

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**ESTIMAÇÃO DA CURVA VOLUME VERSUS DURAÇÃO UTILIZANDO A
DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE GENERALIZADA DE VALORES
EXTREMOS – GEV. PARA OBTENÇÃO DO VOLUME DE ESPERA EM
RESERVATORIOS.**

AGNALDO PASSOLONGO PRETI

Cascavel

2005

AGNALDO PASSOLONGO PRETI

ESTIMAÇÃO DA CURVA VOLUME *VERSUS* DURAÇÃO UTILIZANDO A
DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE GENERALIZADA DE VALORES
EXTREMOS – GEV. PARA OBTENÇÃO DO VOLUME DE ESPERA EM
RESERVATORIOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e meio ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Manoel Moises
Ferreira de Queiroz

Cascavel

2005

Agnaldo Passolongo Preti

“Estimação da curva volume *versus* duração utilizando a distribuição de probabilidade generalizada de valores extremos, para obtenção do volume de espera em reservatórios”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação “*stricto sensu*” em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, pela comissão formada pelos professores:

Orientador: Prof. Dr. Manoel Moisés Ferreira de Queiroz
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Vanderlei Rodrigues da Silva
PUC – Toledo - PR

Prof. Dr. Marcio Antonio Vilas Boas
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Ajadir Fazolo
UNIOESTE/CCET – Cascavel – PR

Prof. Dr. Benedito Martins Gomes
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Cascavel, 12 de dezembro de 2005.

DEDICO.

Aos meus pais
que souberam entender a finalidade desta etapa.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, José e Alcioni, por tudo que eles representam para mim e pelo seu esforço, dedicação e incentivo ao longo da minha formação como ser humano e cidadão.

À minha esposa, pelo companheirismo e compreensão.

Agradeço ao prof. Manoel Moises Ferreira de Queiroz, pelo seu dinamismo e apoio dado a concretização deste trabalho.

Agradeço a todos os professores do curso que estiveram presente no processo ensino-aprendizagem.

Ao acadêmico Adilson Borssoi, pelo seu apoio neste trabalho.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a elaboração deste estudo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVOS	3
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
2.1 FINALIDADE DOS RESERVATÓRIOS.....	5
2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UM RESERVATÓRIO.....	6
2.2.1 Parcelas da Barragem.....	6
2.3 MODELOS DE PROBABILIDADES.....	7
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
3.1 LOCALIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	13
3.2 DISTRIBUIÇÃO GEV.....	16
3.3 MÉTODO DA CURVA VOLUME X DURAÇÃO.....	19
3.3.1 Momentos LH	21
3.3.2 Estimativas dos Parâmetros da Distribuição GEV.....	23
3.3.3 Razões de Momentos e Coeficiente de Variação LH.....	25
3.3.4 Teste de Qualidade de Ajuste da Distribuição GEV via Momentos LH....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
4.1 AJUSTE DAS SÉRIES DE VOLUMES MÁXIMOS AFLUENTES.....	31
4.1.1 Estação Rio Negro (65100000).....	31
4.1.2 Estação Balsa do Cerro Azul (81135000).....	35
4.1.3 Estação Morretes (82170000).....	40
4.2 DISCUSSÃO SOBRE CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS.....	44
4.3 VOLUME X DURAÇÃO.....	45
4.3.1 Estação Rio Negro (65100000).....	45
4.3.2 Estação Balsa do Cerro Azul (81135000).....	48
4.3.3 Estação Morretes (82170000).....	51
4.4 CURVA VOLUME X DURAÇÃO	55
4.4.1 Estação Andirá (64370000).....	56
4.4.2 Estação Porto Sta Terezinha (64390000).....	57
4.4.3 Estação Tibagi (64465000).....	58

<u>4.4.4 Estação Jataizinho (645070000).....</u>	<u>59</u>
<u>4.4.5 Estação São Mateus do Sul (650600000).....</u>	<u>60</u>
<u>4.4.6 Estação Rio Negro (65100000).....</u>	<u>60</u>
<u>4.4.7 Estação Balsa do Cerro Azul (81135000).....</u>	<u>62</u>
<u>4.4.8 Estação Morretes (82170000).....</u>	<u>63</u>
<u>5 CONCLUSÃO.....</u>	<u>64</u>
<u>6 REFERÊNCIAS.....</u>	<u>66</u>

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Estações fluviométricas utilizadas.....	13@~
TABELA 2 - Valores dos coeficientes da equação (23).....	25@~
TABELA 3 - Valores dos coeficientes das equações (32) e (33).....	28@~
TABELA 4 - Valores dos parâmetros e das taxas de momentos referentes ao ajuste da distribuição GEV às séries de valores afluentes com diferentes durações na estação fluviométrica 65100000.....	32@~
TABELA 5 - Valores dos parâmetros e das taxas de momentos referentes ao ajuste da distribuição GEV às séries de valores afluentes com diferentes durações na estação fluviométrica 81135000.....	37@~
TABELA 6 - Valores dos parâmetros e das taxas de momentos referente ao ajuste da distribuição GEV às séries de valores afluentes com diferentes durações na estação fluviométrica 82170000.....	41@~

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Parcelas que compõem a altura de uma barragem.....	6@~
Figura 2 - Bacia do rio Paraná e suas sub-bacias.....	15@~
Figura 3 - Bacia do Atlântico Sul e suas sub-bacias.....	16@~
Figura 4 - Relação de valores extremos em função da variável reduzida de Gumbel, segundo a distribuição GEV tipo VEI, VEII e VEIII..	18@~
Figura 5 - Gráfico volume x duração.....	20@~
Figura 6 - Gráfico volume x duração associada a uma probabilidade “p” fixa de emergência.....	21@~
Figura 7 - Ajuste da Distribuição GEV à série de volumes afluentes máximos decorrentes de cheias com duração de 1 a 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno da estação 65100000.	33@~
Figura 8 - Ajuste da Distribuição GEV à série de volumes afluentes máximos decorrentes de cheias com duração de 5 a 8 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno da estação 65100000.	34@~
Figura 9 - Ajuste da Distribuição GEV à série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 9 a 10 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno da estação 65100000.	35@~
Figura 10 - Ajuste da Distribuição GEV à série de volumes afluentes máximos decorrentes de cheias com duração de até 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno da estação 81135000.	38@~
Figura 11 - Ajuste da Distribuição GEV à série de volumes afluentes máximos decorrentes de cheias com duração de 4 a 7 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno da estação 81135000.	39@~

Figura 12 - Ajuste da Distribuição GEV à série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de até 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno da estação 82170000.	42@~
Figura 13 - Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 5 a 7 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno da estação 82170000	44@~
Figura 14 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Wang.	46@~
Figura 15 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Kite.47@~	
Figura 16 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Komolog.	48@~
Figura 17 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Wang.	49@~
Figura 18 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Kite.50@~	
Figura 19 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Komolog.	51@~
Figura 20 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Wang.	52@~
Figura 21 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Kite.	53@~
Figura 22 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada os momentos LH Komolog.	54@~

- Figura 23 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 64370000.
..... 56@~
- Figura 24 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 64390000.
..... 57@~
- Figura 25 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 64465000.
..... 58@~
- Figura 26 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 645070000..... 59@~
- Figura 27 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 65060000.
..... 60@~
- Figura 28 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 65100000.
..... 61@~
- Figura 29 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 81135000.
..... 62@~
- Figura 30 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 82170000.
..... 63@~

RESUMO

Existe conflito na utilização de reservatórios para o controle de cheias e usos múltiplos da água, principalmente para a geração de energia elétrica. Para controlar cheias é necessário um volume vazio no reservatório capaz de absorver uma eventual cheia sem causar danos nas áreas à jusante. Por outro lado, para gerar energia é desejável alocar o menor volume de proteção possível, ao passo que para controlar cheias é desejável ter uma estimativa confiável da possibilidade do reservatório falhar quando um dado volume de proteção é alocado. O objetivo deste trabalho foi construir a curva volume x duração, empregada para estimar volume de espera, por meio do ajuste das séries de volumes máximos afluentes, utilizando a distribuição GEV e momentos LH. Foram trabalhados volumes afluentes observados em várias estações de rio do Paraná. Todos os ajustes dos volumes máximos afluentes foram aceitos através dos testes de qualidade de ajuste propostos por WANG (1998) e Kolmogorov-Smirnov com 5 % de significância e critério de Kite. As curvas volume x duração foram adequadamente construídas usando valores de volumes máximos afluentes para diferentes durações e estações.

PALAVRAS-CHAVE: Controle de cheias, Eventos extremos, Curva volume x duração, Momentos LH, rios do Paraná.

ESTIMATE OF THE CURVE VALUME VERSUS DURAÇÃO USING THE DISTRIBUTION OF WIDESPREAD PROBABILITY OF EXTREME VALUES - GEV. FOR OBTAINING OF THE VOLUME OF WAIT IN RESERVOIRS.

ABSTRACT

There is a clear conflict between the reservoir utilization for control and use multiple of the water mainly for electric power generation. In order to control the floods, it is necessary to predict the availability of empty reservoir volumes, capable of absorbing some inflow parcels, to avoid or reduce the damage caused to the downstream area. From an energy standpoint, it is desirable to allocate the smallest possible protection volume, while from a flood control standpoint, it is desirable to have a reliable estimate of the possibility of the reservoir failing to control a flood when a given protection volume is allocated. The objective of this work was to obtain the Curve Volume x Duration using maximum inflow with different duration fitted by GEV distribution and LH moments used to estimate the protection volume in reservoir. It was used maximum affluent volumes of the Paraná River recorded in Guaira gauge. All the fit of the maximum affluent volumes was agree by the approximate goodness-of-fit test of fitted generalized extreme value distribution using LH moments by WANG (1998) with 5% significance level. The Curve Volume x Duration was build appropriately for ten different affluent volumes durations.

KEY-WORDS: flood control, extreme events, Volume Curve x Length, moments LH, rivers in Paraná.

1 INTRODUÇÃO

No sistema de geração de energia brasileiro é predominante a utilização de fontes hidráulicas, pois seus abundantes recursos naturais de alto potencial e falta de incentivo para o uso de outras fontes energéticas. Nesse quadro, as usinas hidroelétricas são responsáveis por cerca de 92% da potência total instalada do parque gerador. Historicamente, os reservatórios em geral procuraram satisfazer somente a objetivos locais e setoriais da economia. Assim como a maioria das usinas hidroelétricas brasileiras foram projetadas e construídas com vistas apenas à geração de energia. Assim, toda atenção nos projetos, e conseqüentemente na operação, foi voltada apenas para segurança das próprias barragens. Tal fato pode ser entendido devido aos impactos das enchentes não serem significativos, pois havia uma baixa ocupação humana próxima às usinas e também por não haver uma legislação própria.

Com o crescimento do conjunto de usinas hidroelétricas e da ocupação dos espaços pelo homem, os problemas com inundações e enchentes começaram a aparecer de forma mais grave. Em 1977 foi criada uma Comissão de Estudos para Controle de Cheias e Armazenamento (CECCA), dentro do Grupo Coordenador para a Operação Interligada (GCOI), do Ministério de Minas e Energia. Em 1979, foi criado o Grupo de Trabalho de Estudos Hidrológicos (GTEH), posteriormente designado Grupo de Trabalho de Hidrologia Operacional GTHO, este integrado ao Sub-comitê de Estudos Energéticos (SCEN), todos são membros da ELETROBRÁS. A partir desse momento, outras instituições, como o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), também começaram a tratar do assunto.

O evento “cheia”, para fins de descrição da metodologia para operação de controle de cheias, é caracterizado como a observação ou previsão de vazão superior à restrição de vazão máxima, e o evento “inundação” é

caracterizado como o rompimento de uma restrição de vazão máxima considerada na operação de controle de cheias.

Devido ao setor elétrico brasileiro ser detentor de um grande número de barragens e reservatórios, ele se torna uma peça importante no controle de cheias, pois controla a vazão de muitos rios. A operação das usinas, para fins de geração de energia elétrica, objetiva atender à demanda da forma mais eficiente e economicamente viável, o que implica gerar o máximo nas hidroelétricas, dentro de certos critérios. Já o controle de cheias, objetiva a segurança da população e do próprio sistema de geração o que leva, como se verá adiante, a um conflito de interesses. Para maximizar a geração de energia é necessário manter o reservatório o mais cheio possível, para que as usinas trabalhem com produtividade elevada e mantenham alta reserva de energia acumulada, enquanto que o controle de cheias requer basicamente a alocação de certo volume vazio de espera no reservatório para contenção de eventuais picos de vazões afluentes. A alocação dos volumes de espera nos reservatórios leva a um aumento do risco de os volumes dos mesmos não serem totalmente recuperados ao final da estação chuvosa, o que implica uma redução das disponibilidades energéticas e um aumento do risco de geração térmica, o que vai contra o planejamento econômico, cujo objetivo é substituir, na medida do possível e de maneira racional, a geração de origem termoelétrica por geração de origem hidroelétrica. Para que o controle de cheias seja efetivo é necessário definir com clareza as restrições do sistema, seções que se deve proteger e os limites de vazão, garantindo que o risco de emergência mantenha-se abaixo de um valor previamente estabelecido, definido como probabilidade de rompimento das restrições, antecipando operações de emergência com previsão de vazão, determinar a alocação ótima dos volumes de espera, selecionando os reservatórios do sistema que devam realizar o controle de cheias e decidir as quantidades dos volumes de espera a serem alocadas. O problema central do controle de cheias é, então, decidir qual volume de espera deve ser alocado, em cada reservatório, a cada instante de tempo, de forma a afetar o mínimo possível os objetivos de geração e, ao mesmo tempo, garantir uma certa confiabilidade ao sistema. Este é um problema estocástico, pois depende essencialmente das vazões afluentes, que

são consideradas “variáveis aleatórias”. É necessário um registro de vazões, chamado de série histórica de vazões que é um dado de entrada para o modelo de simulação, com vistas ao controle de cheias.

Ocorre que essa série é apenas uma das possíveis realizações de um processo estocástico, o que implica apenas um resultado a ser obtido, caso somente ela estivesse disponível. Uma solução para esse problema é ajustar modelos que procuram aproximar o comportamento estocástico das séries históricas.

1.1 OBJETIVOS

Obter a curva volume X duração, utilizando distribuição GEV associada ao método de momentos de combinações lineares das estatísticas de ordens mais elevadas, para ajustar as séries de volumes máximos afluentes, referentes a cada duração de cheias para diferentes períodos de retorno; aplicados a diferentes rios do Paraná.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Um dos principais aspectos no estudo do controle de cheias em usinas hidroelétricas é a sua relação com a hidrologia. Definindo hidrologia como a ciência que se ocupa dos processos que regulam o enchimento e o esvaziamento dos recursos da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, o entendimento de parte desta ciência, relacionada às cheias, passa a ser de fundamental importância na elaboração das metodologias para o controle de cheias. No caso específico do uso de reservatórios das usinas hidroelétricas para o controle de cheias, assunto desta pesquisa, o meio adotado universalmente é o da alocação de volumes vazios de espera. Nesse contexto, um aspecto importante é o estudo de previsão de cheias. Dessa forma, a revisão bibliográfica aqui descrita, é mostrada por um breve histórico da hidrologia, em que se encontram os primeiros métodos para previsão de cheias e, por fim, as principais metodologias para cálculo do volume de espera em reservatórios.

A hidrologia evoluiu de uma ciência preponderantemente descritiva e qualitativa, para uma área de conhecimento na qual os métodos quantitativos têm sido explorados por meio de metodologias matemáticas e estatísticas. A quantificação da disponibilidade hídrica serve de base para o projeto e planejamento dos recursos hídricos. Para análise da ocorrência de vazões, num determinado local, utilizam-se observações realizadas no passado, para que por meio delas se busque prever os acontecimentos futuros, pois os fenômenos provocadores dos processos hidrológicos são meteorológicos, cuja previsão a médio e longo prazo, não dispõe de explicações determinísticas suficientes.

Até a década de 1950, os métodos utilizados na hidrologia limitavam-se a elementos descritivos do funcionamento dos fenômenos naturais e fórmulas empíricas. Com um maior empenho na coleta e publicação dos dados

hidrológicos, o advento do computador e o aprimoramento e experimentação das técnicas numéricas e estatísticas, houve um desenvolvimento acelerado de algumas subáreas da hidrologia. A hidrologia estatística, que teve impulso no começo do século XX com o estudo da frequência de cheias, desenvolveu-se significativamente com a quantificação de séries temporais para dimensionamento de reservatórios.

2.1 FINALIDADE DOS RESERVATÓRIOS

Segundo LINSLEY e FRANZINI (1978), qualquer que seja o tamanho dos reservatórios ou a finalidade das águas acumuladas, sua principal função é a de um regulador ou volante, visando à regularização da vazão dos cursos de água ou atendendo às variações da demanda dos usuários.

Segundo FILHO e PORTO (1998), o modo pelo qual um reservatório é operado, depende fundamentalmente da função por ele exercida, pois, de forma geral um reservatório é utilizado para diversos propósitos, como controle de enchentes, o abastecimento de cidades, a geração de energia e outros.

Segundo PINTO (1976), os reservatórios têm por finalidade, acumular parte das águas disponíveis nos períodos chuvosos, para compensar as deficiências dos períodos de estiagem, exercendo um efeito regularizador das vazões naturais.

Em função da lei do uso múltiplo (Agência Nacional de Águas - ANA), as obras hidráulicas construídas a partir dela devem abranger diversos usos. Assim os reservatórios podem atender diversas finalidades, entre elas:

- ✓ suprimento de água;
- ✓ geração hidroelétrica;
- ✓ navegação;
- ✓ controle de cheias;
- ✓ recreação e lazer;

- ✓ piscicultura e aquíicultura.

2.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE UM RESERVATÓRIO

Basicamente são quatro as parcelas que compõem a altura de uma barragem como mostra a Figura 1.

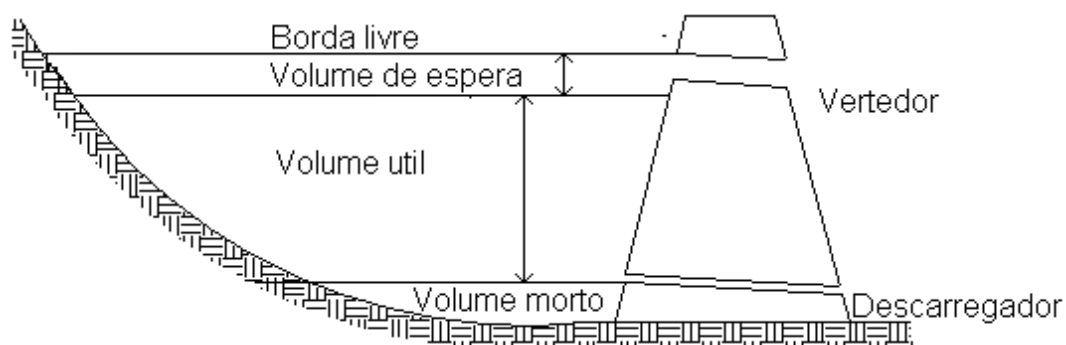


Figura 1 - Parcelas que compõem a altura de uma barragem.

2.2.1 Parcelas da Barragem

A estrutura de uma barragem divide-se em: **volume morto** de um reservatório é o volume destinado a receber os sedimentos depositados durante a vida útil do reservatório; **volume útil** de um reservatório é aquele compreendido entre os níveis operacionais mínimos e máximos, efetivamente destinados à operação do reservatório, ou seja, é aquele destinado ao atendimento das demandas de água. No caso das usinas hidroelétricas é o volume que atende à geração de energia (PINTO, 1976). O **volume de espera**

é o volume vazio no reservatório, capaz de absorver parcelas das afluições previstas para evitar, com um risco prefixado, que sejam causados danos à jusante (CASTRO, 2003)

Durante o período de grandes chuvas de uma bacia hidrológica, é usual manter-se o nível de água armazenada abaixo da cota da crista do vertedor, de maneira a prover um volume de água que possa absorver parte de uma onda de cheia afluyente ao reservatório. A esse volume denomina-se volume de espera (FILHO e PORTO, 1998). A borda livre de um reservatório corresponde ao espaço destinado a impedir que as ondas formadas pelo vento ultrapassem a crista da barragem adicionada de um espaço para prevenir eventuais transbordamentos sobre a crista, em condições excepcionais (PINTO, 1976).

2.3 MODELOS DE PROBABILIDADES

Os fundamentos da teoria dos valores extremos foram inicialmente expostos por FISHER e TIPPETT (1928), que definiram os três tipos possíveis (I, II e III) de distribuições assintóticas dos valores extremos, conhecidas como de Gumbel, de Fréchet e de Weibull, respectivamente. No entanto, o primeiro a estudar e formalizar a aplicação estatística destas distribuições foi Gumbel¹, citado por JENKINSON (1955), cuja metodologia tem sido freqüentemente aplicada à máxima anual de séries de dados referentes a vazões de rios. Posteriormente, Barricelli² e Brooks e Carruthers³, citados por JENKINSON (1955), perceberam que ao utilizar essa metodologia, os valores máximos de temperatura e precipitação pluvial previstos para períodos longos, eram

¹ GUMBEL, E.J. Les valeurs extremes des distributions statistiques. **Annales de l'institute Henri Poincaré**, v.5, p.115-158, 1935.

² BARRICELLI, N.A. Les plus grands et les plus petits maxima ou minima annuels d'une variable climatique. **Archive for**

³ BROOKS, C.E.P.; CARRUTHERS, N. **Handbook of statistical methods in meteorology**. London: HMSO, 1953. p.131-134.

superestimados e subestimados, respectivamente, e propuseram algumas modificações para corrigir o problema. Outras contribuições importantes para o estudo de valores extremos foram dadas por GNEDENKO (1943), que mostrou as condições necessárias e suficientes para a existência das distribuições assintóticas dos valores extremos e determinou que as caudas dessas distribuições, ou seja, a parte que trata dos valores máximos ou mínimos menos freqüentes, podem ser modeladas por alguns tipos de distribuições contínuas. Por exemplo: as caudas da distribuição de Gumbel correspondem às distribuições exponencial, gama, normal ou log-normal; as da distribuição de Fréchet seguem uma distribuição de Cauchy, Pareto ou “t” de Student; as da distribuição de Weibull seguem uma distribuição uniforme.

Um problema que surgiu desde que foram propostas as distribuições de valores extremos foi identificar o tipo de distribuição mais adequada para uma determinada amostra de dados. Para solucionar esse problema, diversos procedimentos foram propostos, como por exemplo, os de VAN MONFORT/MONTFORT (1978), OLIVEIRA (1981), e o da curvatura, desenvolvido por CASTILLO (1988). A implementação desses métodos, embora não seja necessário estimar os parâmetros dos três tipos de distribuição de valores extremos, proporciona uma solução apenas aproximada ao problema da identificação (RAYNAL, 1997). Este autor sugere que a forma mais correta de fazer essa identificação é por meio da estimação dos parâmetros da distribuição generalizada de valores extremos (GEV) desenvolvida por JENKINSON⁴ (1955).

Para fazer inferências sobre os parâmetros da distribuição GEV, inúmeras sugestões foram propostas, entre elas, técnicas gráficas, estimadores baseados no método dos momentos e no método da máxima verossimilhança. Aspectos computacionais da estimação dos parâmetros dessa distribuição através do método da máxima verossimilhança foram desenvolvidos por Jenkinson⁴, citado por OTTEN e MONTFORT (1980), por PRESCOTT e WALDEN (1980, 1983), HOSKING (1985) e por MARTINS e STEDINGER (2000).

⁴ JENKINSON, A.F. **Statistics of extremes, in estimation of maximum floods**. World Meteorology Office. Nota técnica n.98, cap.5, p.183-227. Geneva, Suíça. 1969.

Por outro lado, para obter as estimativas de máxima verossimilhança dos parâmetros da distribuição GEV, PRESCOTT e WALDEN (1983) e COLES (1999) recomendaram o uso do método de Newton-Raphson. HOSKING (1985), por sua vez, modificou esse método para melhorar a velocidade e a taxa de convergência e quatro anos mais tarde, MacLEOD (1989) alterou-o novamente, a fim de prevenir alguns erros na hora de executá-lo e otimizar a inversão da matriz Hessiana.

Segundo SMITH (1985), os métodos baseados em verossimilhança são preferidos devido à teoria dos estimadores de máxima verossimilhança ser bem compreendida e as inferências serem facilmente modificadas ao incorporarem-se modelos com estruturas mais complexas. O mesmo autor citou que devido aos limites da distribuição GEV dependerem de seus parâmetros, as condições de regularidade para a estimação pelo método da máxima verossimilhança não são necessariamente satisfeitas, tal como acontece nas distribuições log.normal, Weibull e gama de três parâmetros. Assim, através de um estudo cuidadoso, obteve os seguintes resultados:

- i) quando $\xi > -0,5$, os estimadores de máxima verossimilhança são completamente regulares;
- ii) quando $-1 < \xi < -0,5$, os estimadores de máxima verossimilhança existem, mas são não regulares;
- iii) quando $\xi < -1$, os estimadores de máxima verossimilhança não existem.

Estudos realizados por HOSKING (1985) sobre a estimação dos parâmetros da distribuição GEV, pelo método da máxima verossimilhança, utilizando simulação computacional de amostras de dados, revelaram que podem surgir problemas de não convergência no processo iterativo de Newton-Raphson devido ao não cumprimento das condições de regularidade. Situações similares foram reportadas por MARTINS e STEDINGER (2000).

Apesar dos problemas que podem ocorrer quando $\xi < -0,5$, essa situação, segundo SMITH (1985), é extremamente rara para dados ambientais, e corresponde a distribuições com cauda superior muito curta e finita. De uma forma geral, ao se trabalhar com dados reais, os valores do parâmetro ξ , geralmente, se encontram no intervalo $(-0,5; 0,5)$ (HOSKING, 1985).

BRABSON e PALUTIKOF (2000), por sua vez, concluíram, a partir de um estudo com simulações que $\xi \in (-0,25; 0,25)$, situação também bastante freqüente, garante a eficiência do processo de obtenção de estimativas de máxima verossimilhança dos parâmetros. Assim, na prática, a estimação por máxima verossimilhança geralmente é válida e regular como um procedimento para a inferência.

Com relação a outros métodos de estimação, HOSKING (1985) mostraram que os estimadores dos parâmetros da distribuição GEV, obtidos através do método dos momentos de probabilidade ponderada ou do método de momentos L, eram preferíveis em comparação com os obtidos por meio do método da máxima verossimilhança, em termos de viés e variância para amostras cujos tamanhos variaram entre 15 e 100. Em contrapartida, SMITH (2001) comentou que nenhum destes últimos métodos de estimação desenvolvidos tem o poder e generalidade que possui o método da máxima verossimilhança.

Quanto às aplicações, a distribuição GEV tem sido utilizada em muitas áreas diferentes, sendo, a engenharia estrutural, em que o objetivo principal é projetar estruturas que resistam aos níveis mais extremos de certos processos ambientais. Segundo MARTINS e STEDINGER (2000), essa distribuição foi recomendada para a análise de freqüências de enchentes no Reino Unido pelo *Natural Environment Research Council* (NERC), em 1975, e para freqüências de chuvas nos Estados Unidos por WILLEKE et al.⁵, em 1995. Essa distribuição também foi utilizada para a análise de freqüências regionais de vazões, nos estudos realizados por HOSKING (1985), WALLIS e WOOD (1985), LETTENMAIER, WALLIS e WOOD (1987), HOSKING e WALLIS (1988), CHOWDHURY, STEDINGER e LU (1991), MADSEN, PEARSON e ROSBJERG (1997) e BEIRLANT e MATTHYS (2001).

Para estudos sobre velocidades máximas de vento, tradicionalmente tem sido utilizada a distribuição de Gumbel (também conhecida como de Fisher-Tippett), caso particular da GEV, como pode ser observado nos trabalhos de SIMIU e FILLIBEN (1976), ROSS (1987), GRIGORIU (1984), GUSELLA (1991), ABILD, ANDERSEN e ROSBJERG (1992) e WALSHAW (1994). No entanto, SIMIU e HECKERT (1996) e HOLMES e MORIARTY

(1999) criticaram o uso dessa distribuição, argumentando que, para períodos de retorno altos, há uma tendência a predizer valores ilimitados e irreais de velocidades máximas de vento e concluíram que a distribuição de Weibull é a mais apropriada para modelar velocidades máximas de vento de origem extratropical (excluindo áreas de tornados).

Outros bons resultados obtidos com o emprego da distribuição GEV referem-se à modelação das séries de cheias anuais de rios do Paraná, pela distribuição generalizada de valores extremos (QUEIROZ; DEMITO; CARLI, 2003); Ajuste de vazões, via distribuição GEV e momentos LH em matlab (QUEIROZ; CHAUDHRY, 2003); Análise de vazões extremas de Rios do Paraná pela distribuição GEV e momentos LH (QUEIROZ; DEMITO; CARLI, 2003); Ajuste de vazões extremas através da distribuição GEV e momentos de combinações lineares das estatísticas de ordens (QUEIROZ; SAMPAIO; GOMES, 2005), Análise de vazões extremas, segundo distribuição generalizada e momentos de combinações lineares das estatísticas de ordens (QUEIROZ; SAMPAIO; GOMES, 2004).

Exemplos de aplicação da distribuição GEV em estudos sobre o meio ambiente foram apresentados por THAS et al. (1997), que fizeram uma revisão dos principais conceitos de estatísticas de valores extremos e ressaltaram a importância da aplicação da distribuição GEV para modelagem estatística de concentrações de poluentes em rios, que serviram de base para o estabelecimento de planos de manejo da qualidade da água.

PIEGORSCH, SMITH e EDWARDS (1998), por sua vez, aplicaram a teoria dos valores extremos ao estudo dos níveis extremos de ozônio na troposfera, que é a camada da atmosfera mais próxima da superfície terrestre, em que ocorrem os principais fenômenos meteorológicos, como por exemplo: processos de condensação de vapor da água, de precipitação pluvial, movimentação de massas de ar, etc. Níveis padrão de ozônio são baseados tipicamente no número de valores que excedem alguma medida de severidade de ozônio, por exemplo: valor máximo a uma determina hora, ou a média de cada 8 horas, em relação a algum patamar específico, por exemplo: 120 ou 80 partes por bilhão (ppb). O principal interesse, neste caso, é o de monitorar se as taxas deste nível estão crescendo ou decrescendo com o tempo.

Segundo SHARMA, KHARE e CHAKRABARTI (1999), a teoria dos valores extremos oferece uma alternativa prática para o estudo de concentrações extremas de poluentes em centros urbanos. Em estudo realizado por MEDICI et al. (2000), foram analisados valores extremos das médias diárias de concentração de monóxido de carbono (CO), na cidade de São Paulo, entre janeiro de 1994 e dezembro de 1997, usando as distribuições generalizada de Pareto e generalizada de valores extremos. Esses autores concluíram que em um período de retorno de seis meses pode-se esperar uma concentração de CO, cujo valor é, aproximadamente, o dobro do padrão nacional de qualidade de ar imposto para este poluente. Em um estudo similar, KÜCHENHOFF e THAMERUS (1996) analisaram valores extremos de médias diárias de concentrações de ozônio e dióxido de carbono registrados em dois centros de monitoramento na cidade de Munich (Alemanha), durante janeiro de 1980 e outubro de 1992.

Outras áreas de aplicação envolvem modelos financeiros e de seguros (LONGIN, 2000), modelos de telecomunicações, estudo da resistência de materiais, resistência à corrosão, etc.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

Foram utilizadas nesta pesquisa as séries de vazões históricas observadas em vários rios do estado do Paraná. Segue abaixo a relação das estações utilizadas.

TABELA 1 - Estações fluviométricas utilizadas

SB	CÓDIGO	NOME	RIO	UF	MUNICÍPIO	ÓRGÃO RESP.	PERÍODO
64	64370000	Andirá	Rio das Cinzas	PR	Andirá	ANA	65 ANOS
64	64390000	Porto Sta. Terezinha	Rio Laranjinha	PR	Santa Mariana	ANA	58 ANOS
64	64465000	Tibagi	Rio Tibagi	PR	Tibagi	ANA	66 ANOS
64	64507000	Jataizinho	Rio Tibagi	PR	Jataizinho	SUDERHS A	65 ANOS
64	64620000	Rio dos Patos	Rio dos Patos	PR	Prudentópolis	ANA	66 ANOS
64	64790000	Salto Sapucaí	Rio Sapucaí	PR	Iguatu	ANA	31 ANOS
64	64843000	Guairá	Rio Paraná	PR	Guaira	ANA	73 ANOS
65	65035000	Porto Amazonas	Rio Iguaçu	PR	P. Amazonas	ANA	63 ANOS
65	65060000	São Mateus do Sul	Rio Iguaçu	PR	São M. do Sul	ANA	68 ANOS
65	65100000	Rio Negro	Rio Negro	PR	Rio Negro	ANA	68 ANOS
65	65155000	São Bento	Rio da Várzea	PR	Lapa	ANA	68 ANOS
81	81125000	Turvo	Rio Santana	PR	Rio B. do Sul	ANA	51 ANOS
81	81135000	Balsa do Cerro Azul	Rio R. do Iguape	PR	Cerro Azul	ANA	64 ANOS
82	82170000	Morretes	Rio Nhundiaquara	PR	Morretes	ANA	59 ANOS

Fonte: Agência Nacional de Águas (2005).

As estações que disponibilizarão as séries de vazões históricas estão dispostas em quatro sub-bacias, todas localizadas no estado do Paraná como mostra Tabela 1. As Figuras 3 e 4 mostram a localização da bacia do Rio Paraná e suas sub-bacias 64 (Área de drenagem do rio Paraná, compreendida entre a confluência do rio Paranapanema, inclusive, e o ponto imediatamente montante da confluência do rio Iguaçu, exclusive.) e 65 (Área de drenagem do rio Paraná, compreendida entre a confluência do rio Iguaçu, inclusive, e a confluência do rio Paraguai, exclusive) objeto deste estudo, assim como a localização da bacia do Atlântico Sul Trecho Sudeste e suas sub-bacias 81 (Bacia do Rio Ribeira do Iguape) e 82 (Área de drenagem compreendida, entre a foz do rio Ribeira do Iguape, exclusive, e a foz do rio Itajaí, exclusive).

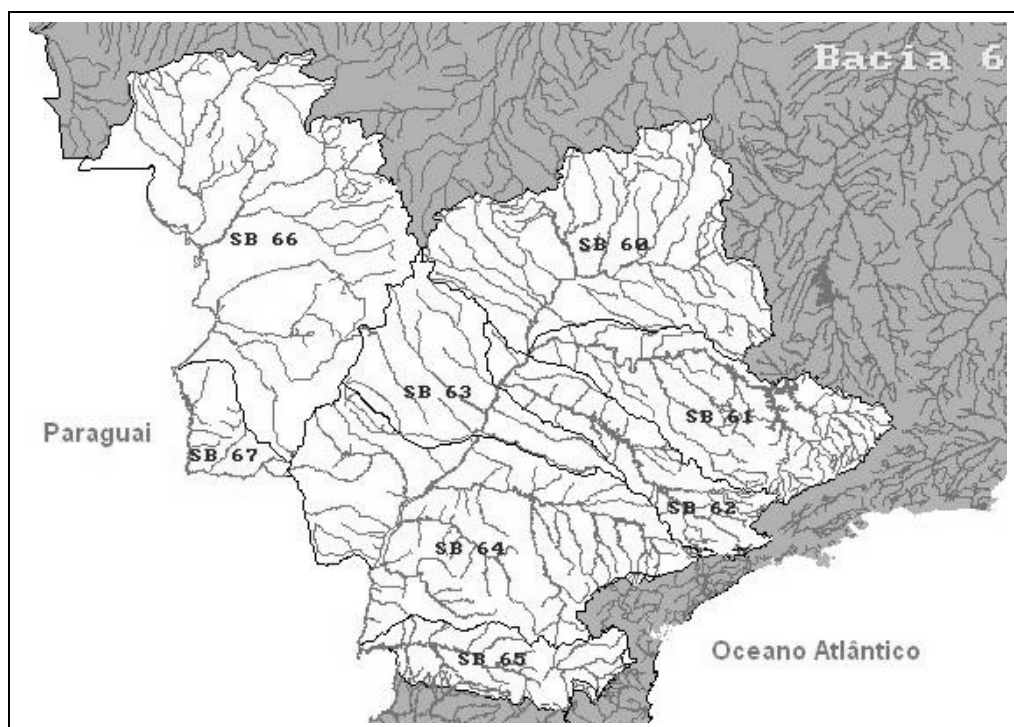


Figura 2 - Bacia do rio Paraná e suas sub-bacias.

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2005).

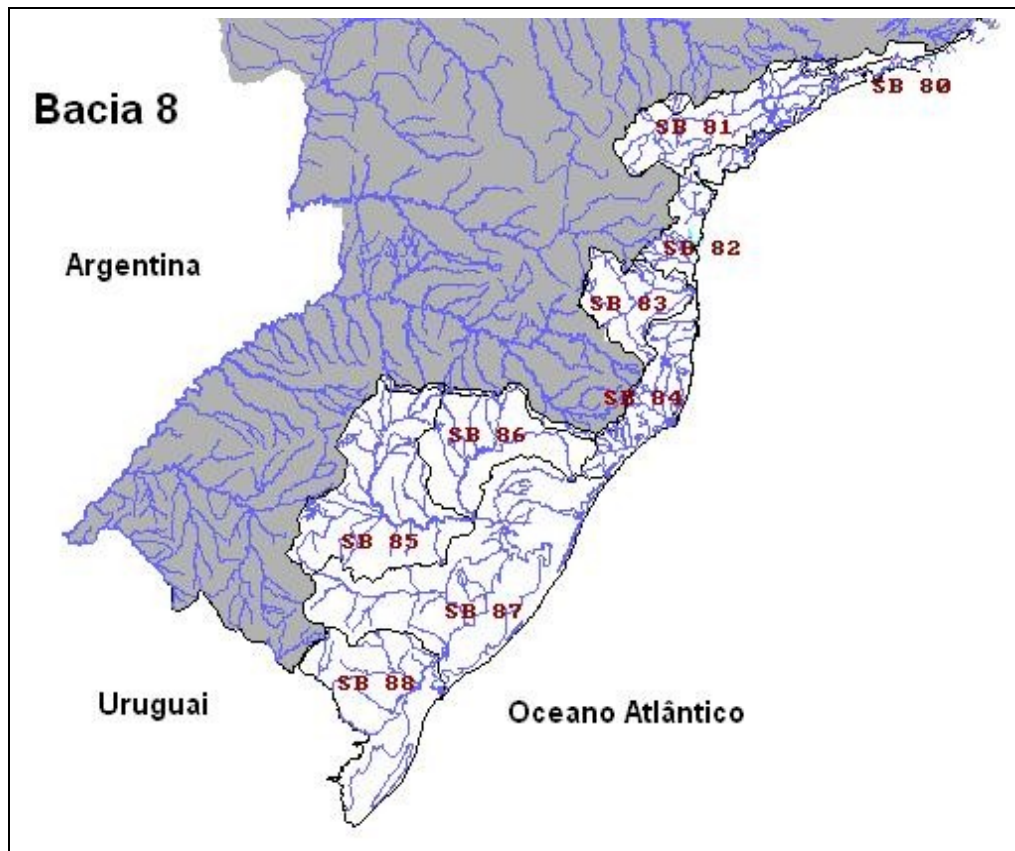


Figura 3 - Bacia do Atlântico Sul e suas sub-bacias.

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2005).

3.2 DISTRIBUIÇÃO GEV

A função de distribuição generalizada de valores extremos - GEV, que engloba as três formas assintóticas de distribuição de valores extremos conhecidas como valor extremo do tipo I (VEI), valor extremo do tipo II (VEII) e valor extremo do tipo III (VEIII) (FIHER e TIPPETT, 1928; GUMBEL, 1958), é definida, segundo JENKINSON (1955), como:

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp \left[- \left(1 - k \frac{x-u}{\alpha} \right)^{\frac{1}{k}} \right], \quad k \neq 0 \quad (1)$$

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{x-u}{\alpha} \right) \right], \quad k=0 \quad (2)$$

em que:

- $-\infty < x < +\infty$, $k=0$ - distribuição VEI (distribuição de Gumbel);
- $-\alpha \varepsilon \leq x < +\infty$, $k < 0$ - distribuição VEII;
- $-\infty < x \leq \omega$, $k > 0$ - distribuição VEIII.

em que: u é um parâmetro de posicionamento com $-\infty < u < +\infty$, α é um parâmetro de escala com $0 < \alpha < +\infty$ e k é um parâmetro de forma com $-\infty < k < +\infty$. Assim, quando $k > 0$ o limite superior da distribuição assintótica VEIII torna-se $\omega = u + \alpha/k$ e quando $k < 0$ o limite inferior da distribuição assintótica VEII torna-se $\varepsilon = u + \alpha/k$.

O p-ésimo quantil da distribuição GEV é dado pelas seguintes relações:

$$x_p = u + \frac{\alpha}{k} \left[1 - (-\ln(F))^k \right], \quad k \neq 0, \quad 0 < F < 1 \quad (3)$$

$$x_p = u - \alpha \ln[-\ln(F)], \quad k=0, \quad 0 < F < 1 \quad (4)$$

A variável reduzida z (variável reduzida de Gumbel) pode ser definida como:

$$z = \frac{x - u}{\alpha}$$

substituindo z na equação (3), obtém-se

$$F(x) = \exp[-\exp(-z)]$$

logo:

$$z = -\ln[\ln(F(x))] \quad (5)$$

Neste caso, a variável reduzida de Gumbel, z , relaciona-se também com o período de retorno (T), $T = 1/F(x)$. Além disso, a equação (5) pode ser usada para definir z com respeito às distribuições VEI, VEII e VEIII. Assim, em um gráfico z versus x , define-se o comportamento dos três tipos de distribuições de valores extremos, com relação à posição de plotagem de x , como mostra a Figura 4.

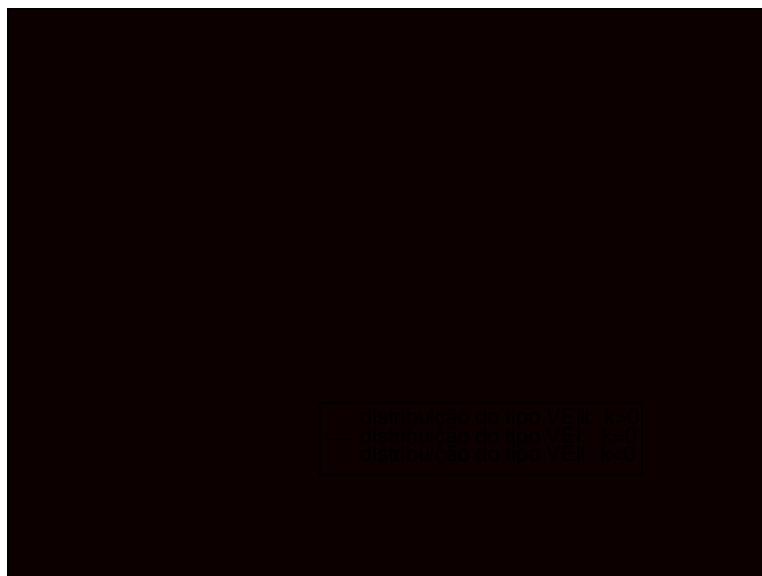


Figura 4 - Relação de valores extremos em função da variável reduzida de Gumbel, segundo a distribuição GEV tipo VEI, VEII e VEIII.

Com o aumento dos valores de z , os valores de x do tipo VEI aumentam segundo uma linha reta, ao passo que os valores de x do tipo VEII crescem mais rapidamente seguindo uma curva côncava, ambos aumentados

de forma ilimitada na parte superior. Já os valores de x do tipo VEIII crescem seguindo uma curva convexa para um limite superior finito.

3.3 MÉTODO DA CURVA VOLUME X DURAÇÃO

Este método relaciona cada intervalo de tempo com duração de d dias consecutivos com o máximo volume afluente no período e é definido como:

$$va(d) = \max \sum_{j=0}^{d-1} (q(t+j) \cdot \Delta t) \quad (6)$$

$$0 < t < h - d + 1$$

onde:

- $va(d)$ = máximo volume afluente para duração de d dias;
- d = duração em dias;
- $q(t+j)$ = vazão média diária no dia $t+j$;
- Δt = intervalo de discretização do tempo (1 dia = 86400 s);
- h = número de dias da estação chuvosa;
- t = dia.

A partir da série histórica de vazões naturais médias diárias e admitindo-se uma vazão afluente máxima que não cause danos à jusante (descarga de restrição), pode-se definir, para o período chuvoso de cada ano hidrológico, o volume vazio necessário para absorver cheia com qualquer duração. Esse volume, denominado volume de espera, pode ser representado pela seguinte expressão:

$$ve(i) = \max[(va(d) - d \cdot qr \cdot \Delta t), d = 1, 2, 3, \dots, h] \quad (7)$$

onde:

$ve(i)$ = volume de espera para o período chuvoso do ano hidrológico;
 q_r = descarga de restrição.

A duração associada a esse volume é chamada duração crítica. A Figura 5 ilustra o conceito da curva volume x duração.

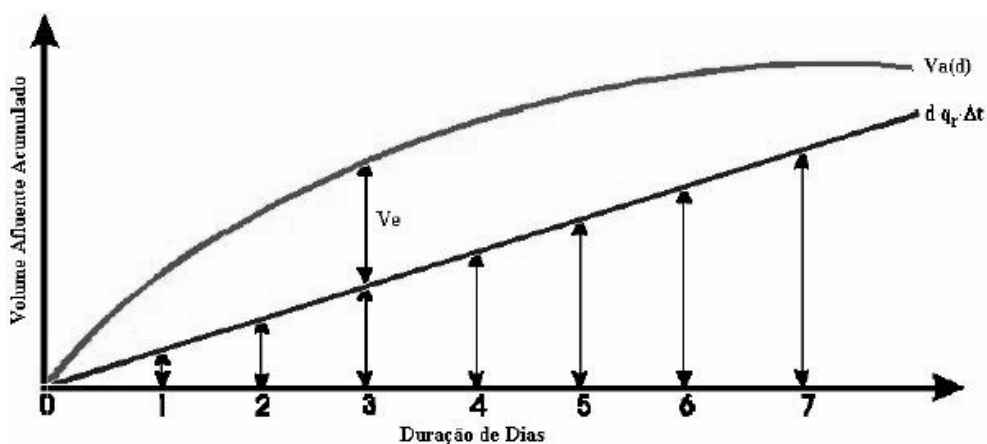


Figura 5 - Gráfico volume x duração.

Fonte: CASTRO (2003).

Um possível critério para obtenção do volume de espera a ser alocado seria selecionar o máximo volume de espera levantado na série histórica. Como, contudo, nada garante que o histórico repetir-se-á no futuro ou que seja viável a alocação desse volume, a solução mais comum leva a um estudo de frequência e à adoção de uma distribuição teórica de probabilidades, neste caso a distribuição GEV.

São obtidas, da série histórica, amostras de eventos máximos de várias durações. Ajustando, então, uma distribuição de probabilidade a cada duração de d dias, torna-se possível construir a curva volume x duração associada a uma probabilidade (GEV). A Figura 6 mostra a obtenção da curva volume x duração associada a uma probabilidade.

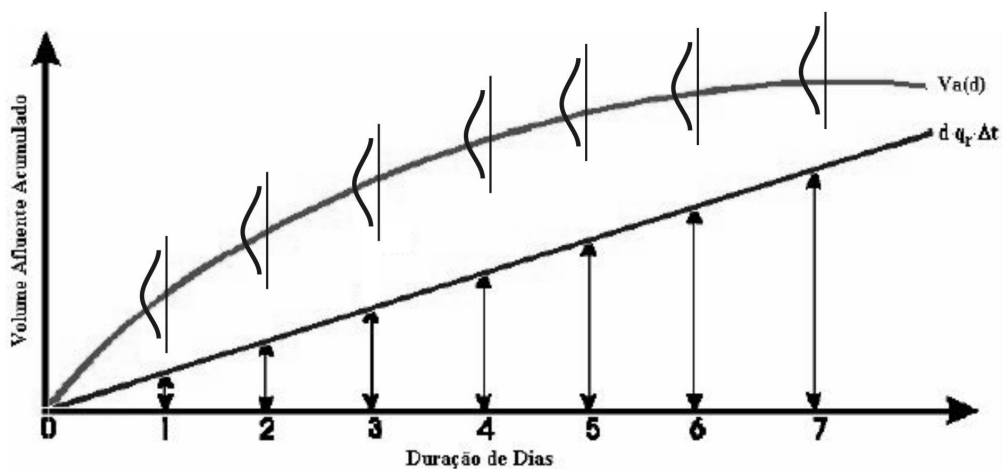


Figura 6 - Gráfico volume x duração associada a uma probabilidade “p” fixa de emergência.

Fonte: VOLPI (2003).

A série de volumes máximos para volume x duração foi ajustada, conforme se apresenta nos itens a seguir.

3.3.1 Momentos LH

Seja X_1, X_2, \dots, X_m uma amostra aleatória de uma população com função densidade de probabilidade $f(x)$ e função distribuição $F(x)$, e seja $x_{1:m} \leq x_{2:m} \leq \dots \leq x_{m:m}$ as estatísticas de ordem obtidas da amostra acima. O valor esperado do i -ésimo menor valor da variável é dado pela seguinte expressão (HOSKING, 1990).

$$E[X_{i:m}] = \frac{m!}{(m-i)!(i-1)!} \int_0^1 x [F(x)]^{i-1} [1-F(x)]^{m-i} dF(x) \quad (8)$$

Dada uma amostra de tamanho m retirada de uma distribuição $F(x)=P(X \leq x)$ e com base na combinação linear das mais elevadas estatísticas de ordem e na equação (8), os momentos LH são definidos como:

$$\lambda_1^\eta = E[X_{(\eta+1):(\eta+1)}] \quad (9)$$

$$\lambda_2^\eta = \frac{1}{2} E[X_{(\eta+2):(\eta+2)} - X_{(\eta+1):(\eta+2)}] \quad (10)$$

$$\lambda_3^\eta = \frac{1}{3} E[X_{(\eta+3):(\eta+3)} - 2X_{(\eta+2):(\eta+3)} + X_{(\eta+1):(\eta+3)}] \quad (11)$$

$$\lambda_4^\eta = \frac{1}{4} E[X_{(\eta+4):(\eta+4)} - 3X_{(\eta+3):(\eta+4)} + 3X_{(\eta+2):(\eta+4)} - X_{(\eta+1):(\eta+4)}] \quad (12)$$

em que λ_1^η , maior valor esperado na amostra de tamanho $\eta + 1$, corresponde a uma medida de posicionamento da distribuição; λ_2^η , metade da diferença entre o maior e segundo maior valor esperado na amostra de tamanho $\eta + 2$, caracteriza a expansão da parte superior da distribuição; λ_3^η , reflete como está a assimetria da parte superior da distribuição, através dos três maiores valores esperados na amostra de tamanho $\eta + 3$; e λ_4^η provê a medida da pontiagudez da parte superior da distribuição por meio dos quatros maiores valores esperados na amostra de tamanho $\eta + 4$.

Quando $\eta = 0$, momentos LH tornam-se iguais aos momentos L. Quando η aumenta, os momentos LH refletem mais e mais as características da parte superior da distribuição e dos valores extremos máximos dos dados. Momentos LH são chamados momentos L_1 , momentos L_2, \dots para $\eta = 1, 2, \dots$, respectivamente. Normalizando os momentos LH, obtém-se o coeficiente de variação LH (τ_2^η), assimetria (τ_3^η) e curtose (τ_4^η), respectivamente, como:

$$\tau_2^\eta = \frac{\lambda_2^\eta}{\lambda_1^\eta}; \quad \tau_3^\eta = \frac{\lambda_3^\eta}{\lambda_2^\eta}; \quad \tau_4^\eta = \frac{\lambda_4^\eta}{\lambda_2^\eta} \quad (13)$$

Ordenando-se a amostra em $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$, a estimativa dos momentos LH é feita como segue:

$$\hat{\lambda}_1^\eta = \frac{1}{{}^n C_{\eta+1}} \sum_{i=1}^n {}^{i-1} C_\eta x_{(i)} \quad (14)$$

$$\hat{\lambda}_2^\eta = \frac{1}{2} \frac{1}{{}^n C_{\eta+2}} \sum_{i=1}^n ({}^{i-1} C_{\eta+1} - {}^{i-1} C_\eta {}^{n-1} C_1) x_{(i)} \quad (15)$$

$$\hat{\lambda}_3^\eta = \frac{1}{3} \frac{1}{{}^n C_{\eta+3}} \sum_{i=1}^n ({}^{i-1} C_{\eta+2} - 2{}^{i-1} C_{\eta+1} {}^{n-i} C_1 + {}^{i-1} C_\eta {}^{n-i} C_2) x_{(i)} \quad (16)$$

$$\hat{\lambda}_4^\eta = \frac{1}{4} \frac{1}{{}^n C_{\eta+4}} \sum_{i=1}^n ({}^{i-1} C_{\eta+3} - 3{}^{i-1} C_{\eta+2} {}^{n-i} C_1 + 3{}^{i-1} C_{\eta+1} {}^{n-i} C_2 - {}^{i-1} C_\eta {}^{n-i} C_3) x_{(i)} \quad (17)$$

em que:

$${}^m C_j = \binom{m}{j} = \frac{m!}{j!(m-j)!} \quad \text{e} \quad {}^m C_j = 0 \quad \text{quando} \quad j > m. \quad (18)$$

3.3.2 Estimativas dos Parâmetros da Distribuição GEV

Dada uma amostra, os três parâmetros k , α e u da distribuição GEV podem ser estimados, considerando-se a estimativa dos momentos LH

amostrais pelas equações (14), (15), (16) e (17), para um valor selecionado de η e $\kappa \neq 0$, como segue (WANG, 1997):

$$\lambda_1^\eta = u + \frac{\alpha}{\kappa} \left[1 - \Gamma(1 + \kappa)(\eta + 1)^{-\kappa} \right] \quad (19)$$

$$\lambda_2^\eta = \frac{(\eta + 2)\alpha\Gamma(1 + \kappa)}{2!\kappa} \left[-(\eta + 2)^{-\kappa} + (\eta + 1)^{-\kappa} \right] \quad (20)$$

$$\lambda_3^\eta = \frac{(\eta + 3)\alpha\Gamma(1 + \kappa)}{3!\kappa} \left[-(\eta + 4)(\eta + 3)^{-\kappa} + 2(\eta + 3)(\eta + 2)^{-\kappa} \right] \left[-(\eta + 2)(\eta + 1)^{-\kappa} \right] \quad (21)$$

$$\lambda_4^\eta = \frac{(\eta + 4)\alpha\Gamma(1 + \kappa)}{4!\kappa} \left[-(\eta + 6)(\eta + 5)(\eta + 4)^{-\kappa} + 3(\eta + 5)(\eta + 4)(\eta + 3)^{-\kappa} \right] \left[-3(\eta + 4)(\eta + 3)(\eta + 2)^{-\kappa} + (\eta + 3)(\eta + 2)(\eta + 1)^{-\kappa} \right] \quad (22)$$

Assim, os parâmetros u , α e k da distribuição GEV podem então ser estimados, substituindo-se os três primeiros momentos LH nas equações (19), (20) e (21) pelos seus respectivos estimadores amostrais nas equações (14), (15) e (16), para cada valor de η selecionado.

Para facilitar o procedimento computacional, WANG, (1997) propôs uma equação aproximada para o cálculo de k , tomando como base as equações (20) e (21) e a equação (13) que define τ_3^η , a qual corresponde a:

$$k = \alpha_0 + \alpha_1[\tau_3^\eta] + \alpha_2[\tau_3^\eta]^2 + \alpha_3[\tau_3^\eta]^3 \quad (23)$$

cujos coeficientes α_0 , α_2 e α_3 variam em função de η (Tabela 2). Uma vez que k é obtido pela equação (23) as equações (20) e (19) fornecem respectivamente α e u .

TABELA 2 - Valores dos coeficientes da equação (23)

η	α_0	α_1	α_2	α_3
0	0,2849	-1,8213	0,8140	-0,2835
1	0,4823	-2,1494	0,7269	-0,2103
2	0,5914	-2,2351	0,6442	-0,1616
3	0,6618	-2,4548	0,5733	-0,1273
4	0,7113	-2,5383	0,5142	-0,1027

Fonte: WANG (1997).

Análises de dados observados e dados obtidos, via simulação Monte Carlo, mostraram que momentos LH reduzem as influências indesejáveis que os menores eventos amostrais podem exercer na estimação de eventos com grandes períodos de retorno, comparado ao uso de momentos L (WANG, 1997; QUEIROZ; DEMITO; WEIBER, 2003).

3.3.3 Razões de Momentos e Coeficiente de Variação LH

As razões de momentos e coeficiente de variação LH da distribuição GEV são calculadas de acordo com as relações da equação (13) e equações (19), (20), (21) e (22), resultando nas seguintes expressões:

$$\tau_2^\eta = \frac{1}{2} \frac{(\eta+2)\alpha\Gamma(1+k) [-(\eta+2)^{-k} + (\eta+1)^{-k}]}{ku + \alpha [1 - \Gamma(1+k)(\eta+1)^{-k}]} \quad (24)$$

$$\tau_3^\eta = \frac{1}{3} \frac{(\eta+3)}{(\eta+2)} \left[\frac{ -(\eta+4)(\eta+3)^{-k} + 2(\eta+3)(\eta+2)^{-k} - (\eta+2)(\eta+1)^{-k} }{ -(\eta+2)^{-k} + (\eta+1)^{-k} } \right] \quad (25)$$

$$\tau_4^\eta = \frac{1}{12} \frac{(\eta + 4)}{(\eta + 2)} \left[\frac{-(\eta + 6)(\eta + 5)(\eta + 4)^{-k} + 3(\eta + 5)(\eta + 4)(\eta + 3)^{-k}}{-(\eta + 2)^{-k} + (\eta + 1)^{-k}} \right] +$$

$$\left[\frac{-3(\eta + 4)(\eta + 3)(\eta + 2)^{-k} + (\eta + 3)(\eta + 2)(\eta + 1)^{-k}}{-(\eta + 2)^{-k} + (\eta + 1)^{-k}} \right] \quad (26)$$

Onde $\tau_2^\eta, \tau_3^\eta, \tau_4^\eta$ são, respectivamente, o coeficiente de variação LH, assimetria LH e curtose LH e $\Gamma(\bullet)$ a função gama. As razões de momentos LH e coeficientes de variação LH amostrais são obtidas, relacionando-se os momentos LH amostrais, indicados pelas equações (14), (15), (16) e (17) seguindo as fórmulas da equação (13) em que os momentos LH da distribuição GEV são substituídos pelo os seus respectivos estimadores.

3.3.4 Teste de Qualidade de Ajuste da Distribuição GEV via Momentos LH

a) Teste estatístico proposto por WANG (1997).

A distribuição GEV pode ser ajustada para uma série de dados, igualando os seus três primeiros momentos LH aos respectivos momentos LH amostrais, como no item anterior. A curtose LH da população (τ_4^η) é uma função da assimetria LH populacional (τ_3^η), em que ambos dependem apenas do parâmetro de forma k. Como o valor estimado da curtose LH amostral ($\hat{\tau}_4^\eta$) não é usado no ajuste da distribuição GEV, WANG (1998) considerou esse parâmetro para desenvolver a estatística do teste de qualidade de ajuste. Assim, dado um particular estimador amostral $\hat{\tau}_3^\eta$, é necessário conhecer $p(\hat{\tau}_4^\eta | \hat{\tau}_3^\eta)$. Porém, não é tão simples encontrar $p(\hat{\tau}_4^\eta | \hat{\tau}_3^\eta)$, quando ela depende de τ_3^η da população. Contudo, dado $\hat{\tau}_3^\eta$, é possível inferir τ_3^η populacional, usando o teorema de Bayes, mostrado a seguir:

$$p(\tau_3^\eta | \hat{\tau}_3^\eta) = p(\hat{\tau}_3^\eta | \tau_3^\eta) p(\tau_3^\eta) \quad (27)$$

em que $p(\tau_3^\eta)$ é uma distribuição a priori que pode ser informativa ou não informativa. Assim, dado $p(\tau_3^\eta | \hat{\tau}_3^\eta)$ encontra-se:

$$p(\hat{\tau}_4^\eta | \hat{\tau}_3^\eta) = \int P(\hat{\tau}_4^\eta | \tau_3^\eta, \hat{\tau}_3^\eta) P(\tau_3^\eta | \hat{\tau}_3^\eta) d\tau_3^\eta \quad (28)$$

em que $p(\hat{\tau}_3^\eta | \tau_3^\eta)$ em (27) e $p(\hat{\tau}_4^\eta | \tau_3^\eta, \hat{\tau}_3^\eta)$, na equação 28, podem ser derivadas de $p(\hat{\tau}_4^\eta, \hat{\tau}_3^\eta | \tau_3^\eta)$, utilizando a simulação Monte Carlo. Portanto, teoricamente, é possível comparar $\hat{\tau}_4^\eta$ com $p(\hat{\tau}_4^\eta | \hat{\tau}_3^\eta)$ para inferir se a distribuição subjacente é significativamente diferente da distribuição GEV. Não obstante, proceder por tal inferência requer muito esforço computacional que, em geral, não é prático (WANG, 1998).

WANG (1998) desenvolveu um teste de qualidade de ajuste da GEV com base em $p(\hat{\tau}_4^\eta | \tau_3^\eta = \hat{\tau}_3^\eta)$ como uma aproximação de $p(\hat{\tau}_4^\eta | \tau_3^\eta, \hat{\tau}_3^\eta)$, além de assumir que, as distribuições de $\hat{\tau}_3^\eta$ e de $\hat{\tau}_4^\eta$ da GEV, seguem uma distribuição conjunta normal. Para descrição completa da distribuição conjunta normal, precisa-se conhecer a média, desvio padrão e coeficiente de correlação dos estimadores amostrais $\hat{\tau}_3^\eta$ e $\hat{\tau}_4^\eta$. Suas médias são assumidas para serem os valores populacionais de τ_3^η e τ_4^η , respectivamente, em que é negligenciado algum erro de estimação. Os desvios padrão e coeficiente de correlação, denotados como $\sigma(\hat{\tau}_3^\eta)$, $\sigma(\hat{\tau}_4^\eta)$ e $\rho(\hat{\tau}_3^\eta, \hat{\tau}_4^\eta)$, respectivamente, ambos são funções de τ_3^η e do tamanho da amostra e podem ser encontrados por meio da simulação Monte Carlo.

A distribuição condicional amostral de $\hat{\tau}_4^\eta$ quando $\tau_3^\eta = \hat{\tau}_3^\eta$ é normalmente distribuída com média τ_4^η e desvio padrão, dado como segue (WANG, 1998):

$$\sigma(\hat{\tau}_4^\eta | \hat{\tau}_3^\eta = \tau_3^\eta) = \sigma(\hat{\tau}_4^\eta) [1 - \rho^2(\hat{\tau}_3^\eta, \hat{\tau}_4^\eta)]^{\frac{1}{2}} \quad (29)$$

Um teste de hipótese de que uma série de dados vem da distribuição ajustada pode ser conduzido na base da estimativa amostral $\hat{\tau}_4^\eta$ através da comparação da seguinte estatística (WANG, 1998):

$$Z_w = \frac{\hat{\tau}_4^\eta - \tau_4^\eta}{\sigma(\hat{\tau}_4^\eta | \hat{\tau}_3^\eta = \tau_3^\eta)} \quad (30)$$

com valores críticos de uma distribuição normal padrão.

O desvio padrão em (30), $\sigma(\hat{\tau}_4^\eta | \hat{\tau}_3^\eta = \tau_3^\eta)$, é função de τ_3^η e do tamanho da amostra e pode ser calculado com $\sigma(\hat{\tau}_4^\eta)$ e $\rho(\hat{\tau}_3^\eta, \hat{\tau}_4^\eta)$ pela equação (29) usando a simulação Monte Carlo. Para evitar o enorme esforço computacional envolvido nos várias fases do teste, WANG (1998) propôs a seguinte aproximação:

$$\sigma^2(\hat{\tau}_4^\eta | \hat{\tau}_3^\eta = \tau_3^\eta) = \frac{b}{n} + \frac{c}{n^2} \quad (31)$$

em que:

$$b = b_0 + b_1[\tau_3^\eta] + b_2[\tau_3^\eta]^2 + b_3[\tau_3^\eta]^3 + b_4[\tau_3^\eta]^4 \quad (32)$$

$$c = c_0 + c_1[\tau_3^\eta] + c_2[\tau_3^\eta]^2 + c_3[\tau_3^\eta]^3 + c_4[\tau_3^\eta]^4 \quad (33)$$

os coeficientes em (32) e (33) variam com os valores de η . e estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 - Valores dos coeficientes das equações (32) e (33)

η	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	c_0	c_1	c_2	c_3	c_4
--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

0	0.0745	0.0555	0.0067	-0.3090	0.2240	1.0100	-0.0282	-2.9336	4.0801	-1.0874
1	0.0579	-0.0328	0.1524	-0.4102	0.2672	1.3403	-0.8291	-3.8777	9.5371	-5.7866
2	0.0488	-0.0527	0.1620	-0.3856	0.2566	1.8800	-2.2233	-2.5825	10.4350	-7.3887
3	0.0380	-0.0309	0.0354	-0.1233	0.0878	2.6784	-4.8418	3.5255	2.3736	-3.2076
4	0.0241	0.0024	-0.0813	0.0733	-0.0210	3.7793	-8.3485	11.5170	-7.9095	1.9459

Fonte: WANG (1998).

A equação (31) tem a mesma forma daquela utilizada por CHOWDHURY, STEDINGER e LU (1991) para coeficiente de variação L e assimetria L. Ela assegura que a variância é assintótica e inversamente proporcional ao tamanho da amostra. O segundo termo assegura tal efeito em amostras pequenas.

b) Teste estatístico proposto por Kolmogorov – Smirnov.

Para testar a adequacidade das distribuições empregou-se também o teste de Kolmogorov-/Smirnov e para escolher a distribuição que melhor se ajustou entre os 5 ajustes realizados pela GEV para valores LH variando de 0 a 4.

c) Teste de Kite

Kite empregou o critério do menor erro padrão de estimativa, conforme sugerido por Kite (1978), calculado como:

$$Ep = \sqrt{\frac{\sum (Xo_i - Xe_i)^2}{n - m}} \quad (34)$$

Sendo:

- Ep o erro padrão de estimativa de uma dada distribuição de probabilidade;
- Xo_i a precipitação observada no ano i ;
- Xe_i a precipitação esperada no ano i ;
- n o número de elemento na série de máxima anuais;

- m o número de parâmetros da distribuição de probabilidade estudada.

Com base nos dados de vazões diárias, obteve-se o dados das séries de volumes máximos afluentes para os diferentes dias de durações, referente à estação 65100000, 81135000 e 82170000. Por meio desses dados foi realizado o ajuste, utilizando-se a distribuição GEV associada ao método dos momentos LH.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de três das 14 estações estudadas são apresentados a neste capítulo. Os resultados das outras estações são apresentados no apêndice deste documento, pois os resultados obtidos são semelhantes aos ora estudados.

4.1 AJUSTE DAS SÉRIES DE VOLUMES MÁXIMOS AFLUENTES

4.1.1 Estação Rio Negro (65100000)

Os resultados dos ajustes da distribuição GEV a séries de volumes afluentes máximos para as diferentes durações referentes à estação Morretes, estão apresentados na Tabela 5 com os respectivos valores de taxas de momentos LH e critérios estatísticos dos 4 testes utilizados.

Nas figuras 7, 8, 9 estão exibidas os dados de volumes afluentes máximos com os ajustes da GEV referentes aos critérios estatísticos Wang, Kite, Kolm e Chi².

Por meio dos ajustes obtidos para essa estação, verificou-se que a duração máxima de cheias existentes foi de 10 dias, assim foram obtidos ajustes para as diferentes durações, juntamente com sua projeção de volumes para diferentes períodos de retorno como mostram as figuras 7, 8 e 9.

TABELA 4 - Valores dos parâmetros e das taxas de momentos referentes ao ajuste da distribuição GEV às séries de valores afluentes com diferentes durações na estação fluviométrica 65100000

DURAÇÃO (dias)	PARÂMETROS DA GEV*											
	k			α			μ			LH		
	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm
1	-0,28	-0,28	-0,28	3,08	3,08	3,08	7,59	3,08	7,59	0	0	0
2	-0,21	-0,10	-0,10	3,26	4,10	4,10	9,40	4,10	8,92	4	0	0
3	-0,03	0,03	0,03	10,17	11,01	11,01	23,41	11,01	23,25	1	0	0
4	0,43	-0,05	0,12	36,69	17,57	22,28	19,66	17,57	26,36	4	0	1
5	-0,20	-0,20	-0,20	22,05	22,05	22,05	32,80	22,05	32,80	0	0	0
6	0,21	-0,17	-0,17	50,75	25,30	25,30	19,57	25,30	32,25	4	0	0
7	-0,87	-0,69	-0,69	0,98	3,01	3,01	10,45	3,01	7,80	4	0	0
8	-0,27	-0,22	-0,27	29,46	32,42	29,46	28,31	32,42	28,31	0	1	0
9	1,03	0,53	0,17	162,95	95,36	66,27	62,35	95,36	79,58	3	1	0
10	-0,69	0,00	-0,03	2,57	19,45	18,61	55,58	19,45	42,02	4	1	0

DURAÇÃO (dias)	TAXAS DE MOMENTOS LH											
	Cv			Ca			Cc			Critérios estatísticos		
	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm
1	0,28	0,28	0,28	0,36	0,36	0,36	0,26	0,26	0,26	0,14	0,30	0,07
2	0,15	0,27	0,27	0,39	0,23	0,23	0,22	0,21	0,21	0,11	0,52	0,06
3	0,18	0,25	0,25	0,26	0,15	0,15	0,14	0,18	0,18	0,50	1,30	0,07
4	0,13	0,34	0,23	0,12	0,20	0,18	0,01	0,04	0,02	1,55	2,17	0,12
5	0,38	0,38	0,38	0,30	0,30	0,30	0,13	0,13	0,13	2,17	2,73	0,09
6	0,17	0,41	0,41	0,21	0,28	0,28	0,03	0,11	0,11	2,16	3,22	0,09
7	0,40	0,48	0,48	0,71	0,70	0,70	0,59	0,69	0,69	0,68	10,24	0,14
8	0,50	0,34	0,50	0,35	0,37	0,35	0,21	0,17	0,21	0,74	0,27	0,10
9	0,11	0,22	0,37	-0,14	-0,02	0,07	-0,10	-0,11	-0,09	0,88	14,55	0,15
10	0,16	0,18	0,25	0,62	0,24	0,19	0,44	0,44	0,14	0,09	4,59	0,25

Simbolos: k – parâmetro de forma, α – parâmetro de escala, μ – parâmetro de posição, cv – coeficiente de variação, ca – coeficiente de assimetria, cc - coeficiente de curtose, LH – nível de ajuste.

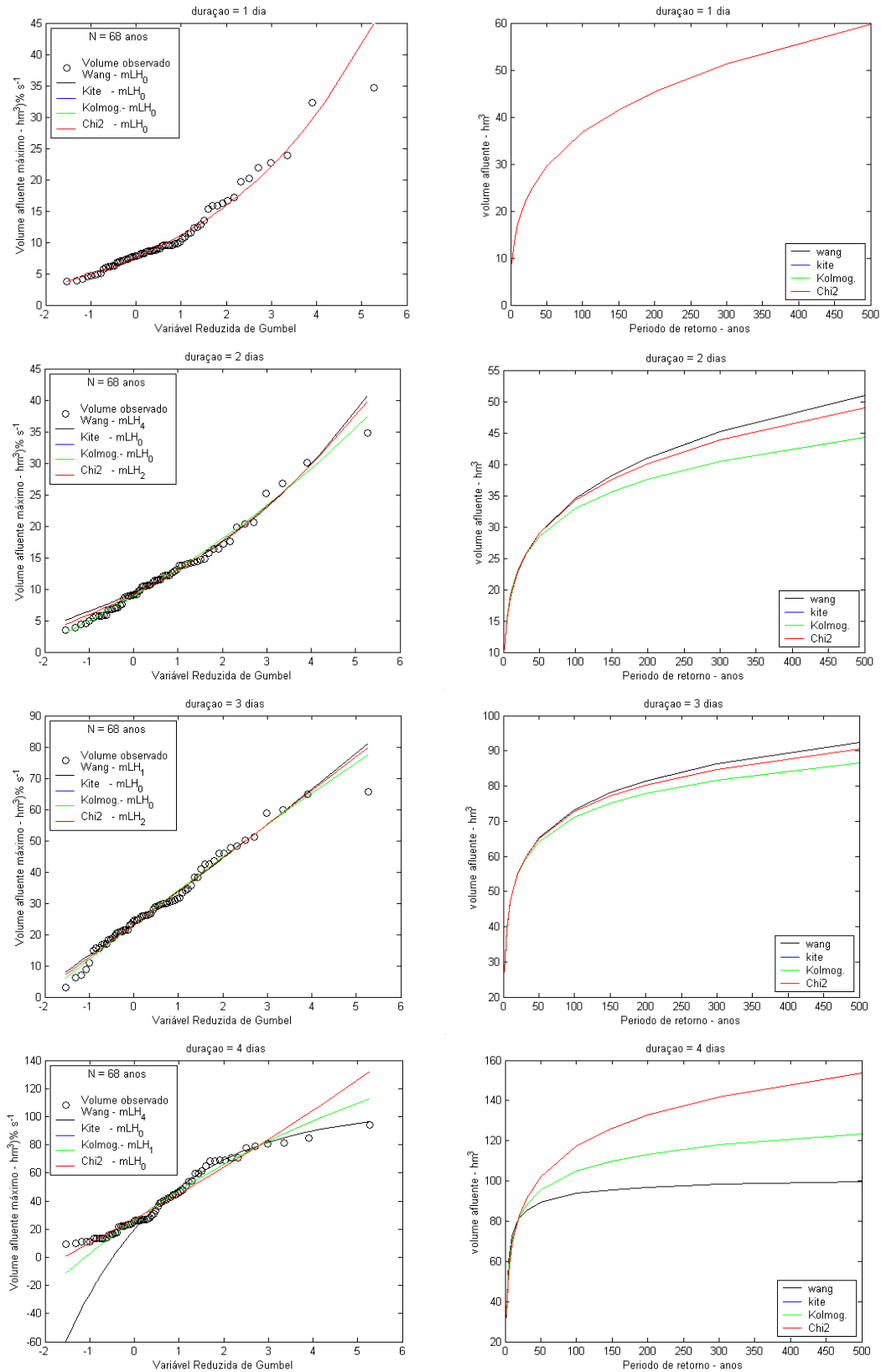


Figura 7 - Ajuste da Distribuição GEV à série de volumes afluentes máximos decorrentes de cheias com duração de 1 a 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno da estação 65100000.

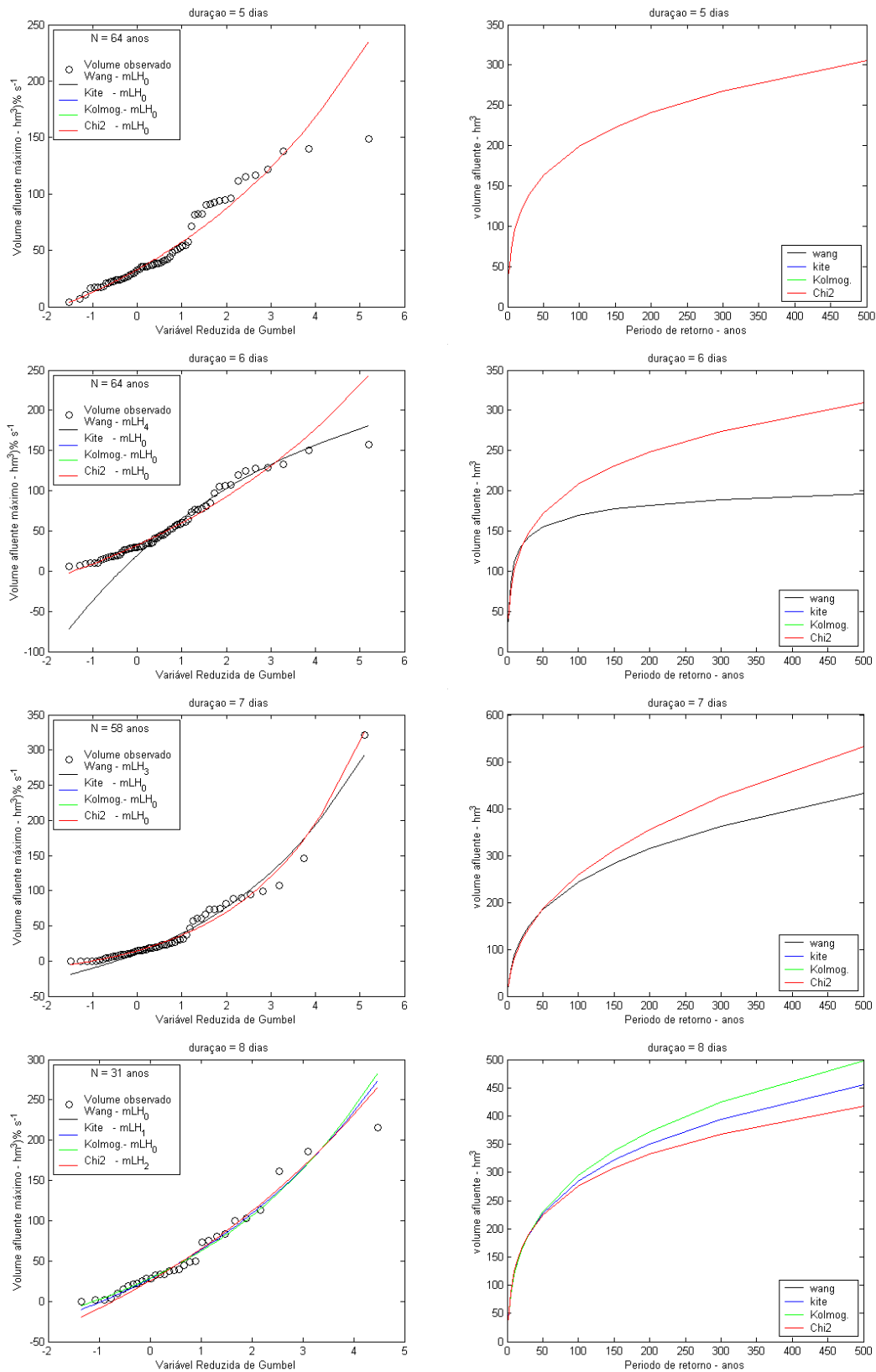


Figura 8 - Ajuste da Distribuição GEV à série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 5 a 8 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno da estação 65100000.

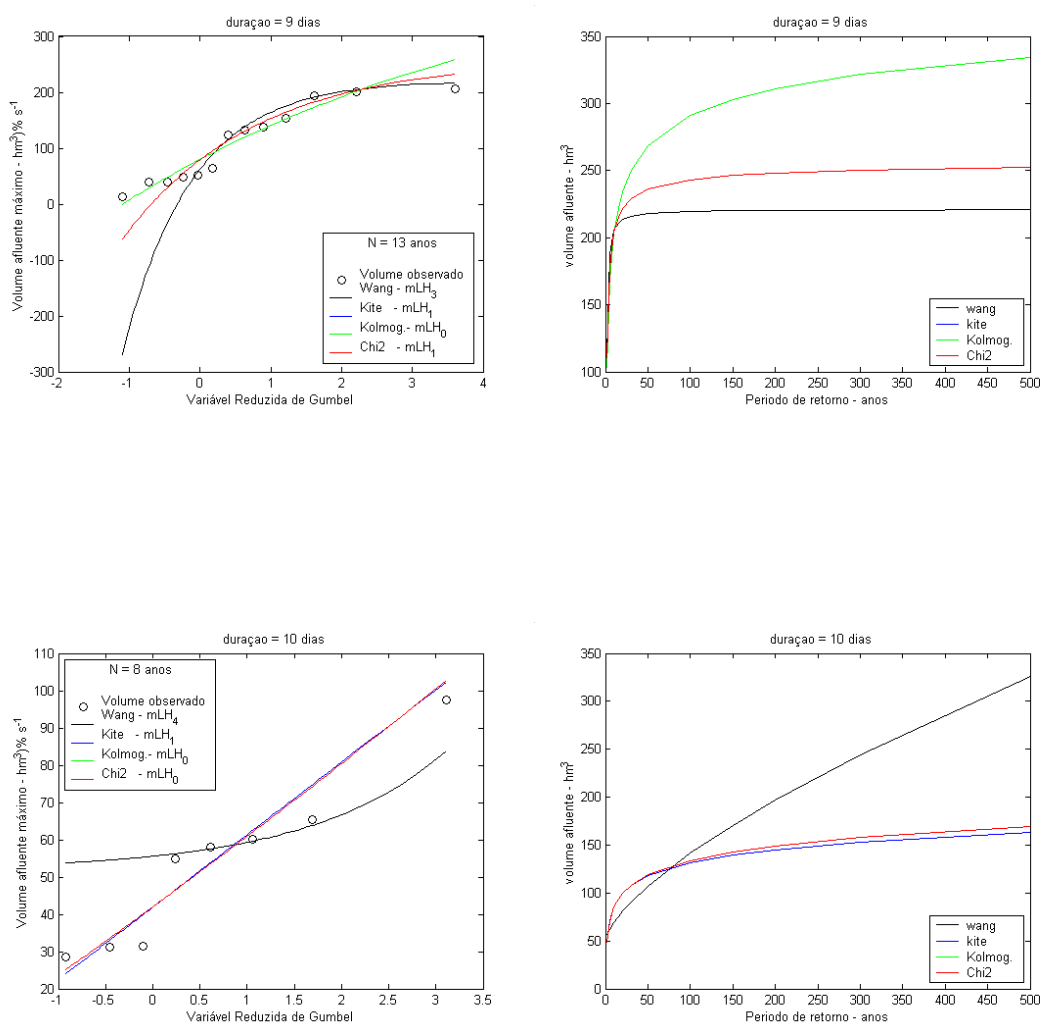


Figura 9 - Ajuste da Distribuição GEV à série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 9 a 10 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno da estação 65100000.

4.1.2 Estação Balsa do Cerro Azul (81135000)

Os resultados dos ajustes da distribuição GEV a séries de volumes afluentes máximos para as diferentes durações, referentes à estação Morretes, estão apresentados na Tabela 5 com os respectivos valores de taxas de momentos LH e critérios estatísticos dos 4 testes utilizados.

Nas figuras 10 e 11 estão exibidos os dados de volumes afluentes máximos com os ajustes da GEV referente aos critérios estatísticos Wang, Kite, Kolm e Chi2.

Através dos ajustes obtidos para esta estação, verificou-se que a duração máxima de cheias foi de 7 dias, assim foram obtidos ajustes para as diferentes durações, juntamente com sua projeção de volumes para diferentes períodos de retorno como mostrado nas figuras 10 e 11.

TABELA 5 - Valores dos parâmetros e das taxas de momentos referentes ao ajuste da distribuição GEV às séries de valores afluentes com diferentes durações na estação fluviométrica 81135000

DURAÇÃO (dias)	PARÂMETROS DA GEV											
	K			α			μ			LH		
	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm
1	-0,33	-0,31	-0,33	7,49	7,83	7,49	13,12	13,02	13,12	0	1	0
2	0,29	-0,09	-0,09	13,70	7,15	7,15	11,65	14,45	14,45	4	0	0
3	-0,25	-0,20	-0,25	12,09	13,19	12,09	23,40	23,12	23,40	0	1	0
4	-0,36	-0,26	-0,26	11,32	14,32	14,32	21,58	20,27	20,27	3	0	0
5	0,01	0,00	0,01	16,65	16,25	16,65	25,77	26,11	25,77	1	3	1
6	-0,13	-0,16	-0,23	20,61	19,19	16,28	29,10	30,38	32,34	4	3	1
7	0,04	-0,26	-0,26	11,37	6,13	6,13	9,54	12,47	12,47	4	0	0
DURAÇÃO (dias)	TAXAS DE MOMENTOS LH											
	Cv			Ca			Cc			Critérios estatísticos		
	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm
1	0,37	0,28	0,37	0,40	0,42	0,40	0,26	0,29	0,26	0,49	0,08	0,07
2	0,12	0,28	0,28	0,17	0,22	0,22	0,04	0,07	0,07	1,20	0,91	0,07
3	0,32	0,24	0,32	0,33	0,35	0,33	0,20	0,16	0,20	1,02	0,54	0,07
4	0,24	0,40	0,40	0,46	0,34	0,34	0,28	0,32	0,32	0,09	1,54	0,08
5	0,21	0,15	0,21	0,23	0,28	0,23	0,13	0,18	0,13	0,26	0,34	0,09
6	0,18	0,19	0,23	0,35	0,36	0,37	0,16	0,17	0,19	0,37	1,02	0,10
7	0,17	0,31	0,31	0,27	0,34	0,34	0,09	0,15	0,15	1,18	0,70	0,09

Símbolos: k – parâmetro de forma, α – parâmetro de escala, μ – parâmetro de posição, cv – coeficiente de variação, ca – coeficiente de assimetria, cc - coeficiente de curtose, LH – nível de ajuste.

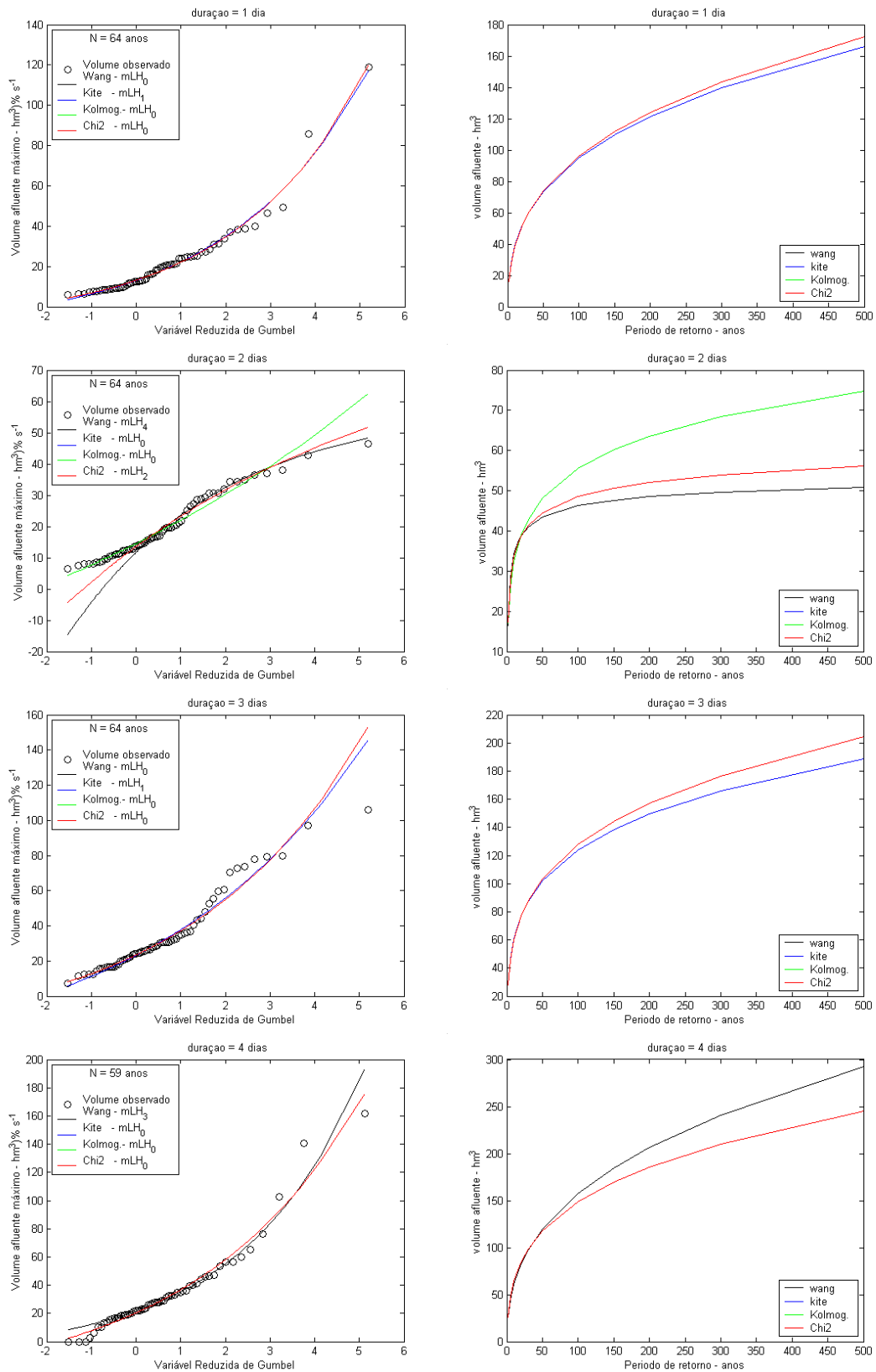


Figura 10 - Ajuste da Distribuição GEV à série de volumes afluentes máximos decorrentes de cheias com duração de até 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno da estação 81135000.

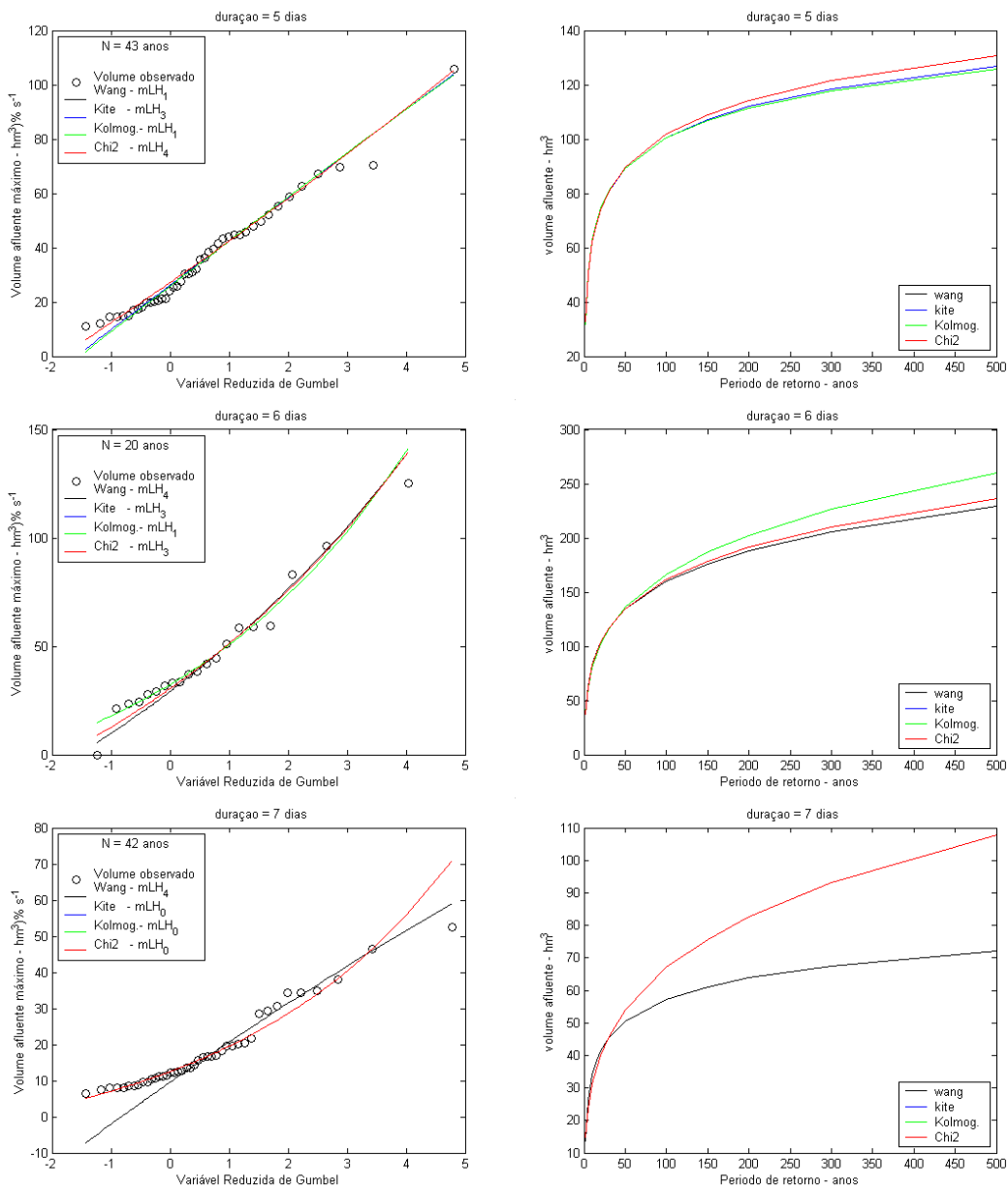


Figura 11 - Ajuste da Distribuição GEV à série de volumes afluentes máximos decorrentes de cheias com duração de 4 a 7 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno da estação 81135000.

4.1.3 Estação Morretes (82170000)

Os resultados dos ajustes da distribuição GEV às séries de volumes afluentes máximos para as diferentes durações referente à estação Morretes, estão apresentados na Tabela 5 com os respectivos valores de taxas de momentos LH e critérios estatísticos dos 4 testes utilizados.

Nas figuras 10 e 11 estão exibidos os dados de volumes afluentes máximos com os ajustes da GEV referentes aos critérios estatísticos Wang, Kite, Kolmog e Chi².

Através dos ajustes obtidos para essa estação, verificou-se que a duração máxima de cheias existentes foi de 6 dias, assim foram obtidos ajustes para as diferentes durações juntamente com sua projeção de volumes para diferentes períodos de retorno como mostrado nas figuras 10 e 11.

TABELA 6 - Valores dos parâmetros e das taxas de momentos referente ao ajuste da distribuição GEV às séries de valores afluentes com diferentes com diferentes durações na estação fluviométrica 82170000

Duração (dias)	PARÂMETROS DA GEV											
	K			α			μ			LH		
	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm	Wang	Kite	Kolm
1	0,09	0,08	0,08	1,94	1,92	1,92	5,55	5,55	5,55	4	1	1
2	0,10	-0,09	-0,09	2,14	1,61	1,61	4,35	4,49	4,49	2	0	0
3	-0,31	-0,27	-0,23	1,85	2,06	2,20	6,20	5,98	6,06	2	4	0
4	-0,25	-0,23	-0,18	2,58	2,74	2,94	5,65	5,52	5,55	1	3	0
5	0,62	0,27	0,49	5,77	4,03	5,01	5,50	5,69	5,68	2	0	1
6	2,33	0,80	0,80	27,62	8,00	8,00	4,76	8,48	8,48	4	1	1
7	-0,13	-0,13	-0,13	1,74	1,74	1,74	4,88	4,88	4,88	0	0	0

Duração (dias)	TAXAS DE MOMENTOS LH											
	Cv			Ca			cc			Critérios estatísticos		
1	0,09	0,13	0,13	0,26	0,20	0,20	0,13	0,11	0,11	0,01	0,14	0,07
2	0,14	0,22	0,22	0,23	0,22	0,22	0,08	0,09	0,09	1,20	0,21	0,10
3	0,18	0,17	0,25	0,43	0,42	0,32	0,26	0,21	0,29	0,39	0,11	0,07
4	0,23	0,19	0,32	0,39	0,40	0,29	0,24	0,19	0,27	0,04	0,31	0,08
5	0,13	0,32	0,18	-0,01	0,01	-0,01	0,05	-0,01	-0,01	0,03	0,59	0,10
6	0,05	0,17	0,17	-0,56	-0,14	-0,14	-0,09	-0,10	-0,10	0,91	0,09	0,18
7	0,22	0,22	0,22	0,25	0,25	0,25	0,19	0,19	0,19	0,08	0,28	0,07

Símbolos: k – parâmetro de forma, α – parâmetro de escala, μ – parâmetro de posição, cv – coeficiente de variação, ca – coeficiente de assimetria, cc - coeficiente de curtose, LH – nível de ajuste.

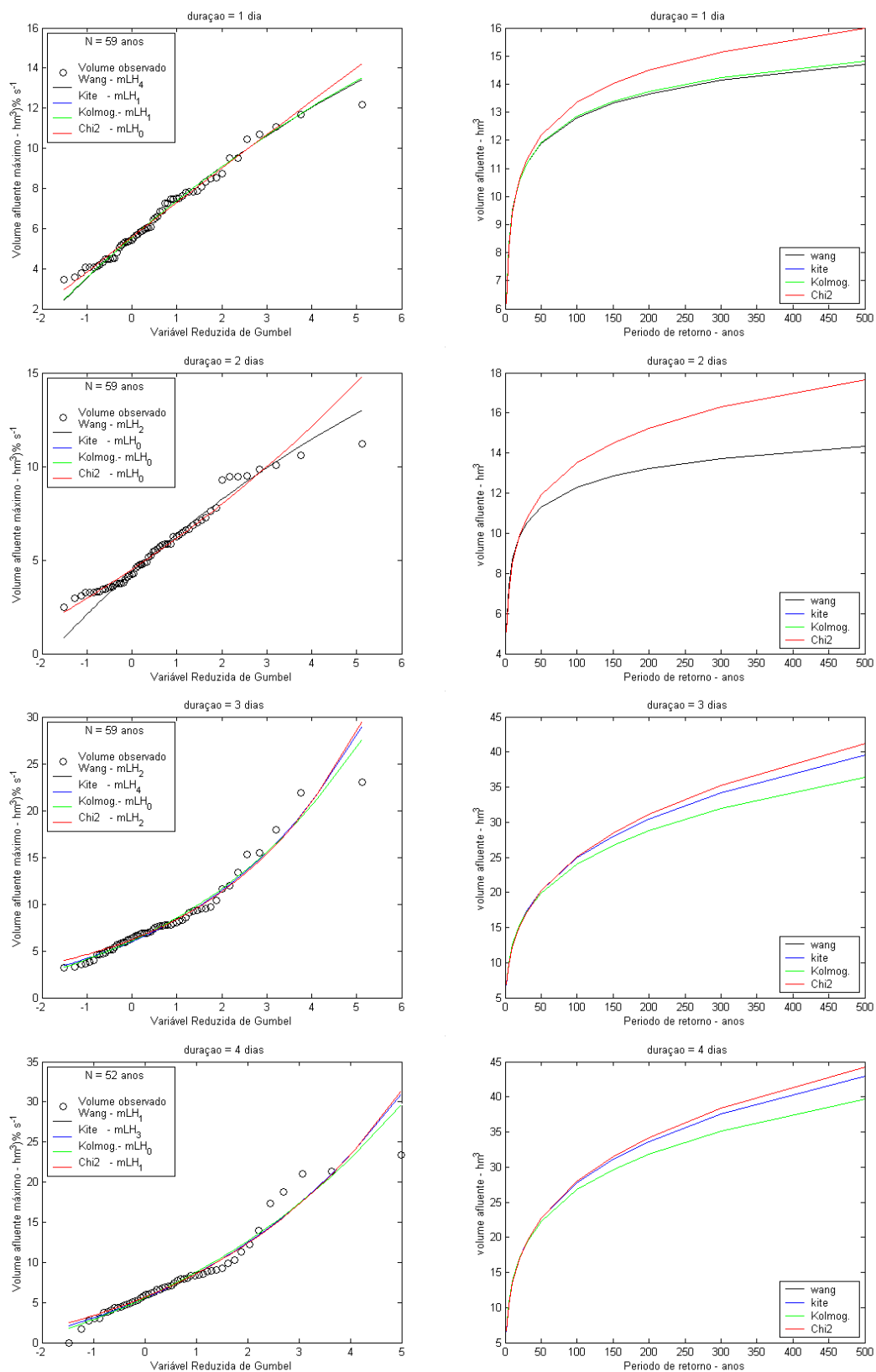


Figura 12 - Ajuste da Distribuição GEV à série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de até 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno da estação 82170000.

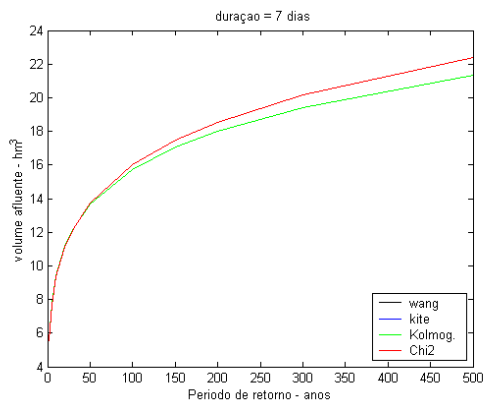
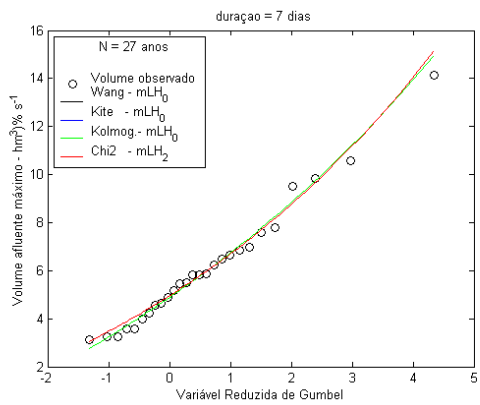
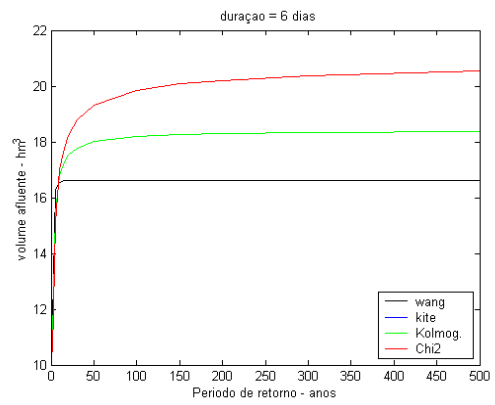
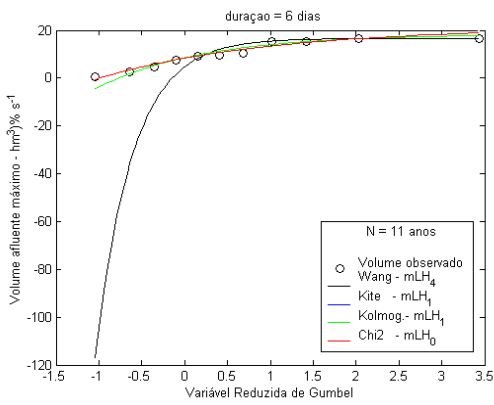
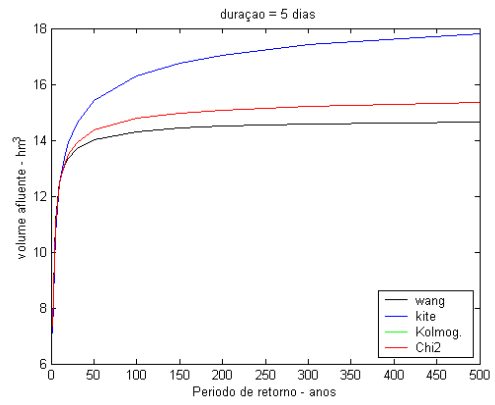
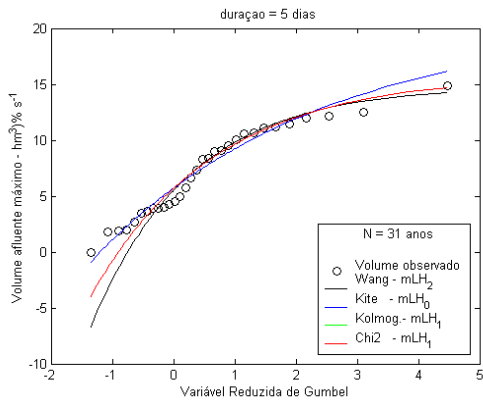


Figura 13 - Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 5 a 7 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno da estação 82170000

4.2 DISCUSSÃO SOBRE CRITÉRIOS ESTATÍSTICOS

Sobre os diferentes critérios estatísticos adotados para comparação em relação ao teste de Wang (1998), observa-se que na maioria dos casos estudados os critérios de Kite, Kolmog e Chi², adotados para selecionar o melhor ajuste da GEV entre os 5 níveis LH (0, 1 2 3 4) fornecidos pela rotina computacional em Mathlag, sob os momentos LH, resultaram em níveis de LH baixos: 0, 1 ou 2, enquanto que para as mesmas séries ajustadas o critério de Wang resultaram valores de LH mais elevados: 2, 3 e 4, pois este procedimento foi sugerido pensando em priorizar as informações contidas na faixa de valores mais elevados da série de dados e da distribuição.

Discutindo que quando o ajuste da GEV resulta na forma VEI a variação do volume afluente máximo com o período de retorno se dá com incrementos bem maiores do que com a forma VEIII ($k > 0$) quando o ajuste na forma VEII ($k < 0$) o incremento do volume afluente com o período de retorno e excessivamente bem mais elevado do que o ocorrido na forma VEII, como pode ser observado na Figura 8.

Por essa razão nas figuras 12 a 20, nas quais estão plotados os pontos volume máximo, obteve-se através da GEV, para diferentes valores de períodos de retornos e se observa que, para algumas durações os diferentes períodos de retorno estão associados a valores de volumes afluentes bem próximos devido ao ajuste da GEV que resultado na forma velll. Para outras durações os valores de volumes afluentes obtidos da GEV aumentam muito

com o crescimento do valor do período de retorno devido ao ajuste ter resultado na forma VEII ou VEI em que o incremento é um pouco menos.

4.3 VOLUME X DURAÇÃO

Após determinados os volumes máximos afluentes para cada duração, foi gerado o gráfico volume x duração para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20,30,50, 100, 150, 200, 300, 400 e 500 anos. Desse modo verificou-se que o ajuste GEV associado aos momentos LH tende a gerar uma curva convexa.

4.3.1 Estação Rio Negro (65100000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos Wang, Kite, Komolog, como mostram as figuras 10, 10.1 e 10.2.

Verifica-se que nessa estação os dados ajustados possibilitam por meio de um ajuste matemático a construção da curva volume x duração da maneira mais adequada.

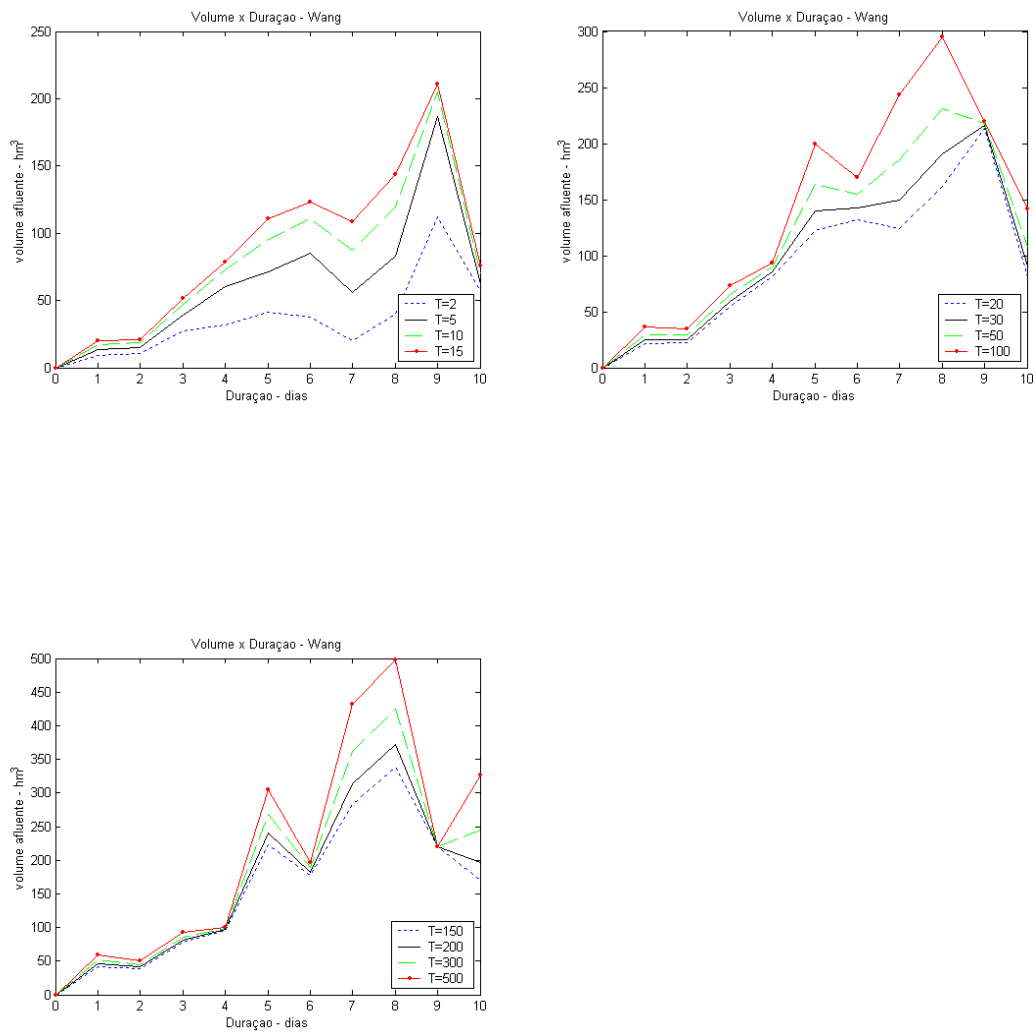


Figura 14 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Wang.

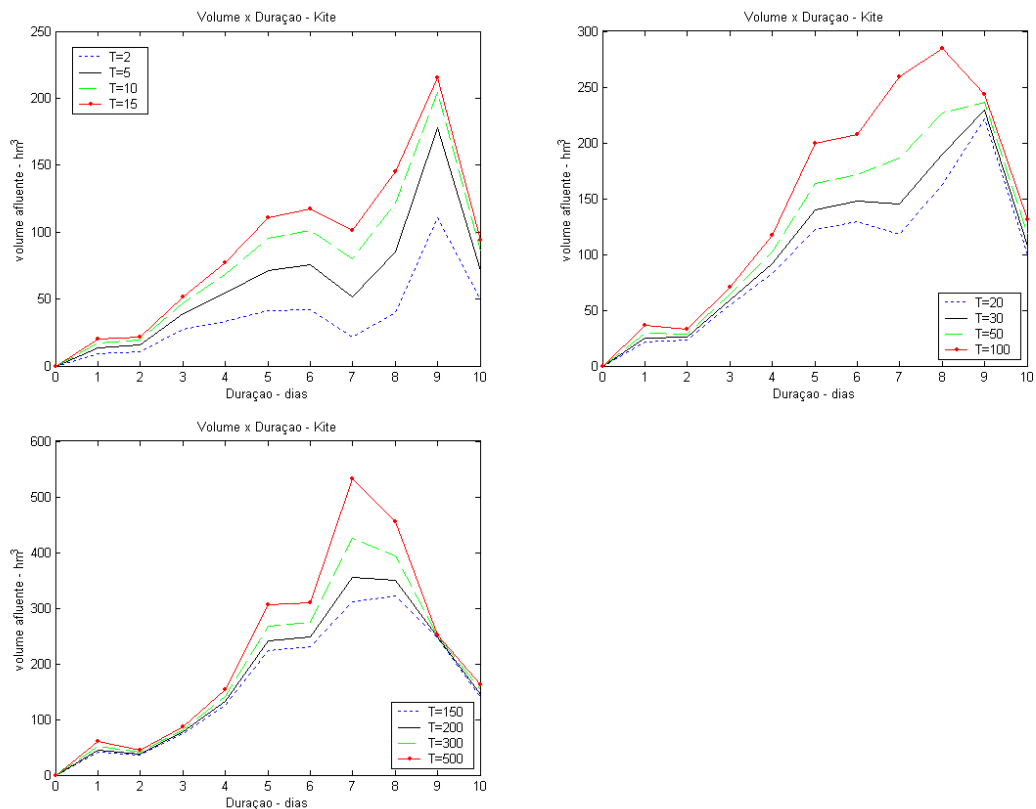


Figura 15 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Kite.

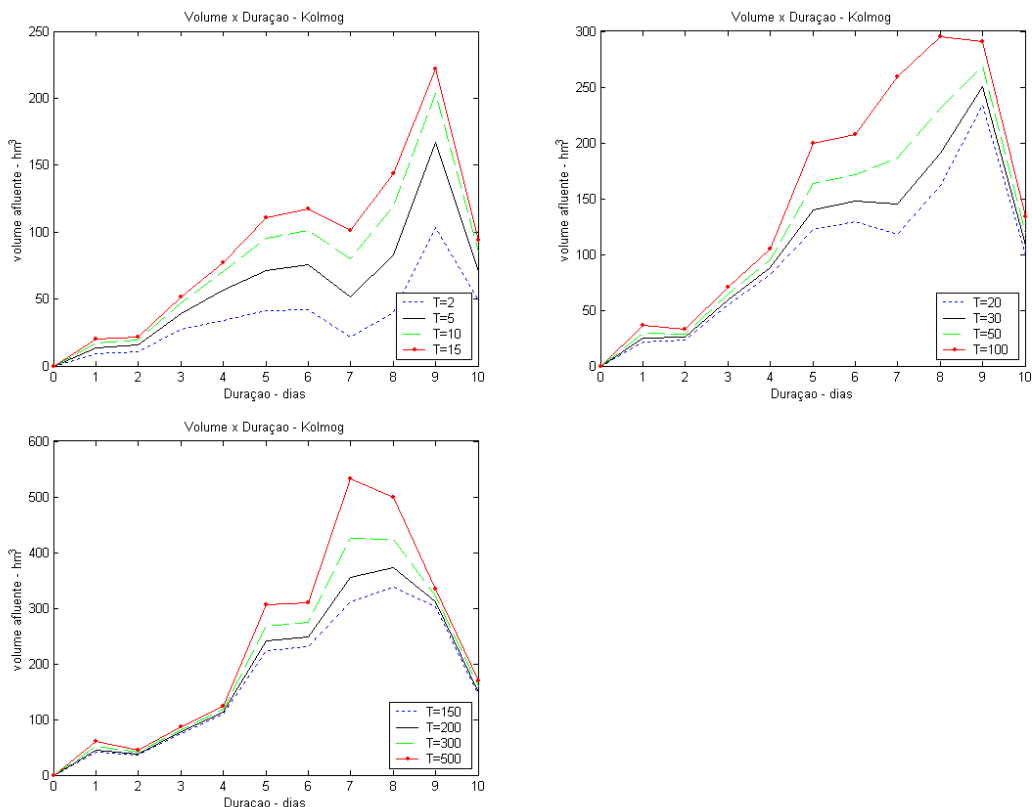


Figura 16 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Komolog.

4.3.2 Estação Balsa do Cerro Azul (81135000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos Wang, Kite, Komolog, como mostram as figuras 11, 11.1 e 11.2.

Verifica-se que nessa estação os dados ajustados possibilitam por meio de um ajuste matemático a construção da curva volume x duração da maneira mais adequada.

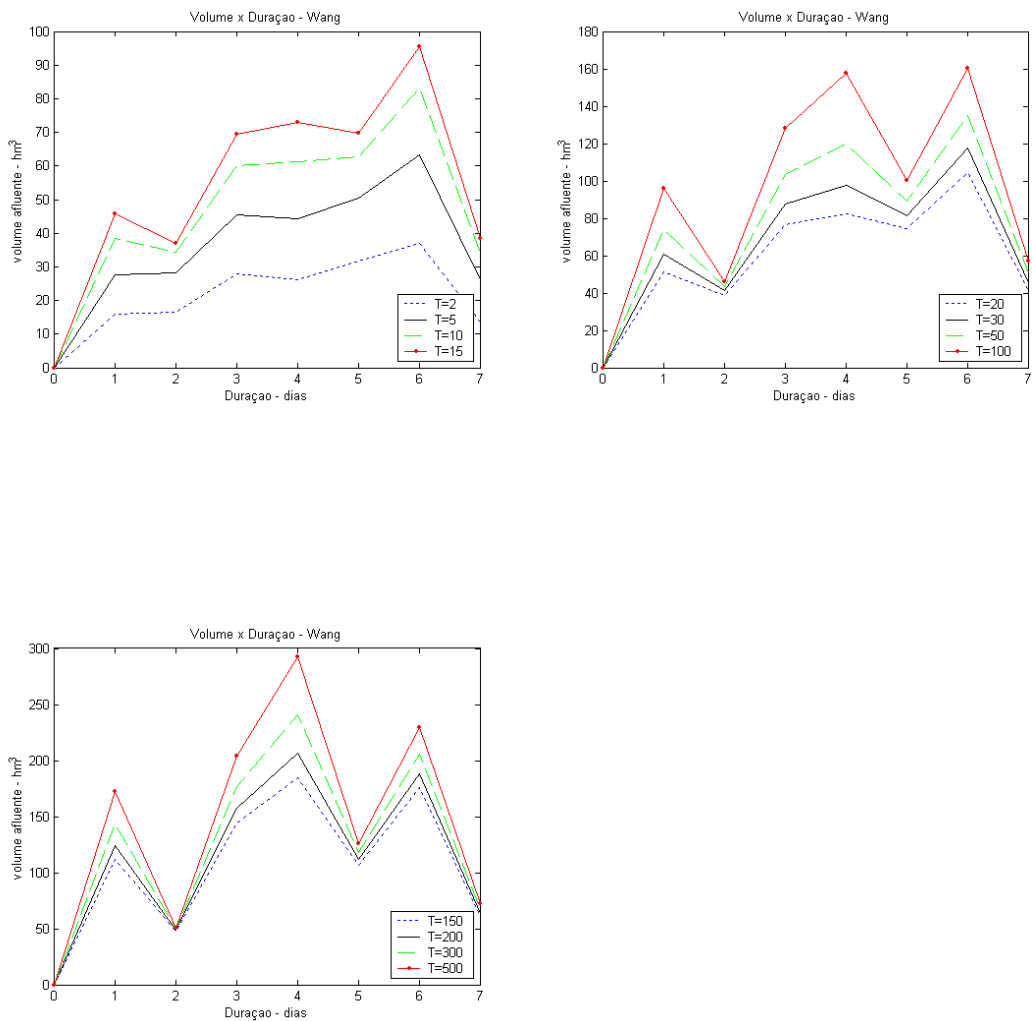


Figura 17 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Wang.

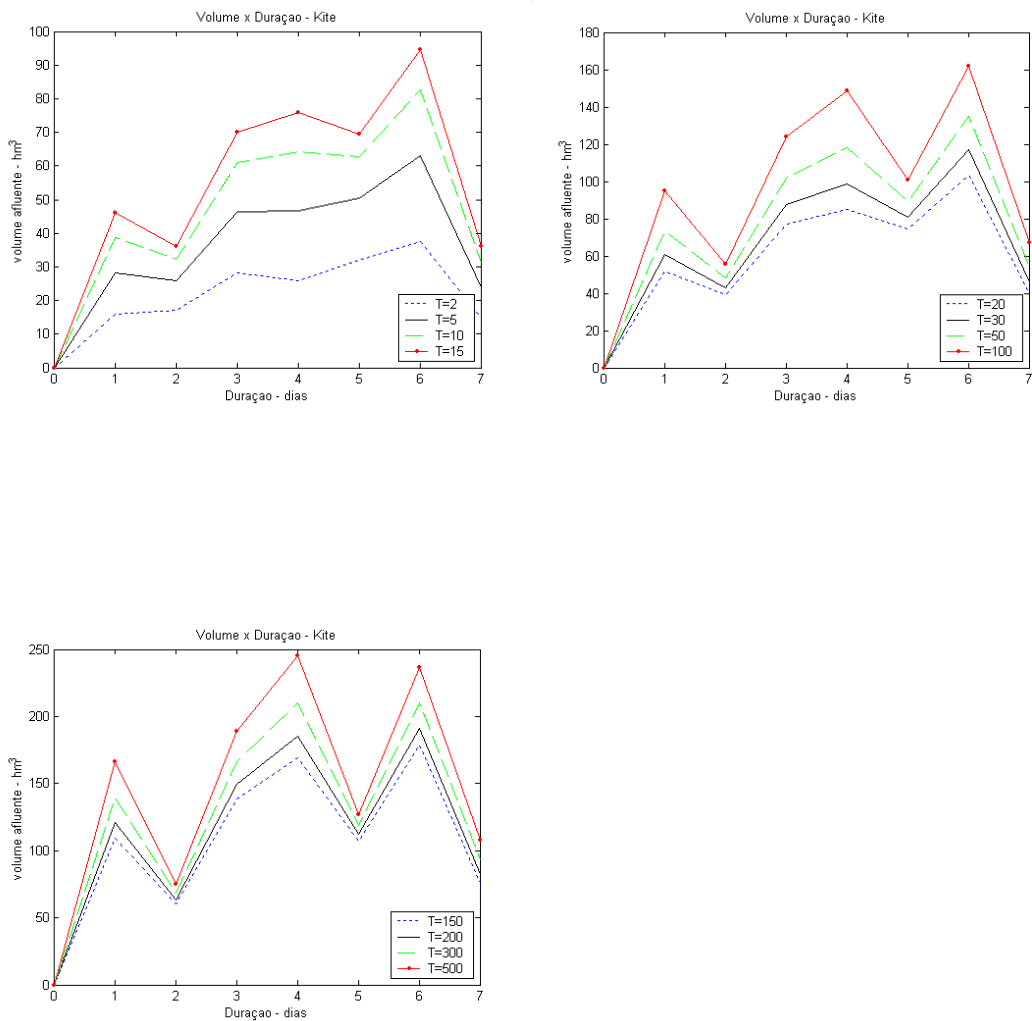


Figura 18 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Kite.

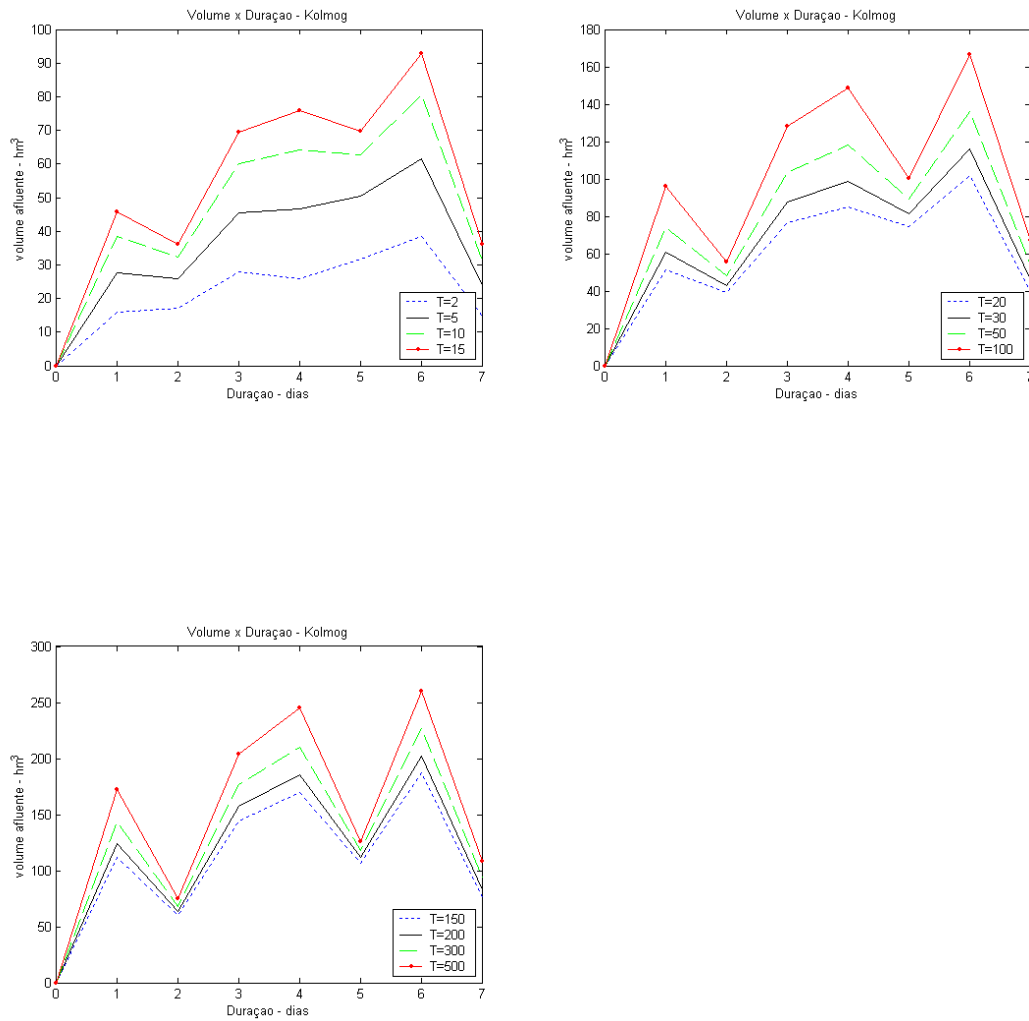


Figura 19 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Komolog.

4.3.3 Estação Morretes (82170000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos Wang, Kite, Komolog, como mostram as figuras 12, 12.1 e 12.2.

Verifica-se que nessa estação os dados ajustados possibilitam por meio de um ajuste matemático a construção da curva volume x duração da maneira mais adequada.

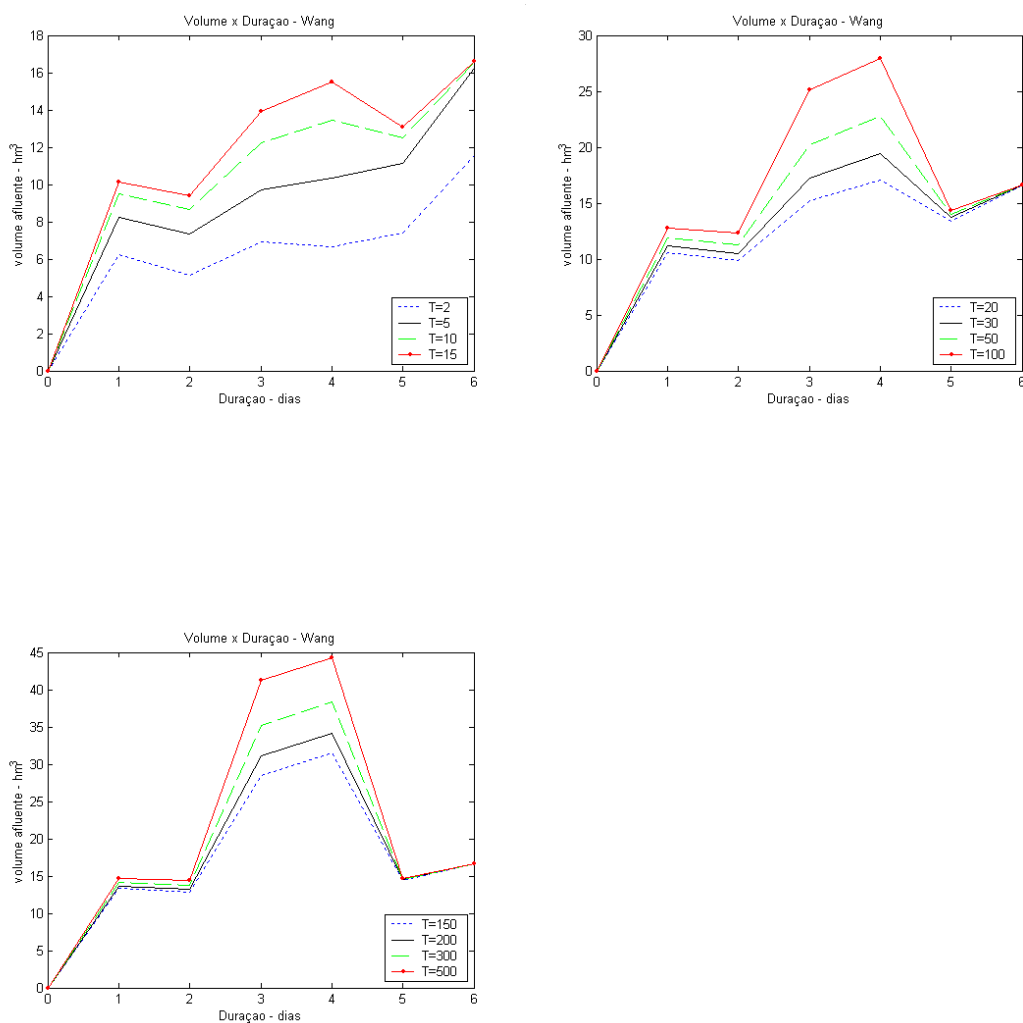


Figura 20 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Wang.

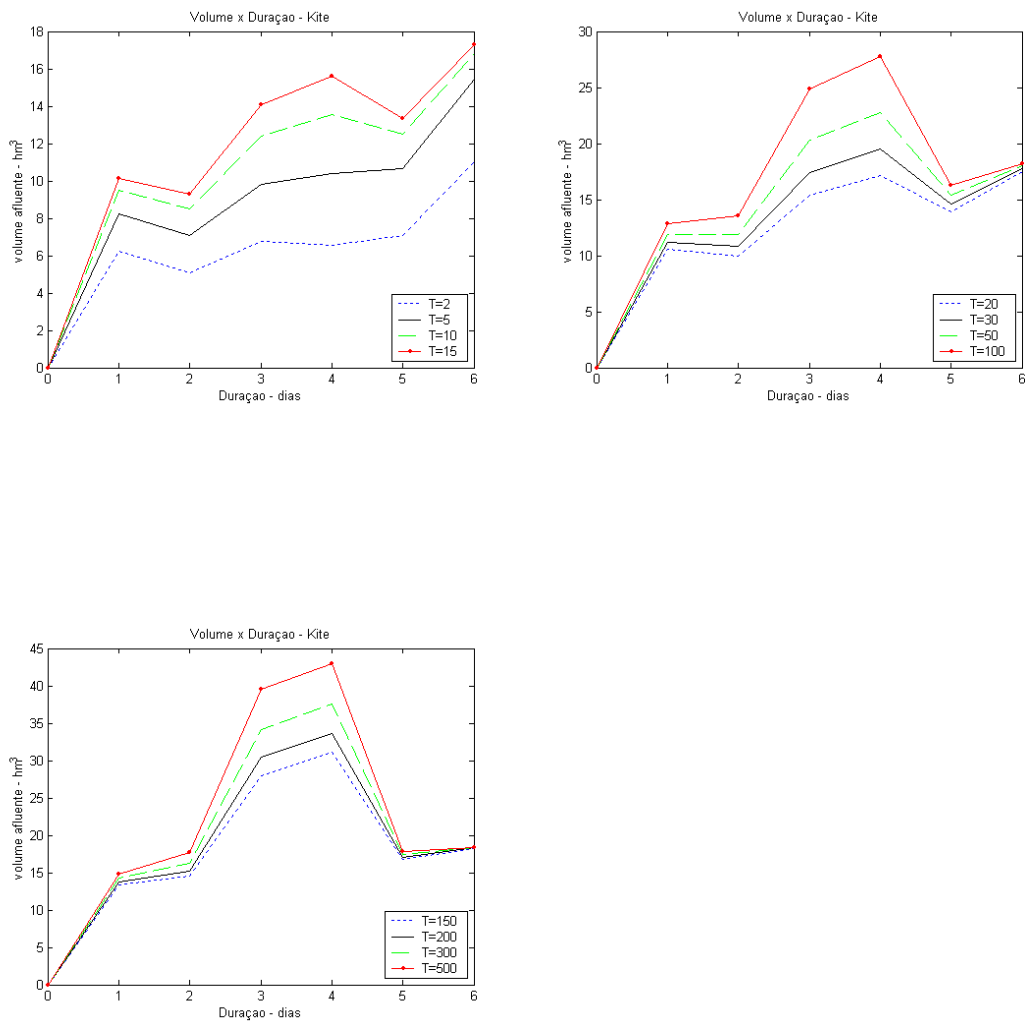


Figura 21 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada aos momentos LH Kite.

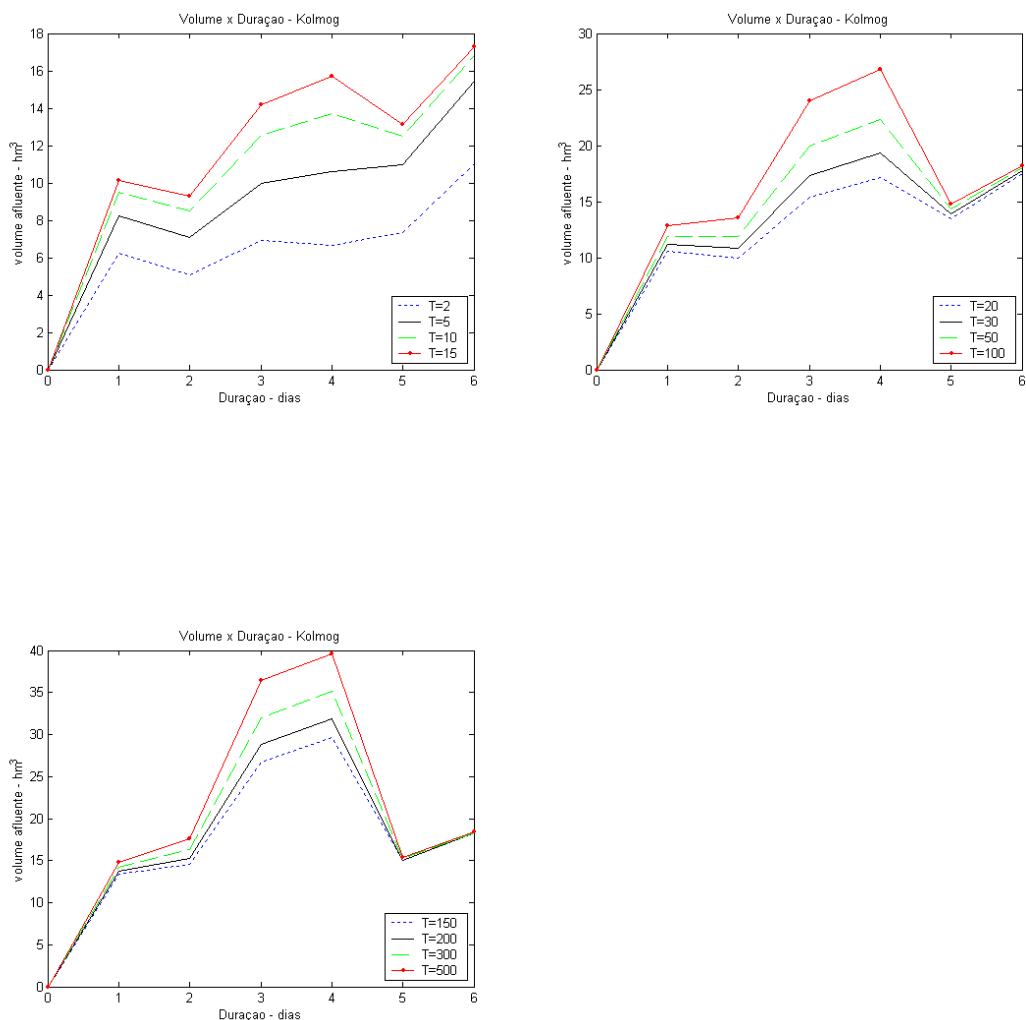


Figura 22 - Gráficos volume x duração para diferentes períodos de retorno, por meio da distribuição GEV associada os momentos LH Komolog.

Os resultados das demais estações estão apresentados no Apêndice deste documento. Analisando-se as respectivas figuras observa-se que o seu comportamento segue o mesmo padrão discutidos neste capítulo referente às estações do Rio Negro, Balsa do Cerro Azul e Morretes.

4.4 CURVA VOLUME X DURAÇÃO

As curvas volume x duração ajustadas aos valores de volumes afluentes máximos, obtidos por meio do ajuste da GEV para períodos de retornos de 20, 30, 50, 100, 150 e 200 anos para 9 das 14 estações estudadas estão apresentados nas figuras 13 a 20. Adotou-se, somente os resultados de ajustes obtidos com critério Kolmogorov – Smirnov.

4.4.1 Estação Andirá (64370000)

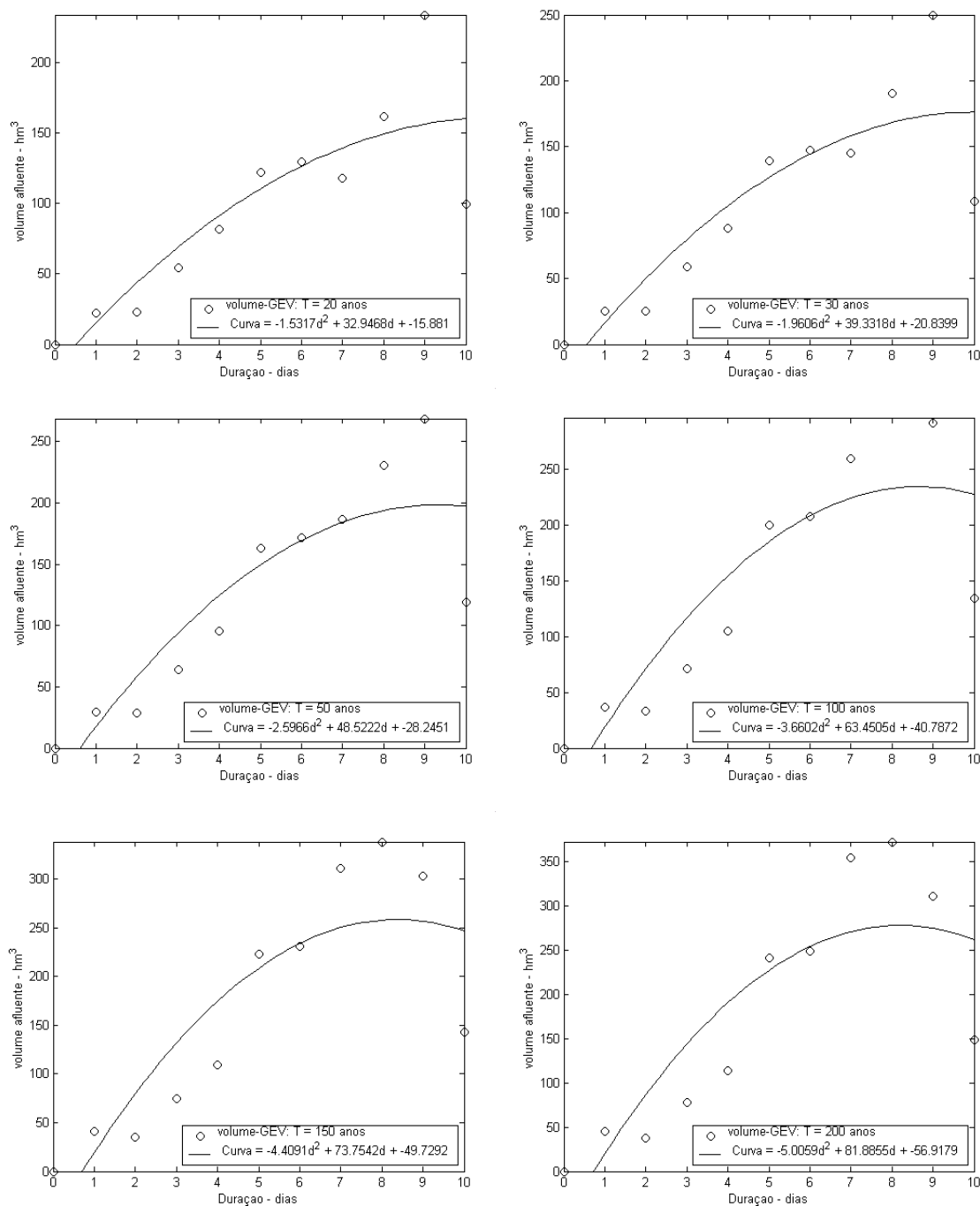
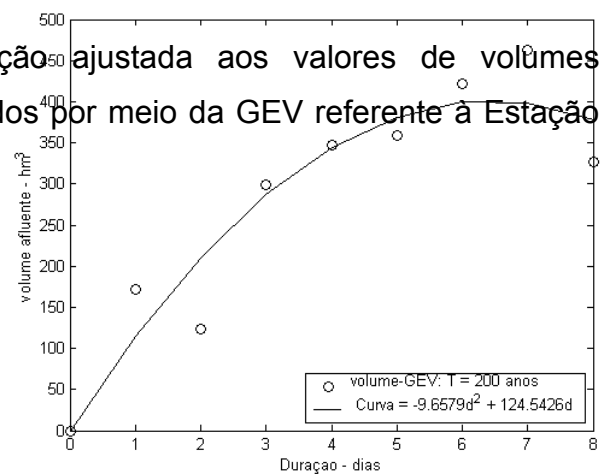
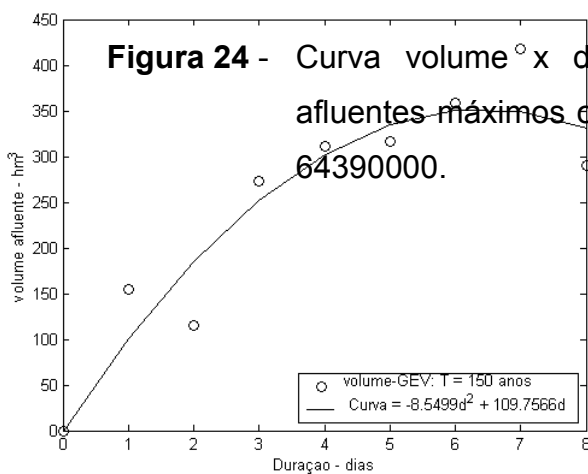
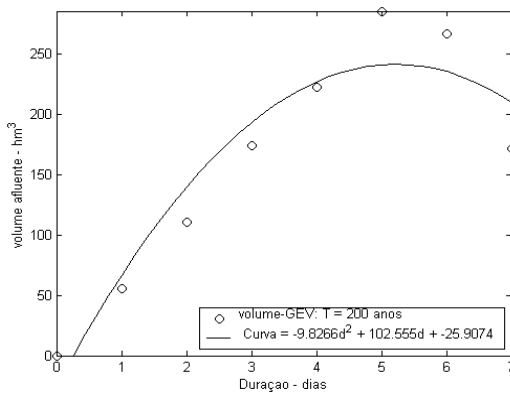
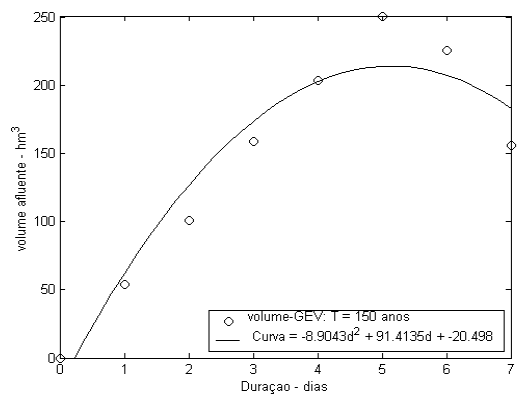
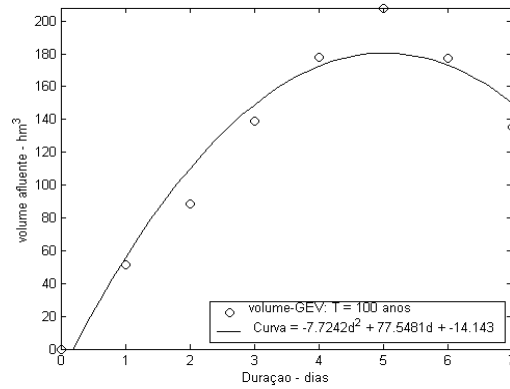
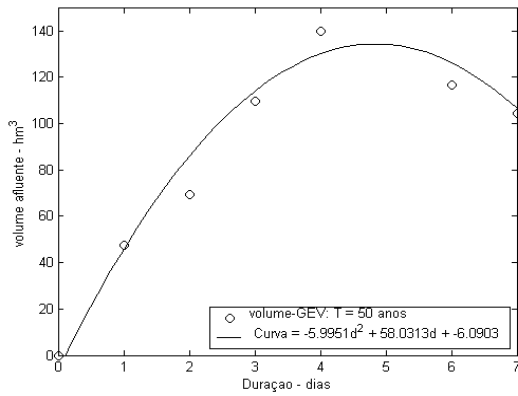
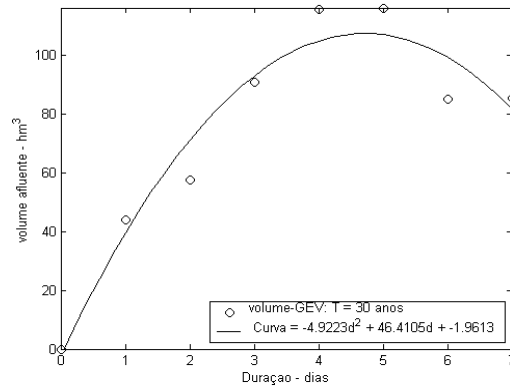
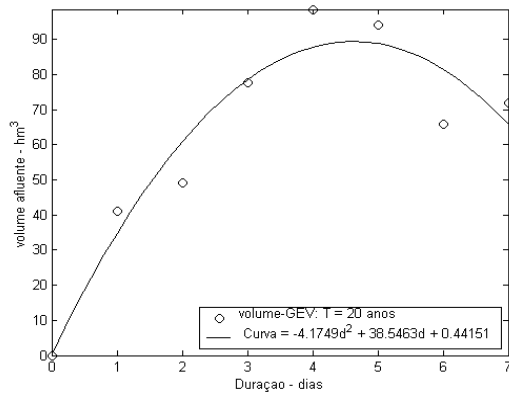


Figura 23 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 64370000.

4.4.2 Estação Porto Sta Terezinha (64390000)



4.4.3 Estação Tibai (64465000)

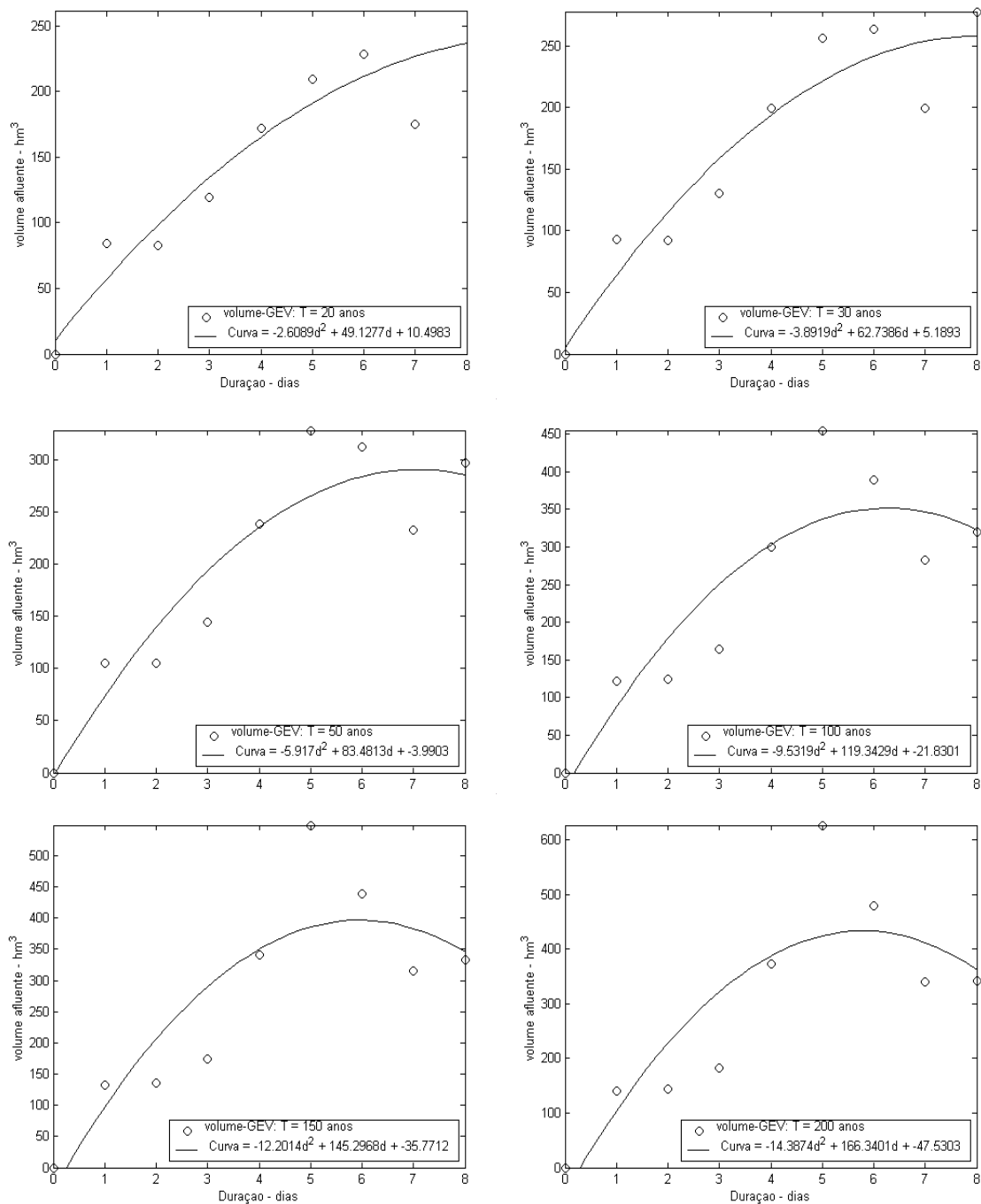


Figura 25 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 64465000.

4.4.4 Estação Jataizinho (645070000)

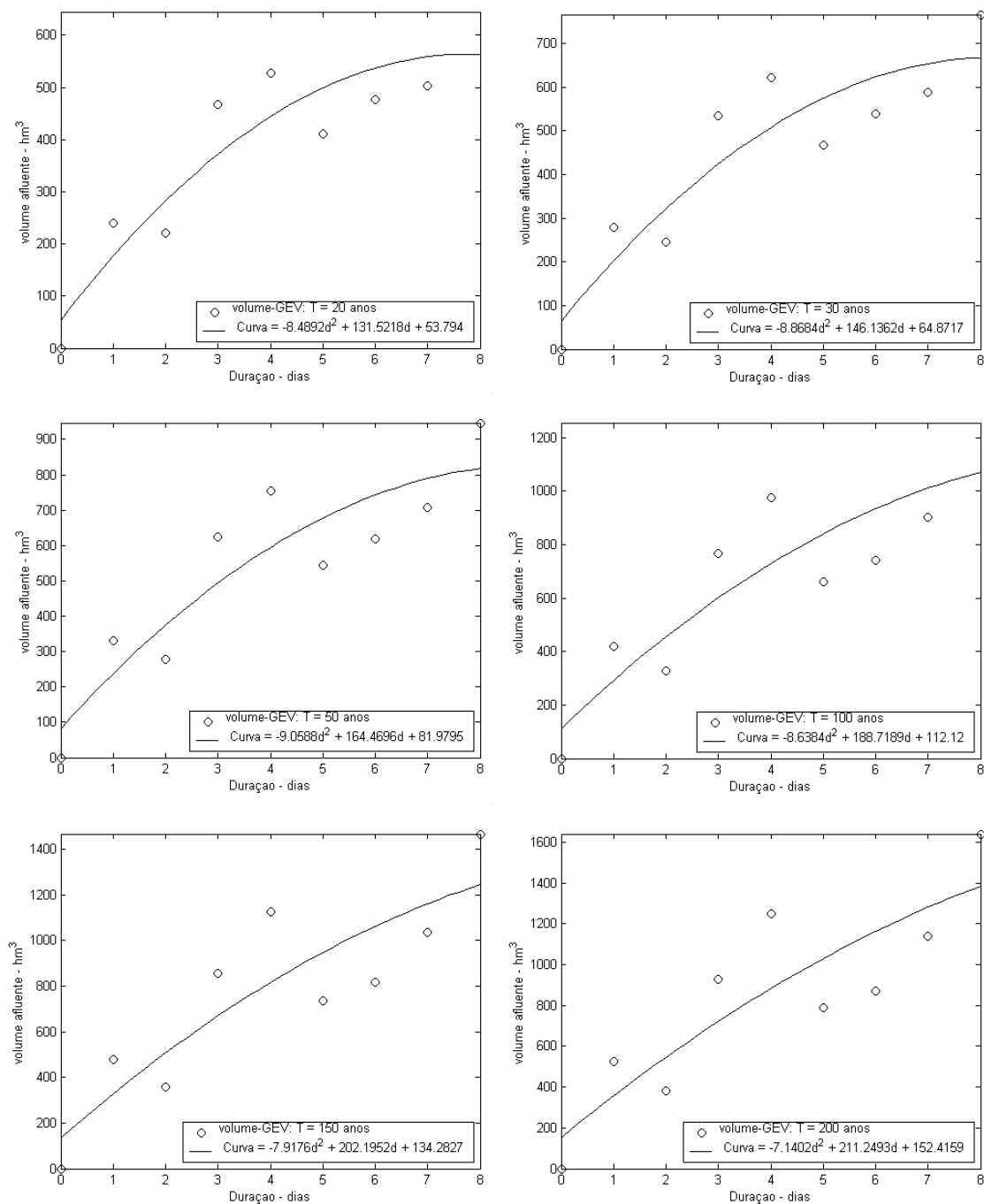


Figura 26 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluente máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 645070000.

4.4.5 Estação São Mateus do Sul (650600000)

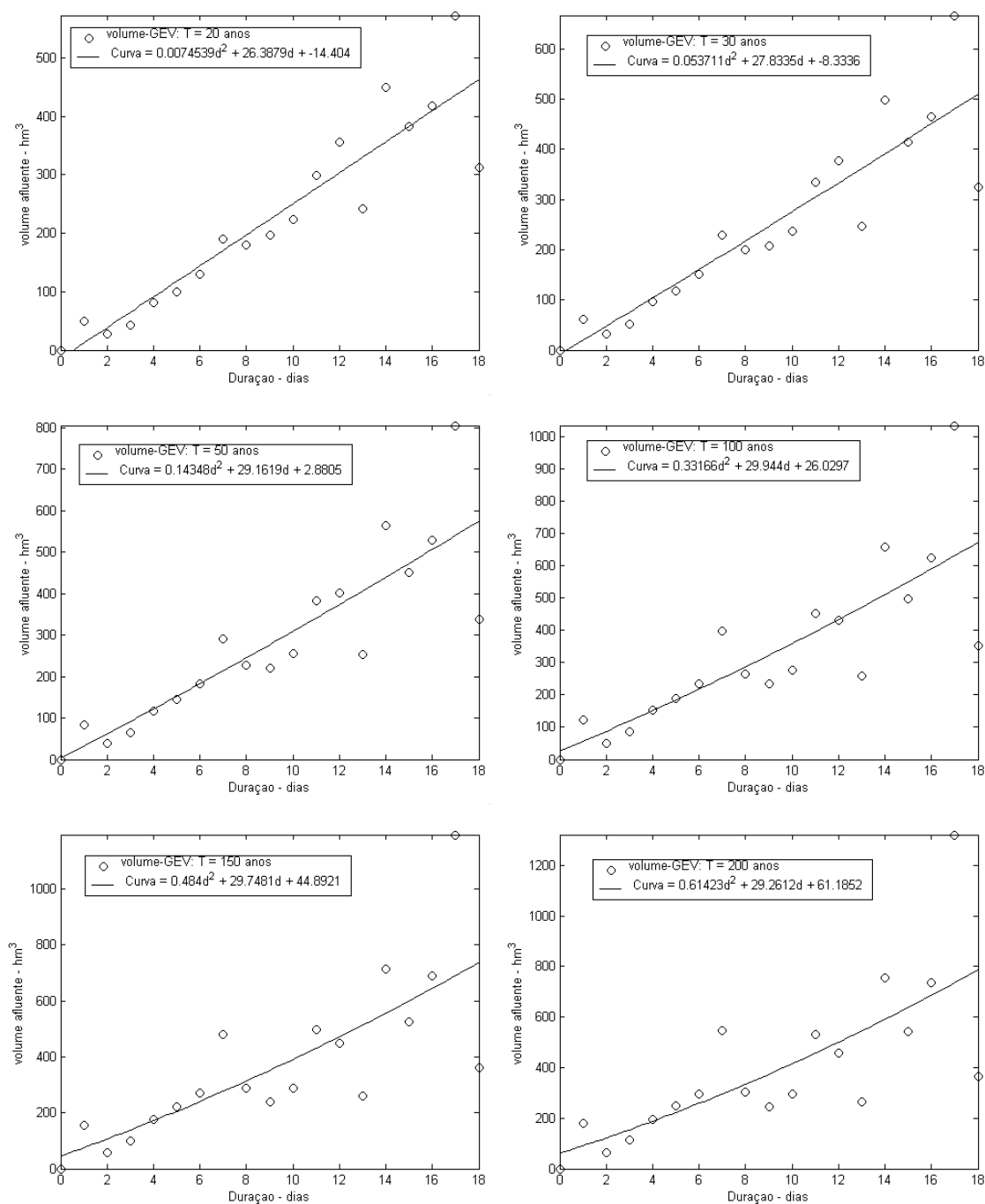


Figura 27 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 65060000.

4.4.6 Estação Rio Negro (65100000)

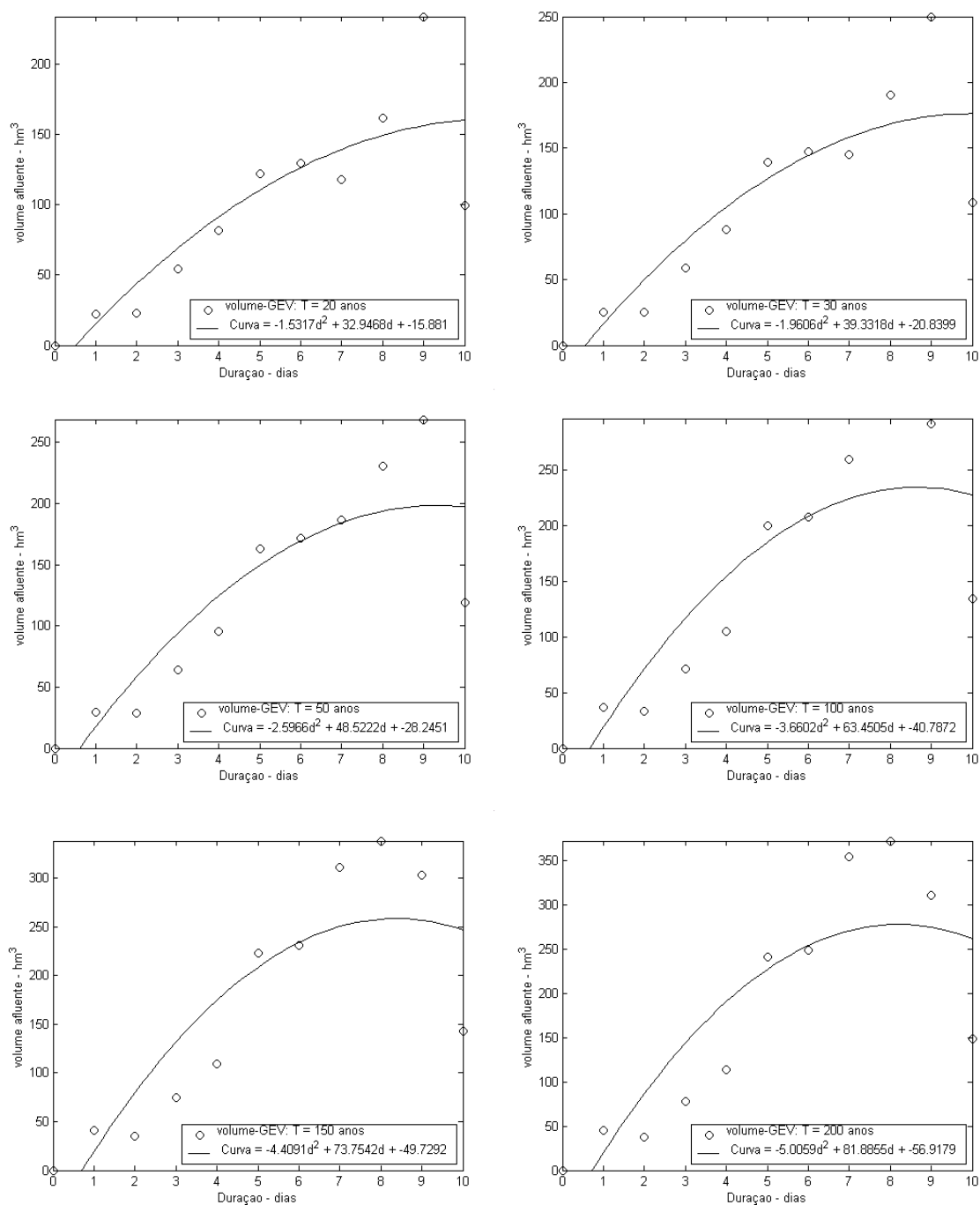


Figura 28 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 65100000.

4.4.7 Estação Balsa do Cerro Azul (81135000)

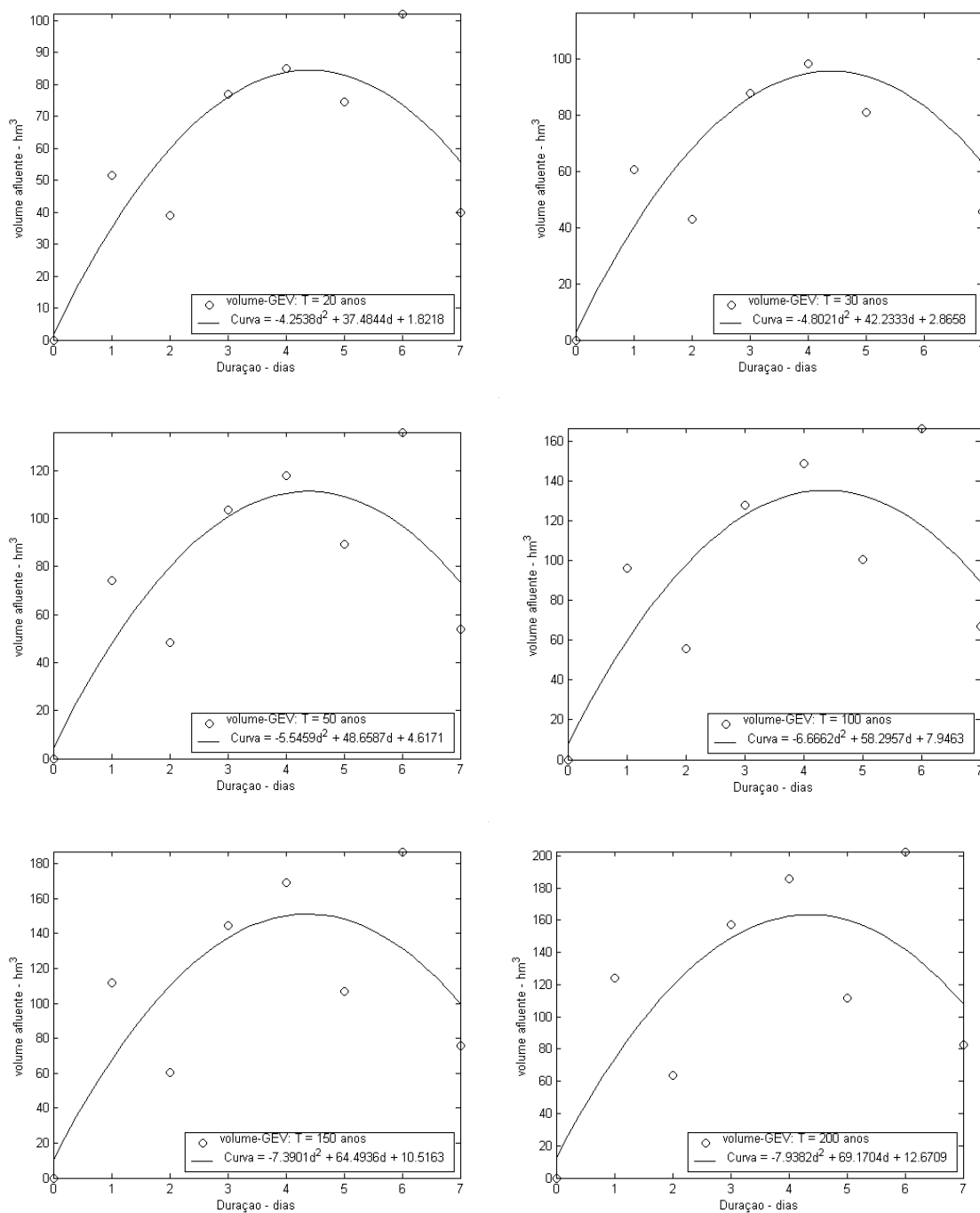


Figura 29 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 81135000.

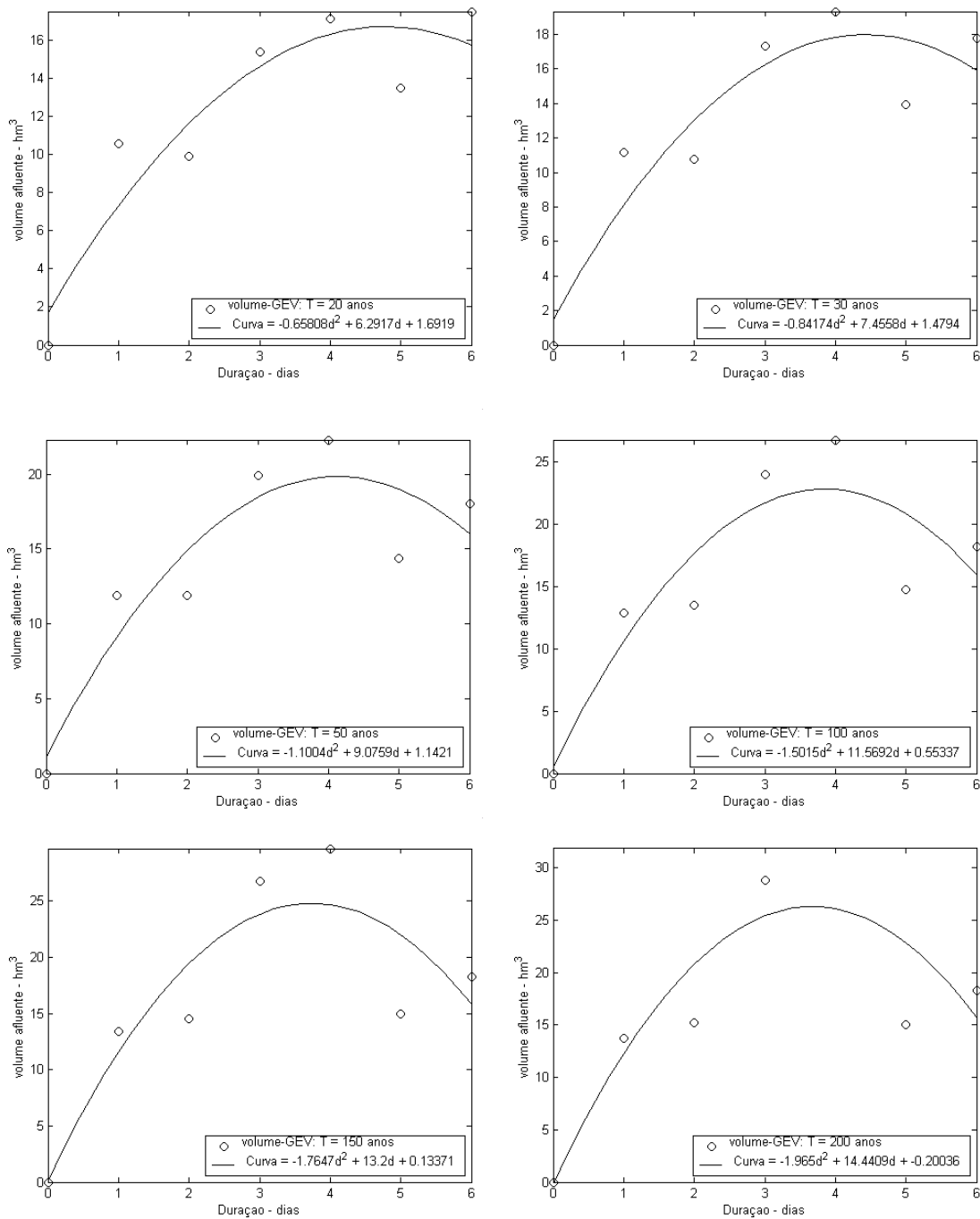


Figura 30 - Curva volume x duração ajustada aos valores de volumes afluentes máximos obtidos por meio da GEV referente à Estação 82170000.

Das curvas volume x duração apenas a referente à estação 82170000 não resultou na sua forma quadrática como especifica o método para os locais estudados, na qual obtiveram-se as curvas volume x duração na sua forma quadrática. Para estabelecer o volume de espera de determinado reservatório basta estabelecer a vazão de restrição para tal aproveitamento e a diferença máxima entre a curva volume duração e a reta referente à vazão de restrição para cada duração fornece o valor do volume de espera que deve ser mantido para uma situação crítica de cheia.

5 CONCLUSÃO

Com base no estudo realizado sobre a curva volume X duração, utilizando distribuição GEV associada ao método de momentos de combinações lineares das estatísticas de ordens mais elevadas, aplicados a diferentes rios do Paraná, foi possível concluir que:

Os volumes máximos afluentes para as diferentes durações foram adequadamente ajustados através da distribuição GEV, igualmente pelos testes estatísticos Wang, Kite, Kolmog e Chi2 para um período de retorno de até 50 anos, com valores semelhantes aos ocorridos entre os resultados obtidos pelos diferentes testes. Para períodos de retorno acima de 50 anos, os resultados obtidos para diferentes períodos de retorno diferenciaram-se com incremento do mesmo. Os ajustes dos volumes afluentes por meio da GEV resultaram nas três formas assintóticas de valores extremos

O uso da distribuição GEV possibilitou estabelecer dados que, juntamente com um ajuste matemático, podem estabelecer a curva volume x duração da forma adequada.

Verificou-se que ajustando os dados obtidos pela distribuição GEV a uma função quadrática, para a construção da curva volume x duração, os resultados obtidos foram satisfatórios, porém, em alguns casos, constatou-se que este ajuste não consegue gerar a curva volume x duração de forma adequada. Assim, tem-se a necessidade de encontrar outro ajuste matemático

para esses dados que possibilite a construção da curva volume x duração de forma que esta seja melhor definida.

Os ajustes dos volumes máximos afluentes obtidos por meio da GEV permitiram ajustar a curva volume x duração na sua forma quadrática (convexa), apesar de ocorrerem as três formas de valores extremos, o que possibilita estimar o volume de espera de forma mais adequada, sem ter que recorrer a procedimentos de interpolação como tem sido feito com o uso de outros modelos estatísticos.

6 REFERÊNCIAS

ABILD, J.; ANDERSEN, E. Y.; ROSBJERG, D. The climate of extreme winds at the Great Belt of Denmark. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v.41, p.521-532, 1992.

BEIRLANT, J.; MATTHYS, G. **The generalized extreme value distribution and statistics of maxima.** Disponível em: <http://www.kuleuven.ac.be/ucs/research/publi.htm>. Acesso: 30 abr. 2001.

BRABSON, B. B.; PALUTIKOF, J. P. Tests of the generalized Pareto distribution for predicting extreme wind speeds. **Journal of Applied Meteorology**, v.39, p.1627-1640, 2000.

CASTILLO, E. **Extreme value theory in engineering.** San Diego: Academic Press, 1988.

M. A. A.; ANDRADE, M. G; CARNEIRO, A.A.F.M. **Comparação de Diferentes Metodologias Aplicadas ao Controle de Cheias.** LATIN-AMERICAN CONGRESS. 5, 2003. Electricity Generation e Transmission. São Pedro-SP. 2003.

CHOWDHURY, J. U.; STEDINGER, J. R.; LU, L. H. Goodness of fit for regional generalized extreme value flood distribution. **Water Resources Research**, v.27, p.1765-1776, 1991.

FILHO, K. Z.; PORTO, R. L. L. Amortecimento de ondas de cheia em reservatório – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1998.

FISHER, R. A.; TIPPETT, L. H. C. Limiting forms of the frequency distributions of the largest or smallest member of a sample. **Proceedings of the Cambridge Philosophical Society**, v.24, p.180-190, 1928.

GNEDENKO, B. V. Sur la distribution limite du terme maximum d'une série aléatoire. **Annales des Mathématiques**, v.44, p.423-453, 1943.

GRIGORIU, M. Estimates of extreme wind from short records. **Journal of Structural Engineering**, v.110, p.1467-1483, 1984.

GUSELLA, V. Estimation of extreme winds from short-term records. **Journal of Structural Engineering**, v.117, p.375-390, 1991.

JENKINSON, A. F. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.81, p.158-171, Apr. 1955.

KÜCHENHOFF, H; THAMERUS, M. Extreme value analysis of Munich air pollution data. **Environmental and Ecological Statistics**, v.3, p.127-141, 1996.

HOSKING, J. R. M. Algorithm AS 215: Maximum-likelihood estimation of the parameters of the generalized extreme-value distribution. **Journal of the Royal Statistical Society. Applied Statistics** , v.34, p.301-310, 1985.

LETTENMAIER, D. P.; WALLIS, J. R.; WOOD, E. F. Effect of regional heterogeneity on flood frequency estimation. **Water Resources Research**, v.23, p.313-323, 1987.

LINSLEY, R. K.; FRANZINI J. B. **Engenharia de recursos hídricos**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.

LONGIN, F. M. From value at risk to stress testing: the extreme value approach. **Journal of Banking & Finance** , v.24, p.1097-1130, 2000.

MACLEOD, A. J. AS 276 – A remark on algorithm AS 215: Maximum-likelihood estimation of the parameters of the generalized extreme-value distribution. **Journal of the Royal Statistical Society**. v.38, p.198-199, 1989.

MADSEN, H.; PEARSON, C.P.; ROSBJERG, D. Comparison of annual maximum series and partial duration serie methods for modeling hydrologic events. **Water Resources Research**, v.33, p.759-770, 1997.

MARTINS, E. S.; STEDINGER, J. R. Generalized maximum-likelihood generalized extremevalue quantile estimators for hydrologic data. **Water Resources Research**, v. 36, p. 737-744, 2000.

MEDICI, E. V.; et al. Teoria dos valores extremos: uma aplicação ao meio ambiente. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE PROBABILIDADE E ESTATÍSTICA, 14., Caxambu, 2000. **Resumos**. Caxambu: Associação Brasileira de Estatística, 2000. p.315-316.

OTTEN, A.; MONTFORT, A.J. Maximum-likelihood estimation of the general extreme-value distribution parameters. **Journal of Hydrology**, v. 47, p.187-192, 1980.

PIEGORSCH, W. W.; SMITH, E. P.; EDWARDS, D.; et al. Statistical advances in environmental science. **Statistical Science** , v.13, p.186-208, 1998.

PRESCOTT, P.; WALDEN, A. T. Maximum likelihood estimation of the parameters of the generalized extreme value distribution. **Biometrika**, v. 67, p.723-724, 1980.

PRESCOTT, P.; WALDEN, A. T. Maximum likelihood estimation of the parameters of the generalized extreme value distribution from censored

samples. **Journal of Statistical Computation and Simulation**, v. 6, p. 241-250, 1983.

QUEIROZ, M. M. F.; SAMPAIO, S. C.; GOMES, B. M. Ajuste de vazões extremas através da distribuição GEV e momentos de combinações lineares das estatísticas de ordens. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA REGIÃO SUL-AGUASUL - Uso sustentável dos recursos Hídricos: tecnologia, gestão e educação, 1, 2005. **Anais...** Santa Maria-RS: UFSM, 2005. 1 CD-ROM.

QUEIROZ, M. M. F.; SAMPAIO, S. C.; GOMES, Benedito Martins . Análise de vazões extremas segundo distribuição generalizada e momentos de combinações lineares das estatísticas de ordens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - A Inserção da Engenharia Agrícola em Projetos Nacionais, 23, 2004, São Pedro-SP. **Anais...** Jaboticabal : SBEA, 2004. v. 1. p. 1-5. 1 CD-ROM.

QUEIROZ, M. M. F.; DEMITO, A.; CARLI, E. Modelação das séries de cheias anuais de rios do Paraná através da distribuição generalizada de valores extremos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, 2003, Goiânia-GO. **Anais...** CONBEA. Jaboticabal- SP : SBEA, 2003. 1 CD-ROM.

QUEIROZ, M. M. F. de ; CHAUDHRY, F. H. Ajuste de vazões via distribuição GEV e momentos LH em matlab. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - Desafios à gestão da água no limiar do século XXI, 15, 2003, Curitiba-PR. **Anais...**Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 1 CD-ROM.

QUEIROZ, M. M. F.; DEMITO, A.; WEIBER, W. Análise de vazões extremas de Rios do Paraná através da distribuição GEV e momentos LH. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS - Desafios à gestão da água no

limiar do século XXI, 15, 2003, Curitiba - PR. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 1 CD-ROM.

RAYNAL, J. A.; Sobre el uso del dominio de atracción para la identificación de valores extremos para máximos. **Ingeniería Hidráulica en México**, v. 12, p. 57-62, 1997.

ROSS, W. H. A peaks over threshold analysis of extreme wind speeds. **Canadian Journal of Statistic**, v.15, p.328-335, 1987.

SIMIU, E.; FILLIBEN, J. Probability distribution of extreme wind speeds. **Journal of Structural Engineering**, v. 102, p. 1861-1877, 1976.

SHARMA, P.; KHARE, M.; CHAKRABARTI, S. P. Application of extreme value theory for predicting violations of air quality standards for an urban road intersection. **Transportation Research**, v. 23, p.133-139, 1999.

SMITH, R. L. Maximum likelihood estimation in a class of nonregular cases. **Biometrika**, v.72, p.67-92, 1985.

THAS, O. et al. Extreme value statistics: potencial benefits in water quality management. **Water Science Technology**, v.36, p.133-140, 1997.

OLIVEIRA, J. T. Statistical choice of univariate extreme models. **Statistical Distributions in Scientific Work**, v.6, p.367-387, 1981.

VAN MONTFORT/MONFORT, M. A. J. On testing that the distribution of extreme is type I when type II is the alternative. **Journal of Hydrology**, v.11, p.421-427, 1978.

WALLIS, J. R.; WOOD, E. F. Relative accuracy of log Pearson III procedures. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.111, p.1043-1056, 1985.

WALSHAW, D. Getting the most from your extreme wind data: a step by step guide. **Journal Resource of National Standard Technology**, v. 99, p. 399-411, 1994.

APÊNDICES

APÊNDICE

1.1. Ajuste das Séries de Volumes Máximos Afluentes

Com base nos dados de vazões diárias, obteve-se o dados das séries de volumes máximos afluentes para os diferentes dias de duração, através destes dados foi realizado o ajuste utilizando a distribuição GEV associada ao método dos momentos LH.

1.1.1. Estação Andirá (64370000)

Através dos ajustes obtidos para esta estação, verificou-se que a duração máxima de cheias existentes foi de 8 dias, assim foram obtidos ajustes para as diferentes durações, juntamente com sua projeção de volumes para diferentes períodos de retorno como mostram as Figuras 15.1.1.1 a 15.1.1.8.

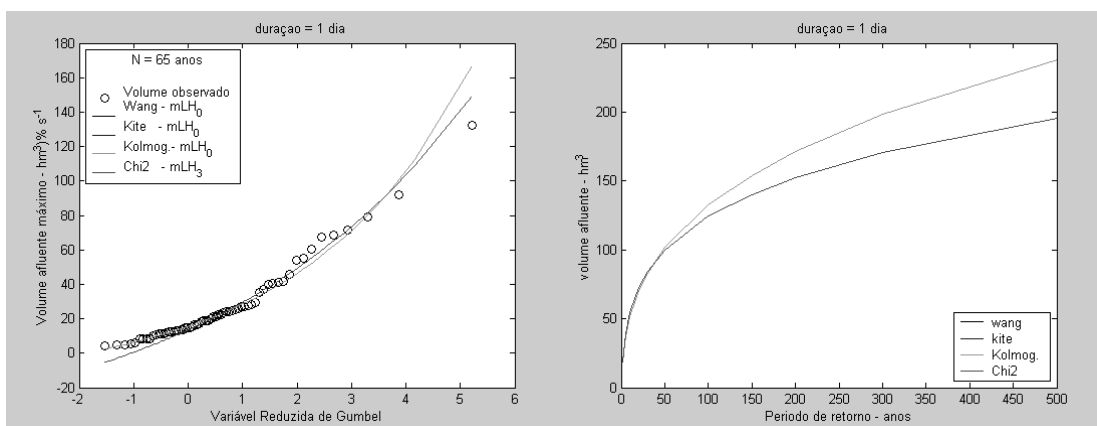


FIGURA 15.1.1.1 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 1 dia e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

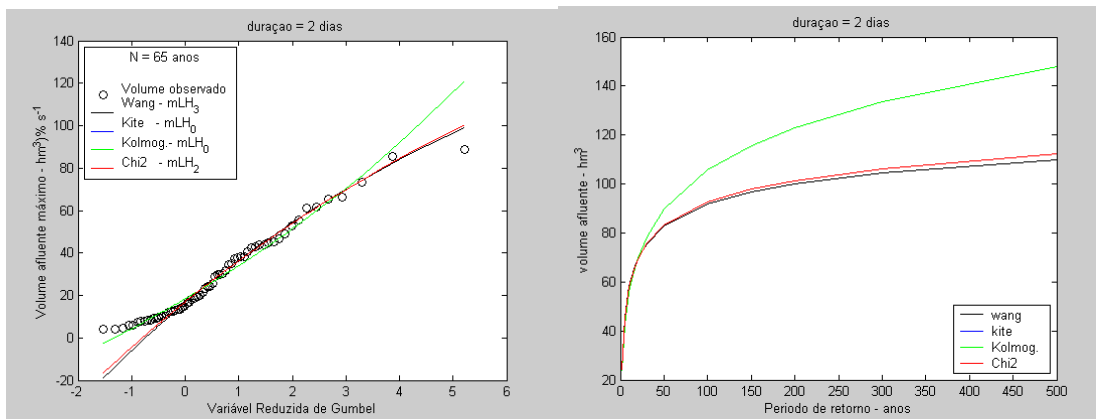


FIGURA 15.1.1.2 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 2 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

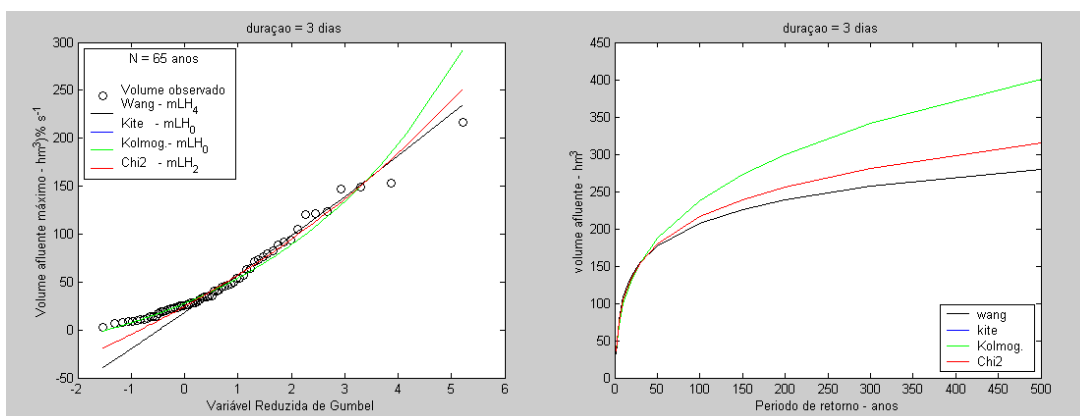


FIGURA 15.1.1.3 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 3 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

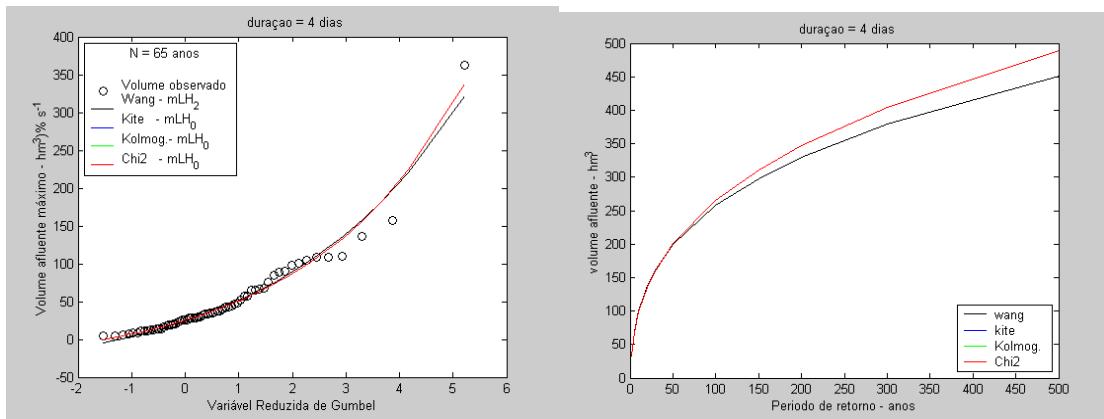


FIGURA 15.1.1.4 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

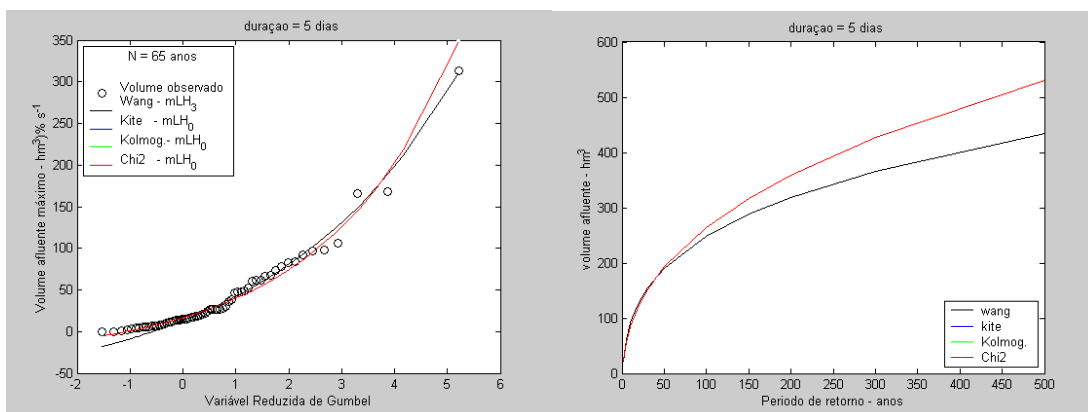


FIGURA 15.1.1.5 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 5 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

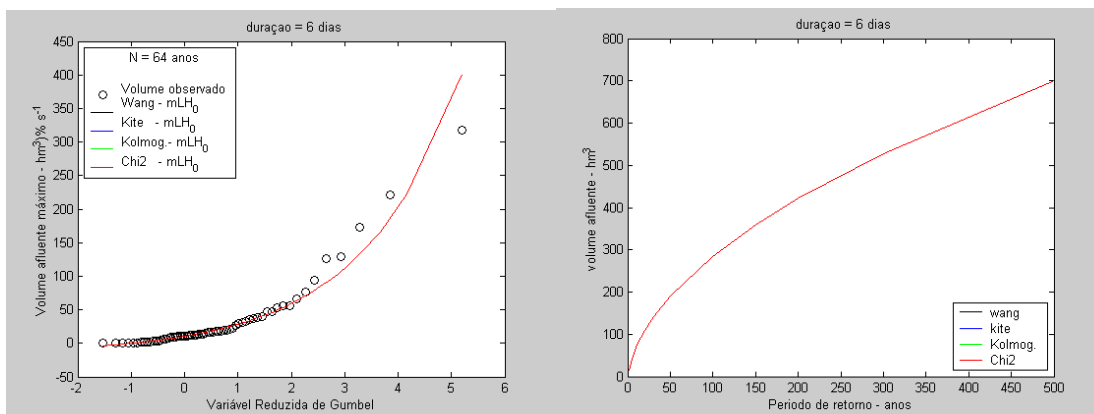


FIGURA 15.1.1.6 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 6 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

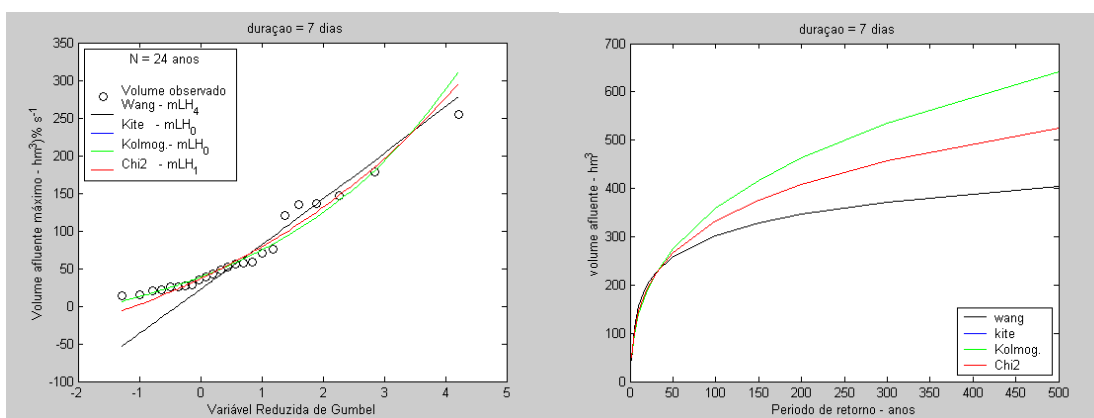


FIGURA 15.1.1.7 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 7 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

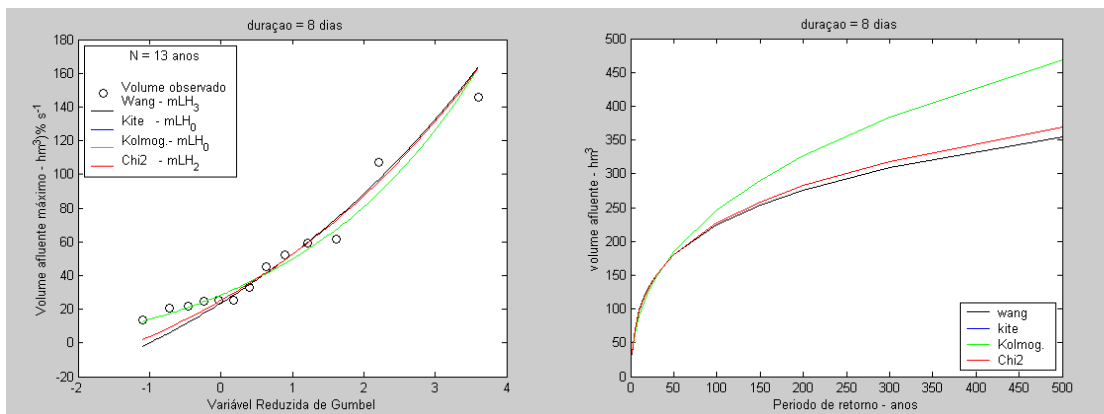


FIGURA 15.1.1.8 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 8 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

1.1.2. Estação Porto Santa Terezinha (64390000)

Através dos ajustes obtidos para esta estação, verificou-se que a duração máxima de cheias existentes foi de 7 dias, assim foram obtidos ajustes para as diferentes durações juntamente com sua projeção de volumes para diferentes períodos de retorno como mostram as Figuras 15.1.2.1 a 15.1.2.7.

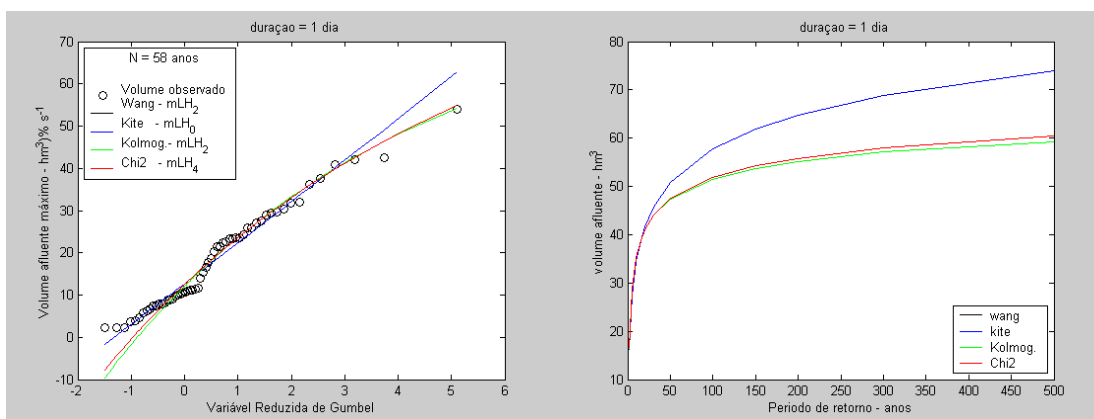


FIGURA 15.1.2.1 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 1 dia e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

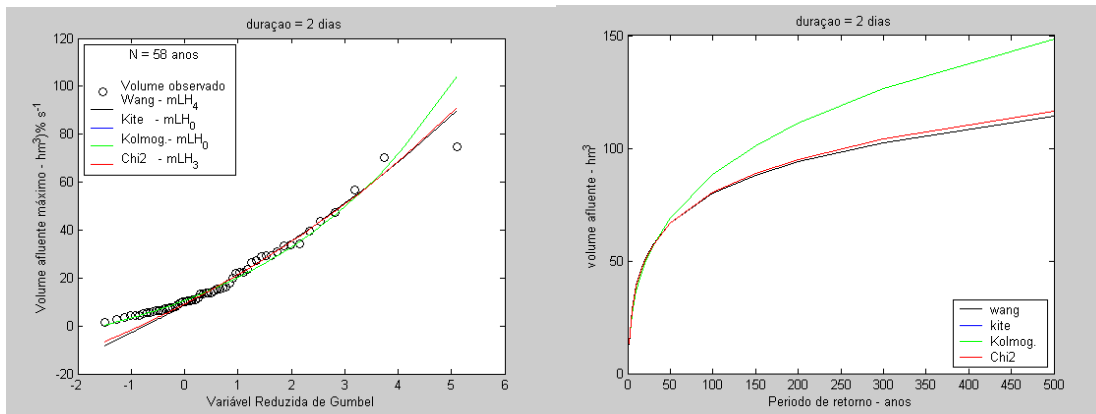


FIGURA 15.1.2.2 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 2 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

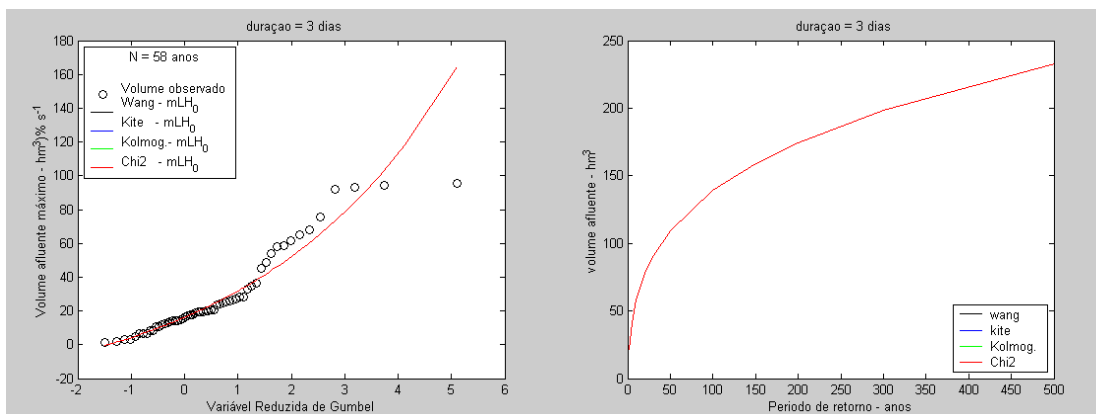


FIGURA 15.1.2.3 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 3 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

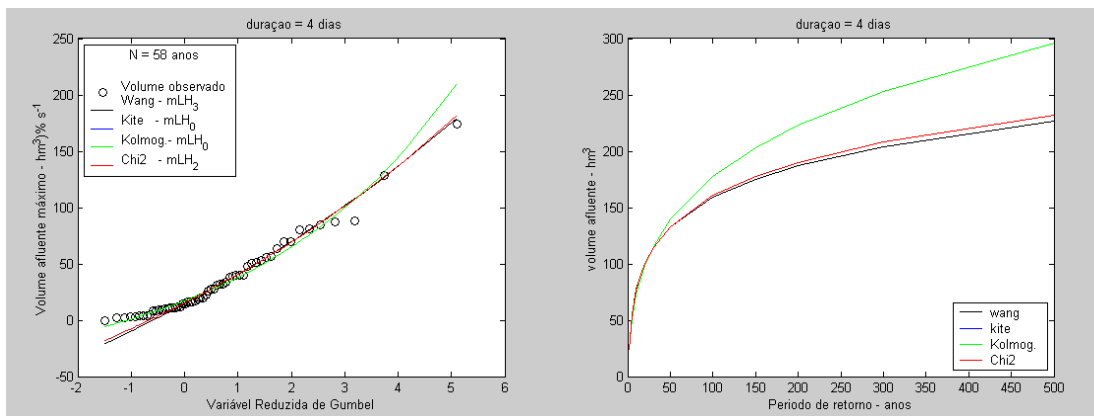


FIGURA 15.1.2.4 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

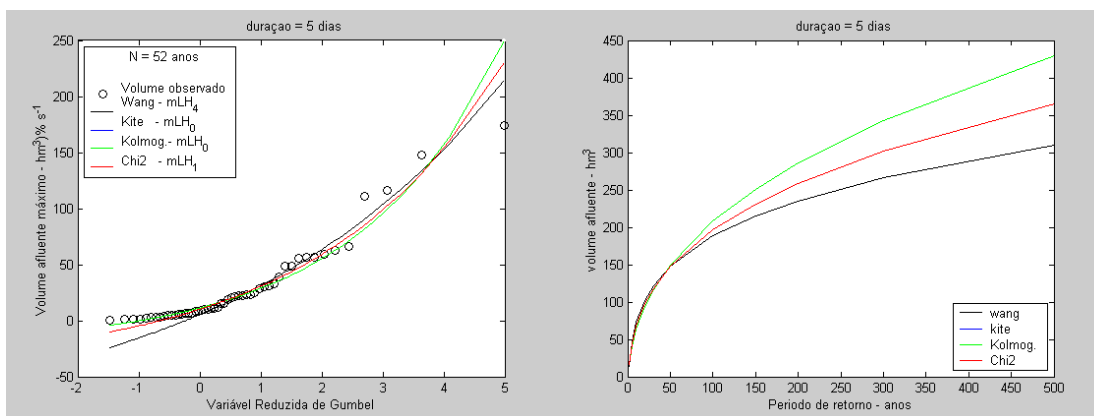


FIGURA 15.1.2.5 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 5 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

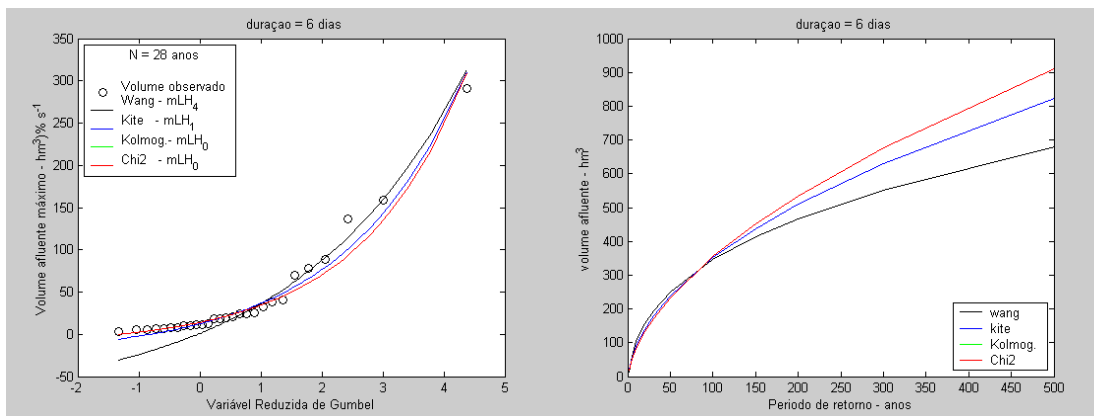


FIGURA 15.1.2.6 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 6 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

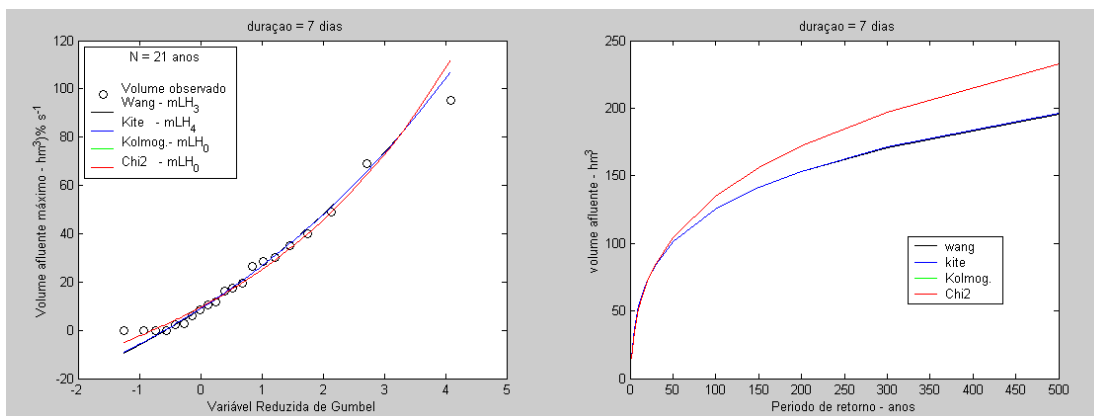


FIGURA 15.1.2.7 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 7 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

1.1.3. Estação Tibagi (64465000)

Através dos ajustes obtidos para esta estação, verificou-se que a duração máxima de cheias existentes foram de 8 dias, assim foram obtidos ajustes para

as diferentes durações juntamente com sua projeção de volumes para diferentes períodos de retorno como mostram as Figuras 15.1.3.1 a 15.1.3.8.

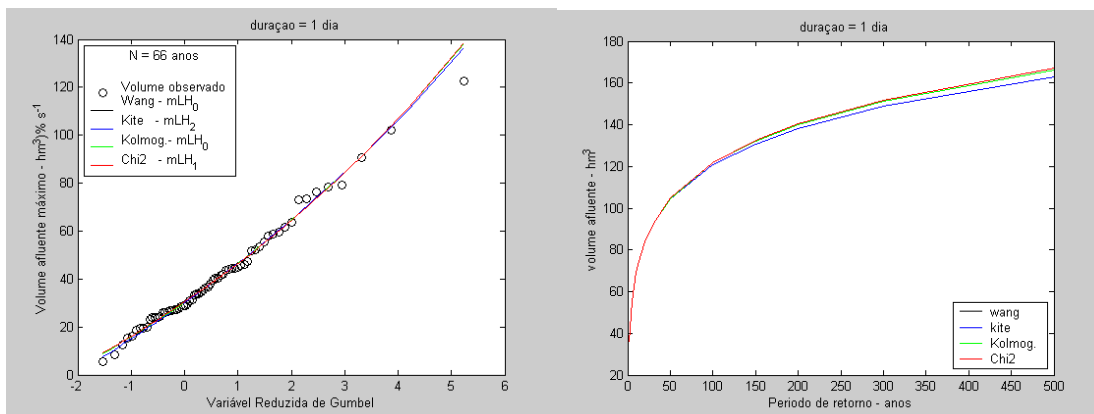


FIGURA 15.1.3.1 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 1 dia e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

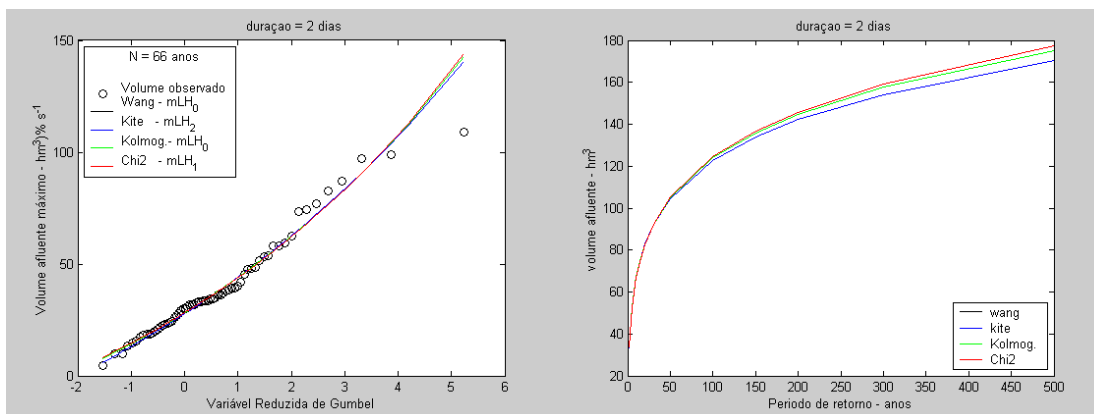


FIGURA 15.1.3.2 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 2 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

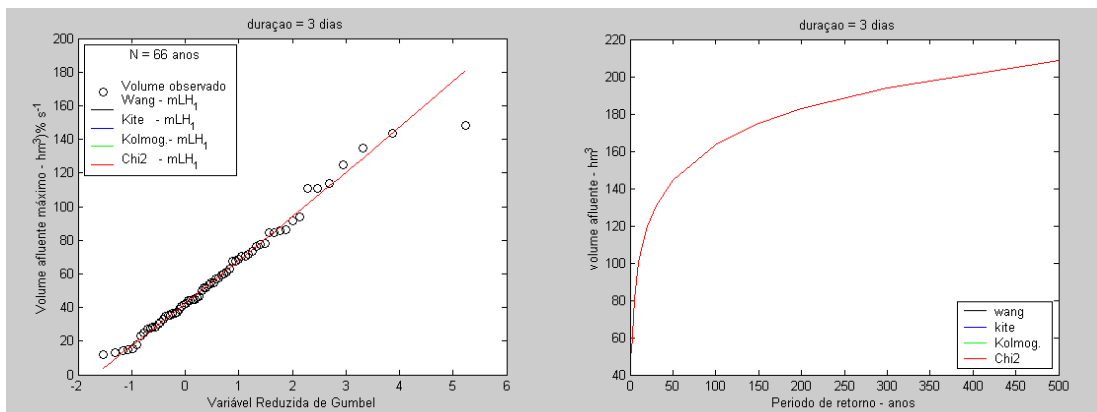


FIGURA 15.1.3.3 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 3 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

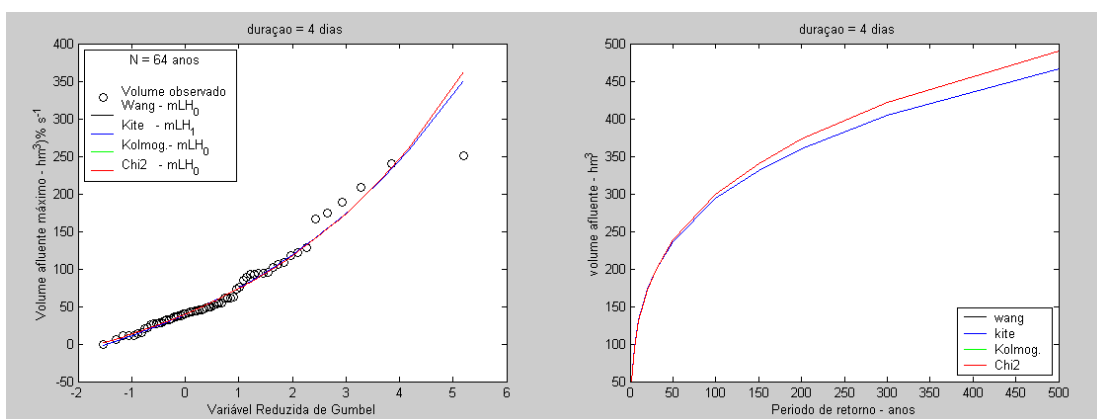


FIGURA 15.1.3.4 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

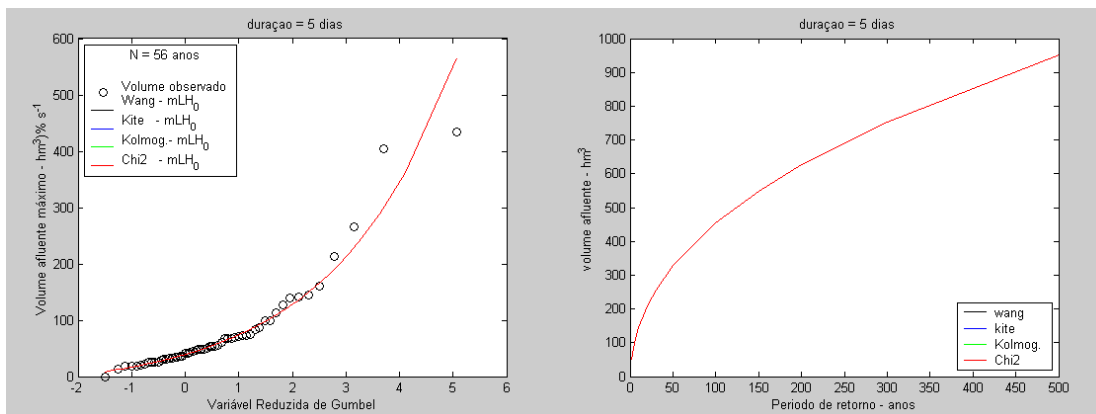


FIGURA 15.1.3.5 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 5 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

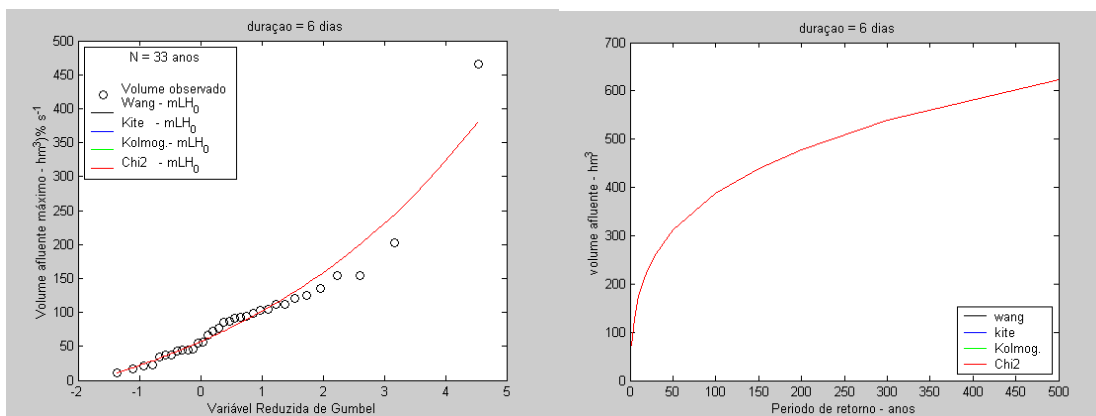


FIGURA 15.1.3.6 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 6 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

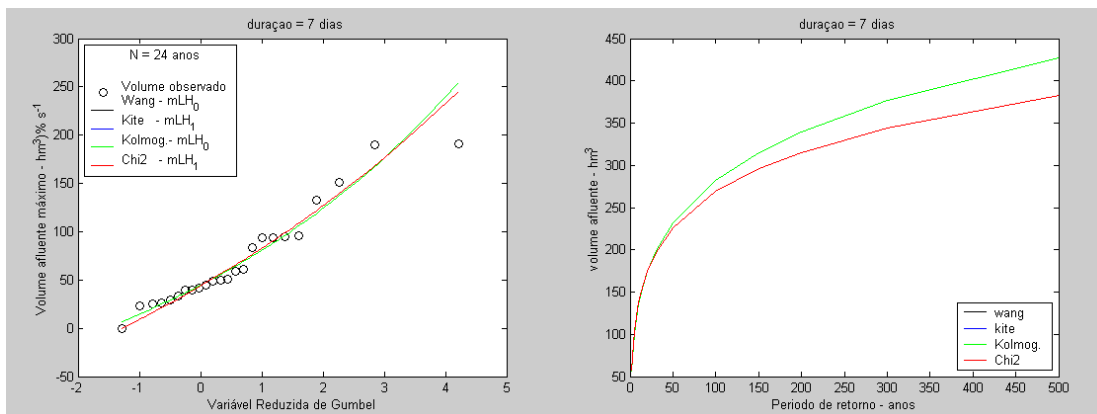


FIGURA 15.1.3.7 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 7 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

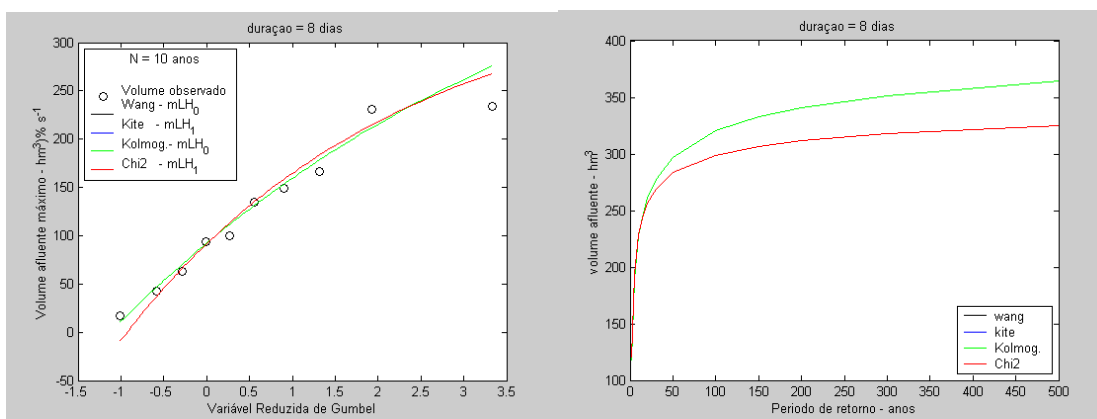


FIGURA 15.1.3.8 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 8 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

1.1.4. Estação Jataizinho (64507000)

Através dos ajustes obtidos para esta estação, verificou-se que a duração máxima de cheias existentes foram de 8 dias, assim foram obtidos ajustes para as diferentes durações juntamente com sua projeção de volumes para diferentes períodos de retorno como mostram as Figuras 15.1.4.1 a 15.1.4.8.

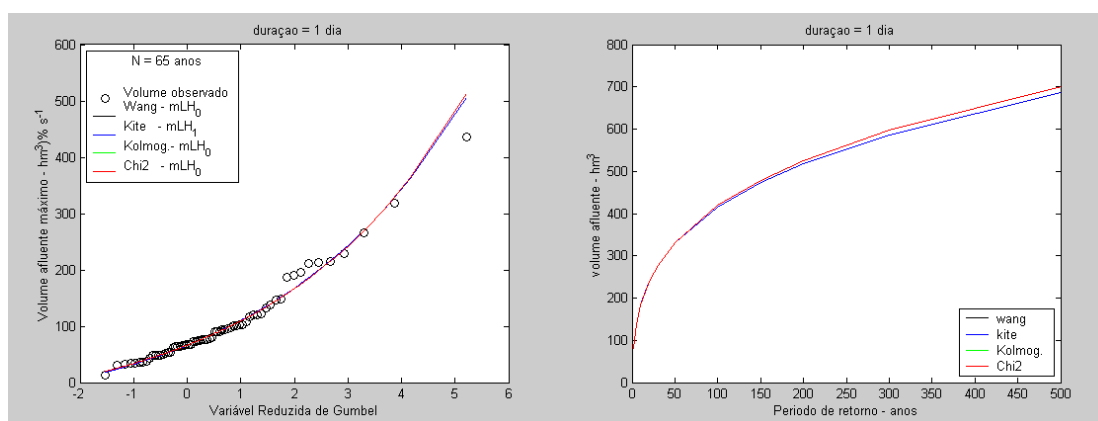


FIGURA 15.1.4.1 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 1 dia e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

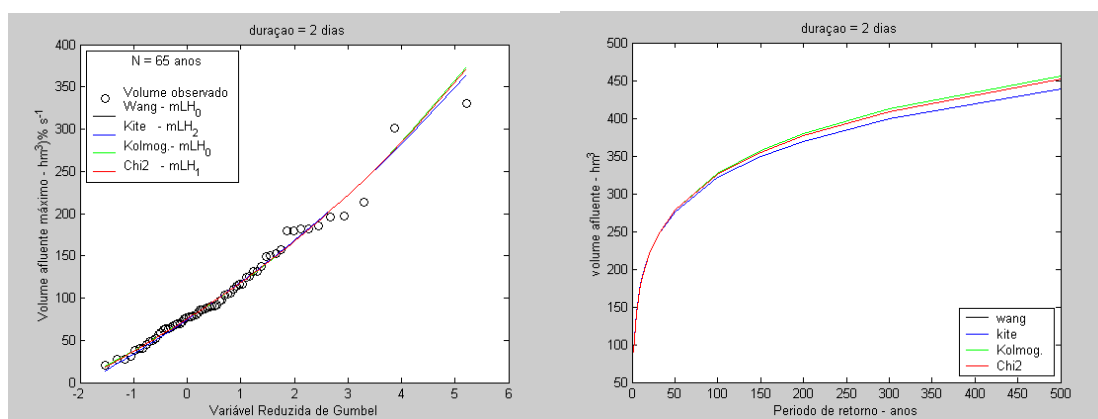


FIGURA 15.1.4.2 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 2 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

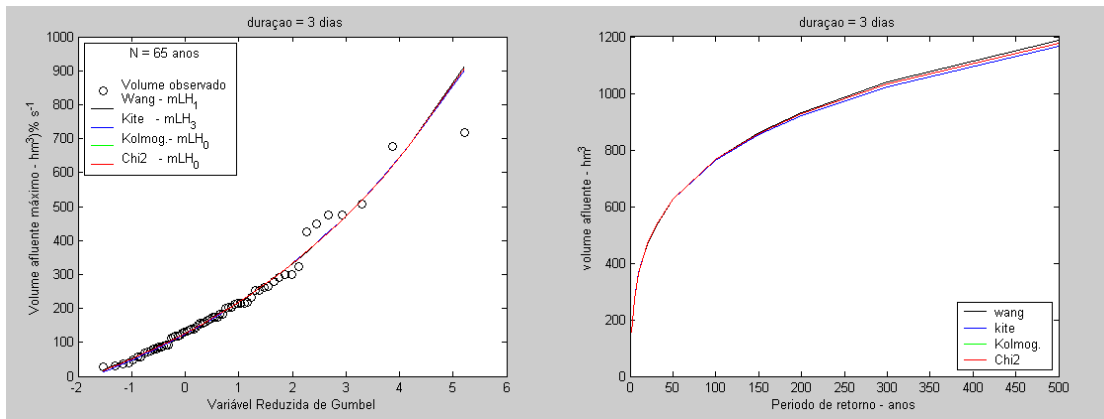


FIGURA 15.1.4.3 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 3 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

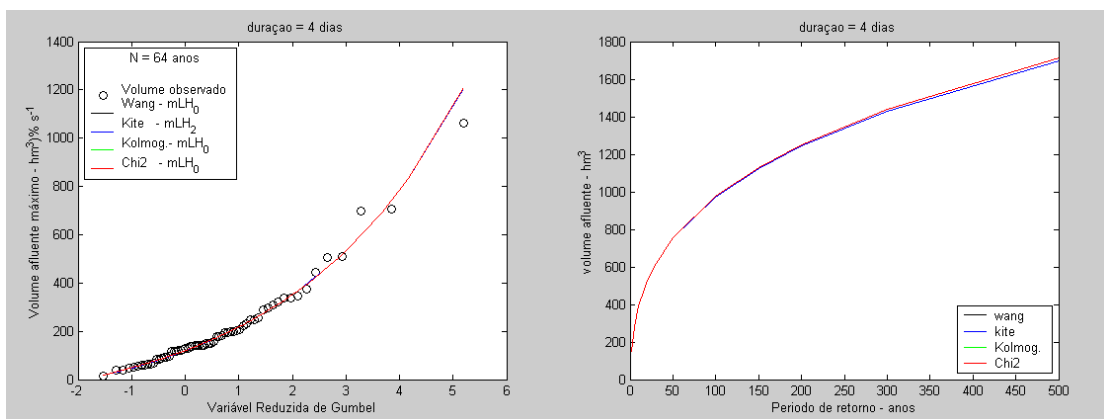


FIGURA 15.1.4.4 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

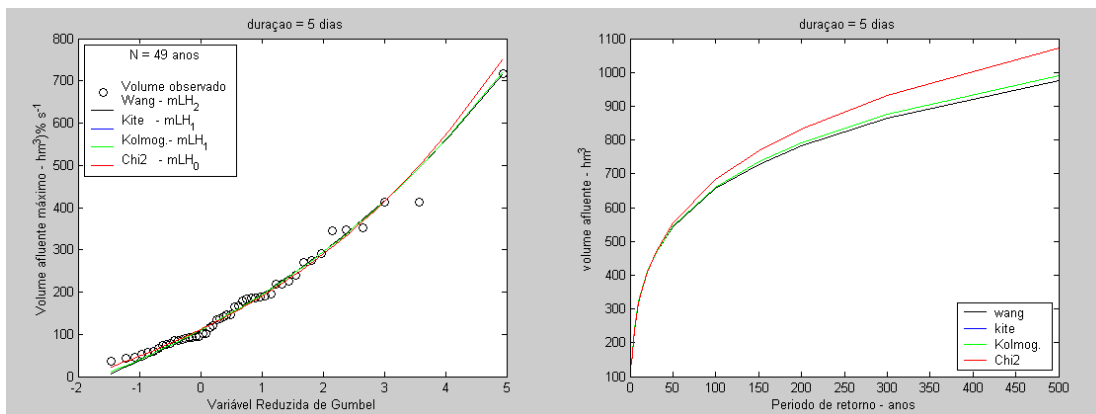


FIGURA 15.1.4.5 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 5 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

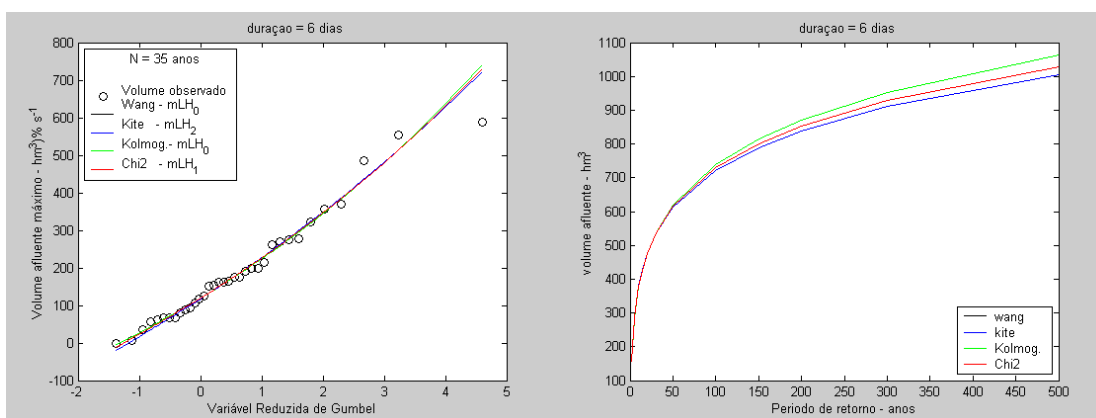


FIGURA 15.1.4.6 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 6 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

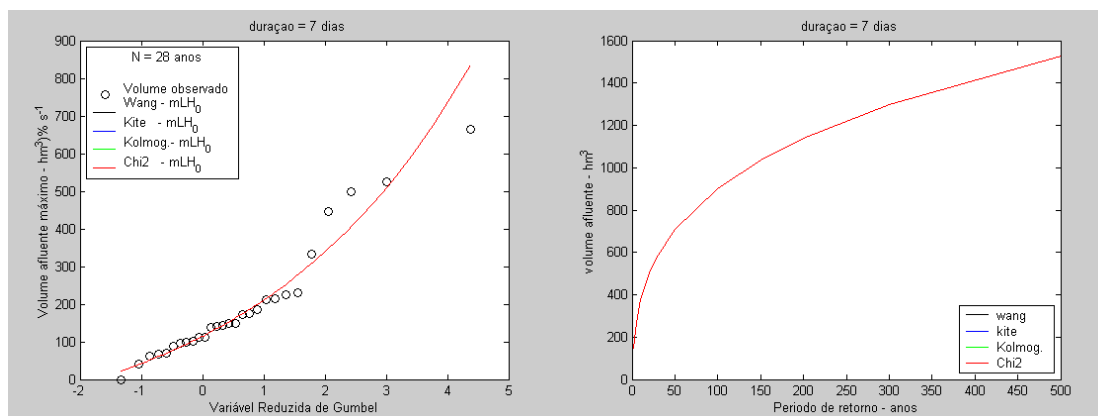


FIGURA 15.1.4.7 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 7 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

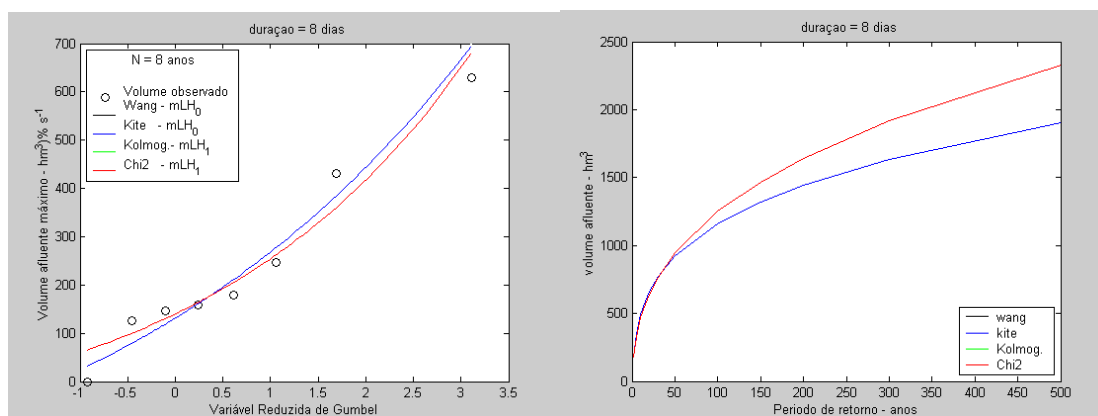


FIGURA 15.1.4.8 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 8 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

1.1.5. Estação Rio dos Patos (64620000)

Através dos ajustes obtidos para esta estação, verificou-se que a duração máxima de cheias existentes foram de 7 dias, assim foram obtidos ajustes para

as diferentes durações juntamente com sua projeção de volumes para diferentes períodos de retorno como mostram as Figuras 15.1.5.1 a 15.1.5.7.

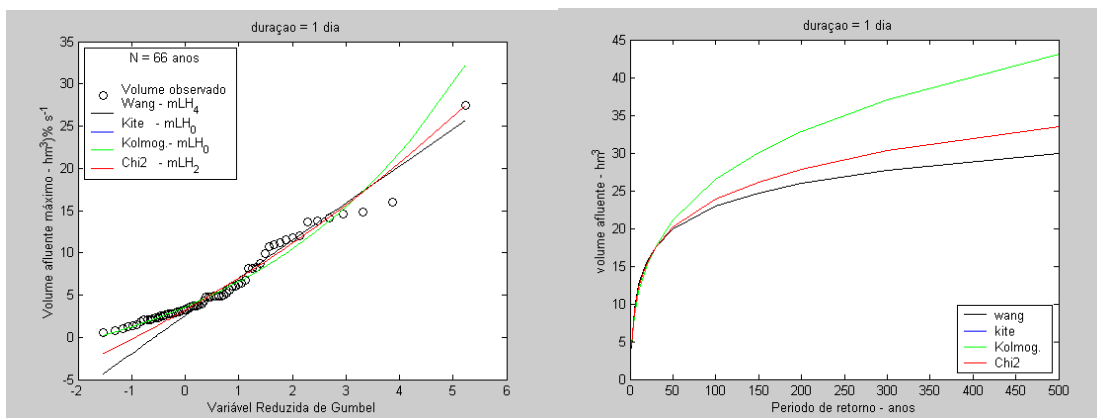


FIGURA 15.1.5.1 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 1 dia e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

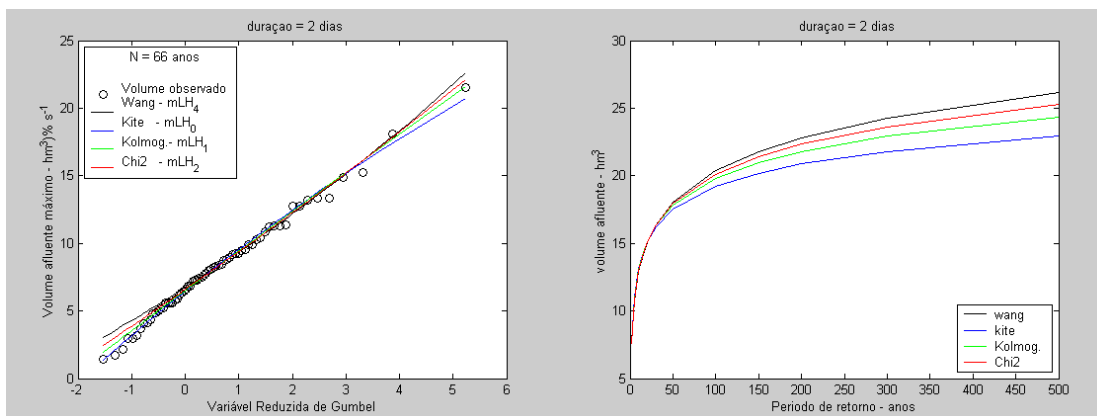


FIGURA 15.1.5.2 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 2 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

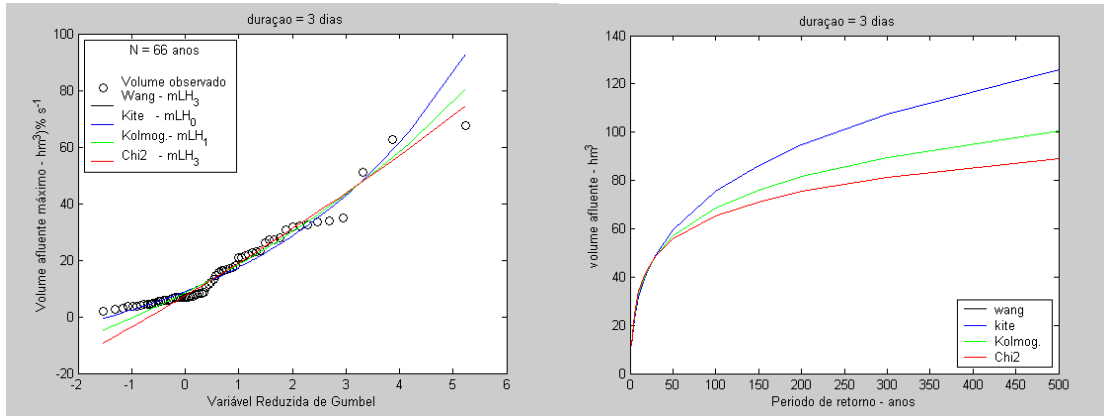


FIGURA 15.1.5.3 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 3 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

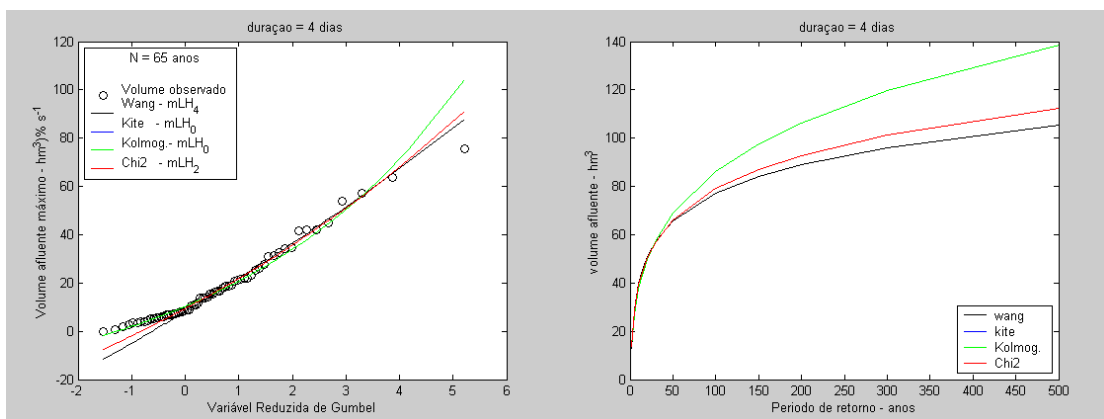


FIGURA 15.1.5.4 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

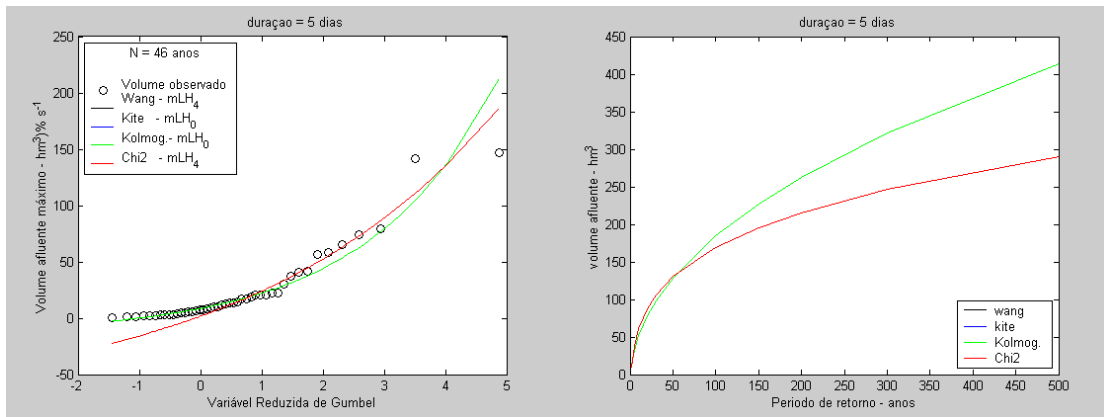


FIGURA 15.1.5.5 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 5 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

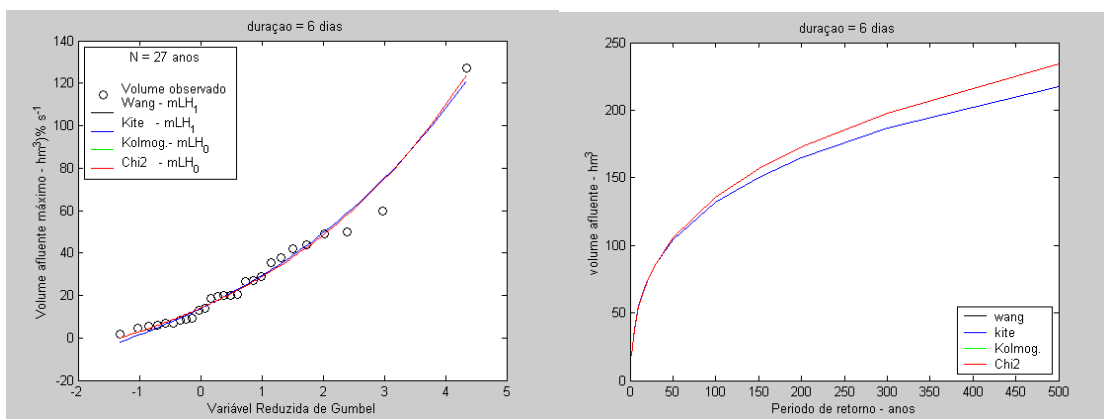


FIGURA 15.1.5.6 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 6 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

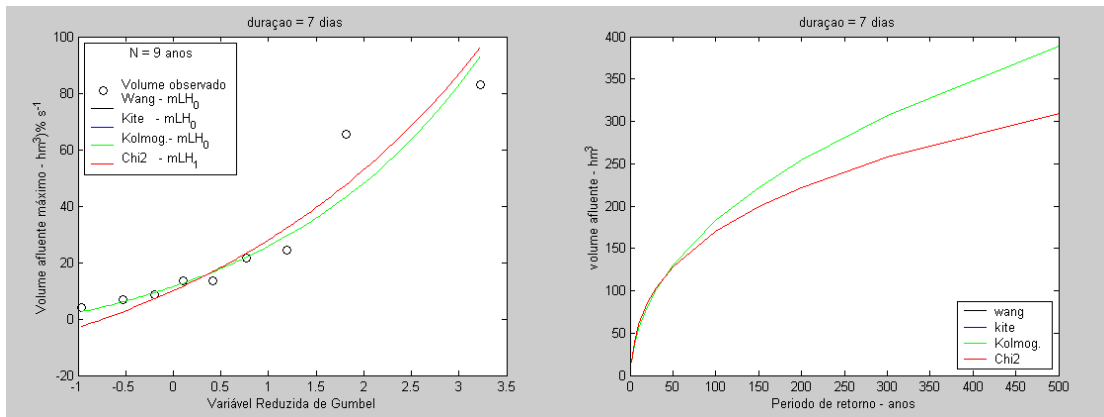


FIGURA 15.1.5.7 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 7 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

1.1.6. Estação Salto Sapucaí (64790000)

Através dos ajustes obtidos para esta estação, verificou-se que a duração máxima de cheias existentes foi de 6 dias, assim foram obtidos ajustes para as diferentes durações juntamente com sua projeção de volumes para diferentes períodos de retorno como mostram as Figuras 15.1.6.1 a 15.1.6.6.

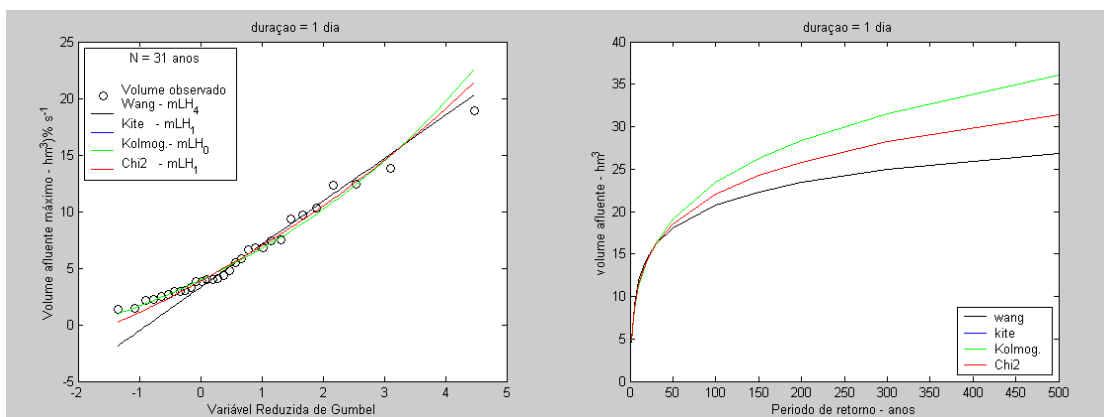


FIGURA 15.1.6.1 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 1 dia e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

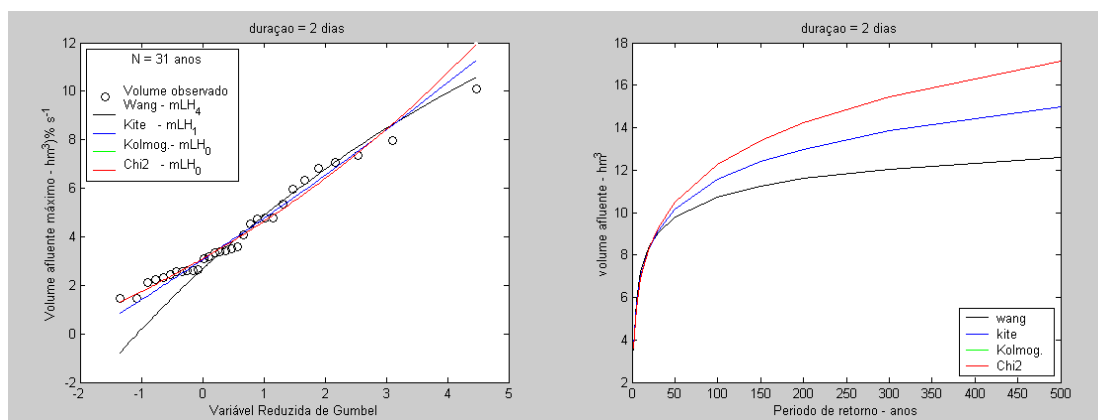


FIGURA 15.1.6.2 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 2 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

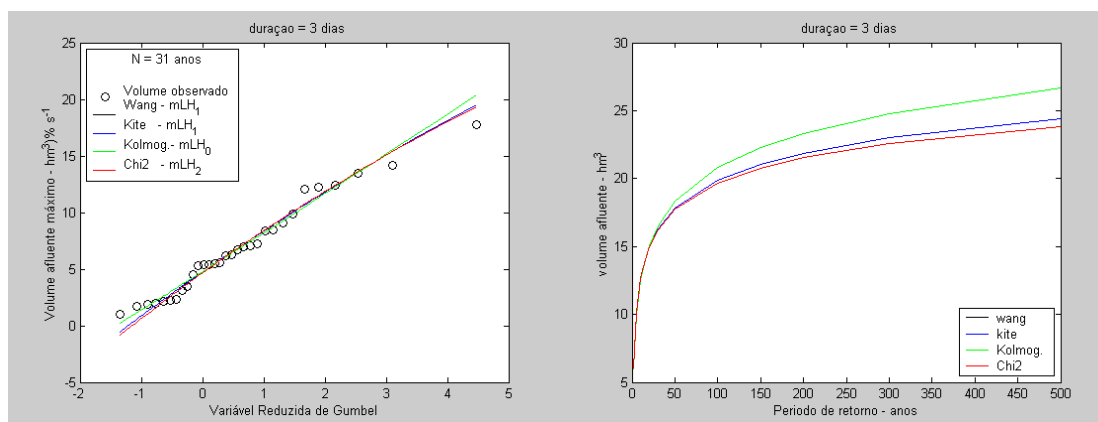


FIGURA 15.1.6.3 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 3 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

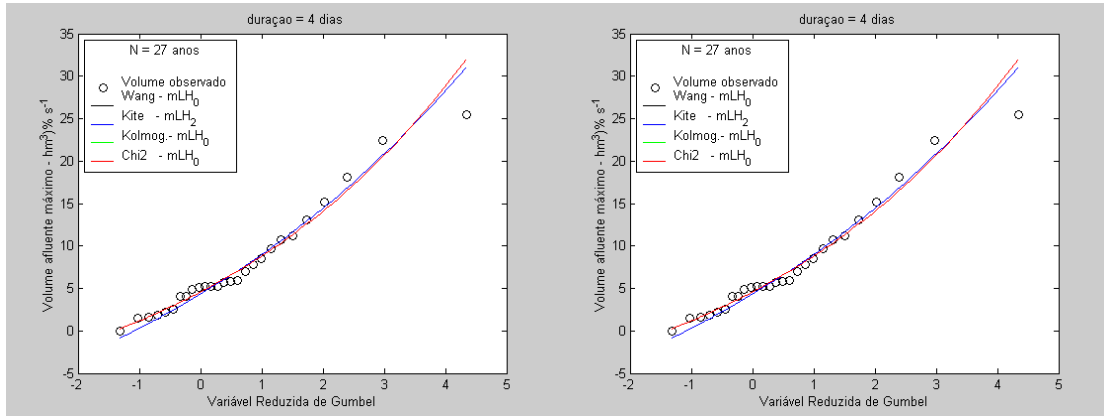


FIGURA 15.1.6.4 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

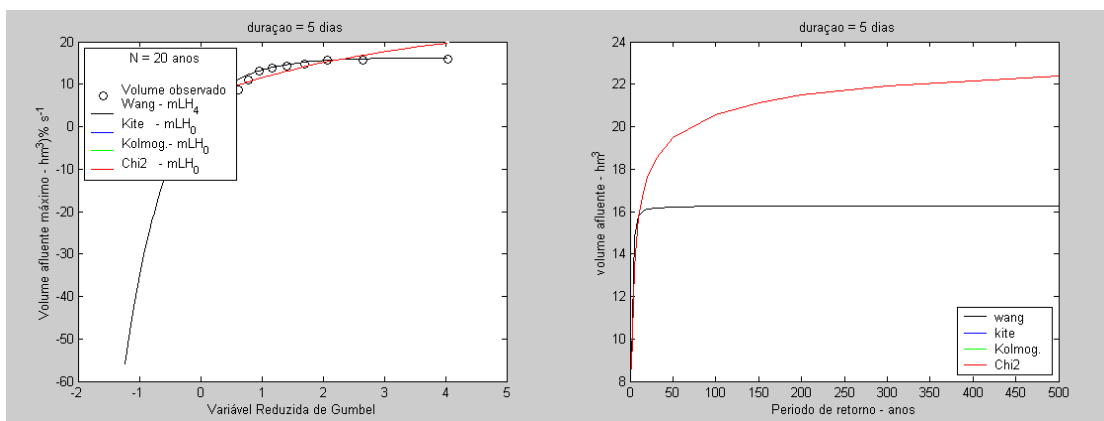


FIGURA 15.1.6.5 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 5 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

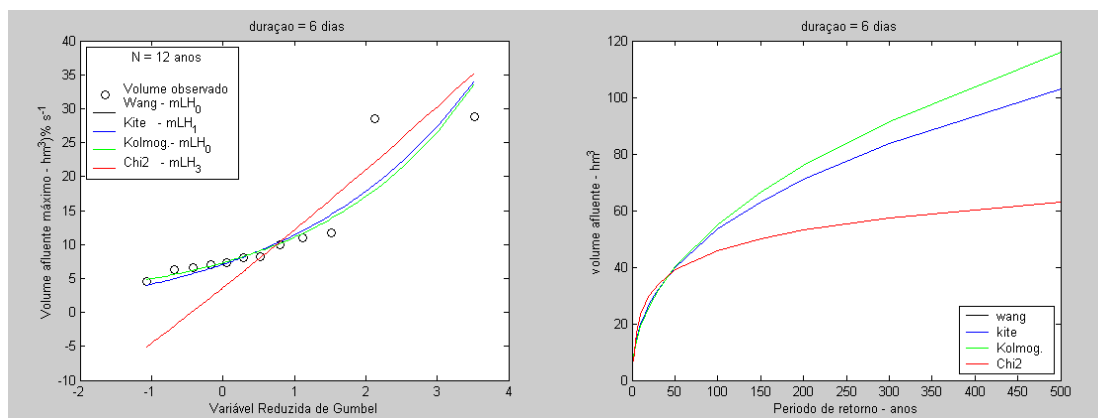


FIGURA 15.1.6.6 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 6 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

1.1.7. Estação Guaira (64843000)

Através dos ajustes obtidos para esta estação, verificou-se que a duração máxima de cheias existentes foram de 16 dias, assim foram obtidos ajustes para as diferentes durações juntamente com sua projeção de volumes para diferentes períodos de retorno como mostram as Figuras 15.1.7.1 a 15.1.7.16.

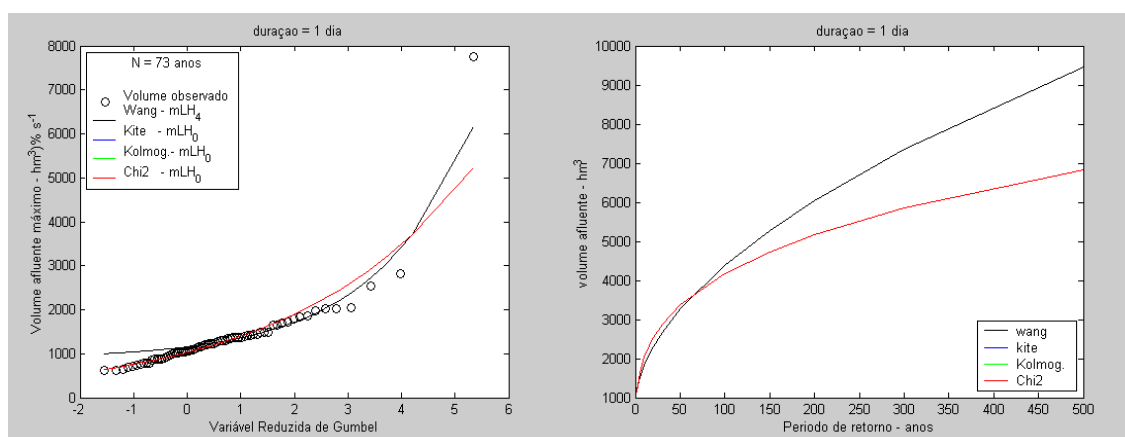


FIGURA 15.1.7.1 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 1 dia e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

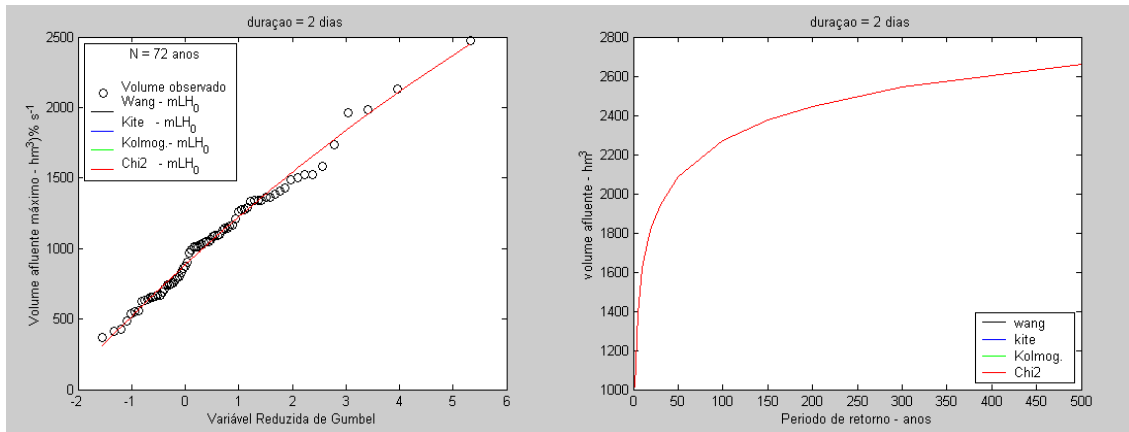


FIGURA 15.1.7.2 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 2 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

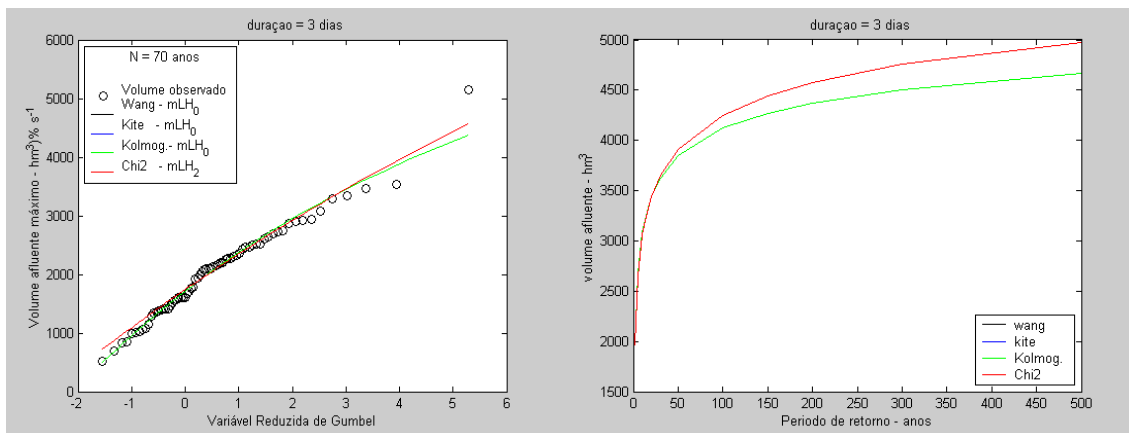


FIGURA 15.1.7.3 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 3 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

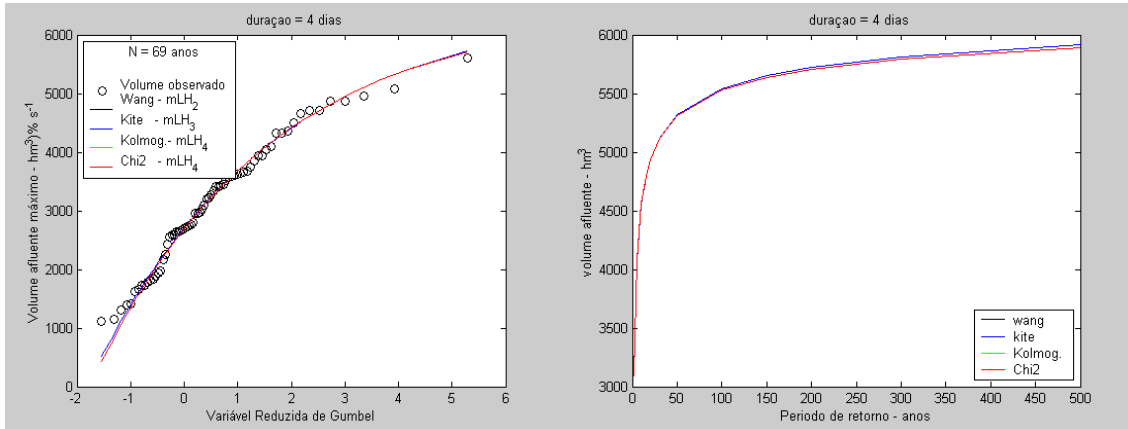


FIGURA 15.1.7.4 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

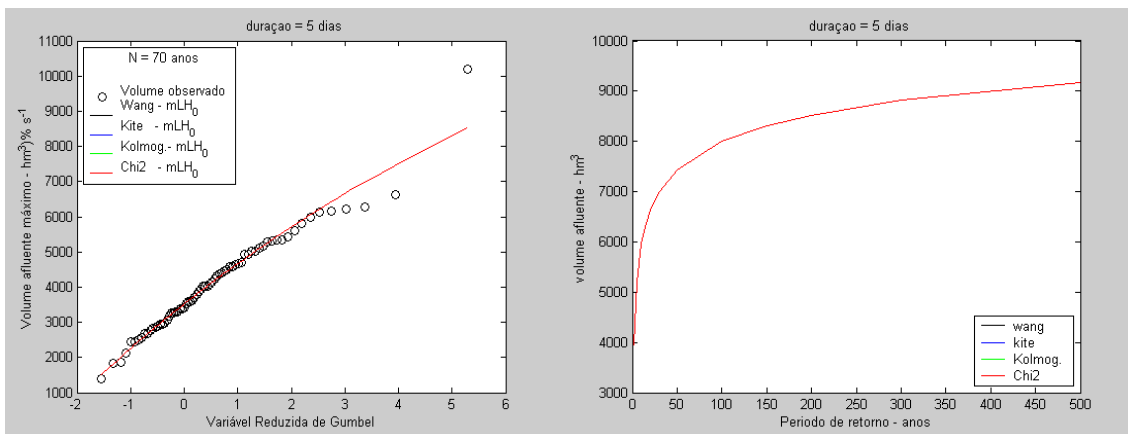


FIGURA 15.1.7.5 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 5 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

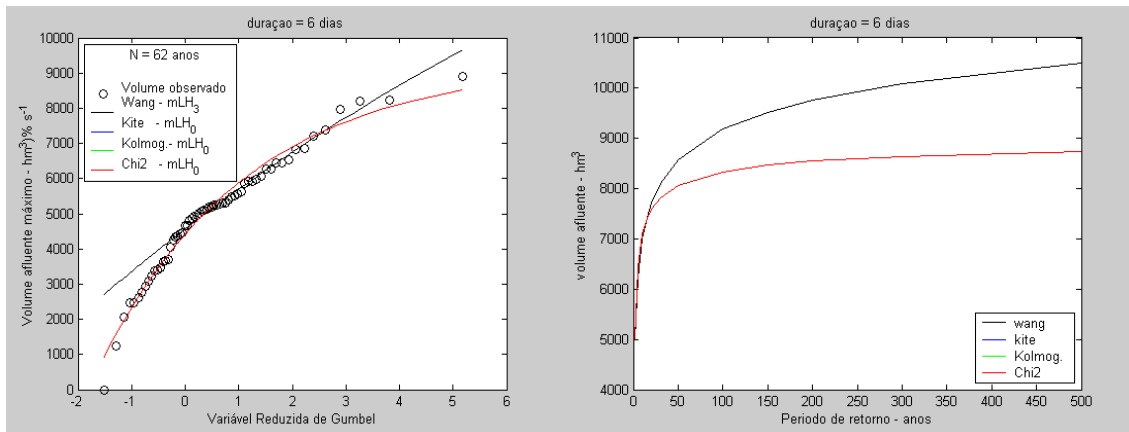


FIGURA 15.1.7.6 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 6 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

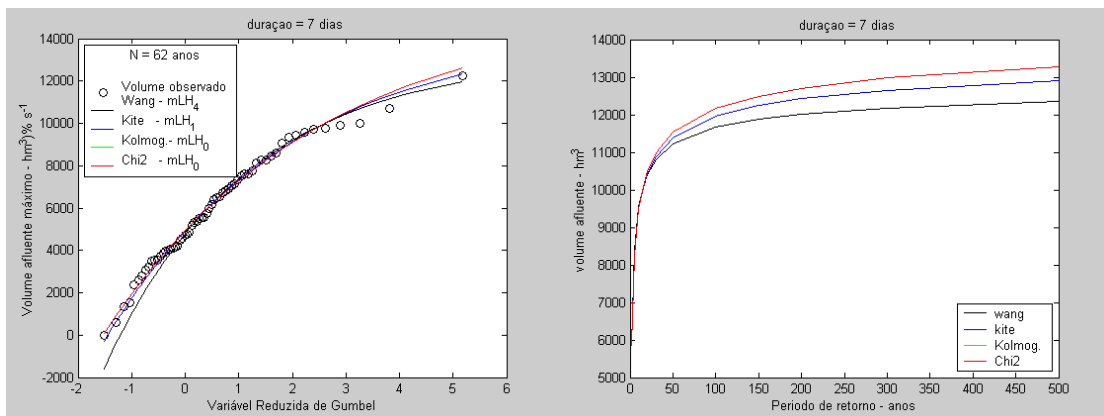


FIGURA 15.1.7.7 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 7 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

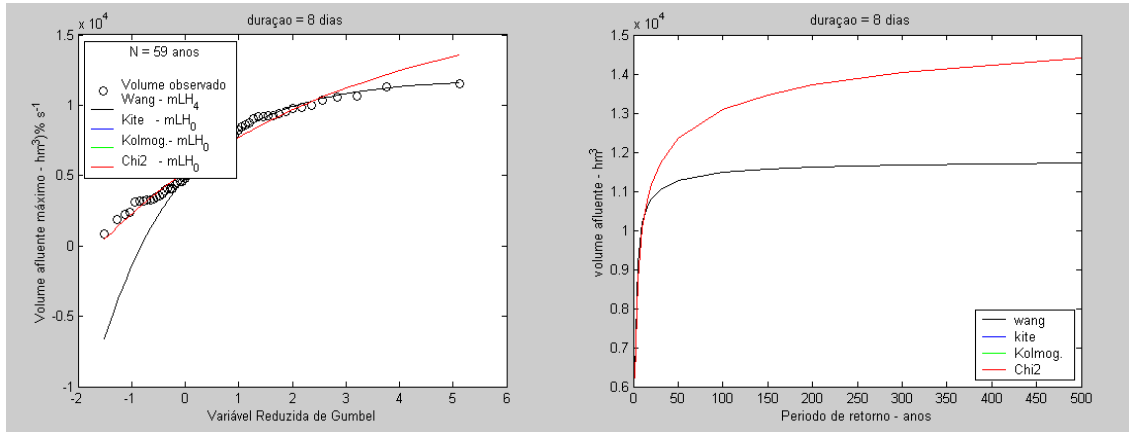


FIGURA 15.1.7.8 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 8 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

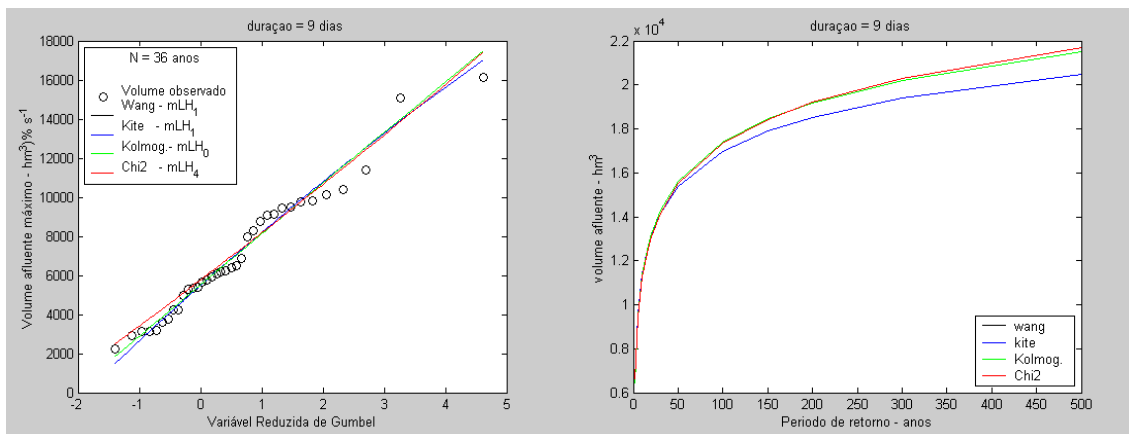


FIGURA 15.1.7.9 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 9 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

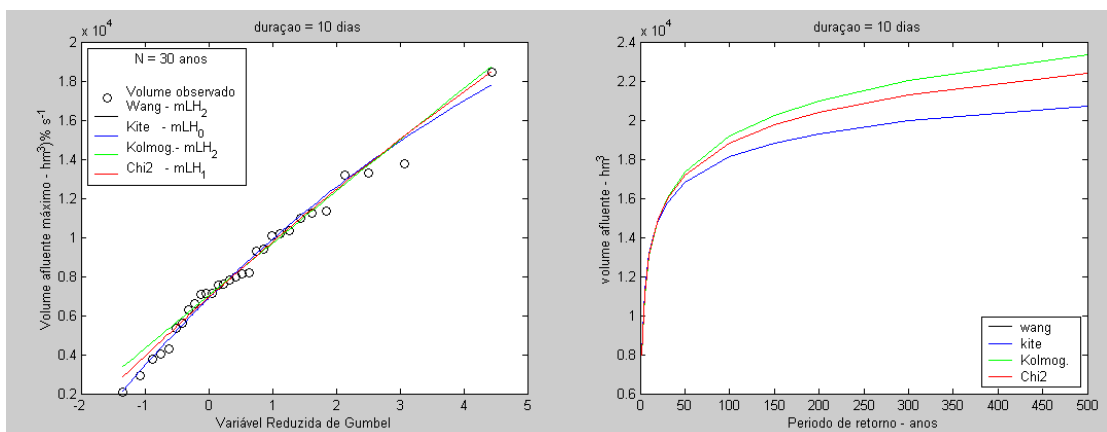


FIGURA 15.1.7.10 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 10 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

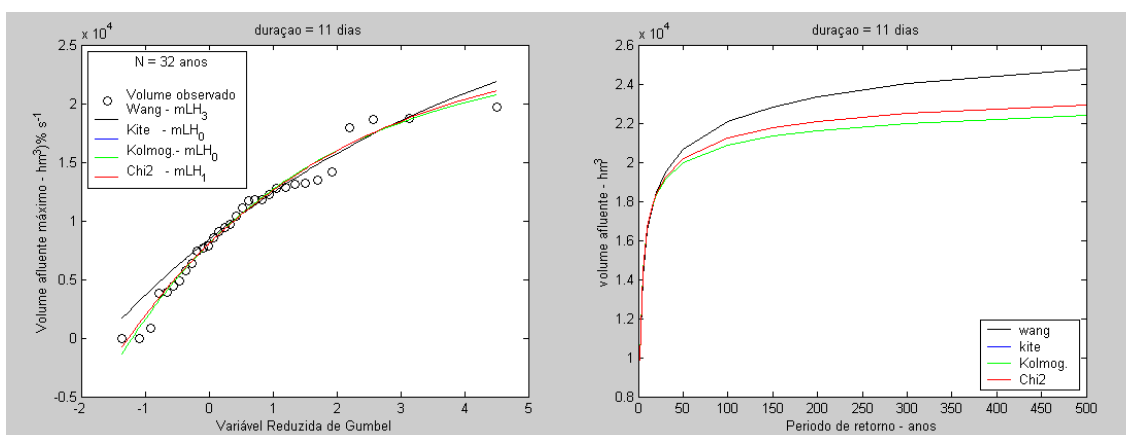


FIGURA 15.1.7.11 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 11 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

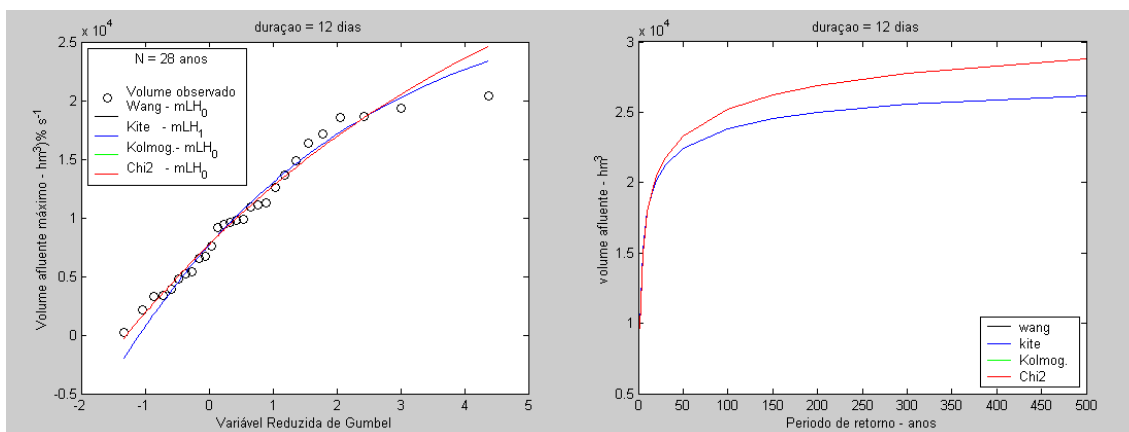


FIGURA 15.1.7.12 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 12 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

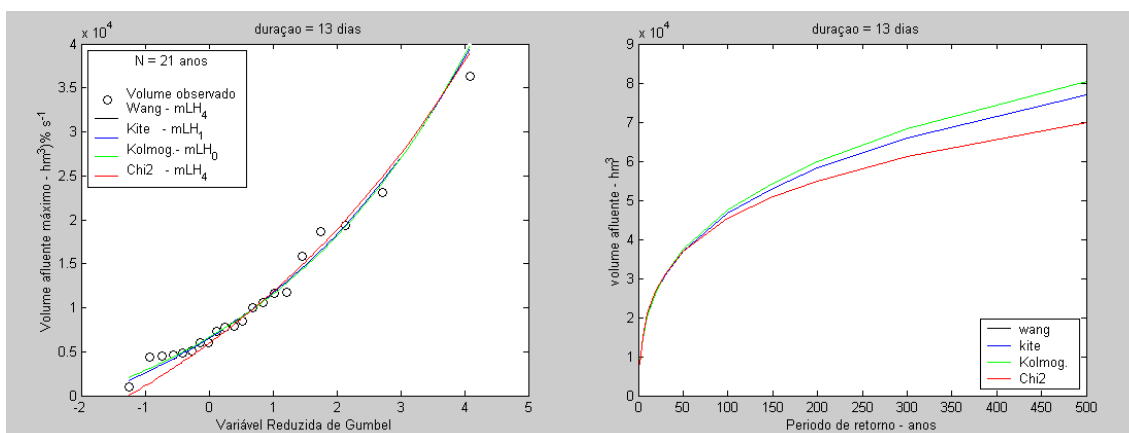


FIGURA 15.1.7.13 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 13 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

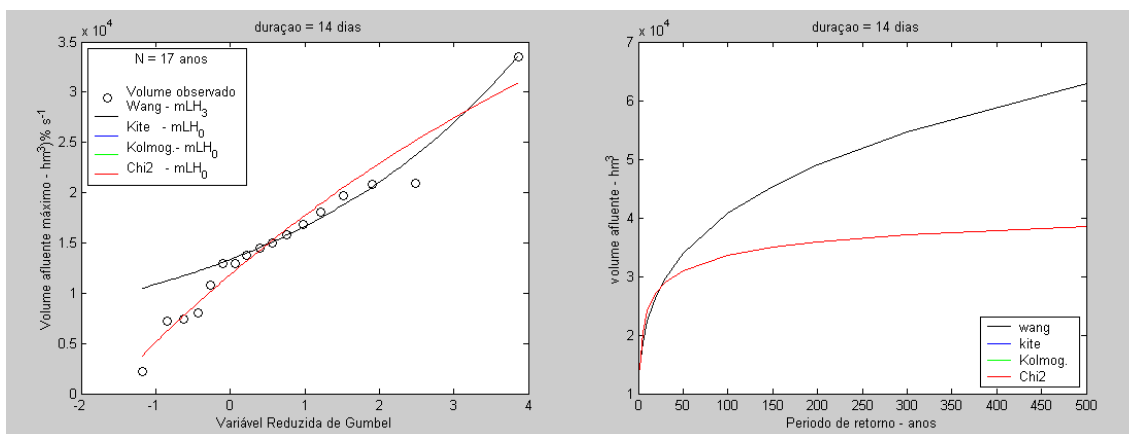


FIGURA 15.1.7.14 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 14 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

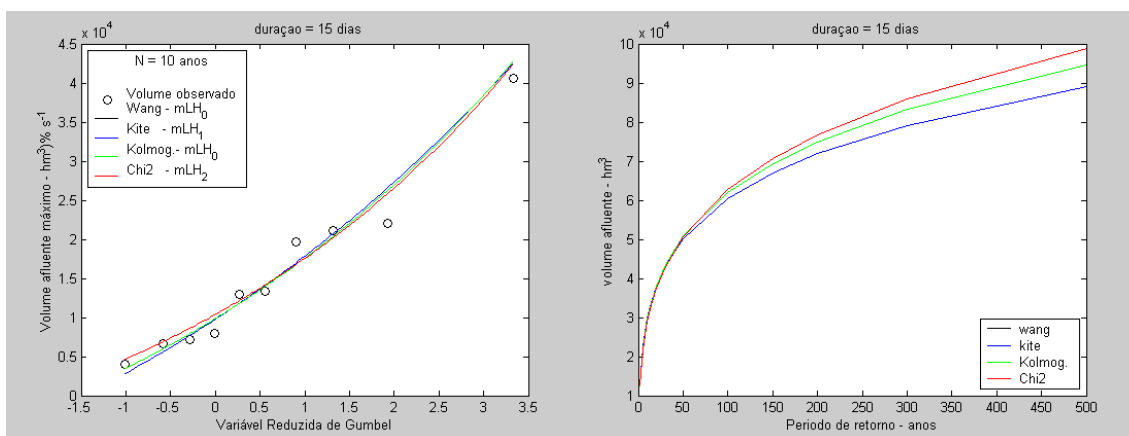


FIGURA 15.1.7.15 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 15 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

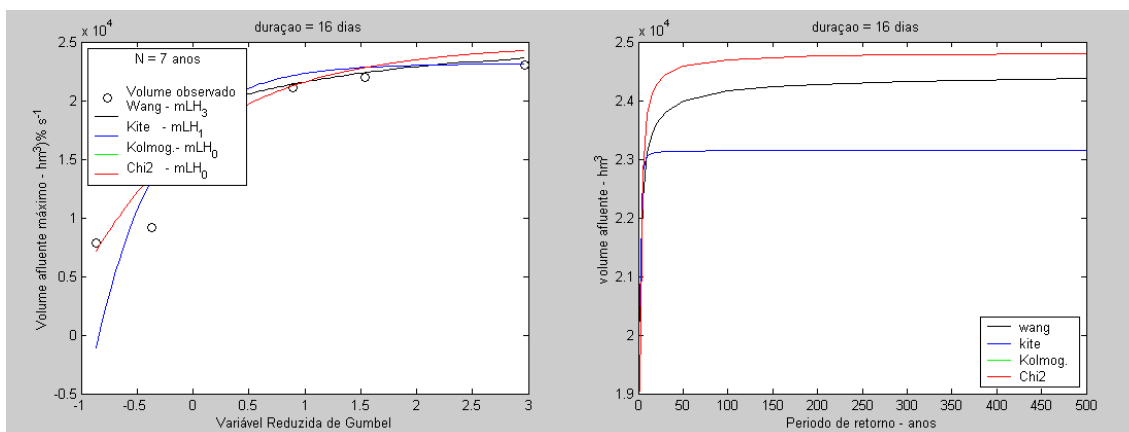


FIGURA 15.1.7.16 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 16 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

1.1.8. Estação Porto Amazonas (65035000)

Através dos ajustes obtidos para esta estação, verificou-se que a duração máxima de cheias existentes foi de 9 dias, assim foram obtidos ajustes para as diferentes durações juntamente com sua projeção de volumes para diferentes períodos de retorno como mostram as Figuras 15.1.8.1 a 15.1.8.9.

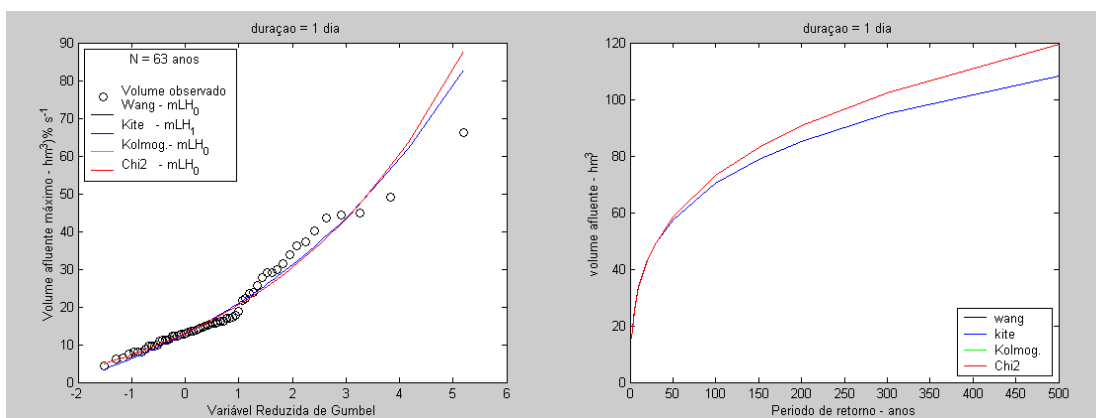


FIGURA 15.1.8.1 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 1 dia e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

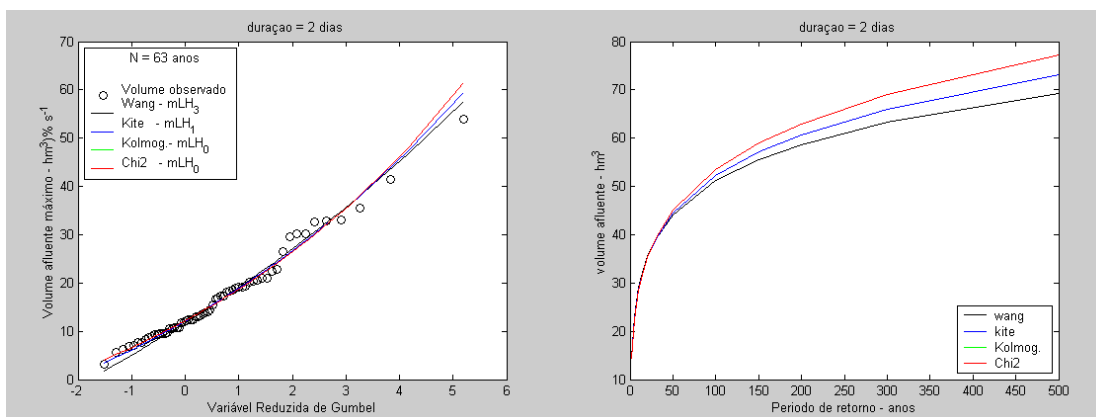


FIGURA 15.1.8.2 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 2 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

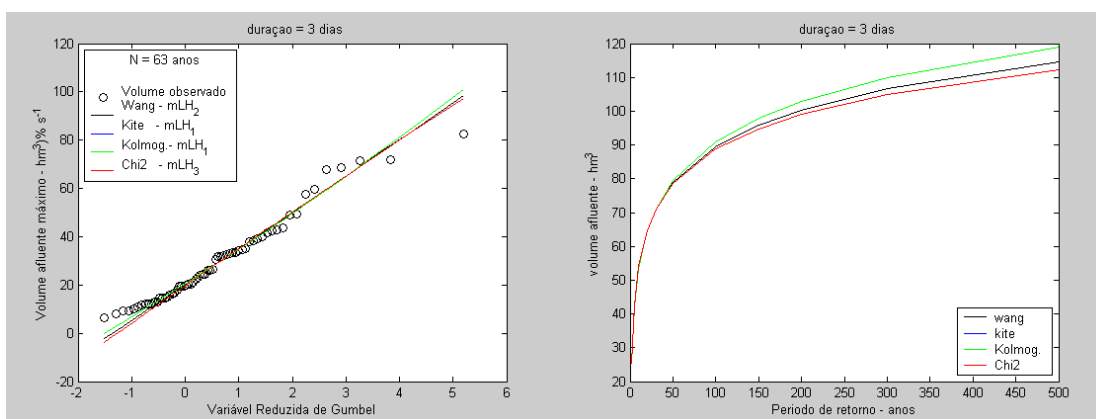


FIGURA 15.1.8.3 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 3 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

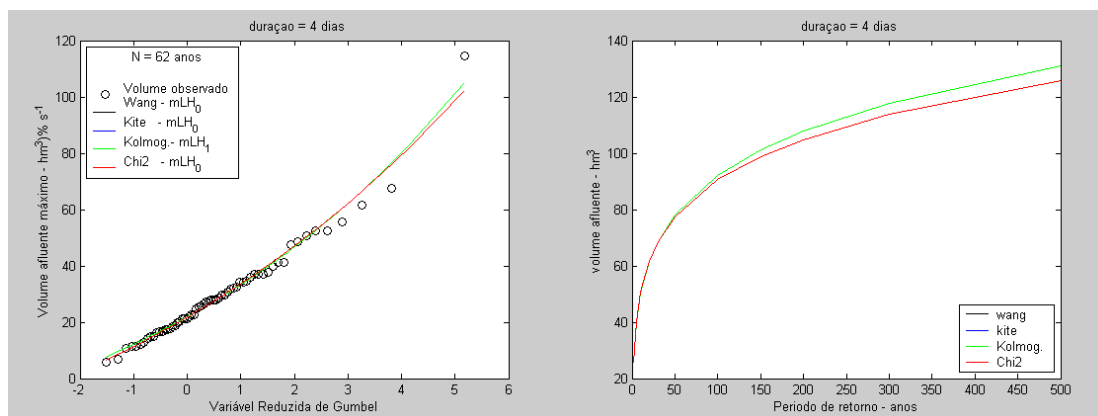


FIGURA 15.1.8.4 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

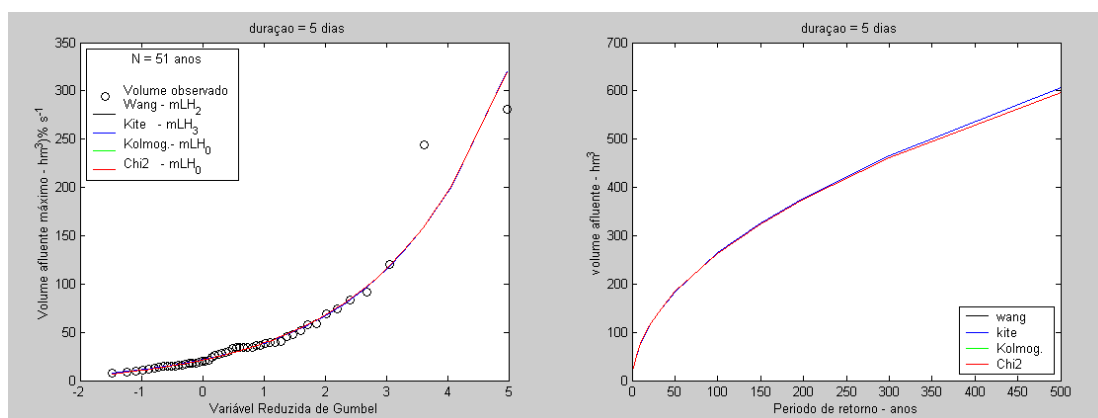


FIGURA 15.1.8.5 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 5 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

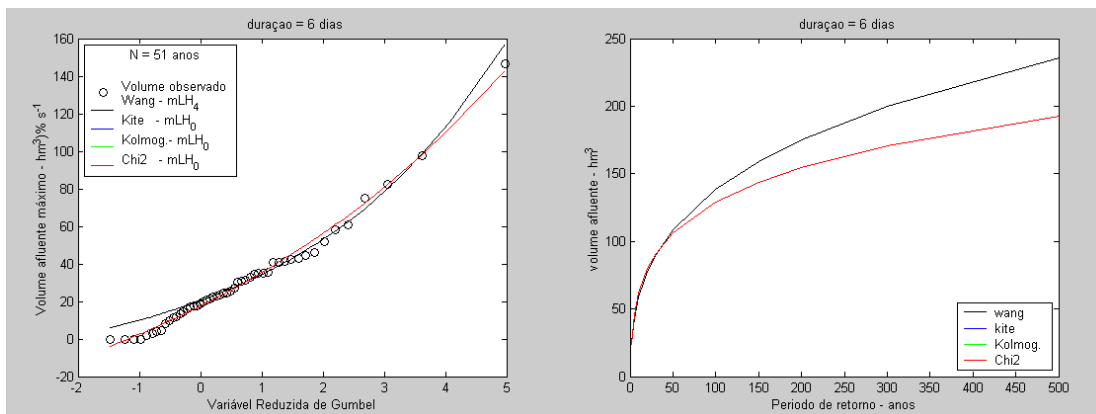


FIGURA 15.1.8.6 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 6 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

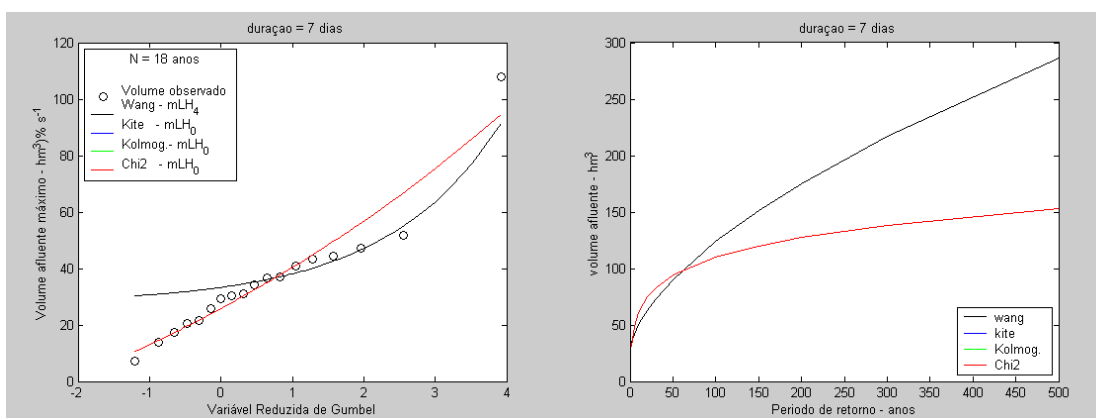


FIGURA 15.1.8.7 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 7 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

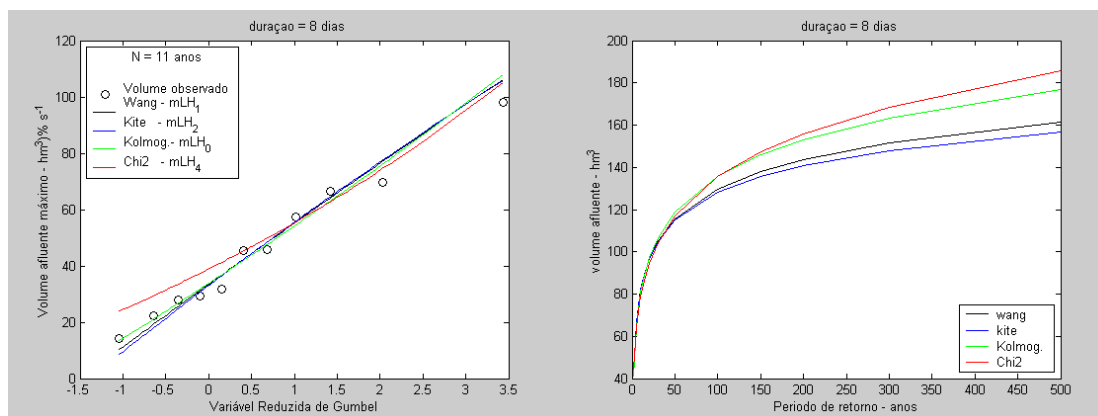


FIGURA 15.1.8.8 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 8 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

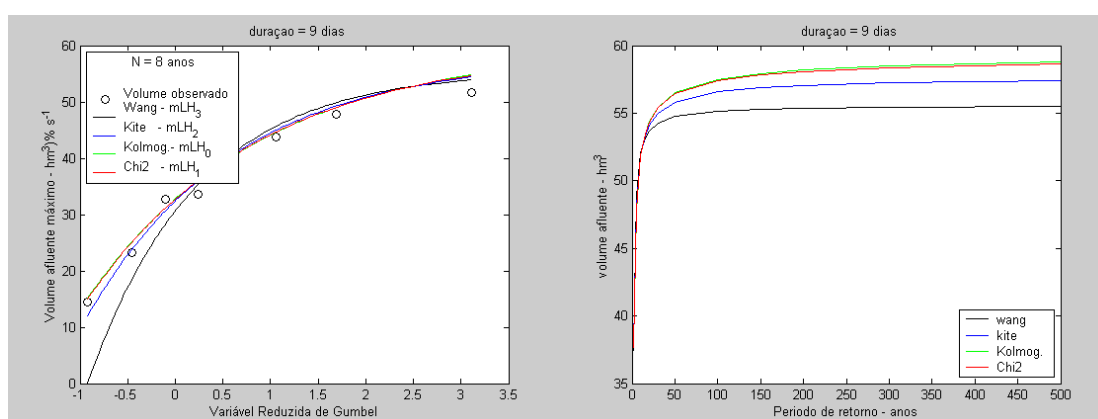


FIGURA 15.1.8.9 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 9 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

1.1.9. Estação São Mateus do Sul (65060000)

Através dos ajustes obtidos para esta estação, verificou-se que a duração máxima de cheias existentes foi de 18 dias, assim foram obtidos ajustes para as diferentes durações juntamente com sua projeção de volumes para diferentes períodos de retorno como mostram as Figuras 15.1.9.1 a 15.1.9.18.

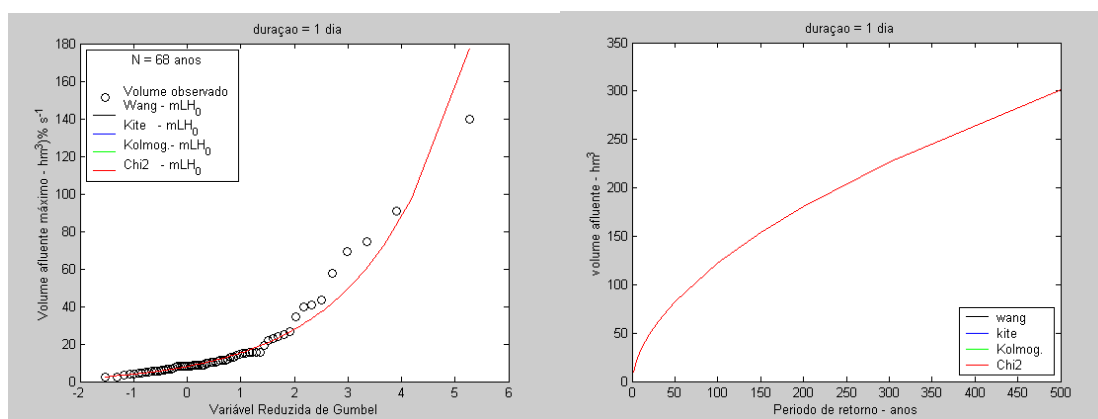


FIGURA 15.9.1 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluyente máximos decorrentes de cheias com duração de 1 dia e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

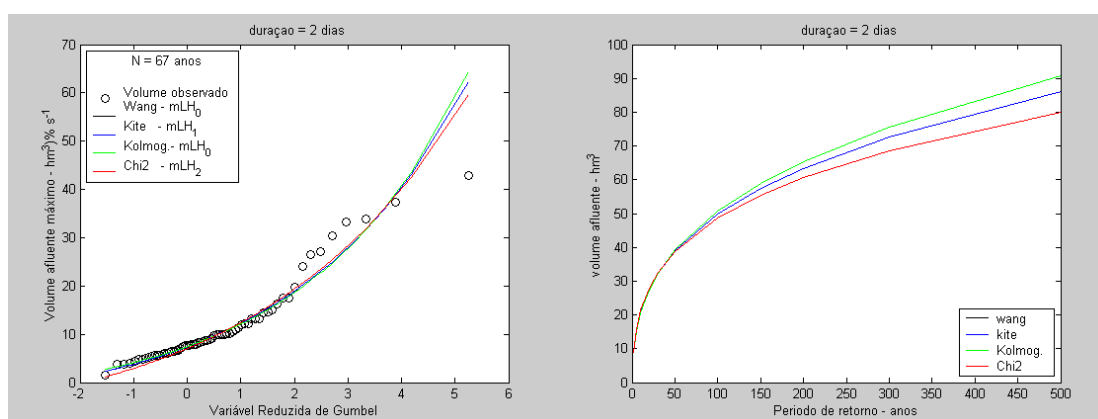


FIGURA 15.1.9.2 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluyente máximos decorrentes de cheias com duração de 2 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

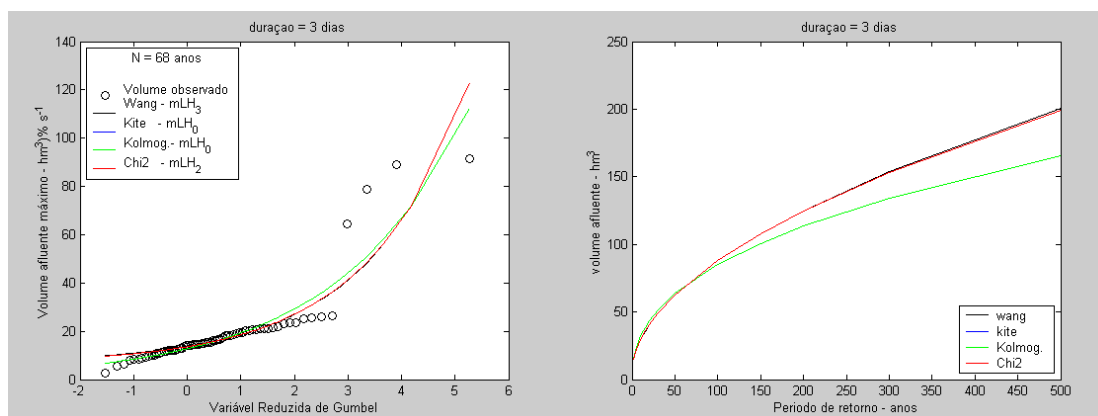


FIGURA 15.1.9.3 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 3 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

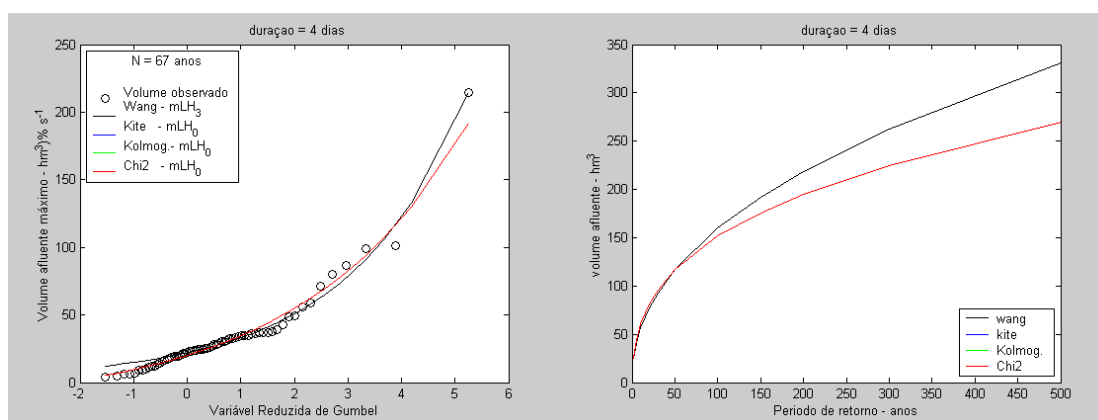


FIGURA 15.1.9.4 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

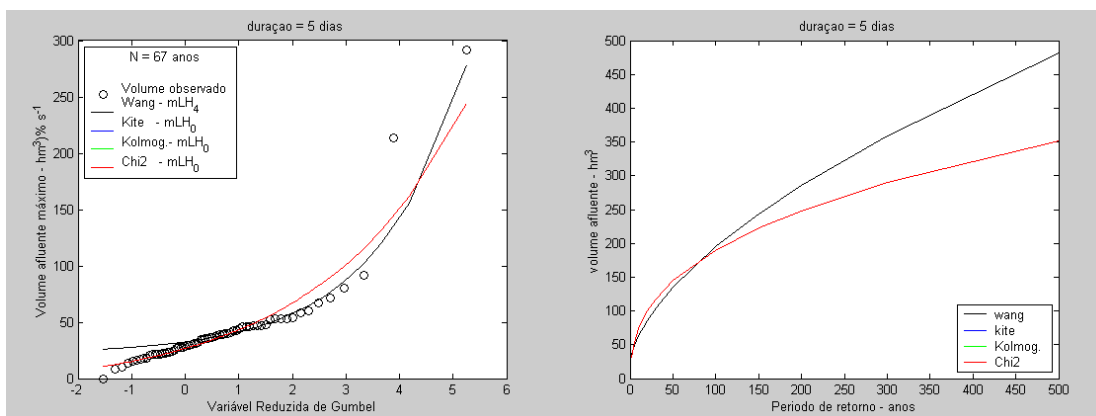


FIGURA 15.1.9.5 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 5 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

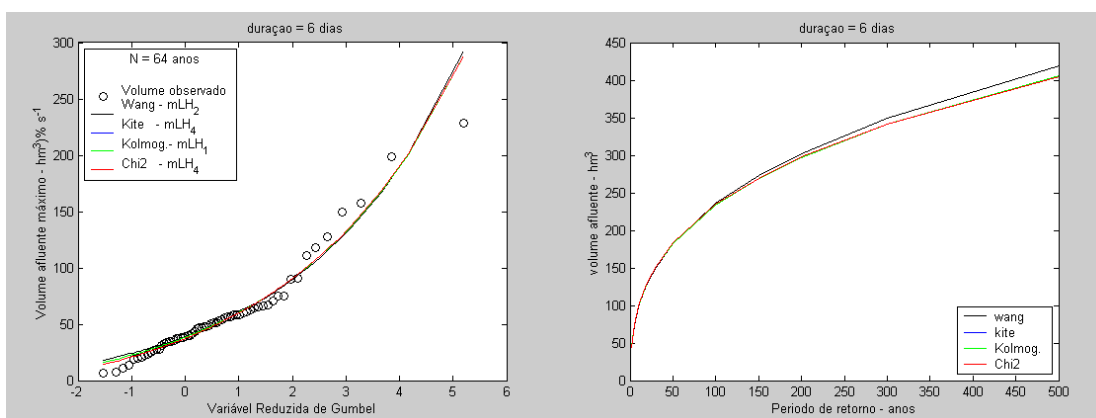


FIGURA 15.1.9.6 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 6 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

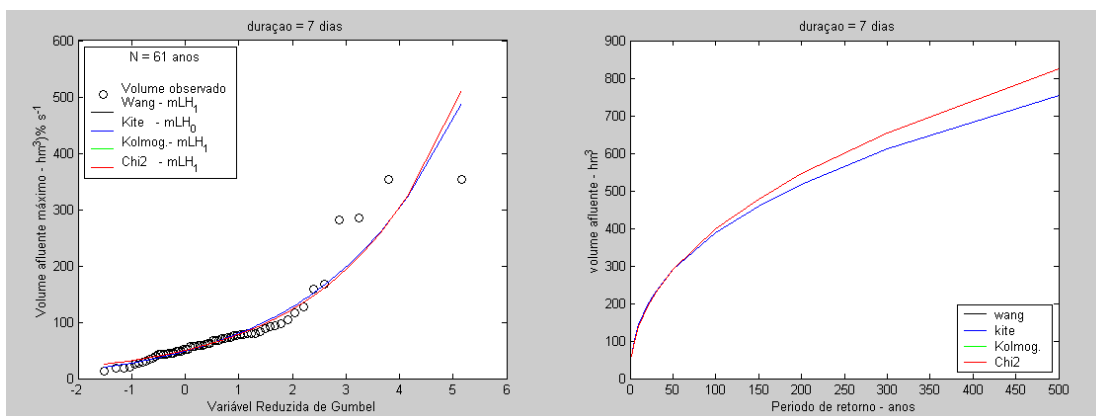


FIGURA 15.1.9.7 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 7 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

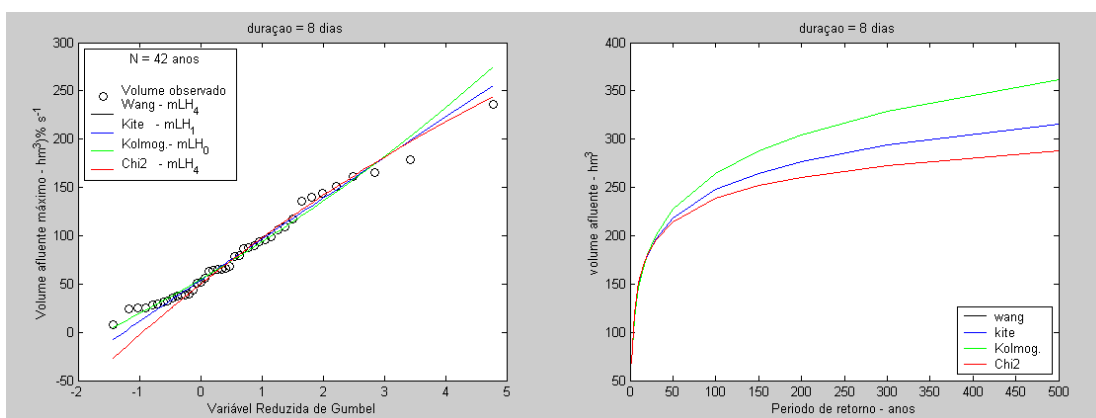


FIGURA 15.1.9.8 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 8 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

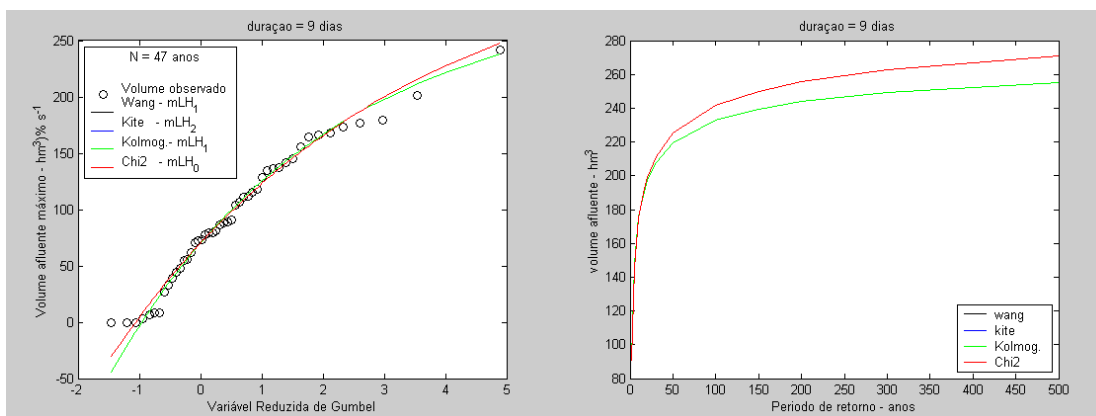


FIGURA 15.1.9.9 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 9 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

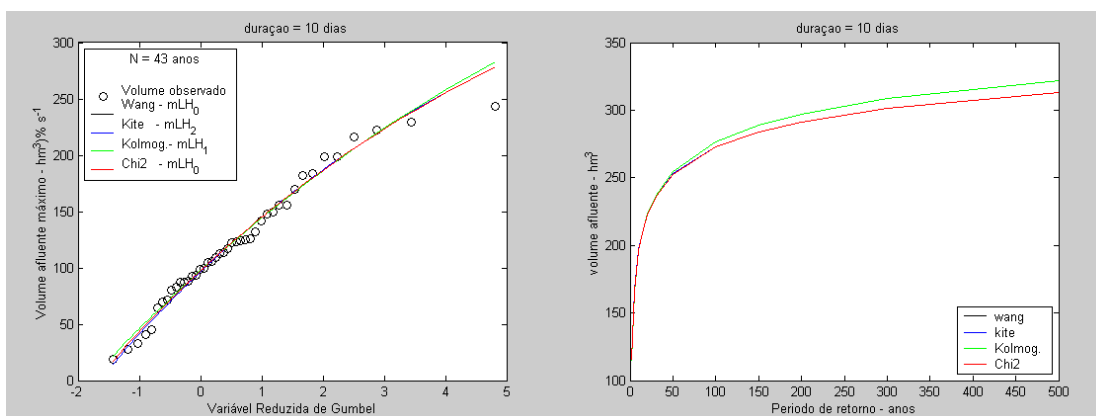


FIGURA 15.1.9.10 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 10 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

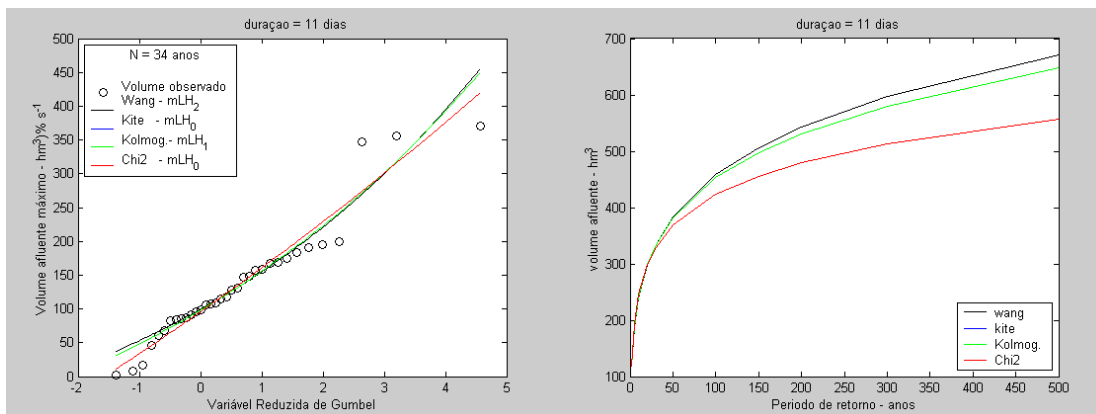


FIGURA 15.1.9.11 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 11 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

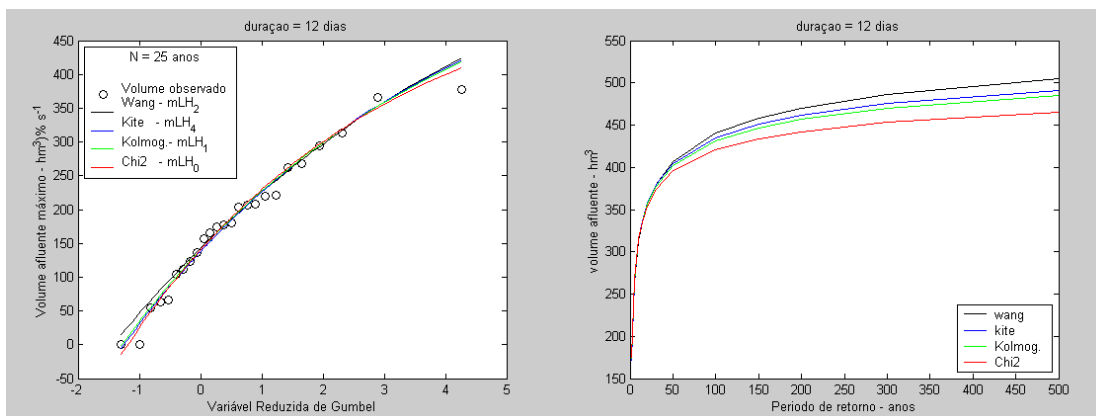


FIGURA 15.1.9.12 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 12 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

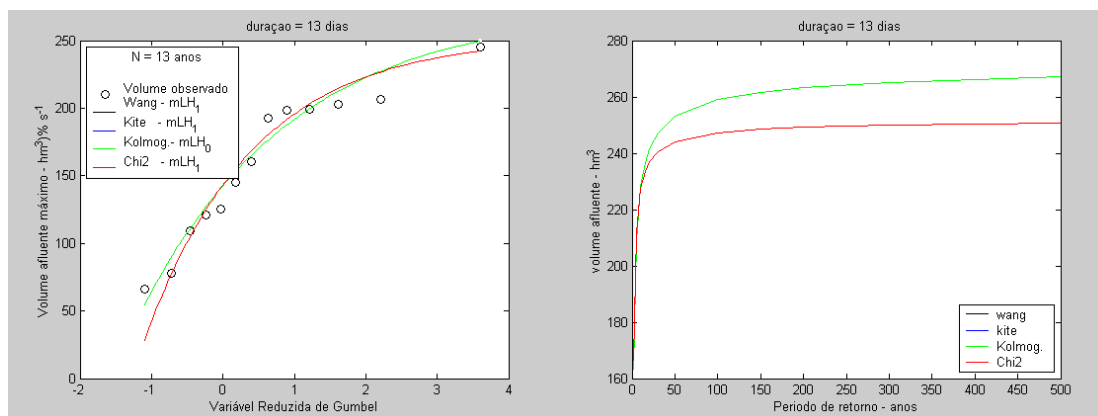


FIGURA 15.1.9.13 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 13 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

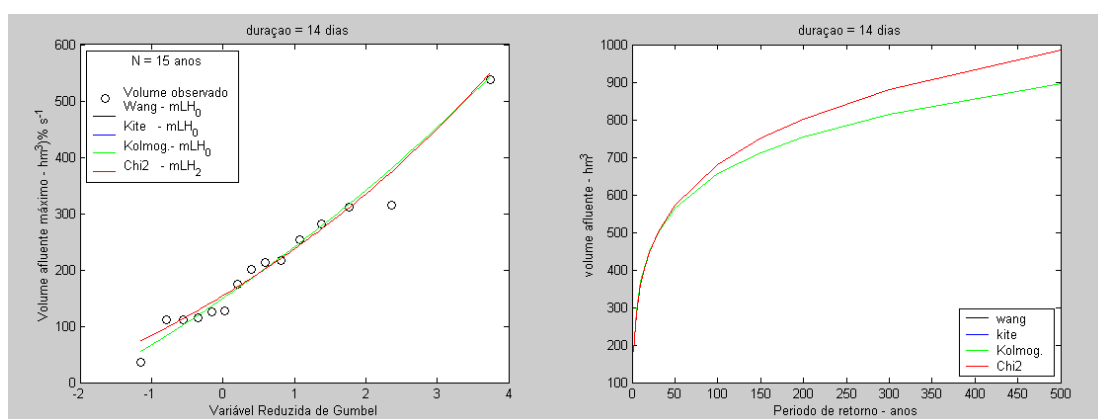


FIGURA 15.1.9.14 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 14 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

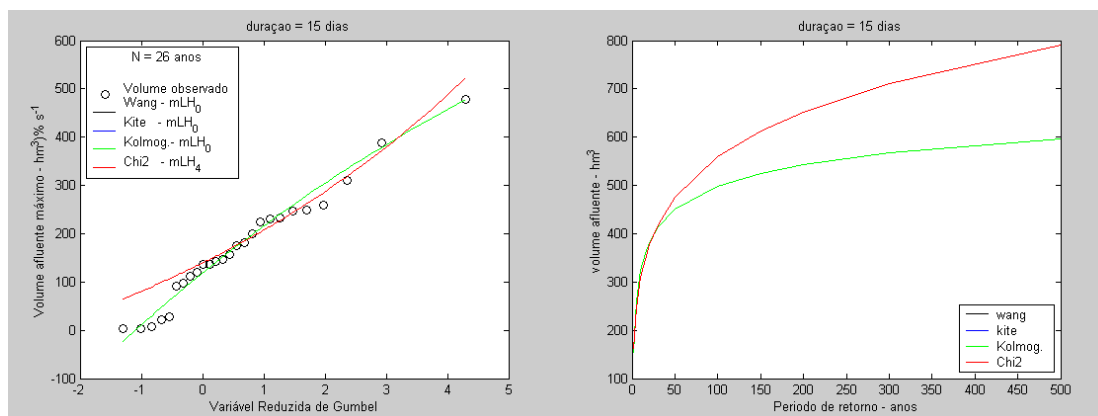


FIGURA 15.1.9.15 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 15 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

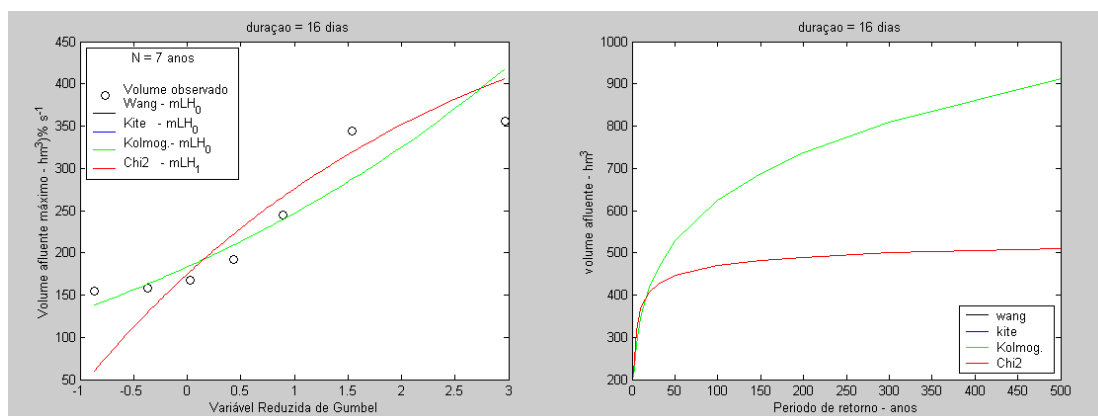


FIGURA 15.1.9.16 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 16 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

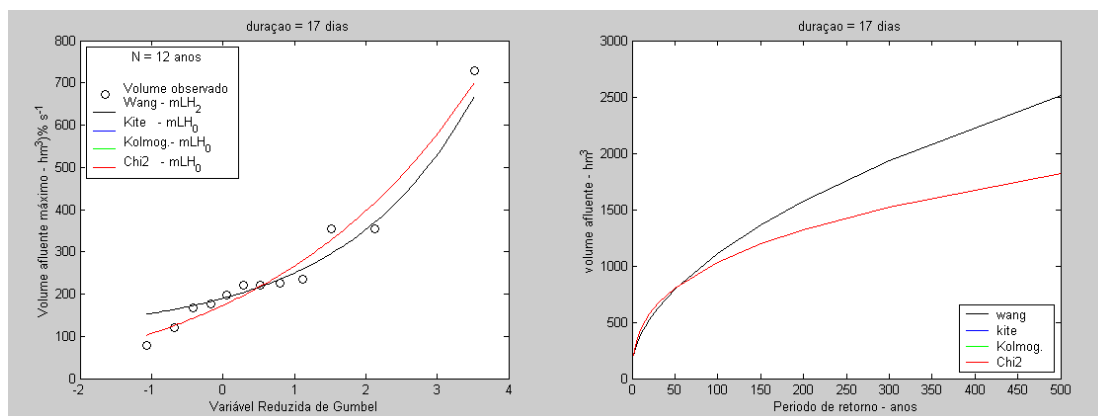


FIGURA 15.1.9.17 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 17 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

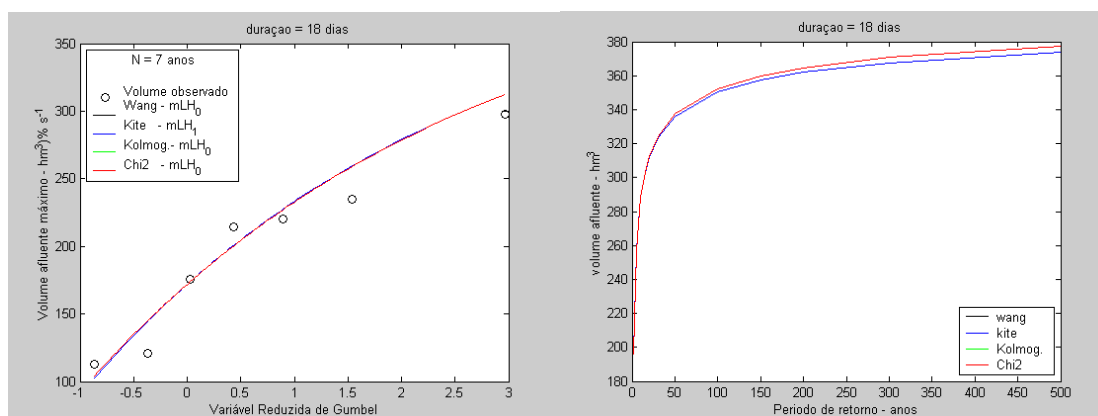


FIGURA 15.1.9.18 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 18 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

1.1.10. Estação São Bento (65155000)

Através dos ajustes obtidos para esta estação, verificou-se que a duração máxima de cheias existentes foi de 15 dias, assim foram obtidos ajustes para

as diferentes durações juntamente com sua projeção de volumes para diferentes períodos de retorno como mostram as Figuras 15.1.11.1 a 15.1.11.15.

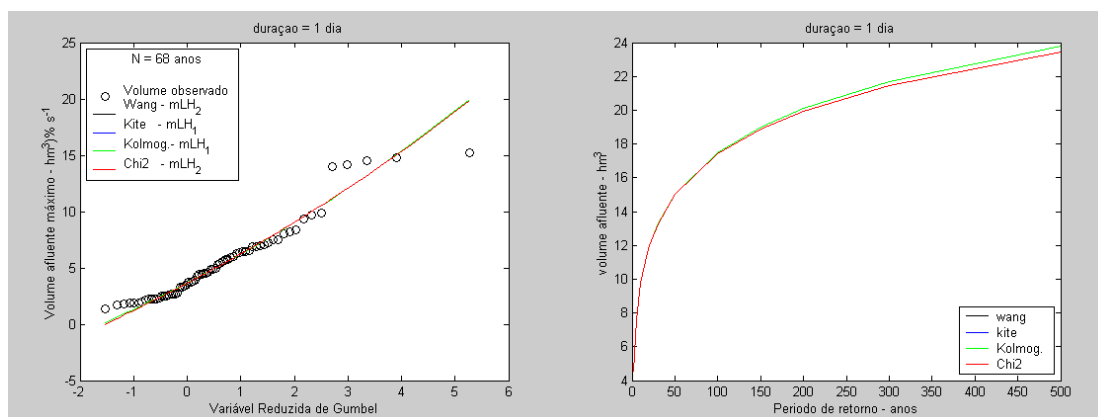


FIGURA 15.1.11.1 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 1 dia e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

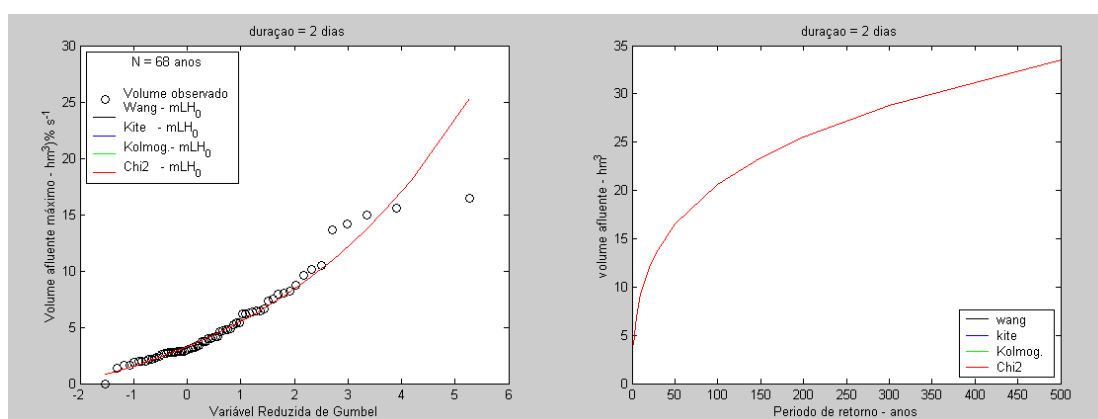


FIGURA 15.1.11.2 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 2 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

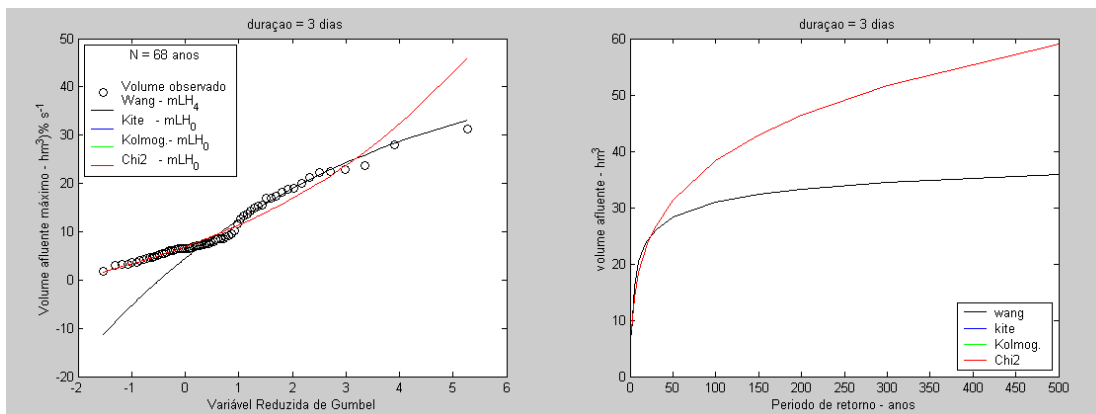


FIGURA 15.1.11.3 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 3 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

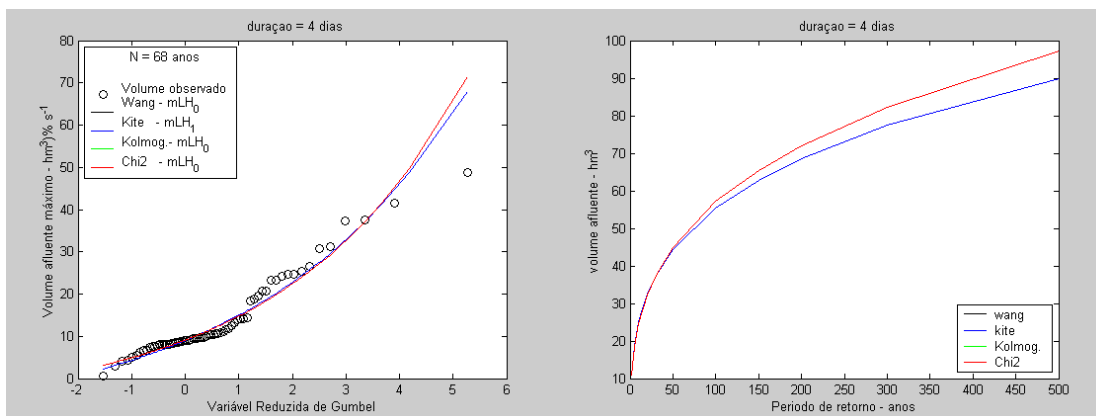


FIGURA 15.1.11.4 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

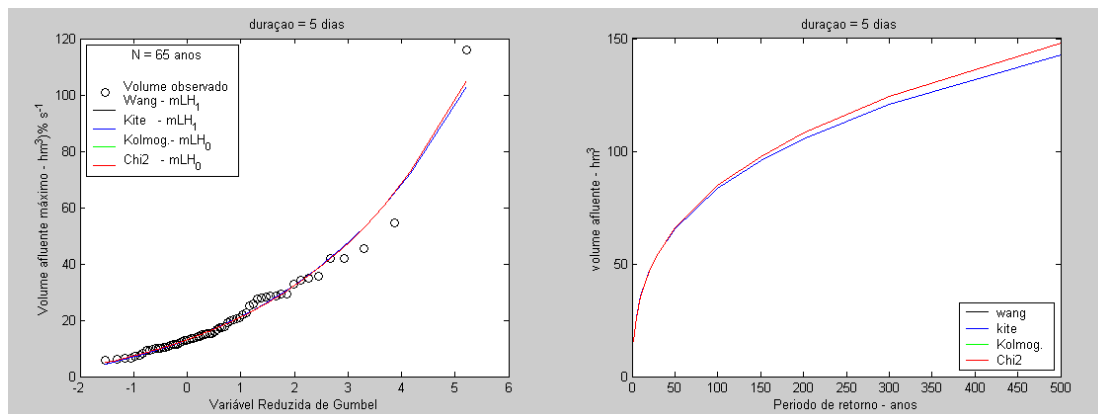


FIGURA 15.1.11.5 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 5 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

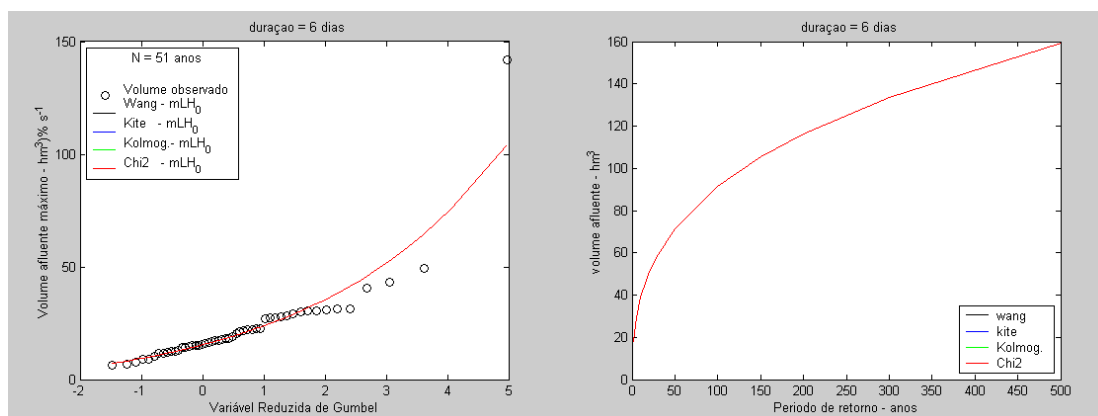


FIGURA 15.1.11.6 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 6 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

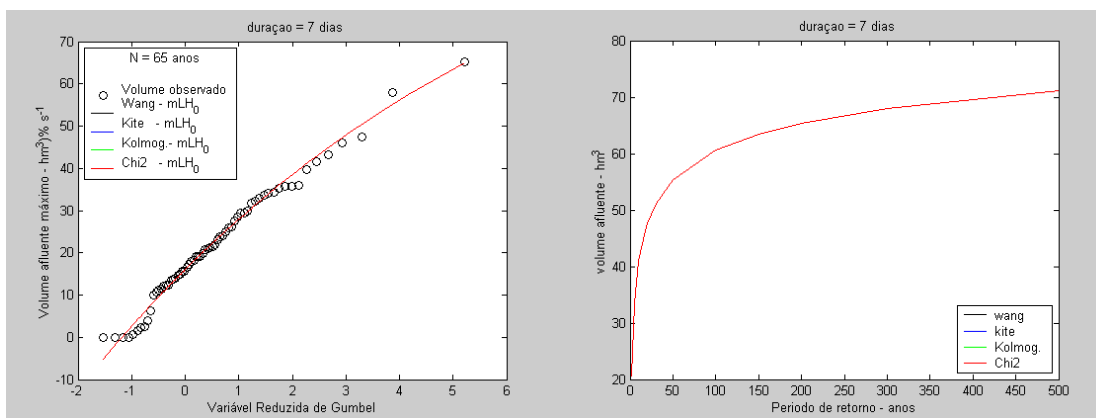


FIGURA 15.1.11.7 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 7 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

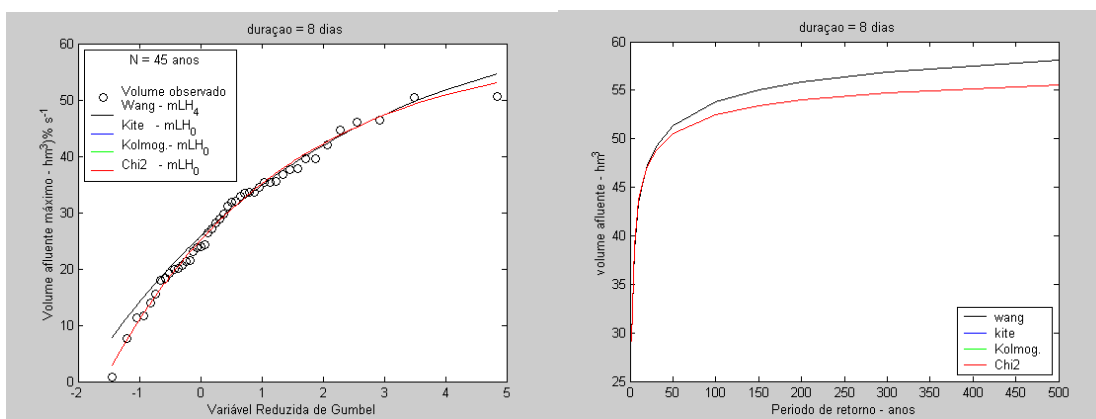


FIGURA 15.1.11.8 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 8 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

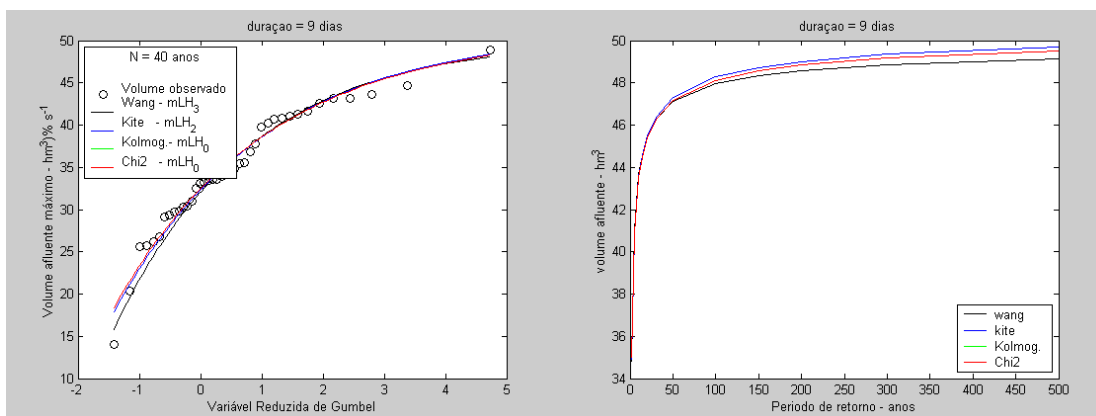


FIGURA 15.1.11.9 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 9 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

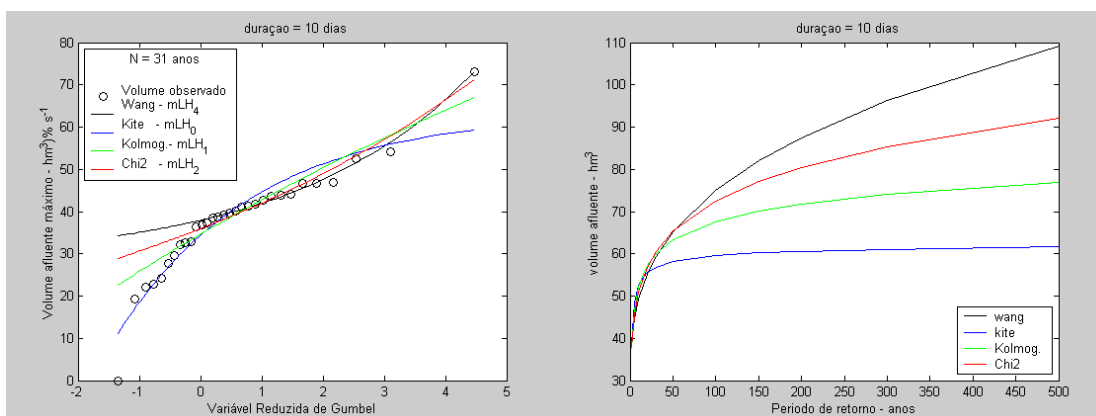


FIGURA 15.1.11.10 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 10 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

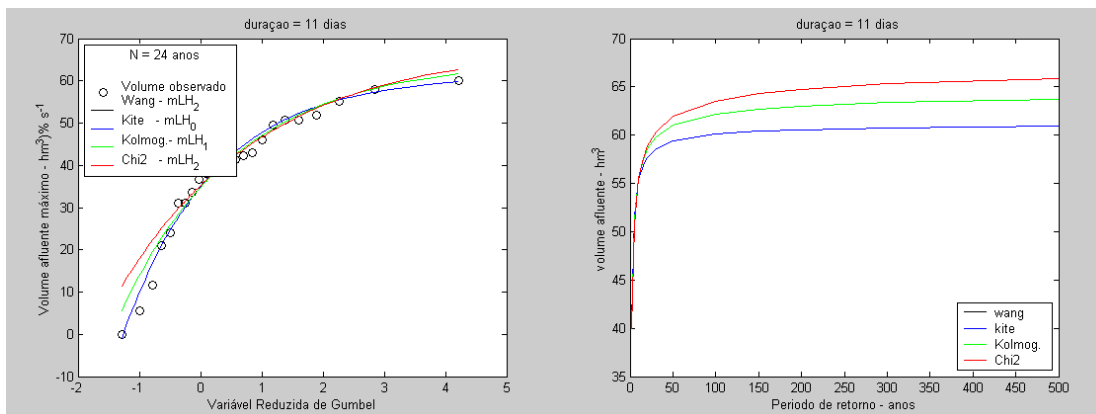


FIGURA 15.1.11.11 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluyente máximos decorrentes de cheias com duração de 11 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

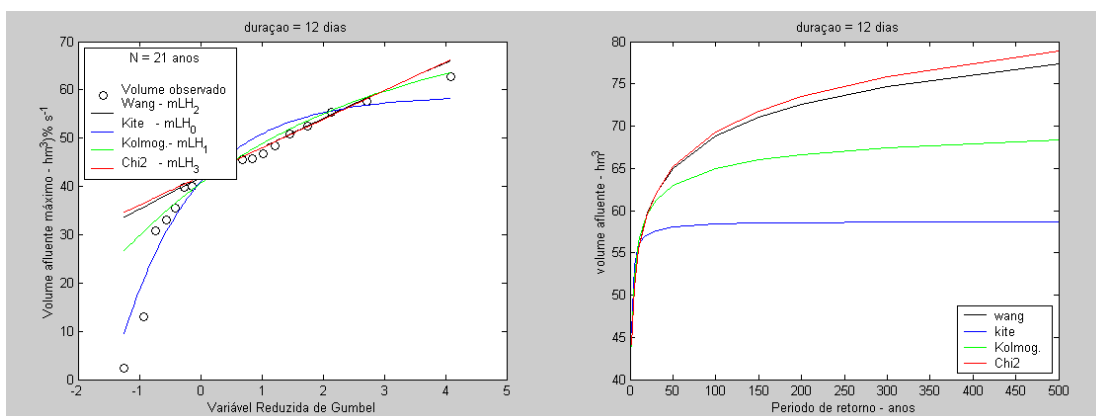


FIGURA 15.1.11.12 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluyente máximos decorrentes de cheias com duração de 12 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

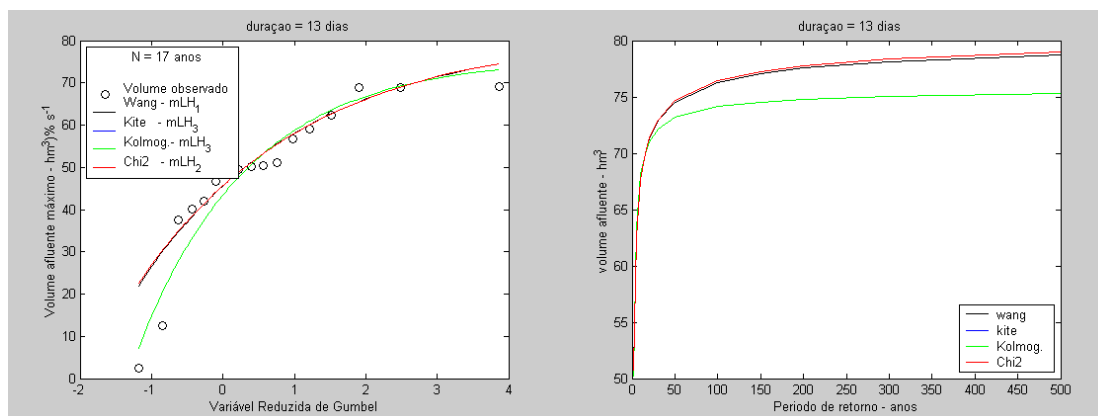


FIGURA 15.1.11.13 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 13 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

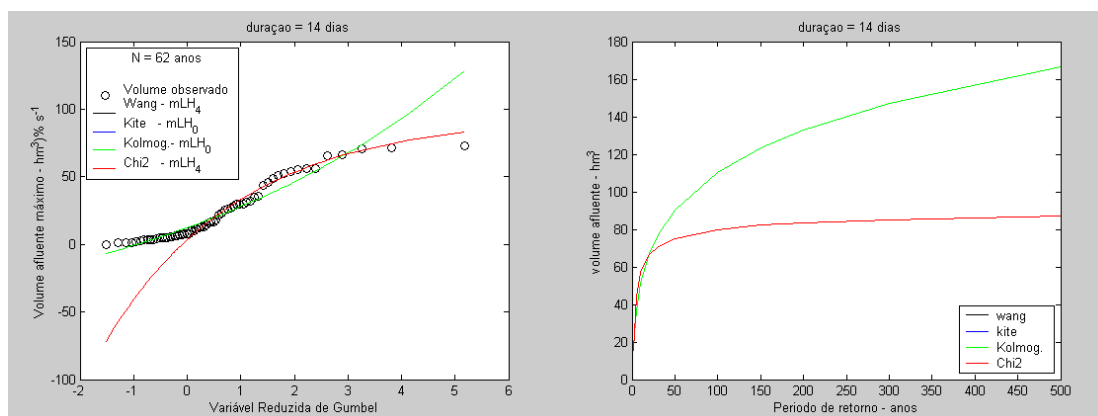


FIGURA 15.1.11.14 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 14 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

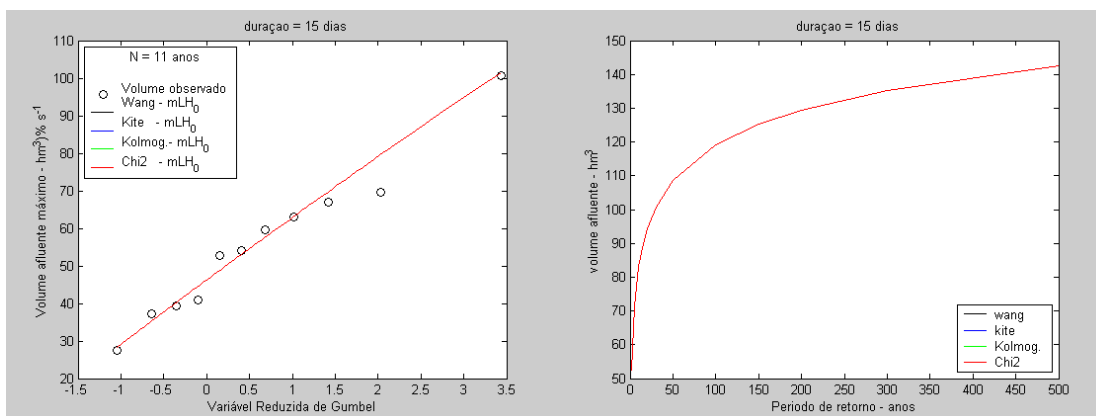


FIGURA 15.1.11.15 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 15 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

1.1.11. Estação Turvo (81125000)

Através dos ajustes obtidos para esta estação, verificou-se que a duração máxima de cheias existentes foi de 5 dias, assim foram obtidos ajustes para as diferentes durações juntamente com sua projeção de volumes para diferentes períodos de retorno como mostram as Figuras 15.1.12.1 a 15.1.12.5.

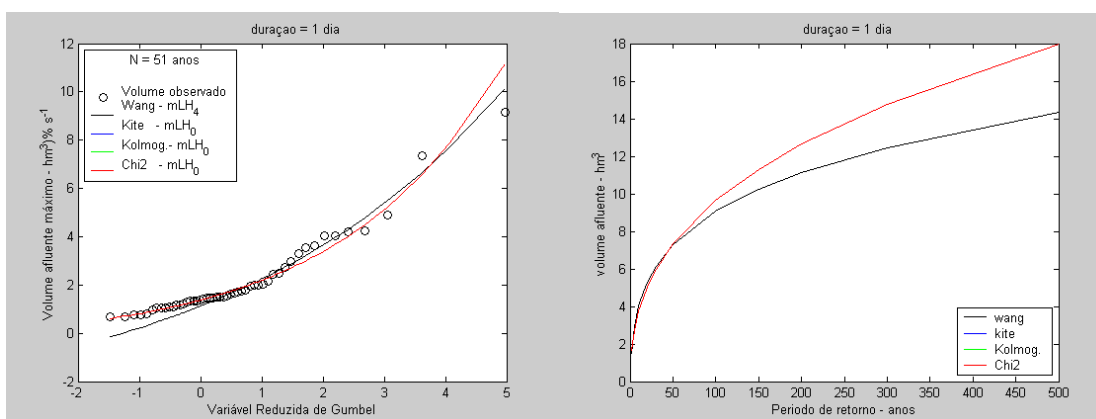


FIGURA 15.1.12.1 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 1 dia e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

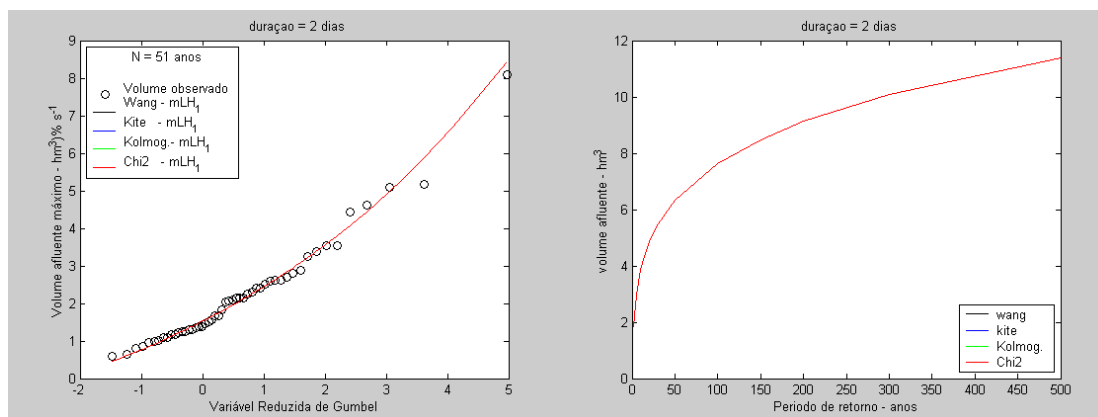


FIGURA 15.1.12.2 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 2 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

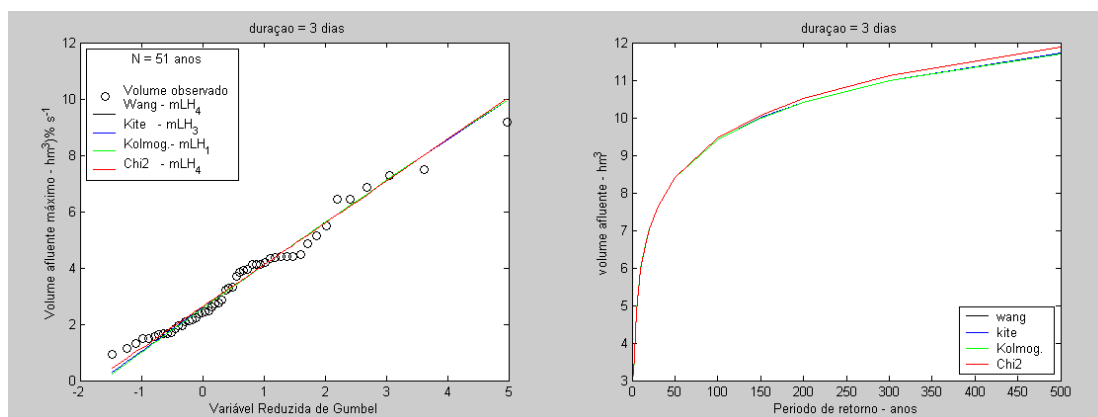


FIGURA 15.1.12.3 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluente máximos decorrentes de cheias com duração de 3 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

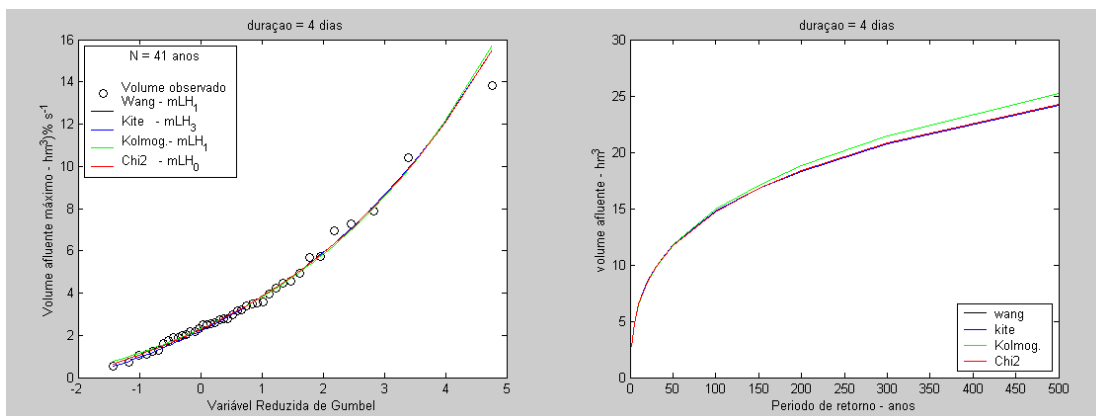


FIGURA 15.1.12.4 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluyente máximos decorrentes de cheias com duração de 4 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

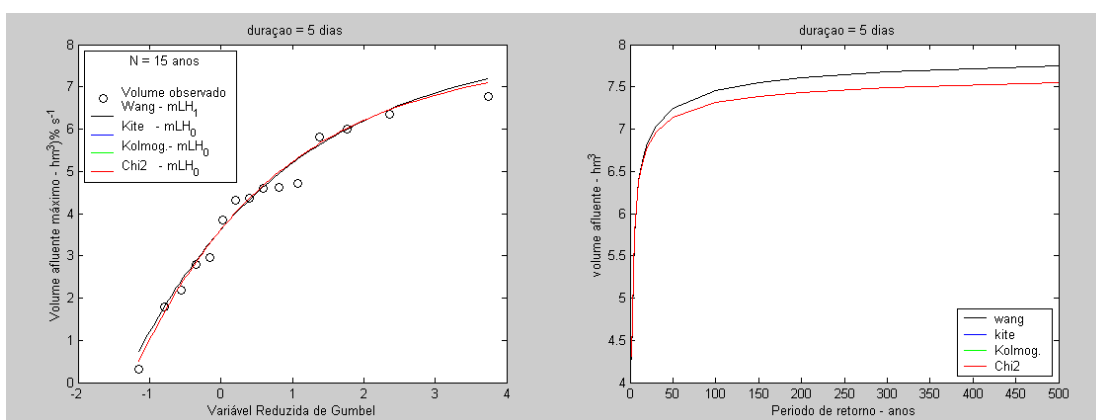


FIGURA 15.1.12.5 Ajuste da Distribuição GEV a série de volumes afluyente máximos decorrentes de cheias com duração de 5 dias e sua projeção para os diferentes períodos de retorno.

1.2. Volume x Duração

Após determinados os volumes máximos afluentes para cada duração, foi gerado o gráfico volume x duração para os períodos de retorno de 20,30,50 e 100 anos, assim verificando se o ajuste GEV associado aos momentos Lh tendem a gerar uma curva convexa.

1.2.1.Estação Andirá (64370000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos wang, kite e komolog, como mostram as Figuras 15.2.1.1 e 15.2.1.2.

Verifica-se que nesta estação os dados ajustados possibilitam através de um ajuste matemático construir a curva volume x duração da maneira mais adequada.

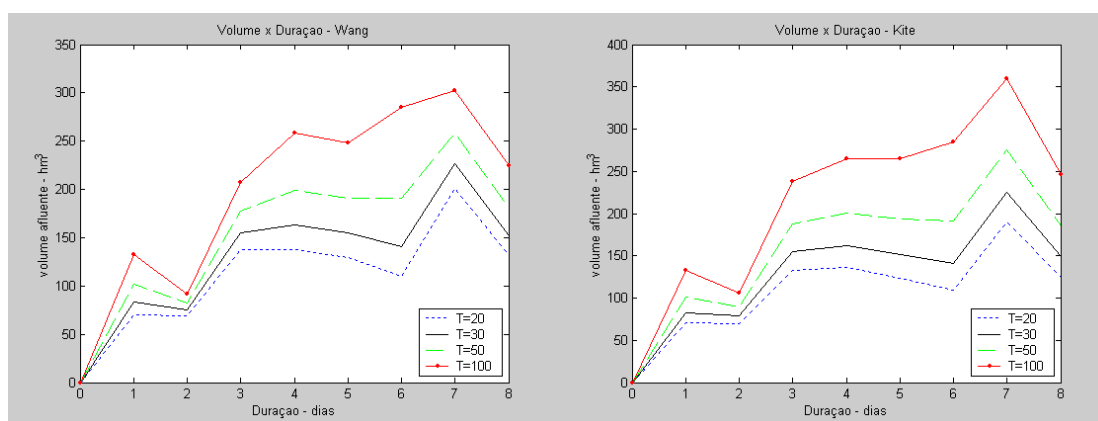


FIGURA 15.2.1.1 Gráficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Wang e Kite.

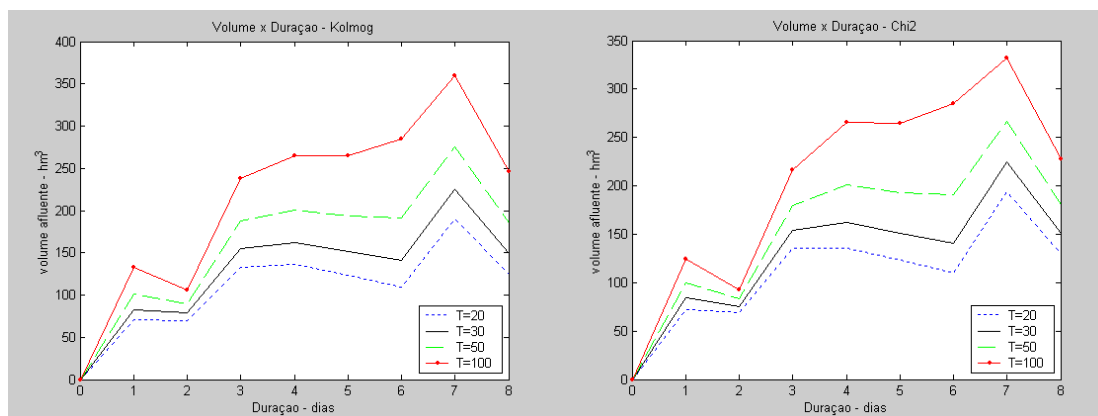


FIGURA 15.2.1.2 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Kolmog e Chi².

1.2.2. Estação Porto Santa Terezinha (64390000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos wang, kite e komolog, como mostram as Figuras 15.2.2.1 e 15.2.2.2.

Verifica-se que nesta estação os dados ajustados possibilitam através de um ajuste matemático construir a curva volume x duração da maneira mais adequada.

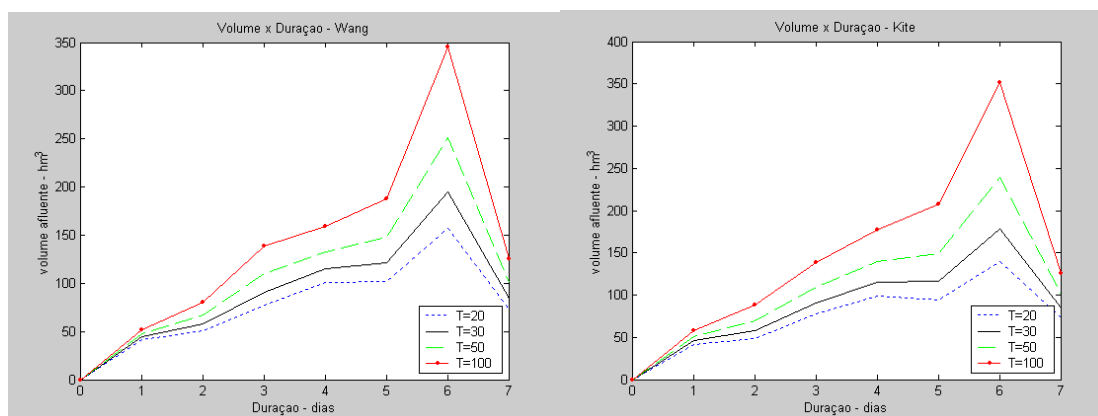


FIGURA 15.2.2.1 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Wang e Kite.

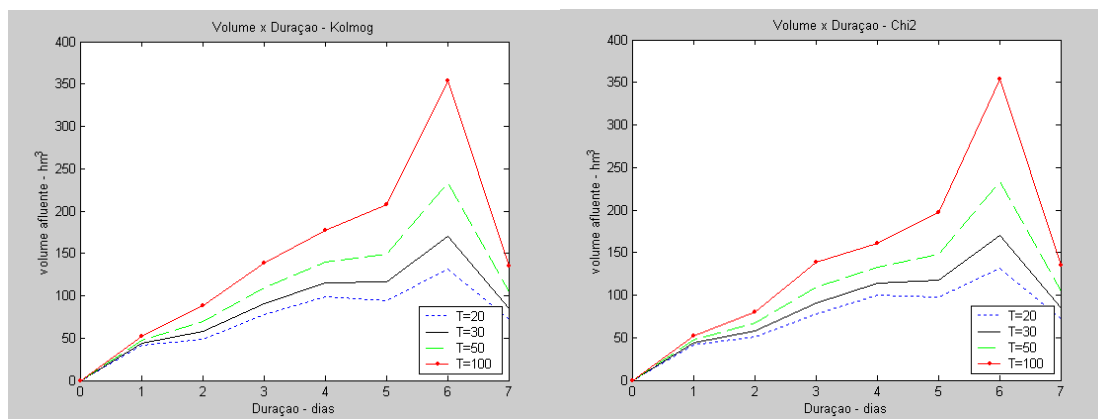


FIGURA 15.2.2.2 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Kolmog e Chi².

1.2.3. Estação Tibagi (64465000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos wang, kite e komolog, como mostram as Figuras 15.2.3.1 e 15.2.3.2.

Verifica-se que nesta estação os dados ajustados possibilitam através de um ajuste matemático construir a curva volume x duração da maneira mais adequada.

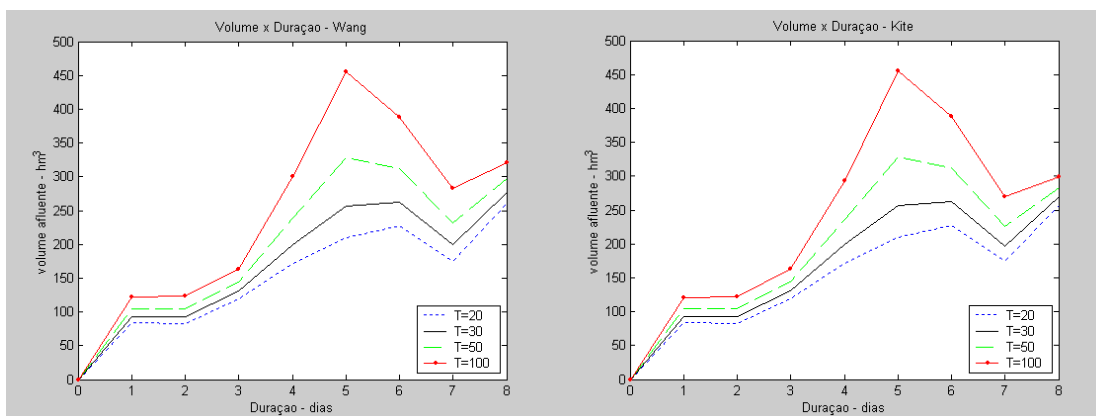


FIGURA 15.2.3.1 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Wang e Kite.

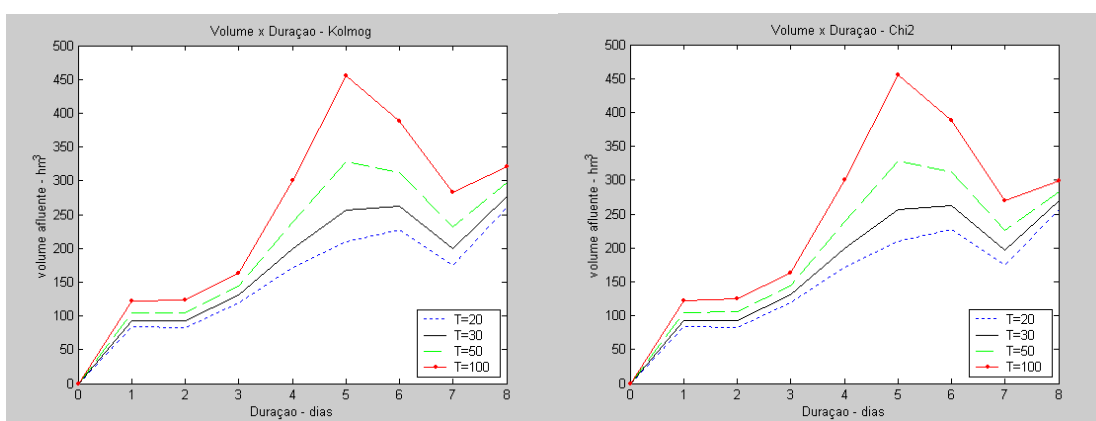


FIGURA 15.2.3.2 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Kolmog e Chi².

1.2.4. Estação Jatazinho (64507000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos wang, kite e komolog, como mostram as Figuras 15.2.4.1 e 15.2.4.2.

Verifica-se que nesta estação os dados ajustados possibilitam através de um ajuste matemático construir a curva volume x duração da maneira mais adequada.

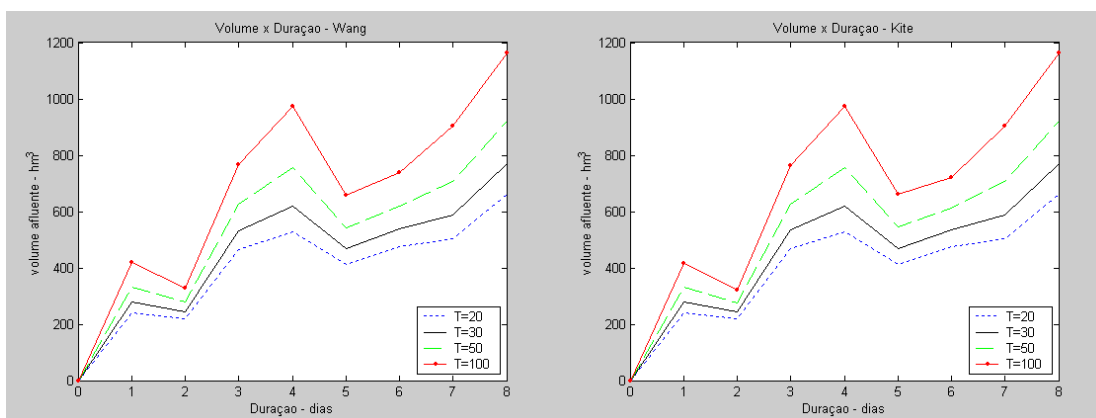


FIGURA 15.2.4.1 Gráficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Wang e Kite.

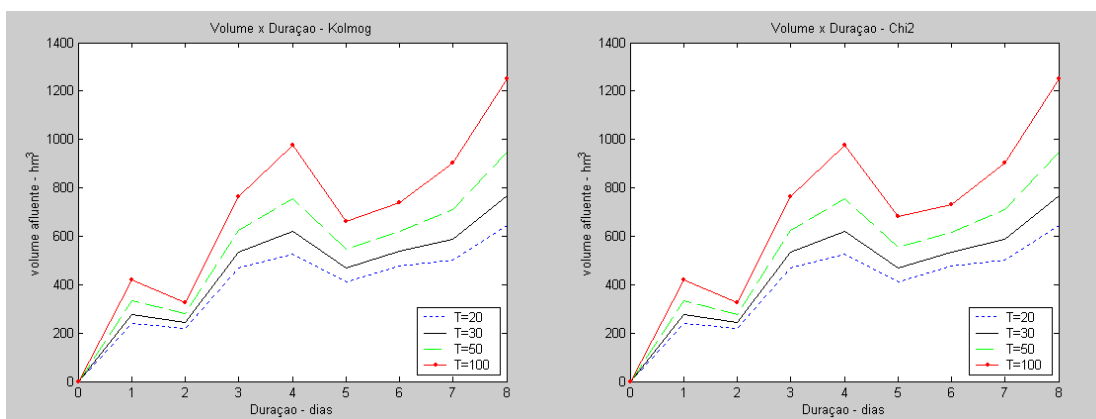


FIGURA 15.2.4.2 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Kolmog e Chi².

1.2.5. Estação Rio dos Patos (64620000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos wang, kite e komolog, como mostram as Figuras 15.2.5.1 e 15.2.5.2.

Verifica-se que nesta estação os dados ajustados possibilitam através de um ajuste matemático construir a curva volume x duração da maneira mais adequada.

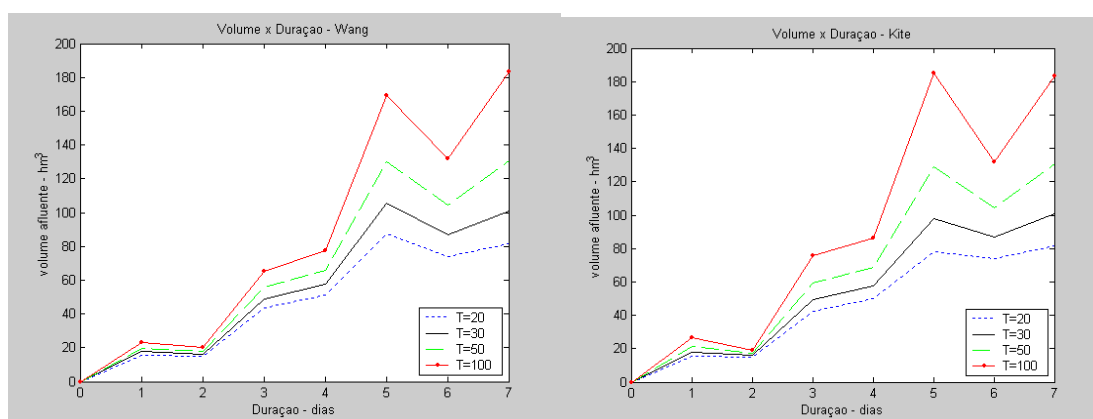


FIGURA 15.2.5.1 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Wang e Kite.

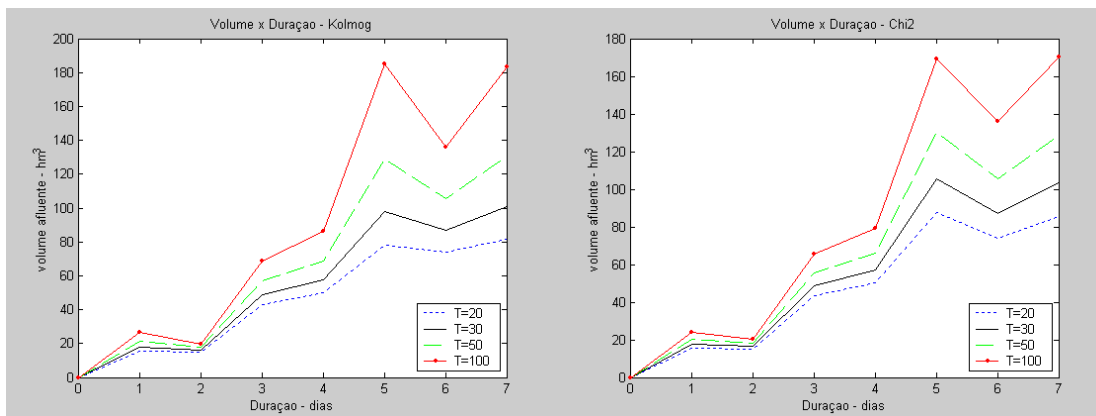


FIGURA 15.2.5.2 Gráficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Kolmog e Chi².

1.2.6. Estação Salto Sapucaí (64790000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos wang, kite e komolog, como mostram as Figuras 15.2.6.1 e 15.2.6.2.

Verifica-se que nesta estação os dados ajustados possibilitam através de um ajuste matemático construir a curva volume x duração da maneira mais adequada.

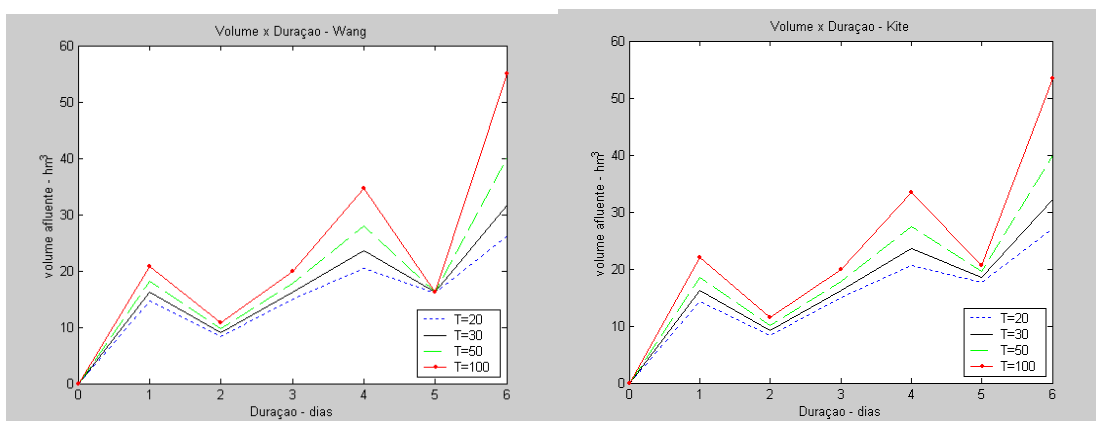


FIGURA 15.2.6.1 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Wang e Kite.

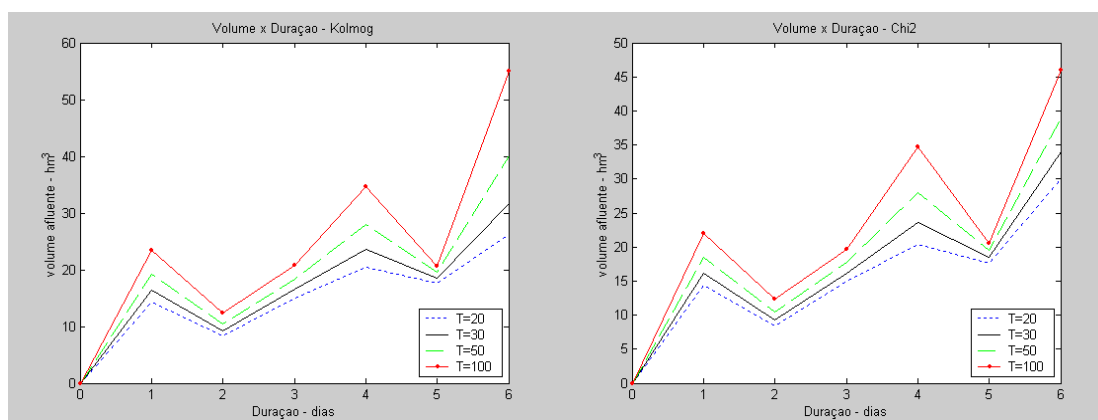


FIGURA 15.2.6.2 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Kolmog e Chi².

1.2.7. Estação Guairá (64843000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos wang, kite e komolog, como mostram as Figuras 15.2.6.1 e 15.2.6.2.

Verifica-se que nesta estação os dados ajustados possibilitam através de um ajuste matemático construir a curva volume x duração da maneira mais adequada.

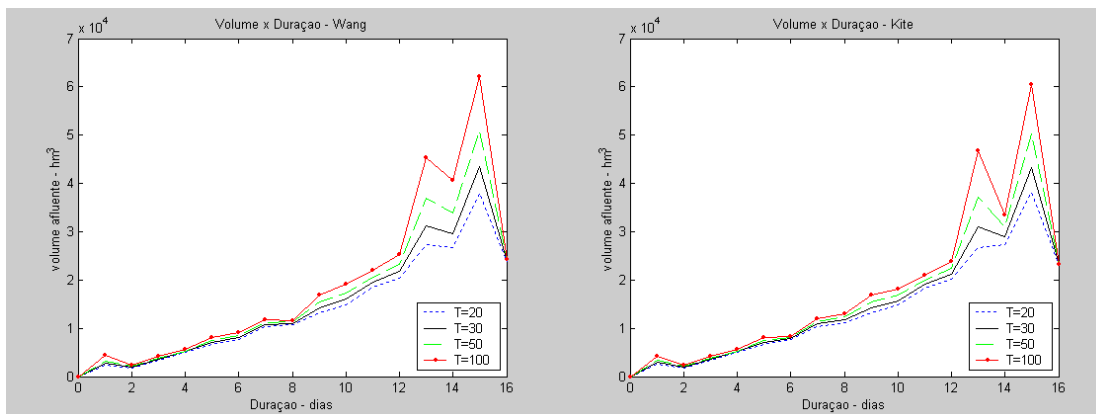


FIGURA 15.2.7.1 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Wang e Kite.

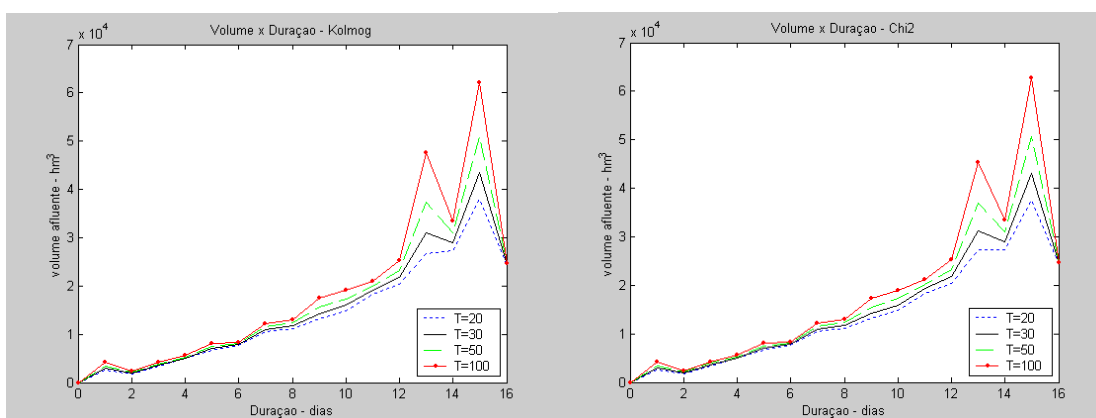


FIGURA 15.2.7.2 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Kolmog e Chi².

1.2.8. Estação Porto Amazonas (65035000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos wang, kite, komolog, chi², como mostram as Figuras 15.2.8.1 e 15.2.8.2.

Verifica-se que nesta estação os dados ajustados possibilitam através de um ajuste matemático construir a curva volume x duração da maneira mais adequada.

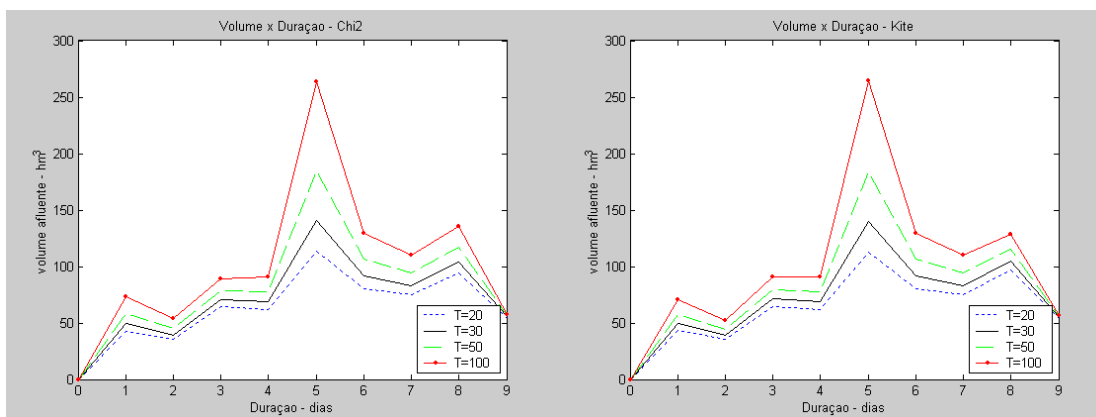


FIGURA 15.2.8.1 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Wang e Kite.

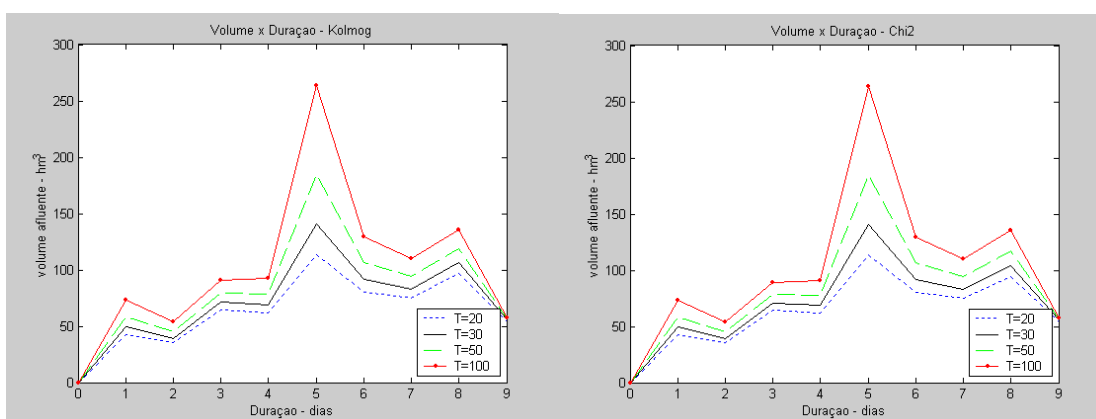


FIGURA 15.2.8.2 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Kolmog e Chi².

1.2.9. Estação São Mateus do Sul (65060000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos wang, kite e komolog, como mostram as Figuras 15.2.9.1 e 15.2.9.2.

Verifica-se que nesta estação os dados ajustados possibilitam através de um ajuste matemático construir a curva volume x duração da maneira mais adequada.

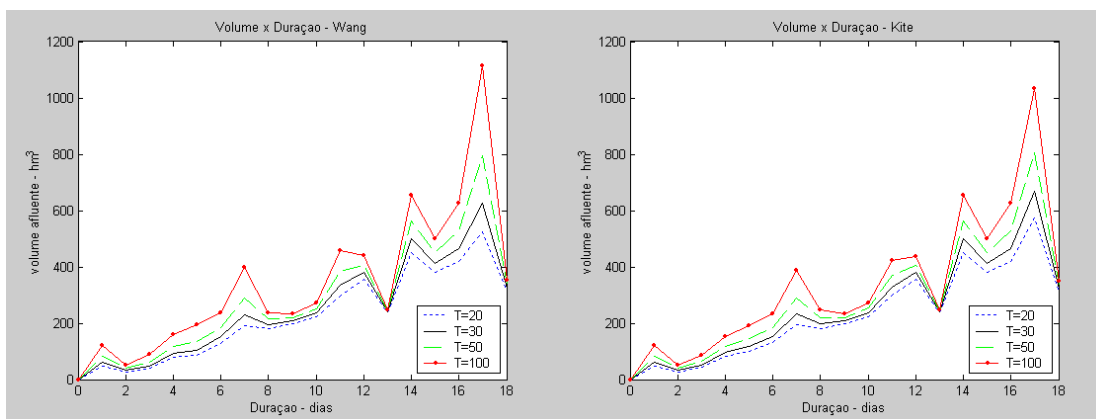


FIGURA 15.2.9.1 Gráficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Wang e Kite.

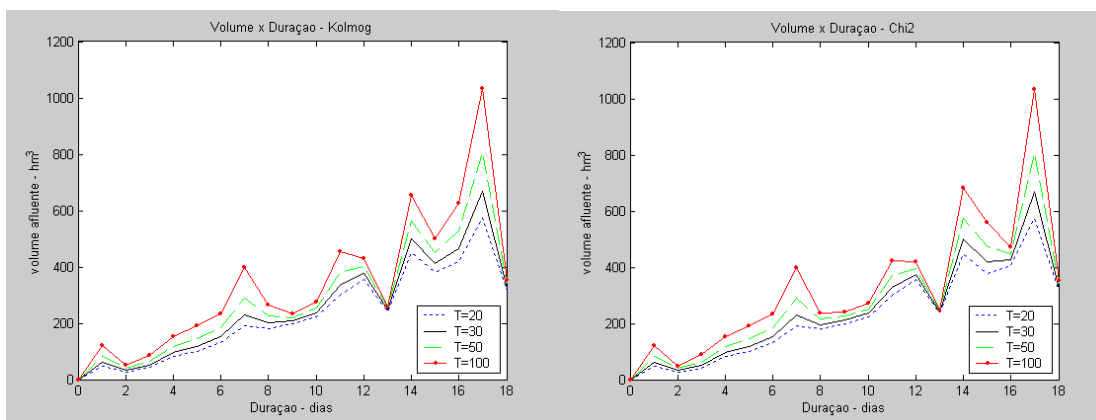


FIGURA 15.2.9.2 Gráficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Kolmog e Chi².

1.2.10. Estação São Bento (65155000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos wang, kite e komolog, como mostram as Figuras 15.2.11.1 e 15.2.11.2.

Verifica-se que nesta estação os dados ajustados possibilitam através de um ajuste matemático construir a curva volume x duração da maneira mais adequada.

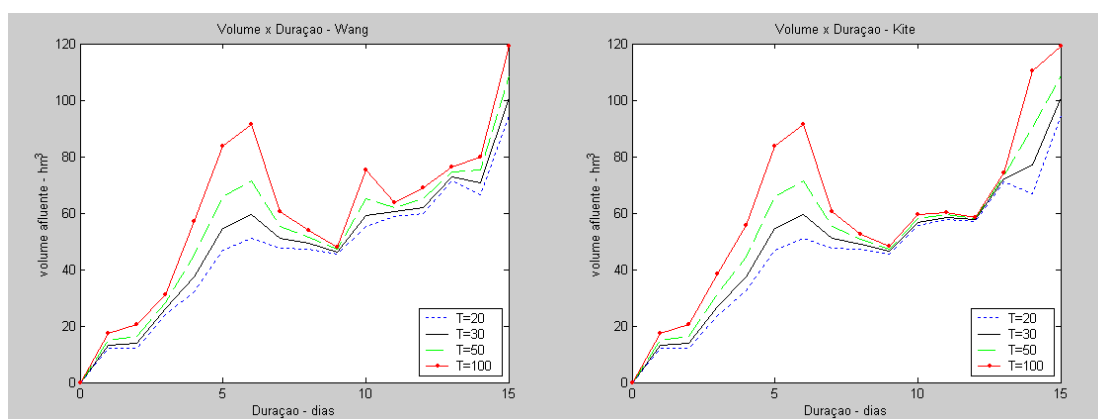


FIGURA 15.2.11.1 Gráficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Wang e Kite.

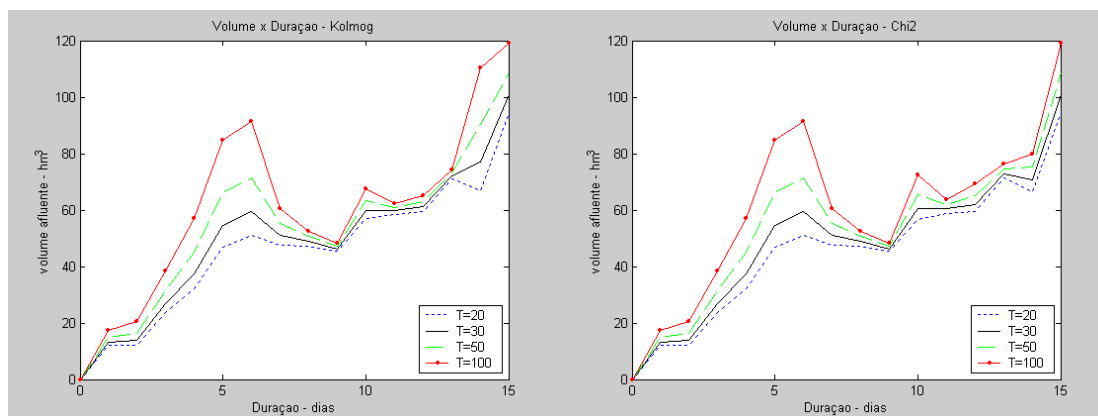


FIGURA 15.2.11.2 Gráficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Kolmog e Chi².

1.2.11. Estação Turvo (81125000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos wang, kite e komolog, como mostram as Figuras 15.2.12.1 e 15.2.12.2.

Verifica-se que nesta estação os dados ajustados possibilitam através de um ajuste matemático construir a curva volume x duração da maneira mais adequada.

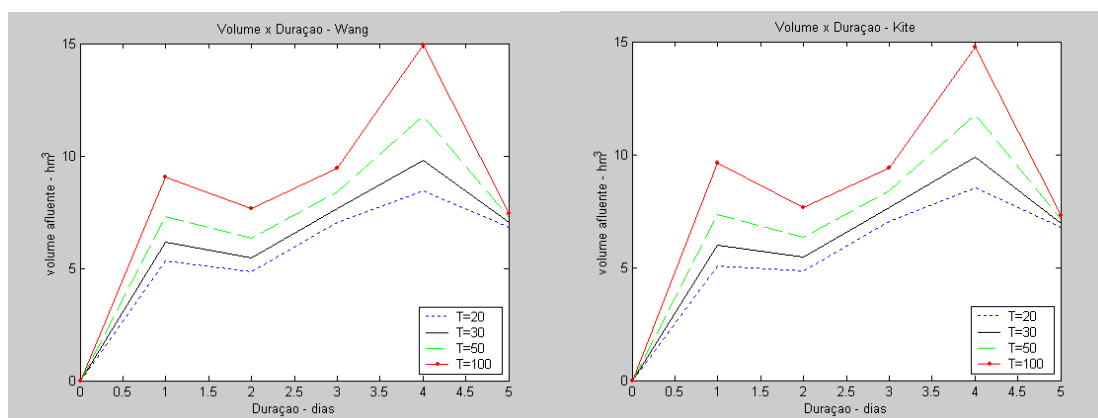


FIGURA 15.2.12.1 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Wang e Kite.

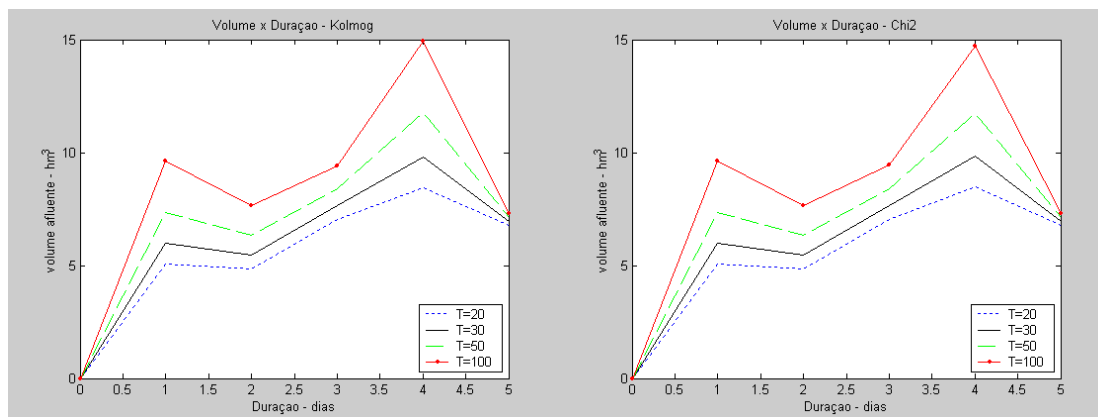


FIGURA 15.2.12.2 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Kolmog e Chi².

1.2.12. Estação Balsa do Cerro Azul (81135000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos wang, kite e komolog, como mostram as Figuras 15.2.13.1 e 15.2.13.2.

Verifica-se que nesta estação os dados ajustados possibilitam através de um ajuste matemático construir a curva volume x duração da maneira mais adequada.

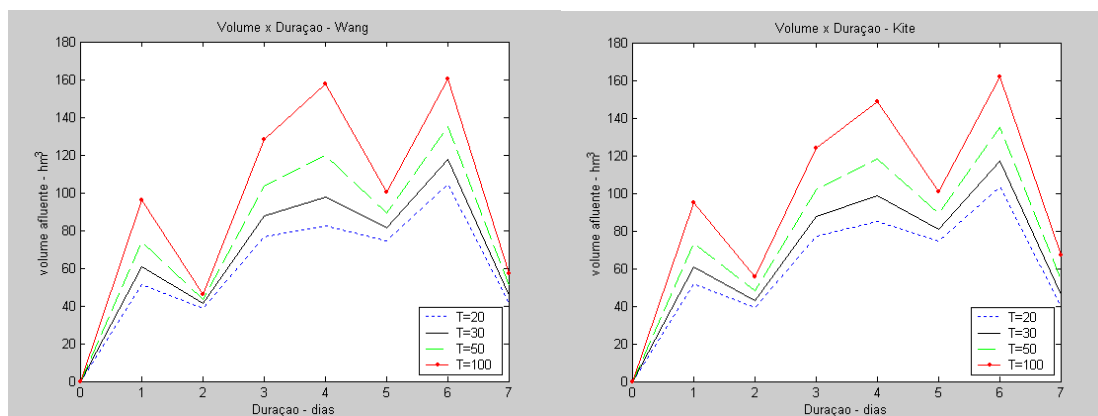


FIGURA 15.2.13.1 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Wang e Kite.

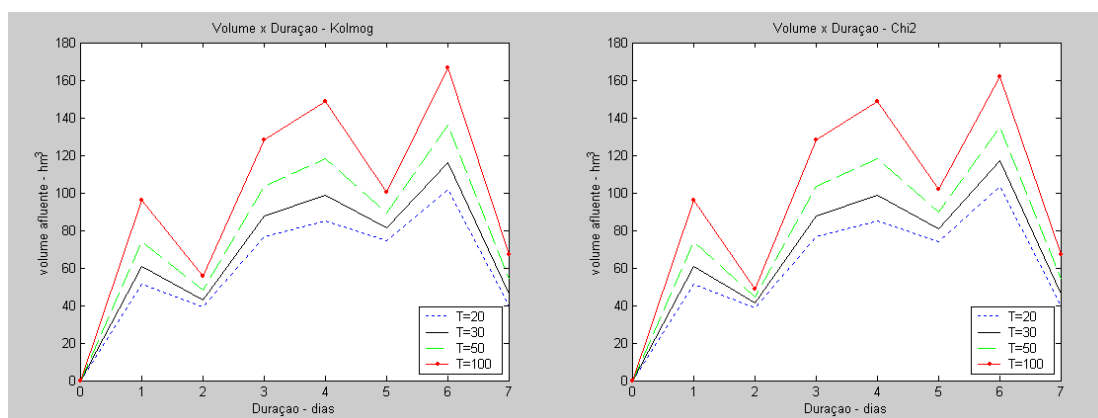


FIGURA 15.2.13.2 Graficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Kolmog e Chi².

1.2.13. Estação Morretes (82170000)

Com a determinação dos volumes máximos afluentes ajustados pela GEV, obteve-se os gráficos volume x duração, utilizando os testes probabilísticos wang, kite e komolog, como mostram as Figuras 15.2.14.1 e 15.2.14.2.

Verifica-se que nesta estação os dados ajustados possibilitam através de um ajuste matemático construir a curva volume x duração da maneira mais adequada.

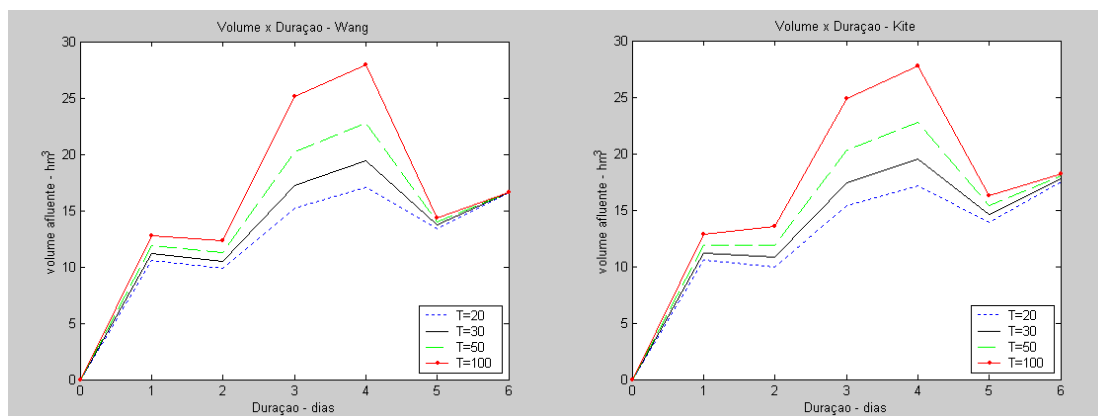


FIGURA 15.2.14.1 Gráficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Wang e Kite.

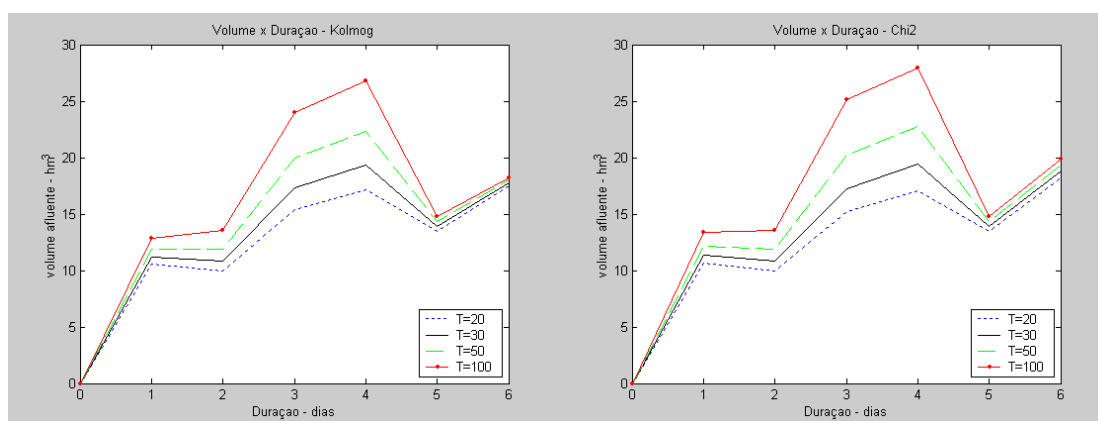


FIGURA 15.2.14.2 Gráficos Volume x Duração para diferentes períodos de retorno, através da Distribuição GEV associada os momentos Lh Kolmog e Chi².

1.3. Curva Volume x Duração

Objetivando a construção das curvas volume x duração utilizou-se o software *Matlab* para a obtenção de uma função quadrática, para assim obter a curva

volume x duração ajustada. Estas foram obtidas para os períodos de retorno de 50 e 100 anos, com base nos diferentes testes probabilísticos utilizados para o ajuste da distribuição GEV.

1.3.1. Estação Andirá (64370000)

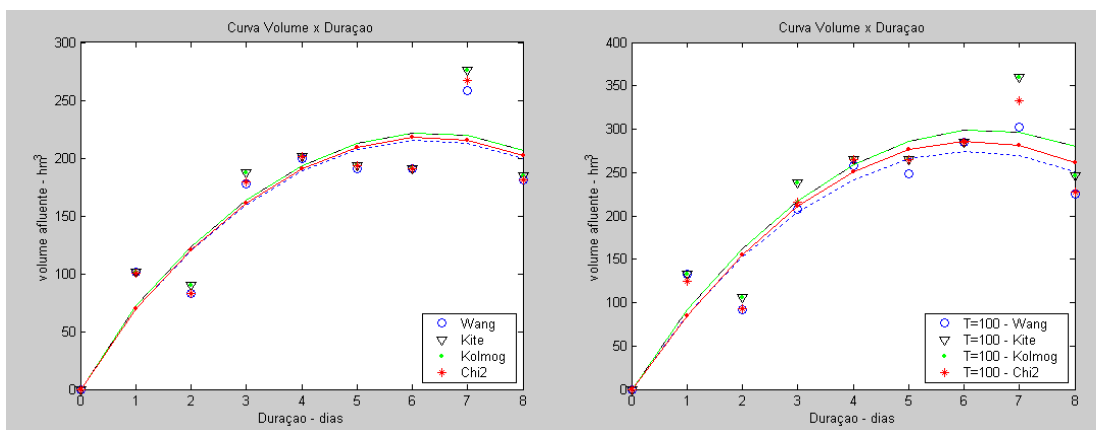


FIGURA 15.3.1.1 Curva Volume x Duração para período de retorno de 50 e 100 anos.

1.3.2. Estação Porto Santa Terezinha (64390000)

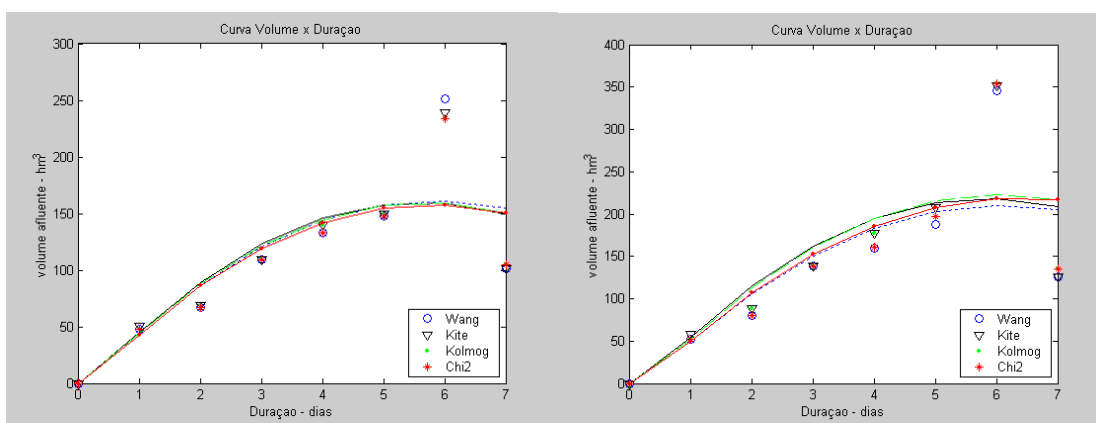


FIGURA 15.3.2.1 Curva Volume x Duração para período de retorno de 50 e 100 anos.

1.3.3. Estação Tibagi (64465000)

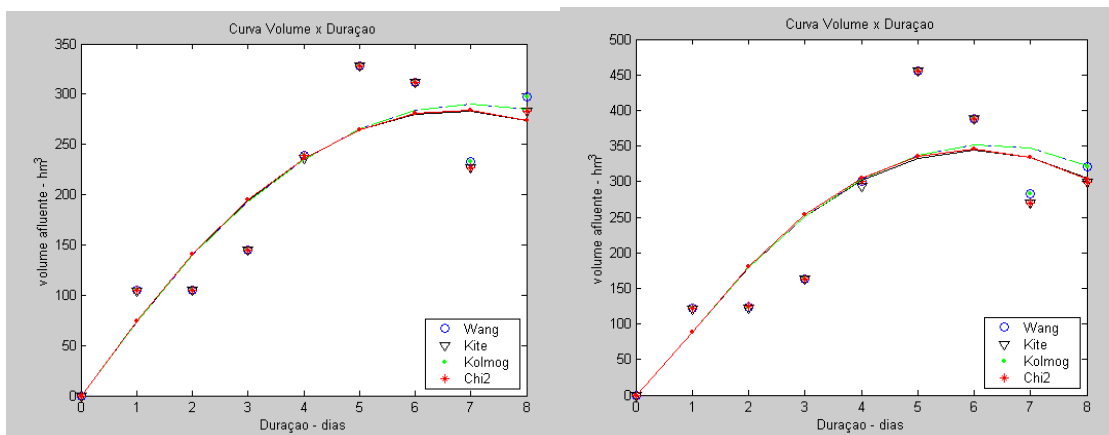


FIGURA 15.3.3.1 Curva Volume x Duração para período de retorno de 50 e 100 anos.

1.3.4. Estação Jataizinho (64507000)

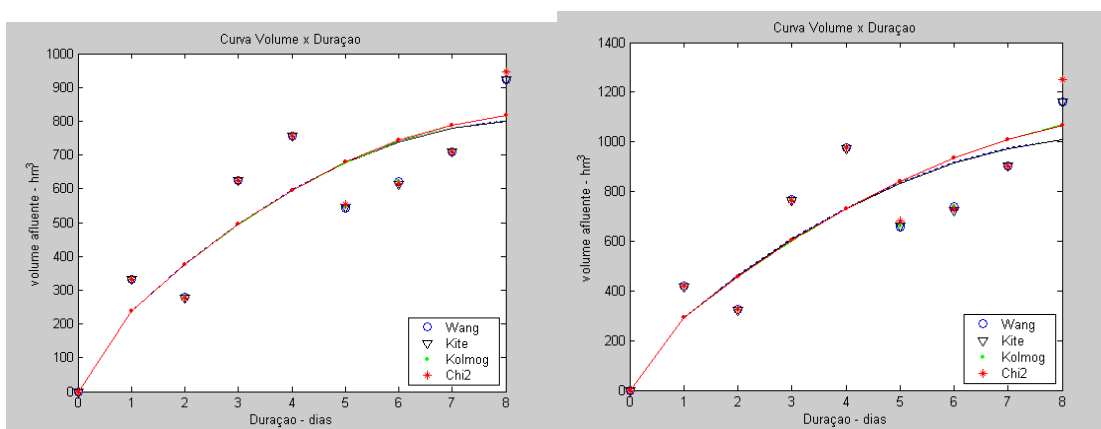


FIGURA 15.3.4.1 Curva Volume x Duração para período de retorno de 50 e 100 anos.

1.3.5. Estação Rio dos Patos (64620000)

Nesta estação o ajuste matemático através de um polinômio de 2º grau não se mostra como o mais adequado para a construção da curva volume x duração.

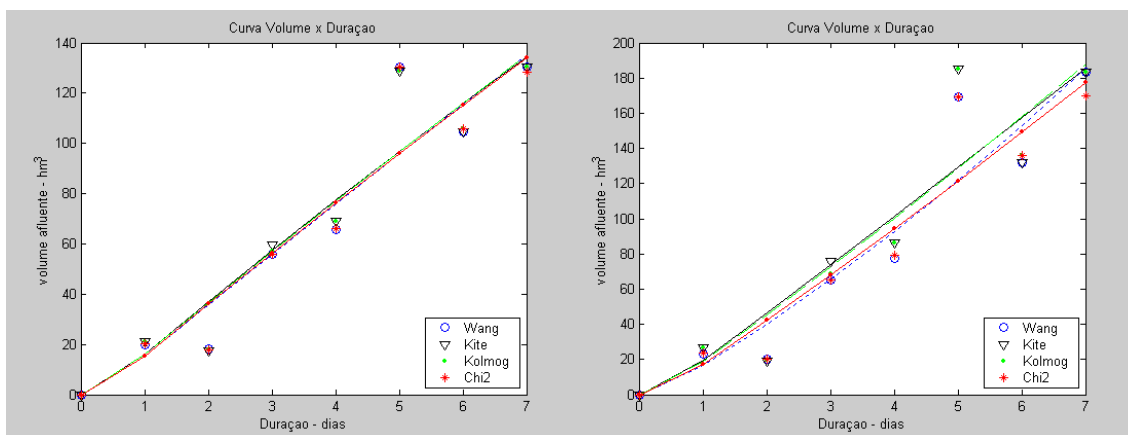


FIGURA 15.3.5.1 Curva Volume x Duração para período de retorno de 50 e 100 anos.

1.3.6. Estação Salto Sapucaí (64790000)

Nesta estação o ajuste matemático através de um polinômio de 2º grau não se mostra como o mais adequado para a construção da curva volume x duração.

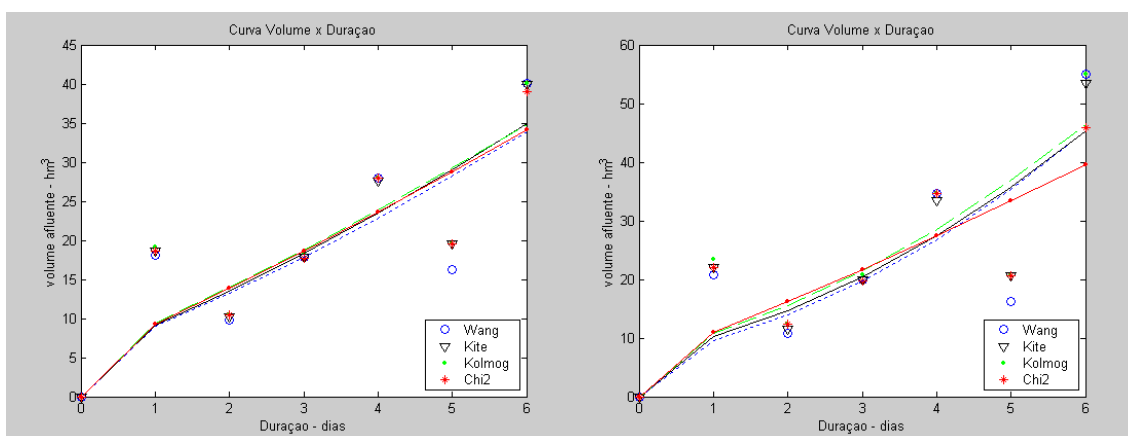


FIGURA 15.3.6.1 Curva Volume x Duração para período de retorno de 50 e 100 anos.

1.3.7. Estação Guaira (648430000)

Nesta estação o ajuste matemático através de um polinômio de 2º grau não se mostra como o mais adequado para a construção da curva volume x duração.

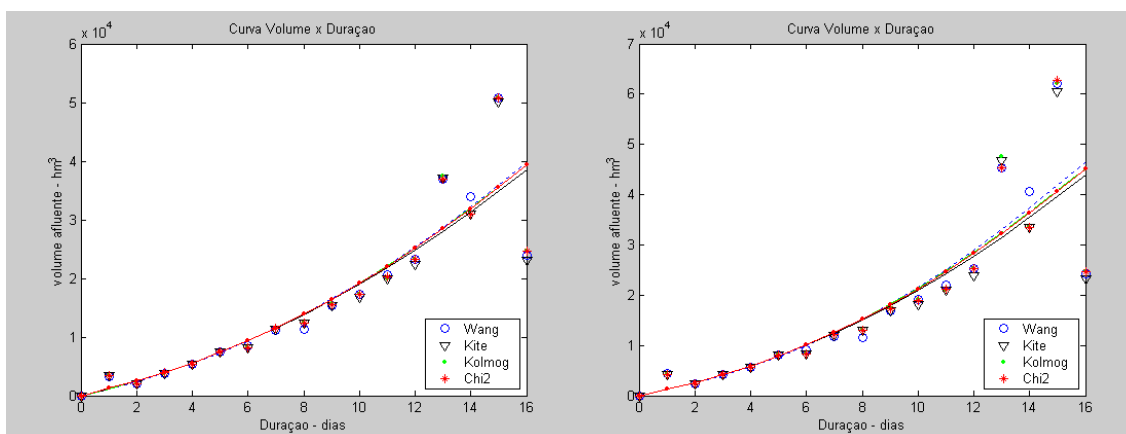


FIGURA 15.3.7.1 Curva Volume x Duração para período de retorno de 50 e 100 anos.

1.3.8. Estação Porto Amazonas (65035000)

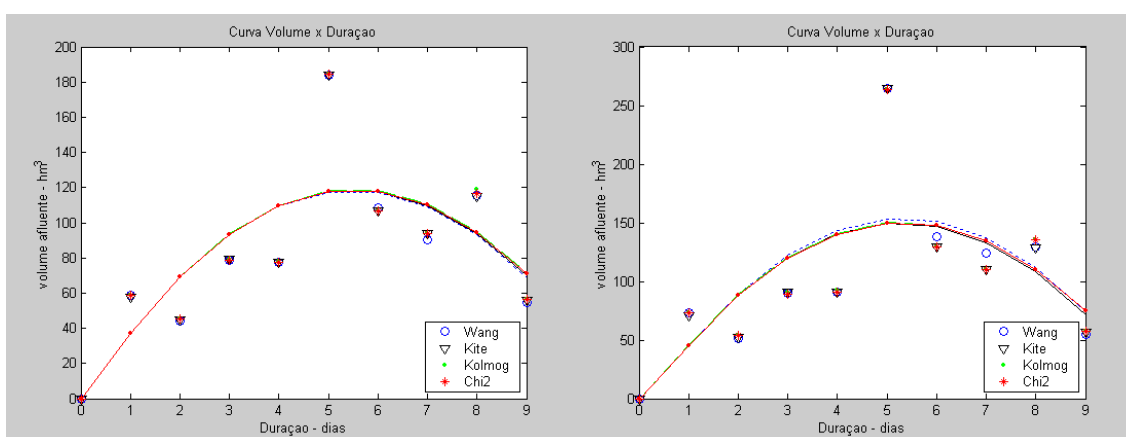


FIGURA 15.3.8.1 Curva Volume x Duração para período de retorno de 50 e 100 anos.

1.3.9. Estação São Mateus do Sul (65060000)

Nesta estação o ajuste matemático através de um polinômio de 2º grau não se mostra como o mais adequado para a construção da curva volume x duração.

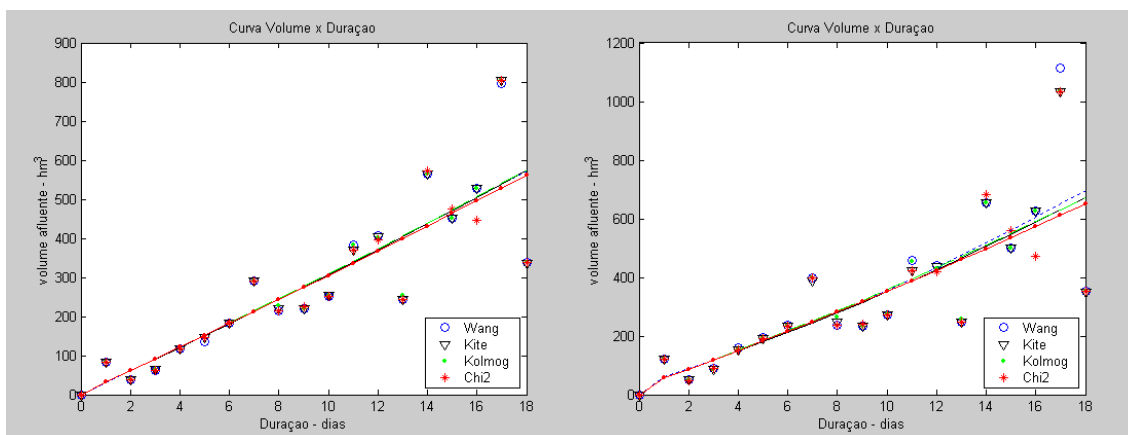


FIGURA 15.3.9.1 Curva Volume x Duração para período de retorno de 50 e 100 anos.

15.3.10.1 Curva Volume x Duração para período de retorno de 50 e 100 anos.

1.3.10. Estação São Bento (65155000)

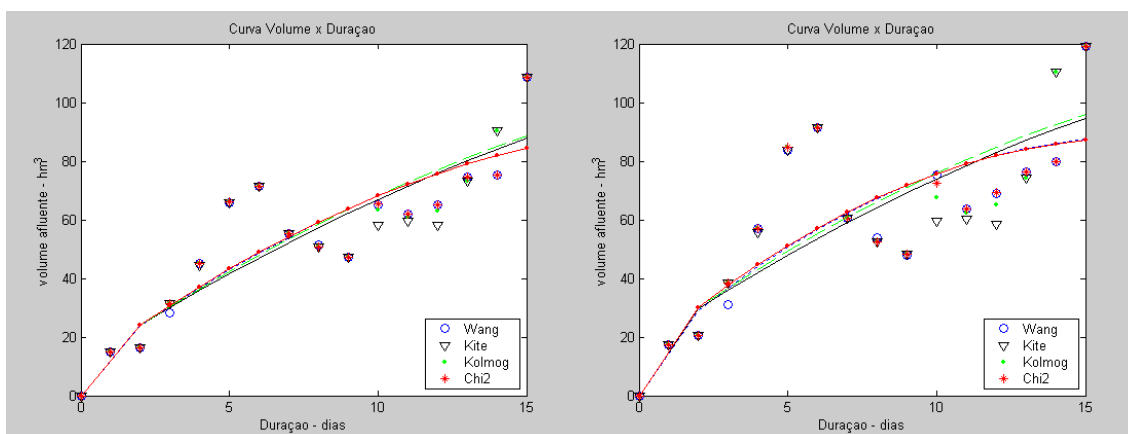


FIGURA 15.3.11.1 Curva Volume x Duração para período de retorno de 50 e 100 anos.

1.3.11. Estação Turvo(81125000)

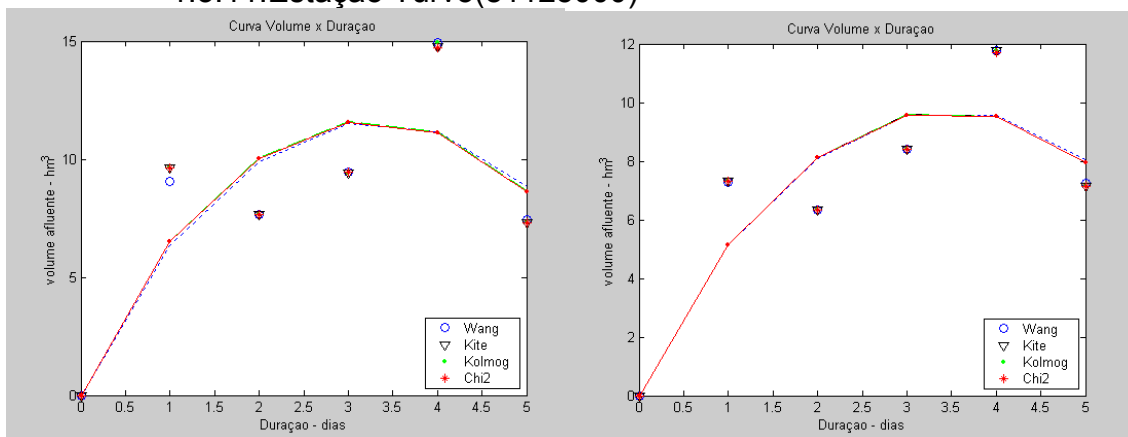


FIGURA 15.3.12.1 Curva Volume x Duração para período de retorno de 50 e 100 anos.

1.3.12. Estação Balsa do Cerro Azul (81135000)

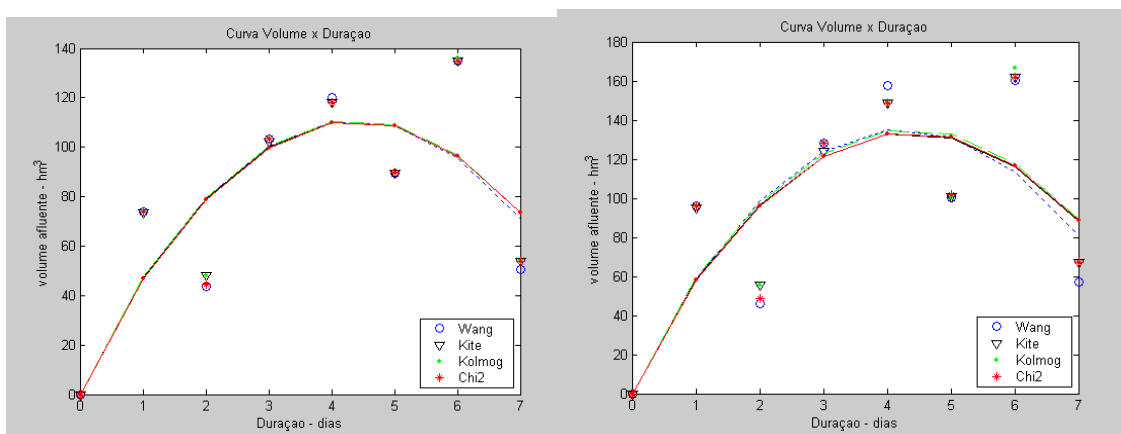


FIGURA 15.3.13.1 Curva Volume x Duração para período de retorno de 50 e 100 anos.

1.3.13. Estação Morretes (82170000)

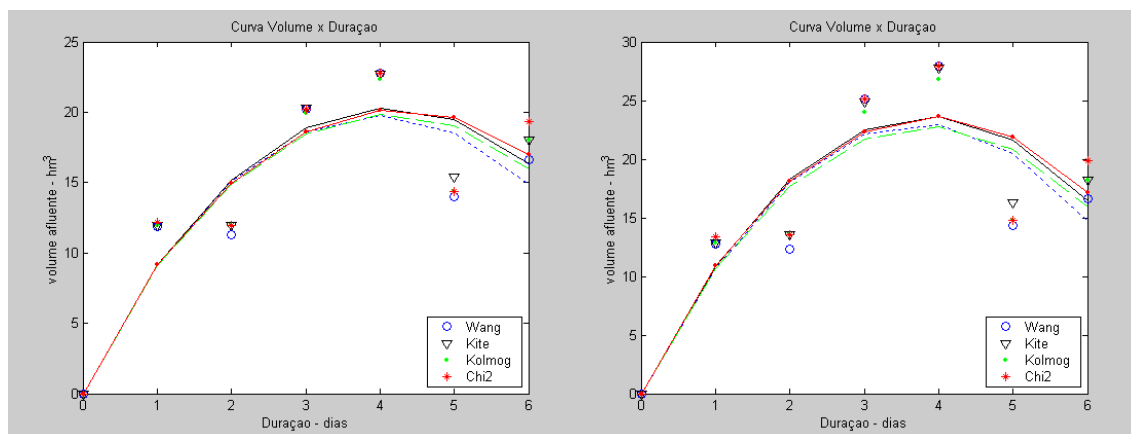


FIGURA 15.3.14.1 Curva Volume x Duração para período de retorno de 50 e 100 anos.