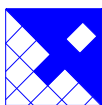




**MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA**



INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais



**PROJETO SÃO FRANCISCO
ÁGUA PARA TODOS**

**PROJETO BÁSICO DE TRANSPOSIÇÃO
DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO
PARA O NORDESTE SETENTRIONAL**

EIXO NORTE – TRECHO I

**R10 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS E
SEDIMENTOLÓGICOS**



Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco



FUNCATE - Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais

PROJETO BÁSICO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

EIXO NORTE – TRECHO I

R10 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS

Dezembro/2000

PROJETO TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL

Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica

Ministro de Estado da Integração Nacional: Fernando Luiz Gonçalves Bezerra

Secretário de Infra-Estrutura Hídrica: Rômulo de Macedo Vieira

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Diretor: Márcio Nogueira Barbosa

Vice Diretor: Volker W. J. H. Kirchhoff

FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologias Espaciais

Gerente: José Armando Varão Monteiro

Coordenador: Antônio Carlos de Almeida Vidon

ENGEORPS/HARZA

Coordenadores: Marcos Oliveira Godoi

Fábio Luís Ramos de Abreu

Murillo Dondici Ruiz

Brasília, dezembro de 2000.

ENGEORPS/HARZA.

Projeto Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional;
Relatório R10 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS – São Paulo:
ENGEORPS/HARZA, 2000.

146 p.

1. Transposição de Águas;
2. Eixo Norte – Trecho I – R10 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS -

CDU - 556.5

FUNCATE:

Av. Dr. João Guilhermino, 429, 11º Andar – Centro

São José dos Campos – SP

CEP: 12210-131

Telefone: (0XX 12) 341 1399

Fax: (0XX 12) 341 2829

Projeto				LAVG FP		Data		15/12/2000
Verificação				AEC ALF		Data		15/12/2000
Aprovação				MOG CMN		Data		15/12/2000
Aprovação				MDR		Data		15/12/2000
Rev.	Data	Folha	Descrição	Aprovação		FUNCATE		
						Data	Aprovação	
0/B	11/04/01		Pgs. 134 e 135	MOG				
0/C	08/05/01		Formatação	MOG				

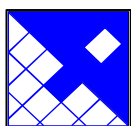
**PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS
DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O
NORDESTE SETENTRIONAL**

PROJETO BÁSICO

EIXO NORTE - TRECHO I

R10 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS

Dezembro / 2000



FUNCATE

**Fundação de Ciências
Aplicações e Tecnologias
Espaciais**

Verificação	Data
Aprovação	Data
Aprovação	Data
Código FUNCATE	Data
Substitui	Substituído
Número Empresa	Revisão
261-FUN-TSF-RT-B0016	0/C

**PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O
NORDESTE SETENTRIONAL
EIXO NORTE – TRECHO I
EQUIPE PRINCIPAL DO CONSÓRCIO ENGECORPS-HARZA**

- ***Coordenação Geral***
 - Marcos Oliveira Godoi
 - Murillo Dondici Ruiz
 - Fábio Luís Ramos de Abreu

- ***Hidráulica e Hidrologia***
 - Antônio Eurides Conte
 - Alberto Lang Filho
 - Luís Antônio Villaça de Garcia
 - Carlos Lloret Ramos
 - Flávio Tonelli Pimenta
 - Marcelo Ferreira Maximiano
 - Mauro Toscano

- ***Geologia e Geotecnia***
 - Claudio Michel Nahas
 - Fernão Paes de Barros
 - Ary Paulo Rodrigues
 - Andréa Cristina Parreira
 - Frederico Bohland Neto
 - Hiromit Nakao
 - Tays Ribeiro

- ***Levantamentos Topográficos Complementares***
 - Ivan Bustamante
 - Ualfrido Del Carlo Jr.

- ***Estruturas e Fundações***
 - Tetsuo Kawano
 - Flavio Rubin

- ***Eletromecânica***
 - Bernd Dieter Lukas
 - Coaraci Inajá Ribeiro
 - Angel Jimenez Murillo
 - José Sussumo Komatsu
 - Leonardo Cavalcanti Netto
 - José Orlando Paludetto Silva

- ***Planejamento e Orçamento***
 - José Armando Del Grecco Peixoto
 - Luis Edmundo França Ribeiro

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O presente documento se constitui no Relatório R10 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS, parte integrante do PROJETO BÁSICO DO EIXO NORTE – TRECHO I, referente ao PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL, elaborado pelo Consórcio ENGEORPS-HARZA, dentro do contrato com a FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais.

O Projeto Básico do Eixo Norte – Trecho I é apresentado nos seguintes relatórios:

- R1 - Descrição do Projeto.
- R2 - Critérios de Projeto.
- R3 - Sistema de Captação no Rio São Francisco.
- R4 - Estações de Bombeamento.
- R5 - Sistema Adutor – Canais, Aquedutos, Tomadas D'água para Usos Difusos, Túneis e Estruturas de Controle.
- R6 - Barragens e Vertedores.
- R7 - Sistema de Drenagem.
- R8 - Topografia e Cadastramento.
- R9 - Geologia e Geotecnia.
- R10 - Estudos Hidrológicos.
- R11 - Sistema de Supervisão, Controle e Telecomunicações.
- R12 - Modelo Hidrodinâmico e Esquema Operacional.
- R13 - Sistema Elétrico, Subestações Auxiliares e Sistema de Transmissão.
- R14 - Acessos, Vilas e Canteiros.
- R15 - Cronogramas, Orçamento e Planejamento.
- R16 - Caderno de Desenhos.
- R17 - Dossiê de Licitação.

ÍNDICE

PARTE A

1.	OBJETIVOS E CONDICIONANTES.....	4
2.	METODOLOGIA.....	5
2.1	ESTRUTURAS DE DRENAGEM.....	5
2.2	AQUEDUTOS E VERTEDORES DAS BARRAGENS.....	6
3.	ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE CHUVAS MÁXIMAS	7
3.1	SELEÇÃO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DE INTERESSE	7
3.2	DEFINIÇÃO DAS SÉRIES DE TOTAIS PRECIPITADOS.....	8
3.3	AJUSTES DAS DISTRIBUIÇÕES PROBABILÍSTICAS ÀS SÉRIES DE CHUVAS MÁXIMAS.....	9
3.4	PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PARA OS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS REPRESENTATIVOS.....	10
3.5	RELAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO E FREQUÊNCIA (IDF) PARA OS POSTOS REPRESENTATIVOS	12
4.	CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	12
4.1	ÁREA DE DRENAGEM DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	12
4.2	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS	13
4.3	CAPACIDADE DE RETENÇÃO DOS SOLOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS	14
5.	DEFINIÇÃO DAS CHUVAS DE PROJETO.....	17
5.1	DURAÇÃO DAS CHUVAS DE PROJETO.....	17
5.2	FATOR DE REDUÇÃO DE ÁREA.....	17
5.3	CHUVAS DE PROJETO.....	18
5.4	DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DAS CHUVAS DE PROJETO.....	18
6.	MODELAGEM DO PROCESSO CHUVA-VAZÃO.....	19
6.1	MÉTODO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO.....	19
6.2	MÉTODO RACIONAL	19
7.	SIMULAÇÕES E RESULTADOS.....	22
7.1	REAVALIAÇÃO DOS HIDROGRAMAS DE PROJETO DO AQUEDUTO MARI	24

PARTE B

1.	OBJETIVO	108
2.	DADOS BÁSICOS.....	108
3.	METODOLOGIA.....	110
3.1	DISPONIBILIDADE DE DADOS SEDIMENTOMÉTRICOS.....	110
3.2	DADOS DE LEVANTAMENTOS TOPOBATIMÉTRICOS DE RESERVATÓRIOS EXISTENTES	111
4.	PREVISÃO DE ASSOREAMENTO NOS RESERVATÓRIOS.....	112
4.1	SÍNTESE DOS DADOS BÁSICOS	112
4.2	AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DO SEDIMENTO DEPOSITADO.....	112
4.3	EFICIÊNCIA DE RETENÇÃO DE SEDIMENTOS.....	114
4.4	PREVISÃO DOS VOLUMES DE ASSOREAMENTO DOS RESERVATÓRIOS	115
4.5	DISTRIBUIÇÃO DO SEDIMENTO NO RESERVATÓRIO.....	115
5.	CONCLUSÕES.....	118
6.	RECOMENDAÇÕES	120

PARTE A – ESTUDOS HIDROLÓGICOS

1. OBJETIVOS E CONDICIONANTES

O objetivo principal deste estudo é determinar os hidrogramas e as vazões de projeto dos aquedutos, das estruturas de drenagem e dos extravasores das barragens que compõem o sistema de adução do Trecho I do Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco (PTSF).

As principais condicionantes deste estudo são:

- não há disponibilidade de séries de vazões médias diárias longas, representativas e confiáveis para o desenvolvimento de análise de frequência de vazões máximas para determinação dos hidrogramas de projeto;
- os hidrogramas de projeto serão determinados supondo que, no instante inicial, o NA no canal seja coincidente com a cota da crista da estrutura de extravasão. Assim, os hidrogramas deverão ser definidos de forma a resultarem em vazões de pico extremas que garantam a segurança da obra;
- os hidrogramas efluentes das estruturas de extravasão, obtidos através da propagação dos hidrogramas afluentes nos reservatórios, serão determinados no âmbito do projeto hidráulico. Da mesma forma, no projeto hidráulico serão determinados os NA máximos e as respectivas bordas-livre;
- os dados básicos para o projeto, incluindo a delimitação das bacias hidrográficas e a determinação das respectivas áreas de drenagem, os perfis longitudinais dos cursos d'água, as classificações hidrológicas do solo das bacias e as curvas cota x área x volume dos reservatórios foram obtidos a partir de cartas 1:25.000, 1:100.000 e do aerolevante na escala 1:2.000.

Os critérios adotados para a determinação das vazões e hidrogramas de projeto das estruturas são:

- dimensionamento dos aquedutos e dos extravasores das barragens, com vistas à formação dos reservatórios de regularização ou à travessia dos talwegues:
 - pequenas e médias barragens: dimensionamento para o hidrograma de projeto com período de retorno de 500 anos e verificação da borda livre para o hidrograma de projeto de 1.000 anos;
 - grandes barragens e aquedutos: dimensionamento para o hidrograma de projeto com período de retorno de 1.000 anos.

- obras de drenagem deverão ser dimensionadas para o hidrograma resultante de uma tormenta com período de retorno de 100 anos, em condições críticas de distribuição temporal e espacial da chuva.

A metodologia adotada para a determinação da vazão de projeto das obras de drenagem foi definida em função da área de drenagem da bacia hidrográfica. Em princípio, as vazões de projeto das obras de drenagem serão determinadas pelo método racional para bacias hidrográficas com áreas de drenagem inferiores a 3,5 km², ou que tenham tempo de concentração menor que uma hora. Para as demais bacias hidrográficas, a vazão de projeto corresponderá à vazão de pico do hidrograma resultante da utilização de métodos baseados na teoria do hidrograma unitário (por exemplo, do 'Soil Conservation Service'(SCS)), considerando as respectivas características fisiográficas particulares de cada local.

2. METODOLOGIA

Conforme estabelecido com a FUNCATE e apresentado no item anterior, serão utilizadas metodologias diferentes em função do tipo de estrutura hidráulica. Estas metodologias têm como parte comum os estudos de análise de frequência de chuvas máximas de 1 dia, a partir do qual serão determinadas, utilizando as relações entre chuvas de diferentes durações, as tormentas de projeto para diferentes durações e períodos de retorno que, usualmente, são denominadas de relações intensidade-duração e frequência (IDF). A metodologia específica a ser utilizada para as estruturas de drenagem e para os vertedores e aquedutos é descrita resumidamente a seguir:

2.1 ESTRUTURAS DE DRENAGEM

- seleção dos postos pluviométricos representativos das bacias hidrográficas delimitadas pelas estruturas hidráulicas de drenagem;
- determinação das características fisiográficas das bacias hidrográficas;
- definição da chuva de projeto, adotando uma frequência de 50 e 100 anos, uma duração superior ao tempo de concentração da bacia hidrográfica e uma distribuição temporal crítica;

- classificação hidrológica dos solos com base no critério do “Soil Conservation Service”¹;

Bacias Hidrográficas com Área de Drenagem superior a 3,5 km²

- determinação da chuva excedente através do método do ‘Soil Conservation Service Curve Number’¹;
- utilização do hidrograma sintético do “Soil Conservation Service”¹ para a transformação da chuva excedente em escoamento superficial;
- modelagem matemática e computacional de cada bacia hidrográfica de interesse, utilizando o modelo HEC-1²;
- simulação do processo chuva-vazão para períodos de retorno (TR) de 50 e 100 anos, conforme o critério mencionado anteriormente;
- determinação dos hidrogramas afluentes de projeto de cada estrutura hidráulica.

Bacias Hidrográficas com Área de Drenagem inferior a 3,5 km²

- determinação dos coeficientes de escoamento das bacias hidrográficas (C), em função da tormenta de projeto;
- utilização do método racional para obter as vazões máximas de projeto em função da área de drenagem e da tormenta de projeto, para períodos de retorno (TR) de 50 e 100 anos.

2.2 AQUEDUTOS E VERTEDORES DAS BARRAGENS

- seleção dos postos pluviométricos representativos das bacias hidrográficas delimitadas pelos aquedutos e barragens;
- determinação das características fisiográficas das bacias hidrográficas;
- definição da chuva de projeto, adotando uma frequência de 500 e 1000 anos e uma duração pouco superior ao tempo de concentração da bacia hidrográfica;

¹ “National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, Supplement ‘A’ – Hydrology Guide for use in watershed planning, Washington, D.C., 1975”

² HEC-1, Flood Hydrograph Package, Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, September, 1990;

- classificação hidrológica dos solos com base no critério do “Soil Conservation Service”³;
- determinação da chuva excedente através do método do “Soil Conservation Service Curve Number”¹;
- utilização do hidrograma sintético do “Soil Conservation Service”¹ para a transformação da chuva excedente em escoamento superficial;
- modelagem matemática e computacional de cada bacia hidrográfica de interesse, utilizando o modelo HEC-1⁴;
- simulação do processo chuva-vazão para tormentas com períodos de retorno (TR) de 500 e 1.000 anos e distribuição temporal crítica;
- determinação dos hidrogramas afluentes de projeto dos aquedutos e barragens.

3. ANÁLISE DE FREQUÊNCIA DE CHUVAS MÁXIMAS

3.1 SELEÇÃO DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DE INTERESSE

O Desenho 261-FUN-TSF-A1-B0360 a B0363 – Eixo Norte – Trecho I – Estudo da Bacia Hidrográfica (Folhas 1 a 4) apresenta as bacias hidrográficas dos cursos d’água de interesse na estrutura hidráulica que compõe o sistema de adução do Trecho I. A análise deste desenho permitiu uma primeira seleção dos postos pluviométricos que se localizam nas bacias hidrográficas interceptadas pelo sistema de adução do Trecho I, ou nas suas imediações. A Tabela 1 apresenta os postos pluviométricos de interesse, identificados pelo nome e o número da ANEEL, e o respectivo período com disponibilidade de dados diários de precipitação.

Uma vez que o objetivo do estudo é a determinação de hidrogramas nas bacias hidrográficas que interceptam o sistema de adução, utilizando períodos de retorno entre 50 e 1.000 anos, foram considerados os seguintes critérios na seleção preliminar dos postos pluviométricos:

³ “National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, Supplement ‘A’ – Hydrology Guide for use in watershed planning, Washington, D.C., 1975”

⁴ HEC-1, Flood Hydrograph Package, Hydrologic Engineering Center, US Army Corps of Engineers, September, 1990;

- séries extensas de totais precipitados diários que tivessem um período de observação de, no mínimo, 25 anos;
- proximidade com o sistema de adução, permitindo reproduzir de forma mais segura o regime de chuvas intensas na bacia hidrográfica.

Os postos pluviométricos resultantes destes critérios estão realçados na Tabela 1 e são apresentados no Desenho 261-FUN-TSF-A1-B0360 a B0363 – Eixo Norte – Trecho I – Estudo da Bacia Hidrográfica (Folhas 1 a 4). As séries de totais precipitados destes postos pluviométricos foram utilizadas nas análises de frequência de chuvas máximas.

3.2 DEFINIÇÃO DAS SÉRIES DE TOTAIS PRECIPITADOS

Os arquivos computacionais contendo as séries de totais precipitados diários fornecidas pelos Estudos de Inserção Regional foram analisados, descartando-se os anos hidrológicos com falhas. Foi desenvolvido um programa computacional em Visual Basic V 6.0 que permite fazer a leitura da série de totais precipitados diários de cada posto pluviométrico e determinar os totais precipitados máximos de cada ano hidrológico, definindo uma série de chuvas máximas com duração de 1 dia.

O Anexo I – Séries de Chuvas Máximas Anuais apresenta, para cada posto pluviométrico, as séries de totais precipitados máximos de 1 dia. Para os postos pluviométricos Terra Nova, Serrita e Salgueiro são apresentados, também, os totais precipitados máximos de 2 e 3 dias consecutivos, cujo objetivo será justificado a posteriori. Para cada série foram determinados os principais parâmetros estatísticos que caracterizam a distribuição de frequência dos totais precipitados máximos, incluindo o número de elementos, a média, o mínimo, o máximo, o desvio-padrão, a curtose e o coeficiente de assimetria.

As séries de totais precipitados máximos foram verificadas quanto à presença de eventos extremos ou “outliers” através do teste sugerido por Grubbs e Beck⁵. Este teste permitiu constatar a presença de “outliers” nas séries de chuvas máximas de 1 dia dos postos Salgueiro (3861178) e Verdejante (3852805), ocorridos em 1957 e 1966 que indicavam, respectivamente, totais precipitados de

⁵ Grubbs, F. and G. Beck (1972). Extension of sample size and percentage points for significance tests of outlying observations. *Technometrics*, 14(4)

240 e 200,8 mm. Desta forma, gerou-se uma nova série de chuvas máximas retirando-se estes eventos extremos. O Anexo I – Séries de Chuvas Máximas Anuais apresenta, para estes postos pluviométricos, as séries de totais precipitados máximos de 1 dia sem a presença dos “outliers”.

3.3 AJUSTES DAS DISTRIBUIÇÕES PROBABILÍSTICAS ÀS SÉRIES DE CHUVAS MÁXIMAS

A análise dos parâmetros estatísticos das séries de chuvas máximas permitiu antever que as distribuições probabilísticas Gama, Log-Pearson Tipo III e Gama Generalizada seriam as que melhor se ajustariam aos dados. Isto se deve, principalmente, à grande flexibilidade destas distribuições que permite bons ajustes às séries de chuvas máximas dentro de uma faixa ampla de valores de curtose e assimetria.

Para algumas séries de precipitações máximas anuais foram ajustadas outras distribuições probabilísticas, como a distribuição Gumbel (Extremos Tipo I) para as séries de chuvas máximas de 1 dia do posto Serrita e a distribuição Normal para os postos Macambira, Salgueiro (“sem outlier”) e Verdejante (“sem outlier”). No entanto, optou-se por limitar as distribuições probabilísticas a serem ajustadas para as diferentes séries, com o objetivo de manter a uniformidade metodológica. Ressalta-se, no entanto, que as mencionadas distribuições – Gumbel e Normal são casos particulares das distribuições probabilísticas Log-Pearson Tipo III e Gama Generalizada.

As distribuições probabilísticas Gama, Pearson Tipo III, Log-Pearson Tipo III e Gama Generalizada foram ajustadas às séries de chuvas máximas anuais, utilizando-se o método da máxima verossimilhança (“maximum likelihood”).

As probabilidades associadas a cada elemento das séries de precipitações máximas, usualmente denominadas de posições de plotagem, foram definidas conforme recomendado por Cunnane⁶.

As Figuras 1 a 9 apresentam, graficamente, os totais precipitados máximos anuais de 1 dia, plotados segundo Cunnane⁴, e as distribuições probabilísticas ajustadas. As Figuras 10 a 15 apresentam os totais precipitados máximos anuais de 2 e 3 dias consecutivos dos postos Terra Nova (3861425), Serrita (3851839) e

⁶ Cunnane, C 1978, Unbiased plotting positions – a review. Journal of Hydrology 37;

Salgueiro (3861178) e as distribuições probabilísticas ajustadas, utilizando os mesmos critérios e metodologias. Verifica-se que, de maneira geral, as distribuições probabilísticas apresentaram um bom ajuste às séries de totais precipitados máximos anuais.

Os postos pluviométricos representativos de áreas ao longo do traçado do Trecho I foram, então, escolhidos com base em três critérios adicionais, a saber:

extensão das séries de totais precipitados máximos anuais;

melhor aderência da distribuição às séries de totais precipitados máximos anuais, avaliada com base nos testes estatísticos do Chi-Quadrado e do Kolmogorov-Smirnov;

forma da distribuição probabilística condizente com o fenômeno físico, ou seja, com tendência assintótica.

Por exemplo, as distribuições probabilísticas ajustadas às precipitações diárias máximas anuais dos postos Verdejante (com o “butlier”) e Serrita, apresentadas nas Figuras 6 e 8, apartam-se da realidade e, portanto, foram desconsideradas.

A aplicação destes critérios resultou na escolha dos postos pluviométricos representativos de cada bacia hidrográfica, delimitada na seção de interceptação do Trecho I. Os postos pluviométricos selecionados e as respectivas bacias hidrográficas são apresentados na Tabela 2.

3.4 PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PARA OS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS REPRESENTATIVOS

Para cada posto pluviométrico representativo das bacias hidrográficas, verificou-se a distribuição probabilística que resultasse em uma melhor aderência às séries de totais precipitados máximos anuais. Esta verificação foi feita utilizando os critérios estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Chi-Quadrado. No caso das distribuições probabilísticas propiciarem ajustes às séries de totais precipitados máximos anuais semelhantes, optou-se pela distribuição que resultasse em maiores chuvas de projeto.

Para quase todos os casos houve distribuições probabilísticas e métodos de ajuste equivalentes em termos de aderência. Assim, escolheu-se a distribuição

que resultasse nos maiores valores de precipitações máximas, desde que factíveis e coerentes com o fenômeno físico.

Por exemplo, verifica-se nas Figuras 1, 2, 3, 5, 7, 10 e 11 que as distribuições probabilísticas Gama, Gama Generalizada, Pearson Tipo III e Log-Pearson Tipo III ajustam-se de forma semelhantes às séries de totais precipitados máximos anuais. No entanto, para os postos pluviométricos Cabrobó, Macambira, Terra Nova (1, 2 e 3 dias), Salgueiro (“sem outlier”), Verdejante (“sem outlier”) a utilização da distribuição Gama resulta em chuvas de projeto ligeiramente superiores, justificando sua escolha.

As exceções foram os postos Serrita e Jati, onde foram escolhidas as distribuições probabilísticas Log-Pearson III, uma vez que a distribuição Gama ajustada às séries de totais precipitados máximos de 1 dia não apresentou bom ajuste em relação aos maiores valores da série.

A Tabela 3 apresenta as precipitações máximas nos postos pluviométricos representativos, para diferentes períodos de retorno. A Figura 16 apresenta as distribuições probabilísticas escolhidas para os postos pluviométricos representativos da região de projeto. Verificam-se, de forma geral, que os postos pluviométricos localizados em cotas mais baixas, ao Sul da área de projeto, apresentam totais precipitados máximos inferiores àqueles posicionados mais ao Norte, próximos à Chapada do Araripe.

Para obter-se as precipitações máximas para durações inferiores a 1 dia, foi utilizado o trabalho desenvolvido pelo engenheiro Taborga em 1974 que, com base nas análises da publicação de Pfafstetter⁷, determinou diversas relações como:

- de 1,095 entre as precipitações intensas de 24 horas e 1 dia;
- de $0,45 \cdot TR^{-0,014}$ entre as precipitações intensas de 1 hora e 24 horas.

⁷ Pfafstetter, O, 1982, Chuvas Intensas no Brasil, 2ª edição, Rio de Janeiro, DNOS

Estas relações foram aplicadas para as precipitações diárias máximas com período de retorno de 50, 100, 500 e 1.000 anos, resultando nas precipitações máximas entre 1 e 24 horas apresentadas na Tabela 4 para os postos pluviométricos representativos.

No caso dos postos Terra Nova, Salgueiro e Serrita obtiveram-se os totais precipitados máximos de 48 horas. Alguns estudos desenvolvidos para diferentes regiões do Brasil sugerem que para tormentas de uma probabilidade de ocorrência qualquer, a média aritmética das chuvas de 2 e de 3 dias pode ser considerada uma boa estimativa da chuva de 48 horas. Utilizando-se esta relação, os totais precipitados máximos dos postos Terra Nova, Salgueiro e Serrita para a duração de 48 horas.

3.5 RELAÇÃO INTENSIDADE-DURAÇÃO E FREQUÊNCIA (IDF) PARA OS POSTOS REPRESENTATIVOS

As precipitações máximas apresentadas na Tabela 4 para períodos de retorno de 50, 100, 500 e 1.000 anos e durações entre 1 e 48 horas permitiram definir as relações intensidade-duração-frequência dos postos pluviométricos representativos da área de drenagem das bacias hidrográficas de interesse.

As Figuras 17 a 23 apresentam as relações que permitem obter as precipitações máximas para diferentes durações e períodos de retorno.

4. CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

4.1 ÁREA DE DRENAGEM DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

O Desenho 261-FUN-TSF-A1-B0360 a B0363 – Eixo Norte – Trecho I – Estudo da Bacia Hidrográfica (Folhas 1 a 4) apresenta as bacias hidrográficas que são interceptadas pelo sistema de adução do Trecho I, bem como os nomes atribuídos às estruturas hidráulicas – barragens ou aquedutos. Para cada bacia hidrográfica foi identificado o tipo de estrutura e forneceu a área de drenagem. A Tabela 5 apresenta para cada bacia hidrográfica, o tipo da estrutura – A (aqueduto), B (barragem/vertedouro) e D (estrutura de drenagem) e a respectiva

área de drenagem. As áreas de drenagem das bacias hidrográficas em estudo variam entre 2,3 e 3.263 km².

As bacias hidrográficas cujas áreas de drenagem superam 150 km², correspondentes aos aquedutos Mari, Terra Nova e Salgueiro, foram divididas em sub-bacias, com o objetivo de desenvolver uma modelagem representativa e suficientemente precisa do processo chuva-vazão. As sub-bacias foram definidas de forma a representar as mudanças significativas dos solos e o processo de amortecimento e translação dos hidrogramas nos trechos dos cursos d'água naturais. Nesta divisão, procurou-se evitar áreas de drenagem muito extensas, que não seriam representadas satisfatoriamente pelo modelo chuva-vazão. O Desenho 261-FUN-TSF-A1-B0360 a B0363 – Eixo Norte – Trecho I – Estudo da Bacia Hidrográfica (Folhas 1 a 4) apresenta as sub-bacias consideradas na modelagem das bacias hidrográficas dos aquedutos Mari, Terra Nova e Salgueiro.

A Tabela 6 apresenta as características fisiográficas das sub-bacias consideradas na modelagem chuva-vazão dos aquedutos Mari, Terra Nova e Salgueiro. Ressalta-se que a bacia do aqueduto Mari, localizado na parte média/baixa do riacho Terra Nova, é composta das sub-bacias dos aquedutos Terra Nova e Salgueiro, dos reservatórios Milagres, Negreiros, Mangueira, Serra do Livramento e Terra Nova e dos açudes existentes Boa Vista, Monte Alegre, Argemiro e Abóboras. Todos os reservatórios mencionados foram considerados na modelagem do processo chuva-vazão tendo-se adotado as seguintes hipóteses básicas:

- no início das tormentas de projeto os reservatórios encontram-se no N. A. máximo normal;
- a vazão aduzida pela tomada d'água durante a tormenta é nula.

4.2 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DAS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS

Para cada bacia hidrográfica foi levantado o perfil longitudinal determinado com base nas plantas cartográficas na Escala 1:100.000, com curvas de nível com equidistância de 50 m.

Para cada subtrecho, delimitado por uma cota a montante e outra a jusante, foi aplicada a fórmula de Kirpich⁸, que permite obter o respectivo tempo de concentração para bacias hidrográficas em regiões rurais. Os tempos de concentração de cada subtrecho foram somados, obtendo-se o tempo de concentração do trecho.

As Tabelas 5 e 6 apresentam, para cada bacia hidrográfica, o comprimento do rio principal, as cotas extremas de montante e jusante, a declividade média e o tempo de concentração. Além disso, apresenta-se a velocidade média de escoamento e o tempo de retardamento (“time lag”). A análise das Tabelas 5 e 6 permite verificar que as velocidades médias de escoamento nos cursos d’água correspondentes aos aquedutos e barragens ficaram abaixo de 1,00 m/s, valores coerentes para as condições locais em situações de enchentes.

Os tempos de concentração das bacias hidrográficas resultaram entre ½ e 45 horas, que indica a necessidade de dispor de chuvas intensas com durações entre 1 e 48 horas. Desta forma, para o caso específico da bacia hidrográfica do riacho Terra Nova no aqueduto Mari, cujo tempo de concentração resultou em 45 h, o hidrograma de projeto foi determinado para uma tormenta com duração de 48 horas. Uma vez que os postos Terra Nova, Salgueiro e Serrita foram escolhidos como representativos das sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica do riacho Terra Nova no aqueduto Mari, foi necessário obter a altura pluviométrica de projeto para a duração de 48 horas, conforme comentado anteriormente.

4.3 CAPACIDADE DE RETENÇÃO DOS SOLOS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Durante as tormentas, a infiltração representa o fenômeno físico principal, destacando-se em relação aos demais – interceptação, armazenamento, evaporação e evapotranspiração - quanto à retenção do volume precipitado no processo de formação do escoamento superficial.

Desta forma, a capacidade de retenção dos solos das bacias hidrográficas foi avaliada através da metodologia sugerida pelo Soil Conservation Service(SCS)¹. Esta metodologia resume-se em avaliar o Número da Curva – CN (Curve

⁸ Kirpich, Z.P., “Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds”, Civ. Eng., ASCE, vol. 10, 1940

Number) a partir do uso e da ocupação do solo da bacia, da cobertura vegetal e do tipo de solo.

Considerou-se que as bacias hidrográficas caracterizam-se por uma vegetação do tipo caatinga arbórea ou herbáceo-arbustiva.

A classificação hidrológica dos solos utilizada considerou 5 grupos – A, B, C, D e E – em função, principalmente, da sua capacidade de infiltração.

Assim, quanto ao tipo de solo, procedeu-se a análise e a avaliação das características geológicas e seus horizontes de intemperismo e coberturas superimpostas para cada bacia hidrográfica interceptada pelo sistema de adução do Trecho I. As porcentagens dos grupos de solos foram definidas em função da litologia correspondente e do conhecimento geológico da área, adquiridos nos levantamentos de campo.

Sabe-se, por exemplo, que filitos e xistos produzem solos pouco permeáveis, com expressivo teor de argila, ao passo que arenitos e gnaisses caracterizam-se por coberturas onde predominam areais e siltes. Por sua vez, granitos apresentam com freqüência blocos de rocha na superfície e afloramentos. Já os sedimentos aluvionais caracterizam-se, basicamente, por depósitos mais espessos de areia.

As Tabelas 5 e 6 apresentam, para cada bacia, a porcentagem dos grupos de solo. Verifica-se que as bacias são relativamente homogêneas quanto aos solos, havendo uma nítida preponderância de solos do tipo C.

Outro aspecto que deve ser considerado na avaliação do Número da Curva (CN) é a condição de umidade antecedente do solo. No presente estudo considerou-se, primeiramente, a condição II – situação média na época das chuvas.

Para cada grupo de solo, em função da citada cobertura vegetal e da condição antecedente de umidade II, foram avaliados os Números de Curva (CN). O número de curva da sub-bacia foi obtido pela soma dos produtos entre as porcentagens da área da bacia em cada grupo de solo pelo respectivo CN, ou seja, uma média ponderada em relação à área. Esta média considerou ainda, para o caso dos reservatórios, a área superficial obtida a partir das curvas cota x área, cujo número de curva CN é igual a 100, ou seja, não há infiltração. As

Tabelas 5 e 6 apresentam na coluna “Condição II” os valores do número da curva CN para cada bacia hidrográfica.

Considerou-se, também, uma alternativa quanto à condição antecedente de umidade. A condição III representa a condição antecedente de umidade mais crítica, que considera o solo úmido, próximo à saturação, com chuvas antecedentes nos últimos 5 dias superiores a 40 mm e condições meteorológicas desfavoráveis às altas taxas de evaporação. As Tabelas 5 e 6 apresentam na coluna Condição III os valores do número da curva CN para cada bacia hidrográfica.

Sabe-se que a probabilidade de ocorrer concomitantemente esta condição de umidade crítica e uma tormenta com períodos de retorno iguais ou superiores a 50 anos é ínfima na região do semi-árido nordestino, se é que factível. Os fenômenos meteorológicos que dão origem às grandes tormentas na região do semi-árido nordestino não são precedidos de condições antecedentes tão desfavoráveis que, por exemplo, impeçam as características altas taxas de evaporação.

Com base nestas considerações, a modelagem chuva-vazão utilizou como alternativa uma condição antecedente de umidade intermediária entre as condições II e III indicadas pelo SCS, denominada doravante de condição II-III.

5. DEFINIÇÃO DAS CHUVAS DE PROJETO

5.1 DURAÇÃO DAS CHUVAS DE PROJETO

De acordo com os critérios estabelecidos, as chuvas de projeto para a determinação das vazões e hidrogramas de projeto das estruturas de drenagem têm períodos de retorno de 50 e 100 anos, enquanto para os aquedutos e vertedores das barragens as frequências são de 500 e 1.000 anos. A duração da chuva foi escolhida de forma a garantir que toda a bacia hidrográfica estivesse contribuindo para a formação do hidrograma, resultando em volumes críticos. Assim, para a duração da chuva de projeto foi adotado um valor superior ao tempo de concentração da bacia.

As Tabelas 7 e 8 apresentam, para cada bacia hidrográfica delimitada pelo sistema de adução do trecho I, os respectivos tempos de concentração e as durações das chuvas adotadas, utilizando o critério mencionado.

5.2 FATOR DE REDUÇÃO DE ÁREA

O fator de redução de área, que permite avaliar a chuva média na sub-bacia em relação à chuva no posto, foi obtido da publicação do US Weather Bureau Technical Paper 409, com base na área de drenagem da bacia hidrográfica e na duração da chuva. Os fatores de redução de área ficaram entre 0,92 e 1,00.

Ressalta-se que estes fatores de redução de área são, seguramente, altos para a região semi-árida nordestina. As condições meteorológicas da região provocam no período chuvoso tormentas de grande intensidade, porém com extensão limitada. No entanto, uma vez que não existem estudos específicos para a área de interesse, foram mantidos os valores apresentados nas Tabelas 7 e 8, com a ressalva que se tratam de fatores conservadores para as bacias em estudo.

⁹ U.S. Weather Bureau, "Rainfall Frequency Atlas of the United States for Durations from 30 Minutes to 24 Hours and Return Periods from 1 to 100 Years", Technical Paper 40, 1963.

5.3 CHUVAS DE PROJETO

A partir dos resultados das análises de frequência de chuvas máximas, da duração e do fator de redução de área, são apresentadas nas Tabelas 7 e 8 as chuvas de projeto para cada bacia hidrográfica, que corresponde a uma estrutura hidráulica – drenagem, aqueduto ou vertedor de barragem - para períodos de retorno de 50, 100, 500 e 1.000 anos. As chuvas de projeto serão aplicadas de forma uniforme na bacia hidrográfica.

5.4 DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DAS CHUVAS DE PROJETO

Outro aspecto fundamental na definição dos hidrogramas de projeto é a distribuição temporal das chuvas, ou seja, o hietograma das chuvas de projeto. O hietograma da chuva afeta significativamente a forma e a vazão de pico do hidrograma resultante. Assim, esta escolha deve ser feita com base na análise dos dados referentes às distribuições temporais das chuvas na área ou adotando-se distribuições que caracterizam uma situação crítica de projeto. Uma vez que não há postos pluviográficos na área, foram utilizadas as distribuições temporais sugeridas por Huff¹⁰. As duas distribuições temporais de chuvas que são normalmente investigadas são as tormentas de primeiro e segundo quartis. A distribuição do primeiro quartil apresenta a chuva concentrada nos primeiros minutos da tormenta.

Seguindo-se as recomendações usuais de projeto, utilizou-se a distribuição temporal do primeiro quartil, com probabilidade de ocorrência de 50 %. A Figura 24 apresenta esta distribuição temporal, com o tempo em percentual da duração e a precipitação em percentual do total precipitado.

¹⁰ Huff, F. A . "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms", Water Resources Research, 1977

6. MODELAGEM DO PROCESSO CHUVA-VAZÃO

6.1 MÉTODO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO

Para as bacias hidrográficas dos aquedutos e barragens, o processo de transformação da chuva em escoamento superficial foi feito através do modelo computacional HEC-12, utilizando o hidrograma unitário sintético sugerido pelo SCS. A precipitação excedente foi calculada através do método do número da curva do SCS, utilizando valores de CN para condições antecedentes intermediárias entre os tipos II-III.

O passo de simulação utilizado variou entre 1 e 10 minutos, dependendo da área de drenagem das bacias hidrográficas. As chuvas de projeto utilizadas são apresentadas nas Tabelas 7 e 8, correspondentes aos períodos de retorno de 500 e 1.000 anos, enquanto a distribuição temporal adotada consta da Figura 24.

6.2 MÉTODO RACIONAL

Para as bacias hidrográficas cuja área de drenagem é inferior ou igual a 3,5 km², o processo de transformação da chuva em escoamento superficial foi feito através do método racional, que se resume na utilização da seguinte expressão matemática:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

onde:

Q ... é a vazão de pico em m³/s;

C ... é o coeficiente de escoamento superficial, um fator adimensional;

i ... é a intensidade da precipitação de projeto em mm/h;

A ... é a área de drenagem da bacia hidrográfica em km².

Uma vez que a bacia hidrográfica é pequena, adotou-se a duração de 1 hora para a chuva de projeto. O coeficiente de escoamento superficial da bacia é função, basicamente, do tipo do solo, ocupação, umidade antecedente e intensidade da chuva. Assim, adotar um valor constante para o coeficiente C não é aceitável e, embora existam tabelas indicativas, não deixaria de ser uma escolha subjetiva.

Desta forma, optou-se por adotar algumas hipóteses que permitiriam fazer simulações do processo chuva-vazão, utilizando o modelo HEC1. As hipóteses apresentadas a seguir, embora conservadoras, permitem obter de uma forma mais criteriosa os coeficientes de escoamento:

- velocidade média de escoamento de 2,0 m/s;
- comprimento do talvegue principal igual ao diâmetro do círculo cuja área é igual à área de drenagem da bacia hidrográfica.

A Tabela 9 apresenta, para cada subtrecho do Trecho I, os parâmetros principais de projeto, incluindo:

- posto pluviométrico representativo do subtrecho;
- as chuvas de projeto para períodos de retorno de 50 e 100 anos e duração de 1 hora;
- classificação da permeabilidade do solo dos subtrechos;
- número da curva dos subtrechos.

A análise destes dados permitiu identificar 5 regiões com características similares quanto aos parâmetros básicos do processo chuva-vazão, ou seja:

- as características do solo em relação à permeabilidade;
- os totais precipitados máximos.

A Tabela 9 apresenta, em sua parte inferior, as precipitações de projeto e o número da curva CN para cada uma das regiões identificadas.

A partir destes dados e das mencionadas hipóteses foram determinados os tempos de concentração e retardamento. Adotando-se uma chuva de 1 hora de duração e utilizando-se números de curva entre 50 e 80, foram feitas diversas simulações com o modelo HEC-1 para as diversas bacias hidrográficas com área de drenagem de até 3,5 km².

As vazões de pico dos hidrogramas obtidos pela simulação do modelo HEC-1 foram correlacionadas com a precipitação de projeto e com a área de drenagem através de regressão múltipla, tendo-se obtido um coeficiente de determinação R² de 0,99, resultando na seguinte expressão:

$$Q = a \cdot P^b \cdot A^c \quad (\text{Equação 1})$$

onde:

Q ... é a vazão de pico para dimensionamento da estrutura;

P é a precipitação de projeto com duração de 1 hora em mm;

A ... é a área de drenagem, não superior a 3,5 km²;

a, b e c são coeficientes específicos de cada região, apresentados na Tabela 10.

Utilizando-se as chuvas de projeto de cada região, obtém-se uma fórmula que permite obter a vazão de pico em função da área de drenagem da bacia hidrográfica, conforme apresentado a seguir:

$$Q = K_{50 \text{ ou } 100 \text{ anos}} \cdot A^c \quad (\text{Equação 2})$$

onde:

K₅₀ é o coeficiente para determinar a vazão de pico para um período de retorno de 50 anos;

K₁₀₀ é o coeficiente para determinar a vazão de pico para um período de retorno de 100 anos.

Os coeficientes K_{50} e K_{100} para cada região podem ser obtidos na Tabela 10.

As Figuras 25 e 26 e a Tabela 11 apresentam as vazões de projeto com períodos de retorno de 50 e 100 anos em função da área de drenagem das bacias hidrográficas.

A análise da Tabela 11 e das Figuras 25 e 26 mostra que as vazões de projeto aumentam significativamente no sentido da Tomada d'Água para o reservatório de Jati, ou seja, da várzea do rio São Francisco para a Chapada do Araripe. Este aumento deve-se, principalmente, o aumento das precipitações com a altitude e a diminuição da capacidade de infiltração do solo, que se torna mais impermeável no sentido Norte.

7. SIMULAÇÕES E RESULTADOS

As Tabelas 12 e 13 apresentam, para cada bacia hidrográfica, um resumo dos parâmetros utilizados na modelagem do processo chuva-vazão, incluindo a área de drenagem, o número da curva (CN) para a condição antecedente II-III, o tempo de retardamento ("time lag"), a duração da chuva e as precipitações para períodos de retorno de 50, 100, 500 e 1.000 anos.

Para as bacias hidrográficas associadas às estruturas de drenagem e com área de drenagem inferior a $3,5 \text{ km}^2$, deverão ser utilizadas as equações 1 ou 2, cujos coeficientes são apresentados na Tabela 10. Para as bacias hidrográficas com áreas de drenagem superiores a $3,5 \text{ km}^2$, as vazões de projeto foram obtidas através do modelo HEC¹, utilizando-se o hidrograma unitário sintético sugerido pelo SCS e precipitações com períodos de retorno de 50 e 100 anos. Para os aquedutos e barragens, os hidrogramas de projeto foram obtidos através da mencionada metodologia, utilizando-se tormentas com períodos de retorno de 500 e 1.000 anos.

A Tabela 14 apresenta, para cada bacia hidrográfica, os principais parâmetros de projeto e as respectivas vazões de projeto obtidas. As Figuras 27 a 38 apresentam os hidrogramas de projeto dos aquedutos e extravasores das barragens do trecho I. As Figuras 39 a 45 apresentam os hidrogramas das estruturas de drenagem cuja bacia hidrográfica apresenta uma área de drenagem superior a $3,5 \text{ km}^2$.

Os hidrogramas obtidos para as bacias hidrográficas do riacho Salgueiro no aqueduto homônimo e do riacho Terra Nova no aqueduto Mari apresentam vazões de pico de grande magnitude, mesmo considerando que são eventos com períodos de retorno de 1.000 anos e áreas de drenagem de 733,50 e 3.349,70 km², respectivamente.

No caso da bacia hidrográfica no aqueduto Salgueiro, verifica-se na Tabela 8 que os tempos de concentração das sub-bacias Mandim e Pitombeira, de 12,41 e 13,11 h, são muito semelhantes. Esta característica resulta em tempos para o pico muito semelhantes, que provocam a soma das vazões máximas dos hidrogramas na confluência das sub-bacias, resultando em picos de grande magnitude com valores muito próximos aos obtidos no aqueduto Salgueiro. Estes hidrogramas são apresentados na Figura 46.

Da mesma forma, na bacia hidrográfica do aqueduto Mari, observa-se na Tabela 8 que os tempos de concentração das sub-bacias Traíras e Acauã, de 14,15 e 14,45 h, são muito semelhantes resultando em uma vazão de pico acima de 2.000 m³/s para uma área de drenagem de 810,5 km², como se pode verificar na Figura 47. Para as sub-bacias a jusante ocorrem situações semelhantes, embora exista uma pequena defasagem dos picos dos hidrogramas, como se pode observar nas Figuras 48 e 49. Verifica-se que esta sobreposição completa ou parcial dos picos dos hidrogramas resulta, na confluência dos riachos Terra Nova e Salgueiro, em uma vazão de pico de 5.317 m³/s, apenas 8 % abaixo da vazão de pico no aqueduto Mari.

As simulações efetuadas tiveram a preocupação em dividir as bacias hidrográficas do riacho Salgueiro no aqueduto homônimo e do riacho Terra Nova no aqueduto Mari em sub-bacias de pequeno porte para garantir a adequada representação do processo chuva-vazão. No entanto, algumas hipóteses utilizadas que contribuem para maximizar os picos dos hidrogramas podem não ser adequadas para representar matematicamente o fenômeno de tormentas em bacias hidrográficas com grande área de drenagem, dentre as quais destaca-se:

- distribuição temporal uniforme da tormenta na área de projeto;
- distribuição espacial que atinge de forma uniforme a área de projeto;

- concomitância de eventos extremos nas sub-bacias.

Para uma análise mais aprofundada dos fenômenos que formam o processo chuva-vazão em bacias da magnitude do riacho Salgueiro e Terra Nova, que permitiriam rever algumas das hipóteses adotadas, dever-se-ia dispor de dados de postos pluviográficos distribuídos nas sub-bacias e/ou de limnígrafos ou postos fluviométricos. No entanto, como ressaltado inicialmente, não há disponibilidade destes dados nesta bacia.

7.1 REAVALIAÇÃO DOS HIDROGRAMAS DE PROJETO DO AQUEDUTO MARI

Visando obter hidrogramas de projeto mais realistas para o aqueduto Mari, optou-se por manter a metodologia de modelagem do processo chuva-vazão recomendada pela FUNCATE e reavaliar as chuvas de projeto na bacia do riacho Terra Nova considerando as características das tormentas locais.

Primeiramente, foram analisados os totais precipitados nos postos pluviométricos Serrita, Salgueiro e Terra Nova, distribuídos na área da bacia do riacho Terra Nova no aqueduto Mari. Estes postos pluviométricos apresentam um extenso período comum de observações, que se inicia em 1934 e termina em 1989, resultando em 56 anos. A análise das maiores tormentas de cada ano hidrológico permitiu concluir que não houve ocorrências de chuvas de grande intensidade atingindo, concomitantemente, a totalidade da bacia do riacho Terra Nova no local previsto para o aqueduto Mari. Esta conclusão foi obtida observando-se, por exemplo, que quando ocorrem tormentas de alta intensidade no posto Salgueiro, as chuvas no mesmo período nos postos Serrita e Terra Nova são de intensidade menor. Outra evidência que permite esta conclusão é verificar que não há coincidência nas datas das maiores tormentas anuais dos mencionados postos pluviométricos.

Desta forma, julgou-se conveniente definir séries de totais precipitados máximos anuais considerando, concomitantemente, os totais precipitados de 1, 2 e 3 dias dos postos pluviométricos Serrita, Salgueiro e Terra Nova. Utilizando-se o método de Thiessen, obteve-se as séries de totais precipitados médios na bacia hidrográfica do riacho Terra Nova no aqueduto Mari para as durações de 1, 2 e 3 dias. Com base nestas séries, determinou-se os totais precipitados máximos anuais na bacia para as diferentes durações, apresentadas no Anexo II – Totais

Precipitados Máximos na Bacia do Riacho Terra Nova no Aqueduto Mari. Para estas séries foram determinados os principais parâmetros estatísticos que caracterizam a distribuição de frequência dos totais precipitados máximos, incluindo o número de elementos, a média, o mínimo, o máximo, o desvio-padrão, a curtose e o coeficiente de assimetria.

Utilizando-se a metodologia apresentada neste relatório, foram ajustadas as distribuições probabilísticas Gama, Log-Pearson Tipo III e Gama Generalizada às séries de precipitações máximas de 1, 2 e 3 dias, através do método da máxima verossimilhança (“maximum likelihood”). As probabilidades associadas a cada elemento das séries de precipitações máximas, usualmente denominadas de posições de plotagem, foram definidas conforme recomendado por Cunnane¹¹.

As Figuras 50 e 51 apresentam, graficamente, os totais precipitados máximos anuais de 2 e 3 dias, plotados segundo Cunnane⁴, e as distribuições probabilísticas ajustadas. Verifica-se que, de maneira geral, as distribuições probabilísticas apresentaram um bom ajuste às séries de totais precipitados máximos anuais. Utilizando-se os testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Chi-Quadrado, verificou-se que a distribuição probabilística Pearson Tipo III apresenta a melhor aderência às séries de totais precipitados máximos anuais.

A Tabela 15 apresenta as precipitações máximas nos postos pluviométricos representativos para durações de 2 e 3 dias e diferentes períodos de retorno. As precipitações máximas de 48 horas foram obtidas pela média aritmética das chuvas de 2 e de 3 dias. As chuvas de projeto do aqueduto Mari resultaram em 168,1 e 176,6 mm para períodos de retorno de 500 e 1000 anos, respectivamente. Comparando-se, para o mesmo período de retorno, estas precipitações máximas de 48 horas com as respectivas precipitações máximas dos postos pluviométricos Terra Nova, Salgueiro e Serrita que constam da Tabela 4, percebe-se a expressiva redução de magnitude resultante desta metodologia.

¹¹ Cunnane, C 1978, Unbiased plotting positions – a review. Journal of Hydrology 37;

Utilizando-se as características fisiográficas apresentadas na Tabela 6 e a metodologia para o processo chuva-vazão descrita anteriormente, obteve-se os hidrogramas de projeto apresentados na Figura 52. As vazões de pico dos hidrogramas resultaram, para os períodos de retorno de 500 e 1.000 anos, em 3.118 e 3.360 m³/s. A título ilustrativo, apresenta-se nas Figuras 53 e 54 os hidrogramas em sub-bacias do riacho Terra Nova, para as tormentas de 500 e 1.000 anos.

Em função das características das tormentas observadas na bacia hidrográfica do riacho Terra Nova, recomenda-se para fins de dimensionamento do aqueduto Mari, a utilização dos hidrogramas de projeto apresentados na Figura 52.

TABELAS

Tabela 1 - Postos Pluviométricos de Interesse

Posto Pluviométrico	Número do Posto	Período de Dados		número de anos
		Início	Fim	
Cabrobó	3871039	1935	1990	56
Cabrobó	3871037	1912	1990	79
Macambira	3861811	1962	1990	29
Murici	3861672	1962	1990	29
Terra Nova	3861425	1920	1990	71
Salgueiro	3861178	1912	1990	79
Boa Vista	3862105	1962	1990	29
Abóboras	3861115	1962	1990	29
Verdejante	3852805	1962	1990	29
Serrita	3851839	1934	1990	57
Santa Rosa	3851568	1962	1990	29
Penaforte	1000114	1981	1996	16
Jati	3851399	1934	1996	63

Tabela 2 - Postos Pluviométricos Selecionados e Bacias Hidrográficas Associadas

Posto Pluviométrico	Bacias Hidrográficas Associadas	Número do Posto	Período de Dados		número de anos
			Início	Fim	
Cabrobó	Aqueduto Saco da Terra	3871037	1912	1990	79
Macambira	Aqueduto Logradouro, Reservatório Tucutu	3861811	1962	1990	29
Terra Nova	Aquedutos Mari e Terra Nova, Reservatórios Terra Nova e Serra do Livramento	3861425	1920	1990	71
Salgueiro	Aqueduto Salgueiro, Reservatórios Mangueira e Negreiros	3861178	1912	1990	79
Verdejante	Reservatório Milagres	3852805	1962	1990	29
Serrita		3851839	1934	1990	57
Jati	Reservatório Jati	3851399	1934	1996	63

Tabela 3 - Precipitações Máximas nos Postos Pluviométricos Seleccionados

Probabilidade de Excedência	Período de Retorno (anos)	Precipitações Máximas de 1 dia (mm)							Totais Precipitados Máximos Anuais (mm)		Totais Precipitados Máximos Anuais (mm)		Totais Precipitados Máximos Anuais (mm)	
		Cabrobó 3871037	Macambira 3861811	Terra Nova 3861425	Salgueiro 3861178 sem outlier	Verdejante 3852805 sem outiler	Serrita 3851839	Jati 3851399	Terra Nova 3861425 - 2 dias	Terra Nova 3861425 - 3 dias	Serrita 3851839 - 2 dias	Serrita 3851839 - 3 dias	Salgueiro 3861178 - 2 dias	Slagueiro 3861178 - 3 dias
0,001	1.000	162,8	156,8	159,6	180,2	149,0	230,4	262,6	208,3	241,4	309,4	315,4	220,8	263,3
0,002	500	154,1	149,1	151,7	169,9	142,3	210,4	232,3	197,4	228,6	279,7	289,6	208,3	248,1
0,005	200	142,7	138,8	141,3	156,3	133,5	183,9	192,3	182,9	211,7	240,6	255,5	191,8	228,1
0,01	100	133,5	130,6	132,9	145,5	126,3	165,3	167,0	171,3	198,1	214,0	231,2	178,6	212,1
0,02	50	123,8	121,9	124,2	134,2	118,7	147,3	144,2	159,2	183,9	189,0	207,5	164,9	195,5
0,05	20	110,3	109,6	111,7	118,3	108,0	124,3	117,5	142,1	163,9	158,0	177,0	145,6	172,1
0,1	10	99,1	99,4	101,3	105,3	99,0	107,3	99,4	127,9	147,3	135,7	154,1	129,8	152,9
0,2	5,00	86,5	87,9	89,6	90,8	88,7	90,1	82,5	112,0	128,7	113,8	130,8	112,1	131,6
0,3	3,33	78,1	80,2	81,8	81,2	81,8	79,7	73,1	101,4	116,4	100,9	116,5	100,4	117,5
0,5	2,00	65,5	68,4	69,8	66,8	71,1	65,4	61,0	85,3	97,6	83,5	96,6	82,8	96,5
0,7	1,43	54,3	57,9	59,0	54,3	61,4	54,0	52,1	71,1	81,1	70,0	80,5	67,5	78,1
0,8	1,25	48,2	52,0	53,1	47,5	56,0	48,2	48,0	63,3	72,0	63,3	72,3	59,2	68,2
0,9	1,11	40,5	44,6	45,6	39,2	49,0	41,3	43,3	53,5	60,7	55,4	62,5	48,9	56,0
0,95	1,05	34,9	39,1	40,0	33,1	43,8	36,5	40,2	46,2	52,3	50,0	55,6	41,4	47,2
0,98	1,02	29,2	33,5	34,2	27,1	38,3	31,9	37,5	38,9	43,8	44,8	48,8	34,0	38,4
0,99	1,01	25,8	30,1	30,8	23,5	35,0	29,2	35,9	34,5	38,8	41,9	44,9	29,6	33,3
0,995	1,01	22,9	27,2	27,8	20,6	32,1	27,0	34,7	30,8	34,6	39,4	41,6	26,0	29,1
0,999	1,00	17,8	21,9	22,4	15,4	26,7	23,0	32,8	24,1	26,9	35,0	35,7	19,6	21,6

Tabela 4 - Relação Precipitação Máxima - Duração e Frequência nos Postos Seleccionados

Posto Pluviométrico Cabrobó - 3871037

Período de Retorno (anos)	Precipitações Máximas (mm)								
	Duração da Tormenta (horas)								
	1	2	3	4	6	9	12	24	1 dia
50	57,8	66,0	74,3	82,6	99,1	115,9	123,8	135,6	123,8
100	61,7	70,7	79,7	88,7	106,8	124,9	133,5	146,1	133,5
500	69,6	80,4	91,1	101,8	123,3	144,3	154,1	168,8	154,1
1.000	72,8	84,3	95,8	107,3	130,3	152,4	162,8	178,3	162,8

Posto Pluviométrico Macambira - 3861811

Período de Retorno (anos)	Precipitações Máximas (mm)								
	Duração da Tormenta (horas)								
	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	9,0	12,0	24,0	1 dia
50	56,9	65,0	73,1	81,3	97,5	114,1	121,9	133,5	121,9
100	60,3	69,1	78,0	86,8	104,4	122,2	130,6	143,0	130,6
500	67,3	77,7	88,1	98,5	119,2	139,5	149,1	163,2	149,1
1.000	70,1	81,2	92,3	103,3	125,4	146,8	156,8	171,7	156,8

Posto Pluviométrico Terra Nova - 3861425

Período de Retorno (anos)	Precipitações Máximas (mm)									
	Duração da Tormenta (horas)									
	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	9,0	12,0	24,0	48,0	1 dia
50	57,9	66,2	74,5	82,8	99,3	116,2	124,2	136,0	171,6	124,2
100	61,4	70,4	79,4	88,4	106,4	124,4	132,9	145,6	184,7	132,9
500	68,5	79,1	89,7	100,2	121,4	142,0	151,7	166,1	213,0	151,7
1.000	71,4	82,7	93,9	105,2	127,7	149,4	159,6	174,8	224,9	159,6

Posto Pluviométrico Salgueiro - 3861178

Período de Retorno (anos)	Precipitações Máximas (mm)									
	Duração da Tormenta (horas)									
	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	9,0	12,0	24,0	48,0	1 dia
50	62,6	71,5	80,5	89,4	107,3	125,6	134,2	146,9	180,2	134,2
100	67,2	77,0	86,9	96,7	116,4	136,2	145,5	159,3	195,4	145,5
500	76,7	88,6	100,4	112,2	135,9	159,0	169,9	186,0	228,2	169,9
1.000	80,6	93,3	106,0	118,7	144,1	168,6	180,2	197,3	242,0	180,2

Posto Pluviométrico Verdejante - 3852805

Período de Retorno (anos)	Precipitações Máximas (mm)								
	Duração da Tormenta (horas)								
	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	9,0	12,0	24,0	1 dia
50	55,4	63,3	71,2	79,2	95,0	111,1	118,7	130,0	118,7
100	58,3	66,9	75,4	84,0	101,0	118,2	126,3	138,3	126,3
500	64,3	74,2	84,1	94,0	113,9	133,2	142,3	155,8	142,3
1.000	66,7	77,2	87,7	98,2	119,2	139,5	149,0	163,2	149,0

Posto Pluviométrico Serrita - 3851839

Período de Retorno (anos)	Precipitações Máximas (mm)									
	Duração da Tormenta (horas)									
	1,0	2,0	3,0	4,0	6,0	9,0	12,0	24,0	48,0	1 dia
50	68,7	78,5	88,3	98,2	117,8	137,8	147,3	161,3	198,3	147,3
100	76,3	87,5	98,7	109,9	132,2	154,7	165,3	181,0	222,6	165,3
500	95,0	109,7	124,3	139,0	168,3	196,9	210,4	230,4	284,7	210,4
1.000	103,1	119,3	135,6	151,8	184,3	215,7	230,4	252,3	312,4	230,4

Tabela 5 - Características Fisiográficas das Bacias Hidrográficas do Trecho I

Número da Bacia	Nome do Elemento	Tipo	Posto Pluviométrico		Área de Drenagem (km ²)	Área Superficial (km ²)	Comprimento		Cota		Declividade (m/km)	tc (h)	Velocidade Média (m/s)	tempo de retardamento (h)	Textura Predominante na Superfície dos Solos das Bacias**					Número da Curva CN	
			Representativo				Rio Principal (km)	mín	máx	A (%)					B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	Condição II	Condição III	
1	Tucutú	B	3861811	Macambira	8,10	2,72	4,2	339	390	12,1	2,12	0,55	1,3	10,0	10,0	80,0	0,0	0,0	71	84	
2	Terra Nova	B	3861425	Terra Nova	23,30	1,71	7,4	345	390	6,1	3,76	0,55	2,3	5,0	10,0	65,0	20,0	0,0	63	80	
3	Serra do Livramento	B	3861425	Terra Nova	2,50	1,54	1,6	383	570	119,1	0,53	0,83	0,3	0,0	10,0	50,0	30,0	10,0	87	93	
4	Mangueira	B	3861178	Salgueiro	32,40	2,99	10,0	383	470	8,7	5,26	0,53	3,2	5,0	0,0	45,0	30,0	20,0	70	85	
5	Negreiros	B	3861178	Salgueiro	12,20	2,19	6,5	467	535	10,4	3,27	0,55	2,0	5,0	0,0	45,0	30,0	20,0	73	87	
6	Milagres	B	3852805	Verdejante	83,50	8,65	20,1	452	545	4,6	10,95	0,51	6,6	5,0	20,0	0,0	25,0	50,0	74	87	
7	Jati	B	3851399	Jati	2,30	1,40	2,1	438	498	29,0	1,09	0,53	0,7	5,0	0,0	25,0	30,0	40,0	89	95	
8	Logradouro	A	3861811	Macambira	80,29	0,00	17,3	335	410	4,3	8,65	0,56	5,2	5,0	15,0	80,0	0,0	0,0	57	76	
9	Saco da Serra	A	3871037	Cabrobó	86,29	0,00	20,5	338	480	6,9	10,16	0,56	6,1	5,0	10,0	75,0	10,0	0,0	59	78	
10	Mari	A	3861425	Terra Nova	3.349,70	17,09	98,6	345	930	5,9	44,53	0,61	26,7	5,0	5,0	20,0	60,0	10,0	68	84	
11	Terra Nova	A	3861425	Terra Nova	253,40	10,84	33,2	344	520	5,3	12,10	0,76	7,3	5,0	0,0	75,0	20,0	0,0	63	81	
12	Salgueiro	A	3861178	Salgueiro	733,50	0,00	56,2	382	570	3,3	21,25	0,73	12,8	5,0	5,0	20,0	70,0	0,0	67	84	
13	A	D	3861811	Macambira	18,21	0,00	8,0	345	390	5,7	4,86	0,45	2,9	10,0	0,0	70,0	20,0	0,0	60	79	
14	B	D	3861811	Macambira	6,50	0,00	4,6	355	387	6,9	2,45	0,52	1,5	5,0	0,0	75,0	20,0	0,0	62	80	
15	C	D	3861425	Terra Nova	8,73	0,00	6,6	342	387	6,9	3,64	0,50	2,2	0,0	5,0	70,0	25,0	0,0	63	81	
16	D	D	3861425	Terra Nova	10,95	0,00	7,0	353	579	32,2	3,84	0,51	2,3	10,0	15,0	65,0	10,0	0,0	57	76	
17	E	D	3861178	Salgueiro	16,53	0,00	8,8	456	555	11,3	4,31	0,56	2,6	0,0	20,0	0,0	30,0	50,0	73	88	
18	F	D	3852805	Verdejante	6,23	0,00	4,7	491	525	7,3	3,07	0,42	1,8	0,0	25,0	0,0	30,0	45,0	71	86	
19	G	D	3851399	Jati	12,00	0,00	7,4	490	540	6,8	4,65	0,44	2,8	0,0	30,0	30,0	20,0	20,0	63	81	
20	H	D	3851399	Jati	4,28	0,00	2,2	482	512	13,6	1,61	0,38	1,0	70,0	30,0	0,0	0,0	0,0	41	61	
21	I	D	3851399	Jati	17,01	0,00	6,1	476	510	5,6	2,55	0,67	1,5	80,0	10,0	10,0	0,0	0,0	41	61	

A - aqueduto
 B - barragem / vertedouro
 D - drenagem

Tabela 6 - Características Fisiográficas das Sub-Bacias Hidrográficas dos Aquedutos Mari, Salgueiro e Terra Nova - Trecho I

Aqueduto Mari

Número da Bacia	Nome da Bacia	Posto Pluviométrico		Área Superficial (km ²)	Área de Drenagem (km ²)	Comprimento		Cota		Declividade (m/km)	tc (h)	Velocidade Média (m/s)	tempo de retardamento (h)	Textura Predominante na Superfície dos Solos das Bacias**					Número da Curva CN	
		Representativo				Rio Principal (km)	mín	máx	A (%)					B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	Condição II	Condição III	
1	São Domingos	3851839	Serrita	0,00	570,90	63,4	380	930	8,7	23,58	0,75	14,1	5,0	5,5	14,1	61,5	13,8	69	85	
2	Traíras	3851839	Serrita	0,00	550,70	36,7	396	520	3,4	14,15	0,72	8,5	5,0	5,5	14,1	61,5	13,8	69	85	
3	Acauã	3861178	Salgueiro	0,00	259,80	35,6	396	520	3,5	14,45	0,68	8,7	5,0	5,5	14,1	61,5	13,8	69	85	
4	Confluências XI - I	3851839	Serrita	0,00	199,60	26,6	380	480	3,8	11,52	0,64	6,9	5,0	5,5	14,1	61,5	13,8	69	85	
5	Confluências I e II	3861425	Terra Nova	0,00	185,70	18,2	355	440	4,7	6,78	0,75	4,1	5,0	5,5	14,1	61,5	13,8	69	85	
6	Mandim	3861178	Salgueiro	8,65	236,70	37,3	400	560	4,3	12,41	0,83	7,4	5,0	5,0	20,0	70,0	0,0	69	84	
7	Pitombeira	3861178	Salgueiro	0,00	326,00	38,9	400	600	5,1	13,11	0,82	7,9	5,0	5,0	20,0	70,0	0,0	67	84	
8	Inganzeira	3861178	Salgueiro	0,00	79,30	14,4	360	440	5,6	4,69	0,85	2,8	5,0	5,0	20,0	70,0	0,0	67	84	
9	Confluências V e VI	3861178	Salgueiro	2,19	45,20	10,0	385	500	11,5	3,05	0,91	1,8	5,0	5,0	20,0	70,0	0,0	69	84	
10	Confluências VI e VII	3861178	Salgueiro	0,00	46,30	9,2	375	385	1,1	5,08	0,50	3,0	5,0	5,0	20,0	70,0	0,0	67	84	
11	Confluências VII e Tamboril	3861178	Salgueiro	2,99	89,30	23,2	362	475	4,9	8,06	0,80	4,8	5,0	5,5	14,1	61,5	13,8	70	86	
12	Tamboril - Salgueiro - II	3861425	Terra Nova	1,54	130,00	24,7	355	440	3,4	10,49	0,65	6,3	5,0	5,5	14,1	61,5	13,8	70	85	
13	Cupiara	3861425	Terra Nova	0,00	167,80	23,6	345	440	4,0	8,78	0,75	5,3	5,0	5,5	14,1	61,5	13,8	69	85	
14	Confluências II e III	3861425	Terra Nova	0,00	23,50	8,3	345	355	1,2	4,51	0,51	2,7	5,0	5,5	14,1	61,5	13,8	69	85	
15	Confluências III e IV	3861425	Terra Nova	1,71	48,10	13,1	337	400	4,8	5,09	0,71	3,1	5,0	5,5	14,1	61,5	13,8	70	86	
16	Cacimbinha	3861425	Terra Nova	0,00	76,50	20,7	365	480	5,6	6,71	0,86	4,0	5,0	0,0	75,0	20,0	0,0	62	80	
17	Boqueirão	3861425	Terra Nova	0,00	117,40	19,5	365	480	5,9	6,20	0,87	3,7	5,0	0,0	75,0	20,0	0,0	62	80	
18	Confluências VIII-IX	3861425	Terra Nova	0,00	59,50	9,9	338	365	2,7	4,09	0,67	2,5	5,0	0,0	75,0	20,0	0,0	62	80	
19	Confluências IX - IV	3861425	Terra Nova	0,00	35,80	1,1	337	338	0,9	1,06	0,29	0,6	5,0	5,5	14,1	61,5	13,8	69	85	
20	Juá	3861425	Terra Nova	0,00	101,60	18,9	355	400	2,4	6,76	0,78	4,1	5,0	5,5	14,1	61,5	13,8	69	85	

Total: 17,09 3.349,70

Aqueduto Salgueiro

Número da Bacia	Nome da Bacia	Posto Pluviométrico		Área Superficial (km ²)	Área de Drenagem (km ²)	Comprimento		Cota		Declividade (m/km)	tc (h)	Velocidade Média (m/s)	tempo de retardamento (h)	Textura Predominante na Superfície dos Solos das Bacias**					Número da Curva CN	
		Representativo				Rio Principal (km)	mín	máx	A (%)					B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	Condição II	Condição III	
6	Mandim	3861178	Salgueiro	8,65	236,70	37,3	400	560	4,3	12,41	0,83	7,4	5,0	5,0	20,0	70,0	0,0	69	84	
7	Pitombeira	3861178	Salgueiro	0,00	326,00	38,9	400	600	5,1	13,11	0,82	7,9	5,0	5,0	20,0	70,0	0,0	67	84	
8	Inganzeira	3861178	Salgueiro	0,00	79,30	14,4	360	440	5,6	4,69	0,85	2,8	5,0	5,0	20,0	70,0	0,0	67	84	
9	Confluências V e VI	3861178	Salgueiro	2,19	45,20	10,0	385	500	11,5	3,05	0,91	1,8	5,0	5,0	20,0	70,0	0,0	69	84	
10	Confluências VI e VII	3861178	Salgueiro	0,00	46,30	9,2	375	385	1,1	5,08	0,50	3,0	5,0	5,0	20,0	70,0	0,0	67	84	

Total: 10,84 733,50

Aqueduto Terra Nova

Número da Bacia	Nome da Bacia	Posto Pluviométrico		Área Superficial (km ²)	Área de Drenagem (km ²)	Comprimento		Cota		Declividade (m/km)	tc (h)	Velocidade Média (m/s)	tempo de retardamento (h)	Textura Predominante na Superfície dos Solos das Bacias**					Número da Curva CN	
		Representativo				Rio Principal (km)	mín	máx	A (%)					B (%)	C (%)	D (%)	E (%)	Condição II	Condição III	
16	Cacimbinha	3861425	Terra Nova	0,00	76,50	20,7	365	480	5,6	6,71	0,86	4,0	5,0	0,0	75,0	20,0	0,0	62	80	
17	Boqueirão	3861425	Terra Nova	0,00	117,40	19,5	365	480	5,9	6,20	0,87	3,7	5,0	0,0	75,0	20,0	0,0	62	80	
18	Confluências VIII-IX	3861425	Terra Nova	0,00	59,50	9,9	338	365	2,7	4,09	0,67	2,5	5,0	0,0	75,0	20,0	0,0	62	80	

Total: 0,00 253,40

Tabela 7 - Precipitações Máximas de Projeto para Dimensionamento das Estruturas de Drenagem e Extravasão do Trecho I

Número da Bacia	Nome do Elemento	Tipo	Posto Pluviométrico		Área Drenagem		tc (h)	duração (h)	Fator Chuva na Área/Ponto ⁽¹⁾	Precipitação Máxima no Ponto em função do TR (mm)				Precipitação Máxima na Área em função do TR (mm)			
			Representativo		(km ²)	(milhas ²)				50 anos	100 anos	500 anos	1000 anos	50 anos	100 anos	500 anos	1000 anos
1	Tucutú	B	3861811	Macambira	8,10	3,13	2,12	3,0	1,00	73,1	78,0	88,1	92,3	73,1	78,0	88,1	92,3
2	Terra Nova	B	3861425	Terra Nova	23,30	9,00	3,76	4,0	1,00	82,8	88,4	100,2	105,2	82,8	88,4	100,2	105,2
3	Serra do Livramento	B	3861425	Terra Nova	2,50	0,97	0,53	1,0	1,00	57,9	61,4	68,5	71,4	57,9	61,4	68,5	71,4
4	Mangueira	B	3861178	Salgueiro	32,40	12,51	5,26	6,0	1,00	107,3	116,4	135,9	144,1	107,3	116,4	135,9	144,1
5	Negreiros	B	3861178	Salgueiro	12,20	4,71	3,27	4,0	1,00	89,4	96,7	112,2	118,7	89,4	96,7	112,2	118,7
6	Milagres	B	3852805	Verdejante	83,50	32,24	10,95	12,0	0,97	118,7	126,3	142,3	149,0	115,2	122,5	138,1	144,6
7	Jati	B	3851399	Jati	2,30	0,89	1,09	2,0	1,00	76,9	88,4	121,1	136,0	76,9	88,4	121,1	136,0
8	Logradouro	A	3861811	Macambira	80,29	31,00	8,65	9,0	0,96	114,1	122,2	139,5	146,8	109,5	117,3	133,9	140,9
9	Saco da Serra	A	3871037	Cabrobó	86,29	33,32	10,16	12,0	0,97	123,8	133,5	154,1	162,8	120,1	129,4	149,5	157,9
10	Mari	A	3861425	Terra Nova	3.350	1.293	44,53	48,0	0,95	171,6	184,7	213,0	224,9	163,0	175,5	202,3	213,6
11	Terra Nova	A	3861425	Terra Nova	253,40	97,84	12,10	12,0	0,92	124,2	132,9	151,7	159,6	114,2	122,3	139,6	146,8
12	Salgueiro	A	3861178	Salgueiro	733,50	283,21	21,25	24,0	0,93	146,9	159,3	186,0	197,3	136,6	148,1	173,0	183,5
13	A	D	3861811	Macambira	18,21	7,03	4,86	6,0	1,00	97,5	104,4	119,2	125,4	97,5	104,4	119,2	125,4
14	B	D	3861811	Macambira	6,50	2,51	2,45	3,0	1,00	73,1	78,0	88,1	92,3	73,1	78,0	88,1	92,3
15	C	D	3861425	Terra Nova	8,73	3,37	3,64	4,0	1,00	82,8	88,4	100,2	105,2	82,8	88,4	100,2	105,2
16	D	D	3861425	Terra Nova	10,95	4,23	3,84	4,0	1,00	82,8	88,4	100,2	105,2	82,8	88,4	100,2	105,2
17	E	D	3861178	Salgueiro	16,53	6,38	4,31	6,0	1,00	107,3	116,4	135,9	144,1	107,3	116,4	135,9	144,1
18	F	D	3852805	Verdejante	6,23	2,41	3,07	4,0	1,00	79,2	84,0	94,0	98,2	79,2	84,0	94,0	98,2
19	G	D	3851399	Jati	12,00	4,63	4,65	6,0	1,00	115,4	133,6	185,8	210,1	115,4	133,6	185,8	210,1
20	H	D	3851399	Jati	4,28	1,65	1,61	2,0	1,00	76,9	88,4	121,1	136,0	76,9	88,4	121,1	136,0
21	I	D	3851399	Jati	17,01	6,57	2,55	3,0	1,00	86,5	99,7	137,3	154,5	86,5	99,7	137,3	154,5

(1) U.S. Weather Bureau, "Rainfall Frequency Atlas of the United States for Durations from 30 Minutes to 24 Hours and Return Periods from 1 to 100 Years", Technical Paper 40, 1963

Tabela 8 - Precipitações Máximas de Projeto para Dimensionamento dos Aquedutos Mari, Salgueiro e Terra Nova - Trecho I

Aqueduto Mari

Número da Bacia	Nome da Bacia	Posto Pluviométrico		Área Drenagem		tc (h)	duração (h)	Fator Chuva na Área/Ponto ⁽¹⁾	Precipitação Máxima no Ponto em função do TR (mm)				Precipitação Máxima na Área em função do TR (mm)			
		Representativo		(km²)	(milhas²)				50 anos	100 anos	500 anos	1000 anos	50 anos	100 anos	500 anos	1000 anos
1	São Domingos	3851839	Serrita	570,90	220,43	23,58	48,00	0,95	198,3	222,6	284,7	312,4	188,4	211,5	270,4	296,8
2	Traíras	3851839	Serrita	550,70	212,63	14,15	48,00	0,95	198,3	222,6	284,7	312,4	188,4	211,5	270,4	296,8
3	Acauã	3861178	Salgueiro	259,80	100,31	14,45	48,00	0,95	180,2	195,4	228,2	242,0	171,2	185,6	216,8	229,9
4	Confluências XI - I	3851839	Serrita	199,60	77,07	11,52	48,00	0,95	198,3	222,6	284,7	312,4	188,4	211,5	270,4	296,8
5	Confluências I e II	3861425	Terra Nova	185,70	71,70	6,78	48,00	0,95	171,6	184,7	213,0	224,9	163,0	175,5	202,3	213,6
6	Mandim	3861178	Salgueiro	236,70	91,39	12,41	48,00	0,95	180,2	195,4	228,2	242,0	171,2	185,6	216,8	229,9
7	Pitombeira	3861178	Salgueiro	326,00	125,87	13,11	48,00	0,95	180,2	195,4	228,2	242,0	171,2	185,6	216,8	229,9
8	Inganzeira	3861178	Salgueiro	79,30	30,62	4,69	48,00	0,95	180,2	195,4	228,2	242,0	171,2	185,6	216,8	229,9
9	Confluências V e VI	3861178	Salgueiro	45,20	17,45	3,05	48,00	0,95	180,2	195,4	228,2	242,0	171,2	185,6	216,8	229,9
10	Confluências VI e VII	3861178	Salgueiro	46,30	17,88	5,08	48,00	0,95	180,2	195,4	228,2	242,0	171,2	185,6	216,8	229,9
11	Confluências VII e Tamboril	3861178	Salgueiro	89,30	34,48	8,06	48,00	0,95	180,2	195,4	228,2	242,0	171,2	185,6	216,8	229,9
12	Tamboril - Salgueiro - II	3861425	Terra Nova	130,00	50,19	10,49	48,00	0,95	171,6	184,7	213,0	224,9	163,0	175,5	202,3	213,6
13	Cupiara	3861425	Terra Nova	167,80	64,79	8,78	48,00	0,95	171,6	184,7	213,0	224,9	163,0	175,5	202,3	213,6
14	Confluências II e III	3861425	Terra Nova	23,50	9,07	4,51	48,00	0,95	171,6	184,7	213,0	224,9	163,0	175,5	202,3	213,6
15	Confluências III e IV	3861425	Terra Nova	48,10	18,57	5,09	48,00	0,95	171,6	184,7	213,0	224,9	163,0	175,5	202,3	213,6
16	Cacimbinha	3861425	Terra Nova	76,50	29,54	6,71	48,00	0,95	171,6	184,7	213,0	224,9	163,0	175,5	202,3	213,6
17	Boqueirão	3861425	Terra Nova	117,40	45,33	6,20	48,00	0,95	171,6	184,7	213,0	224,9	163,0	175,5	202,3	213,6
18	Confluências VIII-IX	3861425	Terra Nova	59,50	22,97	4,09	48,00	0,95	171,6	184,7	213,0	224,9	163,0	175,5	202,3	213,6
19	Confluências IX - IV	3861425	Terra Nova	35,80	13,82	1,06	48,00	0,95	171,6	184,7	213,0	224,9	163,0	175,5	202,3	213,6
20	Juá	3861425	Terra Nova	101,60	39,23	6,76	48,00	0,95	171,6	184,7	213,0	224,9	163,0	175,5	202,3	213,6

Total: 3.349,70 1.293,33

Aqueduto Salgueiro

Número da Bacia	Nome da Bacia	Posto Pluviométrico		Área Drenagem		tc (h)	duração (h)	Fator Chuva na Área/Ponto ⁽¹⁾	Precipitação Máxima no Ponto em função do TR (mm)				Precipitação Máxima na Área em função do TR (mm)			
		Representativo		(km²)	(milhas²)				50 anos	100 anos	500 anos	1000 anos	50 anos	100 anos	500 anos	1000 anos
6	Mandim	3861178	Salgueiro	236,70	91,39	12,41	24,00	0,93	146,9	159,3	186,0	197,3	136,6	148,1	173,0	183,5
7	Pitombeira	3861178	Salgueiro	326,00	125,87	13,11	24,00	0,93	146,9	159,3	186,0	197,3	136,6	148,1	173,0	183,5
8	Inganzeira	3861178	Salgueiro	79,30	30,62	4,69	24,00	0,93	146,9	159,3	186,0	197,3	136,6	148,1	173,0	183,5
9	Confluências V e VI	3861178	Salgueiro	45,20	17,45	3,05	24,00	0,93	146,9	159,3	186,0	197,3	136,6	148,1	173,0	183,5
10	Confluências VI e VII	3861178	Salgueiro	46,30	17,88	5,08	24,00	0,93	146,9	159,3	186,0	197,3	136,6	148,1	173,0	183,5

Total: 733,50 283,21

Aqueduto Terra Nova

Número da Bacia	Nome da Bacia	Posto Pluviométrico		Área Drenagem		tc (h)	duração (h)	Fator Chuva na Área/Ponto ⁽¹⁾	Precipitação Máxima no Ponto em função do TR (mm)				Precipitação Máxima na Área em função do TR (mm)			
		Representativo		(km²)	(milhas²)				50 anos	100 anos	500 anos	1000 anos	50 anos	100 anos	500 anos	1000 anos
16	Cacimbinha	3861425	Terra Nova	76,50	29,54	6,71	12,00	0,92	124,2	132,9	151,7	159,6	114,2	122,3	139,6	146,8
17	Boqueirão	3861425	Terra Nova	117,40	45,33	6,20	12,00	0,92	124,2	132,9	151,7	159,6	114,2	122,3	139,6	146,8
18	Confluências VIII-IX	3861425	Terra Nova	59,50	22,97	4,09	12,00	0,92	124,2	132,9	151,7	159,6	114,2	122,3	139,6	146,8

Total: 253,40 97,84

Tabela 9 - Parâmetros de Projeto da Drenagem de Pequenas Bacias Hidrográficas

Parâmetros de Projeto da Drenagem para Pequenas Bacias Hidrográficas Menores que 3,5 km²

Trecho	Estacas	Posto Pluviométrico Representativo		Precipitação de Projeto Duração de 1 hora (mm)		Classificação quanto a permeabilidade do solo	Textura Predominante na Camada Superficial dos Solos das bacias					Número da Curva CN		
				TR = 50 anos	TR = 100 anos		A(%)	B(%)	C(%)	D(%)	E(%)	Condição II	Condição III	Condição II / III
I	000+000 - 002+020	Cabrobó	3871037	57,8	61,7	Alta	85	15	0	0	0	40	60	50
I	002+020 - 006+200	Cabrobó	3871037	57,8	61,7	Média	5	15	80	0	0	57	76	67
I	006+200 - 040+160	Cabrobó	3871037	57,8	61,7	Média	10	10	80	0	0	57	76	66
I	040+160 - 043+600	Terra Nova	3861425	57,9	61,4	Média	10	10	80	0	0	57	76	66
I	043+600 - 046+570	Terra Nova	3861425	57,9	61,4	Média	10	10	80	0	0	57	76	66
I	051+390 - 072+200	Terra Nova	3861425	57,9	61,4	Média a baixa	0	10	50	30	10	65	82	74
I	066+500 - 072+200	Salgueiro	3861178	62,6	67,2	Média a baixa	0	10	50	30	10	65	82	74
I	072+200 - 073+240	Salgueiro	3861178	62,6	67,2	Baixa	5	0	45	30	20	67	84	76
I	077+530 - 095+610	Salgueiro	3861178	62,6	67,2	Baixa	0	15	50	25	10	64	81	72
I	095+610 - 106+900	Salgueiro	3861178	62,6	67,2	Baixa	5	0	45	30	20	67	84	76
I	119+700 - 124+750	Verdejante	3852805	55,4	58,3	Baixa	5	0	45	30	20	67	84	76
I	124+750 - 135+800	Jati	3851399	67,3	77,1	Alta	80	20	0	0	0	40	60	50
I	135+800 - 140+170	Jati	3851399	67,3	77,1	Média a baixa	10	10	40	20	20	64	81	72
I	140+170 - 141+800	Jati	3851399	67,3	77,1	Baixa	5	0	45	30	20	67	84	76

Delimitação de Regiões Homogêneas para Definição das Vazões de Projeto

Regiões	Estacas	Precipitação de Projeto Duração de 1 hora (mm)		Número da Curva CN		
		TR = 50 anos	TR = 100 anos	Condição II	Condição III	Condição II / III
I	000+000 - 002+020	57,8	61,7	40	60	50
II	002+020 - 046+570	57,9	61,7	57	76	67
III	051+390 - 124+750	62,6	67,2	67	84	76
IV	124+750 - 135+800	67,3	77,1	40	60	50
V	135+800 - 141+800	67,3	77,1	67	84	76

Tabela 10 - Equações para Definição das Vazões de Projeto das Obras de Drenagem de Pequenas Bacias Hidrográficas

Regiões	Estacas	Referências	Precipitação de Projeto Duração de 1 hora (mm/h)		Número da Curva CN			Coeficientes da Equação 1			Coeficientes da Equação 2	
			TR = 50 anos	TR = 100 anos	Condição II	Condição III	Condição II / III	a	b	c	K _{50 anos}	K _{100 anos}
I	000+000 - 002+020	Tomada d'Água até a EB1	57,8	61,7	40	60	50	3,4554E-18	9,456415	0,875570	0,158	0,292
II	002+020 - 046+570	EB1 até o reservatório Terra Nova	57,9	61,7	57	76	67	2,4980E-06	3,479156	0,865626	3,394	4,218
III	051+390 - 124+750	Reservatório Terra Nova até o Túnel Milagres-Jati	62,6	67,2	67	84	76	5,5427E-04	2,379719	0,810116	10,446	12,369
IV	124+750 - 135+800	Túnel Milagres-Jati até a estaca 135+800	67,3	77,1	40	60	50	9,9958E-12	5,85561	0,935513	0,505	1,125
V	135+800 - 141+800	da Estaca 135+800 ao Reservatório Jati	67,3	77,1	67	84	76	9,7355E-04	2,246222	0,808124	12,425	16,890

Equação 1:

$$Q_{pico} = a \cdot P^b \cdot A^c$$

Equação 2: TR = 50 anos:

$$Q_{pico} = K_{50 \text{ anos}} \cdot A^c$$

TR = 100 anos:

$$Q_{pico} = K_{100 \text{ anos}} \cdot A^c$$

onde:

Q_{pico} é a vazão de pico em m³/s

P é a precipitação de projeto em mm/h

A é a área de drenagem da bacia hidrográfica em km², não superior a 3,5 km²

Tabela 11 Vazões de Projeto para Bacias Hidrográficas com Área de Drenagem até 3,5 km2

	Vazões de Projeto - TR = 50 anos (m3/s)					Vazões de Projeto - TR = 100 anos (m3/s)					
	K	0,1577	3,3942	10,4461	12,4248	12,4248	0,2917	4,2179	12,3694	12,4248	16,8902
c	0,8756	0,8656	0,8101	0,8081	0,8081	0,8756	0,8656	0,8101	0,8081	0,8081	0,8081
P (mm)	57,8	57,9	62,6	67,3	67,3	61,7	61,7	67,2	67,3	77,1	
Área de Drenagem (km2)											
	Região I	Região II	Região III	Região IV	Região V	Região I	Região II	Região III	Região IV	Região V	
0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
0,1	0,02	0,46	1,62	0,06	1,93	0,04	0,57	1,92	0,13	2,63	
0,2	0,04	0,84	2,84	0,11	3,38	0,07	1,05	3,36	0,25	4,60	
0,3	0,05	1,20	3,94	0,16	4,70	0,10	1,49	4,66	0,36	6,38	
0,4	0,07	1,54	4,97	0,21	5,93	0,13	1,91	5,89	0,48	8,05	
0,5	0,09	1,86	5,96	0,26	7,10	0,16	2,31	7,05	0,59	9,65	
0,6	0,10	2,18	6,91	0,31	8,22	0,19	2,71	8,18	0,70	11,18	
0,7	0,12	2,49	7,82	0,36	9,31	0,21	3,10	9,27	0,81	12,66	
0,8	0,13	2,80	8,72	0,41	10,37	0,24	3,48	10,32	0,91	14,10	
0,9	0,14	3,10	9,59	0,46	11,41	0,27	3,85	11,36	1,02	15,51	
1,0	0,16	3,39	10,45	0,51	12,42	0,29	4,22	12,37	1,12	16,89	
1,1	0,17	3,69	11,28	0,55	13,42	0,32	4,58	13,36	1,23	18,24	
1,2	0,19	3,97	12,11	0,60	14,40	0,34	4,94	14,34	1,33	19,57	
1,3	0,20	4,26	12,92	0,65	15,36	0,37	5,29	15,30	1,44	20,88	
1,4	0,21	4,54	13,72	0,69	16,31	0,39	5,64	16,25	1,54	22,17	
1,5	0,22	4,82	14,51	0,74	17,24	0,42	5,99	17,18	1,64	23,44	
1,6	0,24	5,10	15,29	0,78	18,17	0,44	6,34	18,10	1,75	24,69	
1,7	0,25	5,37	16,06	0,83	19,08	0,46	6,68	19,01	1,85	25,93	
1,8	0,26	5,65	16,82	0,88	19,98	0,49	7,02	19,91	1,95	27,16	
1,9	0,28	5,92	17,57	0,92	20,87	0,51	7,35	20,81	2,05	28,37	
2,0	0,29	6,18	18,32	0,97	21,75	0,54	7,69	21,69	2,15	29,57	
2,1	0,30	6,45	19,05	1,01	22,63	0,56	8,02	22,56	2,25	30,76	
2,2	0,31	6,72	19,79	1,06	23,50	0,58	8,35	23,43	2,35	31,94	
2,3	0,33	6,98	20,51	1,10	24,36	0,60	8,67	24,29	2,45	33,11	
2,4	0,34	7,24	21,23	1,15	25,21	0,63	9,00	25,14	2,55	34,27	
2,5	0,35	7,50	21,94	1,19	26,05	0,65	9,32	25,99	2,65	35,42	
2,6	0,36	7,76	22,65	1,23	26,89	0,67	9,65	26,82	2,75	36,56	
2,7	0,38	8,02	23,36	1,28	27,73	0,70	9,97	27,66	2,85	37,69	
2,8	0,39	8,28	24,05	1,32	28,55	0,72	10,28	28,48	2,95	38,81	
2,9	0,40	8,53	24,75	1,37	29,37	0,74	10,60	29,31	3,05	39,93	
3,0	0,41	8,79	25,44	1,41	30,19	0,76	10,92	30,12	3,14	41,04	
3,1	0,42	9,04	26,12	1,46	31,00	0,79	11,23	30,93	3,24	42,14	
3,2	0,44	9,29	26,80	1,50	31,81	0,81	11,54	31,74	3,34	43,24	
3,3	0,45	9,54	27,48	1,54	32,61	0,83	11,86	32,54	3,44	44,33	
3,4	0,46	9,79	28,15	1,59	33,40	0,85	12,17	33,34	3,53	45,41	
3,5	0,47	10,04	28,82	1,63	34,20	0,87	12,48	34,13	3,63	46,48	

Tabela 12 - Síntese dos Dados para Simulação do Processo Chuva-Vazão - Trecho I

Número da Bacia	Nome do Elemento	Tipo	Área de Drenagem (km ²)	CN ponderado	tempo de retardamento (h)	intervalo de tabulação (min)	duração (h)	Precipitação Máxima na Área em função do TR (mm)			
								50 anos	100 anos	500 anos	1000 anos
1	Tucutú	B	8,1	78	1,27	9,0	3,0	73,1	78,0	88,1	92,3
2	Terra Nova	B	23,3	72	2,26	12,0	4,0	82,8	88,4	100,2	105,2
3	Serra do Livramento	B	2,5	90	0,32	3,0	1,0	57,9	61,4	68,5	71,4
4	Mangueira	B	32,4	78	3,16	18,0	6,0	107,3	116,4	135,9	144,1
5	Negreiros	B	12,2	80	1,96	12,0	4,0	89,4	96,7	112,2	118,7
6	Milagres	B	83,5	81	6,57	36,0	12,0	115,2	122,5	138,1	144,6
7	Jati	B	2,3	92	0,65	6,0	2,0	76,9	88,4	121,1	136,0
8	Logradouro	A	80,3	67	5,19	27,0	9,0	109,5	117,3	133,9	140,9
9	Saco da Serra	A	86,3	68	6,09	36,0	12,0	120,1	129,4	149,5	157,9
10	Mari	A	3.349,7	76	26,72	144,0	48,0	163,0	175,5	202,3	213,6
11	Terra Nova	A	253,4	72	7,26	36,0	12,0	114,2	122,3	139,6	146,8
12	Salgueiro	A	733,5	76	12,75	72,0	24,0	136,6	148,1	173,0	183,5
13	A	D	18,2	70	2,92	18,0	6,0	97,5	104,4	119,2	125,4
14	B	D	6,5	71	1,47	9,0	3,0	73,1	78,0	88,1	92,3
15	C	D	8,7	72	2,18	12,0	4,0	82,8	88,4	100,2	105,2
16	D	D	11,0	67	2,30	12,0	4,0	82,8	88,4	100,2	105,2
17	E	D	16,5	80	2,58	18,0	6,0	107,3	116,4	135,9	144,1
18	F	D	6,2	78	1,84	12,0	4,0	79,2	84,0	94,0	98,2
19	G	D	12,0	72	2,79	18,0	6,0	115,4	133,6	185,8	210,1
20	H	D	4,3	51	0,97	6,0	2,0	76,9	88,4	121,1	136,0
21	I	D	17,0	51	1,53	9,0	3,0	86,5	99,7	137,3	154,5

obs: para os aquedutos Mari, Salgueiro e Terra Nova, ver dados na Tabela 10

Tabela 13 - Síntese dos Dados para Simulação do Processo Chuva-Vazão nas Bacias Hidrográficas dos Aquedutos Mari, Salgueiro e Terra Nova - Trecho I

Aqueduto Mari

Número da Bacia	Nome da Bacia	Área de Drenagem (km ²)	CN ponderado	tempo de retardamento (h)	intervalo de tabulação (min)	duração (h)	Precipitação Máxima na Área em função do TR (mm)			
							50 anos	100 anos	500 anos	1000 anos
1	São Domingos	570,90	77	14,15	144	48,00	188,4	211,5	270,4	296,8
2	Traíras	550,70	77	8,49	144	48,00	188,4	211,5	270,4	296,8
3	Acauã	259,80	77	8,67	144	48,00	171,2	185,6	216,8	229,9
4	Confluências XI - I	199,60	77	6,91	144	48,00	188,4	211,5	270,4	296,8
5	Confluências I e II	185,70	77	4,07	144	48,00	163,0	175,5	202,3	213,6
6	Mandim	236,70	76	7,45	144	48,00	171,2	185,6	216,8	229,9
7	Pitombeira	326,00	76	7,87	144	48,00	171,2	185,6	216,8	229,9
8	Ingazeira	79,30	76	2,81	144	48,00	171,2	185,6	216,8	229,9
9	Confluências V e VI	45,20	77	1,83	144	48,00	171,2	185,6	216,8	229,9
10	Confluências VI e VII	46,30	76	3,05	144	48,00	171,2	185,6	216,8	229,9
11	Confluências VII e Tamboril	89,30	78	4,84	144	48,00	171,2	185,6	216,8	229,9
12	Tamboril - Salgueiro - II	130,00	77	6,29	144	48,00	163,0	175,5	202,3	213,6
13	Cupiara	167,80	77	5,27	144	48,00	163,0	175,5	202,3	213,6
14	Confluências II e III	23,50	77	2,71	144	48,00	163,0	175,5	202,3	213,6
15	Confluências III e IV	48,10	78	3,05	144	48,00	163,0	175,5	202,3	213,6
16	Cacimbinha	76,50	71	4,03	144	48,00	163,0	175,5	202,3	213,6
17	Boqueirão	117,40	71	3,72	144	48,00	163,0	175,5	202,3	213,6
18	Confluências VIII-IX	59,50	71	2,45	144	48,00	163,0	175,5	202,3	213,6
19	Confluências IX - IV	35,80	77	0,64	144	48,00	163,0	175,5	202,3	213,6
20	Juá	101,60	77	4,06	144	48,00	163,0	175,5	202,3	213,6

Total: 3.349,70

Aqueduto Salgueiro

Número da Bacia	Nome da Bacia	Área de Drenagem (km ²)	CN ponderado	tempo de retardamento (h)	intervalo de tabulação (min)	duração (h)	Precipitação Máxima na Área em função do TR (mm)			
							50 anos	100 anos	500 anos	1000 anos
6	Mandim	236,70	76	7,45	72,00	24,00	136,6	148,1	173,0	183,5
7	Pitombeira	326,00	76	7,87	72,00	24,00	136,6	148,1	173,0	183,5
8	Ingazeira	79,30	76	2,81	72,00	24,00	136,6	148,1	173,0	183,5
9	Confluências V e VI	45,20	77	1,83	72,00	24,00	136,6	148,1	173,0	183,5
10	Confluências VI e VII	46,30	76	3,05	72,00	24,00	136,6	148,1	173,0	183,5

Total: 733,50

Aqueduto Terra Nova

Número da Bacia	Nome da Bacia	Área de Drenagem (km ²)	CN ponderado	tempo de retardamento (h)	intervalo de tabulação (min)	duração (h)	Precipitação Máxima na Área em função do TR (mm)			
							50 anos	100 anos	500 anos	1000 anos
16	Cacimbinha	76,50	71	4,03	36,00	12,00	114,2	122,3	139,6	146,8
17	Boqueirão	117,40	71	3,72	36,00	12,00	114,2	122,3	139,6	146,8
18	Confluências VIII-IX	59,50	71	2,45	36,00	12,00	114,2	122,3	139,6	146,8

Total: 253,40

Tabela 14 - Vazões Máximas de Projeto das Estruturas e os Parâmetros Principais das Respectivas Bacias Hidrográficas do Trecho I

Número da Bacia	Nome do Elemento	Tipo	Posto Pluviométrico		Área de Drenagem (km ²)	CN ponderado	tc (h)	duração (h)	Precipitação Máxima (mm)		Vazão Máxima (m ³ /s)	
			Representativo						TR = 500 anos	TR = 1000 anos	TR = 500 anos	TR = 1000 anos
1	Tucutú	B	3861811	Macambira	8,10	78	2,12	3,0	88,1	92,3	34,1	37,1
2	Terra Nova	B	3861425	Terra Nova	23,30	72	3,76	4,0	100,2	105,2	64,6	71,0
3	Serra do Livramento	B	3861425	Terra Nova	2,50	90	0,53	1,0	68,5	71,4	44,6	47,4
4	Mangueira	B	3861178	Salgueiro	32,40	78	5,26	6,0	135,9	144,1	125,4	137,4
5	Negreiros	B	3861178	Salgueiro	12,20	80	3,27	4,0	112,2	118,7	61,0	66,7
6	Milagres	B	3852805	Verdejante	83,50	81	10,95	12,0	138,1	144,6	189,9	203,1
7	Jati	B	3851399	Jati	2,30	92	1,09	2,0	121,1	136,0	48,0	55,3
8	Logradouro	A	3861811	Macambira	80,29	67	8,65	9,0	133,9	140,9	128,3	141,3
9	Saco da Serra	A	3871037	Cabrobó	86,29	68	10,16	12,0	149,5	157,9	148,2	163,5
10	Mari	A	3861425	Terra Nova	3.349,70	76	44,53	48,0	202,3	213,6	5.195	5.766
11	Terra Nova	A	3861425	Terra Nova	253,40	72	12,10	12,0	139,6	146,8	494,6	540,5
12	Salgueiro	A	3861178	Salgueiro	733,50	76	21,25	24,0	173,0	183,5	1.185	1.295
									TR = 50 anos	TR = 100 anos	TR = 50 anos	TR = 100 anos
13	A	D	3861811	Macambira	18,21	70	4,86	6,0	97,5	104,4	29,0	33,3
14	B	D	3861811	Macambira	6,50	71	2,45	3,0	73,1	78,0	11,5	13,4
15	C	D	3861425	Terra Nova	8,73	72	3,64	4,0	82,8	88,4	16,5	18,9
16	D	D	3861425	Terra Nova	10,95	67	3,84	4,0	82,8	88,4	13,7	16,0
17	E	D	3861178	Salgueiro	16,53	80	4,31	6,0	107,3	116,4	53,0	60,4
18	F	D	3852805	Verdejante	6,23	78	3,07	4,0	79,2	84,0	15,1	16,9
19	G	D	3851399	Jati	12,00	72	4,65	6,0	115,4	133,6	30,0	39,2
20	H	D	3851399	Jati	4,28	51	1,61	2,0	76,9	88,4	2,0	3,6
21	I	D	3851399	Jati	17,01	51	2,55	3,0	86,5	99,7	8,5	14,5

A - aqueduto

B - barragem / vertedouro

D - estrutura de drenagem

Tabela 15 - Precipitações Máximas na Bacia do Riacho Terra Nova no Aqueduto Mari

Probabilidade de Excedência	Período de Retorno (anos)	Precipitações Máximas (mm)		
		2 dias	3 dias	48 horas
0,001	1.000	166,0	187,3	176,6
0,002	500	157,3	178,9	168,1
0,005	200	145,9	167,9	156,9
0,01	100	136,7	158,8	147,8
0,02	50	127,2	149,3	138,2
0,05	20	113,8	135,5	124,7
0,1	10	102,8	123,8	113,3
0,2	5	90,5	110,4	100,4
0,3	3,33	82,3	101,1	91,7
0,5	2,00	70,1	86,7	78,4
0,7	1,43	59,3	73,4	66,3
0,8	1,25	53,6	65,7	59,6
0,9	1,11	46,3	55,8	51,1
0,95	1,05	41,1	48,0	44,6
0,98	1,02	35,9	39,9	37,9
0,99	1,01	32,8	34,7	33,8
0,995	1,01	30,2	30,2	30,2
0,999	1,00	25,7	21,6	23,6

FIGURAS

Figura 1 - Ajuste das Distribuições de Fequências às Precipitações Máximas de 1 dia
Posto Cabrobó - 3871037

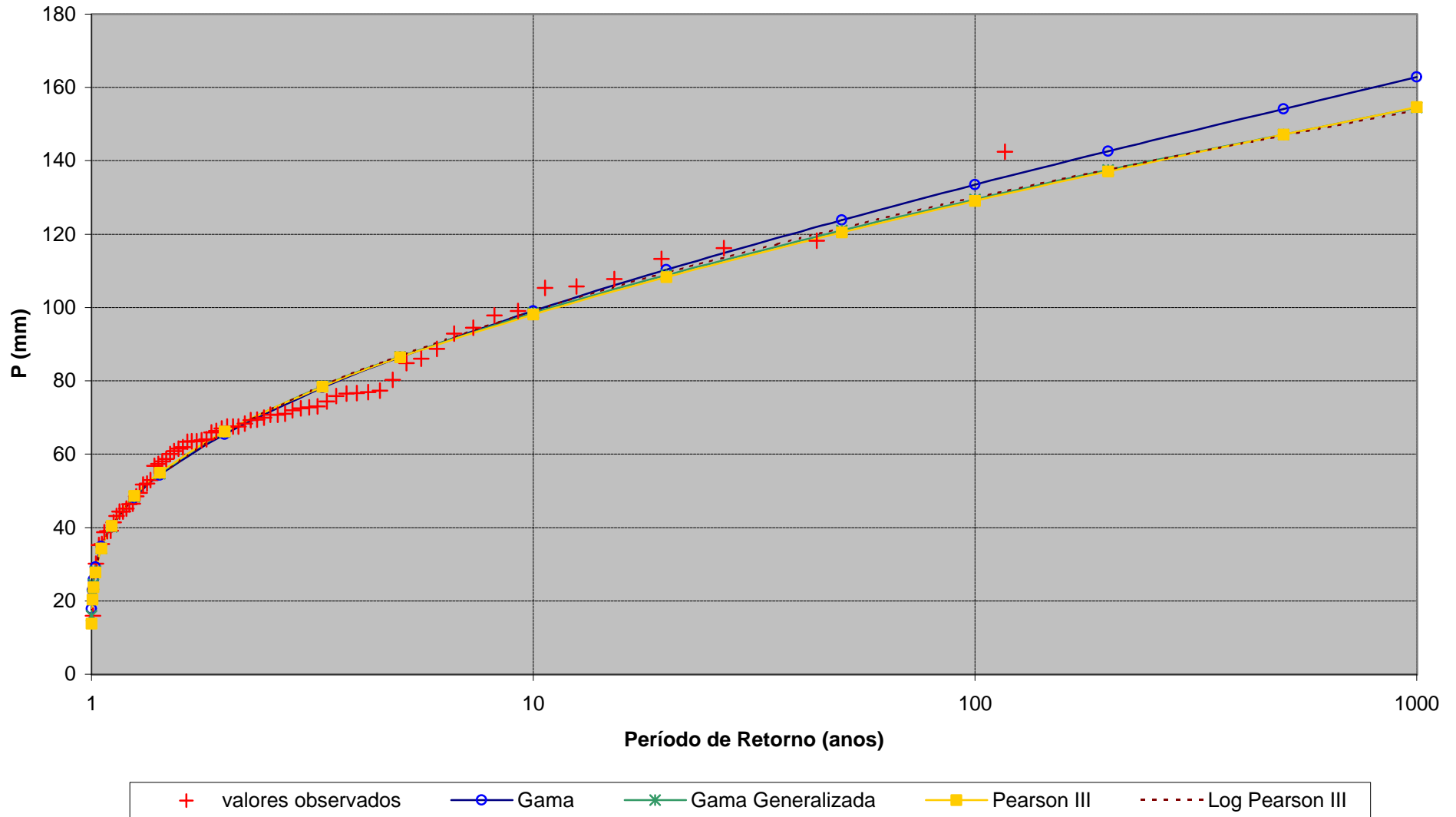


Figura 2 - Ajuste das Distribuições de Fequências às Precipitações Máximas de 1 dia
Posto Macambira - 3861811

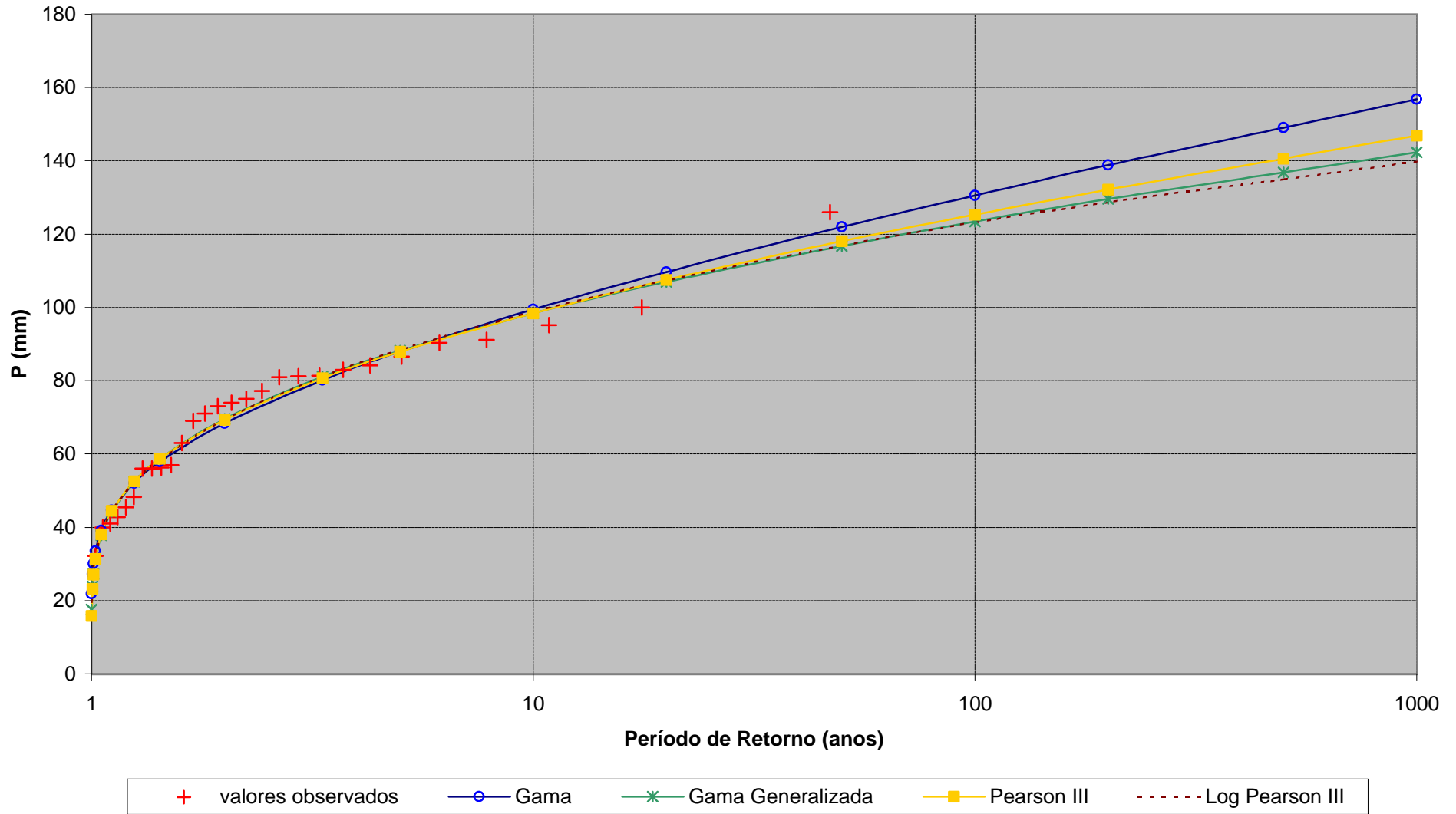


Figura 3 - Ajuste das Distribuições de Freqüências às Precipitações Máximas de 1 dia
Posto Terra Nova - 3861425

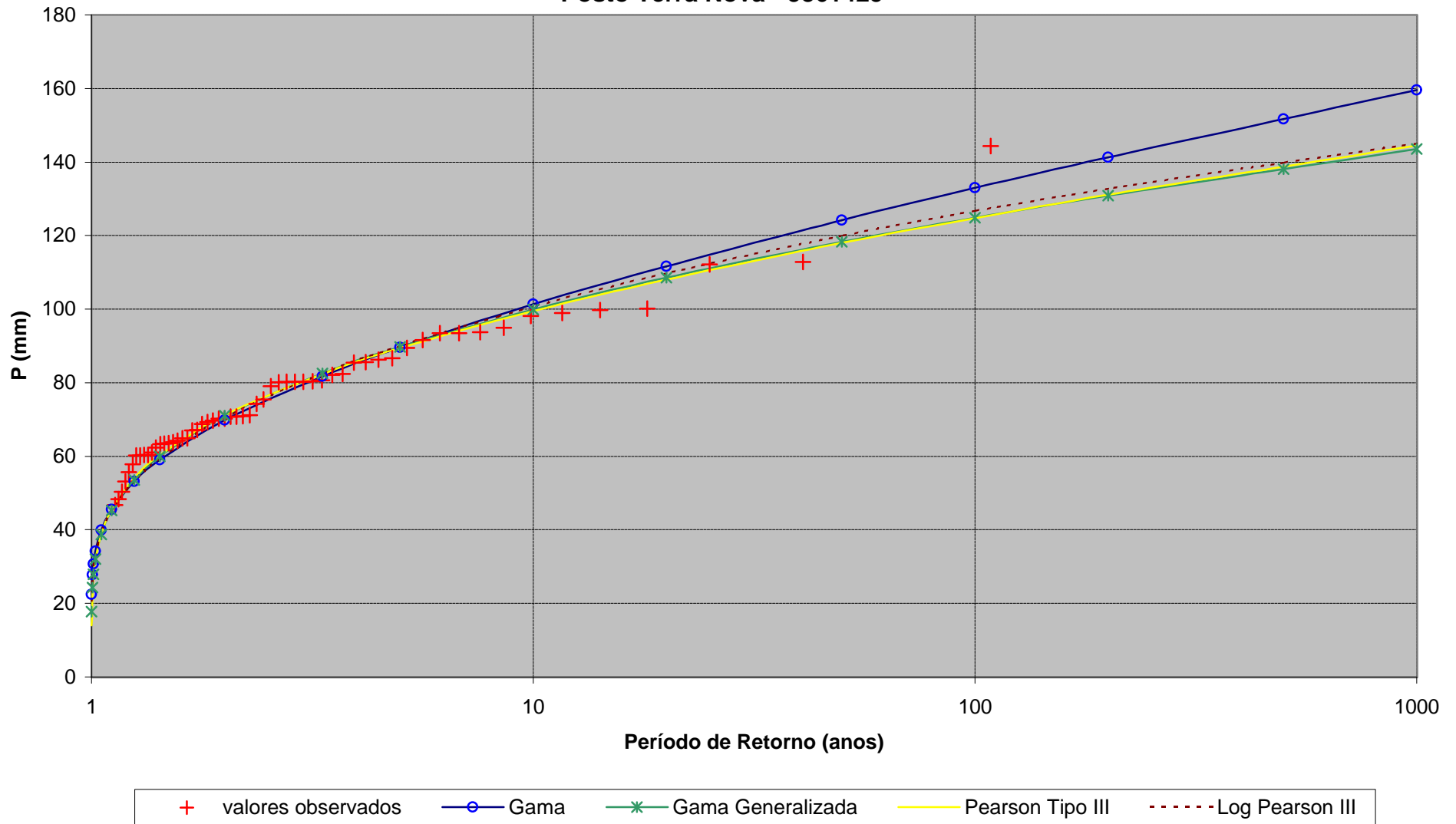


Figura 4 - Ajuste das Distribuições de Freqüências às Precipitações Máximas de 1 dia
Posto Salgueiro - 3861178

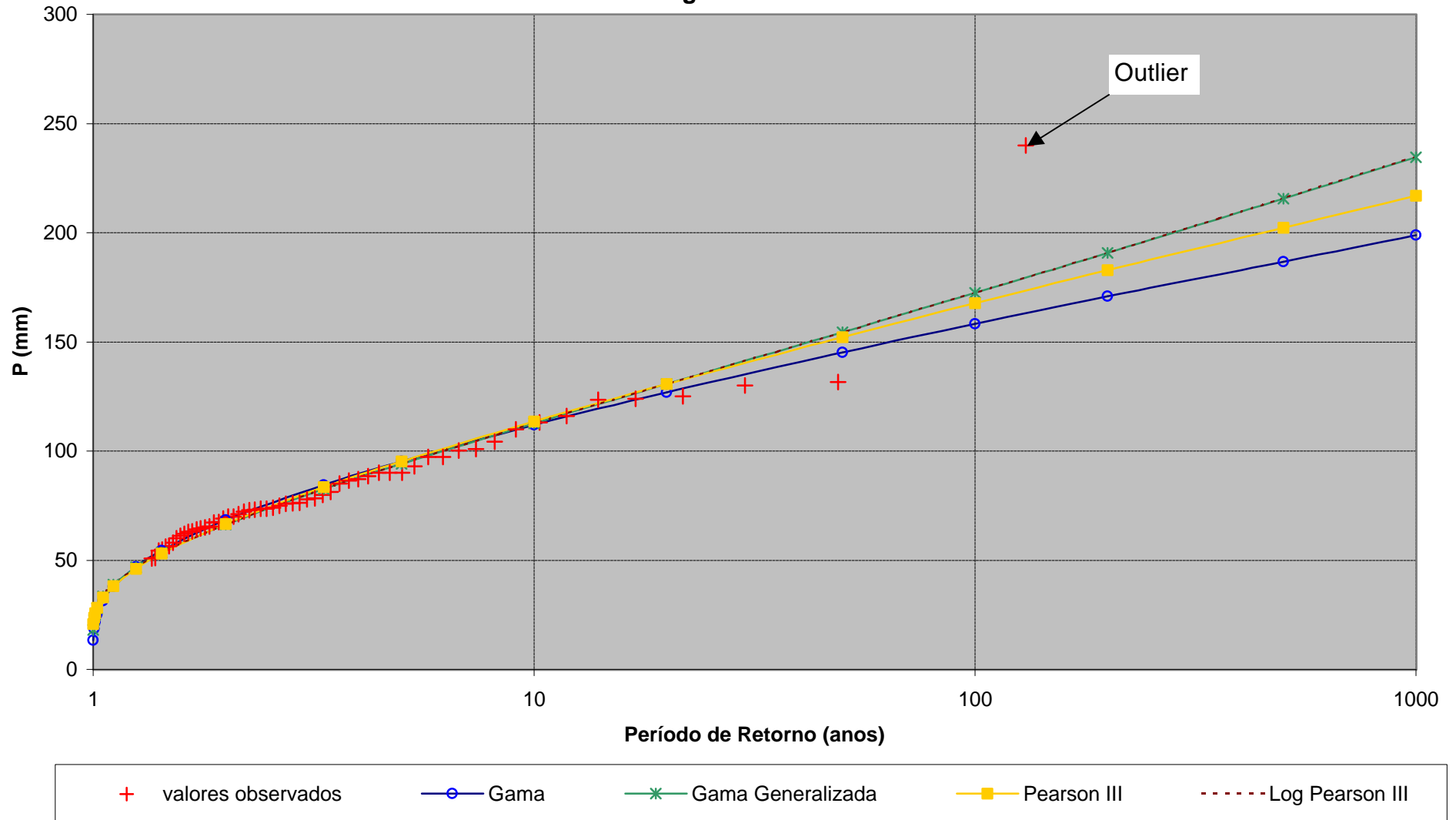


Figura 5 - Ajuste das Distribuições de Fequências às Precipitações Máximas de 1 dia
 Posto Salgueiro - 3861178 - Sem Outlier do Ano Hidrológico de 1957

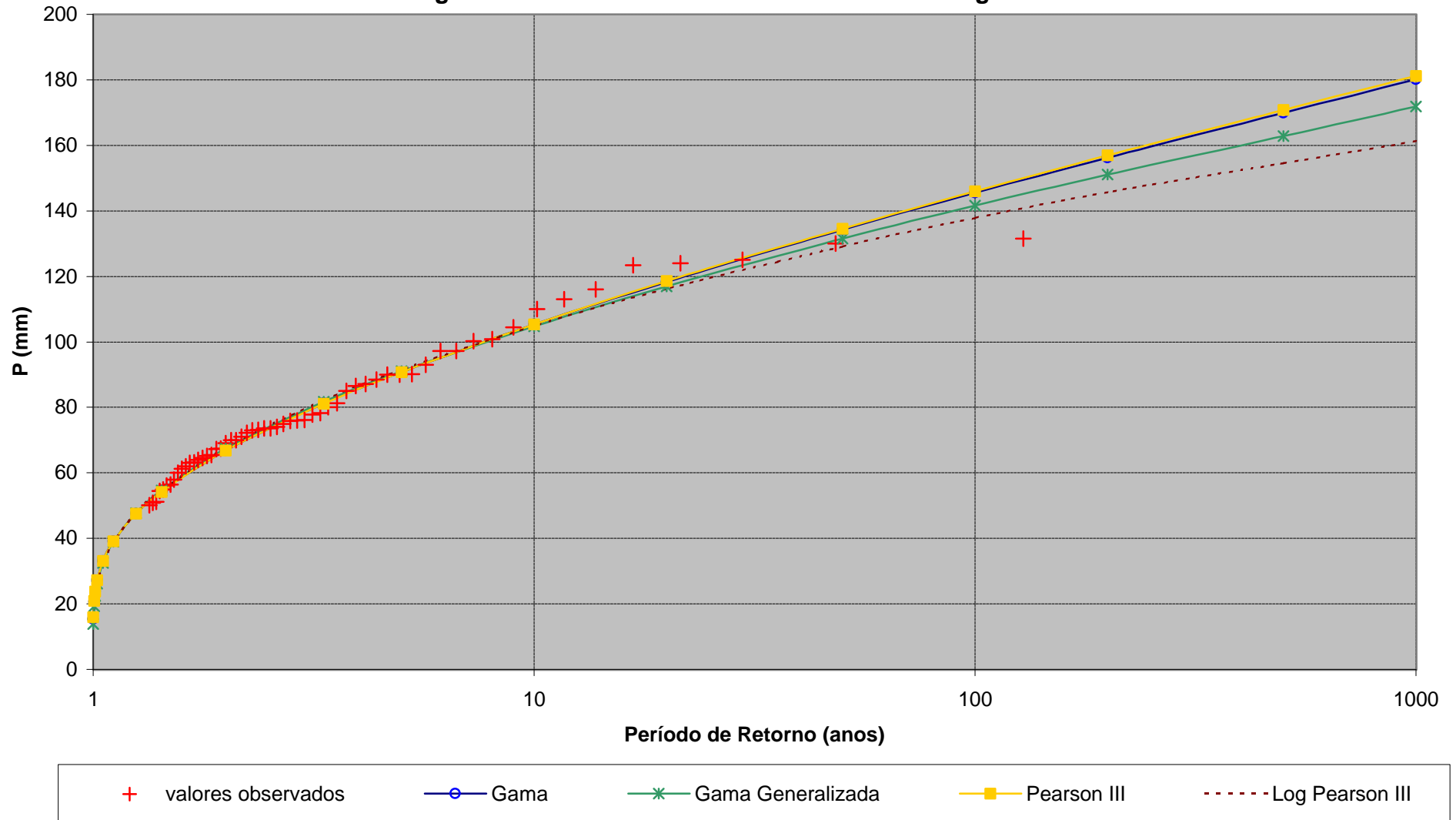


Figura 6 - Ajuste das Distribuições de Feqûências às Precipitações Máximas de 1 dia
Posto Verdejante - 3852805

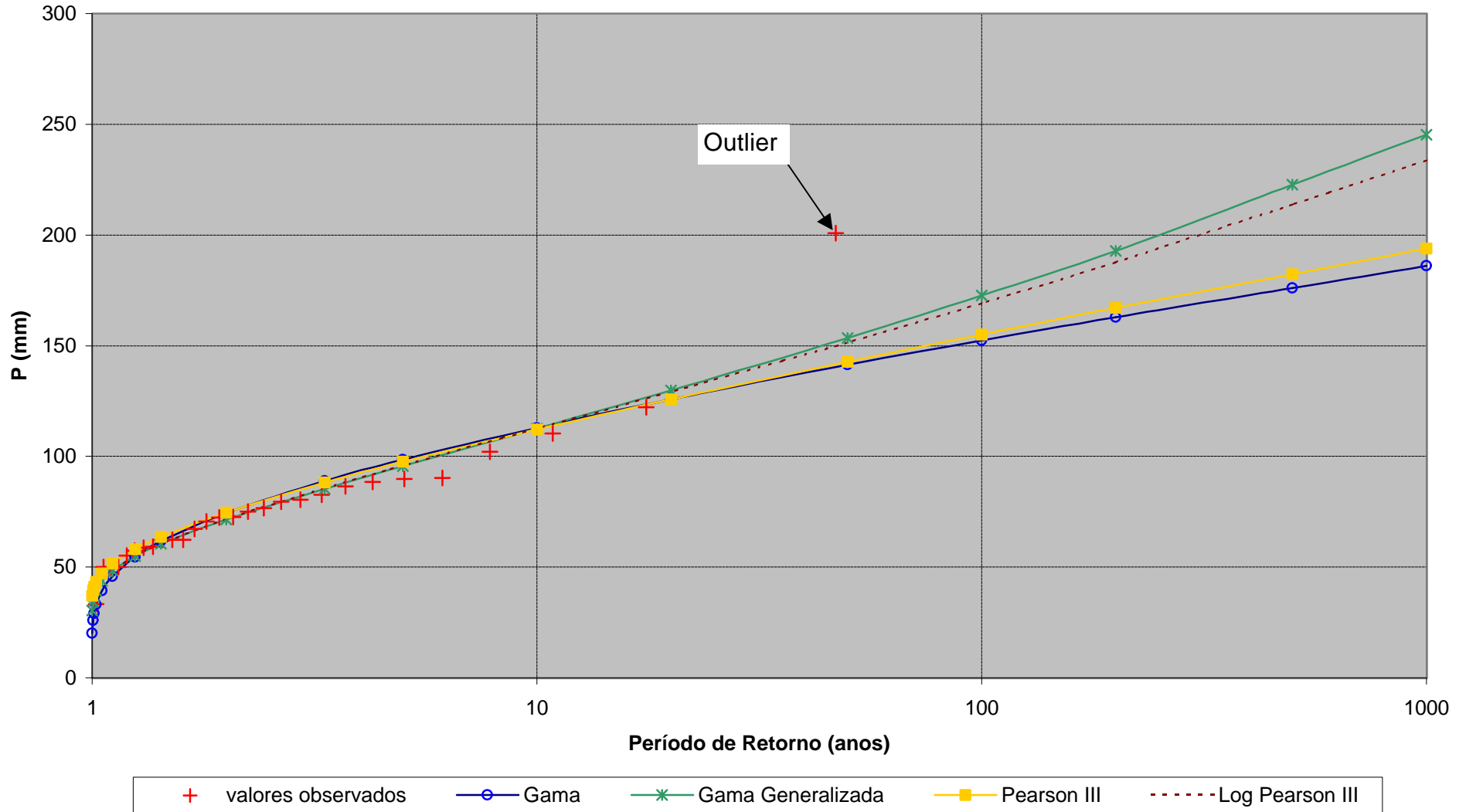


Figura 7 - Ajuste das Distribuições de Freqüências às Precipitações Máximas de 1 dia
 Posto Verdejante - 3852805 - Sem o Outlier do Ano Hidrológico de 1966

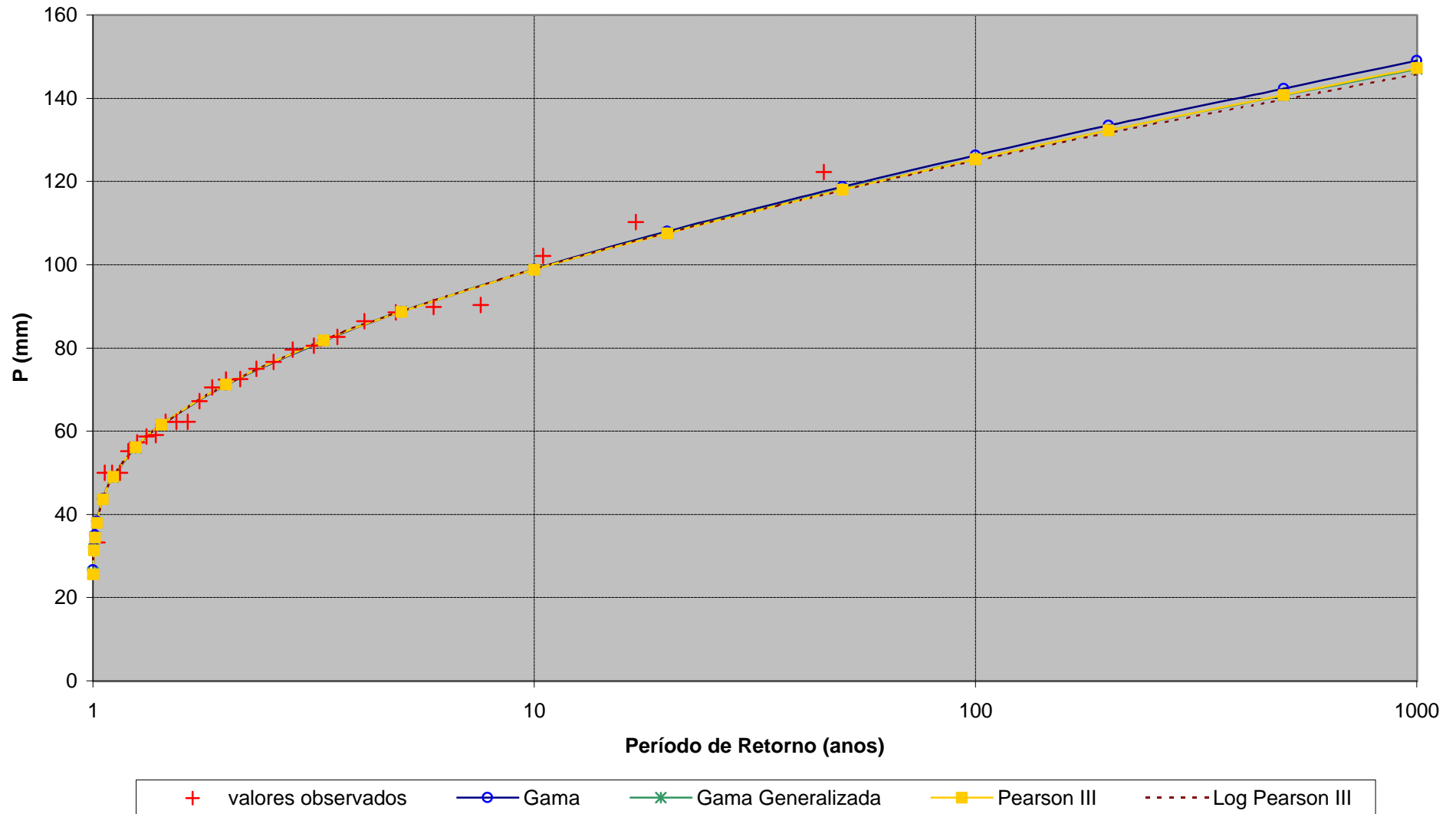


Figura 8 - Ajuste das Distribuições de Fequências às Precipitações Máximas de 1 dia
Posto Serrita - 3851839

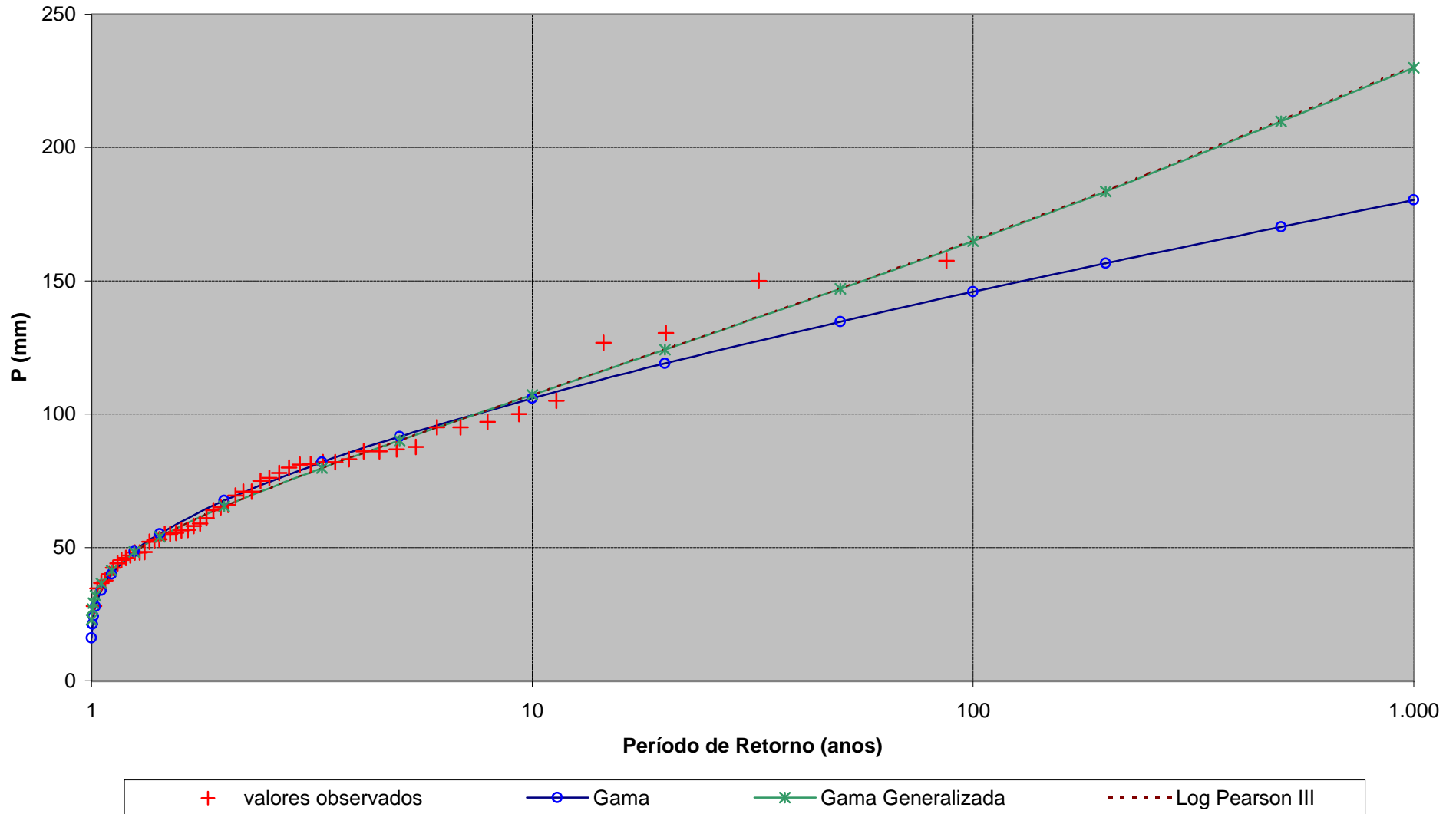


Figura 9 - Ajuste das Distribuições de Fequências às Precipitações Máximas de 1 dia
 Posto Jati - 3851399

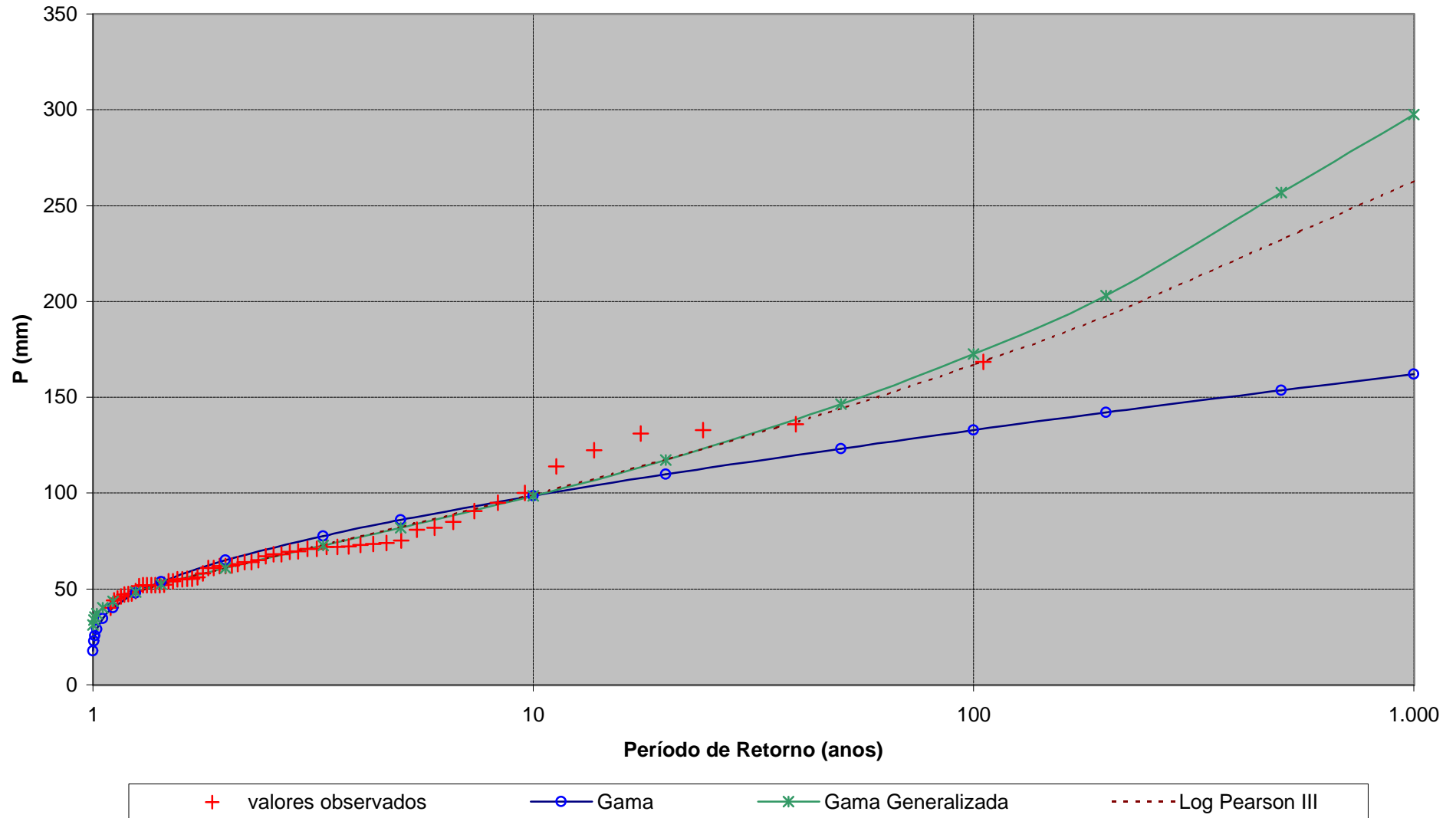


Figura 10 - Ajuste das Distribuições de Freqüências às Precipitações Máximas de 2 dias
Posto Terra Nova - 3861425

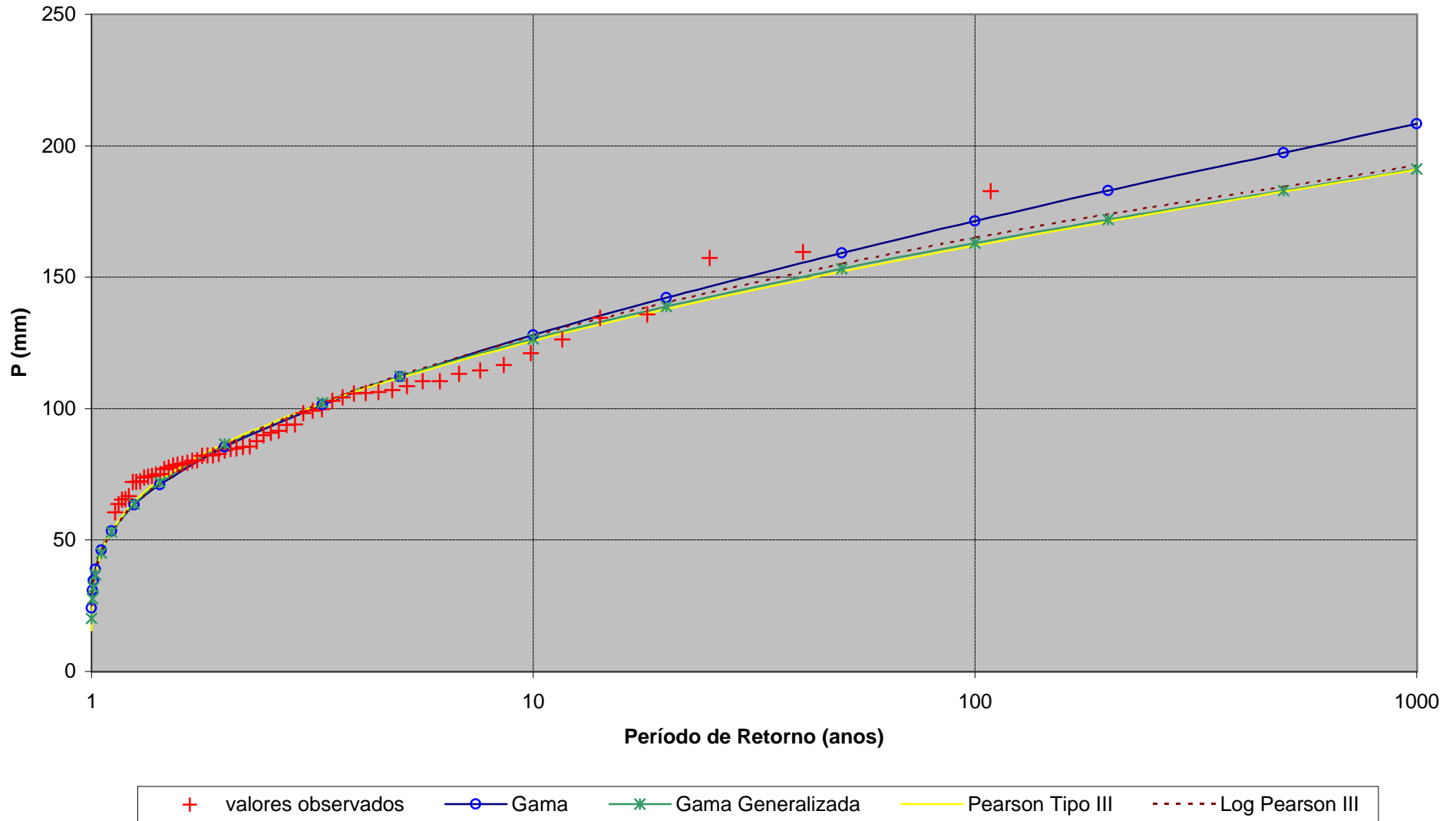


Figura 11 - Ajuste das Distribuições de Fequências às Precipitações Máximas de 3 dias
Posto Terra Nova - 3861425

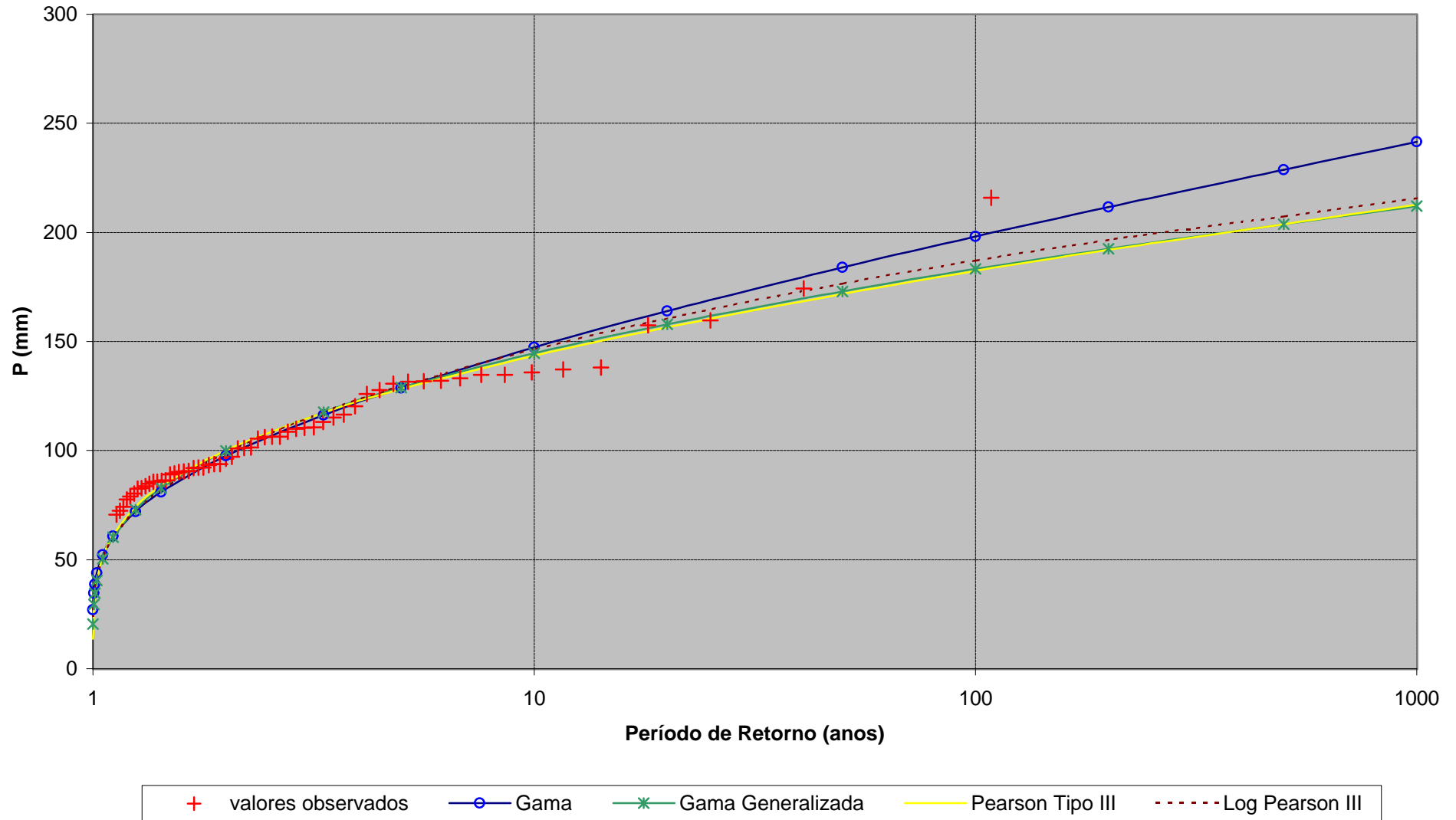


Figura 12 - Ajuste das Distribuições de Fequências às Precipitações Máximas de 2 dias
Posto Salgueiro - 3861178

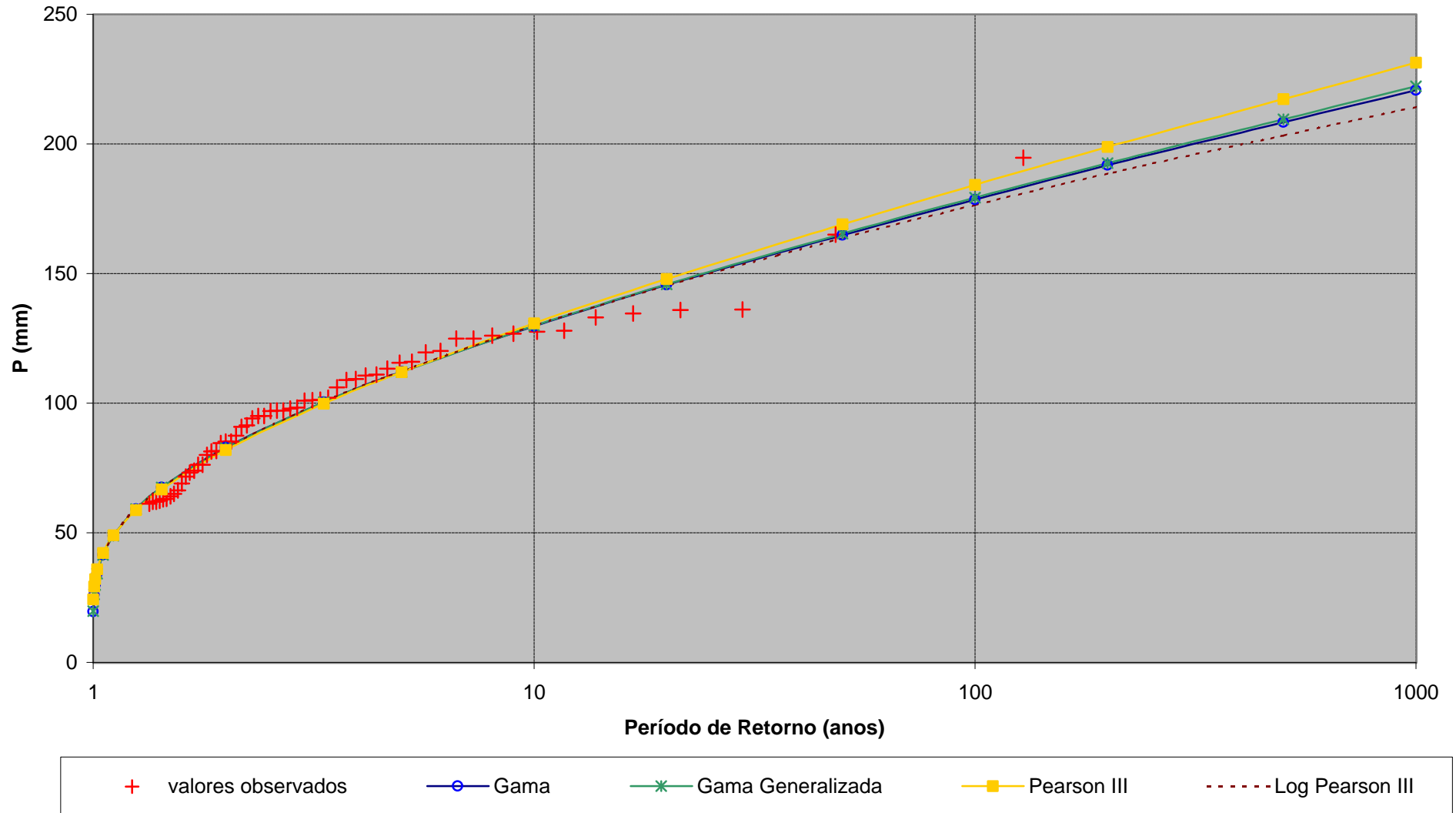


Figura 13 - Ajuste das Distribuições de Fequências às Precipitações Máximas de 3 dias
Posto Salgueiro - 3861178

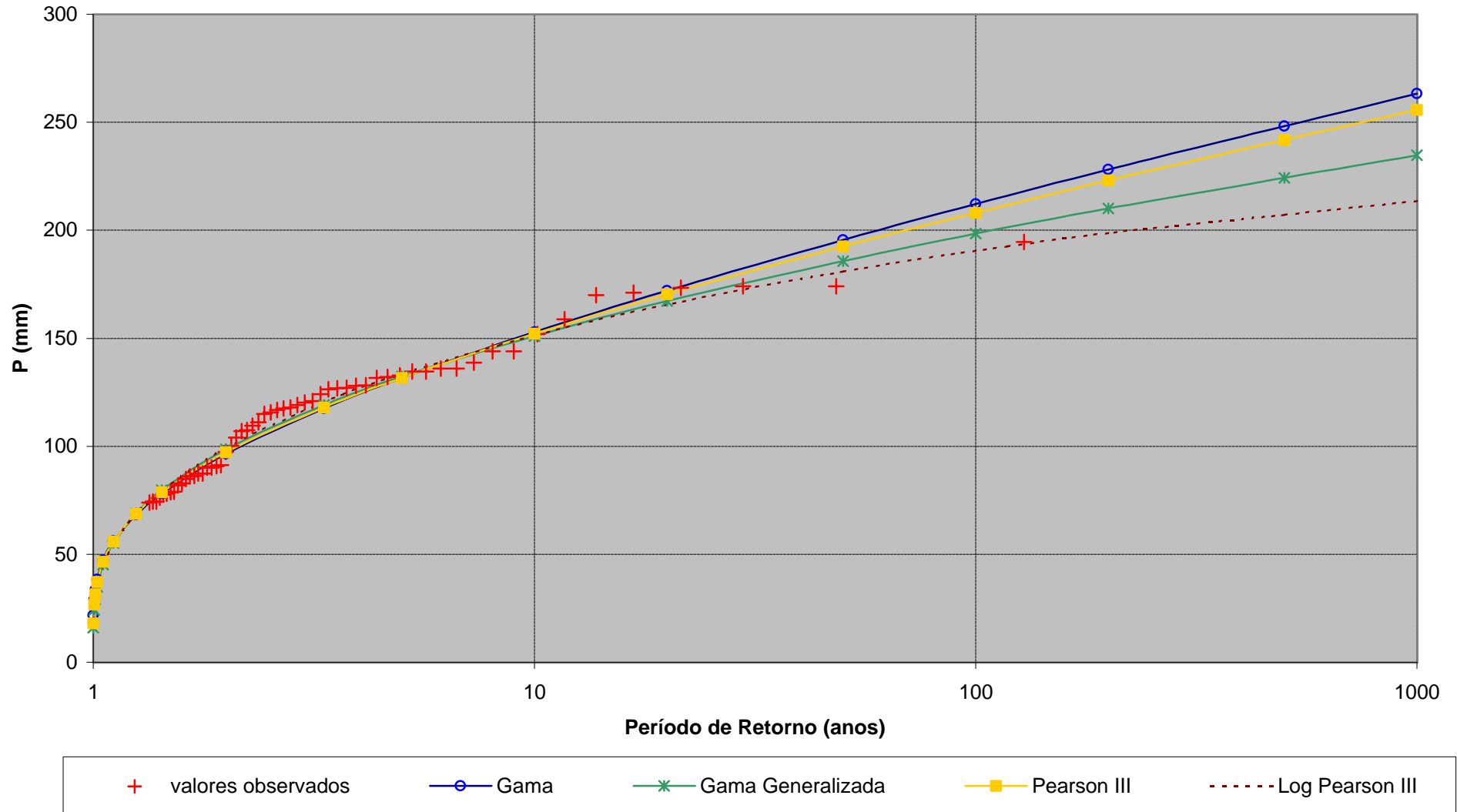


Figura 14 - Ajuste das Distribuições de Fequências às Precipitações Máximas de 2 dias
Posto Serrita - 3851839

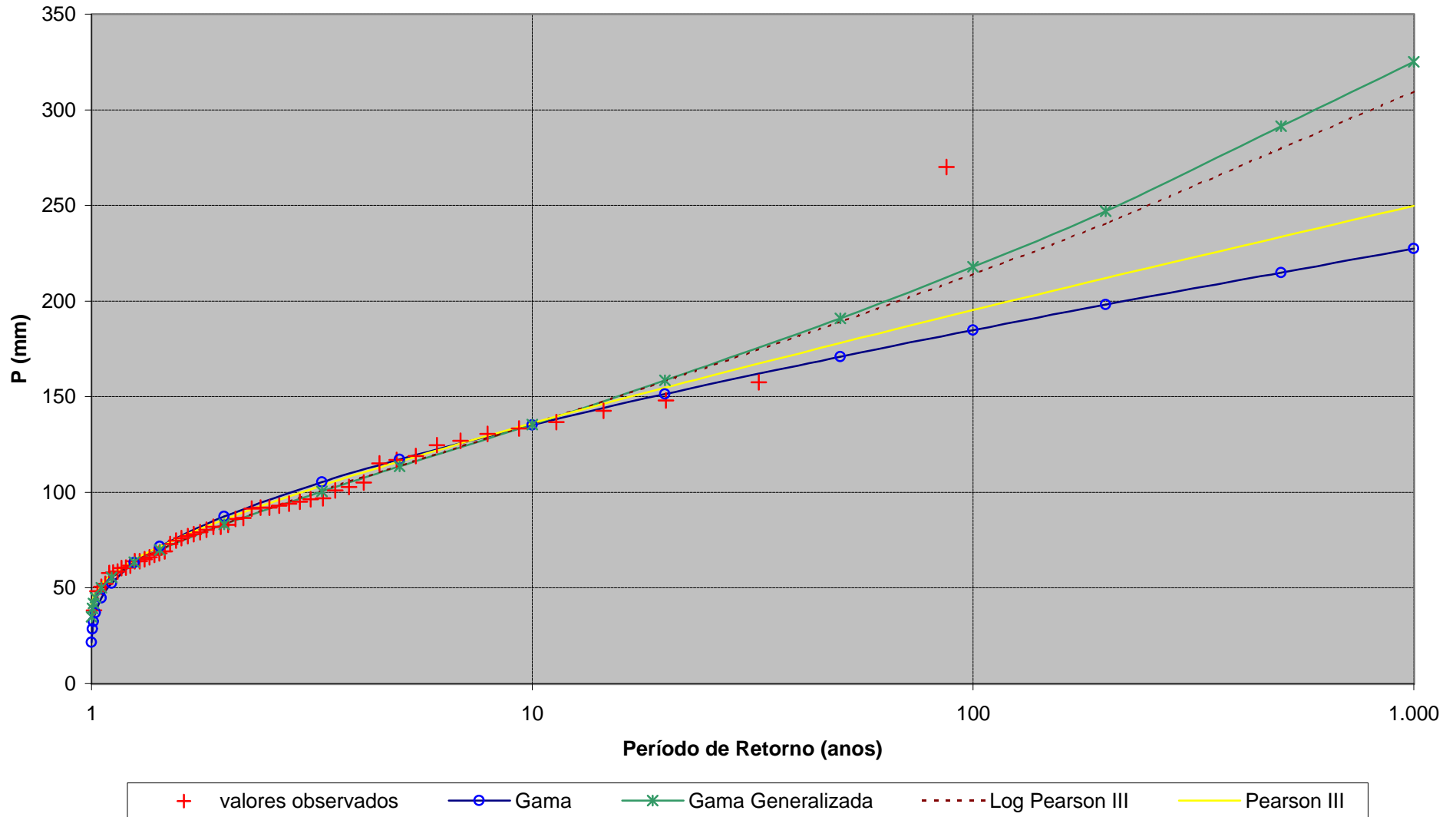


Figura 15 - Ajuste das Distribuições de Freqüências às Precipitações Máximas de 3 dias
Posto Serrita - 3851839

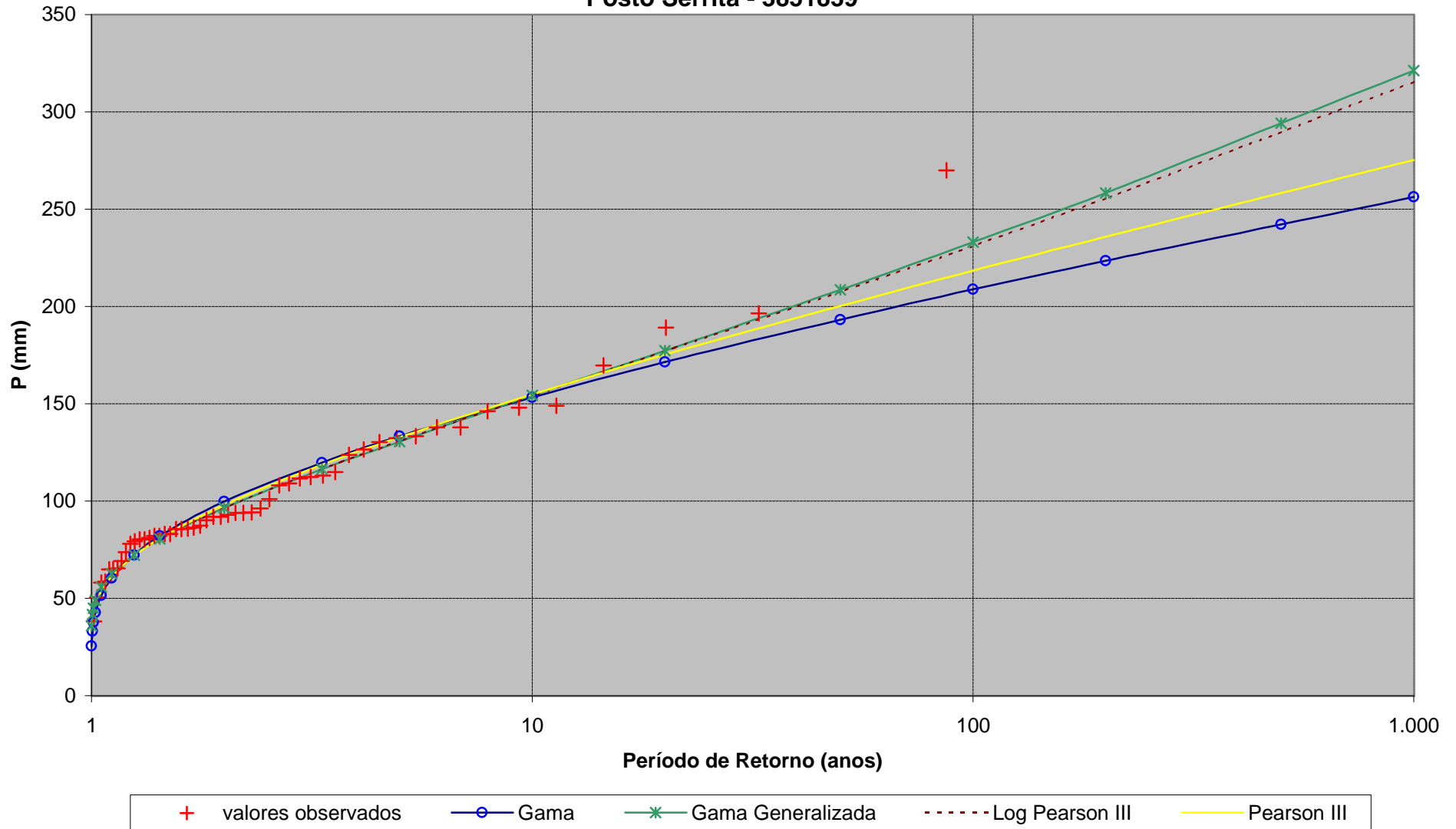


Figura 16 - Ajuste das Distribuições de Fequências às Precipitações Máximas de 1 dia
Postos e Distribuições Probabísticas Ajustadas

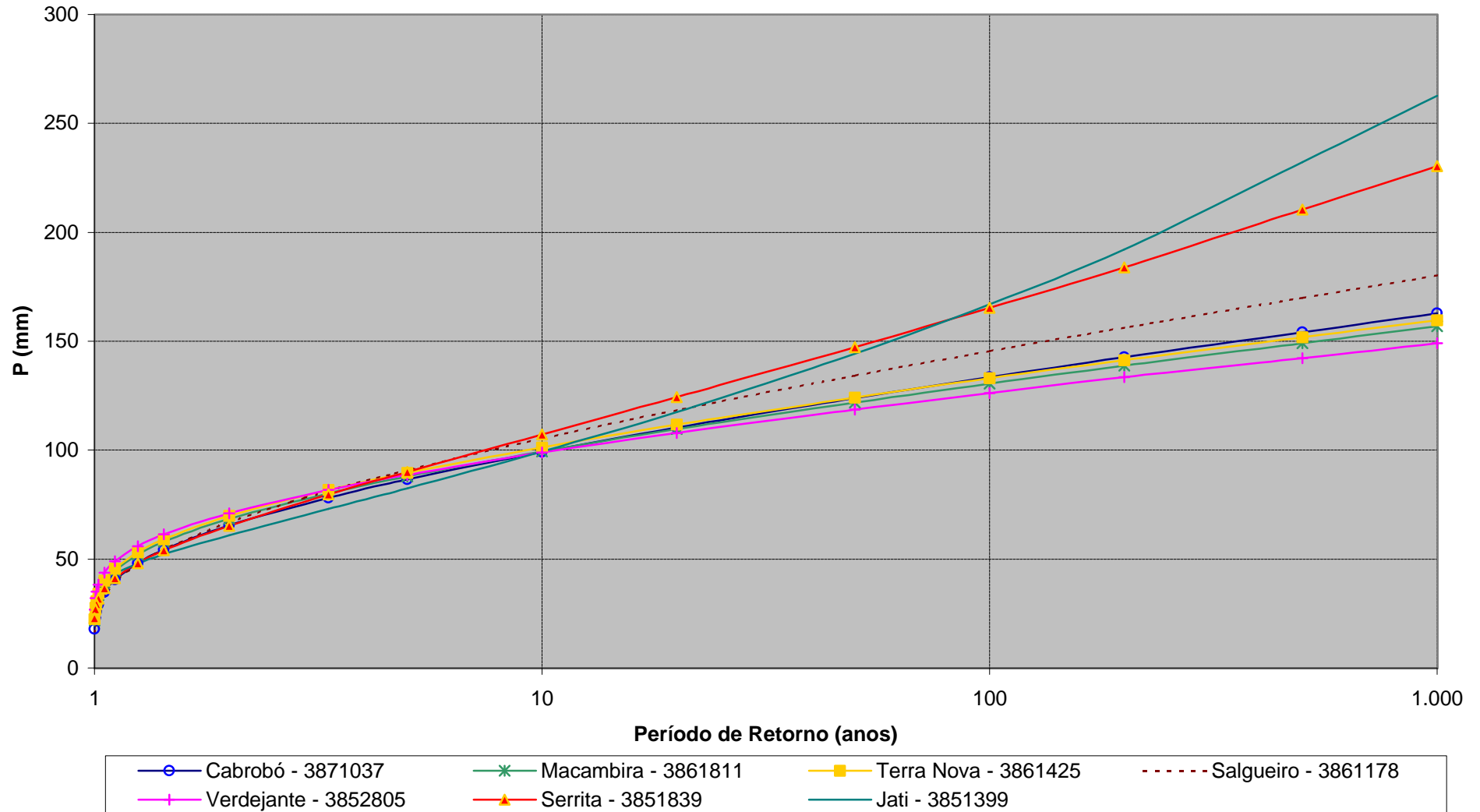


Figura 17 - Relação Totais Precipitados - Duração e Frequência para o Posto Pluviométrico Cabrobó - 3871037

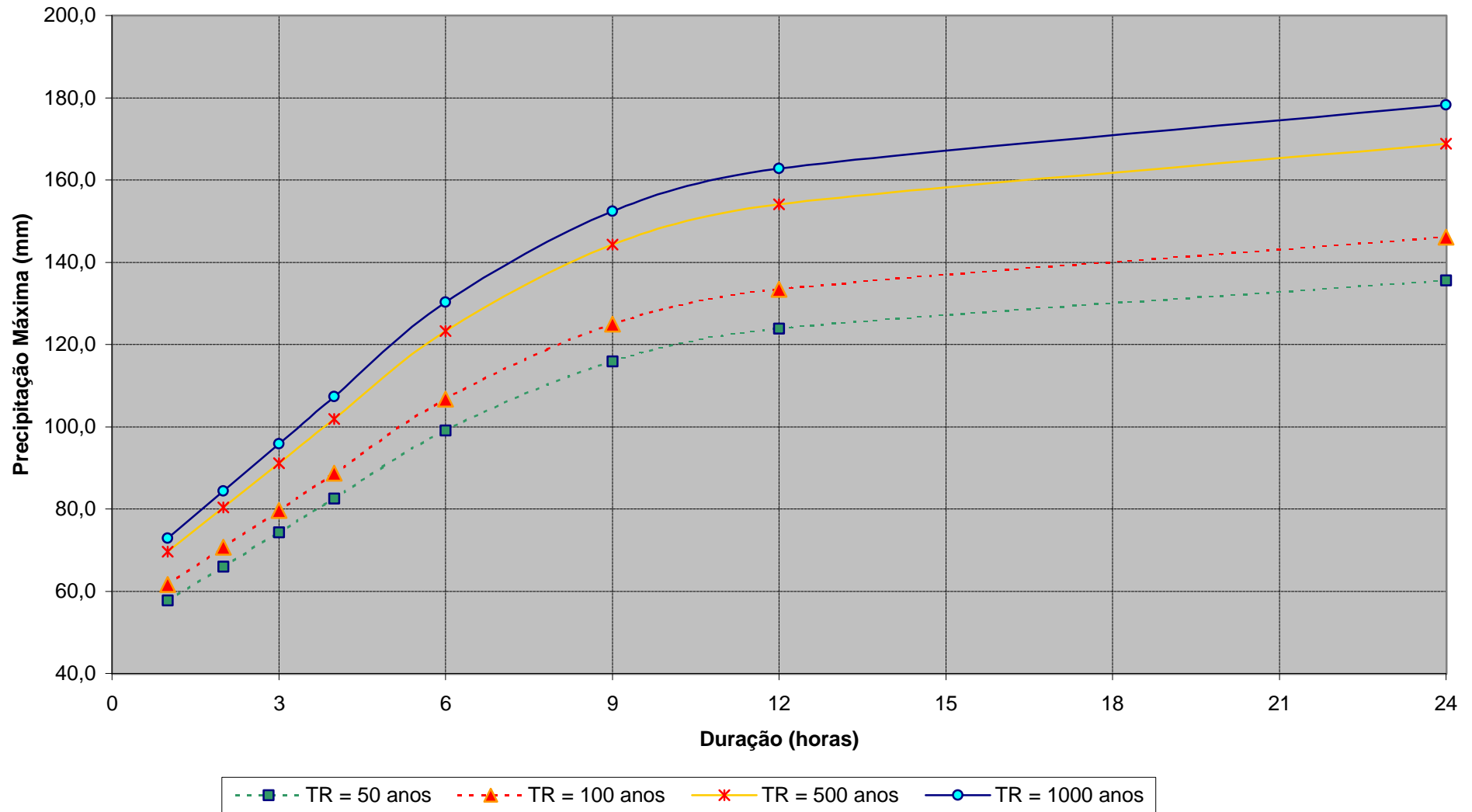


Figura 18 - Relação Totais Precipitados - Duração e Frequência para o Posto Pluviométrico Macambira - 3861811

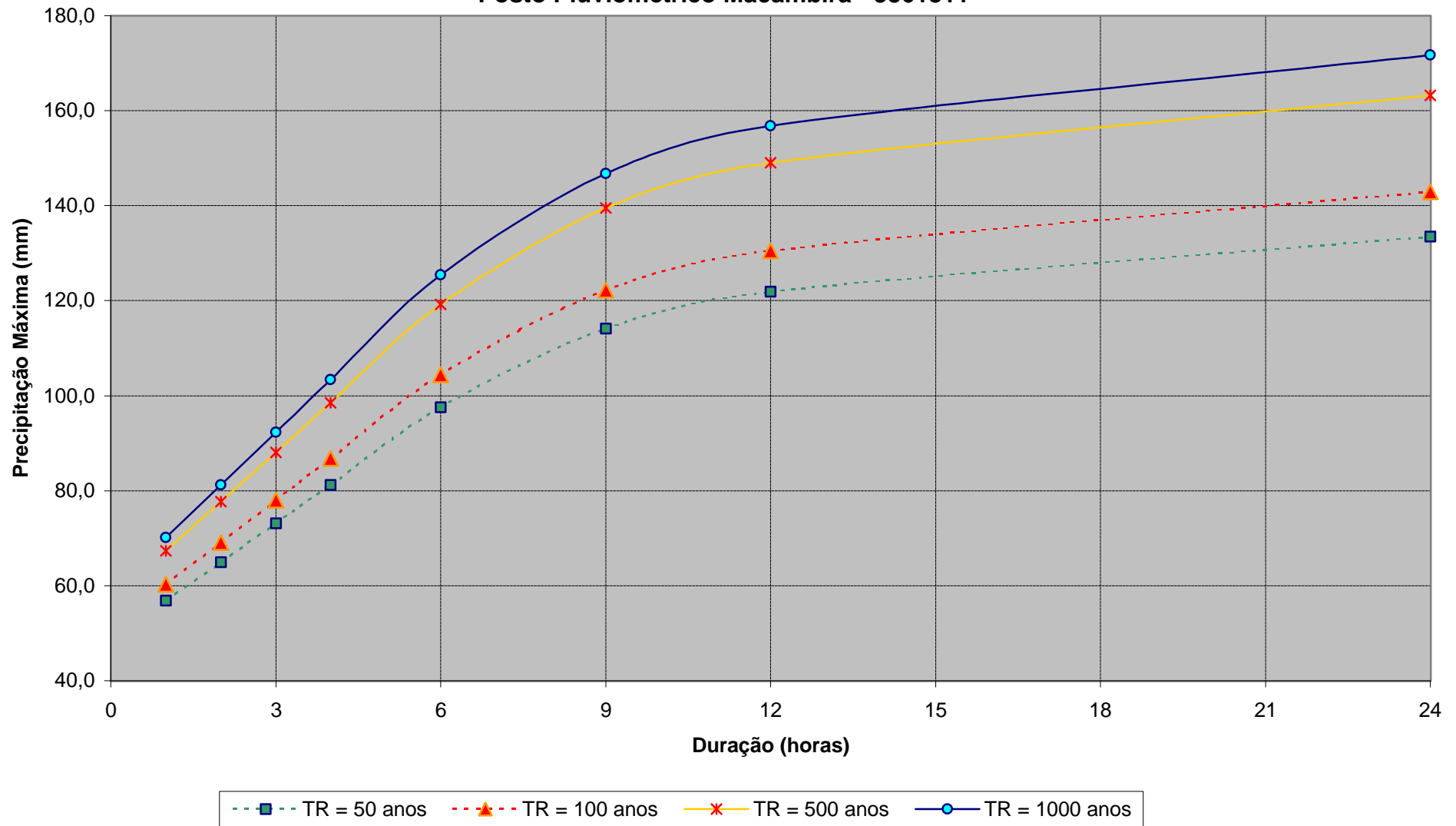


Figura 19 - Relação Totais Precipitados - Duração e Frequência para o Posto Pluviométrico Terra Nova - 3861425

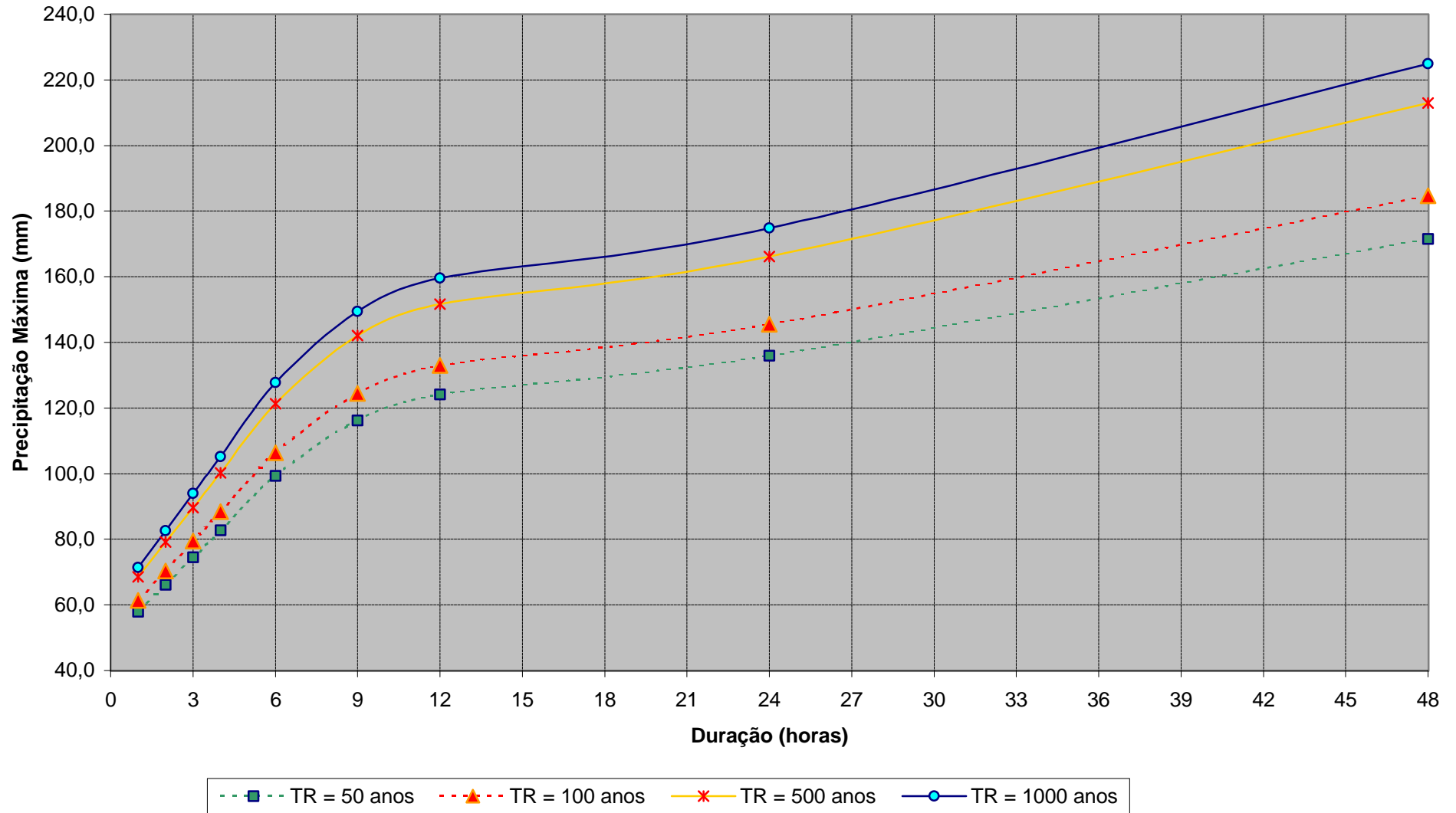


Figura 20 - Relação Totais Precipitados - Duração e Frequência para o Posto Pluviométrico Salgueiro - 3861178

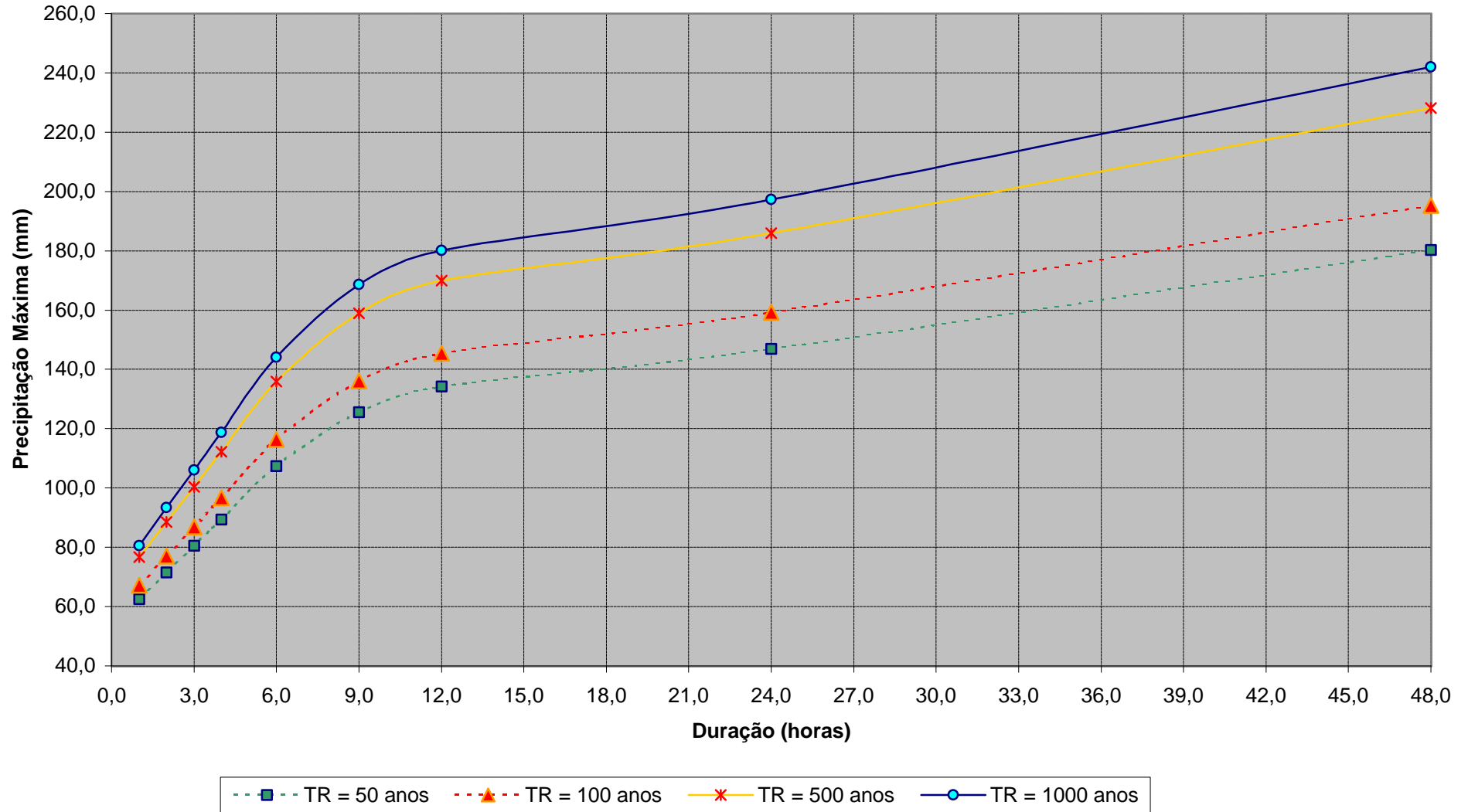


Figura 21 - Relação Totais Precipitados - Duração e Frequência para o Posto Pluviométrico Verdejante - 3852805

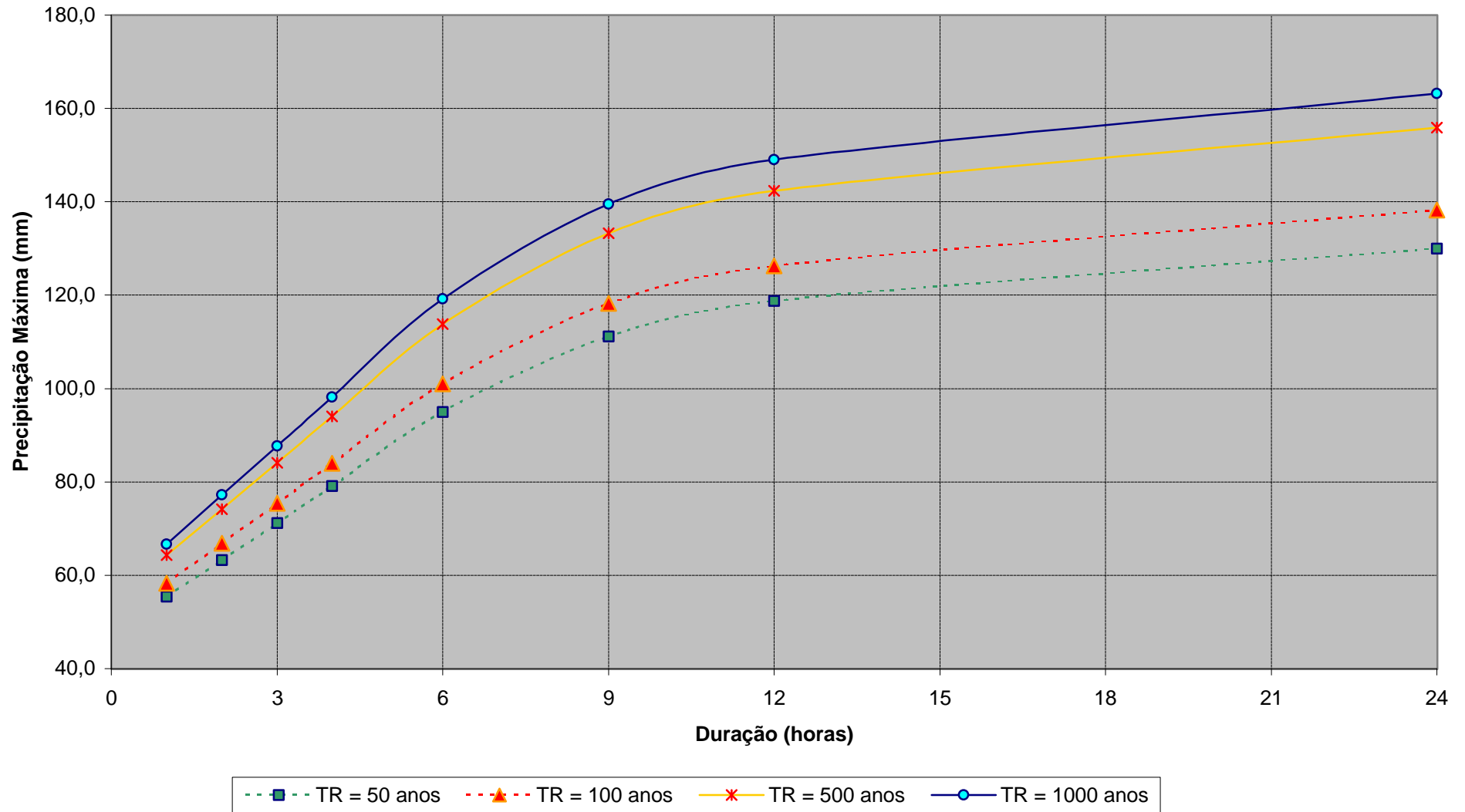


Figura 22 - Relação Totais Precipitados - Duração e Frequência para o Posto Pluviométrico Serrita - 3851839

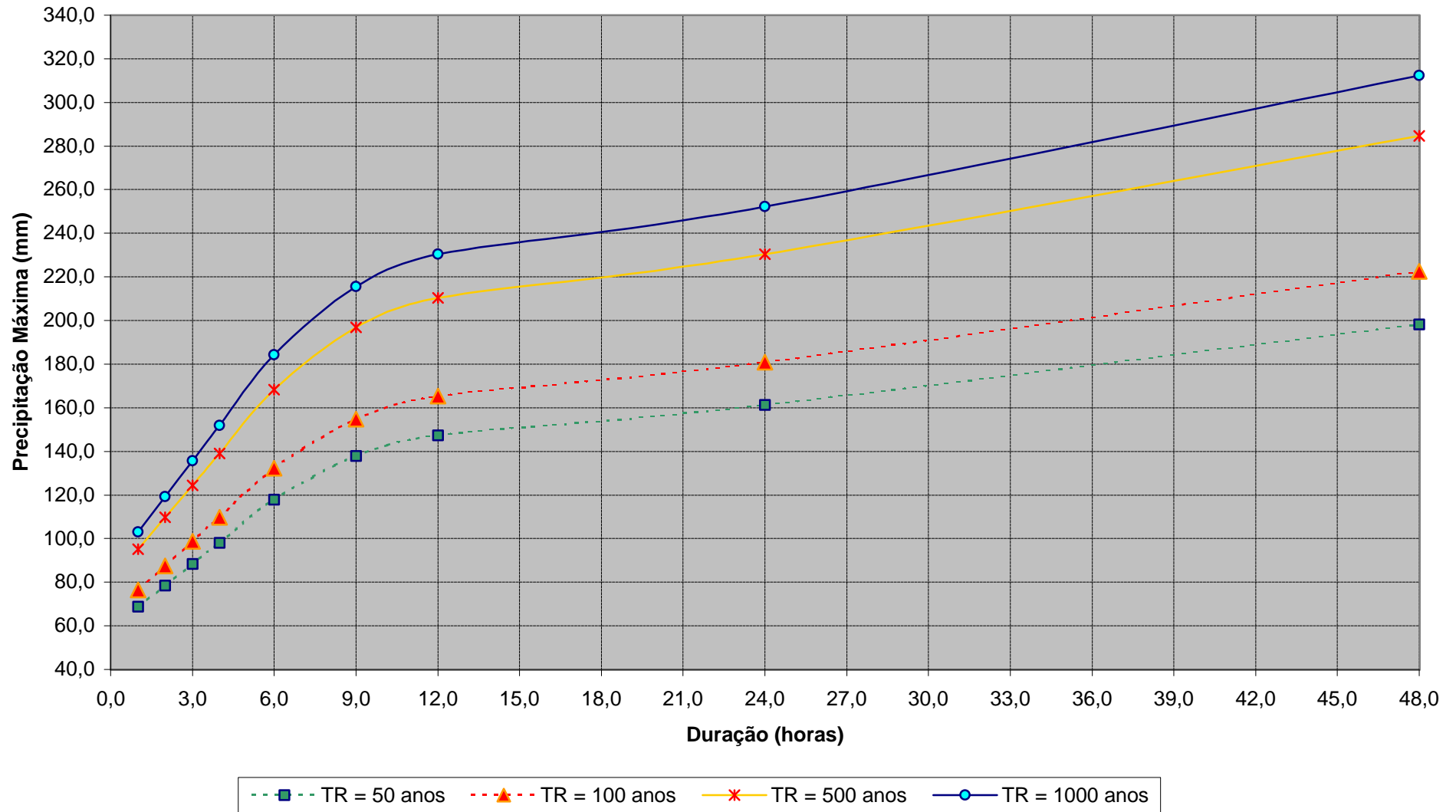


Figura 23 - Relação Totais Precipitados - Duração e Frequência para o Posto Pluviométrico Jati - 3851399

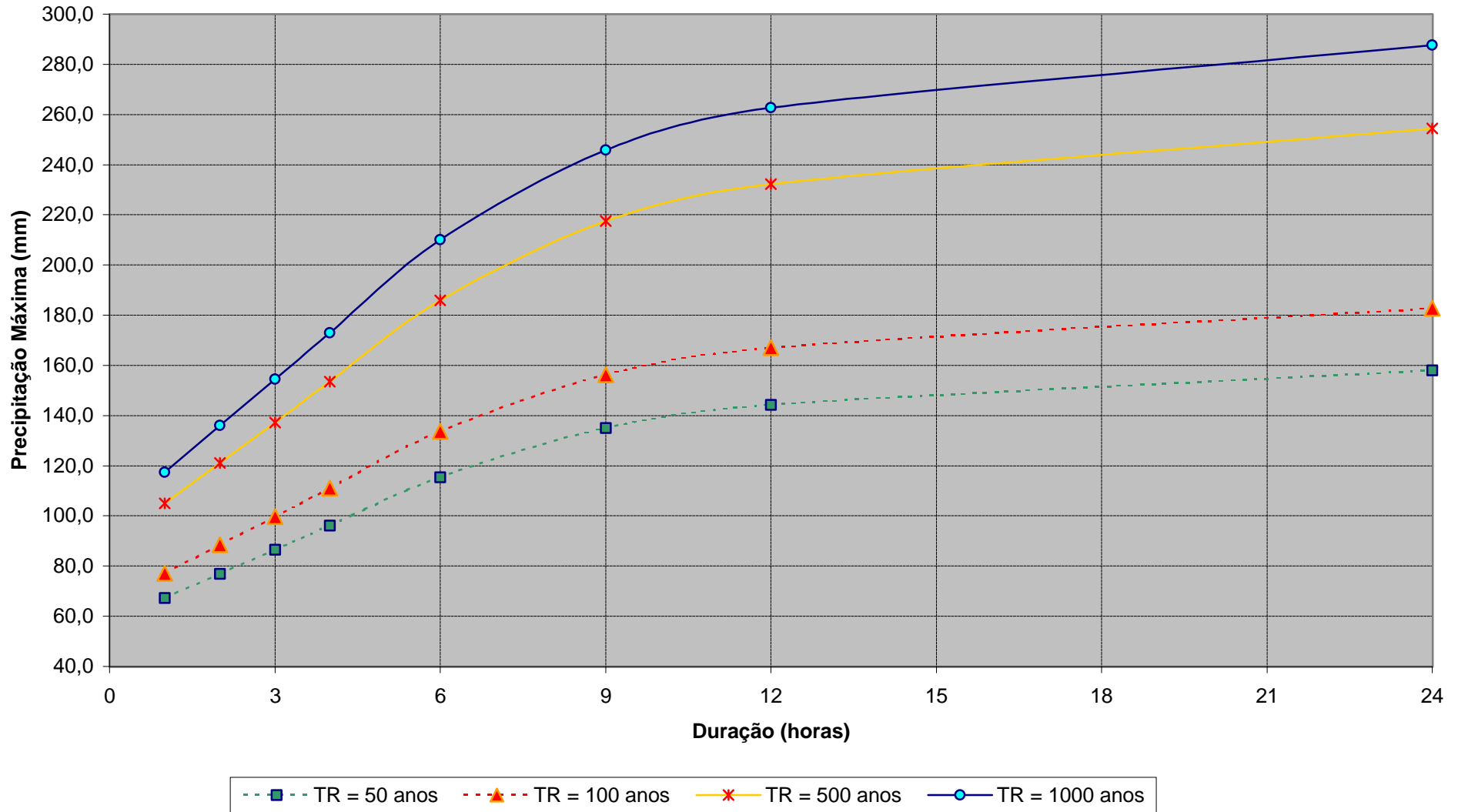
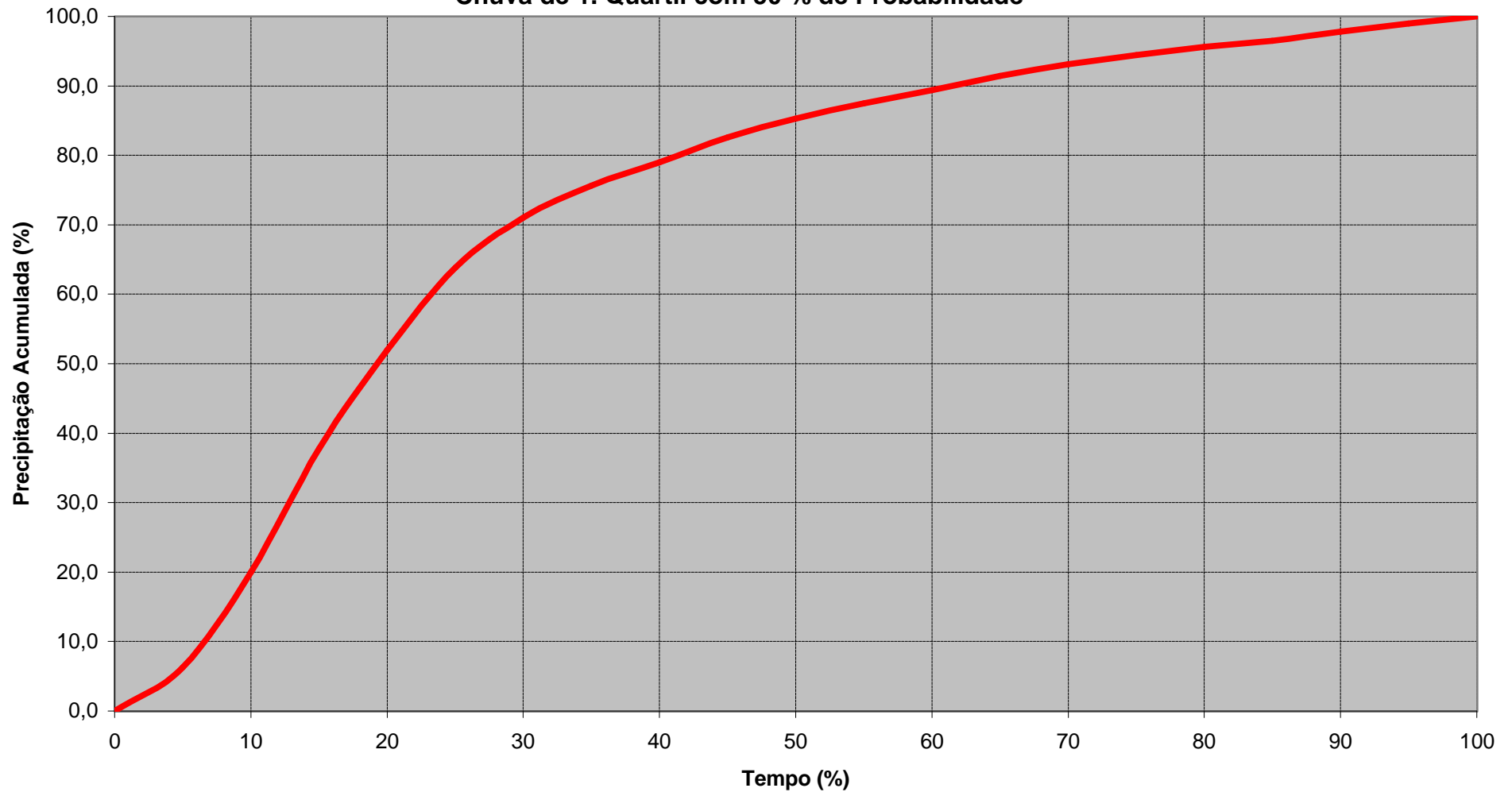


Figura 24 - Distribuição Temporal das Chuvas de Projeto
Chuva de 1. Quartil com 50 % de Probabilidade⁽¹⁾



(1) Huff, F. A . "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms", Water Resources Research, 1977

Figura 25 - Vazão de Projeto para Pequenas Drenagens em função da Área da Bacia Hidrográfica
TR = 50 anos

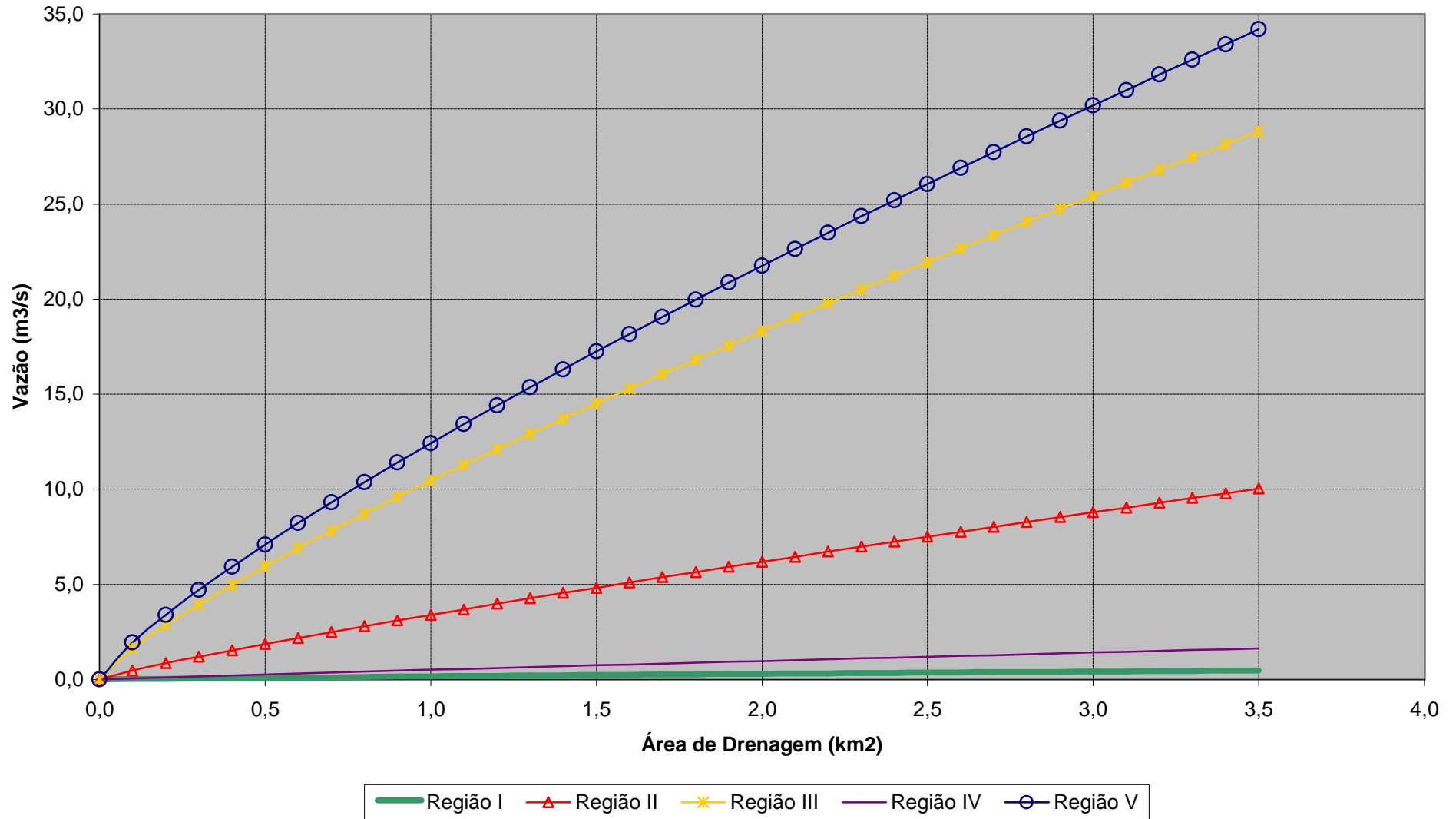


Figura 26 - Vazão de Projeto para Pequenas Drenagens em função da Área da Bacia Hidrográfica
TR = 100 anos

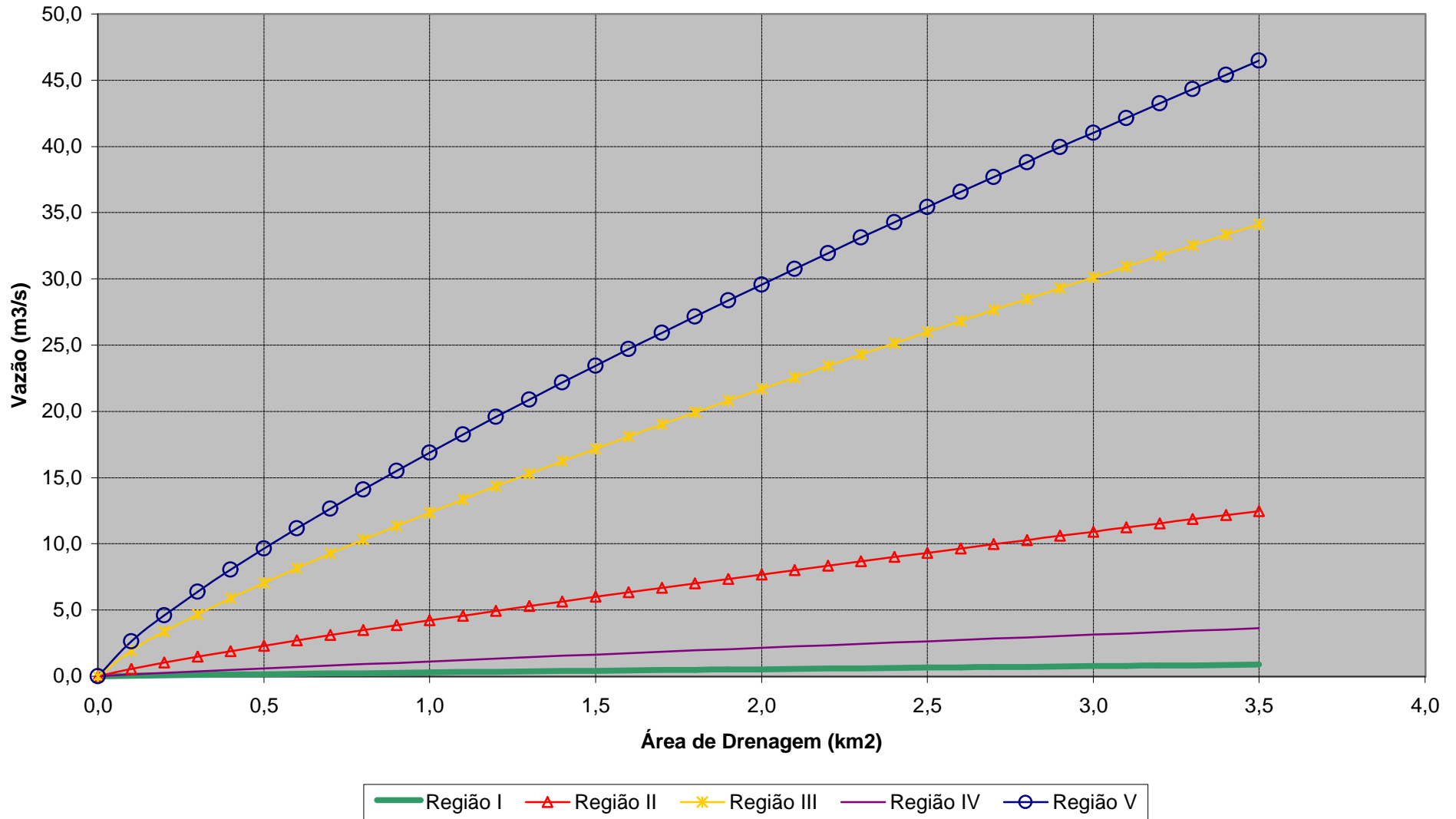


Figura 27 - Hidrogramas de Projeto da Estrutura de Extravasão da Barragem do Tucutú - Trecho I

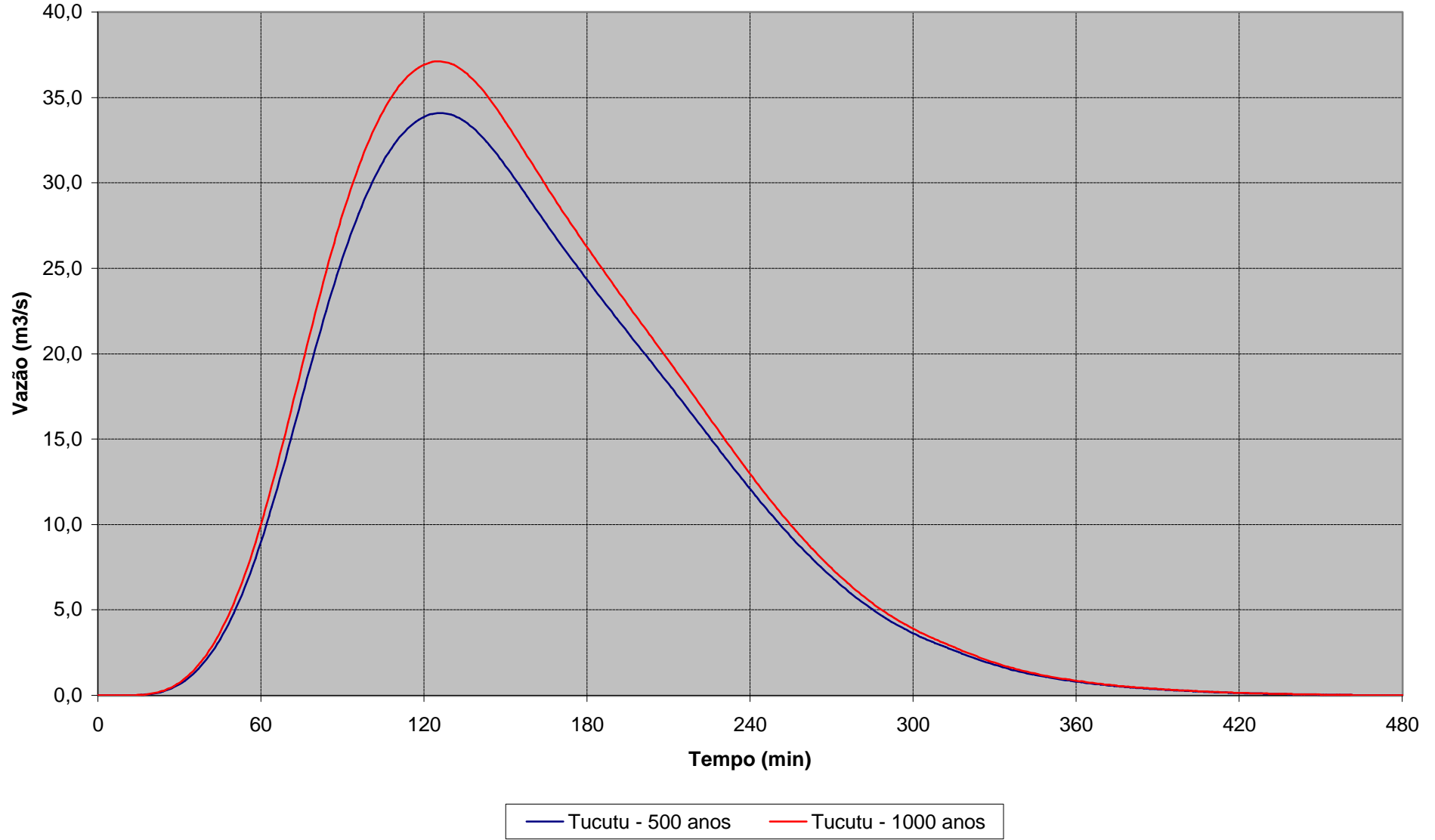


Figura 28 - Hidrogramas de Projeto da Estrutura de Extravasão da Barragem Terra Nova - Trecho I

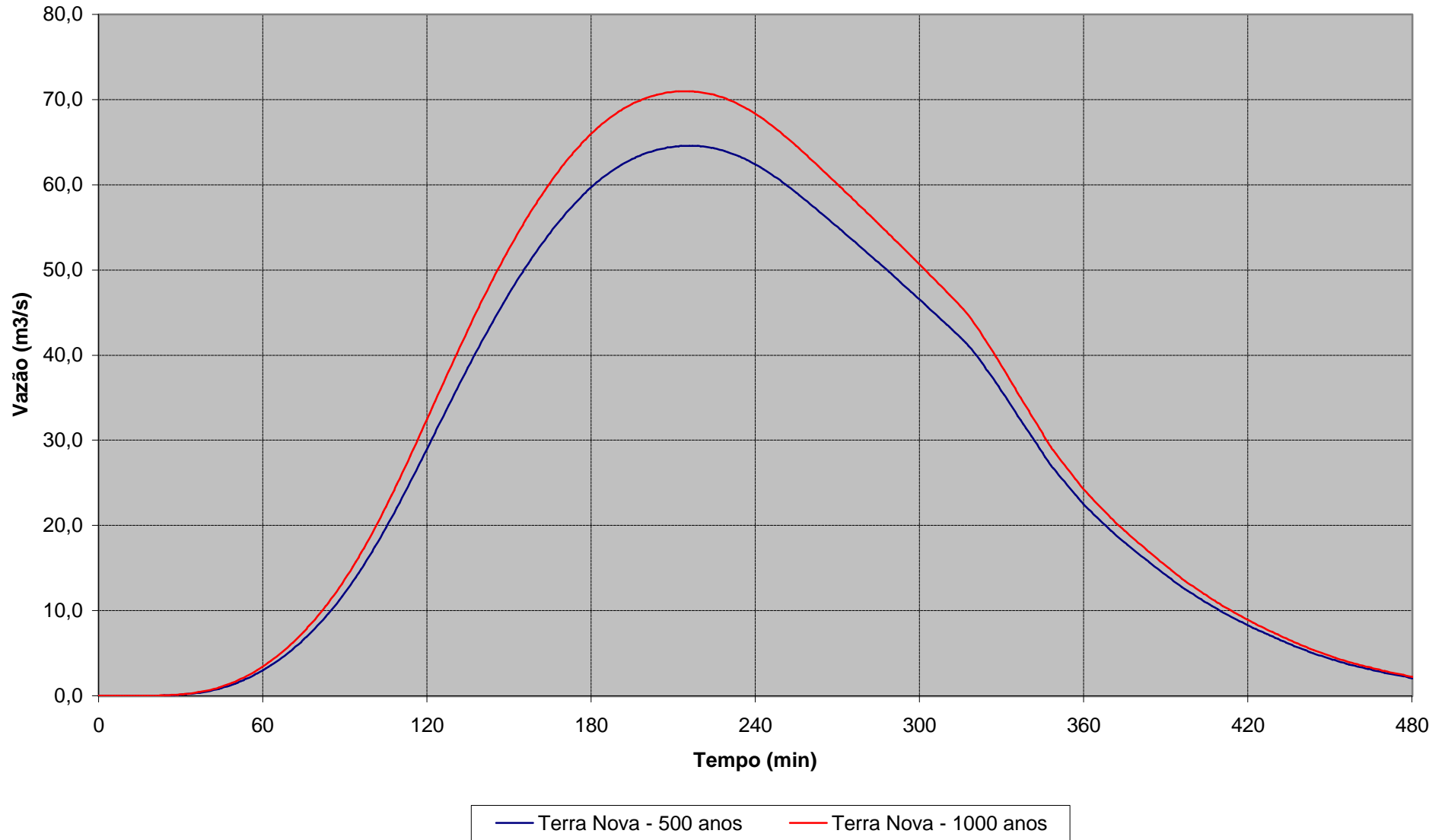


Figura 29 - Hidrogramas de Projeto da Estrutura de Extravasão da Barragem Serra do Livramento - Trecho I

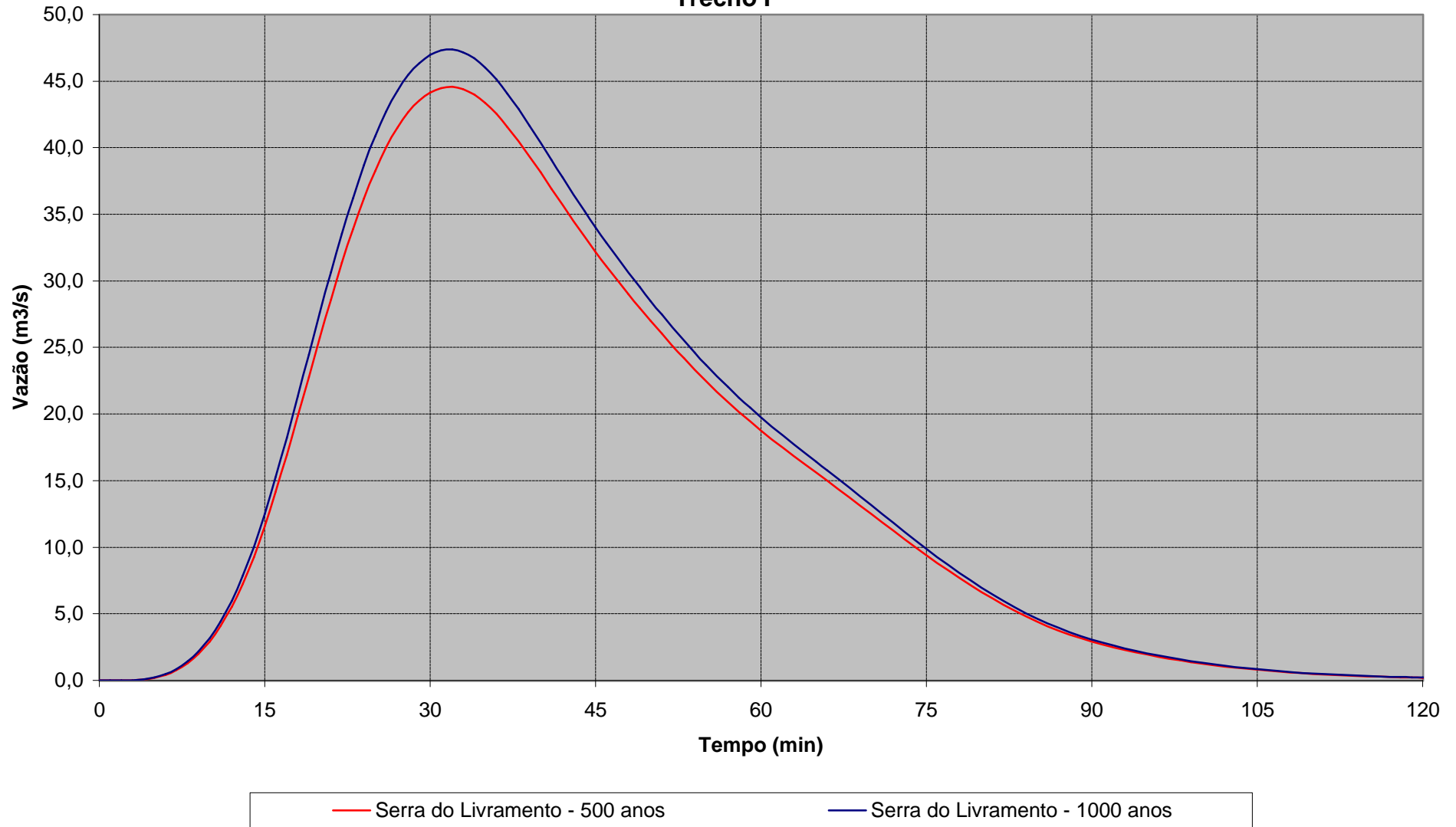
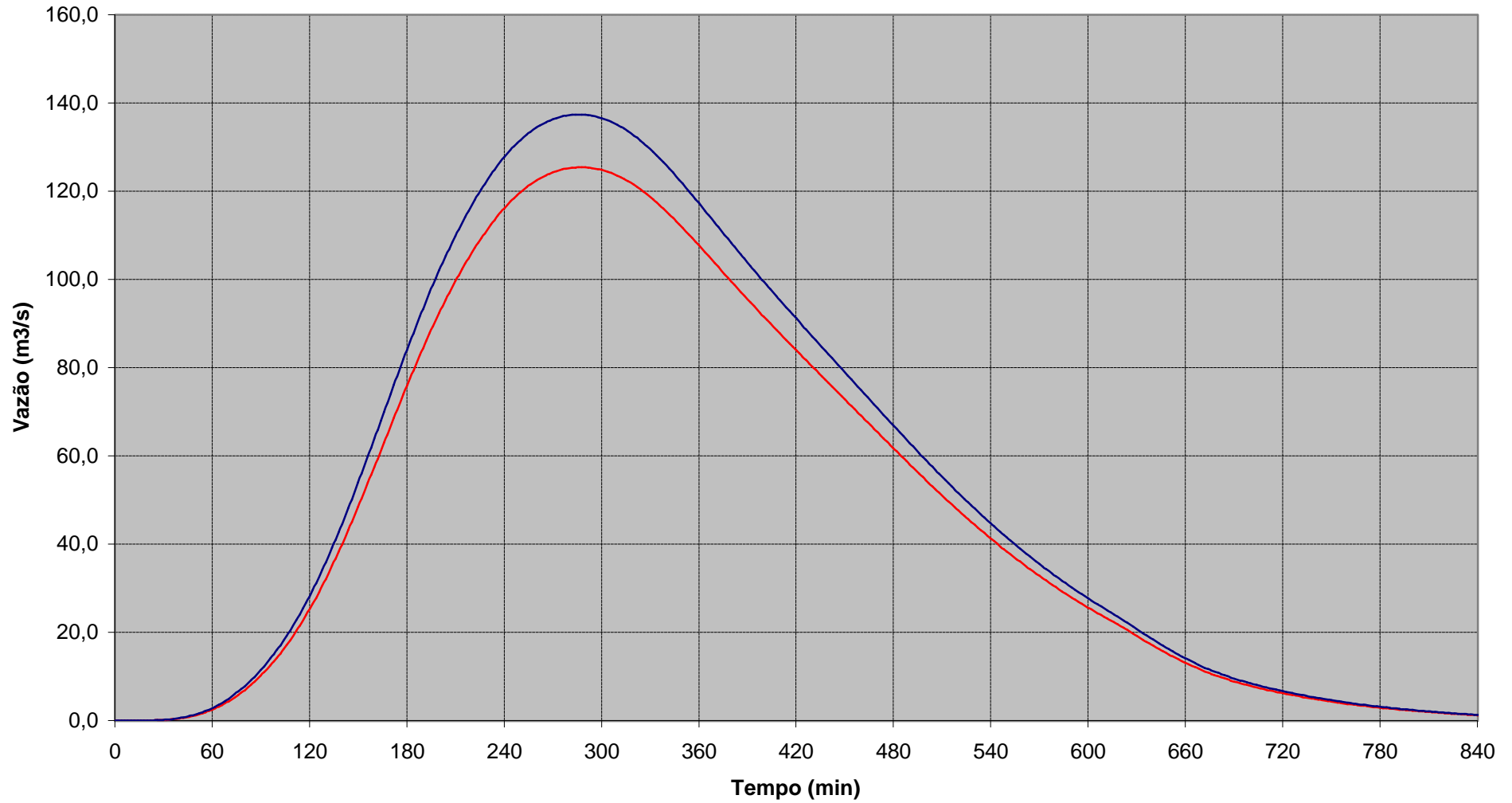


Figura 30 - Hidrogramas de Projeto da Estrutura de Extravasão da Barragem Mangueira - Trecho I



— Mangueira - 500 anos — Mangueira - 1000 anos

Figura 31 - Hidrogramas de Projeto da Estrutura de Extravasão da Barragem Negreiros - Trecho I

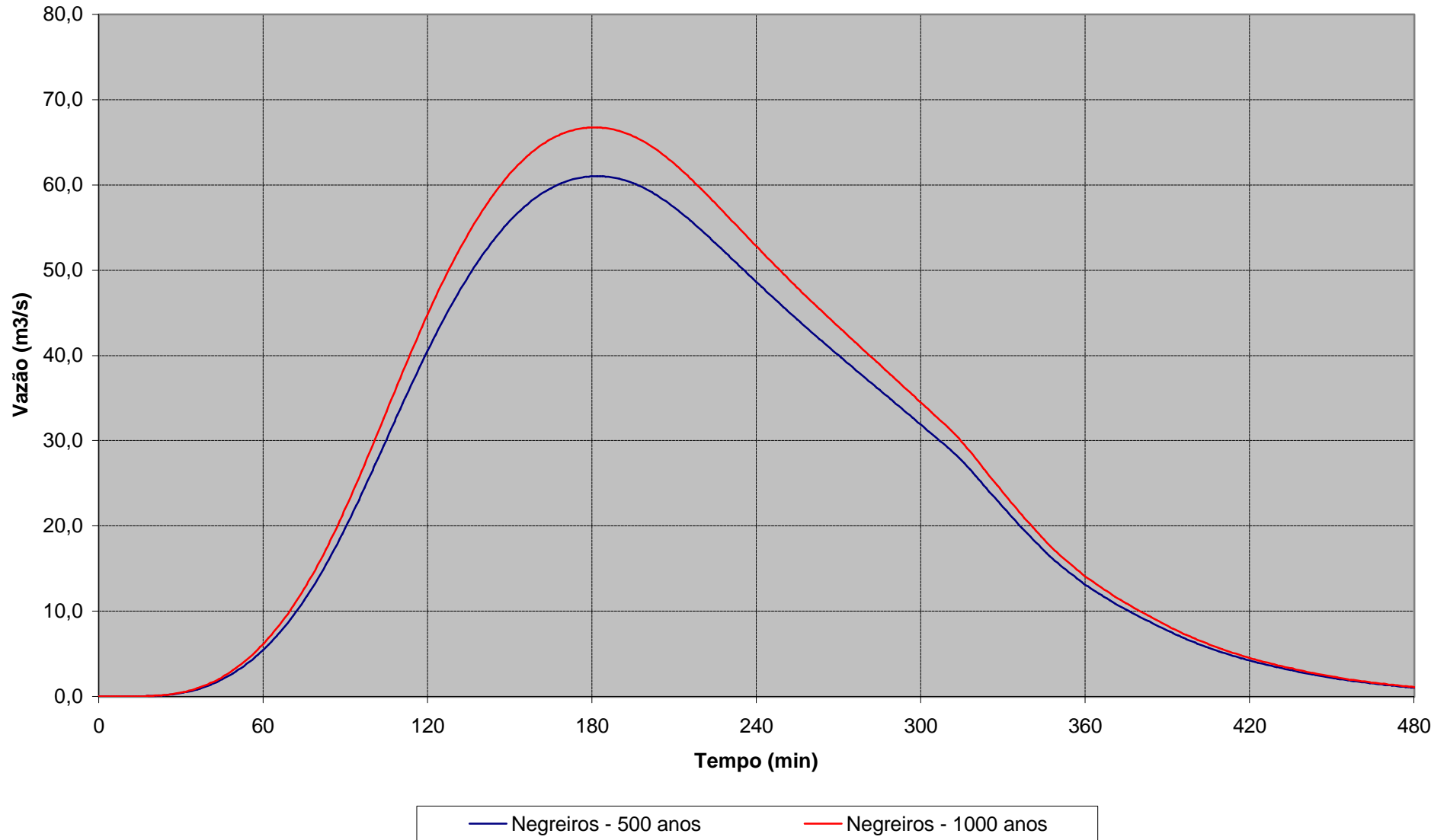


Figura 32 - Hidrogramas de Projeto da Estrutura de Extravasão da Barragem Milagres - Trecho I

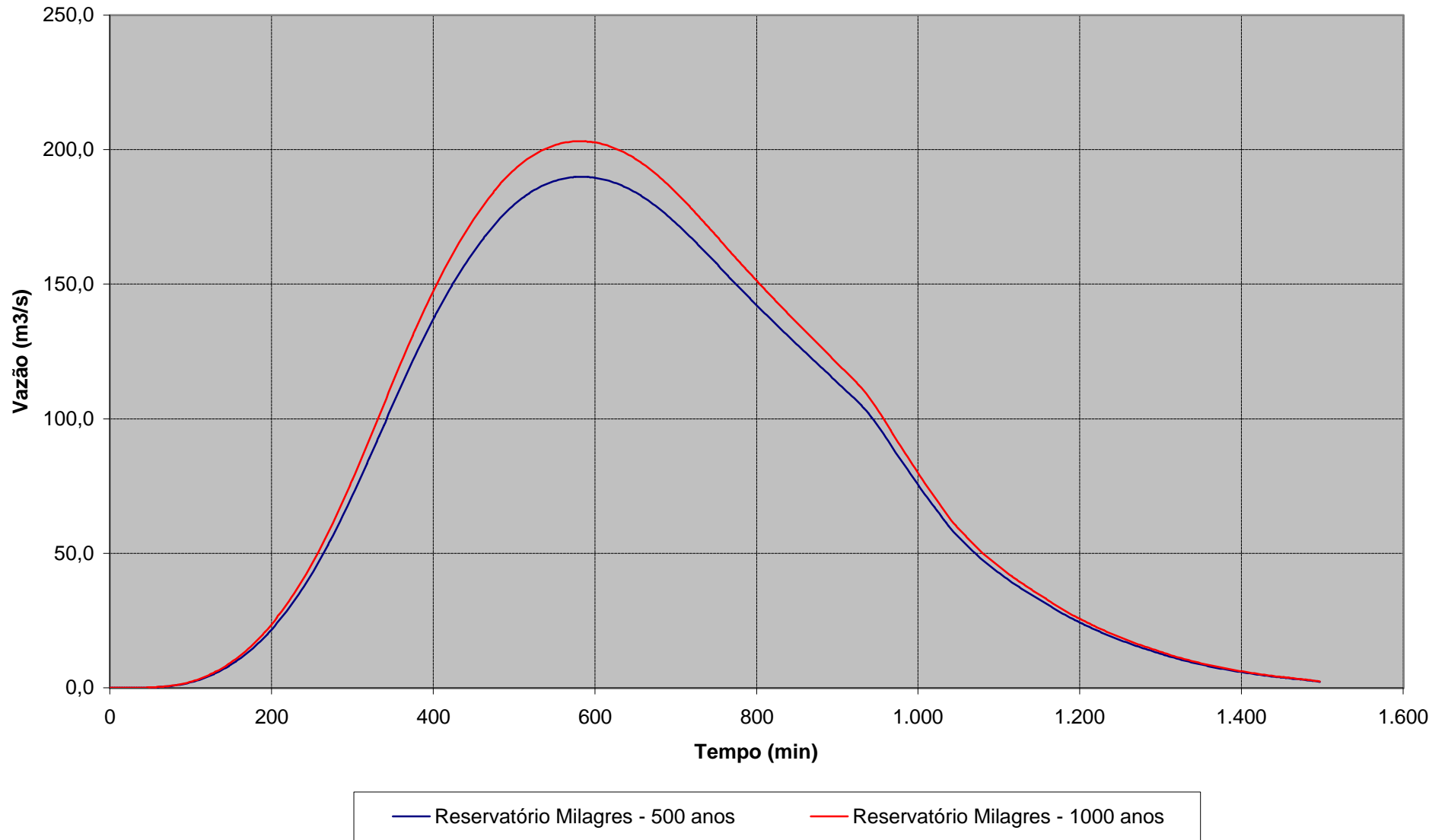
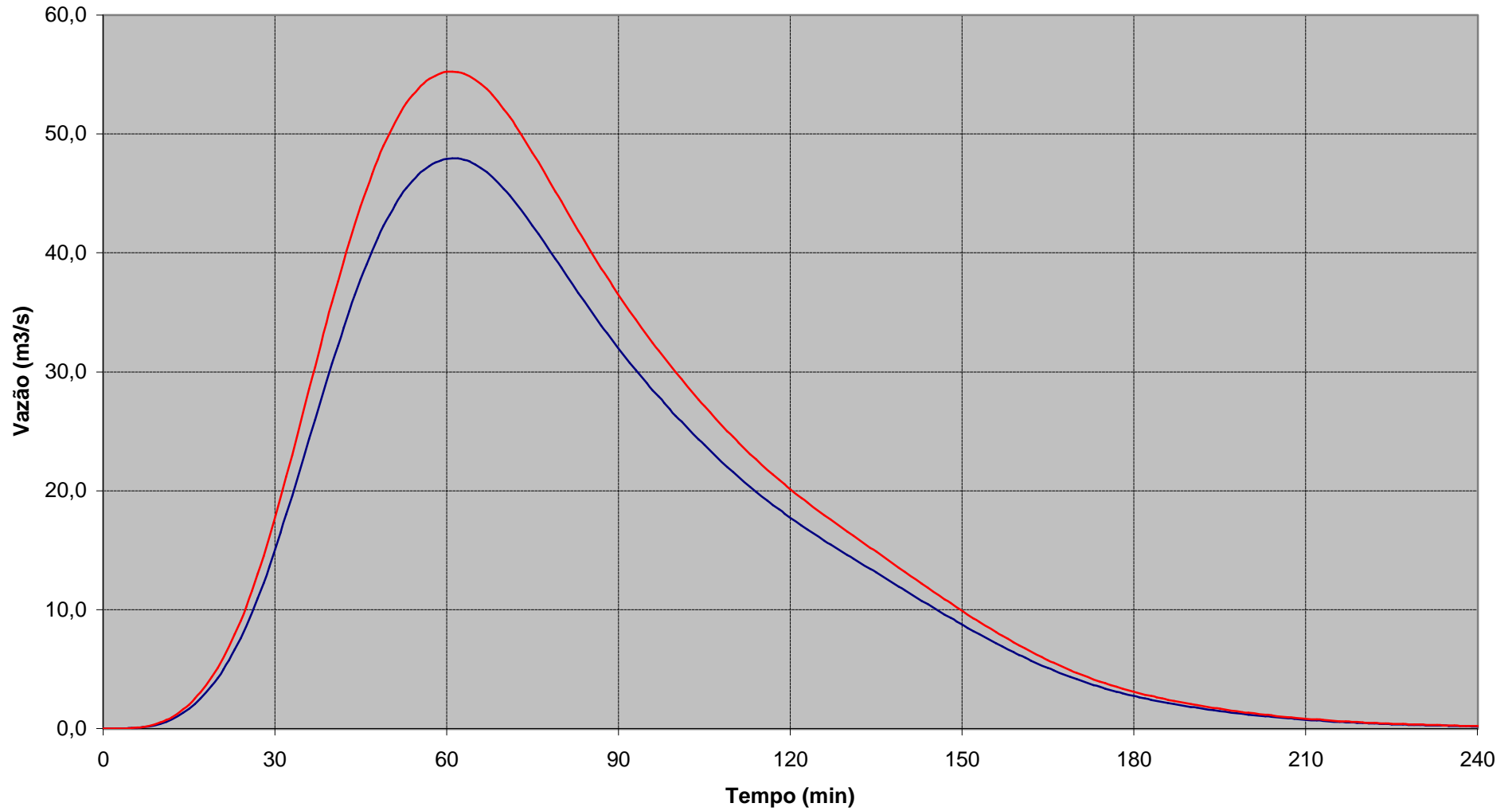


Figura 33 - Hidrogramas de Projeto da Estrutura de Extravasão da Barragem Jati - Trecho I



— Jati - 500 anos — Jati - 1000 anos

Figura 34 - Hidrogramas de Projeto do Aqueduto Logradouro - Trecho I

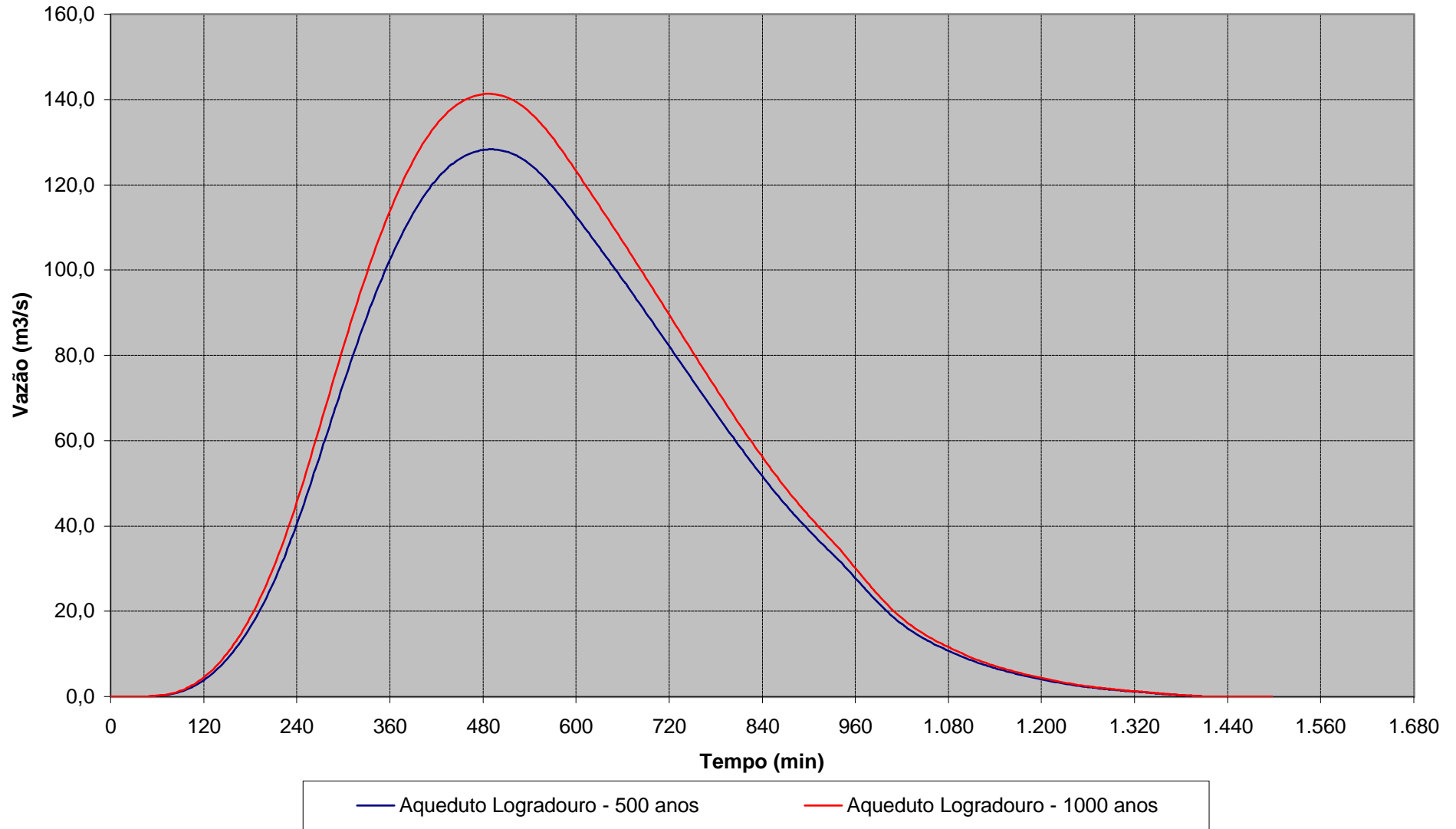


Figura 35 - Hidrogramas de Projeto do Aqueduto Saco da Serra - Trecho I

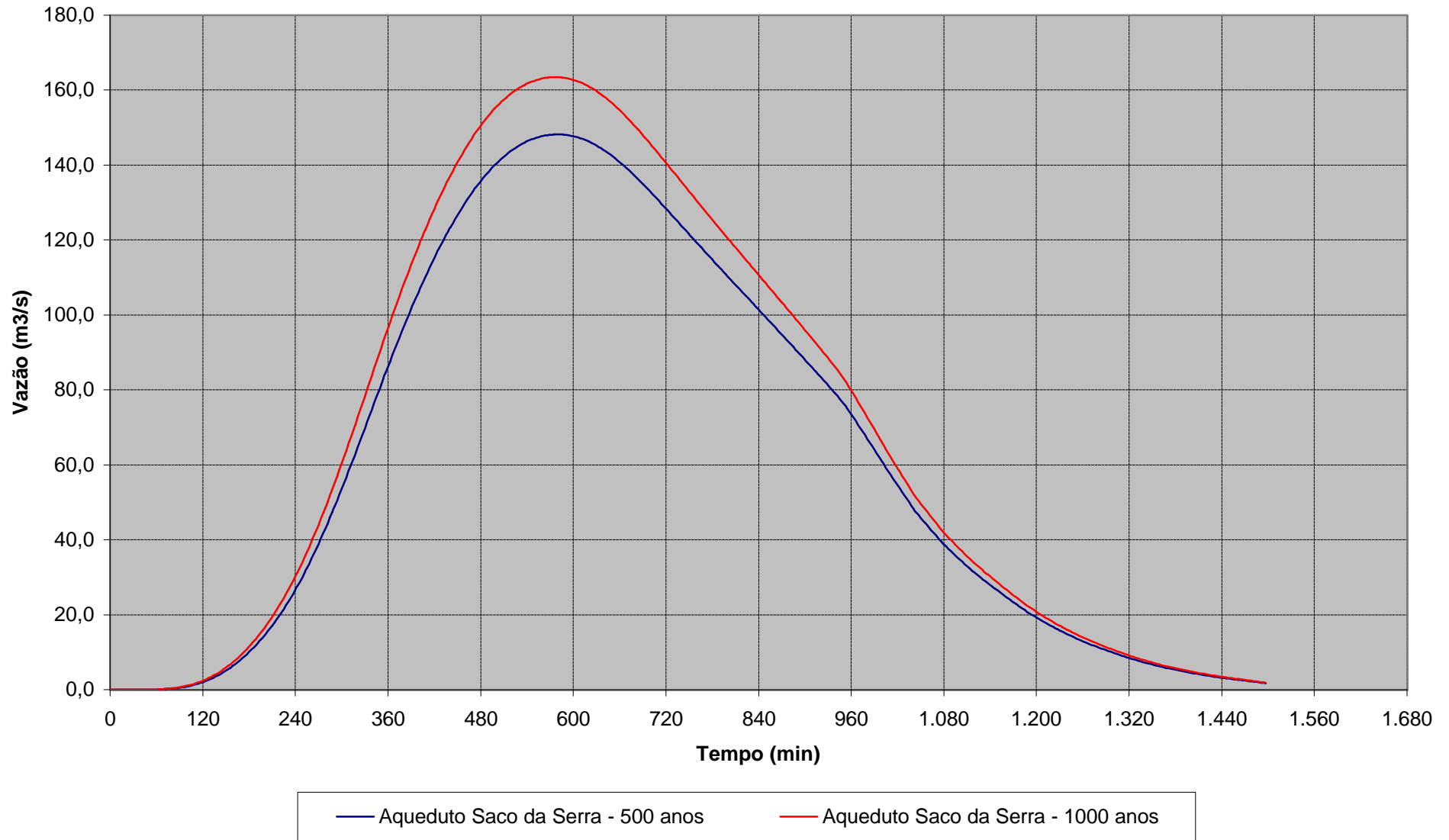


Figura 36 - Hidrogramas de Projeto do Aqueduto Mari - Trecho I

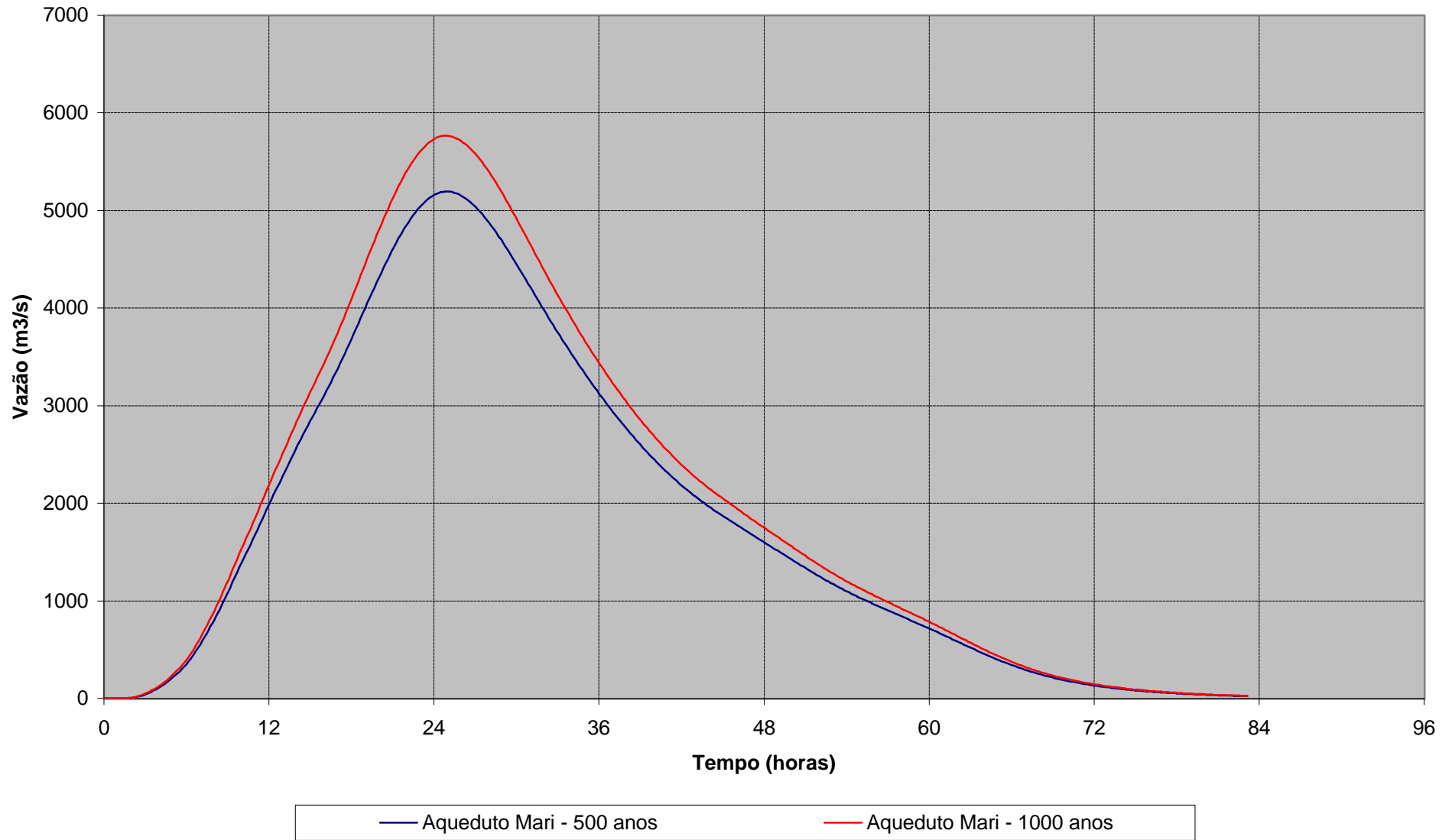
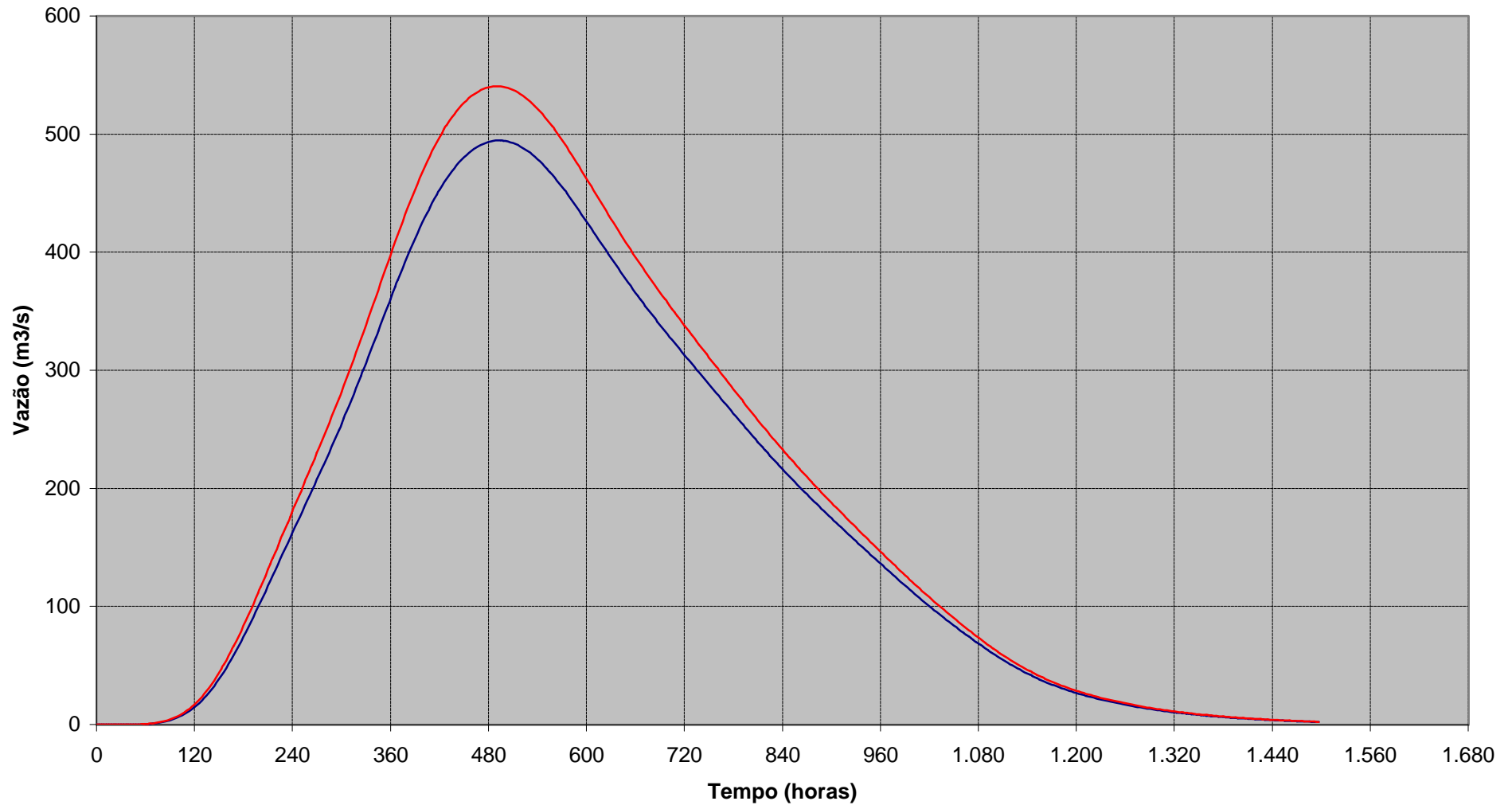


Figura 37 - Hidrogramas de Projeto do Aqueduto Terra Nova - Trecho I



— Aqueduto Terra Nova - 500 anos — Aqueduto Terra Nova - 1000 anos

Figura 38 - Hidrogramas de Projeto do Aqueduto Salgueiro - Trecho I

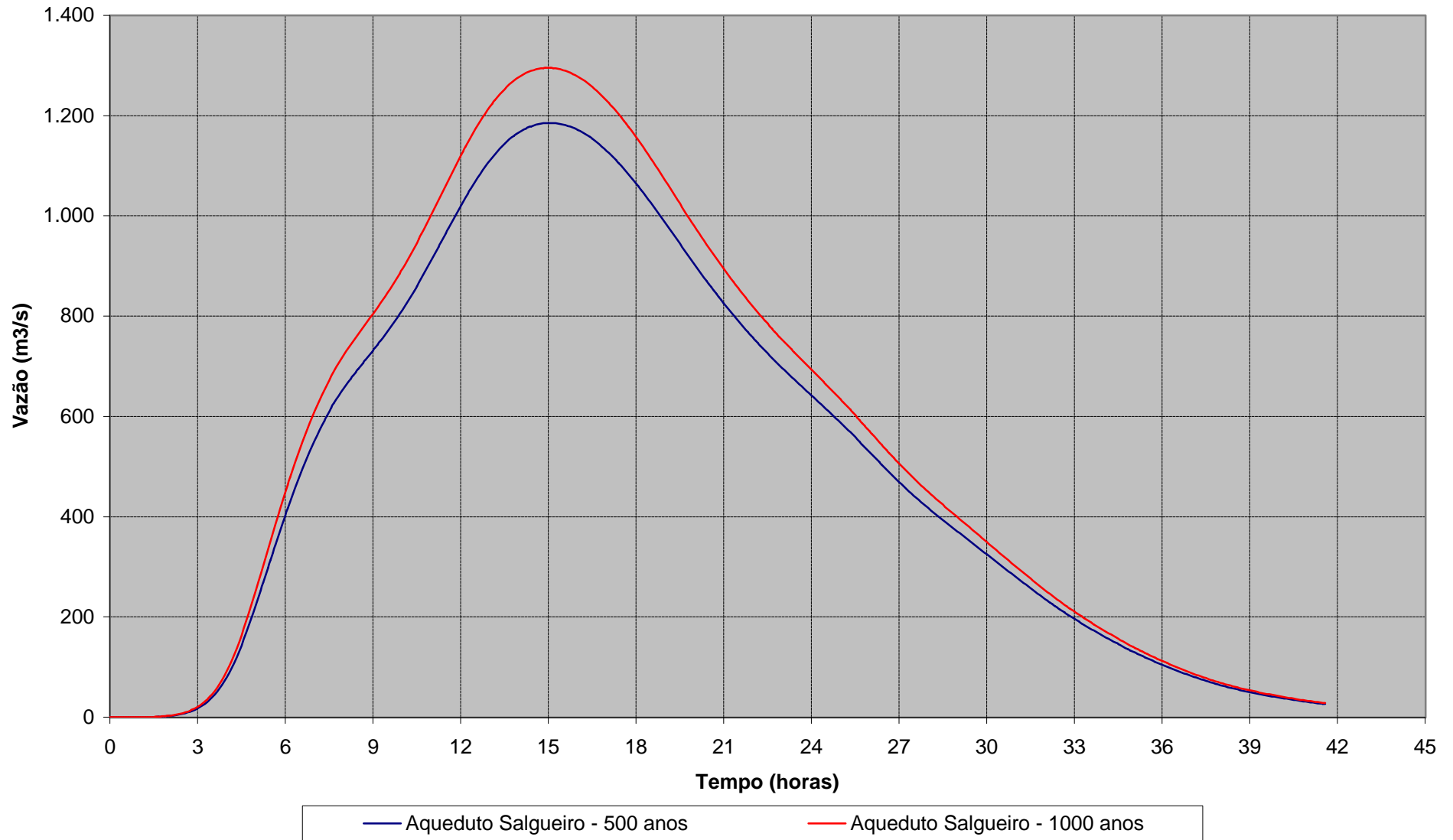


Figura 39 - Hidrogramas de Projeto da Bacia Hidrográfica da Estrutura de Drenagem A

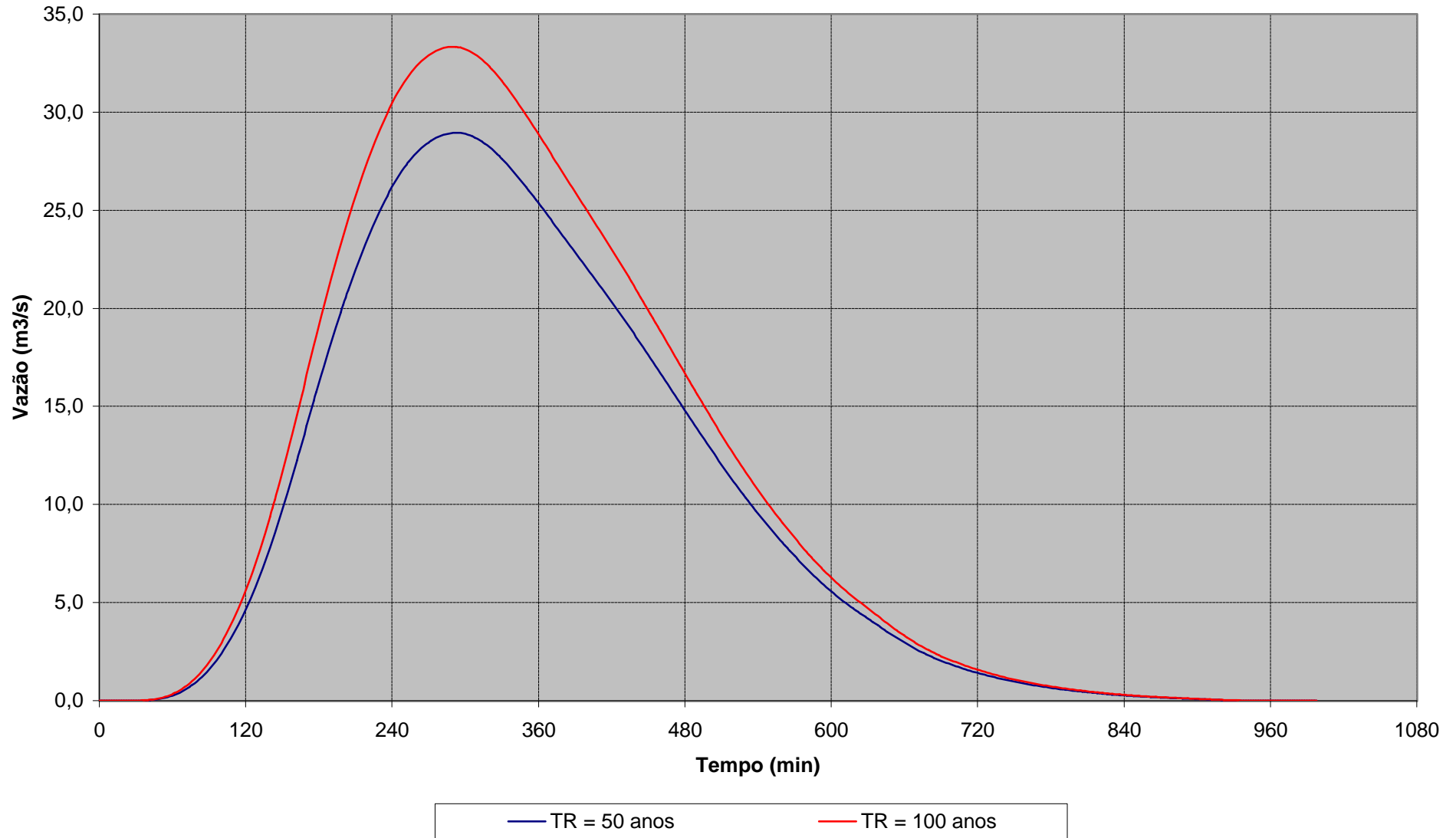


Figura 40 - Hidrogramas de Projeto da Bacia Hidrográfica da Estrutura de Drenagem B

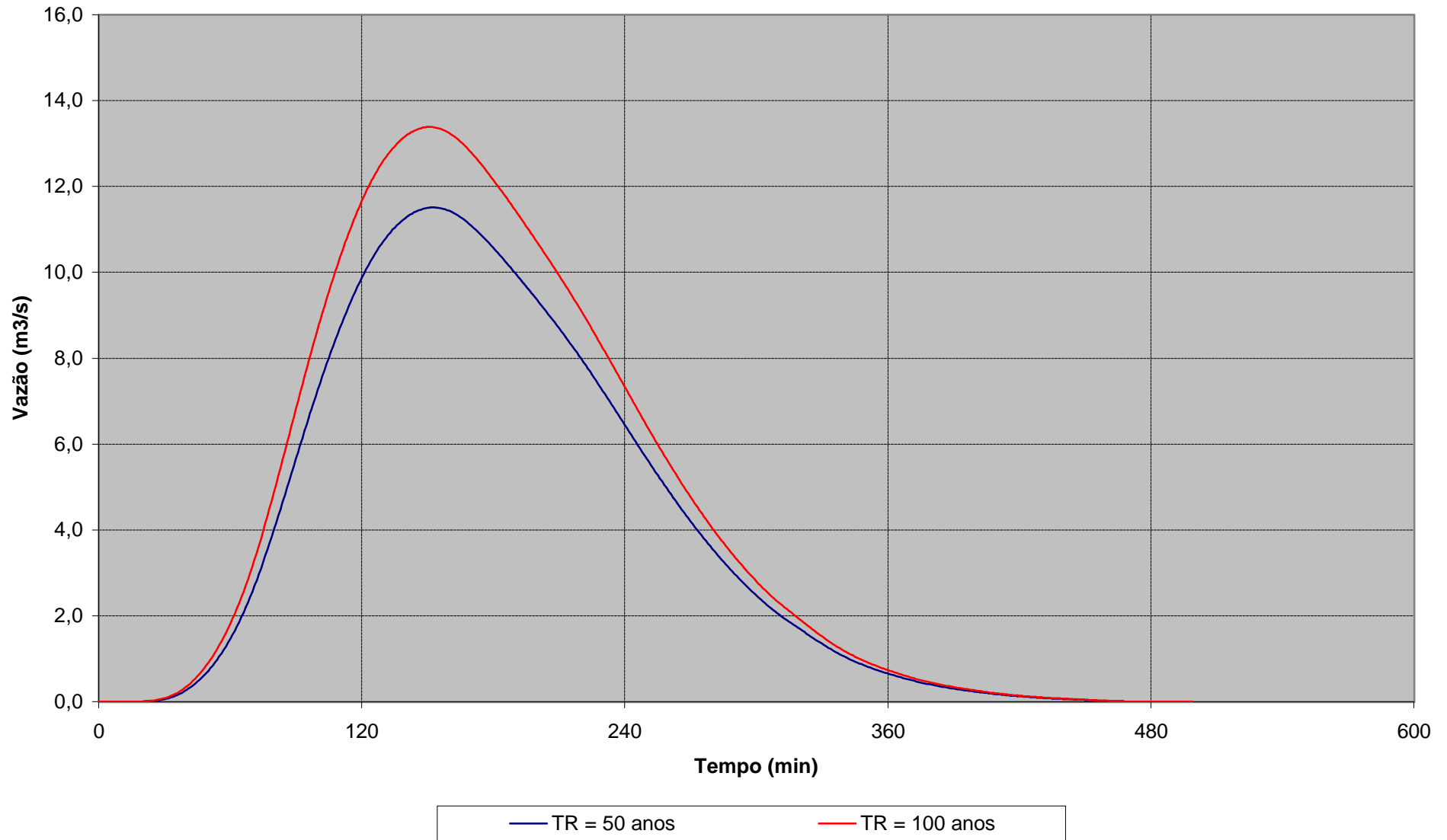


Figura 41 - Hidrogramas de Projeto da Bacia Hidrográfica da Estrutura de Drenagem C

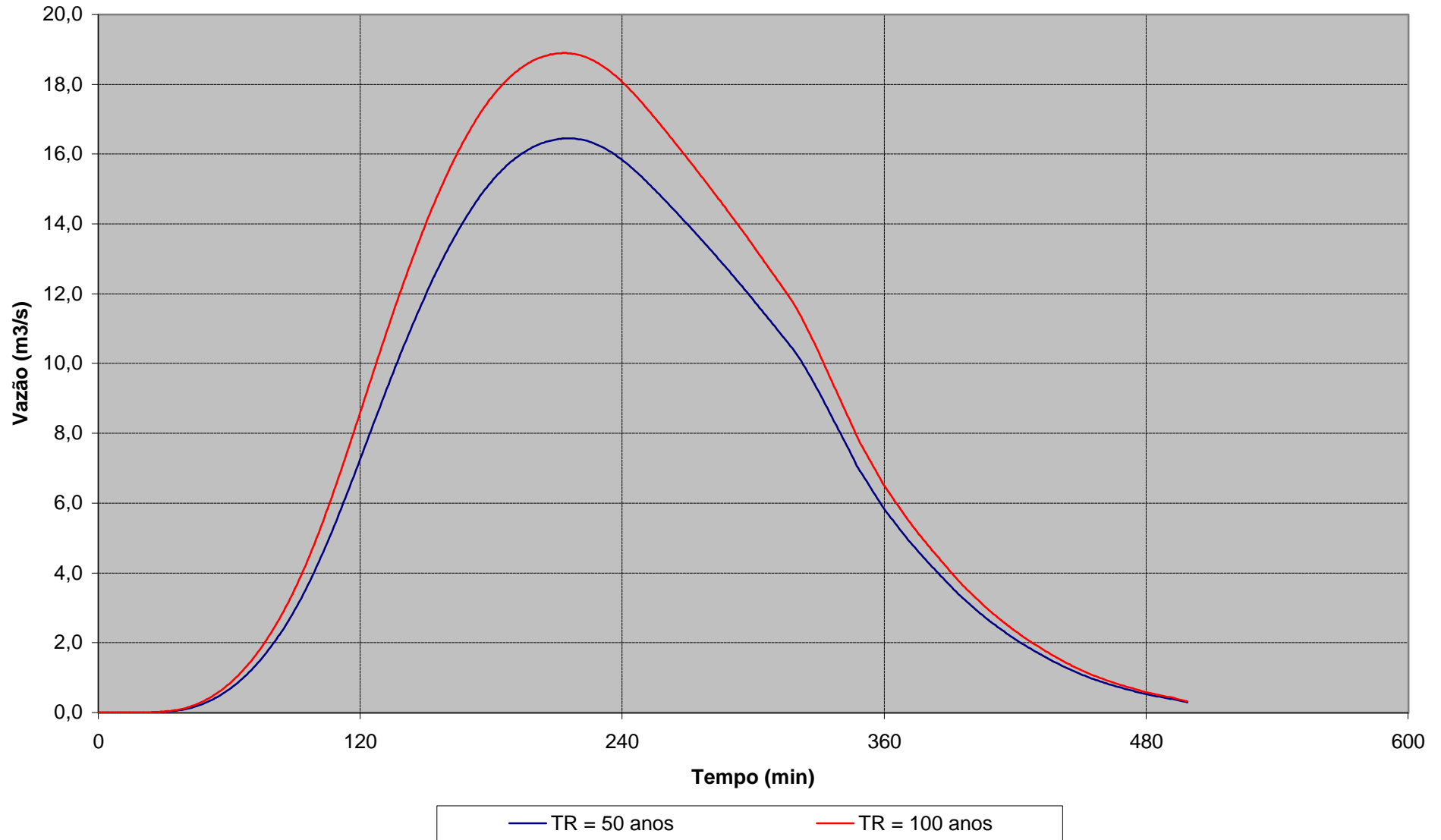


Figura 42 - Hidrogramas de Projeto da Bacia Hidrográfica da Estrutura de Drenagem D

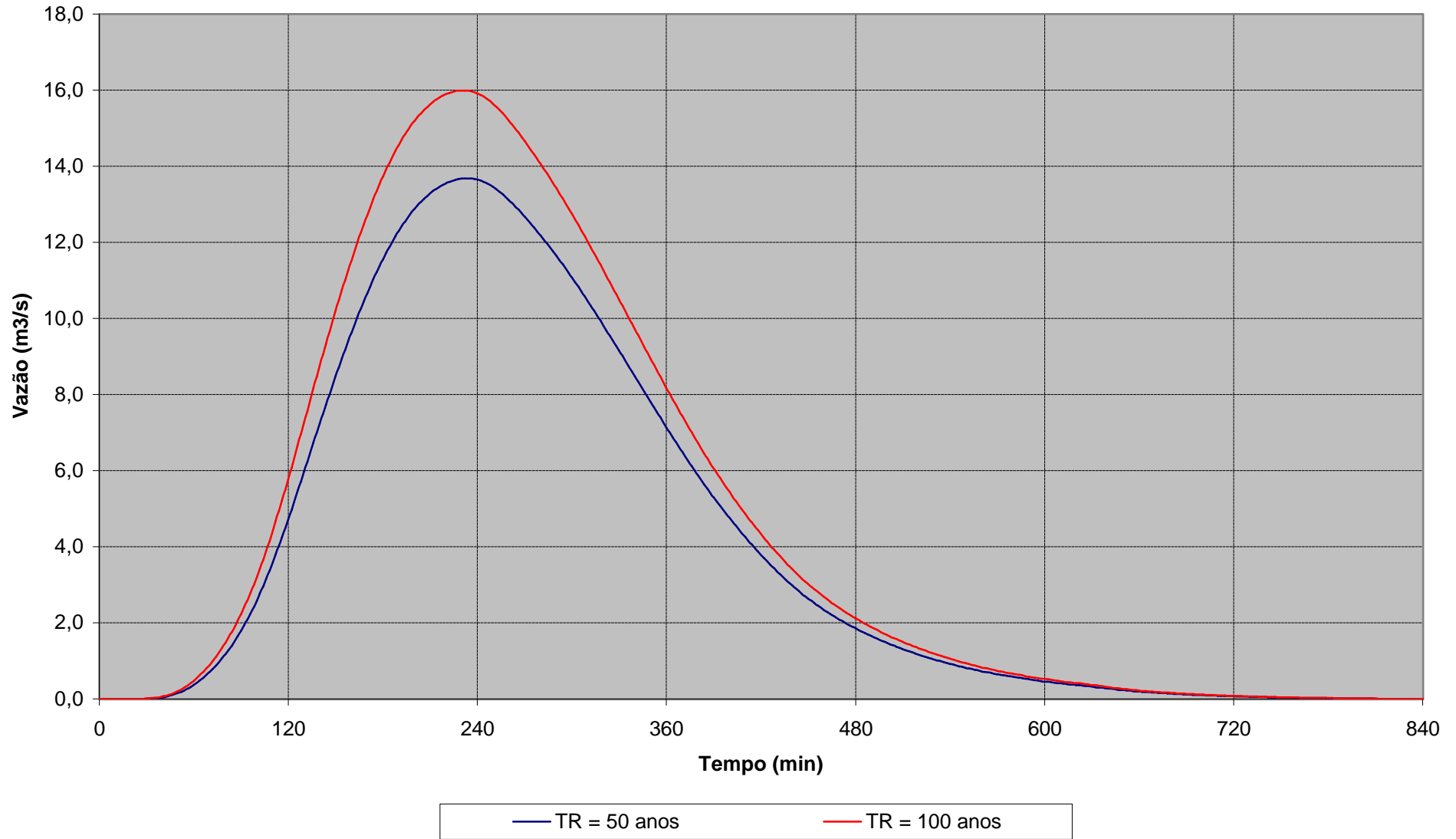


Figura 43 - Hidrogramas de Projeto da Bacia Hidrográfica da Estrutura de Drenagem E

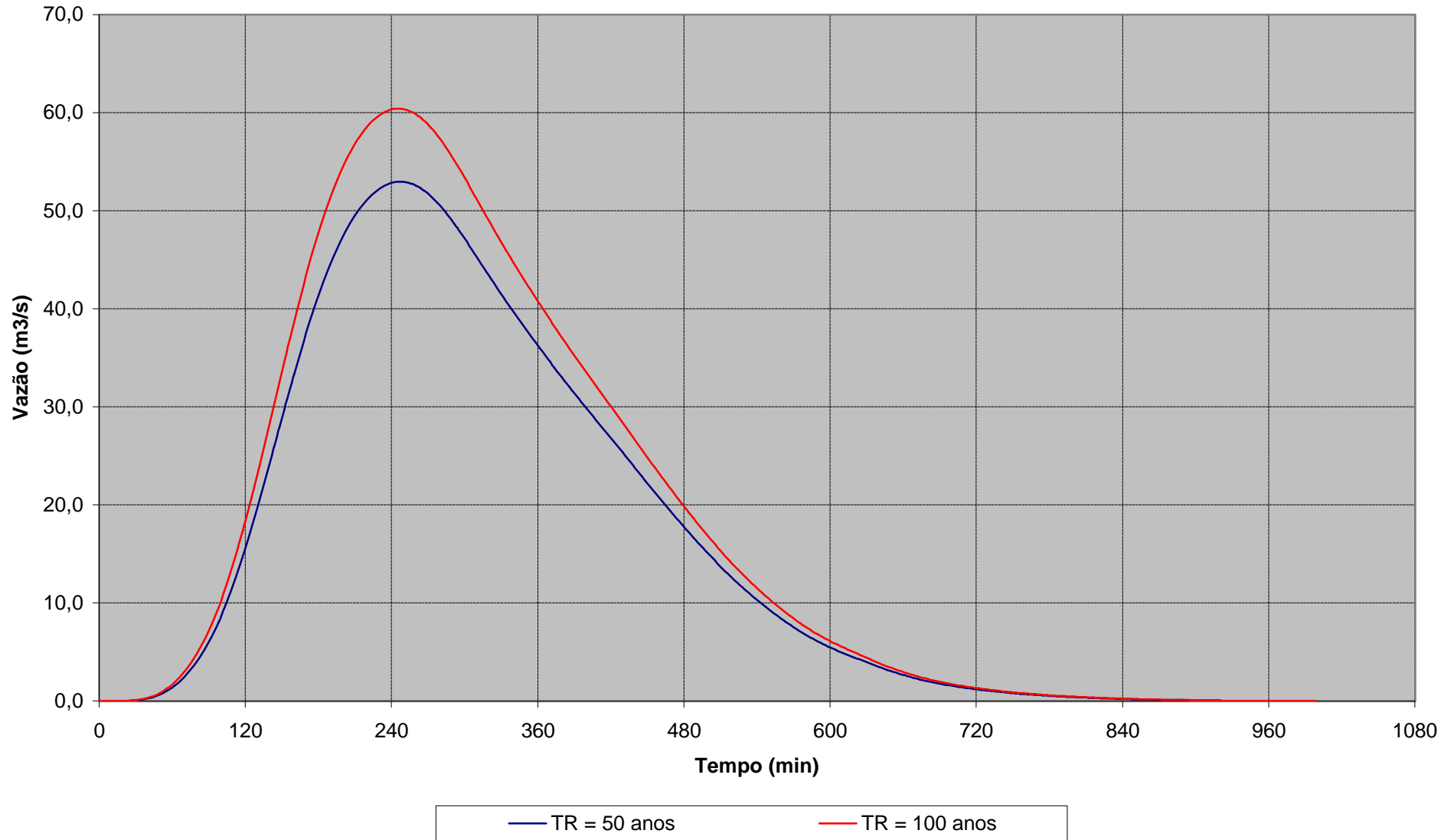


Figura 44 - Hidrogramas de Projeto da Bacia Hidrográfica da Estrutura de Drenagem F

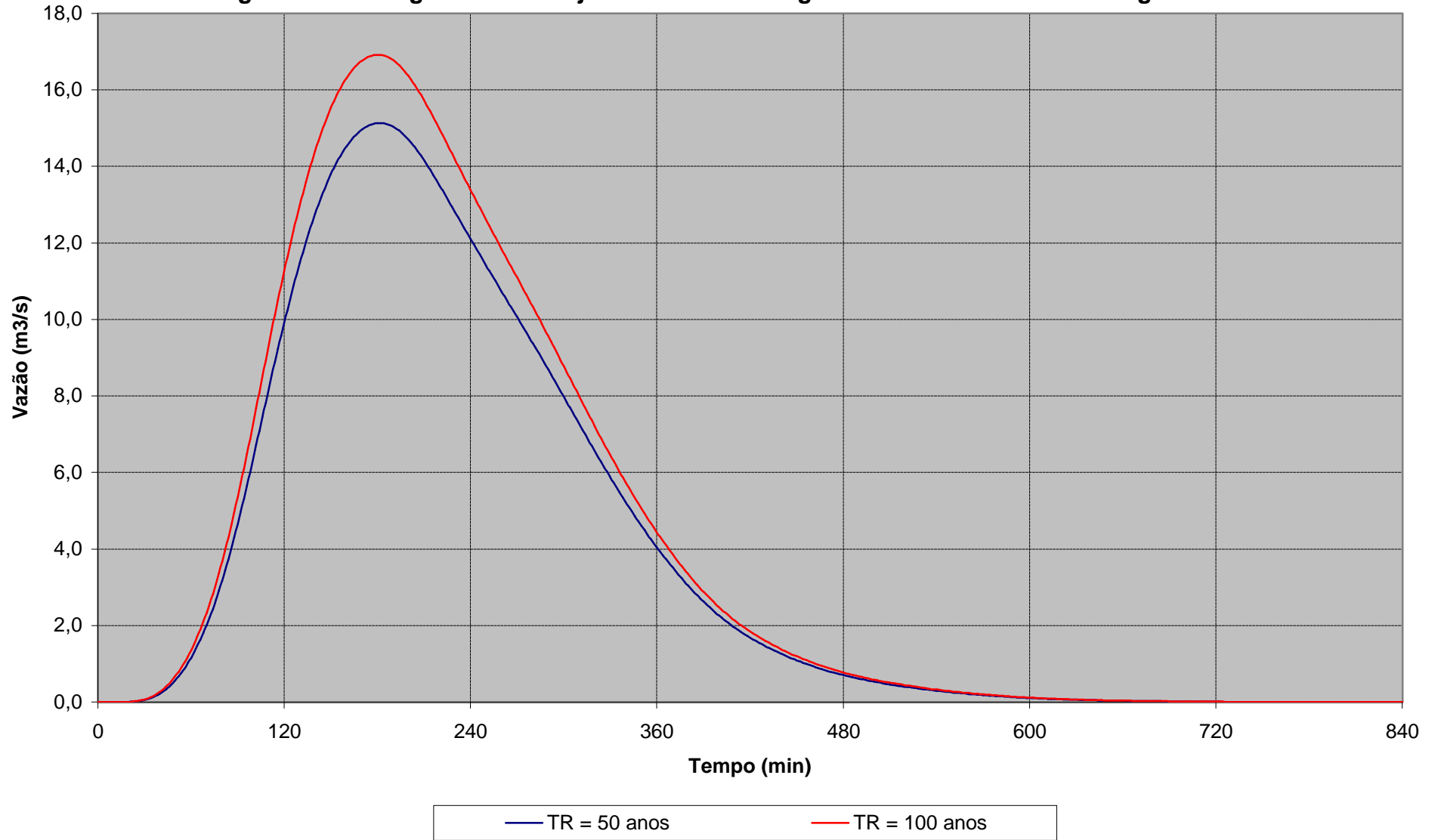


Figura 45 - Hidrogramas de Projeto da Bacia Hidrográfica da Estrutura de Drenagem G

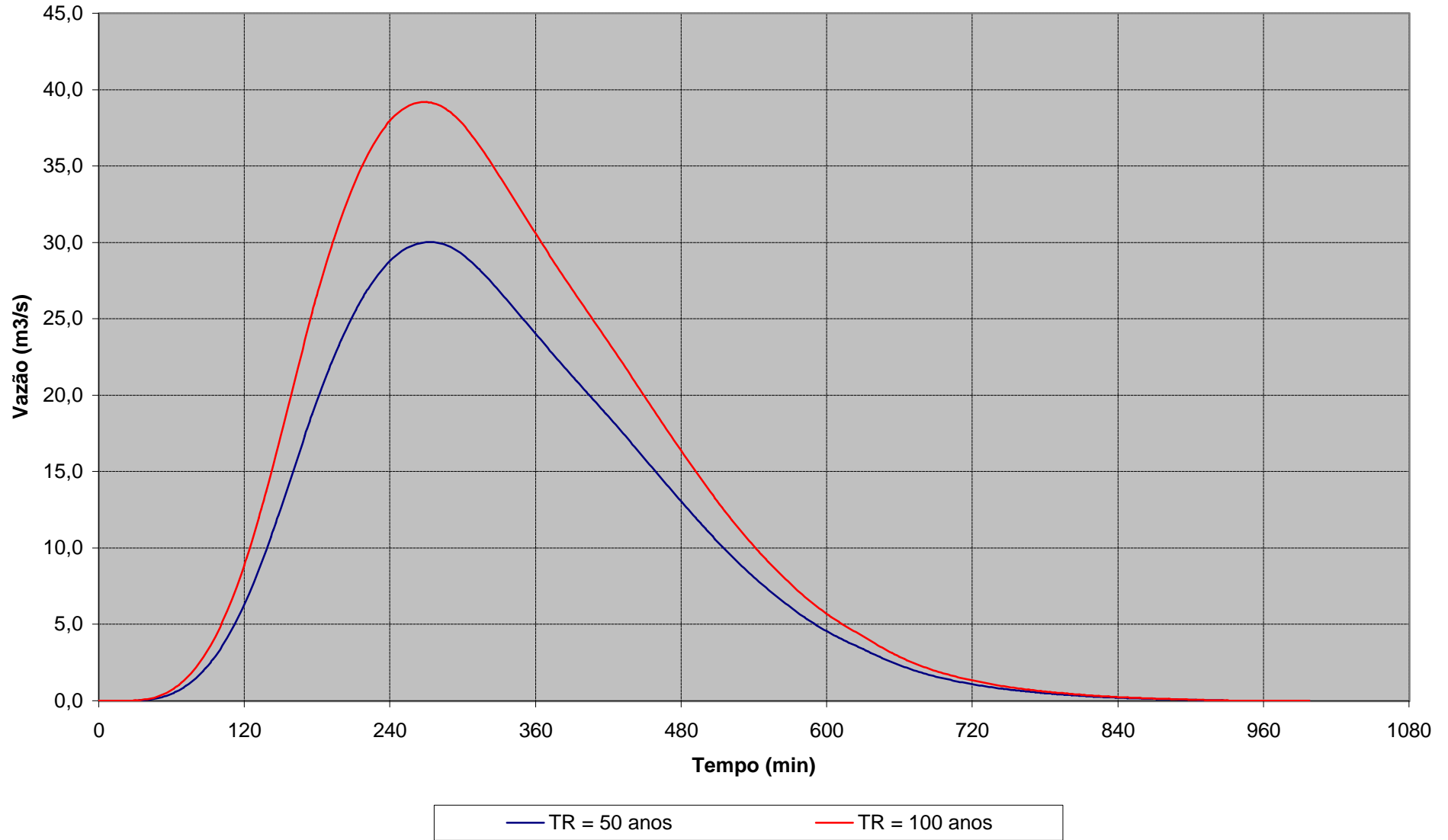


Figura 46 - Hidrogramas de Projeto da Bacia Hidrográfica da Estrutura de Drenagem H

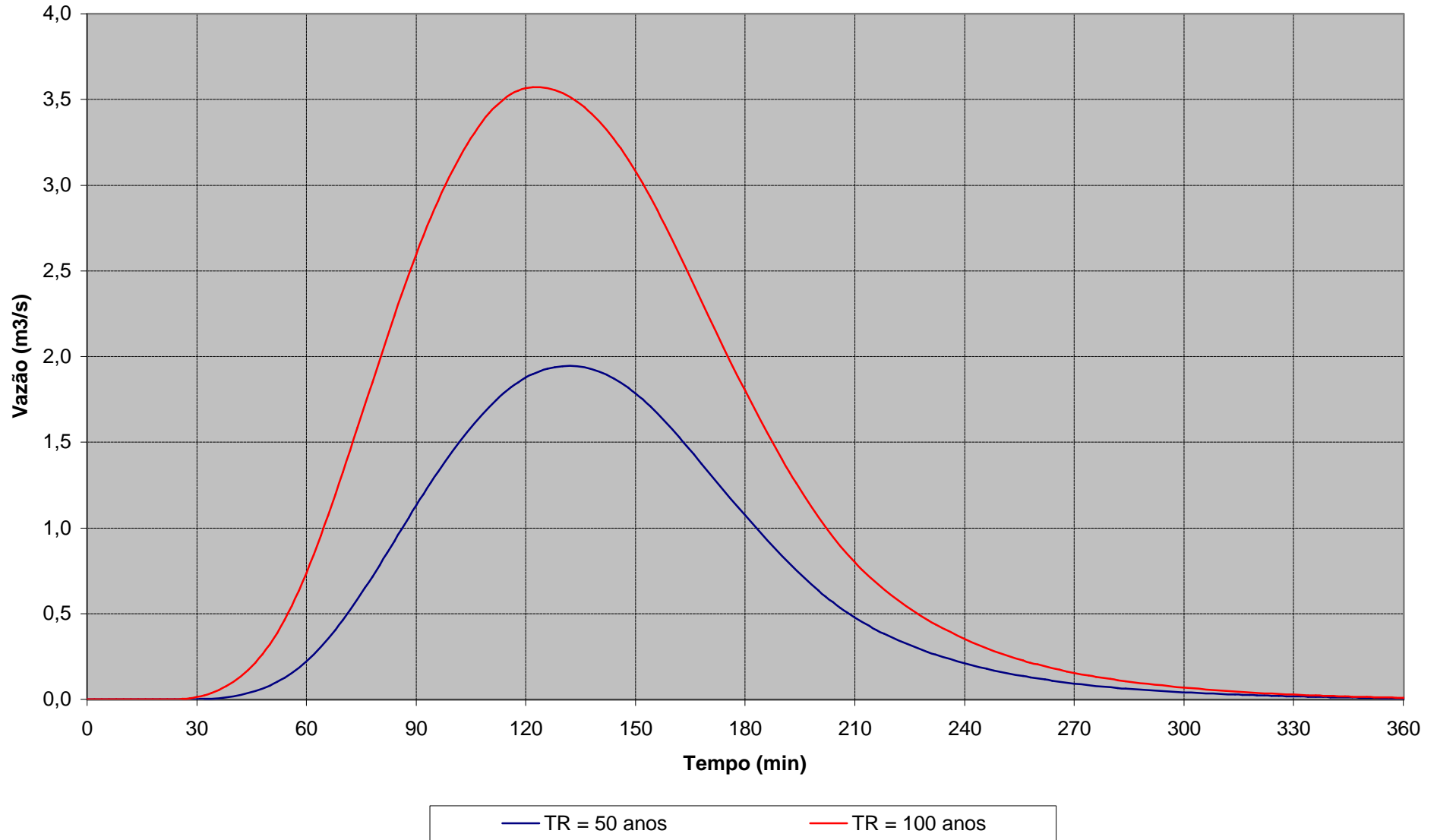


Figura 47 - Hidrogramas de Projeto da Bacia Hidrográfica da Estrutura de Drenagem I

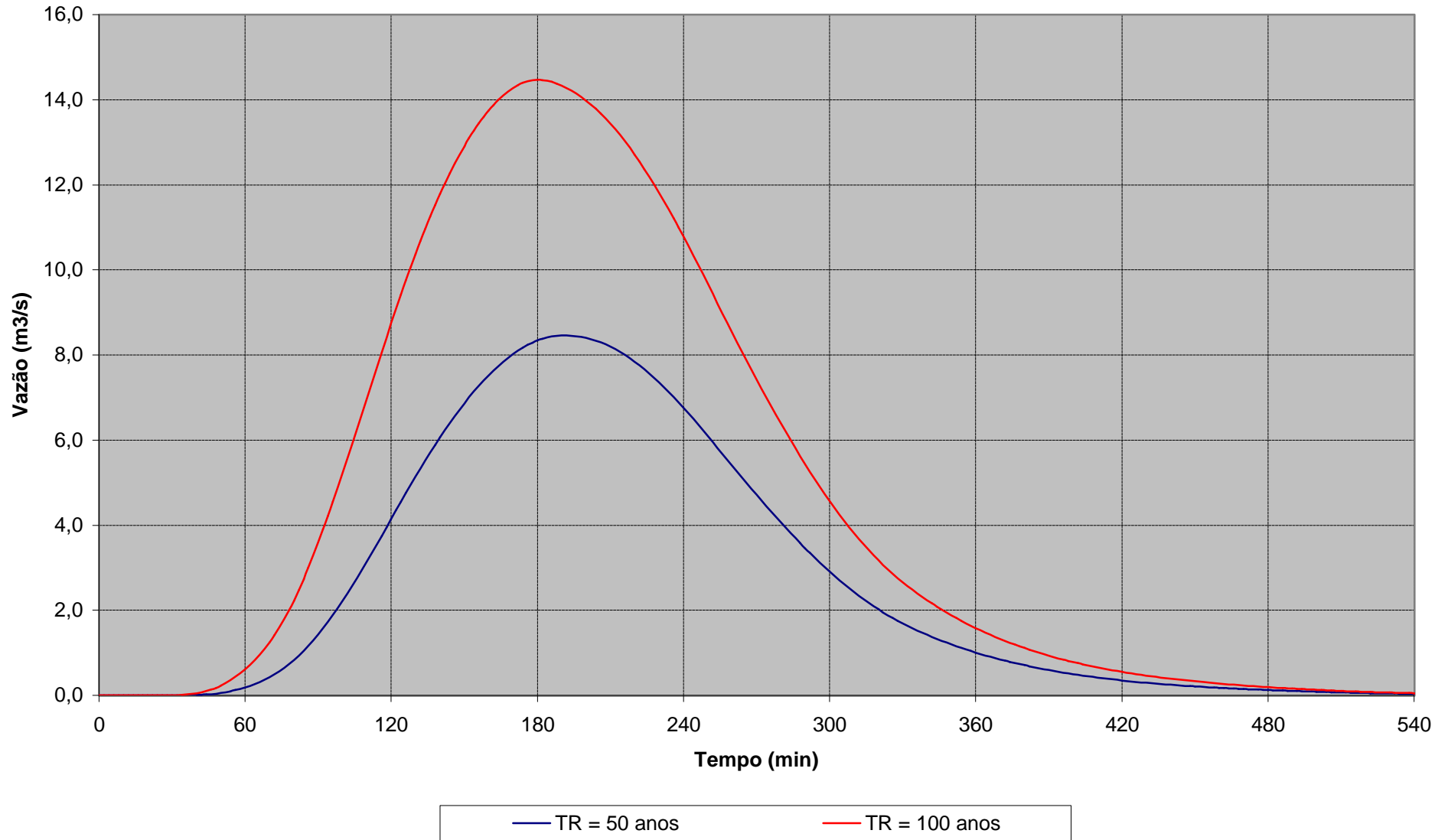


Figura 48 - Hidrogramas na Bacia Hidrográfica do Riacho Salgueiro no Aqueduto Salgueiro
TR = 1.000 anos

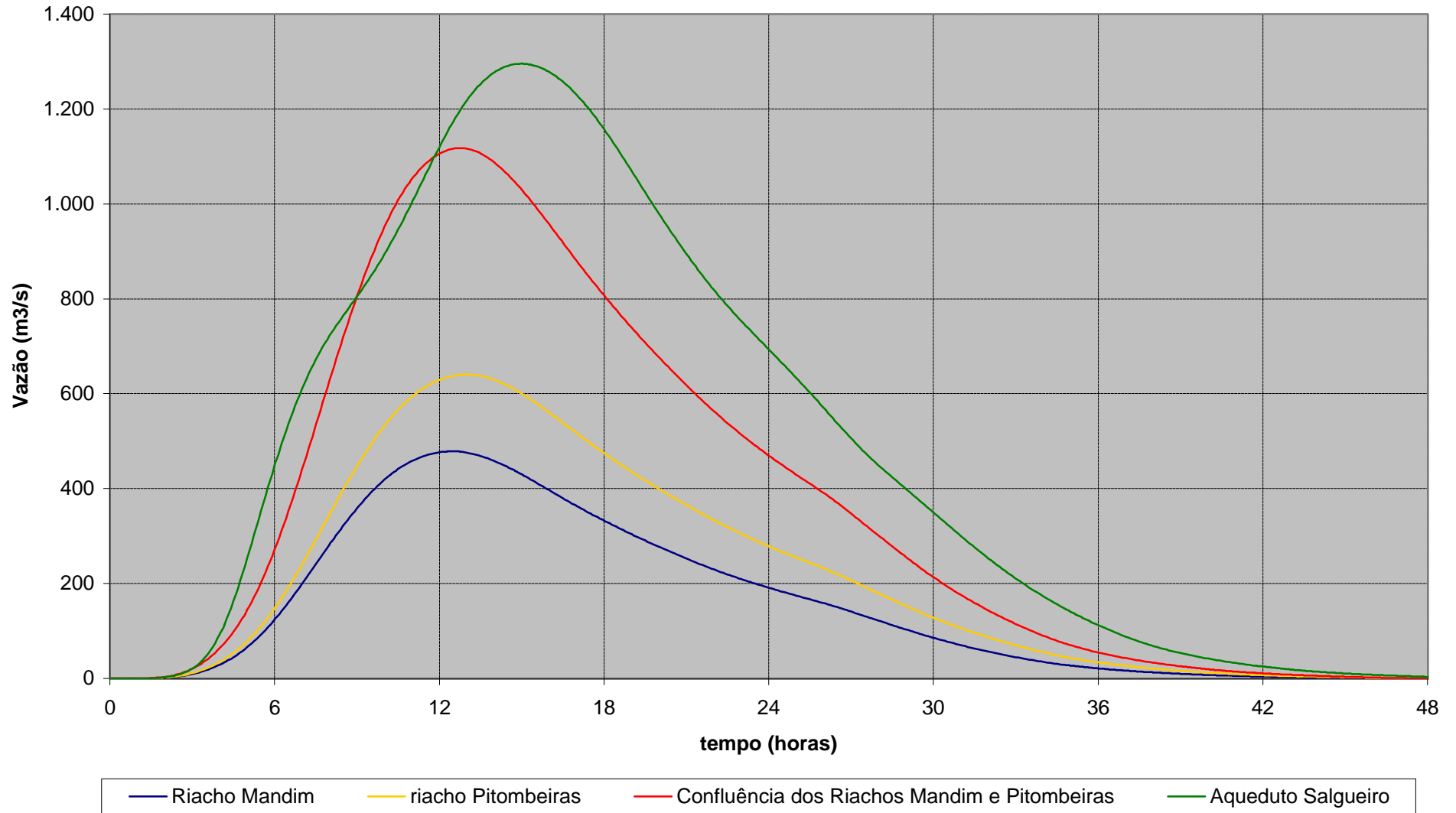


Figura 49 - Hidrogramas nas Bacias Hidrográficas dos Riachos Traíras e Acauã na Confluência
TR = 1.000 anos

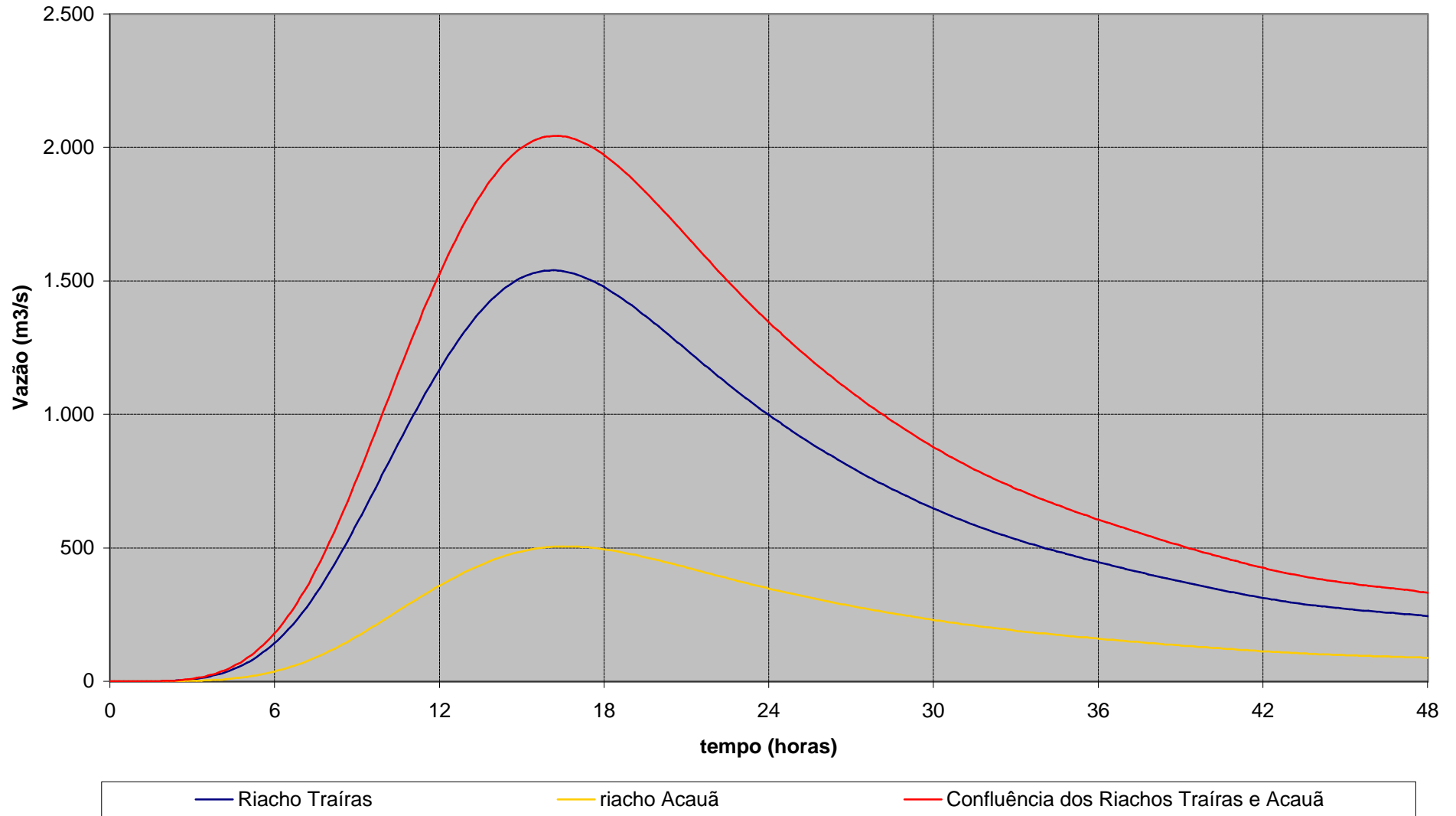


Figura 50 - Hidrogramas nas Bacias Hidrográficas dos Riachos Traíras e São Domingos
TR = 1.000 anos

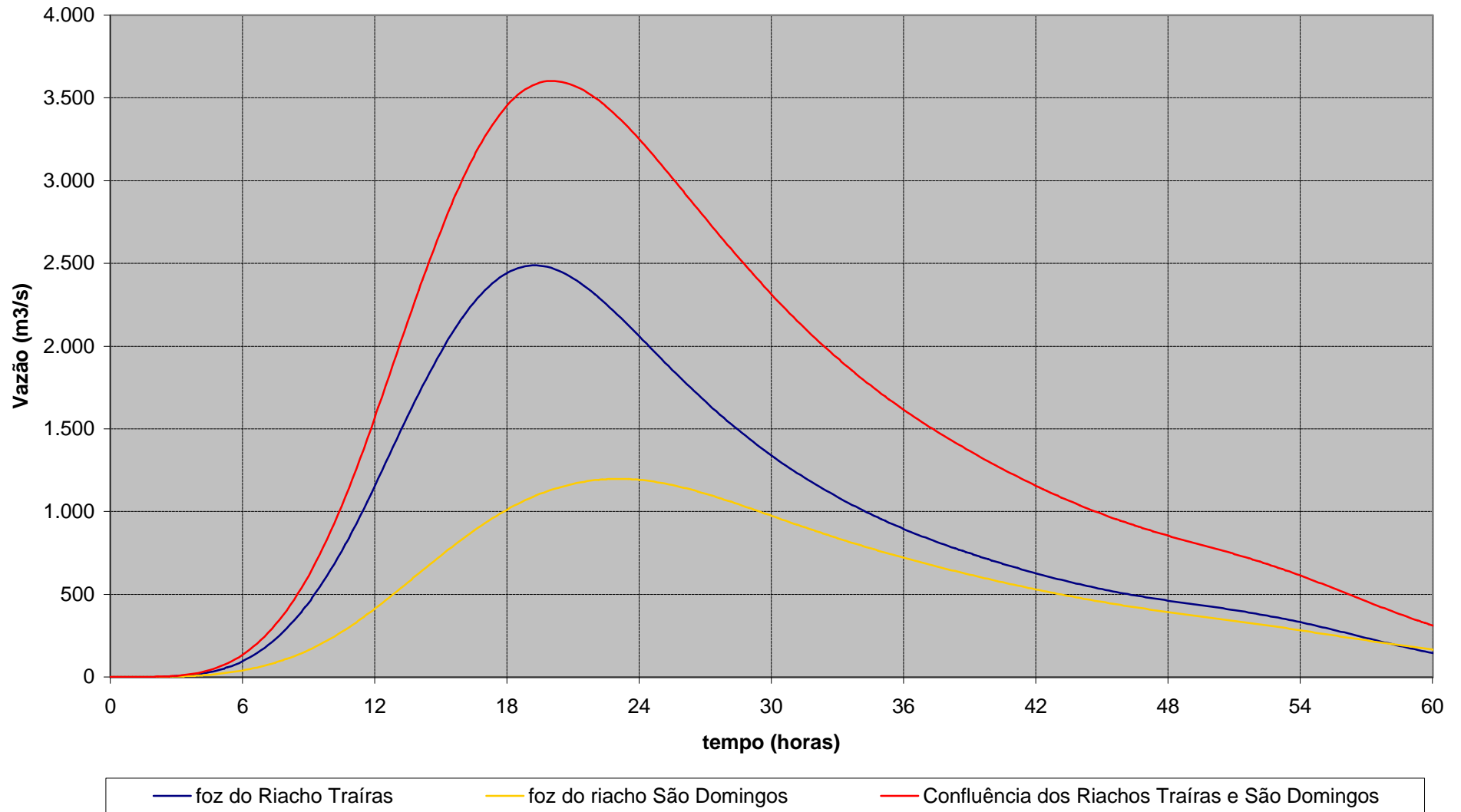


Figura 51 - Hidrogramas na Bacia Hidrográfica do Riacho Terra Nova
TR = 1.000 anos

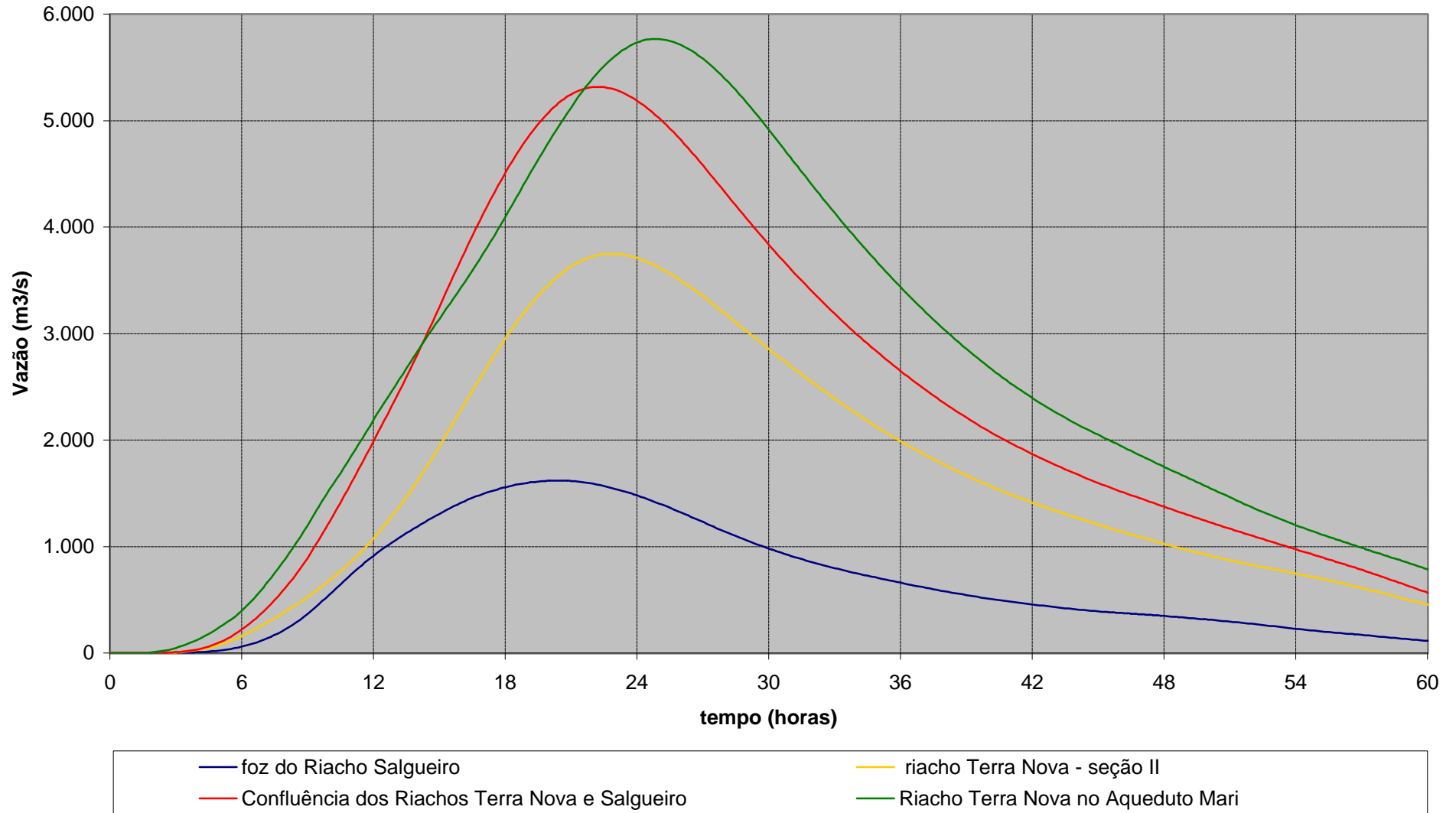


Figura 52 - Ajuste das Distribuições de Frequências às Precipitações Máximas de 2 dias
Bacia do Riacho Terra Nova no Aqueduto Mari

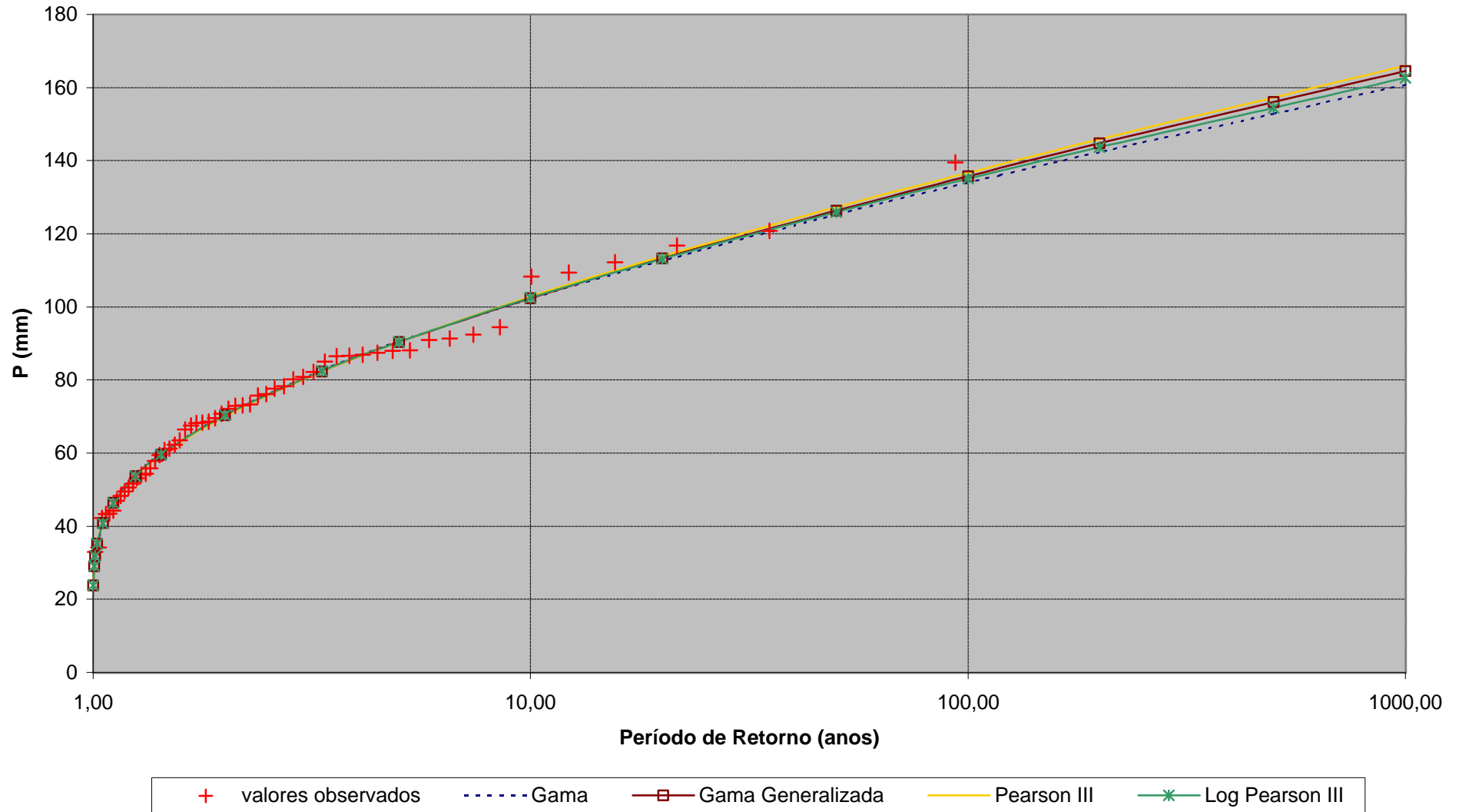
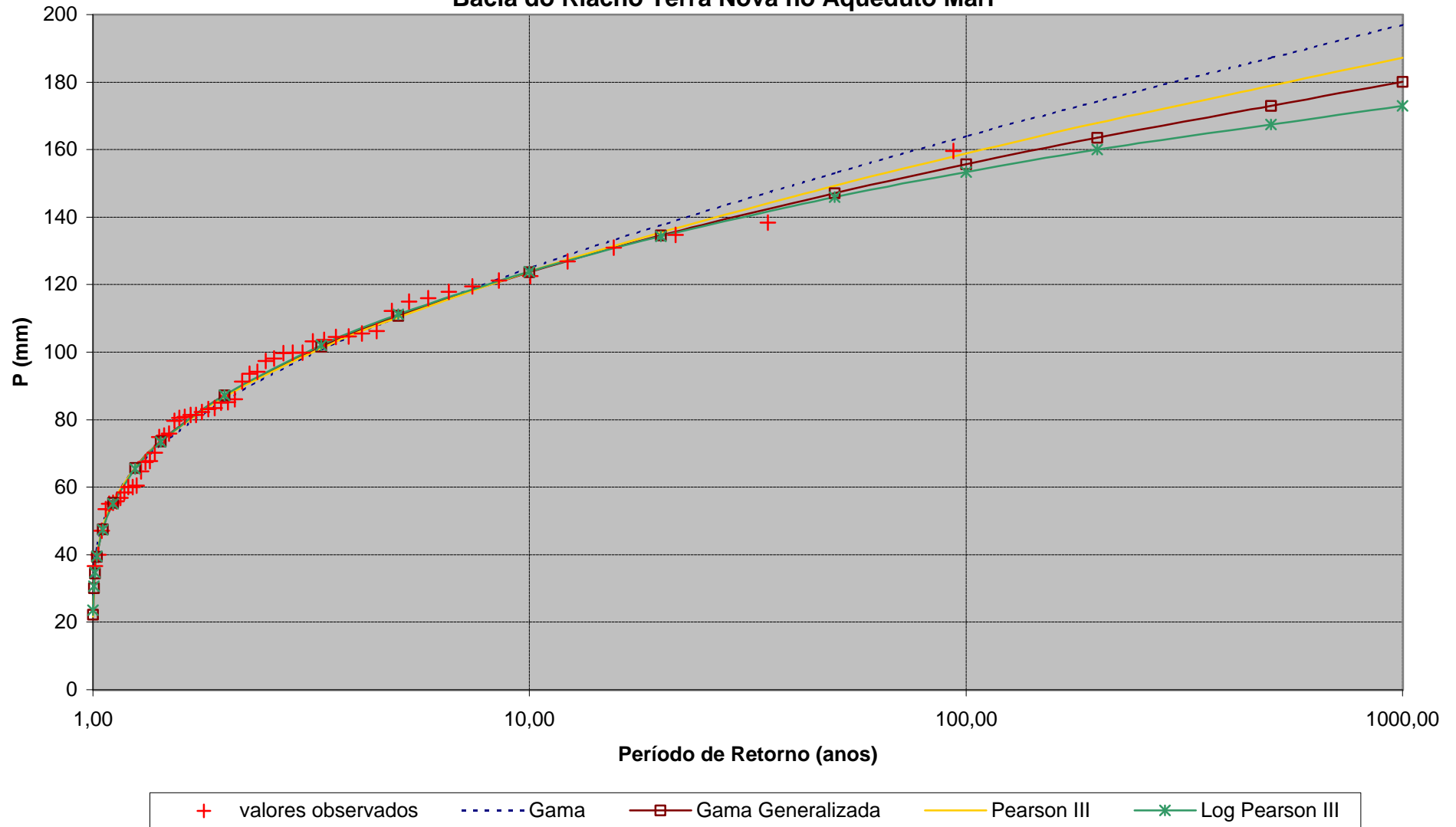


Figura 53 - Ajuste das Distribuições de Frequências às Precipitações Máximas de 3 dias
Bacia do Riacho Terra Nova no Aqueduto Mari



**Figura 54 - Hidrogramas de Projeto do Aqueduto Mari - Trecho I
Metodologia utilizando a Chuva Máxima Média na Bacia**

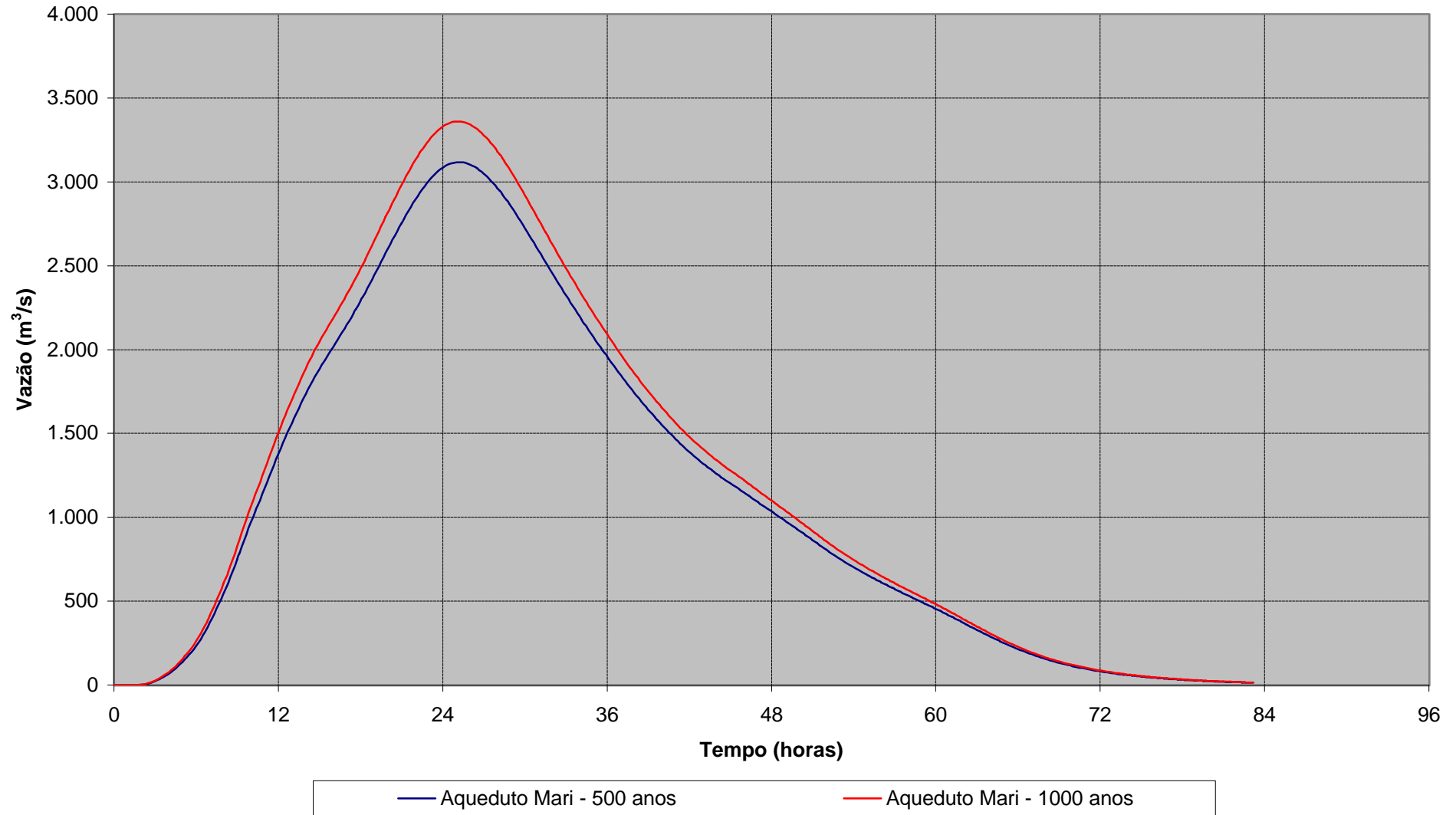
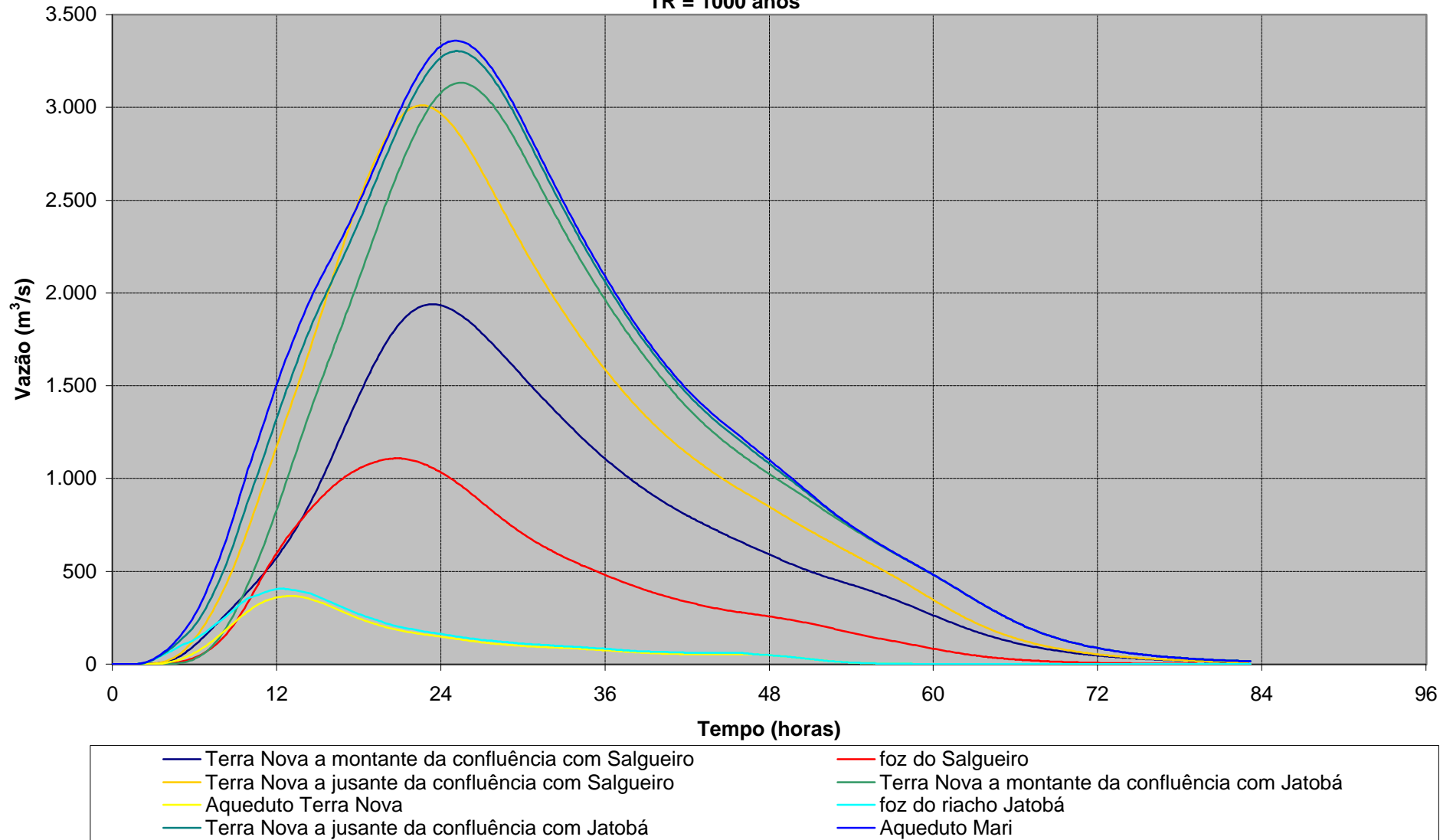


Figura 56 - Hidrogramas na Bacia Hidrográfica do Riacho Terra Nova no Aqueduto Mari
TR = 1000 anos



ANEXO I
SÉRIES DE CHUVAS MÁXIMAS ANUAIS

Anexo I - Totais Precipitados Máximos dos Postos Pluviométricos Seleccionados

Ano hidrológico	Totais Precipitados de 1 dia Máximos Anuais (mm)									Totais Precipitados Máximos Anuais (mm)		Totais Precipitados Máximos Anuais (mm)		Totais Precipitados Máximos Anuais (mm)	
	Cabrobó 3871037	Macambira 3861811	Terra Nova 3861425	Salgueiro 3861178	Salgueiro 3861179 sem outlier	Verdejante 3852805	Verdejante 3852806 sem outlier	Serrita 3851839	Jati 3851399	Terra Nova 3861425 - 2 dias	Terra Nova 3861425 - 3 dias	Serrita 3851839 - 2 dias	Serrita 3851839 - 3 dias	Salgueiro 3861178 - 2 dias	Salgueiro 3861178 - 3 dias
1912	92,9			131,6	131,6									194,6	194,6
1913	66,0			23,8	23,8									29,9	31,3
1914	69,4			64,6	64,6									84,6	124,0
1915	44,3			35,2	35,2									52,9	52,9
1916	99,0			71,1	71,1									106,1	116,8
1917	67,5			56,5	56,5									110,7	132,7
1918	76,7			67,3	67,3									85,2	86,0
1919	46,4			58,0	58,0									60,8	82,0
1920	80,3		144,4	38,2	38,2					157,4	157,4			59,2	68,2
1921	67,5		64,9	87,2	87,2					72,2	84,7			98,3	120,9
1922	63,5		63,6	86,5	86,5					84,0	93,8			96,9	135,9
1923	75,8		64,2	60,0	60,0					72,2	79,0			81,4	84,8
1924	60,0		70,2	72,2	72,2					107,0	131,6			126,0	173,3
1925	64,0		63,8	49,0	49,0					63,8	89,5			66,3	78,8
1926	51,7		93,8	41,0	41,0					93,8	93,8			61,9	72,4
1927	53,0		74,3	33,8	33,8					74,3	74,3			54,0	54,0
1928	68,3		89,4	54,9	54,9					89,9	92,1			60,0	107,0
1929	46,5		60,4	70,0	70,0					76,9	90,3			97,9	117,9
1930	35,3		63,3	69,0	69,0					114,5	126,0			69,0	90,0
1931	43,1			54,5	54,5									54,5	54,5
1932				47,0	47,0									49,0	53,4
1933				32,0	32,0									52,0	74,4
1934				65,5	65,5				73,0					91,4	97,4
1935				90,1	90,1			55,5	46,0			68,2	90,2	94,2	100,1
1936	58,7		67,1	49,0	49,0			52,7	55,0	79,4	82,7	74,7	80,3	85,1	90,2
1937	70,0		82,1	124,0	124,0			100,0	52,0	82,1	86,2	124,7	146,1	136,1	138,8
1938	73,0		98,2	73,6	73,6			34,7	63,0	98,2	106,3	66,1	85,7	120,2	120,2
1939	16,0		32,2	26,0	26,0			37,6	40,0	32,2	32,2	50,6	50,6	33,8	33,8
1940	142,5		86,2	62,0	62,0			130,5	51,4	99,3	131,7	130,5	132,3	102,0	119,0
1941	94,5		62,3	77,8	77,8			86,0	47,6	104,2	138,0	127,0	138,0	109,3	128,3
1942	30,2		36,4	63,0	63,0			48,3	36,0	36,4	37,5	96,3	96,3	63,0	79,0
1943	45,2		48,3	70,0	70,0			42,3	55,3	87,6	91,9	60,3	65,0	95,0	115,0
1944	67,5		86,6	74,0	74,0			48,0	52,2	105,7	115,2	92,0	92,0	74,0	77,5
1945	63,5		61,0	81,2	81,2			86,7	61,0	73,8	83,6	142,5	196,5	87,4	87,4

Ano hidrológico	Totais Precipitados de 1 dia Máximos Anuais (mm)									Totais Precipitados Máximos Anuais (mm)		Totais Precipitados Máximos Anuais (mm)		Totais Precipitados Máximos Anuais (mm)	
	Cabrobó 3871037	Macambira 3861811	Terra Nova 3861425	Salgueiro 3861178	Salgueiro 3861179 sem outlier	Verdejante 3852805	Verdejante 3852806 sem outlier	Serrita 3851839	Jati 3851399	Terra Nova 3861425 - 2 dias	Terra Nova 3861425 - 3 dias	Serrita 3851839 - 2 dias	Serrita 3851839 - 3 dias	Salgueiro 3861178 - 2 dias	Slagueiro 3861178 - 3 dias
1946	60,8		67,0	44,5	44,5		48,0	62,0	75,1	93,4	64,0	81,0	62,0	74,0	
1947	72,5		80,1	116,0	116,0		71,0	56,0	84,7	85,7	102,8	130,3	136,0	136,0	
1948	63,8		98,9	90,0	90,0		126,7	52,0	110,5	120,3	136,7	189,1	95,0	128,0	
1949	56,8		95,0	90,0	90,0		28,0	52,0	110,4	110,4	38,2	38,2	116,0	174,0	
1950	41,4		64,9	104,4	104,4		157,5	52,0	84,9	97,1	157,5	169,6	126,9	126,9	
1951	70,8		80,7	73,2	73,2		58,0	38,0	82,3	82,5	58,0	58,0	73,2	73,2	
1952	63,4		69,3	80,0	80,0		47,0	54,0	105,9	127,7	67,3	83,2	128,0	171,0	
1953	86,1		112,8	113,0	113,0		105,0	58,0	126,3	134,7	115,0	115,0	125,0	132,0	
1954	69,3		91,6	56,2	56,2		36,7	54,0	91,6	106,4	48,3	73,8	76,2	91,2	
1955	116,2		70,9	43,2	43,2		82,0	67,0	82,7	89,1	82,0	82,0	45,0	45,0	
1956	61,9		69,7	50,0	50,0		45,4	64,0	113,2	113,2	57,8	65,3	50,0	78,0	
1957	38,8		36,0	240,0			44,0	68,0	40,1	49,3	60,6	87,3			
1958	67,0		55,7	37,4	37,4		78,0	64,0	72,4	72,4	78,0	78,0	47,4	57,8	
1959	52,0		46,7	125,0	125,0		66,0	44,0	59,4	70,7	69,0	108,0	165,0	174,0	
1960	74,4		93,5	93,0	93,0		150,0	40,2	106,3	137,2	270,0	270,0	109,0	152,0	
1961	35,5		70,8	61,2	61,2		56,5	40,0	116,5	116,5	61,8	69,3	61,2	61,9	
1962			22,6	75,0	75,0		75,0	52,0	22,6	22,6	148,0	148,0	101,2	109,5	
1963	66,3	90,4	44,6	64,0	64,0	50,0	50,0	83,0	100,0	66,7	92,3	83,0	83,0	64,0	104,0
1964	118,2	81,2	80,2	97,2	97,2	70,5	70,5	81,3	72,0	159,6	159,6	91,9	91,9	97,2	107,4
1965	84,8	45,4	71,2	40,1	40,1	90,3	90,3	87,7	73,4	77,6	77,6	133,3	133,3	40,1	51,4
1966	48,5	40,0	50,4	76,0	76,0	200,8		76,0	69,6	60,6	86,4	117,0	149,0	101,4	117,6
1967	105,8	75,0	70,8	65,1	65,1	80,5	80,5	64,0	47,2	82,2	90,6	64,0	86,4	65,1	69,2
1968	88,7	77,2	68,8	63,2	63,2	72,4	72,4	56,4	62,3	74,2	132,0	79,2	79,2	63,2	74,3
1969	58,1	81,3	53,2	110,0	110,0	62,3	62,3	46,0	47,4	65,6	96,2	76,0	94,2	133,0	170,0
1970	76,9	56,3	80,2	100,2	100,2	62,3	62,3	95,0	55,4	108,6	108,6	95,0	138,0	111,0	111,0
1971	39,1	86,6	70,2	88,5	88,5	76,6	76,6	69,4	61,9	78,6	133,2	91,4	112,5	119,5	126,5
1972	77,4	42,8	35,8	76,2	76,2	62,3	62,3	52,2	90,6	48,0	68,4	52,2	80,2	76,2	76,2
1973	97,8	84,2	85,6	31,0	31,0	59,1	59,1	59,0	73,9	85,6	85,6	80,5	85,9	44,0	49,0
1974	71,0	48,2	112,2	50,1	50,1	86,4	86,4	80,0	75,4	182,8	216,0	119,0	123,7	71,7	87,3
1975	61,5	56,0	60,2	48,0	48,0	58,7	58,7	55,0	45,1	94,0	101,2	82,0	94,0	62,3	82,7
1976	70,7	100,0	93,5	51,1	51,1	50,0	50,0	40,0	48,8	102,9	110,7	77,0	82,0	52,4	61,6
1977	107,7	32,2	100,2	67,4	67,4	50,0	50,0	82,0	72,3	135,8	135,8	94,0	94,0	115,6	115,6
1978	76,5	57,0	85,5	78,3	78,3	82,6	82,6	95,0	82,0	121,1	174,4	105,0	126,5	80,1	86,3
1979	49,4	41,0	80,2	123,4	123,4	67,2	67,2	97,0	133,0	80,2	80,2	97,0	113,2	125,0	127,0
1980	105,4	95,2	75,4	85,0	85,0	89,8	89,8	61,0	85,0	90,8	130,6	101,0	101,0	97,2	131,6
1981	72,0	63,0	80,4	130,0	130,0	102,1	102,1	86,0	95,0	80,4	101,0	86,0	109,0	134,6	144,0
1982	57,3	56,0	40,2	35,4	35,4	55,2	55,2	65,0	136,0	55,6	55,6	65,0	65,0	50,2	60,4
1983	39,0	81,0	60,2	35,3	35,3	33,3	33,3	53,0	122,5	65,4	66,2	58,5	58,5	52,9	53,6

Ano hidrológico	Totais Precipitados de 1 dia Máximos Anuais (mm)									Totais Precipitados Máximos Anuais (mm)		Totais Precipitados Máximos Anuais (mm)		Totais Precipitados Máximos Anuais (mm)	
	Cabrobó 3871037	Macambira 3861811	Terra Nova 3861425	Salgueiro 3861178	Salgueiro 3861179 sem outlier	Verdejante 3852805	Verdejante 3852806 sem outlier	Serrita 3851839	Jati 3851399	Terra Nova 3861425 - 2 dias	Terra Nova 3861425 - 3 dias	Serrita 3851839 - 2 dias	Serrita 3851839 - 3 dias	Salgueiro 3861178 - 2 dias	Slagueiro 3861178 - 3 dias
1984	44,4	74,0	60,4	97,2	97,2	79,6	79,6	71,0	168,5	75,0	90,2	86,5	111,5	113,4	144,0
1985	72,8	71,0	82,4	73,0	73,0	75,0	75,0	55,0	65,0	134,6	134,6	73,0	85,5	81,6	134,6
1986	113,2	126,0	63,4	73,6	73,6	72,5	72,5	81,0	61,0	78,2	101,5	93,0	93,0	90,8	90,8
1987		83,0	99,8	50,9	50,9	88,5	88,5		72,0	99,8	110,0			50,9	56,1
1988		73,0	57,8	75,9	75,9	57,3	57,3		131,0	85,4	106,2			127,6	158,7
1989		91,2	79,1	100,9	100,9	122,3	122,3		81,0	79,1	105,4			100,9	134,5
1990		69,0				110,3	110,3		68,2						
1991									55,0						
1992									71,0						
1993									36,8						
1994									69,4						
1995									71,0						
1996									114,0						
no. elementos	70	28	65	78	77	28	27	52	57	65	65	52	52	77	77
média	68,1	70,6	72,0	72,3	70,1	77,4	72,9	70,9	67,5	88,6	101,5	91,3	104,0	86,8	101,3
máximo	142,5	126,0	144,4	240,0	131,6	200,8	122,3	157,5	168,5	182,8	216,0	270,0	270,0	194,6	194,6
mínimo	16,0	32,2	22,6	23,8	23,8	33,3	33,3	28,0	36,0	22,6	22,6	38,2	38,2	29,9	31,3
desvio padrão	23,0	21,5	21,3	32,3	26,1	31,1	20,0	28,0	26,6	28,8	32,6	37,7	40,8	32,3	37,6
curtose	0,94	0,18	1,26	8,28	-0,24	8,63	0,41	1,59	3,87	1,64	1,90	8,76	4,55	0,37	-0,58
assimetria	0,68	0,27	0,37	1,99	0,48	2,42	0,52	1,17	1,88	0,66	0,51	2,28	1,70	0,60	0,31
beta1	0,46	0,07	0,14	3,95	0,23	5,87	0,27	1,37	3,53	0,43	0,26	5,19	2,90	0,37	0,10
beta2	0,94	0,18	1,26	8,28	-0,24	8,63	0,41	1,59	3,87	1,64	1,90	8,76	4,55	0,37	-0,58

ANEXO II
TOTAIS PRECIPITADOS MÁXIMOS NA BACIA DO
RIACHO TERRA NOVA NO AQUEDUTO MARI

Anexo II - Totais Precipitados Máximos na
Bacia do Riacho Terra Nova no Aqueduto
Mari

Ano Hidrológico	Totais Precipitados Máximos (mm)		
	1 dia	2 dias	3 dias
1934	64,0	91,4	97,4
1935	44,5	67,6	81,4
1936	37,2	57,8	60,1
1937	102,9	116,8	117,9
1938	47,7	62,3	75,9
1939	18,8	34,2	36,7
1940	69,1	77,6	103,6
1941	51,7	78,3	98,1
1942	31,9	51,6	60,0
1943	30,5	55,8	70,2
1944	43,8	72,1	81,4
1945	45,9	75,7	104,5
1946	32,5	54,3	74,8
1947	66,7	86,9	99,7
1948	67,5	88,1	138,4
1949	38,6	47,0	55,8
1950	65,3	109,4	130,9
1951	28,1	43,3	55,1
1952	44,9	68,6	103,2
1953	66,8	80,2	94,2
1954	38,8	59,5	79,7
1955	35,4	48,3	60,5
1956	37,4	68,3	82,3
1957	114,9	139,5	159,6
1958	56,7	61,2	67,7
1959	47,6	87,4	106,2
1960	69,3	120,8	126,9
1961	24,8	42,3	53,5
1962	44,5	86,5	119,5
1963	39,0	50,6	55,4
1964	57,9	82,2	93,6
1965	39,6	66,5	83,4
1966	41,7	60,8	85,2
1967	42,3	54,1	67,5
1968	50,2	53,1	58,4
1969	51,5	86,7	115,0
1970	60,6	72,9	99,9
1971	69,1	92,4	122,6
1972	38,4	43,4	64,7
1973	35,9	44,3	47,1
1974	55,0	94,5	105,5
1975	45,7	69,6	80,5
1976	56,8	76,1	83,2
1977	58,6	112,2	112,2
1978	54,6	80,8	104,7
1979	60,1	63,5	86,0
1980	49,4	73,1	91,3
1981	86,5	88,0	116,0
1982	33,0	33,0	39,9
1983	39,3	49,5	56,9

Anexo II - Totais Precipitados Máximos na
Bacia do Riacho Terra Nova no Aqueduto
Mari

Ano Hidrológico	Totais Precipitados Máximos (mm)		
	1 dia	2 dias	3 dias
1984	46,3	70,8	75,3
1985	45,3	68,2	99,9
1986	68,9	85,0	85,0
1987	73,3	73,3	80,8
1988	64,4	108,3	134,7
1989	90,9	90,9	121,2
no. elementos	56	56	56
média	52,2	72,8	88,6
máximo	114,9	139,5	159,6
mínimo	18,8	33,0	36,7
desvio padrão	18,6	22,5	26,8
curtose	1,92	0,45	-0,30
assimetria	1,13	0,62	0,26

PARTE B
ESTUDOS SEDIMENTOLÓGICOS

1. OBJETIVO

Durante a fase de viabilidade foram desenvolvidos os “Estudos Sedimentológicos para Previsão de Assoreamento nos Reservatórios”, parte integrante do relatório R18 – Dimensionamento Hidrológico das Obras Principais da Alternativa Seleccionada. Estes estudos foram desenvolvidos para todos os trechos que compõem o Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco (PTSF).

Durante o projeto básico do Trecho I, as características físicas e operacionais dos reservatórios foram alteradas. Desta forma, o objetivo deste relatório é desenvolver os estudos sedimentológicos para previsão do assoreamento dos reservatórios do Trecho I, incluindo:

- previsão do assoreamento nos reservatórios formados pelas barragens do sistema do PTSF;
- determinação da altura de sedimento nos reservatórios para a vida útil do projeto;
- análise dos resultados.

2. DADOS BÁSICOS

As Figuras 1 e 2 e a Tabela 1 apresentam a localização prevista para as barragens de travessia e dos reservatórios de compensação e derivação, doravante denominados simplesmente de barragens.

Para cada barragem, a partir das bases cartográficas, foi delimitada a bacia hidrográfica e determinada sua área de drenagem. A Tabela 1 apresenta, para cada barragem, a área de drenagem das bacias hidrográficas.

As bacias hidrográficas delimitadas pelas barragens foram locadas no Mapa 3.2 “Isoietas Médias Anuais”, que consta do relatório de “Estudo Hidrológico Regional” elaborado no âmbito dos Estudos de Inserção Regional. Assim, com base nas isoietas médias anuais e na localização das bacias hidrográficas, determinou-se o respectivo total precipitado médio anual.

O coeficiente de escoamento de cada bacia hidrográfica foi obtido a partir do relatório “Estudo Hidrológico Regional”, Tabela 5.26, adotando-se o coeficiente de um açude próximo e com área de drenagem similar. A partir da área de drenagem, do coeficiente de escoamento e da precipitação média anual obteve-se, para cada bacia hidrográfica, a vazão média de longo termo afluente a cada reservatório. Os valores dos citados parâmetros são apresentados na Tabela 1.

Para cada bacia hidrográfica foi feita uma análise preliminar da composição da camada superficial dos solos, avaliando-se os percentuais de argila, silte e areia. A composição do solo da bacia permite uma boa avaliação dos sedimentos que serão carregados para o reservatório através do escoamento superficial. A Tabela 1 apresenta, para cada barragem, a composição dos respectivos solos das bacias hidrográficas.

Para cada reservatório resultante da implantação das barragens foram determinadas, a partir das bases cartográficas disponíveis, as curvas cota x área x volume que são apresentadas nas Figuras 3 a 9.

O projeto básico de engenharia do Trecho I definiu os NA operacionais ao longo de todo o sistema. Com base nestes valores, foram definidos os NA operacionais dos reservatórios das barragens que compõem o sistema, apresentados na Tabela 2, juntamente com os respectivos volumes. O NA médio, parâmetro utilizado nos estudos sedimentológicos, foi obtido pela média aritmética dos NA mínimo e máximo normal. A partir das curvas cota x área x volume, foram obtidos os respectivos volumes operacionais. Ressalta-se que o NA mínimo operacional foi igualado à cota de fundo do canal.

A Tabela 2 apresenta, também, o volume morto dos reservatórios. Este parâmetro foi obtido da curva cota x área x volume de cada reservatório, utilizando a cota correspondente ao NA mínimo minimorum definida pelo projeto hidráulico. As barragens e reservatórios existentes podem ser classificados da seguinte forma:

- barragens de travessia: Milagres;
- reservatórios de compensação e derivação: Tucutú, Terra Nova, Serra Do Livramento, Mangueira e Negreiros;
- geração de energia: Jati.

3. METODOLOGIA

3.1 DISPONIBILIDADE DE DADOS SEDIMENTOMÉTRICOS

Para a definição da metodologia foi feita, inicialmente, uma pesquisa da disponibilidade de dados sedimentométricos na região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro, com base no Inventário das Estações Fluviométricas.

Os postos fluviométricos com medição de descarga sólida (postos sedimentométricos) localizados na região de interesse são apresentados na Tabela 3. Esta tabela apresenta, para cada posto, o código da ANEEL, o nome do posto, os tipos de medições efetuadas, o rio, a unidade da federação, a localização, a área de drenagem e o início da operação.

Foram obtidos junto à ANEEL os dados fluviométricos e sedimentométricos destes postos. A análise destes dados permitiu verificar que:

- existem inconsistências em alguns dados;
- número de medições de descarga sólida é pequeno, com exceção do posto Ponte da Batalha no rio Paraíba, com área de drenagem de 19.244 km²;
- as áreas de drenagem dos postos são muito superiores àquelas das bacias hidrográficas de interesse do projeto de TRSF.

Desta forma, concluiu-se que os dados sedimentométricos disponíveis são insuficientes para a avaliação do assoreamento dos reservatórios das barragens do projeto de TRSF.

3.2 DADOS DE LEVANTAMENTOS TOPOBATIMÉTRICOS DE RESERVATÓRIOS EXISTENTES

Uma alternativa metodológica para a determinação das taxas de produção de sedimentos em bacias hidrográficas é a utilização dos dados de levantamentos topobatimétricos de reservatórios existentes. Em pesquisa realizada nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco verificou-se que os reservatórios dos açudes Itãs e Epitácio Pessoa apresentam levantamentos topobatimétricos feitos após alguns anos de operação.

O açude de Itãs, cuja operação foi iniciada em 1935, localiza-se na bacia do rio Piranhas-Açu, com uma área de drenagem de 1.187,7 km². Os estudos efetuados pelo Consórcio CNEC-SOGREAH em 1971, resultaram em uma taxa de produção de sedimentos de 330.555 m³/ano ou 278,3 m³/km²/ano.

Em 1998, o Laboratório de Meteorologia do Estado da Paraíba (LMSR), vinculado à Secretaria de Recursos Hídricos, efetuou um levantamento topobatimétrico no açude Epitácio Pessoa, tendo obtido um volume de assoreamento de 85.258.448 m³. Uma vez que este açude teve sua operação iniciada em 1.956, resultou em uma taxa de produção de sedimentos de 1.982.755 m³/ano ou 158,8 m³/km²/no.

O USDA desenvolveu um estudo de deposição de sedimentos em reservatórios americanos, efetuando levantamentos topobatimétricos sistemáticos, antes e após alguns anos do início de operação dos aproveitamentos¹². Selecionando-se os reservatórios com dados de levantamentos topobatimétricos localizados na região de clima semi-árido, correspondente ao sudoeste dos Estados Unidos, o US Department of Interior¹³ preparou o gráfico apresentado na Figura 8, que correlaciona a taxa anual de produção de sedimentos com a área de drenagem da bacia hidrográfica.

A Figura 8 apresenta os pontos correspondentes aos 28 reservatórios utilizados, bem como a curva média ajustada por regressão e as respectivas envoltórias. Os dados citados anteriormente, referentes aos açudes Itãs e Epitácio Pessoa,

¹² "Sediment Deposition in U.S. Reservoirs, Summary Data Report Through 1975", Miscellaneous Publication No. 1362, USDA, Agriculture Research Service, February, 1978

¹³ "Design of Small Dams", US Department of Interior, Bureau of Reclamation, 1987

foram plotados na Figura 8. Verifica-se que estes os pontos situam-se entre as envoltórias, próximos à curva média ajustada.

Desta forma, considerando-se a impossibilidade de utilizar dados de medições de descarga sólida, optou-se por desenvolver os estudos com base nos dados e nos estudos desenvolvidos para os reservatórios americanos localizados na região semi-árida dos Estados Unidos.

4. PREVISÃO DE ASSOREAMENTO NOS RESERVATÓRIOS

4.1 SÍNTESE DOS DADOS BÁSICOS

Conforme exposto no item anterior, as taxas anuais de produção de sedimentos nas bacias hidrográficas das barragens do sistema do PTSF foram avaliadas utilizando-se a curva da Figura 10. A Tabela 4 apresenta uma síntese dos dados básicos das barragens e dos reservatórios, incluindo a taxa média anual de sedimentos por unidade de área de drenagem da bacia hidrográfica.

4.2 AVALIAÇÃO DA DENSIDADE DO SEDIMENTO DEPOSITADO

A densidade dos sedimentos depositados depende, basicamente, dos seguintes fatores:

- a operação do reservatório;
- a textura e o tamanho das partículas dos sedimentos depositados;
- as taxas de compactação e consolidação dos sedimentos depositados.

Lara e Pemberton¹⁴ analisaram 1.300 amostras de sedimentos depositados em reservatórios, concluindo que a massa específica W_1 pode ser avaliada por:

$$W_1 = W_{\text{areia}} \cdot \rho_{\text{areia}} + W_{\text{silte}} \cdot \rho_{\text{silte}} + W_{\text{argila}} \cdot \rho_{\text{argila}} \quad (1)$$

onde:

¹⁴ "Initial Unit Weight of Deposited Sediments", Lara, J. M. and E.L. Pemberton, Proceedings of Federal Interagency Sedimentation Conference, 1963, Miscellaneous Publication n. 970, USDA, Agriculture Research Service, June 1965

P_{areia} , P_{silte} e P_{argila} são as percentagens de areia, silte e argila, respectivamente, presentes no sedimento afluyente;

W_{areia} , W_{silte} e W_{argila} são as massas específicas de areia, silte e argila, respectivamente, dos sedimentos afluyentes.

No entanto, verificou-se, através de análise sistemática das amostras, que os volumes depositados em cada ano nos reservatórios apresentam diferentes tempos de compactação. Assim, Miller¹⁵ desenvolveu uma equação que, integrando os resultados obtidos, permite determinar a densidade média dos sedimentos depositados no reservatório após T anos de operação (W_T), onde:

$$W_T = W_1 + 0,4343 K [T \cdot \ln T / (T - 1) - 1] \quad (2)$$

onde:

K é uma constante que depende do tipo de operação do reservatório e da composição dos sedimentos, principalmente quanto ao tamanho das partículas.

Neste estudo considerou-se que os reservatórios terão uma operação com deplecionamentos que poderão ser moderados e até bem significativos. Em função deste tipo de operação, os trabalhos de Lara e Pemberton³ e Miller⁴ permitem determinar as massas específicas para a areia, a argila e o silte, bem como a constante K.

A Tabela 5 reproduz, para cada barragem, a área de drenagem e a composição da camada superficial do solo da respectiva bacia hidrográfica. Com base nesta composição e nas características operativas dos reservatórios, foi determinada através da equação (1) a massa específica inicial dos sedimentos depositados (W_1). Com base nos mesmos dados foram determinados para os diversos reservatórios os valores da constante K, utilizando-se o trabalho de Miller⁴.

¹⁵ "Determination of the Unit Weight of Sediment for Use in Sediment Volume Computations", Bureau of Reclamation, Denver, CO, 1953

Através da equação (2) foi determinada, para cada reservatório de interesse, a massa específica média em 25, 50 e 100 anos de operação. Estes resultados são apresentados na Tabela 5. As três últimas colunas da tabela apresentam o aumento da massa específica média dos sedimentos depositados, resultante do processo de compactação e consolidação.

Verifica-se que, em 100 anos de operação, a massa específica média aumentaria entre 2,2 e 8,8 % em relação ao valor inicial. De forma geral, os aumentos de massa específica foram baixos devido, principalmente, à pequena parcela de argila e à maior presença de areia na composição dos sedimentos.

4.3 EFICIÊNCIA DE RETENÇÃO DE SEDIMENTOS

A eficiência de retenção de sedimentos no reservatório é definida pela relação entre a quantidade de sedimento depositado e o total de sedimento afluente ao reservatório. Esta eficiência depende, principalmente, da velocidade de caimento da partícula e da vazão através do reservatório.

Churchill¹⁶ desenvolveu uma relação entre a porcentagem de sedimento afluente que passa através do reservatório e um parâmetro adimensional, utilizando os dados do Tennessee Valley Authority. O parâmetro adimensional é obtido pelo produto entre o índice de sedimentação, definido como a relação entre o período de detenção e a velocidade média de escoamento através do reservatório, e a aceleração da gravidade. A Figura 11 apresenta a curva que representa a relação desenvolvida por Churchill⁵.

A Tabela 6 apresenta, para cada reservatório, os valores obtidos para as variáveis que permitem calcular a porcentagem de sedimentos retidos no reservatório, incluindo o período de retenção, a velocidade média de escoamento, o índice de sedimentação e o parâmetro adimensional K. Verifica-se que todos os reservatórios retêm a totalidade dos sedimentos afluentes devido, principalmente, à pequena magnitude das vazões afluentes em relação ao volume, o que resulta em um alto período de retenção.

¹⁶ Churchill, M. A , Discussion of "Analysis and Use of Reservoir Sedimentation Data", by L.C. Gottschalk, Proceedings of Federal Interagency Sedimentation Conference, Denver, CO, January, 1948

4.4 PREVISÃO DOS VOLUMES DE ASSOREAMENTO DOS RESERVATÓRIOS

A avaliação dos volumes de assoreamento dos reservatórios é feita utilizando-se os resultados obtidos nos itens anteriores, incluindo a taxa anual média de afluência de sedimentos, a massa específica média do sedimento depositado e a eficiência de retenção. A Tabela 6 apresenta a taxa anual média de sedimentos depositados, obtida pelo produto da taxa anual média de produção de sedimentos pela área de drenagem da bacia hidrográfica. As três últimas colunas da Tabela 6 apresentam a previsão dos volumes totais de sedimentos retidos nos reservatórios em 25, 50 e 100 anos de operação, obtidos pelo produto da taxa anual média de afluência de sedimentos pelo número de anos de operação, considerando a compactação e o aumento da massa específica, apresentados na Tabela 5.

A comparação da previsão dos volumes totais de sedimentos retidos com a capacidade volumétrica, apresentada na Tabela 4, permite verificar que, a princípio, o assoreamento não deverá prejudicar o desempenho operacional dos reservatórios e do sistema. Apenas no reservatório Terra Nova, o volume de sedimento depositado após 100 anos atinge uma magnitude relativa com alguma expressão, correspondente a cerca de 42 % do volume morto.

4.5 DISTRIBUIÇÃO DO SEDIMENTO NO RESERVATÓRIO

4.5.1 Classificação do Tipo de Reservatório

Os sedimentos que depositam em um reservatório não se limitam ao espaço alocado para o volume morto ou a região inferior do reservatório. As partículas mais pesadas, que geralmente são transportadas por arrasto, são depositadas na entrada do reservatório, enquanto que as menores avançam mais para o interior, podendo ou não se depositar.

Para avaliar a distribuição dos sedimentos no reservatório, Borland e Miller¹⁷ propuseram uma metodologia denominada “método empírico de redução de área”, utilizando dados obtidos de levantamentos topobatimétricos de 30

¹⁷ “Distribution of Sediment in Large Reservoirs”, Borland, W. M. and C.R. Miller, Transactions, ASCE, vol. 125, 1960

reservatórios. Este método, aprimorado por Lara¹⁸, considera que a distribuição de sedimentos no reservatório depende, principalmente, dos seguintes fatores:

- forma de operação do reservatório;
- textura e tamanho das partículas de sedimentos;
- forma do reservatório;
- volume de sedimento depositado no reservatório.

Os estudos indicaram que a forma do reservatório é o fator principal para a distribuição espacial dos sedimentos. A forma do reservatório é avaliada através do parâmetro m, obtido da recíproca da inclinação da relação da capacidade (volume) em função da profundidade, plotados em escala bi-logarítmica. Em função do parâmetro m, a forma do reservatório pode ser classificada através do seguinte critério:

Tipo de reservatório	Parâmetro m	Classificação
I	3,5 a 4,5	De zonas planas, lago
II	2,5 a 3,5	De zonas de inundação a colinas
III	1,5 a 2,5	Montanhoso
IV	1.0 a 1,5	De gargantas profundas

O aprimoramento sugerido por Lara⁷ prevê que o tipo de reservatório pode ser “corrigido” em função da operação prevista e do tamanho predominante das partículas. A Tabela 7 apresenta, para cada barragem, a faixa de valores do parâmetro m, obtidos a partir da curva cota x área x volume do reservatório. Com base no valor de m, bem como na operação prevista e no tamanho das partículas, obteve-se a classificação de cada reservatório das barragens de interesse.

Verifica-se que os reservatórios são, em grande parte, do tipo II (planícies de inundação e colinas) e do tipo III (montanhoso). Esta classificação permite

¹⁸ “Revision of the Procedure to Compute Sediment Distribution in Large Reservoir”, Lara, J. M., Bureau of Reclamation, May 1962

determinar a altura do sedimento no pé da barragem e avaliar a distribuição de sedimentos ao longo do reservatório.

4.5.2 Previsão da Cota de Assoreamento

A distribuição dos depósitos no reservatório pode ser avaliada através das curvas desenvolvidas pelo US Bureau of Reclamation² que relacionam, em porcentagem, a profundidade com o volume de sedimentos. Foram desenvolvidas quatro curvas, correspondentes aos tipos de reservatórios apresentados no item anterior, considerando ainda a operação e o tamanho predominante das partículas. O resultado principal para avaliação da adequabilidade dos reservatórios propostos quanto ao aspecto sedimentológico resume-se na determinação da altura do sedimento junto à barragem.

Assim, as curvas de distribuição dos sedimentos depositados deram origem às denominadas curvas de projeto, que permitem determinar a altura do sedimento no pé da barragem. A Figura 12 apresenta as curvas de projeto para os reservatórios tipo I, II e III, correspondentes às classificações apresentadas na Tabela 7. Estas curvas têm na abcissa a profundidade relativa p , obtida em relação à profundidade do reservatório no NA máximo normal, e na ordenada a função adimensional F .

A função adimensional F é calculada através da seguinte equação:

$$F = (S_T - V_i) / (H \cdot A_i)$$

onde:

S é a previsão do volume total de sedimentos depositados para um período T de operação;

V_i é a capacidade do reservatório para uma profundidade h_i ;

H é a profundidade original do reservatório;

A_i é a área do reservatório na profundidade h_i .

Esta metodologia foi aplicada, exclusivamente, ao reservatório Terra Nova, uma vez que foi o único que apresentou alguma potencialidade de assoreamento que poderia prejudicar seu desempenho no sistema. A metodologia consiste em plotar no mesmo gráfico a curva de projeto de acordo com a classificação do reservatório e a curva obtida a partir da relação cota x área x volume e da previsão do volume total de sedimentos depositados (S), apresentado na Tabela 6 para 25, 50 e 100 anos de operação. A profundidade relativa correspondente à altura do sedimento junto à barragem é obtida da interseção das curvas.

A Figura 13 apresenta para o reservatório Terra Nova as curvas obtidas para os períodos de operação de 25, 50 e 100 anos juntamente com a curva de projeto correspondente ao tipo do reservatório. A Tabela 8 apresenta a profundidade relativa do reservatório Terra Nova obtida da interseção das curvas, a altura do sedimento junto à barragem e a respectiva cota de assoreamento para períodos de operação de 25, 50 e 100 anos.

5. CONCLUSÕES

A Tabela 9 apresenta, para cada barragem e o respectivo reservatório, os NAs máximo e mínimo operacional e as cotas de assoreamento para 25, 50 e 100 anos de operação. A análise comparativa dos NA operacionais e da previsão das cotas de assoreamento permite inferir, com base nos dados disponíveis e na metodologia utilizada, que não haverá comprometimento do desempenho operacional dos reservatórios dentro de uma vida útil de até 100 anos.

O estudo apresentado teve como base a relação apresentada na Figura 10, obtida pelo US Department of Interior¹⁹ a partir dos reservatórios com dados de levantamentos topobatimétricos localizados na região de clima semi-árido, que correlaciona a taxa média anual de produção de sedimentos com a área de drenagem da bacia hidrográfica. Em que pese a abrangência desta relação e o fato de terem sido utilizados dados de reservatórios localizados em clima semi-árido, a aplicabilidade para a região de interesse do projeto será sempre discutível. Além disso, verifica-se na Figura 8, em escala bi-logarítmica, que existe uma dispersão significativa da taxa média anual de produção de sedimentos.

¹⁹ "Design of Small Dams", US Department of Interior, Bureau of Reclamation, 1987

Desta forma, desenvolveu-se uma análise de sensibilidade adotando-se a envoltória superior da relação apresentada na Figura 10. A Tabela 10 apresenta os valores das taxas médias anuais de produção de sedimentos, considerando a envoltória superior. A Tabela 11 apresenta os volumes de sedimentos retidos nos reservatórios para este critério, permitindo concluir que:

- os reservatórios das barragens Tucutú, Serra do Livramento, Mangueira, Negreiros, Milagres e Jati não deverão apresentar problemas de assoreamento no horizonte de 100 anos;
- reservatório da barragem Terra Nova, o assoreamento poderá impedir o desempenho adequado de suas funções, caso as taxas médias anuais de sedimentos estejam acima dos valores médios apresentados na relação da Figura 4.

As vazões médias de longo termo nas barragens, conforme explicado no item 2 deste relatório, foram avaliadas de forma indireta, utilizando coeficientes de escoamento de bacias próximas, com área de drenagem similar. Logicamente, este procedimento reveste-se de uma significativa imprecisão. No entanto, verificou-se que uma imprecisão de $\pm 50\%$ nos valores destas vazões não afetaria os resultados e as conclusões apresentadas devido à grande capacidade de retenção de sedimentos.

6. RECOMENDAÇÕES

Os estudos desenvolvidos em assoreamento de reservatórios, citados ao longo deste relatório, consideram que a direção principal do escoamento é perpendicular à barragem, tendo como órgãos extravasores a tomada d'água e o vertedouro. No entanto, a direção do escoamento predominante nos reservatórios que compõem o sistema do projeto de TRSF apresenta a tendência de acompanhar o sentido do escoamento no canal. Portanto, as linhas de corrente e o comportamento hidrodinâmico dos reservatórios integrados ao sistema de canais difere, em grande parte, da experiência nacional e internacional.

Desta forma, recomenda-se que sejam estudadas estruturas que garantam que os sedimentos carregados para o reservatório durante as enchentes não adentrem ao canal principal do sistema de Transposição.

Quanto ao reservatório Terra Nova, recomenda-se que no Projeto Básico Ambiental sejam previstas medidas preventivas na bacia hidrográfica que minimizem a erosão e garantam que as taxas de produção de sedimentos tenham magnitudes abaixo de $500 \text{ m}^3/\text{km}^2$ ou $12.000 \text{ m}^3/\text{ano}$.

TABELAS

Tabela 1 - Dados Básicos das Bacia Hidrográficas de Interesse do Trecho I

Barragem	Área de Drenagem (km ²)	Dados Hidrológicos					Textura Predominante na Camada Superficial dos Solos das Bacias Hidrográficas		
		Precipitação Média (mm)	Deflúvio Médio (mm)	Coef. de Escoamento (%)	Vazão Média m ³ /s	Vazão Específica l/s/km ²	Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)
Tucutu	8,10	572,0	40,0	6,99	0,0103	1,27	20	10	70
Terra Nova	23,30	607,0	42,4	6,99	0,0313	1,35	20	15	65
Serra do Livramento	2,50	612,0	42,8	6,99	0,0034	1,36	15	25	60
Mangueira	32,40	572,0	40,0	6,99	0,0411	1,27	20	30	50
Negreiros	12,20	572,0	40,0	6,99	0,0155	1,27	20	30	50
Milagres	83,50	602,0	42,1	6,99	0,1114	1,33	30	30	40
Jati	2,30	630,0	30,6	4,86	0,0022	0,97	20	40	40

Tabela 2 - Dados Operacionais dos Reservatórios do Trecho I

	Níveis Operacionais de Projeto (m)				Volume Operacionais de Projeto (10 ⁶ m ³)					
	Máximo Maximorum	Máximo Normal	Médio	Mínimo	Volume Máximo Maximorum	Volume total	Volume médio	Volume mínimo	Volume Útil	Volume Morto <small>(abaixo do fundo do canal)</small>
Barragem										
Tucutu	361,00	359,73	358,61	357,48	28,56	24,22	20,75	17,61	6,61	15,70
Terra Nova	355,64	354,04	352,52	351,00	10,75	7,30	4,81	2,82	4,48	2,77
Serra do Livramento	409,35	408,07	406,95	405,82	20,57	18,60	16,87	15,17	3,43	14,06
Mangueira	406,46	405,11	403,82	402,52	22,91	18,70	15,29	12,37	6,34	12,20
Negreiros	495,06	493,83	492,79	491,74	26,97	23,95	21,57	19,34	4,61	17,98
Milagres	492,13	490,83	489,79	488,74	104,37	89,97	79,78	70,39	19,59	64,73
Jati	487,79	486,72	485,73	484,73	29,29	27,84	26,54	25,28	2,56	25,28

Tabela 3 - Disponibilidade de Dados Sedimentométricos

Código	Nome da Estação	Tipo ¹	Rio	UF	Latitude	Longitude	Área (km ²)	Início	Número de Medições de Descarga Sólida
37030000	Pau dos Ferros	FDSQ	rio Apodi	RN	06 07 00	38 12 00	2.050	fev/63	9
37080000	Pedra de Abelhas	FRDSQ	rio Apodi	RN	05 35 00	37 41 00	6.481	nov/10	18
38860000	Bodocongo	FRDSQ	rio Paraíba	PB	07 32 00	35 59 00	13.772	dez/69	38
38895000	Ponte da Batalha	FRDSQ	rio Paraíba	PB	07 08 00	35 03 00	19.244	dez/69	44
39130000	Toritama ²	FRDSQ	rio Capibaribe	PE	08 01 00	36 04 00	2.750	jan/54	17
39340000	Caruaru ²	FRDSQ	rio Ipojuca	PE	08 17 00	35 58 00	2.100	mar/69	12
39540000	Capivara ²	FDSQ	rio Una	PE	08 30 00	35 55 00	2.607	out/77	24
48860000	Floresta	FRDSQT	rio Pajeu	PE	08 37 00	38 34 00	13.240	abr/72	9

(1) Tipo de Estação

F - estação com escala para observação do nível d'água

R - estação com registrador (limnógrafo)

D - estação são efetuadas medições de descarga líquida

S - estação com medição de descarga sólida

T - estação telemétrica

Q - estação de qualidade das águas

(2) postos localizados fora da área de interesse direto do projeto de TRSF

Tabela 4 - Dados Gerais dos Reservatórios e Bacias Hidrográficas do Trecho I

Barragem	Área de Drenagem (km ²)	Taxa de Produção de Sedimentos m ³ /km ² por ano	Vazão Específica (l/s/km ²)	Vazão Média m ³ /s	Níveis Operacionais de Projeto (m)				Volume Operacionais de Projeto (10 ⁶ m ³)					
					Máximo Maximorum	Máximo Normal	Médio	Mínimo	Volume Máximo Maximorum	Volume total	Volume médio	Volume mínimo	Volume Útil	Volume Morto (abaixo do fundo do canal)
Tucutu	8,10	665	1,27	0,0103	361,00	359,73	358,61	357,48	28,56	24,22	20,75	17,61	6,61	15,70
Terra Nova	23,30	516	1,35	0,0313	355,64	354,04	352,52	351,00	10,75	7,30	4,81	2,82	4,48	2,77
Serra do Livramento	2,50	881	1,36	0,0034	409,35	408,07	406,95	405,82	20,57	18,60	16,87	15,17	3,43	14,06
Mangueira	32,40	477	1,27	0,0411	406,46	405,11	403,82	402,52	22,91	18,70	15,29	12,37	6,34	12,20
Negreiros	12,20	602	1,27	0,0155	495,06	493,83	492,79	491,74	26,97	23,95	21,57	19,34	4,61	17,98
Milagres	83,50	380	1,33	0,1114	492,13	490,83	489,79	488,74	104,37	89,97	79,78	70,39	19,59	64,73
Jati	2,30	899	0,97	0,0022	487,79	486,72	485,73	484,73	29,29	27,84	26,54	25,28	2,56	25,28

Tabela 5 - Avaliação da Massa Específica dos Sedimentos Depositados

Barragem	Área de Drenagem (km ²)	Textura Predominante na Camada Superficial dos Solos das Bacias Hidrográficas			Massa Específica Inicial (kg/m ³)	constante ponderada K	Massa Específica Média após N anos de operação (kg/m ³)			Aumento da Massa Específica após N anos de operação (%)		
		Silte (%)	Argila (%)	Areia (%)			25 anos	50 anos	100 anos	25 anos	50 anos	100 anos
Tucutu	8,10	20	10	70	1.369	19	1.389	1.394	1.400	1,4	1,8	2,2
Terra Nova	23,30	20	15	65	1.320	26	1.346	1.353	1.361	2,0	2,6	3,1
Serra do Livramento	2,50	15	25	60	1.241	38	1.280	1.291	1.302	3,1	4,0	4,9
Mangueira	32,40	20	30	50	1.171	46	1.219	1.231	1.245	4,0	5,1	6,3
Negreiros	12,20	20	30	50	1.171	46	1.219	1.231	1.245	4,0	5,1	6,3
Milagres	83,50	30	30	40	1.130	49	1.181	1.194	1.208	4,4	5,7	6,9
Jati	2,30	20	40	40	1.072	60	1.134	1.150	1.167	5,7	7,2	8,8

Tabela 6 - Avaliação dos Volumes de Sedimentos Retidos nos Reservatórios do Trecho I

Barragem	Período de Retenção (s x 10 ⁶)	Comprimento do Reservatório para o N.A. médio (m)	Área da Seção Média do Reservatório m ²	Velocidade Média no Reservatório (m/s x 10 ⁶)	Índice de Sedimentação (s ² /m)	K da relação de Churchill	Sedimentos Retidos (%)	Sedimentos Passantes (%)	Taxa Anual de Sedimentos hm ³ /ano	Volume de Sedimentos Retidos 10 ⁶ m ³ (Considerando a Compactação)		
										após 25 anos	após 50 anos	após 100 anos
Tucutu	2.021	1.800	11.530	0,89	2,27E+15	2,23E+16	100	0	0,0054	0,13	0,26	0,53
Terra Nova	153	1.550	3.101	10,11	1,52E+13	1,49E+14	100	0	0,0120	0,29	0,59	1,16
Serra do Livramento	4.975	1.000	16.873	0,20	2,48E+16	2,43E+17	100	0	0,0022	0,05	0,11	0,21
Mangueira	372	3.700	4.133	9,94	3,75E+13	3,67E+14	100	0	0,0154	0,37	0,73	1,45
Negreiros	1.395	3.300	6.537	2,37	5,89E+14	5,78E+15	100	0	0,0073	0,18	0,35	0,69
Milagres	716	9.500	8.398	13,27	5,40E+13	5,30E+14	100	0	0,0317	0,76	1,50	2,95
Jati	11.886	1.300	20.418	0,11	1,09E+17	1,07E+18	100	0	0,0021	0,05	0,10	0,19

Tabela 7 - Classificação dos Reservatórios do Trecho I

Barragem	fator de forma m	Tipo	Tipo Corrigido*
Tucutu	1,5 a 2,6	III	III
Terra Nova	1,8 a 2,3	III	III
Serra do Livramento	1,9 a 2,6	III	III
Mangueira	2,1 a 2,8	II	II
Negreiros	3,1 a 4,0	II	II
Milagres	2,2 a 3,5	II	II
Jati	1,3 a 2,4	III	III

* correção em função da operação e do tamanho das partículas

Tabela 8 - Avaliação da Cota de Sedimentação para o Reservatório Terra Nova

Reservatórios	Cota do Fundo (m)	Profundidade no NAmáx normal (m)	Profundidade Relativa			Altura do Sedimento (m)			Cota dos Sedimentos (m)		
			25 anos	50 anos	100 anos	25 anos	50 anos	100 anos	25 anos	50 anos	100 anos
Terra Nova	346,0	8,04	0,13	0,21	0,32	1,05	1,69	2,57	347,05	347,69	348,57

Tabela 9 - Avaliação da Cota de Assoreamento dos Reservatórios do Trecho I

	NA operacionais (m)		Cota dos Sedimentos (m)		
	Máximo Normal	Mínimo	25 anos	50 anos	100 anos
Barragem					
Tucutu	359,73	357,48	abaixo da cota 342,60 m		
Terra Nova	354,04	351,00	347,05	347,69	348,57
Serra do Livramento	408,07	405,82	abaixo da cota 388,80 m		
Mangueira	405,11	402,52	abaixo da cota 393,50 m		
Negreiros	493,83	491,74	abaixo da cota 473,10 m		
Milagres	490,83	488,74	abaixo da cota 470,20 m		
Jati	486,72	484,73	abaixo da cota 441,40 m		

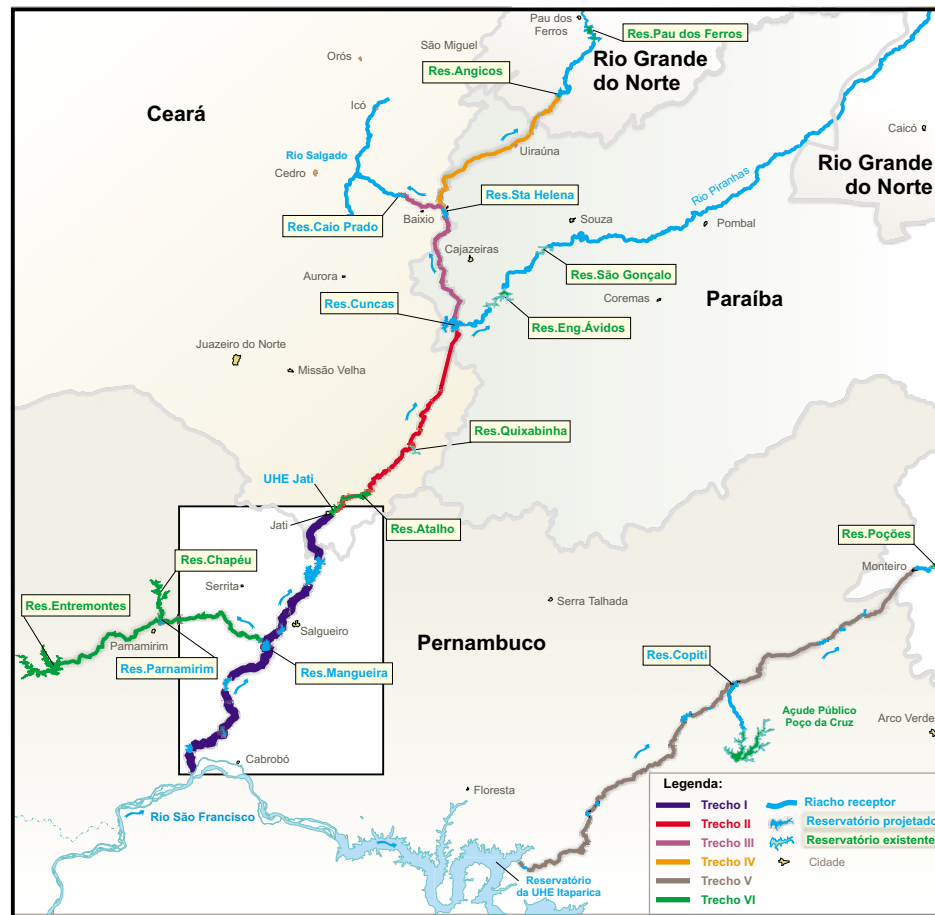
Tabela 10 - Dados Gerais dos Reservatórios e Bacias Hidrográficas do Trecho I - Análise de Sensibilidade da Taxa Anual de Produção de Sedimentos

Barragem	Área de Drenagem (km ²)	Taxa de Produção de Sedimentos m ³ /km ² por ano	Vazão Específica (l/s/km ²)	Vazão Média m ³ /s	Níveis Operacionais de Projeto (m)				Volume Operacionais de Projeto (10 ⁶ m ³)					
					Máximo Maximorum	Máximo Normal	Médio	Mínimo	Volume Máximo Maximorum	Volume total	Volume médio	Volume mínimo	Volume Útil	Volume Morto (abaixo do fundo do canal)
Tucutu	8,10	1.513	1,27	0,0103	361,00	359,73	358,61	357,48	28,56	24,22	20,75	17,61	6,61	15,70
Terra Nova	23,30	1.174	1,35	0,0313	355,64	354,04	352,52	351,00	10,75	7,30	4,81	2,82	4,48	2,77
Serra do Livramento	2,50	2.006	1,36	0,0034	409,35	408,07	406,95	405,82	20,57	18,60	16,87	15,17	3,43	14,06
Mangueira	32,40	1.085	1,27	0,0411	406,46	405,11	403,82	402,52	22,91	18,70	15,29	12,37	6,34	12,20
Negreiros	12,20	1.372	1,27	0,0155	495,06	493,83	492,79	491,74	26,97	23,95	21,57	19,34	4,61	17,98
Milagres	83,50	864	1,33	0,1114	492,13	490,83	489,79	488,74	104,37	89,97	79,78	70,39	19,59	64,73
Jati	2,30	2.047	0,97	0,0022	487,79	486,72	485,73	484,73	29,29	27,84	26,54	25,28	2,56	25,28

Tabela 11 - Avaliação dos Volumes de Sedimentos Retidos nos Reservatórios do Trecho I - Análise de Sensibilidade da Taxa Anual de Produção de Sedimentos

Barragem	Período de Retenção (s x 10 ⁶)	Comprimento do Reservatório para o N.A. médio (m)	Área da Seção Média do Reservatório m ²	Velocidade Média no Reservatório (m/s x 10 ⁶)	Índice de Sedimentação (s ² /m)	K da relação de Churchill	Sedimentos Retidos (%)	Sedimentos Passantes (%)	Taxa Anual de Sedimentos hm3/ano	Volume de Sedimentos Retidos 10 ⁶ m ³ (Considerando a Compactação)		
										após 25 anos	após 50 anos	após 100 anos
Tucutu	2.021	1.800	11.530	0,89	2,27E+15	2,23E+16	100	0	0,0123	0,30	0,60	1,20
Terra Nova	153	1.550	3.101	10,11	1,52E+13	1,49E+14	100	0	0,0274	0,67	1,33	2,65
Serra do Livramento	4.975	1.000	16.873	0,20	2,48E+16	2,43E+17	100	0	0,0050	0,12	0,24	0,48
Mangueira	372	3.700	4.133	9,94	3,75E+13	3,67E+14	100	0	0,0352	0,84	1,67	3,29
Negreiros	1.395	3.300	6.537	2,37	5,89E+14	5,78E+15	100	0	0,0167	0,40	0,79	1,57
Milagres	716	9.500	8.398	13,27	5,40E+13	5,30E+14	100	0	0,0722	1,72	3,40	6,72
Jati	11.886	1.300	20.418	0,11	1,09E+17	1,07E+18	100	0	0,0047	0,11	0,22	0,43

FIGURAS



Planta Chave

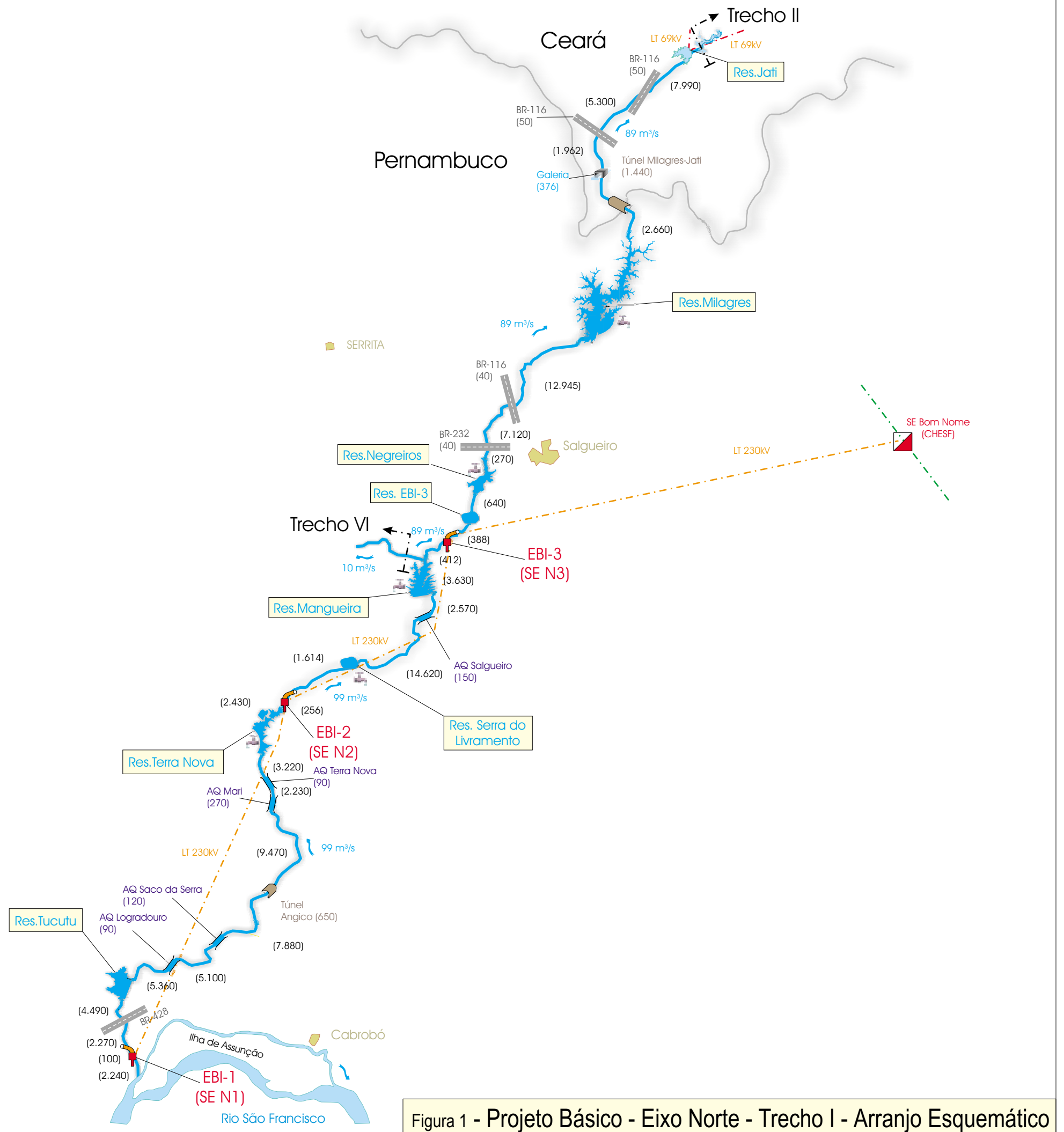


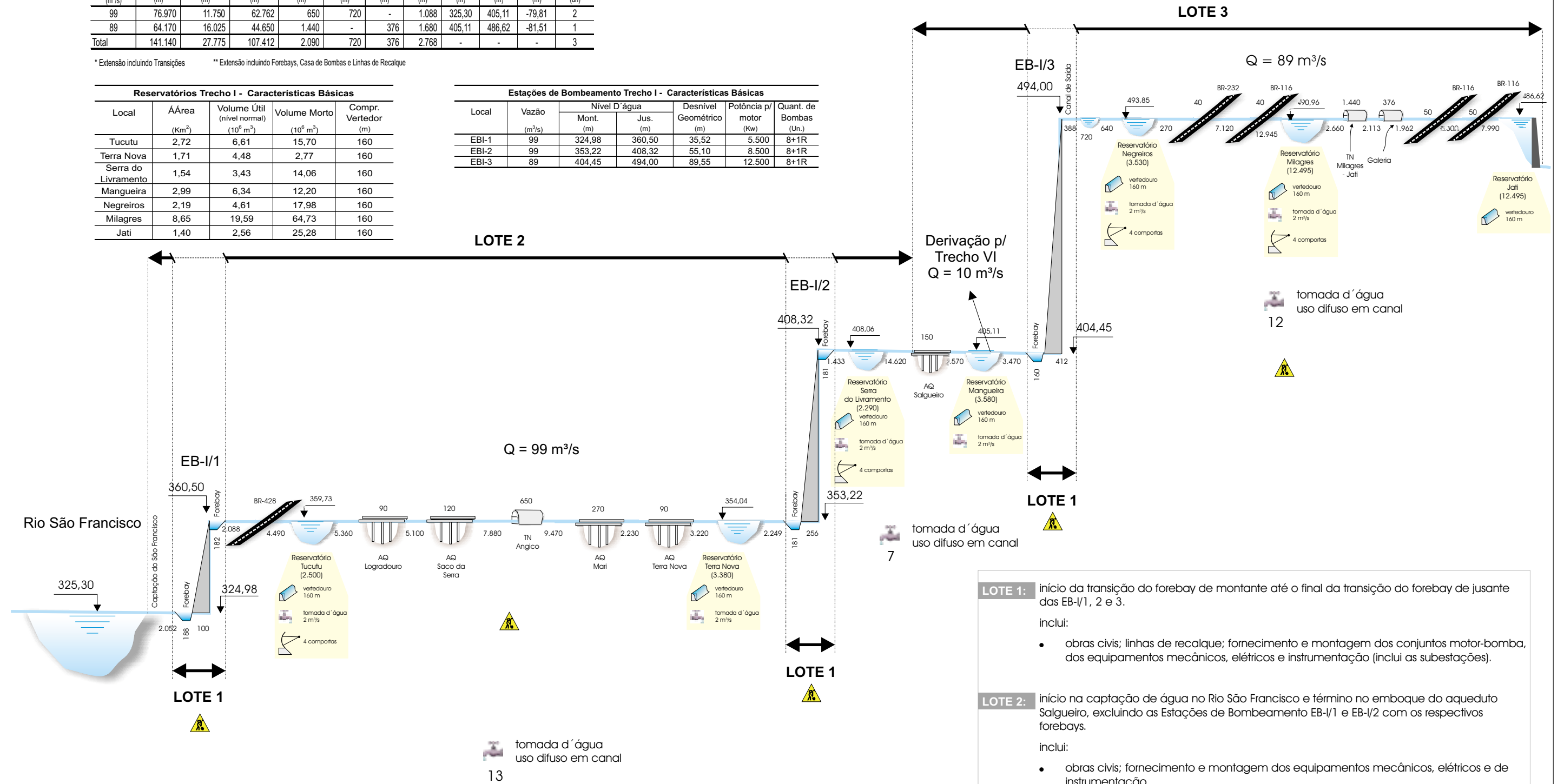
Figura 1 - Projeto Básico - Eixo Norte - Trecho I - Arranjo Esquemático

Resumo das Características Básicas do Trecho I											
Vazão (m³/s)	Extensão							Níveis D'água		Desnível (m)	Quant. EB's (un)
	Total (m)	Reservatórios (m)	Canais* (m)	Túneis (m)	Aquedutos (m)	Galerias (m)	EB's** (m)	Inicial (m)	Final (m)		
99	76.970	11.750	62.762	650	720	-	1.088	325,30	405,11	-79,81	2
89	64.170	16.025	44.650	1.440	-	376	1.680	405,11	486,62	-81,51	1
Total	141.140	27.775	107.412	2.090	720	376	2.768	-	-	-	3

* Extensão incluindo Transições ** Extensão incluindo Forebays, Casa de Bombas e Linhas de Recalque

Reservatórios Trecho I - Características Básicas				
Local	Área (Km²)	Volume Útil (10⁶ m³) (nível normal)	Volume Morto (10⁶ m³)	Compr. Vertedor (m)
Tucutu	2,72	6,61	15,70	160
Terra Nova	1,71	4,48	2,77	160
Serra do Livramento	1,54	3,43	14,06	160
Mangueira	2,99	6,34	12,20	160
Negreiros	2,19	4,61	17,98	160
Milagres	8,65	19,59	64,73	160
Jati	1,40	2,56	25,28	160

Estações de Bombeamento Trecho I - Características Básicas						
Local	Vazão (m³/s)	Nível D'água		Desnível Geométrico (m)	Potência p/ motor (Kw)	Quant. de Bombas (Un.)
		Mont. (m)	Jus. (m)			
EBI-1	99	324,98	360,50	35,52	5.500	8+1R
EBI-2	99	353,22	408,32	55,10	8.500	8+1R
EBI-3	89	404,45	494,00	89,55	12.500	8+1R



- LOTE 1:** início da transição do forebay de montante até o final da transição do forebay de jusante das EB-I/1, 2 e 3.
inclui:
 - obras civis; linhas de recalque; fornecimento e montagem dos conjuntos motor-bomba, dos equipamentos mecânicos, elétricos e instrumentação (inclui as subestações).
- LOTE 2:** início na captação de água no Rio São Francisco e término no emboque do aqueduto Salgueiro, excluindo as Estações de Bombeamento EB-I/1 e EB-I/2 com os respectivos forebays.
inclui:
 - obras civis; fornecimento e montagem dos equipamentos mecânicos, elétricos e de instrumentação.
- LOTE 3:** início no emboque do aqueduto Salgueiro e término na barragem de Jati (excluindo a Estação de Bombeamento EB-I/3, forebay de montante e canal de saída).
inclui:
 - obras civis; fornecimento e montagem dos equipamentos mecânicos, elétricos e de instrumentação.

Legenda:

- Área de abrangência do canteiro de obras
- ⚠ Canteiro de Obras.
- Cotas e extensões em metro.

Figura 2 - Projeto Básico - Eixo Norte - Trecho I - Principais Características

Figura 3 - Curva Cota x Área x Volume do Reservatório Tucutú

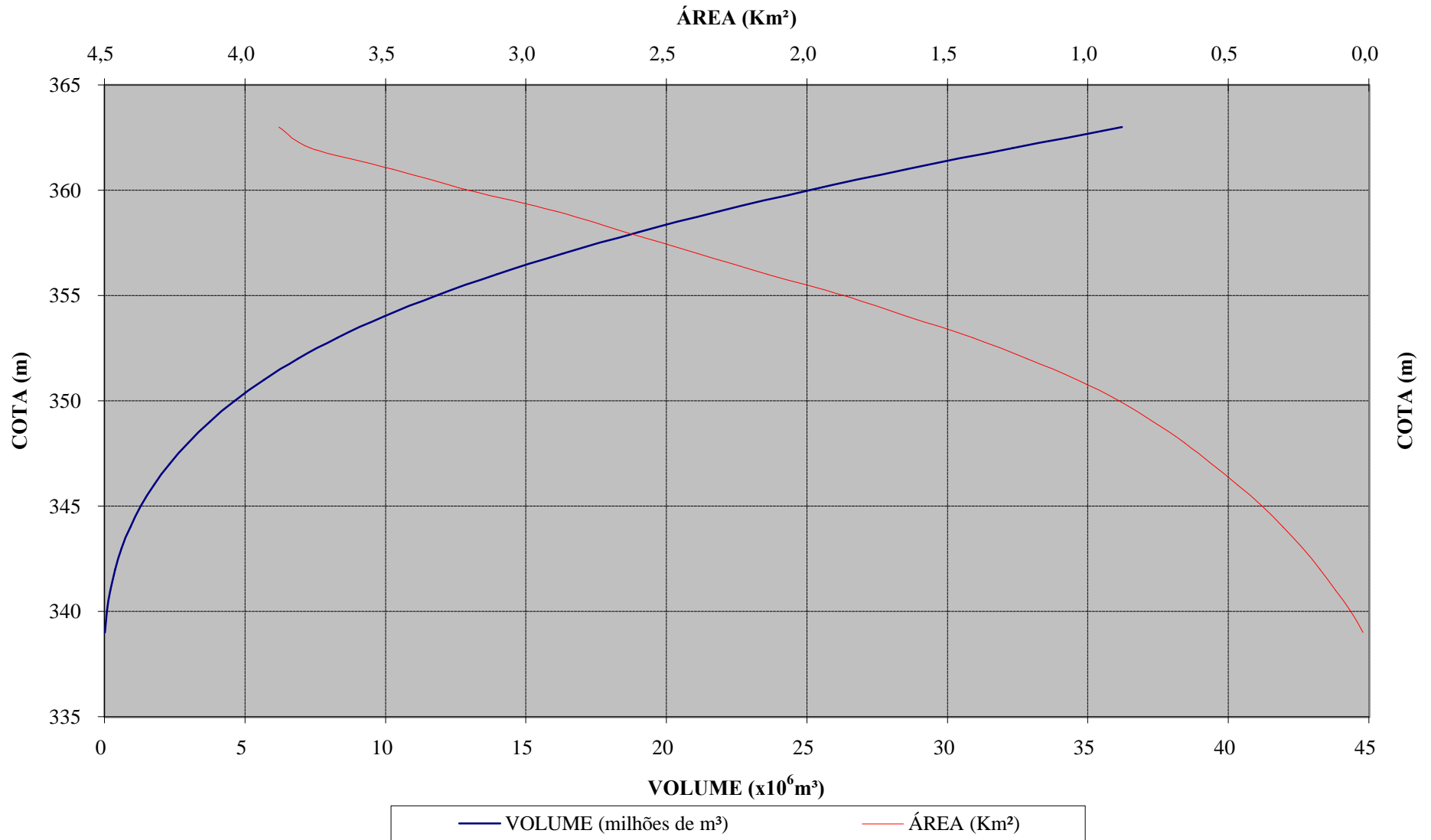


Figura 4 - Curva Cota x Área x Volume do Reservatório TERRA NOVA

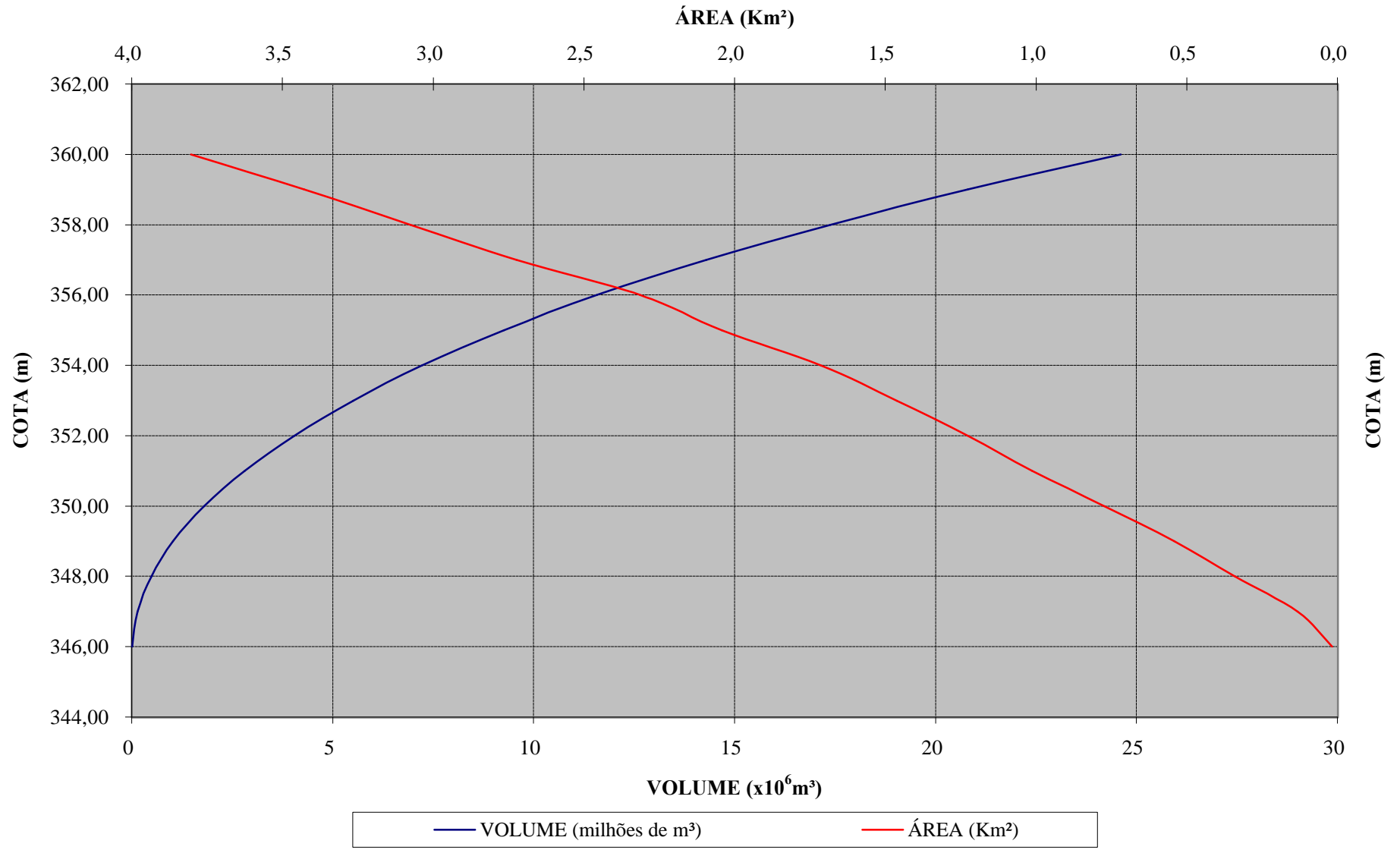


Figura 5 - Curva Cota x Área Volume do Reservatório Serra do Livramento

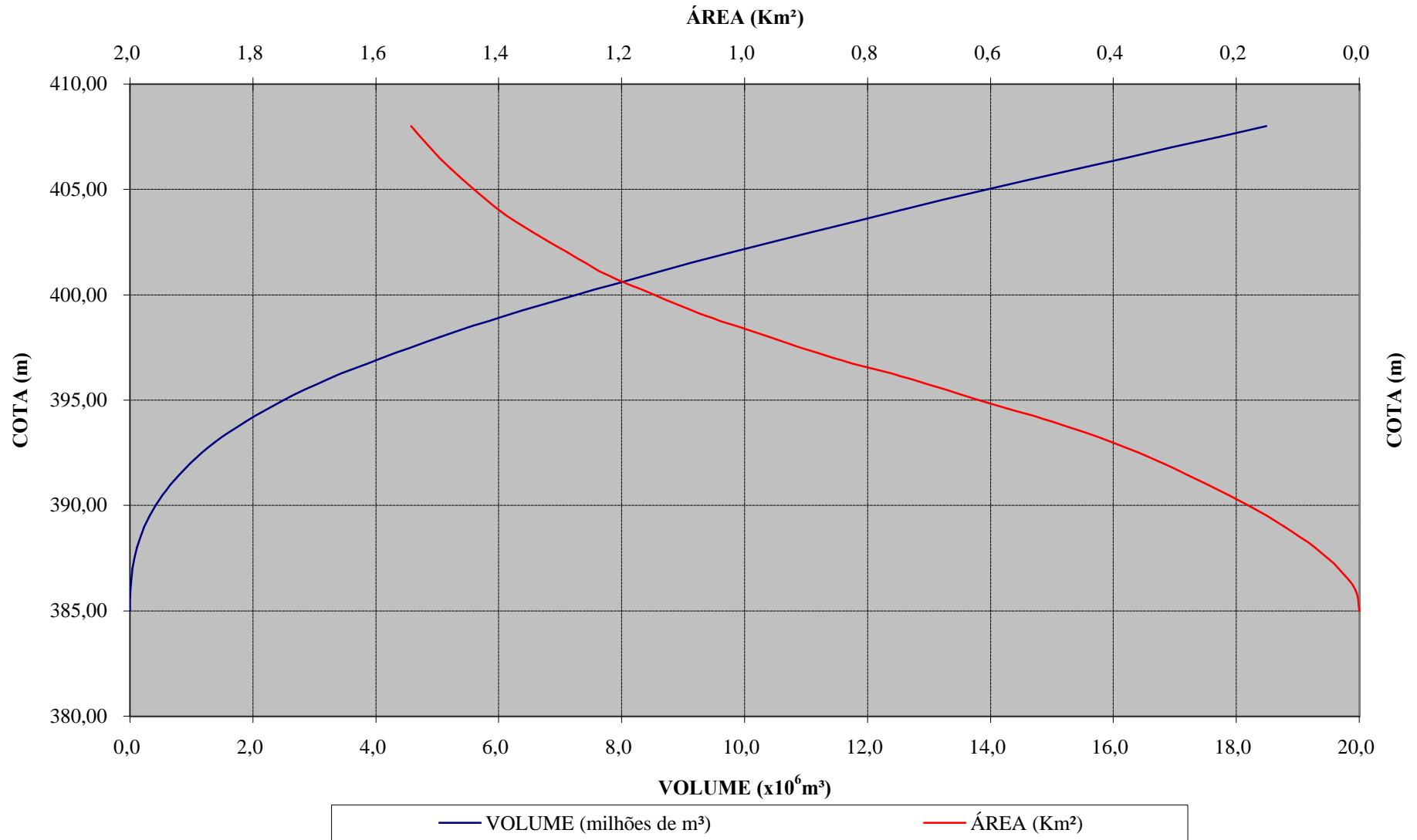


Figura 6 - Curva Cota x Área x Volume do Reservatório Mangueira

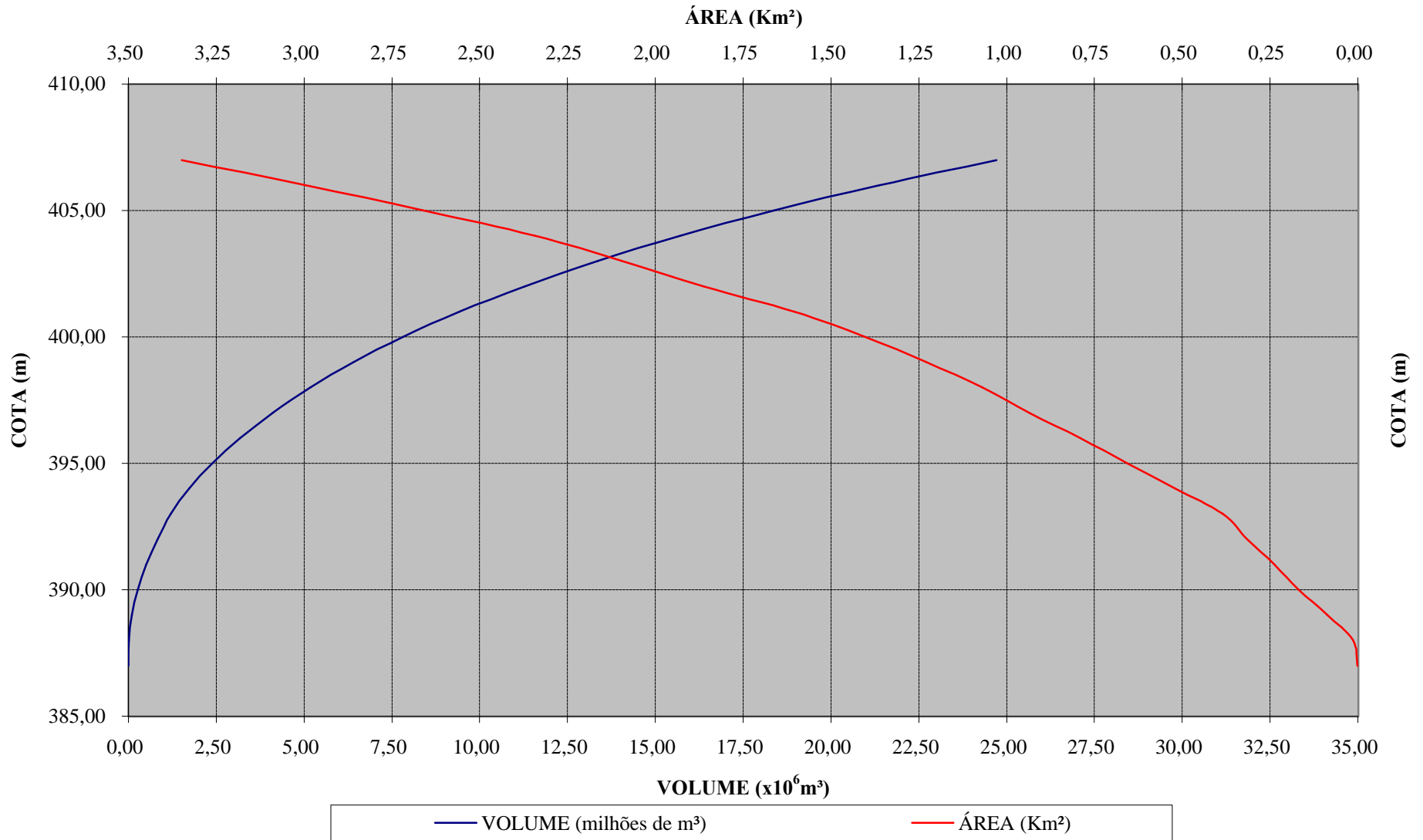


Figura 7 - Curva Cota x Área x Volume do Reservatório Negreiros

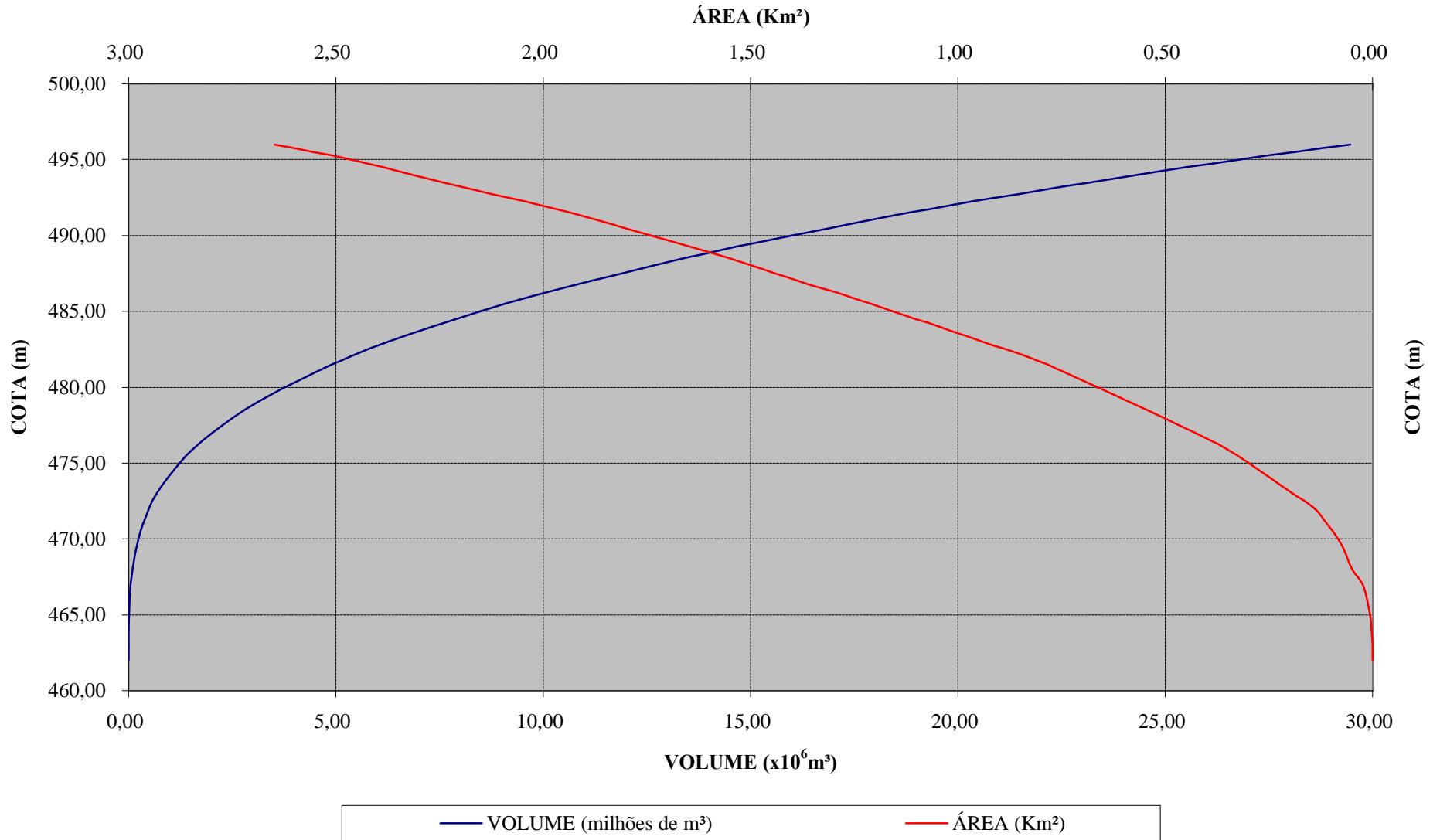


Figura 8 - Curva Cota x Área x Volume do Reservatório Milagres

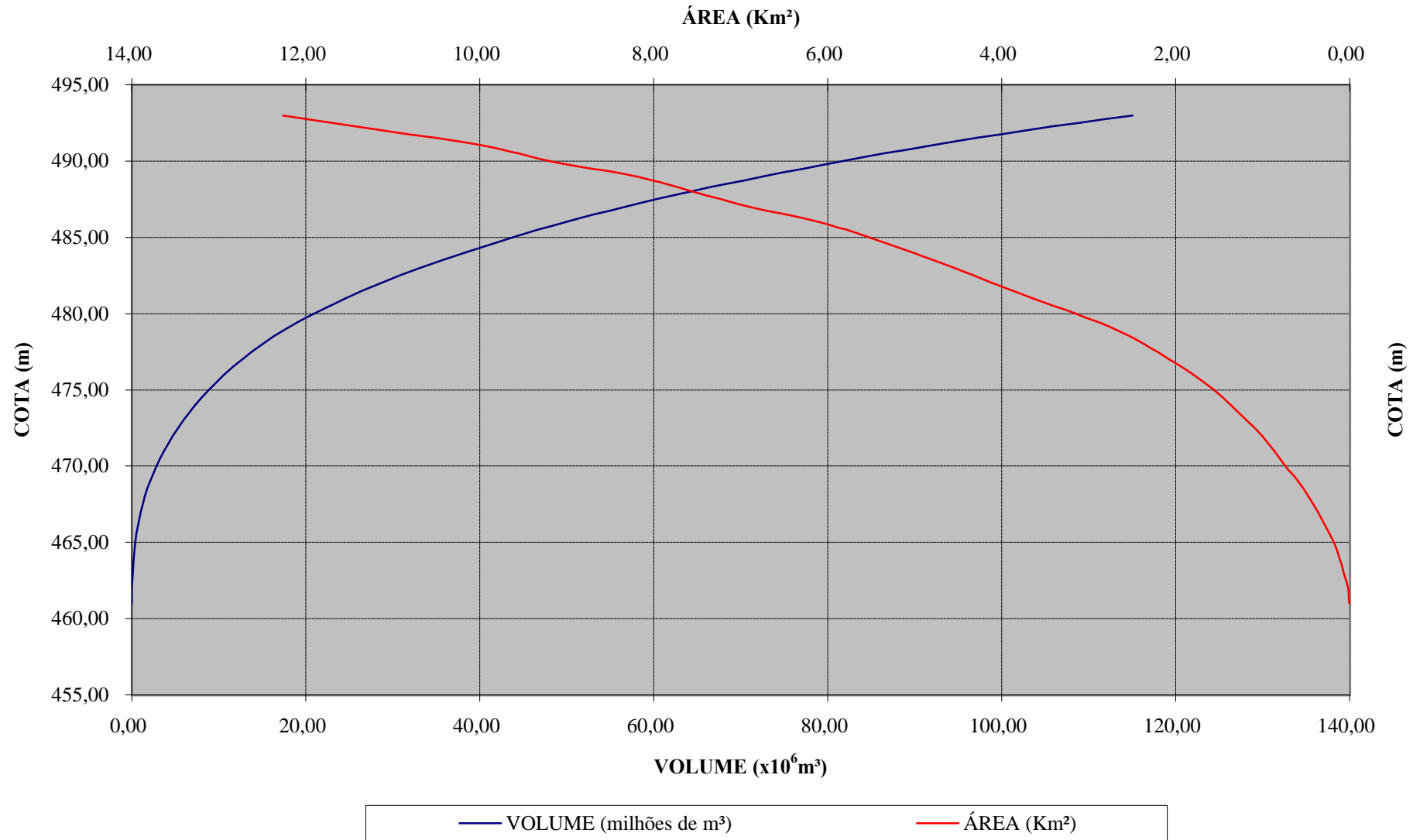


Figura 9 - Curva Cota x Área x Volume do Reservatório Jati

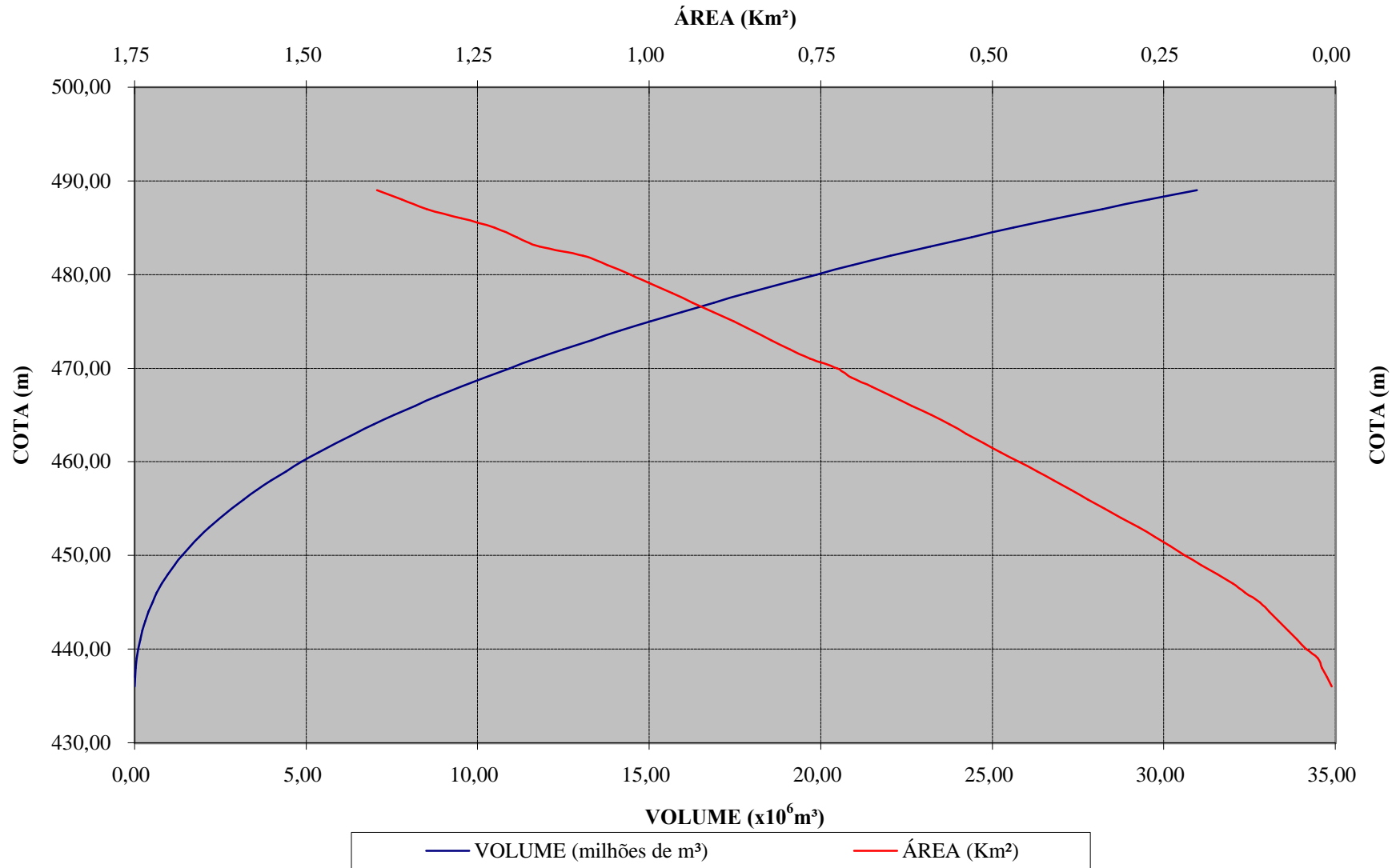
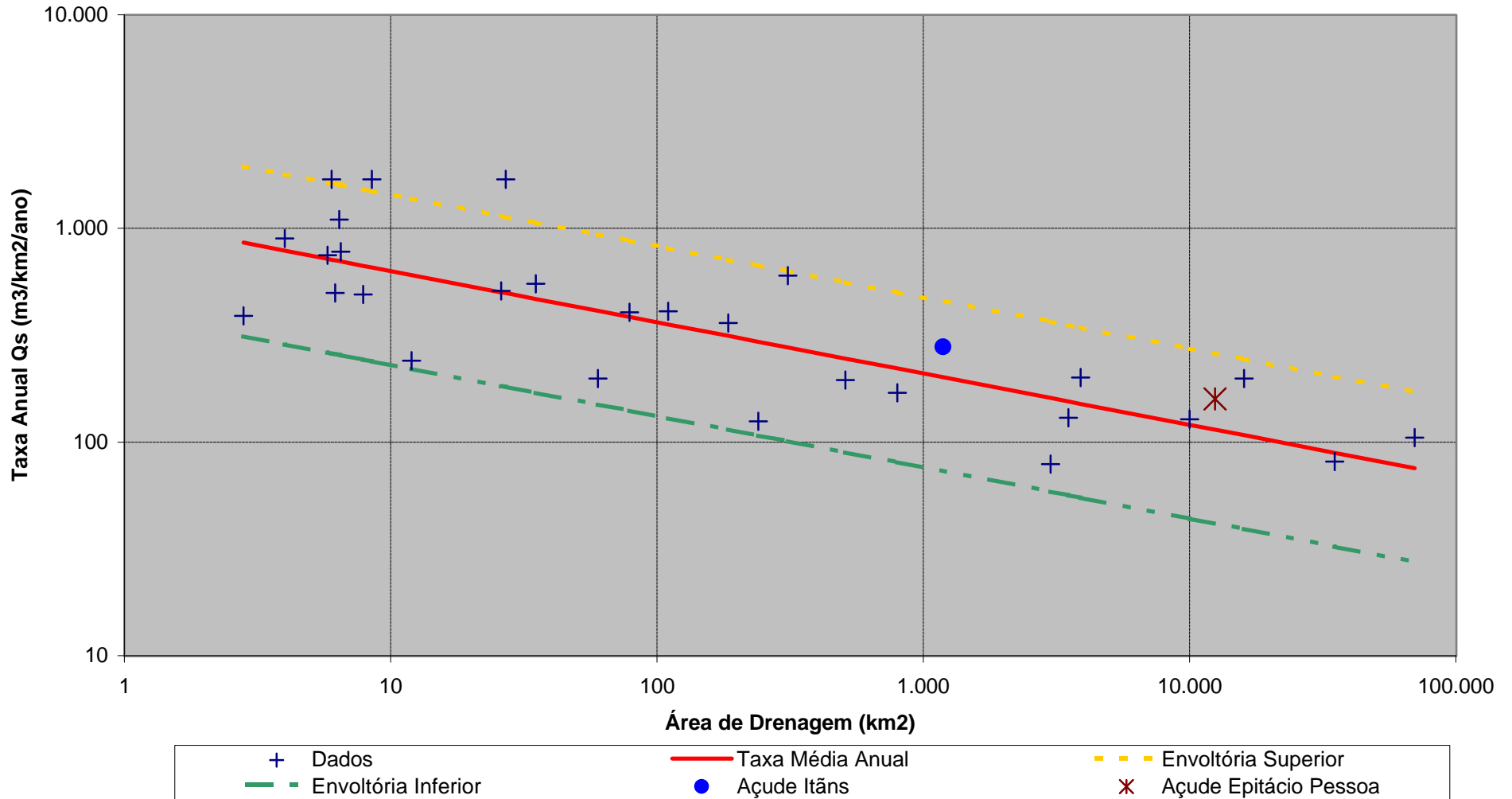
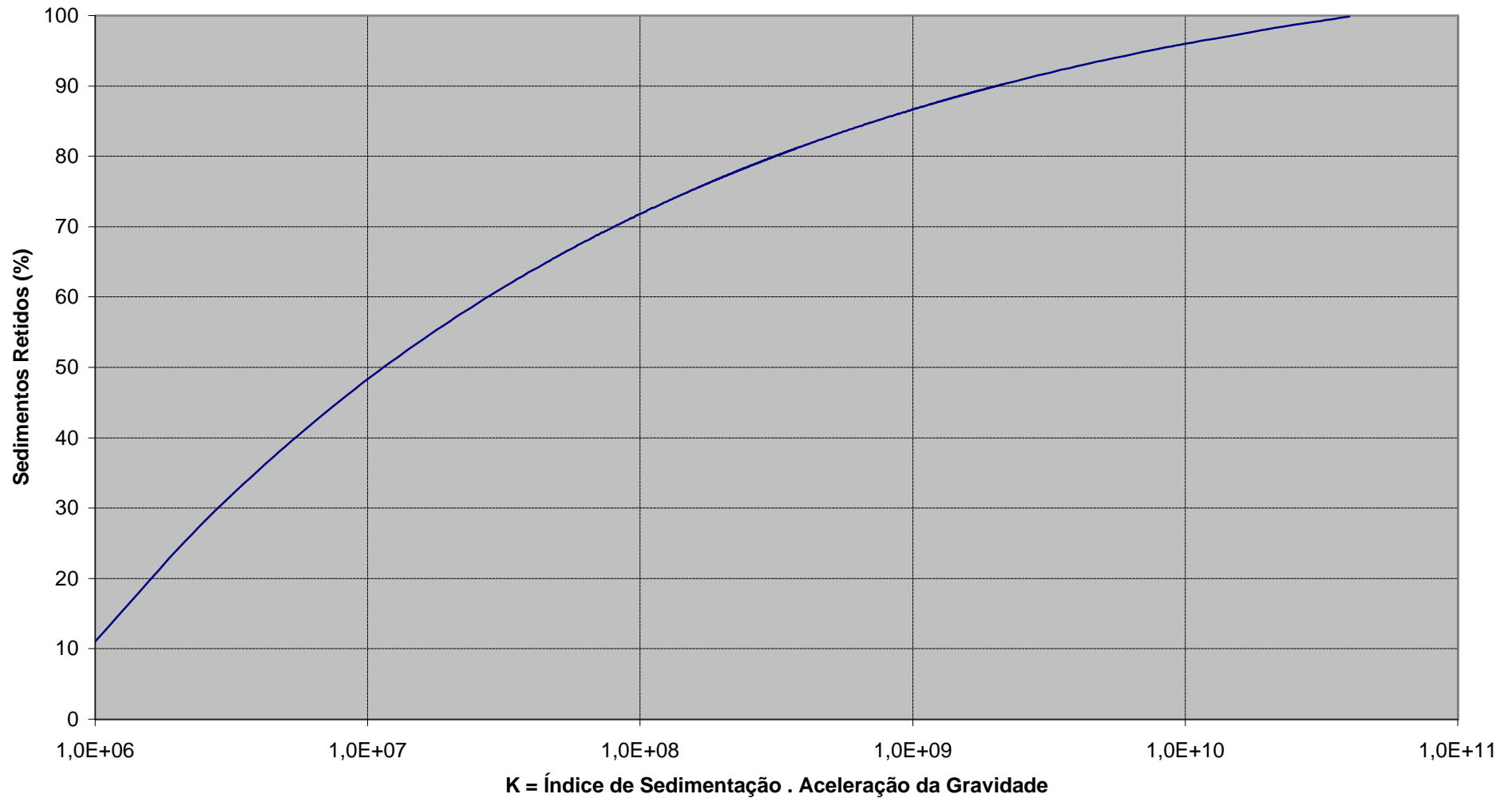


Figura 10 - Taxas Anuais de Produção de Sedimentos em função da Área de Drenagem da Bacia Hidrográfica Reservatórios Situados no Sudoeste dos Estados Unidos - Clima Semi-Árido*



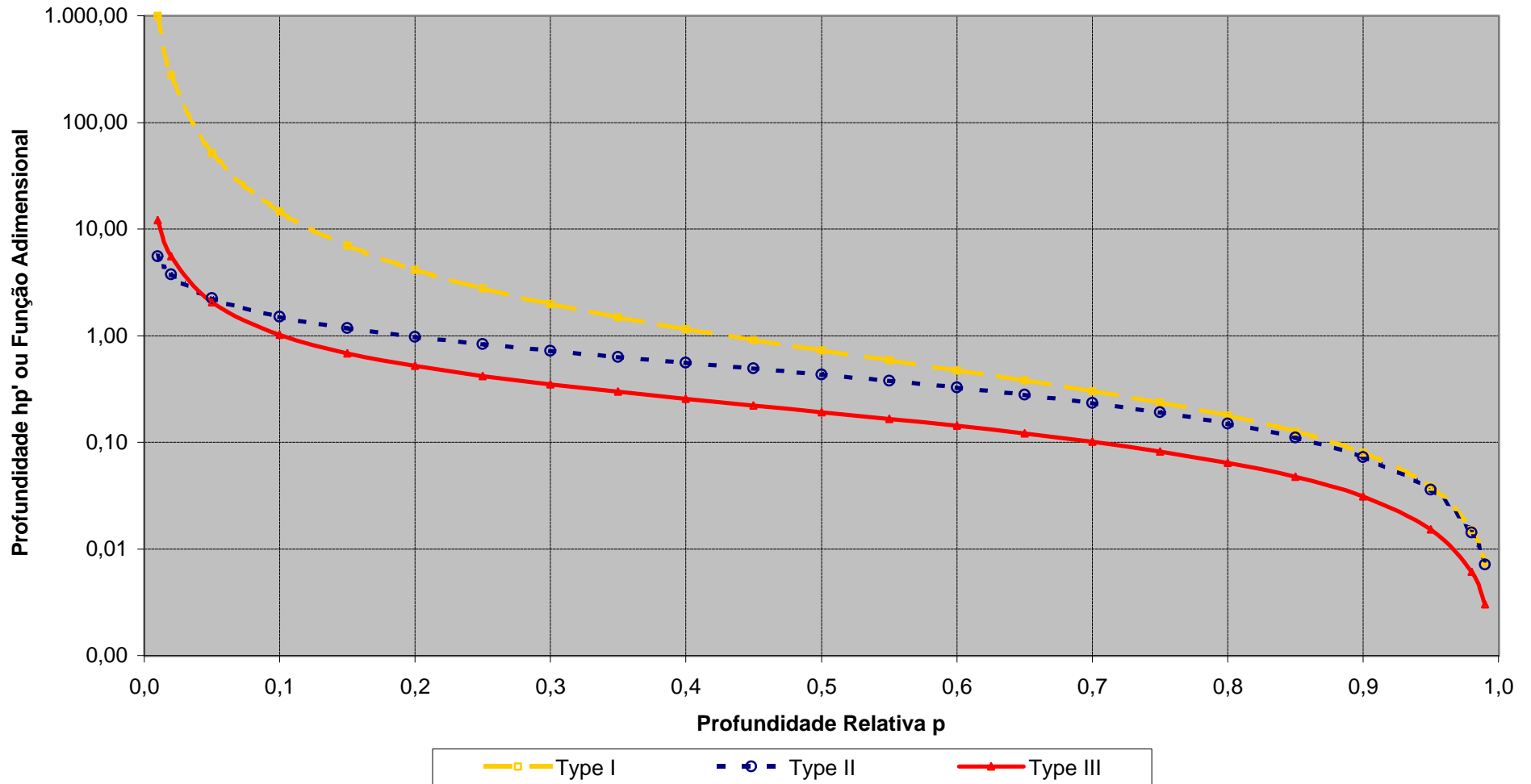
*fonte: Design of Small Dams. US Department of the Interior. Bureau of Reclamation. 1987

Figura 11 - Curvas de Eficiência de Retenção de Sedimentos em Reservatórios



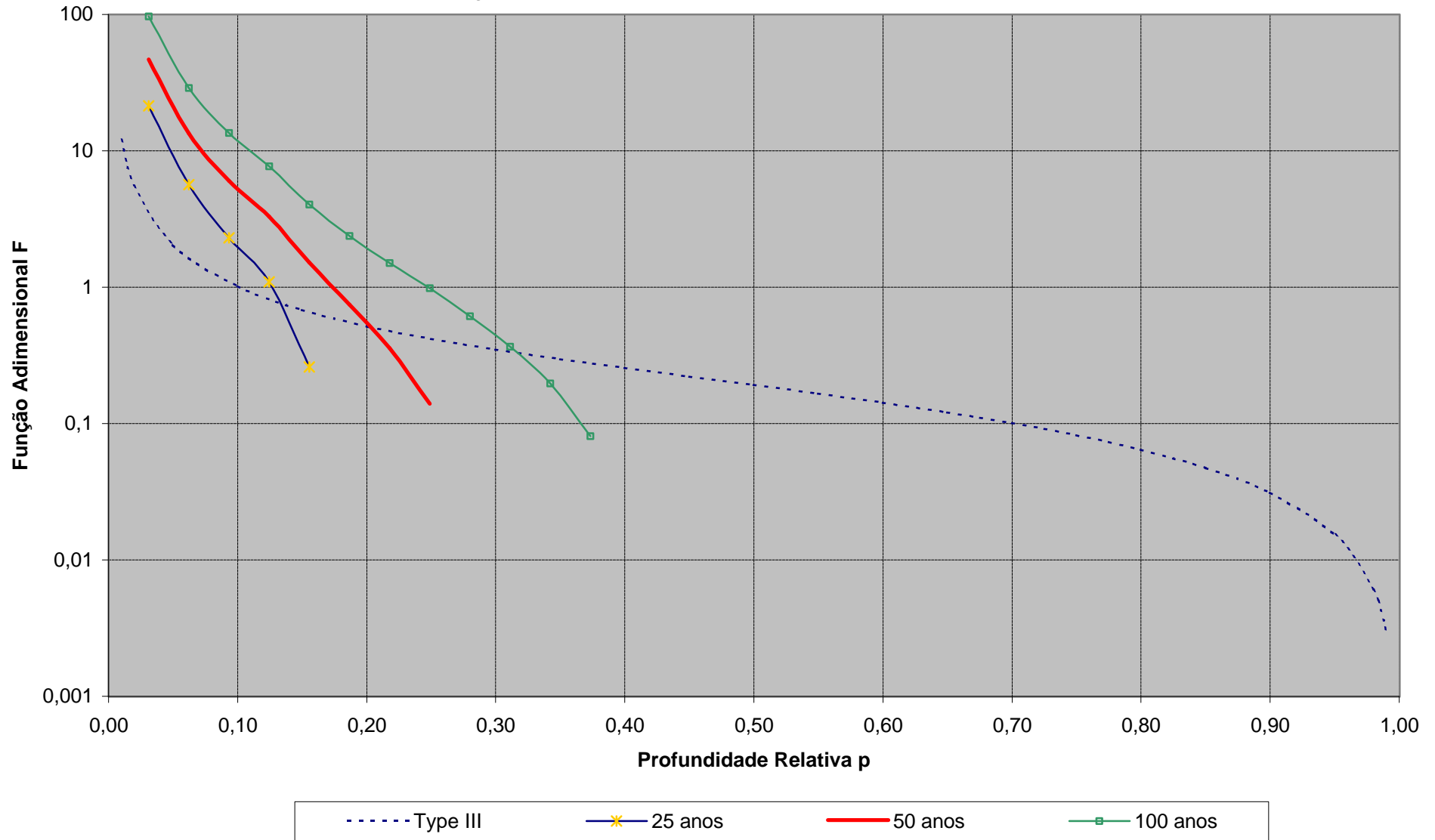
fonte: Churchill, M.A., Janeiro, 1948 / Design of Small Dams, US Department of Interior

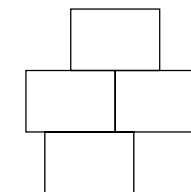
Figura 12 - Curvas para Determinação da Profundidade dos Depósitos de Sedimentos junto da Barragem*



fonte: Design of Small Dams, US Bureau of Reclamation, 1987

Figura 13 - Avaliação da Altura de Sedimento no Pé da Barragem Terra Nova





PLANTA DE ARTICULAÇÃO

NOTAS

- 1 - AS COORDENADAS DO "GRID", CORRESPONDEM AO SISTEMA UTM.
- 2 - DATUM VERTICAL-IMBITUBA-SANTA CATARINA DATUM HORIZONTAL-SAD 88.

REFERÊNCIA

- CARTA SUDENE/DSG, ESCALA 1:100.000, 1987/89
- 281-FUN-TSF-RT-8016 - R10 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS

LEGENDA

- RIOS E RIACHOS INTERMITENTES
- AÇUDES E LAGOAS
- ESTRADAS PAVIMENTADAS
- ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS
- CAMINHOS
- CIDADES
- VILAS
- CURVAS DE NÍVEL
- POSTOS PLUVIOMÉTRICOS
- LIMITE DAS BACIAS
- LIMITE DAS SUB-BACIAS
- BACIA DOS RESERVATÓRIOS
- BACIAS DE OBRAS DE DRENAGEM COM ÁREA > 3,5km²
- PONTO DE AVALIAÇÃO DE VAZÃO NA MODELAGEM DO AQUEDUTO MARI
- EIXO DO CANAL

Nº FUNCATE					
EN.V/G.DS.HI.0200					
REV. Nº	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	EXEC.	VERIF.	APROV.

CONSORCIO **ENGEORPS HARZA**

PROJETO	LAVG	DATA	15 / 12 / 00
PROJETISTA	DES. CAP / MAG	DATA	15 / 12 / 00
VERIFICAÇÃO	MOG	DATA	15 / 12 / 00
APROVAÇÃO	Engº Cml Murilo Donizeti Ruiz CREA 13002/D 6ª Região		

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA

FUNCATE
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS

VERIFICAÇÃO	DATA	/ /
APROVAÇÃO	R.A.	DATA / /
APROVAÇÃO	A.C.V.	DATA / /

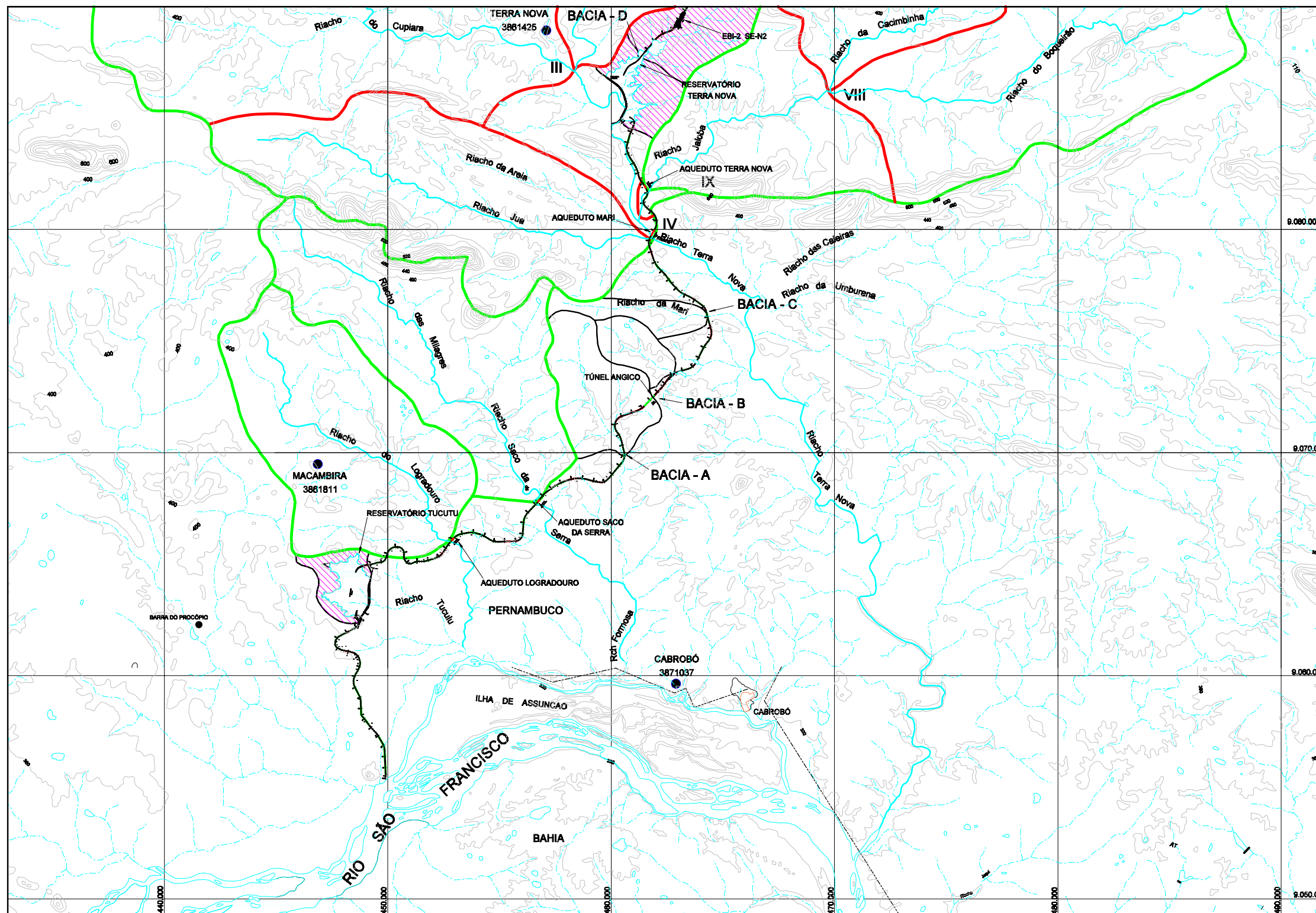
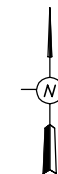
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS

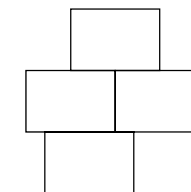
PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

PROJETO BÁSICO

EIXO NORTE - TRECHO I
ESTUDO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS
FOLHA 1/4

SUBSTITUI	SUBSTITUÍDO POR	ESCALA
Nº	281-FUN-TSF-A1-80380	1:100.000
REV.	0/A	





PLANTA DE ARTICULAÇÃO

NOTAS

- 1 - AS COORDENADAS DO "GRID", CORRESPONDEM AO SISTEMA UTM.
- 2 - DATUM VERTICAL-IMBITUBA-SANTA CATARINA DATUM HORIZONTAL-SAD 88.

REFERÊNCIA

- CARTA SUDENE/DSG, ESCALA 1:100.000, 1987/89
- 261-FUN-TSF-RT-8016 - R10 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS

LEGENDA

- RIOS E RIACHOS INTERMITENTES
- AÇUDES E LAGOAS
- ESTRADAS PAVIMENTADAS
- ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS
- CAMINHOS
- CIDADES
- VILAS
- CURVAS DE NÍVEL
- POSTOS PLUVIOMÉTRICOS
- LIMITE DAS BACIAS
- LIMITE DAS SUB-BACIAS
- BACIA DOS RESERVATÓRIOS
- BACIAS DE OBRAS DE DRENAGEM COM ÁREA ≥ 3,5km²
- PONTO DE AVALIAÇÃO DE VAZÃO NA MODELAGEM DO AQUEDUTO MARI
- EIXO DO CANAL

Nº FUNCATE		EN.V/G.DS.HI.0201			
REV. Nº	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	EXEC.	VERIF.	APROV.

CONSORCIO **ENGEORPS HARZA**

PROJETO	LAVG	DATA	15 / 12 / 00
PROJETISTA	DES. CAP / MAG	DATA	15 / 12 / 00
VERIFICAÇÃO	MOG	DATA	15 / 12 / 00
APROVAÇÃO	Engº Civil Murilo Donizel Ruiz CREA 13002/D 6ª Região		

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA

FUNCATE FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS	
VERIFICAÇÃO	DATA / /
APROVAÇÃO	R.A. DATA / /
APROVAÇÃO	A.C.V. DATA / /

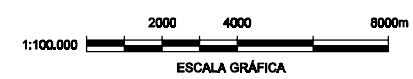
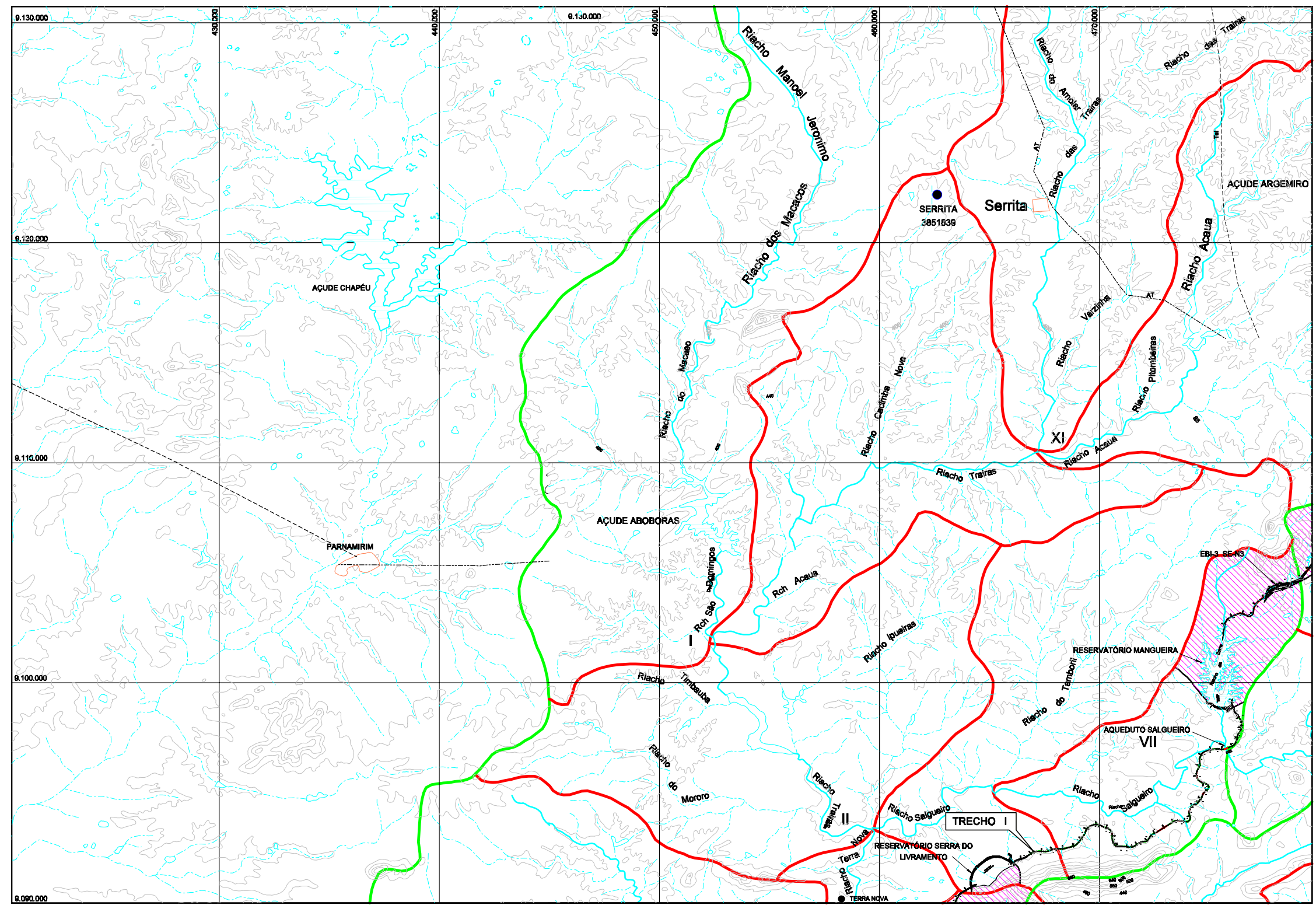
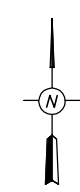
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS

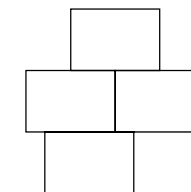
PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

PROJETO BÁSICO

EIXO NORTE - TRECHO I
ESTUDO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS
FOLHA 2/4

SUBSTITUI	SUBSTITUÍDO POR	ESCALA
Nº	261-FUN-TSF-A1-80381	1:100.000
REV.		Q/A





PLANTA DE ARTICULAÇÃO

NOTAS

- 1 - AS COORDENADAS DO "GRID", CORRESPONDEM AO SISTEMA UTM.
- 2 - DATUM VERTICAL-IMBITUBA-SANTA CATARINA DATUM HORIZONTAL-SAD 88.

REFERÊNCIA

- CARTA SUDENE/DSG, ESCALA 1:100.000, 1987/89
- 281-FUN-TSF-RT-8016 - R10 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS

LEGENDA

- RIOS E RIACHOS INTERMITENTES
- AÇUDES E LAGOAS
- ESTRADAS PAVIMENTADAS
- ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS
- CAMINHOS
- CIDADES
- VILAS
- CURVAS DE NÍVEL
- POSTOS PLUVIOMÉTRICOS
- LÍMITE DAS BACIAS
- LÍMITE DAS SUB-BACIAS
- BACIA DOS RESERVATÓRIOS
- BACIAS DE OBRAS DE DRENAGEM COM ÁREA > 3,5km²
- PONTO DE AVALIAÇÃO DE VAZÃO NA MODELAGEM DO AQUEDUTO MARI
- EIXO DO CANAL

Nº FUNCATE EN.V/G.DS.HIT.0202

REV. Nº	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	EXEC.	VERIF.	APROV.

CONSORCIO **ENGEORPS HARZA**

PROJETO	LAVG	DATA	15 / 12 / 00
PROJETISTA	DES. CAP / MAG	DATA	15 / 12 / 00
VERIFICAÇÃO	MOG	DATA	15 / 12 / 00
APROVAÇÃO	Engº Cml Murilo Dondici Ruiz CREA 13002/D 6ª Região		

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL
SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA

FUNCATE
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS

VERIFICAÇÃO	DATA	/ /
APROVAÇÃO	R.A.	DATA / /
APROVAÇÃO	A.C.V.	DATA / /

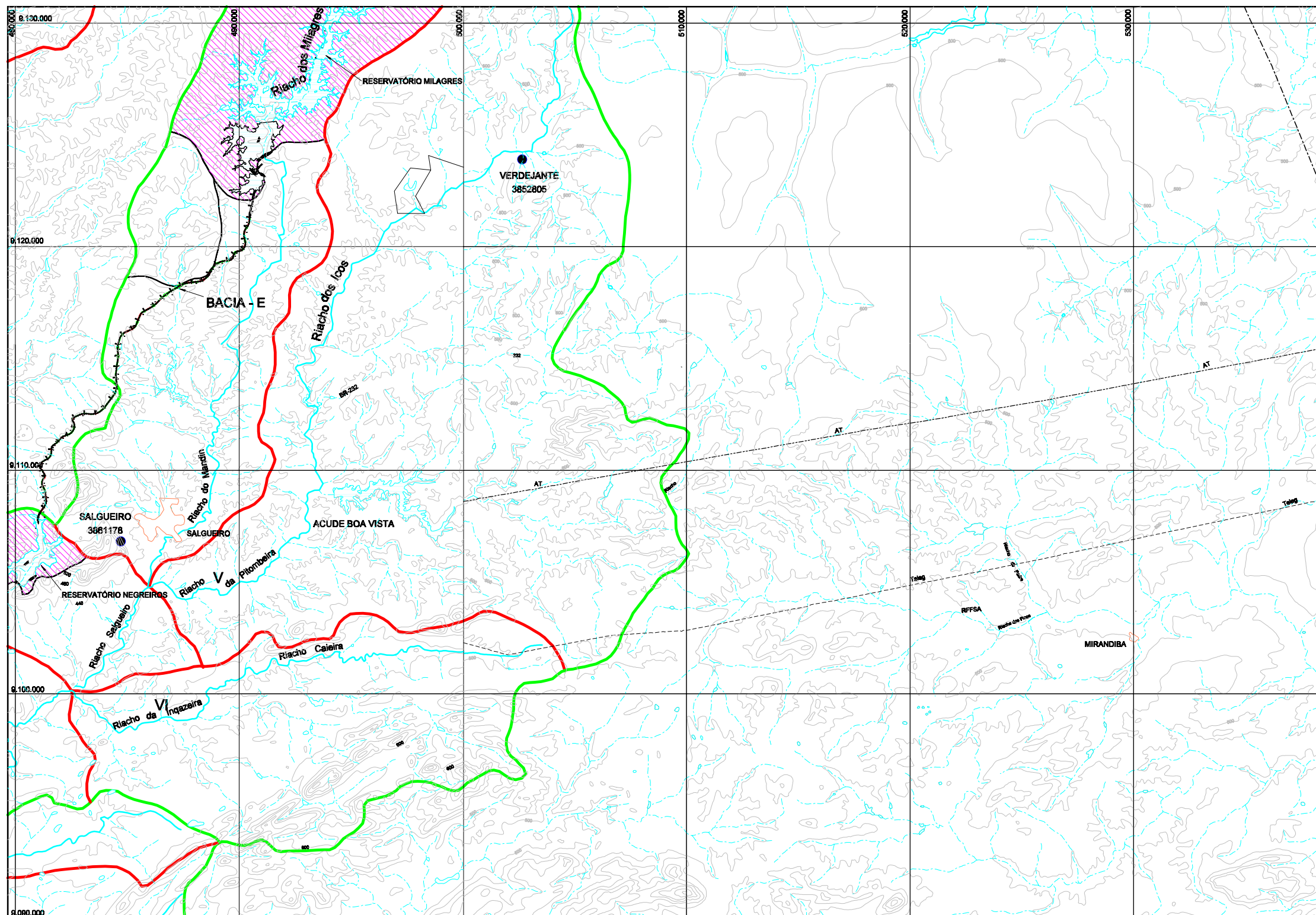
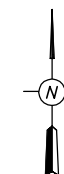
FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS

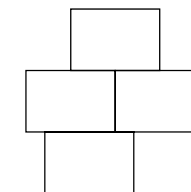
PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

PROJETO BÁSICO

EIXO NORTE - TRECHO I
ESTUDO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS
FOLHA 3/4

SUBSTITUI	SUBSTITUÍDO POR	ESCALA	1:100.000
Nº	281-FUN-TSF-A1-80382	REV.	0/A





PLANTA DE ARTICULAÇÃO

NOTAS

- 1 - AS COORDENADAS DO "GRID", CORRESPONDEM AO SISTEMA UTM.
- 2 - DATUM VERTICAL-IMBITUBA-SANTA CATARINA DATUM HORIZONTAL-SAD 88.

REFERÊNCIA

- CARTA SUDENE/DSG, ESCALA 1:100.000, 1987/89
- 281-FUN-TSF-RT-8018 - R10 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS E SEDIMENTOLÓGICOS

LEGENDA

- RIOS E RIACHOS INTERMITENTES
- AÇUDES E LAGOAS
- ESTRADAS PAVIMENTADAS
- ESTRADAS NÃO PAVIMENTADAS
- CAMINHOS
- CIDADES
- VILAS
- CURVAS DE NÍVEL
- POSTOS PLUVIOMÉTRICOS
- LIMITE DAS BACIAS
- LIMITE DAS SUB-BACIAS
- BACIA DOS RESERVATÓRIOS
- BACIAS DE OBRAS DE DRENAGEM COM ÁREA > 3,5km²
- PONTO DE AVALIAÇÃO DE VAZÃO NA MODELAGEM DO AQUEDUTO MARI
- EIXO DO CANAL

Nº FUNCATE EN.V/G.DS.HI.0203

REV. Nº	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	EXEC.	VERIF.	APROV.

CONSORCIO ENGEORPS HARZA

PROJETO	LAVG	DATA	15 / 12 / 00
PROJETISTA	DES. CAP / MAG	DATA	15 / 12 / 00
VERIFICAÇÃO	MOG	DATA	15 / 12 / 00
APROVAÇÃO	Engº Cml Murilo Dondici Ruiz CREA 13002/D 6ª Região		

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA HÍDRICA

FUNCATE FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS

VERIFICAÇÃO		DATA	
APROVAÇÃO	R.A.	DATA	
APROVAÇÃO	A.C.V.	DATA	

FUNDAÇÃO DE CIÊNCIA, APLICAÇÕES E TECNOLOGIA ESPACIAIS

PROJETO DE TRANSPOSIÇÃO DE ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O NORDESTE SETENTRIONAL

PROJETO BÁSICO

EIXO NORTE - TRECHO I ESTUDO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS FOLHA 4/4

SUBSTITUI	SUBSTITUÍDO POR	ESCALA	1:100.000
Nº	281-FUN-TSF-A1-80383	REV.	0/A

