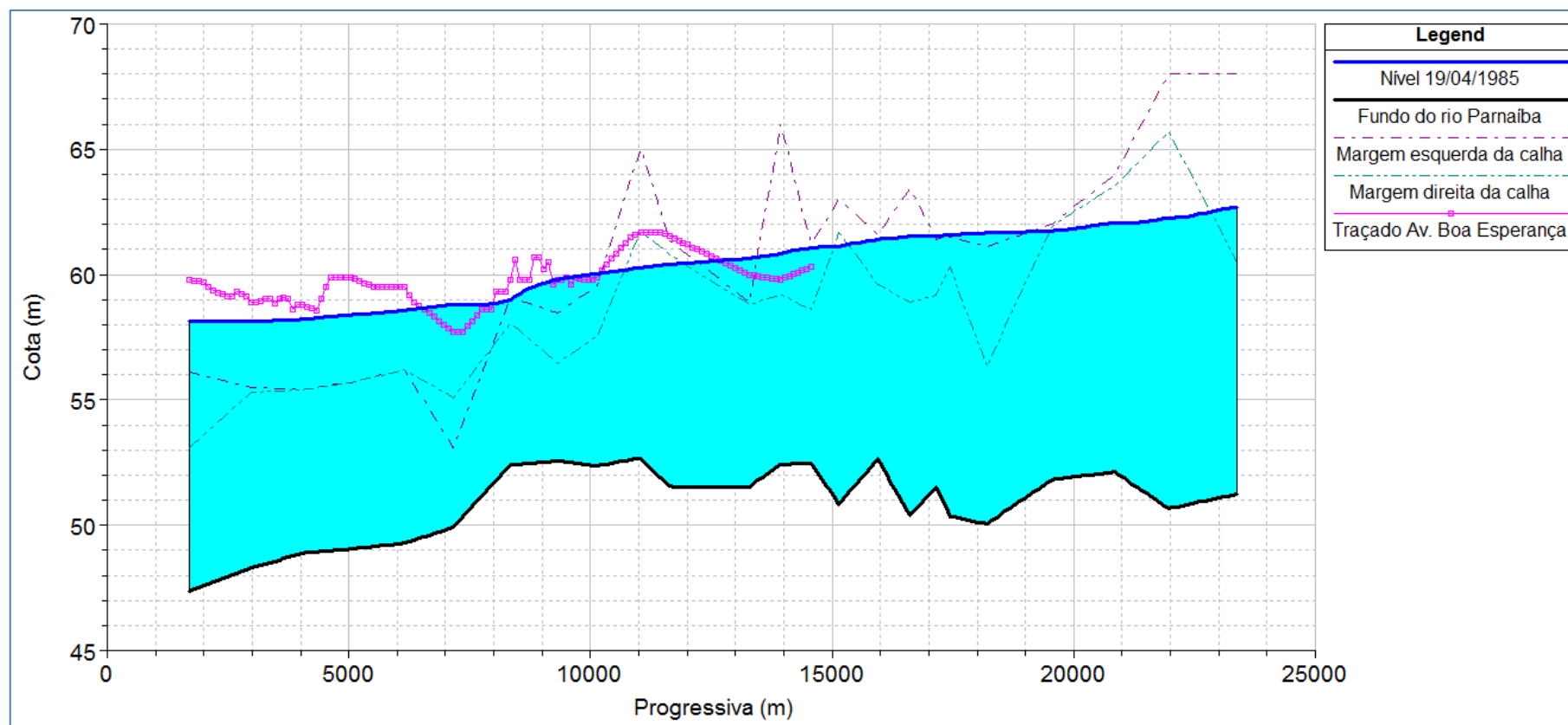


Figura 9.56. Perfil longitudinal do rio Parnaíba e níveis máximos d'água durante o evento de 1985.

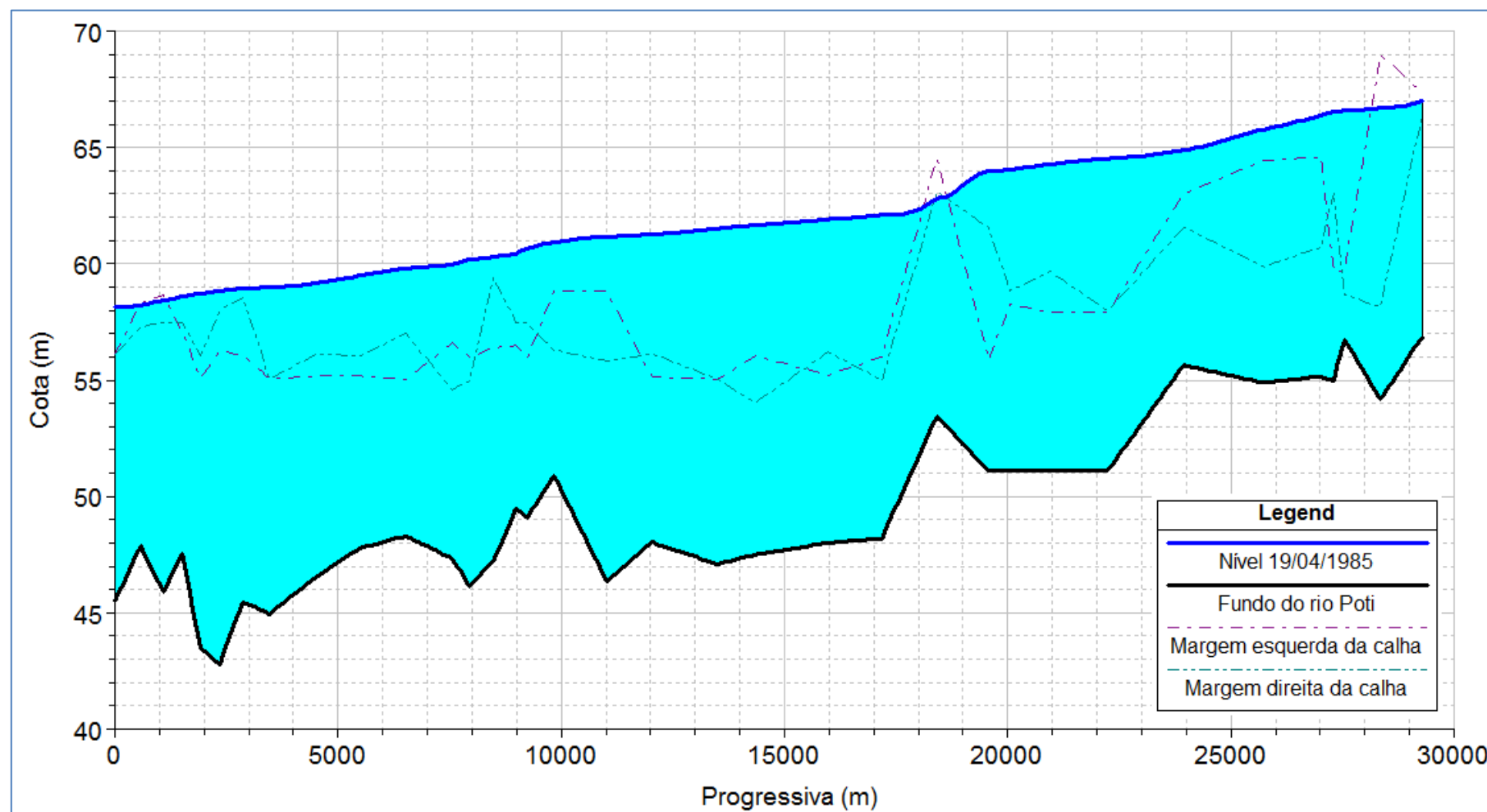


Figura 9.57. Perfil longitudinal do rio Poti e níveis máximos d'água durante o evento de 1985.

9.5.5.2 Verificação do modelo

Na verificação do modelo hidráulico dos rios Parnaíba e Poti foi considerado o escoamento em regime não permanente e não uniforme. As condições de contorno de montante são hidrogramas da série histórica dos postos fluviométricos de Teresina (34690000) no rio Parnaíba, e Fazenda Cantinho I (34790000) e II (34789000), no rio Poti.

Nessa etapa da modelagem, os parâmetros do modelo são mantidos nos valores previamente definidos durante a etapa de calibração e um novo período da série histórica, não utilizado durante a calibração, é simulado com o modelo para análise dos resultados.

O período utilizado na verificação do modelo foi 01/01/1987 a 30/04/2010.

Os resultados da simulação no período de verificação utilizando o modelo hidráulico ajustado no período de calibração são apresentados na Figura 9.58 a Figura 9.62. As primeiras cinco figuras apresentam uma comparação de anomalias de níveis obtidas com o modelo e as existentes na série histórica. Adotou-se como variável de comparação a anomalia (valor – valor médio do período) já que permite comparar os resultados do modelo (cotas) com os resultados das séries históricas (níveis). Observa-se nessas figuras o bom ajuste obtido no posto Teresina, no qual o modelo consegue representar muito bem a séries de anomalias de níveis, com o erro absoluto médio inferior a 10 cm no período de verificação.

Da mesma forma que no período de calibração, o modelo conseguiu representar melhor os níveis máximos do período de verificação, sendo que apresenta uma maior discrepância com os valores observados nos níveis mínimos. Conforme discutido anteriormente, a correta representação dos níveis máximos é de maior interesse para esse estudo, onde eventos de projetos críticos serão simulados para estimar os níveis máximos da água e as correspondentes manchas de inundação.

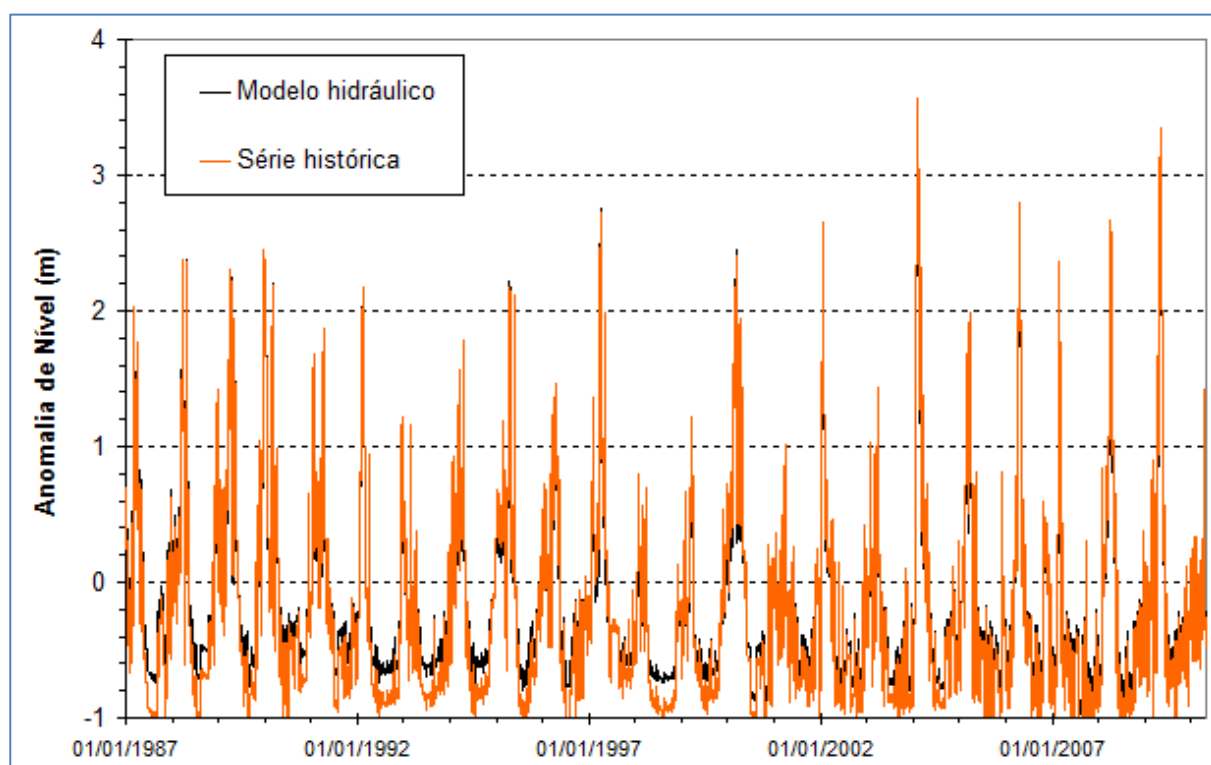


Figura 9.58. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no período de verificação completo.

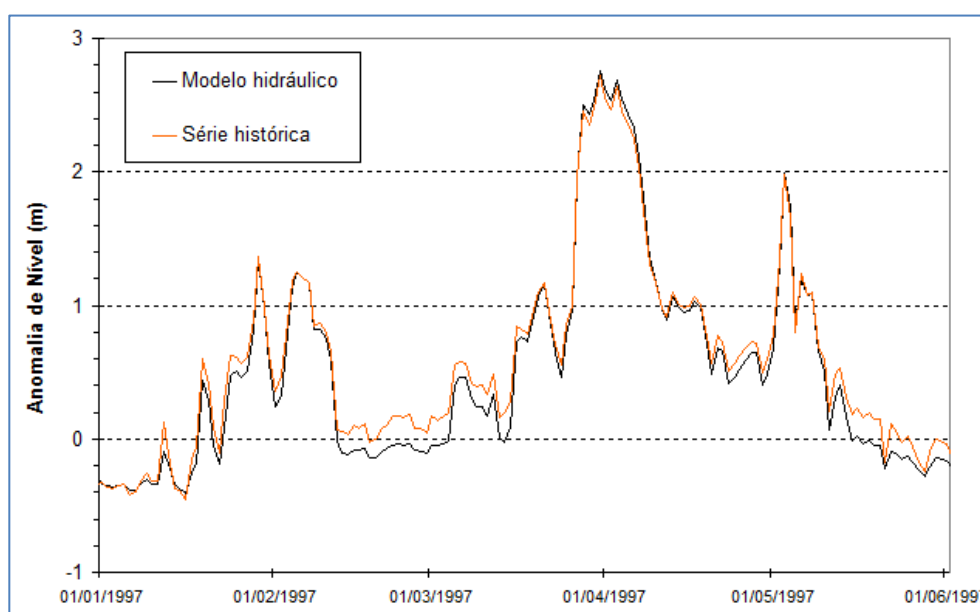


Figura 9.59. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no ano de 1997 – período de verificação.

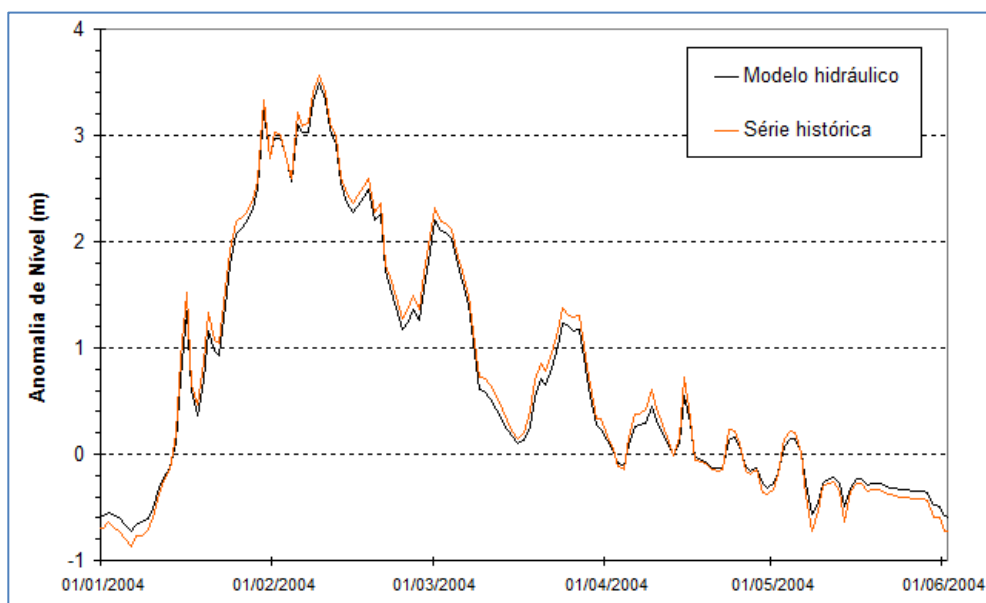


Figura 9.60. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no ano de 2004 – período de verificação.

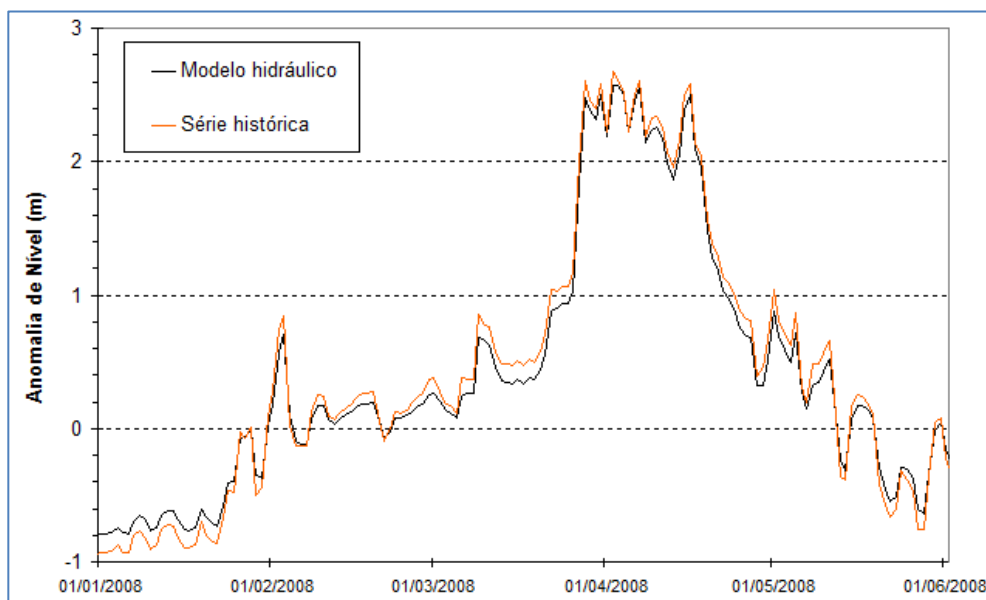


Figura 9.61. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no ano de 2008 – período de verificação.

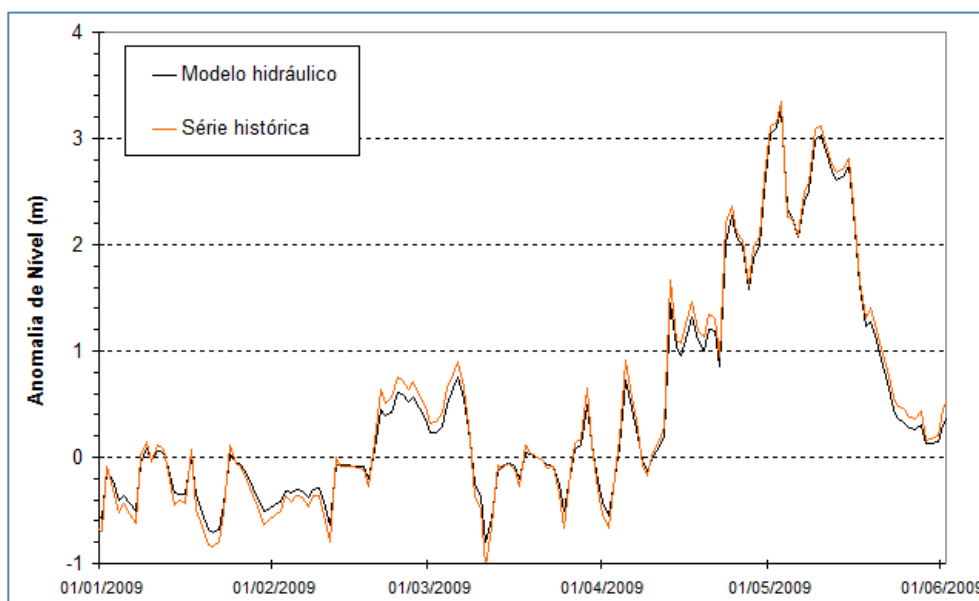


Figura 9.62. Comparação de anomalias de níveis calculadas pelo modelo hidráulico e observadas na série histórica no posto fluviométrico Teresina, no ano de 2009 – período de verificação.

A Figura 9.63 e a Figura 9.64 apresentam as manchas de inundação calculadas pelo modelo hidráulico durante o evento de 2008. Nessas figuras, as linhas pretas representam a superfície ou terreno, enquanto que os pontos vermelhos indicam a localização da margem direita e esquerda da calha de cada seção transversal. Ainda os pontos na cor rosa indicam o traçado da Av. Boa Esperança. Assim, quando a largura da área alagada é maior que a largura entre as margens da calha, significa que existe água ocupando a planície de inundação. O sentido de escoamento é sempre do extremo inferior para o extremo superior de cada uma dessas figuras.

Observa-se nessas figuras que a mancha de inundação estimada através da modelagem conseguiu representar corretamente os principais pontos críticos identificados durante a cheia de 2008. Isto pode ainda ser corroborado comparando essas figuras com a Figura 9.65, a qual apresenta os pontos críticos identificados pela Defesa Civil e técnicos da PMT durante esse evento de cheia.

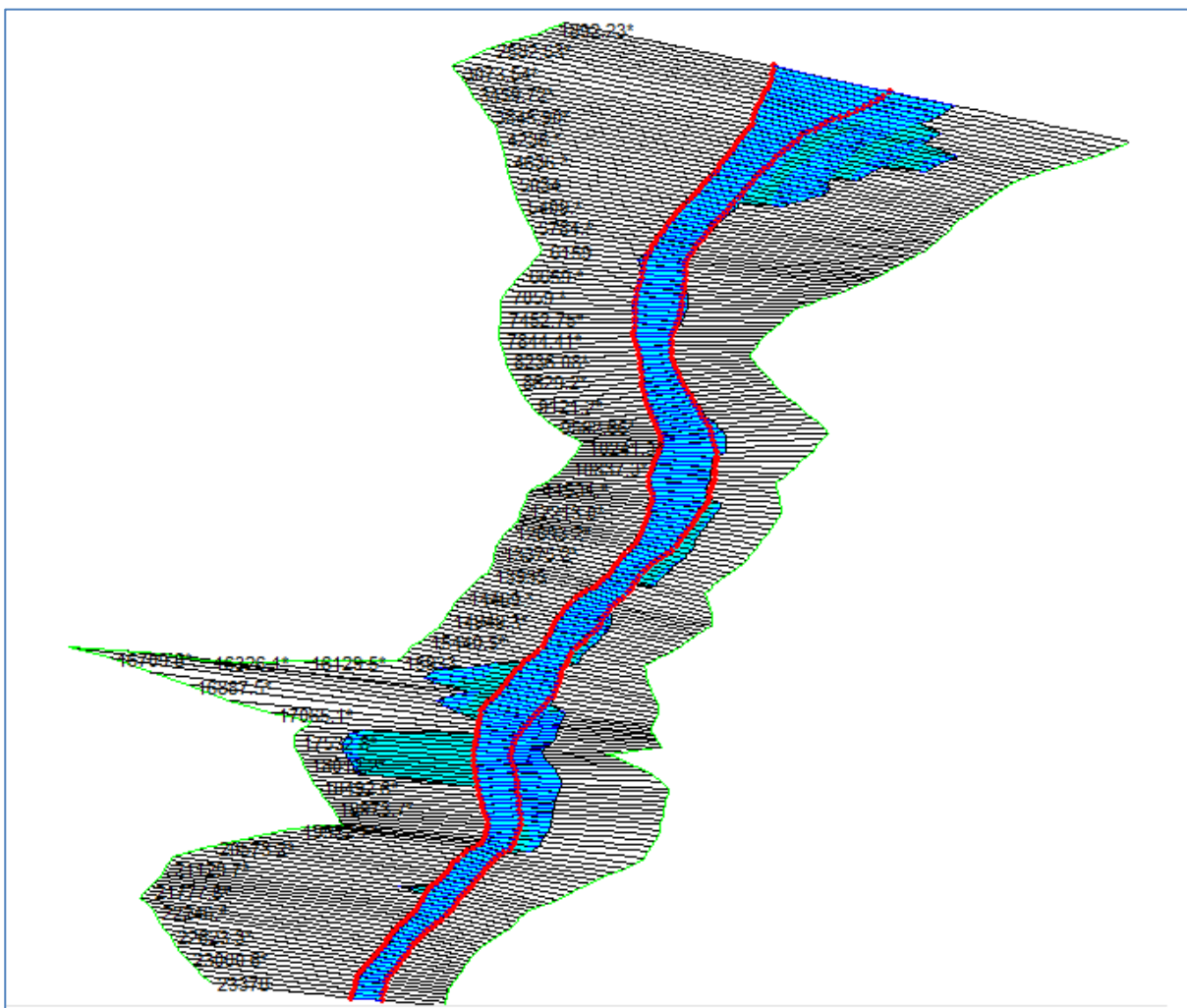


Figura 9.63. Mancha de inundação no rio Parnaíba no dia 06/04/2008, data de uma cheia acontecida na região. Os pontos vermelhos indicam os limites da calha do rio, enquanto que os pontos na cor rosa indicam o traçado da Av. Boa Esperança.

No caso do rio Poti, a Figura 9.64 mostra claramente como o escoamento atingiu as planícies de inundação praticamente ao longo de todo o trecho simulado, com maiores áreas de alagamentos na região Moçambinho e na região da curva de São Paulo.

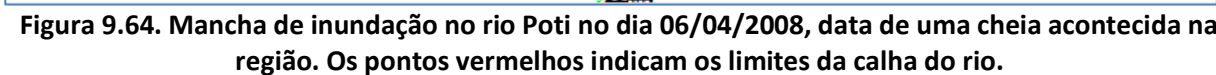




Figura 9.65. Pontos críticos identificados Defesa Civil durante o evento crítico de 2008 (Imagem esquemática).