

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

I. P. H.

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO

AVALIAÇÃO DA ALTERAÇÃO DO ESCOAMENTO DEVIDO
AO EFEITO ESTUFA NA BACIA DO RIO URUGUAI

Augusto Renato RIBEIRO DAMIANI

Dissertação de mestrado

ORIENTADOR: PROF. Carlos Eduardo MORELLI TUCCI

ABRIL / 1991

Porto Alegre - Rio Grande do Sul
BRASIL

RESUMO

O quadro atual do desenvolvimento humano tem levado um grande número de pesquisadores a preverem a modificação do clima, devido ao incremento do efeito estufa. Alguns modelos GCMs (Global Climate Models) têm previsto o aquecimento de 1.5° a 5°C para o cenário de duplicação da quantidade de CO₂ na atmosfera, prognóstico para a metade do próximo século. Estes modelos apresentam várias limitações de discretização e formulação do comportamento do globo, o que leva muitos pesquisadores a contestarem seus prognósticos.

Este trabalho aborda os seguintes aspectos: O primeiro refere-se à análise dos resultados dos GCMs, disponíveis para a bacia do Rio Uruguai, avaliando sua representatividade sobre a região.

O segundo, trata de avaliar o impacto da modificação do clima sobre a bacia do Rio Uruguai. Com o modelo hidrológico IPH II, pode-se construir funções hidrológicas, a partir dos resultados, e assim avaliar a modificação potencial do clima sobre o escoamento, o que permitirá anteciper e especular sobre as possíveis modificações minimizando seu possível impacto.

Esta metodologia foi aplicada sobre oito sub-bacias representativas da bacia do Rio Uruguai.

Verifica-se que o modelo GISS é o que melhor representa as características climáticas sobre a bacia, indicando também entre seus impactos a redução das vazões e da disponibilidade hídrica da bacia.

AGRADECIMENTOS

Expresso meus agradecimentos:

Ao Professor Carlos E. M. Tucci, pela orientação e incentivo durante a realização desta dissertação.

Aos professores e funcionários do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), pelo apoio proporcionado durante meus estudos de Mestrado.

Ao Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), à Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) e Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul (IPAGRO) pelos dados hidrológicos e climáticos cedidos para o estudo.

Ao Environmental Protection Agency (EPA) pelos dados dos GCMs, fornecidos.

À Coordenadora de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), e ao Conselho Nacional de Ciências e Tecnologia (CNPq), pela bolsa de estudo concedida.

Aos meus pais, e esposa pela solidariedade e apoio neste período.

A todas as pessoas que pelas mais diversas formas proporcionaram as condições necessárias para a realização deste trabalho.

À Gisele, pela solidariedade, companheirismo, apoio
e carinho durante o desenvolvimento deste trabalho.

SUMARIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 OBJETIVOS, RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVA	2
2. MODELOS NA PREVISÃO DO CLIMA	4
2.1 EFEITO ESTUFA	4
2.2 MODELOS 'GCMs'	6
2.3 MODELOS PRECIPITAÇÃO-VAZÃO	13
2.3.1 MODELOS	13
2.4 IMPACTOS DA MODIFICAÇÃO CLIMÁTICA SOBRE OS RECURSOS HIDRÍCOS	18
3. METODOLOGIA DE QUANTIFICAÇÃO DAS MODIFICAÇÕES DO CLIMA	21
3.1 ESTRUTURA METODOLÓGICA	21
3.2 MODELOS GCMs	21
3.3 MODELO HIDROLÓGICO IPH II	22
3.3.1 DESCRIÇÃO DO MODELO	22
3.3.2 ESTIMATIVA DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA DO MODELO HIDROLÓGICO	30
3.3.3 ESTIMATIVA DOS CENÁRIOS	32
3.4 REGIONALIZAÇÃO DE FUNÇÕES HIDROLÓGICAS	33
3.4.1 CRITÉRIOS DE AMOSTRAGEM DAS BACIAS	33
3.4.2 FUNÇÕES HIDROLÓGICAS	34
3.4.3 METODOLOGIA DE REGIONALIZAÇÃO	35
4. RESULTADOS	42
4.1 BACIA DO RIO URUGUAI	42
4.2 BACIAS SELECIONADAS	43

4.3 AVALIAÇÃO DOS MODELOS GCM	49
4.4 AJUSTE E VERIFICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO	66
4.5 REGIONALIZAÇÃO DOS VALORES HISTÓRICOS	68
4.6 ESTIMATIVA PARA O CENÁRIO DE 2XCO ₂	77
4.7 REGIONALIZAÇÃO DOS VALORES ESTIMADOS	85
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	97
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
7. ANEXOS	112
7.1 ANEXO A - Funções estatísticas da série	113
7.2 ANEXO B - Hidrogramas mensais da série	138
7.3 ANEXO C - Hidrogramas mensais da série modificada	148
7.4 ANEXO D - Funções estatísticas da série modificada	167

1. INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

O uso dos recursos hídricos têm se intensificado com o desenvolvimento econômico. Nesta busca crescente do atendimento de suas necessidades a sociedade tem utilizado de maneira irracional os recursos hídricos existentes. Exemplo disto são os aproveitamentos desenvolvidos de forma a atender somente uma finalidade.

Agravando ainda mais este cenário, existe a possibilidade de alterações nestes recursos devido à mudanças no clima do planeta. Resultado do aumento do efeito estufa. Essas mudanças podem ser distinguidas das variações aleatórias nas séries temporais estacionárias. (Klemes, 1974; Lettenmaier e Burges, 1978).

A industrialização crescente do planeta, associada ao desmatamento de grandes áreas por queimadas, tem levado a liberação cada vez maior de gases para a atmosfera, em especial dióxido de carbono, metano, clorofluorcarbonos, óxido nitroso e o Ozônio.

Mantida a atual tendência, na metade do próximo século o CO₂ na atmosfera será acrescido em 34 % (Jenne, 1989). Este aumento dos gases poderá produzir alterações nas principais variáveis climáticas, tais como a temperatura e a precipitação. No passado, outras alterações no clima ocorreram devido alterações de órbita e do eixo de rotação da terra.

Este quadro provocará alterações diretas sobre os recursos hídricos, tais como: a modificação das características das estiagens, a qualidade d'água, a capacidade de regularização, o potencial energético dos aproveitamentos existentes, bem como alteração da característica das cheias.

A quantificação do impacto das modificações climáticas no escoamento envolve dois tipos de modelos: Os modelos Globais do Clima (GCMs), que procuram simular os processos que afetam o clima e suas iterações; e os modelos hidrológicos, ditos 'precipitação-vazão' que transformam estas variáveis climáticas em escoamento.

Os modelos GCMs consideram a parte do ciclo hidrológico retratada nos modelos "precipitação-vazão", mas a estrutura de cálculo é simplificada. As variáveis mais confiáveis previstas pelos modelos Globais são a temperatura e a precipitação (nesta ordem). Esses modelos apresentam ainda várias limitações, devido a grosseira discretização e o desconhecimento científico da quantificação da iteração de alguns processos.

O prognóstico destes modelos ainda possui razoável controvérsia (Molion, 1991), mas é necessário que os cenários previstos sejam quantificados mesmo com limitações, para que medidas preventivas possam ser planejadas no cenário do uso dos recursos hídricos.

1.2 OBJETIVOS, RELEVANCIA E JUSTIFICATIVA

Considerando os últimos resultados da previsão de aquecimento do globo terrestre, devido a liberação de CO₂ e outros gases, a modificação da precipitação e temperatura poderão produzir um impacto direto sobre o escoamento e em consequência sobre a economia regional e global.

Os objetivos deste estudo são:

→ Analisar os resultados dos modelos GCMs disponíveis para a bacia do Rio Uruguai, avaliando sua representatividade sobre a região, visto a grande contestação existente sobre a capacidade dos GCMs em prever com exatidão as modificações climáticas.

⇒ Avaliar o impacto da modificação do clima sobre a bacia do Rio Uruguai.

No âmbito regional da bacia do Rio Uruguai os resultados obtidos permitem avaliar a modificação potencial do clima sobre o escoamento e sobre as funções hidrológicas, utilizadas pelos planejadores em diferentes projetos. Envolvendo a produção de alimentos, energia, abastecimento d'água, capacidade de diluição e a biota isto é, os efeitos ao ecossistema. Este tipo de resultado, mesmo sujeito a limitações, permite antecipar as modificações minimizando seu possível impacto, através de medidas corretivas.

2. MODELOS NA PREVISÃO DO CLIMA

2.1 EFEITO ESTUFA

Existem fatores naturais que podem modificar o balanço entre a energia absorvida e a emitida pela terra e, em consequência o clima global. Alguns fatores são decorrentes do comportamento solar, de pequenas variações da órbita terrestre, e do efeito estufa.

O efeito estufa é a propriedade atmosférica que permite que as ondas-curtas passem facilmente pela atmosfera, mas que as ondas-longas emitidas pela terra, devido ao aquecimento da superfície, sejam parcialmente absorvidas pelo vapor d'água e demais gases que compõem a atmosfera, aquecendo o ambiente.

O mecanismo formador do clima, bem como suas características, baseia-se numa troca de energia : o sol emite energia em ondas-curtas (short-wave) visíveis, sendo 1/3 refletida e o restante absorvido pela atmosfera, oceano, gelo, continente e biota. Parte da energia do planeta é emitida em ondas longas (long-wave) invisíveis, infravermelhas e com magnitude definida pela temperatura da terra. Na média existe um balanço entre as ondas solares absorvidas e emitidas pela terra, mas com o aumento da concentração de gases, a atmosfera torna-se um obstáculo a sua passagem, provocando um desequilíbrio e o aquecimento do globo, intensificando o efeito estufa. Outros fatores também provocam tal efeito, como a redução do albedo (reflexibilidade), a desertificação ou desflorestamento e os aerossóis.

Os principais gases que contribuem neste processo são o CO₂ (dióxido de carbono) com 49%, CH₄ (metano) com 18%, N₂O (óxido nitroso) com 6%, CFC (clorofluorcarbono) com 14% e outros 13% para outros gases. (Hansen et alii, 1988)

A maior parte do CO₂ é devido a combustão de combustíveis fósseis e ao desmatamento por queimadas. A concentração de CO₂ em 1958 era de 315 ppm passando em 1983 para 342 ppm. Esta concentração é absorvida pela atmosfera e pelos oceanos.

É importante mencionar que o efeito estufa é benéfico para o planeta pois gera condições que permitem a existência da vida como é conhecida. Caso o efeito estufa não existisse ocorreria uma redução de 33°C da temperatura média. (Molion, 1991)

A previsão do tempo somente possui resultados aceitáveis para alcance de horas ou dias, isto é, para prever-se uma tormenta não se pode avançar muito no futuro em detrimento da qualidade do prognóstico.

Diante disto, pode-se questionar o uso de modelos de clima para prognóstico da modificação do clima que envolva muitos anos à frente. A razão de serem utilizados modelos para a previsão de longo período, é de que os mesmos preservam as características estatísticas dos eventos e estabelecem uma comparação relativa de cenários dentro de uma estrutura determinística.

A quantificação do impacto da modificação climática sobre a bacia hidrográfica requer a representação dos processos que reproduzem o clima. Os modelos matemáticos que procuram retratar o clima do globo são os GCMs, associados ao modelo hidrológico, que simula as alterações do escoamento, função das variáveis climáticas tais como a temperatura e a precipitação. Esta simulação pode ser realizada de forma conjunta ou separada. Os modelos GCMs possuem uma malha de discretização muito grande, portanto, usualmente, alguns indicadores hidrológicos são utilizados no modelo de clima e o processo 'precipitação-vazão' é tratado separadamente.

A seguir é apresentada uma introdução dos modelos GCMs e uma breve revisão dos modelos 'precipitação-vazão'.

2.2 MODELOS "GCMs"

O modelo do clima é um sofisticado programa de computação que envolve as equações que descrevem os processos de modificação, de vento, pressão, temperatura, entre outros, na atmosfera.

Os modelos de clima retratam o conjunto do clima do globo. Inicialmente foram desenvolvidos versões uni e bi-dimensionais, horizontais e verticais, que permitem a análise de alguns componentes do clima. Atualmente os modelos tri-dimensionais, são ditos GCMs, (Global Climate Models).

Segundo Jenne, 1989, 1990 alguns dos principais modelos são:

GISS - Goddard Institute for Space Studies, New York

GFDL - Geophysical Fluid Dynamic Laboratory of NOAA, at Princeton

CCM - Community Climate Model of NCAR, National Center of Atmospheric Research.

OSU - Oregon State University, Corvallis

UKMO - United Kingdom Meteorological office.

→ Os modelos procuram representar os processos envolvidos, através da média de longo período das seguintes variáveis envolvidas: Temperatura superficial do ar; Precipitação total; Velocidade média do vento; Radiação solar incidente na superfície; Totais de nuvens (nebulosidade); Umidade relativa do ar; Evaporação e Pressão ao nível do mar. Jenne(1989) menciona que em 1982 o modelo GISS utilizou 19 variáveis na simulação.

Estrutura básica:

Os principais aspectos da estrutura dos modelos são:

Energia Solar: Os modelos possuem uma constante solar de intensidade média de radiação solar sobre a terra, antes da entrada na atmosfera. Esta constante é obtida por medições de satélites sendo igual a 1367 w/m^2 . O fluxo de energia, devido a radiação solar em dias claros próximo ao nível do mar, é de 1000 w/m^2 . O brilho do sol e a capacidade das nuvens em refletir variam com a latitude e estação do ano. Para descrever o processo, com maior precisão, os GCMs incluem nuvens, vapor d'água e a radiação na simulação.

Discretização: Os modelos procuram representar a superfície do globo através de uma discretização em "caixas" sobre uma malha (grid), que variam de 250 a 1000 km de lado e altura de 1 a 5 km. Toda a variabilidade dos processos e da física do sistema, como o relevo e tipo de cobertura do solo, são representados por um valor médio.

Diante disto, a topografia da superfície terrestre não pode ser avaliada em detalhe, dificultando a avaliação de certas elevações, aspecto importante pois a topografia pode ocasionar chuvas rápidas próximo de serras e vales.

Os dois modelos GISS e GFDL, usam uma discretização vertical com 9 níveis a partir da superfície, enquanto o OSU possui somente duas. O modelo UKMO utiliza 11 níveis além da superfície e o modelo CCM apresenta 18 níveis verticais.

Superfície: A diferenciação de categorias de superfície terrestre entre continente, água e gelo, somente é efetuada pelo modelo GISS, que as trata separadamente, totalizando os efeitos ao final da simulação.

Discretização temporal ou ciclo diário: Pode ser dito que os modelos que marcam a latitude do sol ao amanhecer e ao por do sol são poucos. Os modelos GISS, CCM e UKMO apresentam tal característica.

Os modelos que não utilizam o ciclo diário na simulação apresentaram os seguintes resultados, quando comparados:

- *Para baixas latitudes no inverno observou-se a superfície 10°C mais quente;

- *No verão a maior parte da superfície aquece-se em latitudes altas;

- * A sensibilidade ao fluxo de calor é mais alta no inverno e baixa no verão;

- * A precipitação incrementa-se alguns mm/dia;

- * A pressão ao nível do mar baixou;

- * Próximo ao Equador existe um incremento em 50% em baixas nuvens.

Apesar das diferenças, estes modelos procuram através de adaptações internas, obter os melhores resultados, buscando assim suprir esta deficiência. É importante mencionar, que para um mesmo modelo, existem diferenças entre cenários, considerando ou não os ciclos, Rind, GISS, 1988 apud por Jenne, 1989.

Fornecer uma precipitação média na malha, usualmente é um número muito pequeno, ao ponto que os totais tendem a ser absorvidos pelo solo e/ou evaporados, o que gera pequenos escoamentos. O uso destas informações sobre discretização, superfície, topografia, discretização temporal podem ser úteis para aproximar no espaço e na escala de tempo a precipitação em cada ponto da malha (grid), melhorando a qualidade das estimativas.

Nuvens: Pode-se mencionar o efeito das nuvens, estas

distinguem-se entre as altas e baixas nuvens, cuja função está em descrever parte das trocas de energia que ocorrem na atmosfera, devido ao seu poder de refletor, e sua capacidade de aquecer ou resfriar a terra. Em alguns testes com o modelo GFDL para verificar a sensibilidade das nuvens, este mostrou que para a versão de $2\times\text{CO}_2$ há um aquecimento de 3°C do planeta (Ramanathan em 1988 apud por Jenne, 1989). Menciona-se também que a sensibilidade das nuvens em gerar o efeito estufa é cerca de 100 vezes maior que o incremento de CO_2 .

Limitações dos GCMs: Existem limitações associadas aos modelos GCMs, a maior delas está com a baixa resolução espacial dos modelos. A segunda limitação está na simplificação de como os GCMs tratam os fatores físicos.

Dentro ainda das limitações, os GCMs necessitam de vários dias de CPU em grandes computadores do tipo Cray, para uma simulação completa, que também é fator determinante na sua precisão. Os modelos limitam-se ainda por:

- * Não possuem formas para explicar com precisão a função climática dos oceanos e nuvens;

- * Não é compreendido e explicado o papel dos vulcões na formação do clima;

- * Como interpretar o papel do gelo polar e do oceano na variação do nível dos mares.

- * Não existir precisão suficiente para avaliar o impacto na análise de valores extremos;

- * As alterações regionais não correspondem necessariamente às alterações globais;

- * A estimativa da modificação do clima ser incompleta, pois o aquecimento ou não, não é um fenômeno homogêneo. (Schneider e Rosemberg, 1989), (IPCC, 1990).

Dentro disto algumas características das tormentas somente

podem ser avaliadas por métodos estatísticos.

Cenários: Para que seja possível avaliar os impactos da modificação do clima no futuro, deve-se estabelecer cenários possíveis de ocorrer.

Existem três hipóteses para estabelecer os cenários futuros: i) Mudanças arbitrárias, ii) Analogias a aquecimentos passados, iii) Metodologia dos GCMs.

O uso de mudanças arbitrárias, têm como função avaliar a sensibilidade de algumas variáveis dentro do processo, não sendo utilizada para avaliar a magnitude dos impactos. A analogia à aquecimentos passados está sendo utilizada na União Soviética, definida como a técnica Paleoclimática, baseada em períodos anteriores de aquecimento do globo. Deve-se considerar que algumas alterações climáticas do passado foram devidas à mudanças do eixo terrestre e não devido a concentração de gases.

A terceira hipótese, definida pelos GCMs tem se baseado na existência de dois cenários, isto é, 1XCO₂ condição atual, e 2XCO₂ condição futura para a duplicação da concentração de dióxido de carbono, estimada a partir da tendência atual de emissão de gases na atmosfera. Existem ainda versões transientes (transient) que consideram a existência de estágios intermediários, isto é, há um incremento década a década até ser atingido a concentração de 2XCO₂. Alguns estudos prevêm que esse acréscimo na concentração de dióxido de carbono, tendo por base 1983-2050 será próximo de 34%, como também que haverá diferenciação entre os pólos e trópicos. (IPCC, 1990). Os cenários prevêm uma estimativa de modificação e não previsões climáticas.

A sensibilidade dos GCMs é definida pela temperatura, medida frequentemente pela temperatura superficial do ar para 1XCO₂ e pela média global quando for 2XCO₂.

Resultados obtidos: A verificação das características bem como os diagnósticos globais, ficam mais evidentes na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Quadro resumo, Jenne (1990)

GCMs	Período	Resolução modelos (lat X lon)	Níveis	Ciclo Diurno	1XCO ₂ (ppm ₂)	ΔT_{oC} 2XCO ₂	increm. Precip.
GISS	1982	7.83 X 10°	9	sim	315	4.2	11%
GFDL	84-85	4.44 X 7.5°	9	não	300	4.0	8.7%
OSU	84-85	4.0 X 5.0°	2	não	326	2.84	7.8%
GISS*	84-85	7.83 X 10°	9	sim	315	-	-
GFDL**	fev88	4.44 X 7.5°	9	não	300	4.0	8.3%
UKMO	jun86	5.0 X 7.5°	11	sim	320	5.2	15%

* modelo vesgo transiente
** sem considerar o oceano.

A qualidade dos prognósticos esta vinculada às limitações dos modelos existentes. Existe a necessidade de uma resolução de 2° de latitude por longitude para se obter valores médios mais representativos, com isso os totais mensais serão mais confiáveis. Para tanto, Jenne (1990) apresenta que estão sendo desenvolvidas versões dos GCMs: GFDL e UKMO de alta resolução sendo de 2.22° x 3.75° e 2.50° x 3.75° respectivamente.

A avaliação da intensidade da precipitação deve ser minuciosa, devido a suas limitações, pois a estimativa errônea em um dado local pode ocasionar grandes diferenças nos GCMs, seja um centímetro em 5 minutos ou 2 horas. Os mesmos geralmente carregam algumas variáveis que traduzem a estabilidade atmosférica, ou separam os totais de precipitação convectivas, buscando contornar tal problema.

Smith e Tirpak (1988), apresentaram a comparação entre os

resultados do GISS e o CCM, para algumas regiões norte-americanas, num total de quatro para cada modelo. Os autores concluíram que ambos os modelos subestimam a precipitação, sendo que o modelo GISS produz valores extremos durante o inverno. Já o CCM apresentou uma distribuição uniforme entre as quatro estações, isto para todos os locais.

Os modelos perdem certa qualidade e confiabilidade, por não conseguirem representar fielmente a função das nuvens na composição do efeito estufa, bem como não representam as trocas existentes entre atmosfera e oceanos.

Prognósticos dos cenários: A partir dos cenários estimados pelos modelos GCMs, pode-se mencionar alguns resultados:

São previstas mudanças no nível dos mares entre 30 e 200 cm, erosões regressivas nas praias entre 100 e 200 m, aumento da salinidade (Arrhenius S. (1986) apud por Titus 1990 e IPCC, 1990).

Alguns estudos estimam que o nível dos mares varie entre 0.3 a 0.5 m em 2050 com um aquecimento médio entre 0.2 e 2.5°C. (IPCC, 1990).

Mitchell et alii (1989) comentam que para o modelo UKMO há variação de energia e temperatura na atmosfera para diferentes latitudes.

Rind et alii (1990) acreditam que o aumento das estiagens está muito ligado a maneira como funciona o processo de evapotranspiração, e apresentam estudo com o modelo GISS.

IPCC (1990), faz uma estimativa que para estabilizar ao nível de hoje as concentrações dos gases e com isso o aquecimento, precisar-se-á reduzir a emissão em 60% de CO₂, N₂O e CFCs e 15-20%

CH₄, reduzindo os impactos futuros, isto equivale a uma redução gradual de 1 a 2% ao ano na emissão dos gases, para a estabilização no século XXI.

2.3 MODELOS PRECIPITAÇÃO - VAZÃO

2.3.1 MODELOS

Os modelos 'precipitação-vazão' procuram representar os processos de parte do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e o escoamento em bacias hidrográficas. Estes modelos podem representar a distribuição espacial na bacia, as perdas por interceptação, evaporação, depressão do solo, infiltração, escoamento superficial, sub-superficial, subterrâneo e no curso d'água.

Em virtude da complexidade dos fenômenos que envolvem cada processo, os modelos existentes retratam as condições médias da bacia, buscando a qualidade do hidrograma de saída. Logo, as variáveis envolvidas são analisadas segundo uma ótica global, onde valores médios são calculados em intervalos de tempo de várias horas ou dia. Com isso, os fenômenos são retratados por formulações baseadas em parâmetros empíricos que guardam somente uma relação qualitativa com as características físicas da bacia.

Para o melhor entendimento classificam-se os modelos hidrológicos em três tendências, de acordo com sua finalidade.

Modelos Conceituais:

Os primeiros modelos conceituais surgiram com o objetivo de descrever os macro-processos que envolvem o problema, procurando a aferição de pontos específicos nos rios, objetivando o dimensionamento, análise de consistência, extensão de séries, entre

outros usos. O SSARR (Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation), desenvolvido pelo U.S. Army Corps of Engineers divisão de Oregon em 1958, foi um dos primeiros modelos montados com a visão de simulação do processo 'precipitação-vazão'.

O SSARR é um modelo simples, que procura representar os processos hidrológicos com certas simplificações, que o fazem deficiente para pequenas bacias. O modelo possui um grande número de parâmetros e funções parâmetros que dificultam seu ajuste. Assim como pequeno tempo computacional. Sendo utilizado para dimensionamento de obras, e previsão de cheias. Maiores referências Tucci (1986), U.S. Army (1972) e Anderson (1969).

O modelo Stanford IV, desenvolvido em 1966, tinha o propósito de representar todos os processos possíveis na bacia, mas está ainda sujeito a um excessivo número de equações empíricas. Esquemáticamente, o modelo considera a bacia dividida em sub-bacias e segmentos, admitindo a homogeneidade espacial da precipitação e seus demais processos.

O Stanford IV propõe algoritmos para interceptação e áreas impermeáveis, infiltração, evapotranspiração e escoamento, o que nos leva a dizer que se trata de um dos mais completos modelos. Surgindo em decorrência disto sua desvantagem: o grande número de parâmetros e muito empirismo nas funções. Segundo Tucci (1986), as vantagens do modelo são: Representação de quase todos os processos envolvidos na transformação precipitação-vazão; Sua utilização em vários estudos com resultados satisfatórios; Aplicação a diferentes bacias urbanas e rurais (pequenas ou grandes). Maiores detalhes veja Crawford e Linsley, (1966).

Na linha desses modelos de macro-processos, pode ser dito que vários modelos são apresentados a partir destes, tais como o OPSET por James em 1970, que otimiza automaticamente os parâmetros do modelo anterior, o HYDROCOMP Simulation Program, desenvolvido pelo

Hydrocomp. Brown et alii (1974) apresenta modelos e métodos existentes aplicáveis a estudos urbanos.

Cita-se também o Sacramento Model (Hains, 1989), o HEC-1 Flood Hydrograph Package (U.S. Army, 1969), o Mero model e o Dawdy-O'Donnell model (Clarke, 1973).

Dentro desses modelos conceituais em 1983 foi apresentado o IPHII (Tucci et alii, 1983), com o objetivo de permitir seu uso em projetos de engenharia em bacias urbanas e rurais, sendo utilizado em diversos projetos com bons resultados. O modelo é simples, com poucos parâmetros, baseado em metodologia simples e bem conhecida, sendo próprio para bacias que não necessitem de propagação no leito principal do rio, ou então que este leito não seja importante no processo.

A partir de um dado momento os modelos começam a ser adaptados ou melhorados, buscando atender melhor seus objetivos iniciais. Neste sentido desenvolvem-se modelos com um menor número de parâmetros e mais eficientes, podemos citar que Peschke e Kutílek (1982) trazem um estudo procurando melhorar a exatidão dos modelos, pela melhor representação do processo precipitação-infiltração. Para tanto, com as equações de Darcy e Green e Ampt é desenvolvido o SMINF (Peschke e Kutílek, 1982), modelos para solos com características homogêneas, e o BLOINF (Peschke e Kutílek, 1982), baseado na equação de Kostiaikov's, quando o solo assim não o for. Na linha de modelos simplificados citamos o SMAP (Simplified Hydrologic Model) (Singh, 1982), o CLS (Constrained Linear System) apresentado por Bithin et alii (1985), que com formulações empíricas busca simplificar os modelos equacionados fisicamente.

Modelos que simulam mudanças na bacia:

Uma segunda tendência de modelos é desenvolvida procurando representar os processos físicos envolvidos na modificação do uso do solo. Foram desenvolvidos modelos ditos conceituais-físicos, distribuídos e baseados em equações físicas. Tratam-se de modelos versáteis, e utilizados para avaliar as consequências da ocupação e uso da terra pelo homem, fato que não pode ser avaliado nos modelos anteriores.

Esses modelos, em geral foram desenvolvidos para pequenas bacias rurais. Em decorrência deste objetivo, tornam-se modelos de grande número de parâmetros, funções e dados. Nesta classe está o SHE (Systema Hydrologique Européen), que foi desenvolvido conjuntamente por Danish Hydraulic Institute, o British Institute of Hydrology e SOGREAH, a partir de 1976. O modelo caracteriza-se por: Representar a variação espacial das quantidades hidrológicas; Representar a maior parte do ciclo hidrológico, de modo que ambos fisicamente e computacionalmente sejam aceitáveis; Permitir a interação entre diferentes processos, cada um mantendo suas características de escala de tempo e espaço.

Os processos representados são: Intercepção, evapotranspiração, infiltração (considerando zonas saturadas e insaturadas do solo), escoamento superficial e no canal, escoamento sub-superficial e devido ao degelo (maiores detalhes em Abbott et alii, 1986).

Neste estágio de modelos considerados com equacionamento físico são ainda citados, o USDA (Agricultural Research Service Small Watershed Model) e o IHDM (Institute of Hydrology Distributed Model), o QPBRM (Quasi-Physically Based Rainfall-Runoff Model) apresentado por Loague (1990).

Pela escassez dos dados e pelo grande tempo computacional

necessário aos modelos, modelos menos complexos têm sido utilizados buscando avaliar as mudanças do uso da terra e seus impactos sobre o balanço hídrico. O Royal Meteorological Institute of Belgim com seu modelo IRMB, fez tal análise modificando o tipo de vegetação e incrementando as áreas impermeáveis para uma bacia de cerca 114 km², fazendo algumas observações para as vazões superficiais e de base com relação a estas alterações (Bultot et alii 1990).

Em 1979, Beven e Kitzby, apresentam o TOPMODEL, um modelo que pode prever a extensão da variação de contribuição de áreas saturadas, por base na topografia da bacia e características do solo, buscando melhor representar o relevo no processo.

Modelos para objetivos específicos:

Uma terceira tendência pode ser identificada, definida pela adaptação dos primeiros modelos citados. Esta busca satisfazer objetivos específicos como a previsão em tempo real. Muitos modelos como o SSARR, IPH II e o Sacramento entre outros, foram modificados e adaptados para exercerem a função de previsão em tempo real entre outros fins.

Muitos modelos atualmente são elaborados ou melhorados com o objetivo específico. Estudos diversos são encontrados na literatura, Georgakakos e Smith (1990) apresenta para previsão em tempo real um modelo estocástico-dinâmico. Frezze (1980) estudou a influência da espacialidade das propriedades estocásticas dos parâmetros sobre o escoamento resultante da modelação, através de um modelo estocástico-conceitual. Em especial é citado que Moore (1980), apresentou a utilização de uma função ruído, que busca levar o processo 'precipitação-vazão'. Este segundo Dooge (1973), é um processo não linear para uma melhor precisão. Através de funções ruidos, incorpora a não linearidade aos modelos

'precipitação-vazão'. Também apresentado por O'Connell e Clarke, (1981).

2.4 IMPACTOS DA MODIFICAÇÃO CLIMÁTICA SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS

Fazendo integração dos tópicos anteriores, isto é, modelos de modificação climática e modelos 'precipitação-vazão', é possível construir ferramentas próprias para o estudo e avaliação das modificações potenciais do clima sobre o escoamento. Sejam eles, os impactos, devido as estimativas de cheias ou estiagens, que provocariam incrementos ou decréscimos nas demandas, em especial atenção sobre a irrigação e geração de energia, qualidade d'água em reservatórios devido ao baixo nível do mesmo, como a proliferação de algas, outros podem ocorrer sobre outros usos, bem como o agravamento dos conflitos.

Vários estudos foram realizados até o momento, algumas análises são apresentadas a seguir:

Buscando avaliar a sensibilidade de pequenas variações do clima sobre o escoamento, Schaake et alii(1989) apresentaram um modelo de balanço linear analítico e um não-linear numérico, buscando mostrar a alta sensibilidade do escoamento para com as modificações climáticas. Observou-se que para um incremento de 10% nas precipitações e evaporações potenciais, para 52 rios da região sul e sudeste dos Estados Unidos, produziu-se mudanças de 20 a 45% na vazão média anual.

A partir dos estudos e observações com os modelos GCMs alguns pesquisadores verificaram (Jenne , 1989) que quando o CO₂ é duplicado há um aumento das precipitações. Quando as temperaturas aumentam geralmente a evaporação tende a aumentar. Conclui-se desta forma que o estado de umidade do solo, o escoamento, o nível dos estuários e lagos não necessariamente aumentarão com a precipitação

na mesma proporção.

SWCC (1990), avalia pelos resultados estimados para os GCMs, as modificações na distribuição geográfica e sazonal das precipitações e evaporações e em consequência a disponibilidade e a qualidade d'água ficarão afetadas, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas, onde os impactos de uma maneira geral são maiores.

Buscando analisar os impactos do desmatamento sobre o clima, Nobre et alii (1989) apresentam os impactos para a floresta amazônica brasileira. Considerando que o desmatamento na bacia é hoje de 25000 a 50000 km² por ano e que em 100 anos levará a um desmatamento total. Diante deste quadro e com modelos de circulação atmosférica, chegaram-se aos seguintes impactos sobre as variáveis climáticas da região: Redução de 20 a 30% na precipitação; Redução de 20 a 40% na evapotranspiração; E um aumento de 1 a 3°C na temperatura da mesma.

Lettenmaier et alii (1989), apresentaram resultados da bacia de Sacramento-San Joaquin, utilizando os cenários 2XCO₂ e transiente do GISS, sobre cem anos de série diária de precipitação e temperatura. Os autores utilizam o modelo hidrológico Sacramento desenvolvido por Burnash et alii, 1973 e Burnash e Ferral, 1981 apud por Hains, (1989). O modelo tem sido aplicado em projetos como previsão em tempo real e extensão de séries, dentro da classe dos modelos de macro-processos com várias funções empíricas. As conclusões obtidas pelos autores foram as seguintes: i) O escoamento terá incremento durante o inverno e redução durante o verão e primavera; ii) As alterações anuais são menores, e não houve alterações na sazonalidade da distribuição das vazões.

Miller e Russell (1990), que com uso de modelos hidrológicos tradicionais e seis anos de séries de dados, fazem um estudo nas 33

maiores bacias (mundo), para 24 delas houve os maiores incrementos de vazão, sendo 60% em altas latitudes, e os menores em 32% para baixas latitudes. Na maior parte os incrementos foram da ordem do mesmo incremento das precipitações. Neste estudo foi utilizado uma função densidade de probabilidade para distribuir a chuva dentro da malha, isto para bacias com mais de 200 km²/ano, com bons resultados sendo que em bacias menores os resultados não foram satisfatórios.

Pode-se citar no Estado da California (U.S.A.), a utilização do modelo WRMI de balanço de massa, que com os GCMs GISS, GFDL e OSU, verificou o incremento na sazonalidade das vazões. Na cidade de Atlanta, verificou-se uma elevação de 9 % no fluxo ao lago Lanier.

Outros estudos para avaliar as consequências da alteração do clima existem. A avaliação das modificações da salinidade dos corpos d'água, devido a modificações climáticas, vem sendo realizada em especial na Baía de São Francisco na costa norte do pacífico. Muitos estudos estão sendo realizados, tais como: Avaliação das modificações de níveis e qualidade de água em lagos; Qualidade d'água em rios. Que por sua vez causam impactos sociais, econômicos e políticos que devem ser cuidadosamente enfrentados no presente, para que no futuro situações mais adversas não aconteçam. Estes estudos e outros são encontrados em EPA, (1989).

3. METODOLOGIA DE QUANTIFICAÇÃO DAS MODIFICAÇÕES DO CLIMA

3.1 ESTRUTURA METODOLÓGICA

Para estudar o impacto do clima sobre o escoamento foi adotada a seguinte metodologia:

- ⇒ Avaliação da simulação e prognóstico dos modelos GCMs;
- ⇒ Ajuste do modelo hidrológico IPH II para algumas bacias do Rio Uruguai;
- ⇒ Determinação das séries de vazões dos cenários dos modelos GCMs na bacia do Rio Uruguai.
- ⇒ Regionalização das funções hidrológicas para os cenários previstos.

3.2 MODELOS GCMs

Neste estudo serão utilizados prognósticos de três modelos GCMs¹: GISS, O GFDL, E UKMO nos cenários de 1XCO₂ e 2XCO₂.

Metodologia para avaliação dos GCMs:

⇒ Localização dos pontos na malha (modelos GCMs) sobre a bacia do Prata, nos quais esteja delimitada a bacia do Rio Uruguai, definindo os postos de coleta das informações climáticas.

¹ Os resultados dos modelos GCMs foram fornecidos pela Universidade do Colorado, dentro do projeto de pesquisa " Impactos da Modificação Climática sobre a Bacia do Prata", financiado pelo EPA.

⇒ Verificação das variáveis climáticas fornecidas pelos GCMs, e seu aproveitamento no estudo:

a) Coincidência ou correspondência entre o valor observado na região do Rio Uruguai com os valores para a mesma variável fornecida pelos GCMs.

b) Representatividade da sazonalidade das séries observadas.

⇒ Determinação das taxas médias anuais de modificação entre os dois cenários, atual e futuro, para as variáveis climáticas.

⇒ Superposição ao mapa de isoietas da bacia do Prata dos pontos dos modelos GCMs visualizando sua representatividade, a nível global no sistema da bacia do Prata como um todo, projeção do cenário futuro com base nos itens anteriores, fazendo uma análise do mesmo.

3.3 MODELO HIDROLÓGICO: IPH II

3.3.1 DESCRIÇÃO DO MODELO

Este modelo foi desenvolvido por Tucci et alii (1983), no Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com o objetivo de permitir seu uso em projetos de engenharia em bacias urbanas e rurais com bons resultados.

O modelo baseia-se num algoritmo de separação do escoamento desenvolvido por Berthelot (1970).

O modelo faz uso da equação de continuidade combinada à equação de Horton e uma função empírica de percolação. Sendo considerado um modelo do tipo concentrado (lumped model), e utiliza como entrada dados de precipitação e evaporação potencial média sobre a bacia.

O modelo é composto dos seguintes algoritmos:

Perda por evaporação e intercepção

Separação de escoamento

Propagação dos escoamentos superficial e subterrâneo

Otimização dos parâmetros.

É apresentado agora uma breve síntese do modelo, visto que uma descrição em maior detalhe pode ser encontrada em Tucci et alii (1983).

→ Perdas por evaporação e intercepção:

A evaporação potencial é retirada da precipitação quando I_{he} é inferior, caso contrário a evaporação não atendida é retirada do reservatório de intercepção, definido sua capacidade máxima R_{max} . Caso o reservatório esteja esgotado, o déficit de evaporação potencial passa a ser atendido pela água contida no solo, pela expressão:

$$Est = \frac{E_{Pt} - S_t}{S_{max}} ; \quad \alpha = 1 \quad (3.1)$$

Esta expressão foi modificada para a seguinte equação:

$$Est = E_{Pt} \cdot \text{EXP} [-\alpha(1 - S_t/S_{max})]; \quad \alpha \in [0, 1) \quad (3.2)$$

Sendo Est a evaporação do solo no tempo t , E_{Pt} é a evaporação potencial e S_t a umidade do solo, todo no intervalo de tempo t , S_{max} o teor máximo de umidade do solo e α um parâmetro da curva, veja figura 3.1.

Uma parcela da precipitação restante que escoar direto, representa as áreas impermeáveis, sem passar ao algoritmo de infiltração.

⇒ Separação do escoamento:

A infiltração é descrita pela equação de Horton

$$I_t = I_b + (I_0 - I_b) \mathcal{H}^t \quad (3.3)$$

Sendo I_t a capacidade de infiltração no tempo t , I_b a capacidade de infiltração mínima, I_0 a capacidade de infiltração para o tempo $t=0$ e $\mathcal{H} = \text{EXP}(-\alpha)$, onde α é um parâmetro empírico relacionado ao tipo de solo. A percolação na camada superior do solo T_t é dada:

$$T_t = I_b (1 - \mathcal{H}^t) \quad (3.4)$$

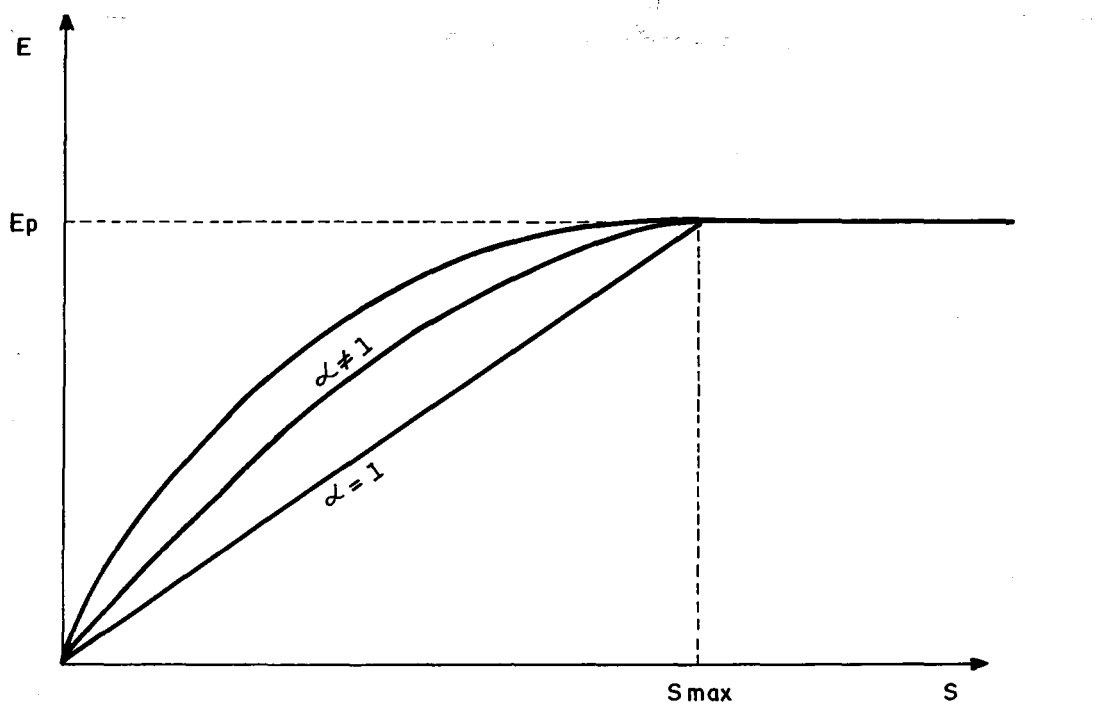


Figura 3.1: Perdas por evaporação do solo

Como a equação de infiltração somente é válida quando a taxa de infiltração é menor que a precipitação. Berthelot (1970)

apresentou a equação de continuidade concentrada aplicada a camada superior do solo, isto é:

$$\frac{dS}{dt} = I_t - T_t \quad (3.5)$$

Combinando as equações (3.3), (3.4) e (3.5) resulta:

$$S_t = a_t + b_t \cdot I_t \quad (3.6)$$

$$S_t = a_t + b_t \cdot T_t$$

onde

$$\begin{aligned} a_t &= - I_o^2 / [\ln h \cdot (I_o - I_b)] \\ a_t &= S_o \\ b_t &= I_o / [\ln h \cdot (I_o - I_b)] \\ b_t &= - I_o / (\ln h \cdot I_b) \end{aligned} \quad (3.7)$$

O armazenamento máximo é definido como:

$$S_{max} = S_o - I_o / \ln h \quad (3.8)$$

onde S_o é a lâmina de armazenamento de água no solo quando $I = I_o$.

A figura 3.2 ilustra as funções I_t e T_t como funções do tempo t e do armazenamento S_t .

→ Propagação Superficial e Subterrânea:

A propagação do volume superficial determinado no algoritmo anterior é feita até a seção principal da bacia pelo método de Clark.

Este método é composto por dois processos: o armazenamento superficial mediante um reservatório linear simples, e o efeito de translação mediante o histograma tempo-área (HTA).

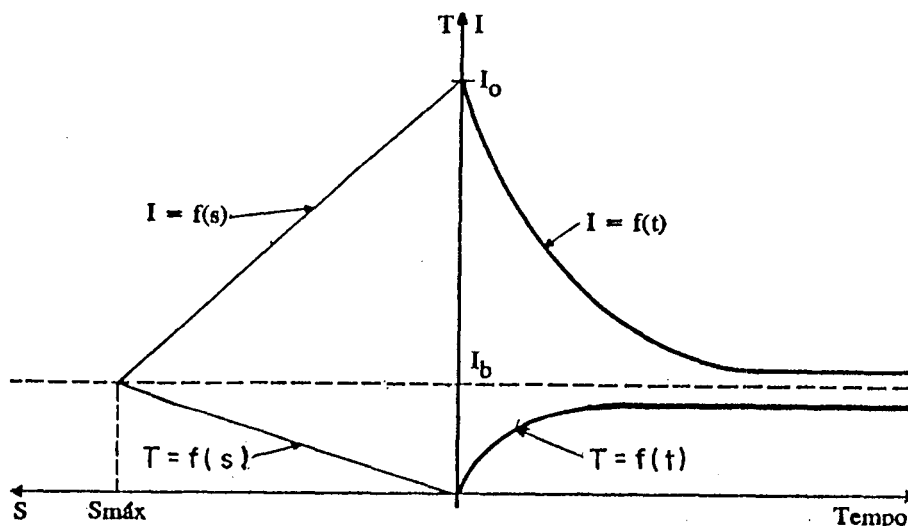


Figura 3.2: Funções do algoritmo de infiltração Tucci et al (1983)

O histograma representa os tempos diferentes com que cada parte da bacia contribui para a seção principal, e pode ser determinado pelo conhecimento detalhado da bacia ou por métodos sintéticos quando não existem informações suficientes (HEC, 1974).

O histograma tempo-área sintético é obtido admitindo-se que o tempo de percurso é proporcional à distância do ponto em estudo a seção de controle. A relação entre a área de contribuição e o tempo de percurso é dada por:

$$\begin{aligned}
 A_c &= aT^n ; & 0 < T < .5 \\
 A_c &= 1 - a(1 - T)^n ; & .5 < T < 1
 \end{aligned}
 \tag{3.9}$$

onde A_c é a área contribuinte acumulada expressa relativamente à área total, T é o tempo em unidades do tempo de concentração T_c e n o coeficiente que varia com a forma da bacia.

O histograma tempo-área é dividido em k intervalos onde as

ordenadas são:

$$f_i = (A_{ci} - A_{ci-1}) \text{ para } i=1,2,3,\dots,k \quad (3.10)$$

Como o HTA contempla unicamente a translação, aplica-se ao histograma resultante um reservatório linear simples, para levar em conta o efeito de armazenamento.

Resultando na seguinte expressão:

$$Q_t = Q_{t-1} \cdot \text{EXP}(-\Delta t/k_{sup}) + P_t \cdot (1 - \text{EXP}(-\Delta t/k_{sup})) \quad (3.11)$$

onde Q_t e Q_{t-1} são as vazões nos intervalos t e $t-1$, o segundo termo resulta da convolução de uma precipitação efetiva com o HTA o que resulta na P_t , e k_{sup} é um parâmetro do modelo.

A propagação subterrânea é dada pela expressão anterior substituindo o k_{sup} por k_{sub} e P_t pelo volume percolado V_p , quando o volume percolado for muito pequeno a equação fica:

$$Q_t = Q_{t-1} \cdot \text{EXP}(-\Delta t/k_{sub}) \quad (3.12)$$

que é a equação de depleção.

Parâmetros:

Os parâmetros utilizados pelo modelo que necessitam ser ajustados são:

R_{max} , I_0 , I_b , δ , k_{sup} , k_{sub} , α_2 , α_1 , sendo que dos parâmetros a ajustar k_{sub} pode ser estimado a partir da recessão dos hidrogramas observados, sendo importante na simulação de séries contínuas para os períodos de estiagem. O parâmetro R_{max} é também pouco sensível, podendo ser facilmente ajustado através da análise dos volumes entre o hidrograma observado e simulado. O α_2 trata-se de um parâmetro para gerar escoamento quando $P_t < I_t$, é pouco sensível e facilmente ajustado pela recessão do hidrograma, o α_1 é o parâmetro da curva das perdas no solo por evaporação potencial,

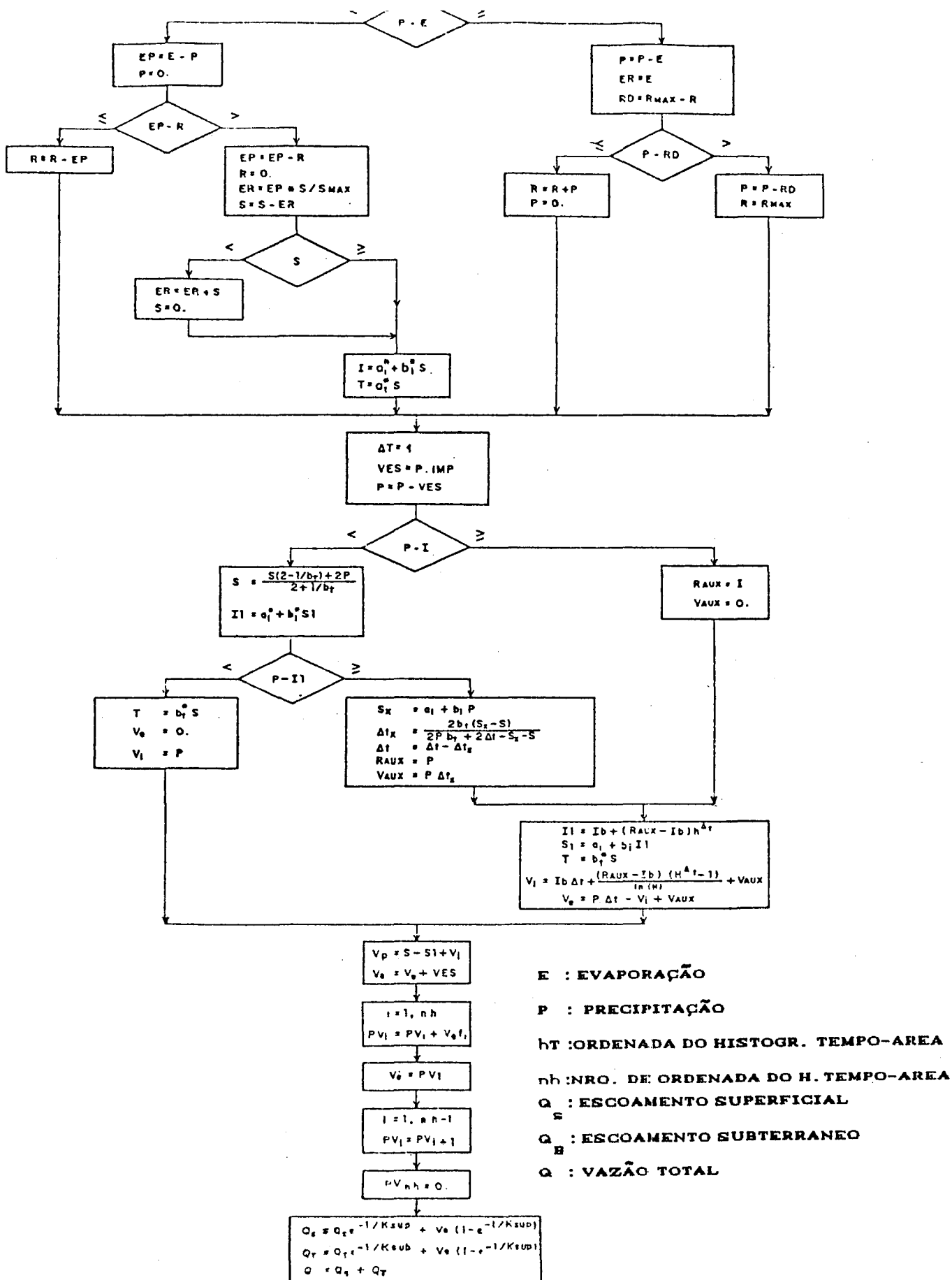


Figura 3.3: Fluxograma do modelo IPHII (Tucci et alii, 1983)

sendo importante na regularização da vazão média, não tendo grande sensibilidade para ajuste. Os parâmetros mais sensíveis são, I_0 , I_b , δ e ok_{exp} .

Otimização:

O modelo apresenta para o processo de ajuste e calibração dos parâmetros do modelo IPHII duas metodologias básicas. O método das tentativas e o de otimização de uma função objetivo.

A otimização de uma função objetivo não foi utilizada, visto que em caso de séries longas diárias recai na existência de anomalias encontradas ao longo das séries, o que leva as metodologias de otimização a pontos inadequados ou simplesmente à não convergência.

O método original de otimização é apresentado por Rosenbrok (vide Tucci et alii (1983)).

Crítérios de ajuste:

Para ser considerado um ajuste satisfatório ou não estabelecem-se alguns critérios de avaliação:

Coeficiente de determinação, que indica o quanto da variância da série observada é descrita pela série sintetizada pelo modelo:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Q_0 - Q_0)^2}{\sum(Q_0 - \bar{Q}_0)^2} \quad (3.13)$$

onde Q_0 é a vazão sintetizada pelo modelo, Q_0 a vazão observada e \bar{Q}_0 a vazão média observada.

Diferença entre as vazões médias:

$$\Delta Q = \bar{Q}_o - \bar{Q}_c \quad (3.14)$$

Ajuste das séries observadas e sintetizadas pela aderência entre as curvas estatísticas:

Curva de frequência de vazões mínimas de duração t ;

Curva de frequência de vazões médias;

Curva de frequência de vazões máximas;

Curva de permanência;

Curva de regularização para 95% de atendimento.

3.3.2 ESTIMATIVAS DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA DO MODELO HIDROLÓGICO

As variáveis de entrada são:

Evaporação potencial mensal (totais)

Precipitação média diária

Essas variáveis são conhecidas para o cenário atual. Na fase de prognóstico é necessário estimar a evapotranspiração em função da temperatura, que é fornecida pelos modelos GCMs.

Neste estudo serão utilizados os métodos de Thornthwaite e Penman.

O método de Thornthwaite é definido por:

$$ETP = 16 \cdot F_{ci} \left(10 \cdot T_m / I \right)^a \quad (3.15)$$

onde ETP é a evapotranspiração potencial mensal em mm/mes para meses com 30 dias, com duração de 12 horas; F_{ci} é um fator de correção em função da latitude e do mes; T_m a temperatura média mensal; finalmente I é o índice de calor anual, resultado do somatório dos índices de calor mensais.

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right) \quad (3.16)$$

$$a = 0.000000675 I^3 - 0.000077 I^2 + 0.017921 I + 0.49239$$

O modelo de Penman :

$$E = \frac{\Delta H + E_0 \gamma}{\Delta + \gamma} = \frac{\frac{\Delta}{\gamma} H + E_0}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1} \quad (3.17)$$

$\frac{\Delta}{\gamma}$ -- função da temperatura média diária (tabelado);

H -- balanço de energia diário;

E_0 -- poder evaporante em mm/dia;

$$H = R_s (1 - \alpha) - 1.19 \cdot 10^{-7} \theta^4 (.56 - .09 e^{-.5}) * \\ * (.1 + .9 \frac{n}{N}) \quad (3.18)$$

sendo

R_s : a radiação solar diária recebida na superfície terrestre em $\text{cal/cm}^2 \cdot \text{dia}$;

n : o número de horas de brilho solar;

N : número máximo de horas de brilho solar;

θ : temperatura do ar em $^{\circ}\text{K}$;

α : Albedo

$$e = -\frac{U}{100} e_s \quad (3.19)$$

U : umidade relativa do ar;

e_s : pressão do vapor saturado (tabelado)

$$E_0 = 0.35 \left(0.5 + \frac{U_2}{160} \right) (e_s - e) \quad (3.20)$$

U_z: velocidade média do vento em km/dia a 2 m de altura.

PRECIPITAÇÃO: A escolha dos postos pluviométricos foi realizada segundo o seguinte critério:

- ⇒ Séries com um mínimo de 15 anos e sem falhas;
- ⇒ Representatividade da região, com base nas curvas de isoietas anuais para o Rio Grande do Sul;
- ⇒ Comparação entre postos vizinhos procurando encontrar possíveis erros ou falhas;
- ⇒ Cálculo da precipitação média sobre as bacias de estudo pelo método de THIESSEN.

3.3.3 ESTIMATIVA DOS CENÁRIOS

Existem dois cenários:

⇒ O cenário atual (1XCO₂), representado pela série de vazões simulada, obtida pelo ajuste e com base nos valores observados de precipitação e calculados de evaporação.

⇒ Cenário futuro (2XCO₂) representado pelos prognósticos dos modelos GCMs.

A condição futura para 2XCO₂, é obtida pela proporção da alteração entre os cenários.

$$P_{\text{futura}} = \frac{P_{2XCO_2}}{P_{1XCO_2}} * P_{\text{atual}} \quad (3.21)$$

A avaliação do cenário futuro para as evaporações. O procedimento adotado é o seguinte:

- i) A evaporação atual foi obtida por um dos métodos citados (Atual);

ii) A evaporação para os cenários são calculadas considerando que as equações citadas variam somente com a temperatura, sendo F a função do método escolhido. Neste caso existem duas opções:

$$E_{\text{futura}} = E_{\text{atual}} + \Delta E \quad (3.22)$$

onde

$$\Delta E = F[T(T_{\text{atual}} + \Delta T)] - F[T(T_{\text{atual}})] \quad - \text{opção 1} \quad (3.23)$$

$$\Delta E = F[T(2xCO_2)] - F[T(1xCO_2)] \quad - \text{opção 2}$$

onde, T_{atual} é a temperatura observada por postos na região; $T(1xCO_2)$ e $T(2xCO_2)$ são as temperaturas dadas pelos GCMs; $\Delta T = T(2xCO_2) - T(1xCO_2)$.

Com os métodos existentes para estimativa da evapotranspiração, função da temperatura, a última opção poderá acarretar estimativas maiores, devido unicamente a diferença entre os extremos da série dos GCMs. Bem como, não incorpora diretamente no cálculo das evapotranspirações as variações existentes na série observada.

3.4 REGIONALIZAÇÃO DE FUNÇÕES HIDROLÓGICAS

3.4.1 CRITÉRIOS DE AMOSTRAGEM DAS BACIAS

Para que se possa avaliar os impactos da modificação potencial do clima sobre a bacia do Rio Uruguai, adotou-se como unidades representativas da bacia, sub-bacias rurais de médio e pequeno porte.

Definido uma bacia rural de médio ou pequeno porte, como sendo uma bacia na qual a produção de escoamento (por propagação) no canal principal possa ser considerado desprezível, ou então que seu valor não seja importante na soma dos volumes, podendo ser considerado unicamente os processos de transformação de precipitação

em vazão nas vertentes. São bacias nas quais a metodologia dos modelos hidrológicos concentrados, como o IPH II , apresentam em geral bons resultados.

A bacia deve ter condições de representar a região a que está inserida, tais como clima, relevo, disponibilidade hídrica e potencial energético, entre outros. Além disso deve dispor de dados hidrológicos e climáticos confiáveis.

3.4.2 FUNÇÕES HIDROLÓGICAS

As funções hidrológicas utilizadas são as seguintes (IPH, 1991):

⇒Curva de frequência de vazões médias anuais: Curva de vazão média é a curva de probabilidade que relaciona a vazão e o risco de ser igualado ou superado um dado valor anual de vazão.

A vazão média permite caracterizar a capacidade de disponibilidade hídrica de uma bacia e seu potencial energético entre outros usos, define-se também como a maior vazão possível de se regularizar.

Normalmente, a vazão média de longo período é mais utilizada, no entanto, a distribuição de probabilidade das vazões médias permite avaliar a magnitude de anos mais secos ou úmidos, em termos médios.

⇒Curva de frequência de vazões máximas anuais: A vazão máxima pode ser prevista a curto e a longo prazo, sendo que a longo prazo é a previsão estatística da ocorrência de valores extremos. Envolve então um risco de que em um dado ano esta vazão possa ser superada. A relação entre a vazão máxima e o risco é a curva de probabilidade (frequência) de vazões máximas.

O estudo de vazões máximas a longo prazo, é utilizado para

projetos de obras hidráulicas, estudos de zoneamento de áreas inundáveis, entre outros.

⇒Curva de frequência de vazões mínimas associada a duração t : A vazão mínima é caracterizada por dois fatores a sua magnitude e sua duração, é usado no estudo as durações de 7 dias e 30 dias, que vem atender aos interesse da qualidade d'água e abastecimento urbano. A ocorrência de vazões mínimas de duração t menor que um dado valor, em um ano qualquer, tem em si um risco associado ou probabilidade.

A curva de probabilidade de vazões mínimas relaciona a vazão, duração e o risco. Sendo utilizadas em estudos de qualidade d'água, regularização de vazão para o abastecimento d'água, irrigação, navegação entre outros usos.

⇒Curva de permanência: A curva de permanência relaciona a vazão e a probabilidade de ocorrerem vazões maiores ou iguais à vazão escolhida durante o ano, esta curva é construída com todos os valores do ano, ou melhor, com toda a série histórica.

Utiliza-se para estudos de qualidade d'água, navegação, estudos hidrelétricos, dimensionamento de PCHs, entre outros usos.

⇒Curva de regularização: A curva de regularização relaciona a demanda e o volume necessário para regularizá-la a um determinado risco de atendimento. É uma ferramenta utilizada na regularização de vazões através de reservatórios para o abastecimento d'água, irrigação, produção de energia, navegação e diluição de despejos.

3.4.3 METODOLOGIA DE REGIONALIZAÇÃO

Regionalização de vazões médias, máximas e mínimas

A regionalização das vazões médias (Q_{lp}), mínimas (Q_{mt}) e

máximas (Q_{mc}) é obtida pela determinação do seguinte (IPH, 1991):

a) Curva adimensional de probabilidade de vazões máximas, médias ou mínimas.

b) Equações de regressão entre Q_{lp} , Q_{mc} , ou Q_{ml} e as características físicas da bacia, neste estudo somente é utilizado a área da bacia e duração t (quando das vazões mínimas).

Com ambas as funções é possível estimar para um dado risco qual a vazão associada.

O cálculo da curva de probabilidade: A probabilidade para que o valor da vazão Q em um dado ano seja maior ou igual a um dado valor Q^* , $P [Q \geq Q^*]$ pode ser obtido com base nos valores históricos:

$$P = \frac{i}{N+1} ; Tr = \frac{1}{P} \quad (3.24)$$

onde :

P: probabilidade da vazão ser igualada ou excedida.

i: ordem do valor.

N: tamanho da amostra.

Tr: tempo de retorno em anos.

Para vazões médias e máximas ordena-se os valores em ordem decrescente e para valores mínimos em ordem crescente.

A equação de regressão entre vazão e variáveis independentes permite estimar seu valor para bacias sem dados históricos.

A função que relaciona as vazões e as características físicas é a seguinte:

$$Q = a A^b C^e D^g F^h I^j \quad (3.25)$$

sendo A, C, D, F, I variáveis independentes como: área de drenagem, precipitação média anual, comprimento do rio, declividade do rio, densidade de drenagem, e a, b, c, g, h, i parâmetros a serem ajustados.

Adota-se: A é área de drenagem (km^2)
 Q_{lp}, Q_{mc}, Q_{mt} em (m^3/s)
t é a duração em dias.

Q_{lp} : Vazão média de longo período, é a média das vazões médias.

Q_{mc} : Vazão média de cheia, é a vazão média calculada a partir das vazões máximas anuais.

Q_{mt} : Vazão média das mínimas para a duração t, calculada pela média das vazões mínimas anuais de duração t.

O ajuste da equação (3.25) a uma região é realizado por mínimos quadrados após a transformação logarítmica da função.

Os indicadores estatísticos utilizados para avaliação da qualidade do ajuste são: o R^2 já definido anteriormente e o σ_f o erro fatorial, que estabelece o intervalo de variação da estimativa da vazão e não para seu logaritmo.

$$\sigma_f = \text{EXP}(s) \quad (3.26)$$

sendo s o desvio padrão dos logaritmos das vazões.

Regionalização da curva de permanência

Segundo IPH, (1991) a curva de permanência relaciona a vazão ou o nível de um rio com a probabilidade de ocorrer vazões maiores ou iguais ao valor da demanda. Esta curva pode ser estabelecida com base em valores mensais, semanais, ou diários, no nosso caso serão diários.

A metodologia utilizada define-se como um método empírico, que consiste em estabelecer n intervalos de classe de vazões. Procurando absorver a grande variação na magnitude das vazões, adota-se a sub-divisão em escala logarítmica e n = 60 por conveniência, ficando a amplitude de cada intervalo dada:

$$\Delta = (\ln Q_{ma} - \ln Q_{mi})/60 \quad (3.27)$$

onde Q_{ma} é a vazão máxima da série,
e Q_{mi} é a vazão mínima da série.

Para tanto, classificam-se as vazões em cada intervalo, contando o número de valores em cada intervalo (t_i). Acumulando os valores no sentido da maior vazão para a menor, obtendo, assim os valores T_i . A porcentagem de uma vazão ser maior ou igual a Q_i é:

$$P_i = \frac{T_i}{NV} * 100 \quad (3.28)$$

onde NV é o número de valores totais, e P_i a porcentagem.

O processo de regionalização divide-se em dois procedimentos básicos:

Para a regionalização do trecho compreendido entre Q_{50} e Q_{95} % da curva de permanência, visto que esse é o trecho mais utilizado na curva, ajusta-se uma função exponencial a esses valores.

$$Q = \text{EXP}(P a + b) \quad (3.29)$$

onde P é a probabilidade no intervalo (0,1);

$$a = - [\ln(Q_{50}/Q_{95})] / 0.45 ;$$

$$b = \ln Q_{50} - 0.50 a;$$

Q em (m^3/s) com probabilidade P;

Q_{50} e Q_{95} são as vazões para as probabilidades 50 e 95% em m^3/s .

A regionalização das vazões Q_{50} e Q_{95} , é feita com curva do

tipo, $Q = a A^b$, sendo Q igual a Q_{50} ou Q_{95} , a e b são parâmetros a ajustar, e A a área de drenagem da bacia em km^2 , com o uso dos indicadores estatísticos R^2 e σ_f .

Com a área pode ser calculado os Q_{50} e Q_{95} para postos sem dados, e com a equação 3.29 será conhecida a distribuição das vazões entre 50 e 95 % de probabilidade.

Regionalização da curva de regularização

A curva de regularização é definida como a relação de volume-demanda para um dado rio, e como o volume que um reservatório deve ter para atender uma dada demanda, admitindo-se um certo risco de falha do sistema, em nosso caso admitimos um risco de 5 % durante a série histórica.

Pode ser estabelecida pelo método de Rippl, descrito em todos os livros básicos de hidrologia. Utilizando uma adaptação, computacional, do critério de Rippl, considera-se o armazenamento acumulado segundo a equação seguinte:

$$S^{t+1} = S^t + (Q^t - q) \Delta t \quad (3.30)$$

onde S^{t+1} e S^t são armazenamentos nos respectivos tempos; Q^t a vazão afluyente; q a demanda e Δt o intervalo de tempo. O armazenamento mínimo permite estimar o volume que atenda a demanda q .

A função de S com o tempo t é apresentada na figura 3.4, O volume é o armazenamento necessário para garantir a demanda q pelo período da série histórica.

A função regional é obtida adimensionalizando a relação volume-demanda,

$$\frac{V}{\bar{Q} * t_{ano}} ; \frac{Q}{\bar{Q}} \quad \text{Onde: } \bar{Q} \text{ é a vazão média de longo período; } t_{ano} \text{ é o tempo de um ano em segundos;}$$

V é o volume;

Q é a vazão regularizada.

Ajuste de uma curva média com postos de tendência semelhante.

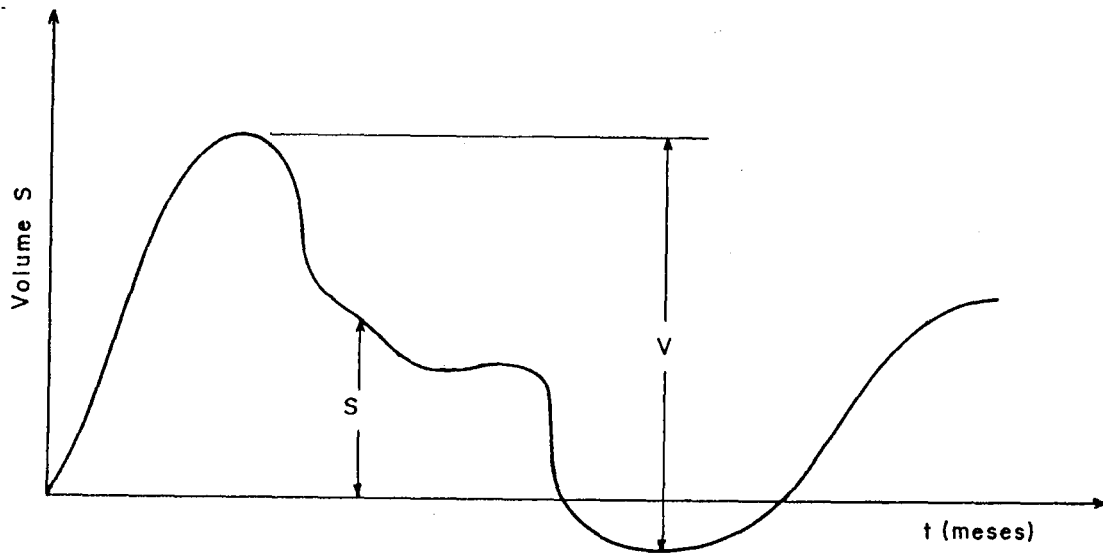


Figura 3.4 Armazenamento em função do tempo.

Metodologia para comparação dos cenários

Com as funções regionais, para todos os conjuntos de séries (observado, GCMs), é analisado o seguinte:

⇒Análise das vazões específicas com e sem modificação climática e suas consequências a nível regional.

⇒Verificação das funções de regressão de Q_{lp} , Q_{mc} , e Q_{mt} como também Q_{50} e Q_{95} , analisando as modificações entre a função atual e a modificada. Seu impacto diante das aplicações para as mesmas, bem

como uma análise comparativa com as funções já determinadas para a bacia do Rio Uruguai.

⇒Análise do impacto sobre as funções adimensionais, em relação a situação atual; utilização das funções atuais como as futuras , verificando os erros e a viabilidade de tal procedimento.

→ Aplicação das funções regionais sobre projetos, e obras existentes, verificando seu possível impacto.

4. RESULTADOS

4.1 BACIA DO RIO URUGUAI

O Rio Uruguai é o segundo sistema fluvial em importância da bacia da Prata, com área total de 276000 km² (46 % em território brasileiro). (figura 4.1).

O Rio Uruguai nasce em território brasileiro, na Serra Geral, com o nome de Rio Pelotas, em altitude de cerca 1800 m e latitude de 28°10'. A bacia delimita-se entre as latitudes 26° e 38° para longitudes de 49° a 57°. As grandes altitudes, superiores a 1000m, são mantidas ao norte e noroeste, ao longo de todo divisor com os Rios Iguazu e Itajai, até as nascentes do Peperi-Guaçu, onde o Uruguai passa a ser a linha divisória entre Brasil e Argentina. Logo ao sul da cidade de Uruguaiana torna-se linha divisória entre o Uruguai e a Argentina, até a foz com o Rio da Prata. O seu divisor desenvolve-se em altitudes que situam-se entre 850 a 1000m e o Rio tem uma extensão de aproximadamente 1800 km.

O Rio Uruguai apresenta declividade média de 0.5m/km em seu curso superior, com largura de leito menor entre 250 a 450 m, no seu curso médio a declividade reduz-se a 0.10 m/km, com largura superior a 1200 m. No seu trecho inferior, 350km da foz, existe navegação para calados de 1.80m, e embarcações de calados até 6.40m nos 190 km finais.

No curso superior os afluentes da margem esquerda são o Rio Passo Fundo e o Ijuí. Na direita, Canoas, Peixe e Chapecó. A bacia superior desenvolve-se sobre rochas de origem vulcânica, pertencente a Serra Geral, constituída de basaltos e andesitos toleíticos, de cor cinza escura e preta acinzentada, com disjunção colunar dominante e intercalações de lente arenosas, possuindo ainda falhas encobertas. O solo é fértil com espessura de 2 a 4m.

Na parte Centro-oeste aparecem outros tipos litológicos, dos quais destacam-se o aluvião ao longo dos Rios Santa Maria e Ibicuí. Existe também, nesta região, arenito botucatu e rochas sedimentares, possuidoras de grande permeabilidade e com possibilidade de ocorrência de grandes aquíferos.

A parte sul, definida como baixo Uruguai, a partir da cidade de Salto no Uruguai tem como principal afluente o Rio Negro, com relevo formado por ondulações e colinas.

O clima da região é temperado e úmido, sujeito a influência das massas polares provenientes do polo sul. Em consequência, a bacia é recoberta por florestas e campos.

A precipitação em toda região da bacia é bem distribuída durante o ano, embora os totais sejam mais elevados na porção norte no verão, e na sul no inverno. A altura pluviométrica média, embora variando com a altitude, mantém-se na faixa de 1300 a 2000mm anuais.

4.2 BACIAS SELECIONADAS

Neste estudo foram selecionados as sub-bacias dos Rios Ijuí, Canoas e Ibicuí.

⇒ Sub-bacias do Rio Ijuí, as sub-bacias com dados confiáveis são: Rio Potiribu; Rio Conceição; Santo Ângelo.

As três sub-bacias do Rio Ijuí podem ser localizadas na figura 4.2. Essas sub-bacias são predominantemente bacias rurais, com aproveitamentos hidrelétricos de pequenas centrais PCHs. Com solos férteis, geologicamente podem ser classificadas como pertencentes ao planalto, constituído por derrames basálticos com algumas falhas e pouca possibilidade de encontrarmos bons

aquíferos.

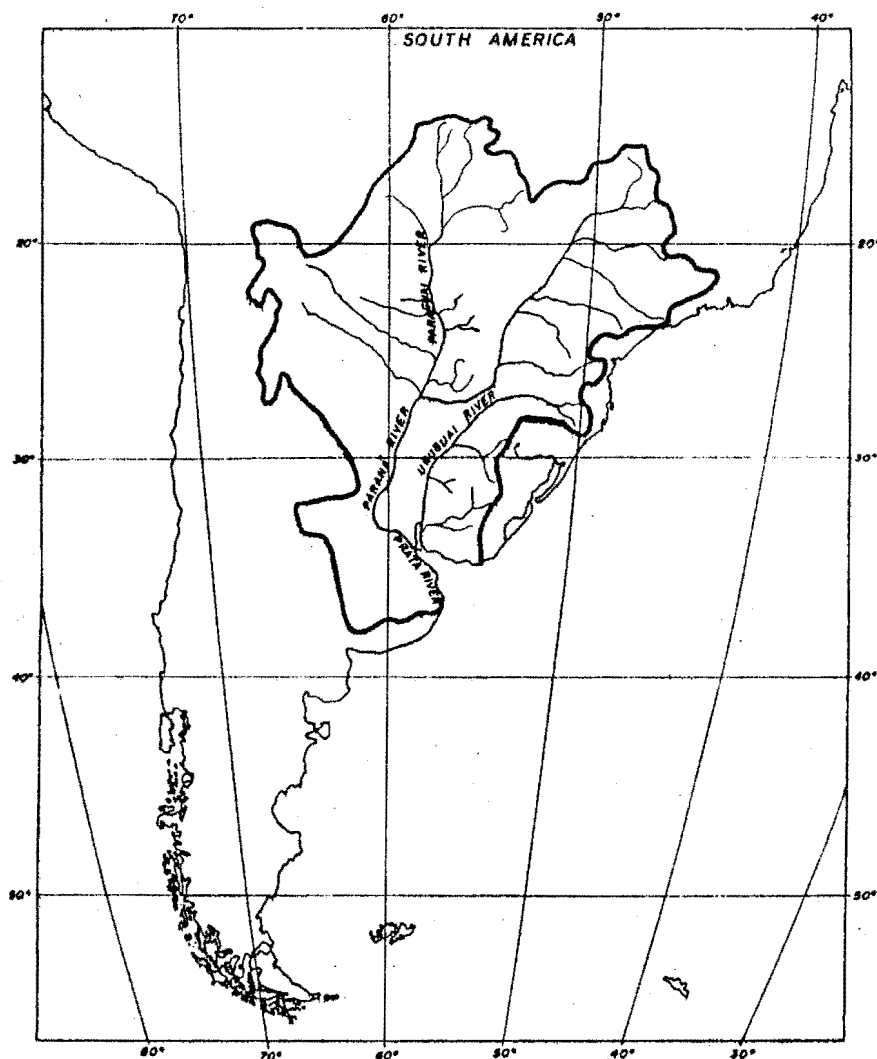


Figura 4.1: Bacia da Prata

A tabela 4.1 apresenta as características das sub-bacias.

Quanto aos dados disponíveis pode-se relacionar o seguinte:

Evaporação: A estação meteorológica do IPAGRO, localizada no município de Augusto Pestanha, é representativa para as três sub-bacias. Existem registros em evaporímetro de Piche e tanque Classe A. A série disponível é de 1963 a 1987.

Tabela 4.1 Características das sub-bacias

bacia	Área km ²	Est.Clim.	No.postos pluv.	Período
Rio Potiribu	628	Ijuí	dois	1964-1983
Rio Conceição	784	Ijuí	dois	1963-1983
Santo Angelo	5414	Ijuí	sete	1964-1983

Precipitação: Nas sub-bacias existem sete postos pluviométricos disponíveis que foram fornecidas pelo DNAEE e CEEE, para o período de jan/1963 a dez/1983, com precipitação média anual entre 1500mm e 1900mm. Para o cálculo das precipitações médias sobre as bacias utilizou-se o método de Thiessen em cada sub-bacia.

Descarga (vazão): Para as sub-bacias existem dados históricos provenientes do DNAEE, do período de jan/1963 a dez/1983 para a bacia do Rio Conceição de jan/1964 a dez/1983 para o Rio Potiribu e Santo Ângelo. As sub-bacias apresentam seções e curvas-chave bem definidas, os postos são: 75185000, Ponte Nova do Potiribu; 75200000, Conceição; 75230000 Santo Ângelo.

⇒ Sub-bacias do Rio Canoas, as sub-bacias com dados confiáveis são: Pte. Alta do Sul; Passo Marombas; Rio Bonito.

As três sub-bacias do Rio Canoas podem ser localizadas na figura 4.2. Essas estão situadas numa região onde a bacia do Rio Uruguai apresenta uma industrialização crescente, devido ao parque industrial catarinense (papel e celulose), o que ocasiona a crescente presença de poluentes em detrimento da qualidade d'água. A tabela 4.2 apresenta as características das sub-bacias.

Evaporação: A estação meteorológica da Secretaria da Agricultura do Estado de Santa Catarina, localizada no município de Campos Novos, é considerada representativa para as três sub-bacias, com séries climáticas de temperatura, umidade do ar, velocidade do

vento, entre outras variáveis para o período de 1969 a 1985.

Tabela 4.2 Características das sub-bacias

bacia	Área km ²	Est.Clim.	No.postos pluv.	Período
Rio Bonito	1990	Camp. nov	tres	1969-1984
Passo Marombas	3800	Camp. nov	quatro	1969-1984
Pte Alta Sul	4600	Camp. nov	seis	1969-1984

Precipitação: Existem dez postos pluviométricos para a bacia, divididos entre os dois Rios que compõem as sub-bacias, Rio Marombas e Canoas, sendo quatro para o primeiro e o restante representativo do segundo. As séries disponíveis para as sub-bacias foram fornecidas pelo DNAEE, para o período de jan/1969 a dez/1984, com precipitação média anual entre 1200mm e 1500mm. Para o cálculo das precipitações médias sobre as bacias utilizou-se o método de Thiessen em cada sub-bacia.

Descarga (vazão): Para as sub-bacias existem dados históricos provenientes do DNAEE, do período de jan/1969 a dez/1984 em todas as sub-bacias. As sub-bacias apresentam seções, e curvas-chave bem definidas, os postos são: 71490000, Passo Marombas; 71383000, Ponte Alta do Sul; 71300000, Rio Bonito.

→ Sub-bacias do Rio Ibicuí, as sub-bacias com dados confiáveis são: Passo da Cachoeira (Rio Itu); Vila Clara (Rio Toropi).

As sub-bacias podem ser localizadas na figura 4.2. As duas sub-bacias do Rio Ibicuí, estão em uma região tipicamente agrícola, onde o cultivo do arroz, e outras culturas irrigadas são desenvolvidos. A região sob o Rio Itu está localizada sobre uma formação geológica de arenito Botucatu, com grandes aquíferos, o que faz com que esta bacia apresente melhor rendimentos quanto a regularização das vazões média e mínimas, do que a região como um todo.

A bacia do Rio Ibicuí está localizada sobre o derrame basáltico e encosta, com algumas lentes de arenitos, e em consequência bons aquíferos.

A tabela 4.3 apresenta as características das sub-bacias.

Tabela 4.3 Características das sub-bacias

baçia	Área km ²	Est.Clim.	No.postos pluv.	Período
Vila Clara	2788	Julio Castilhos	cinco	1963-1983
Passo Cachoeira	2562	Julio Castilhos	tree	1962-1985

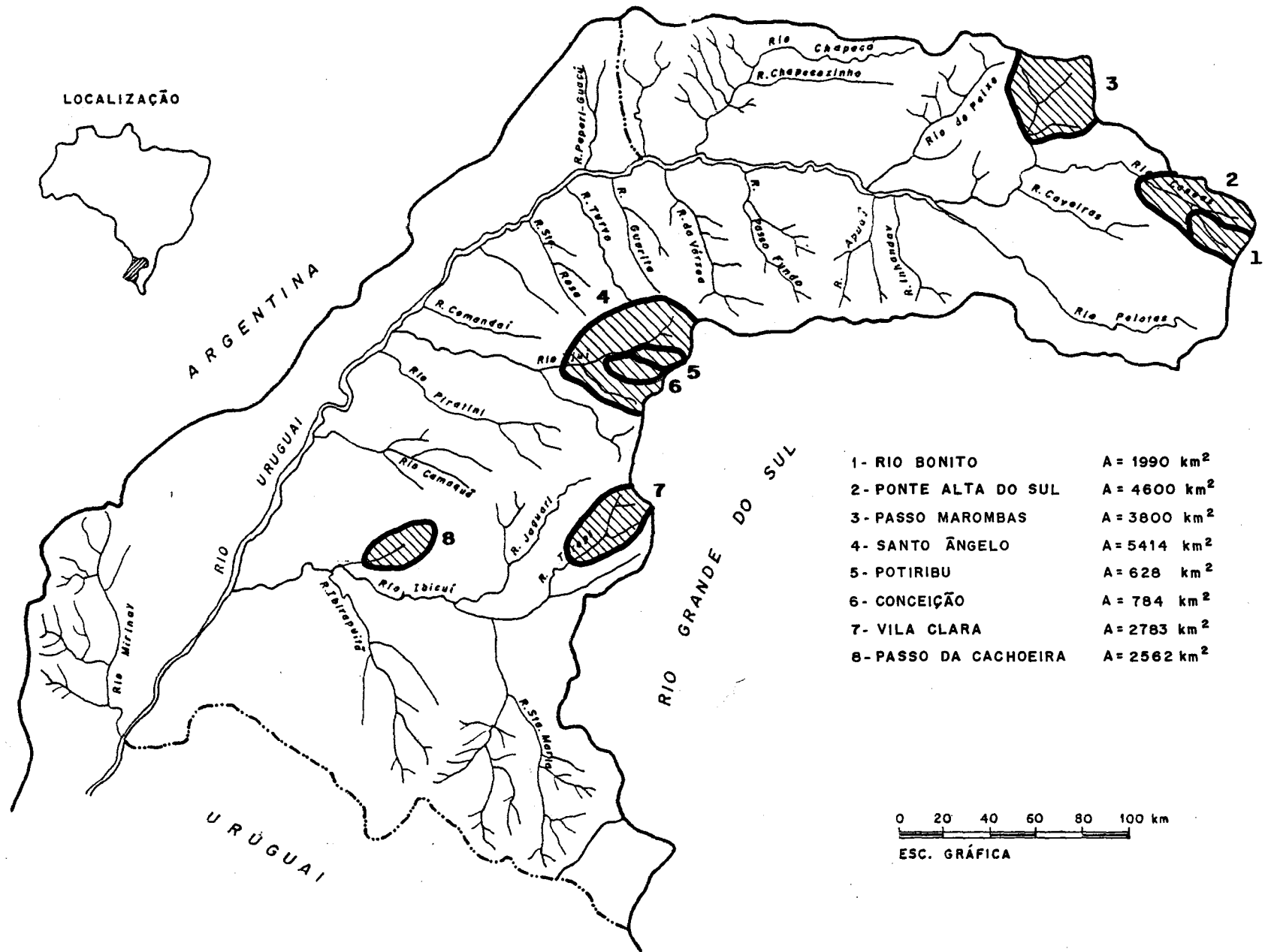
Quanto aos dados disponíveis pode-se relacionar o seguinte:

Evaporação: A estação meteorológica do IPAGRO, localizada no município de Júlio de Castilhos é representativa para as duas sub-bacias, com séries climatológicas de 1957 a 1987.

Precipitação: As séries disponíveis para as sub-bacias foram fornecidas pelo DNAEE, num total de oito postos, distribuídos conforme a tabela 4.3, para o período de jan/1962 a dez/1985, com precipitação média anual entre 1500mm e 1700mm. Para o cálculo das precipitações médias sobre as bacias utilizou-se o método de Thiessen em cada sub-bacia.

Descarga (vazão): Para as sub-bacias existem dados históricos provenientes do DNAEE, do período de jan/1962 a dez/1985 na sub-bacia do Rio Itu, e de jan/1963 a dez/1984 no Rio Toropi. As sub-bacias apresentam seções, e curvas-chave bem definidas, os postos são: 76650000, Passo da Cachoeira; 76100000, Vila Clara.

Figura 4.2.: Bacia do Rio Uruguai



LOCALIZAÇÃO



ARGENTINA

URUGUAI

URUGUAI

RIO GRANDE DO SUL

0 20 40 60 80 100 km
ESC. GRÁFICA

4.3 AVALIAÇÃO DOS MODELOS GCMs

Nesta análise serão examinados os resultados de duas variáveis climáticas que são utilizadas no prognóstico dos cenários.

Temperatura do ar, média das médias ;
Precipitação mensal média.

Bacia do Prata

Nas figuras 4.3 a 4.5 são apresentadas as discretizações em estudo para a bacia do Prata. Nas figuras 4.6 a 4.11 são apresentadas as isoietas e isotermas obtidas com base em dados registrados (OEA, 1969) e os valores simulados para o cenário atual e futuro pelos GCMs. Pode-se observar destes resultados o seguinte:

→ Os modelos descrevem com fidelidade o gradiente das temperaturas sobre a bacia do Prata, mas não conseguem reproduzir a magnitude das mesmas. Na bacia do Rio Uruguai os modelos retratam bem a distribuição de temperatura.

→ Os modelos apresentam em sua maioria gradientes no sentido contrário ao determinado pelas isoietas para a região. Somente o modelo GISS consegue representar os gradientes, sem conseguir reproduzir a magnitude das precipitações. Observa-se que os modelos subestimam a precipitação.

Bacia do Uruguai

Segundo recomendação das entidades que forneceram os resultados dos modelos GCMs, deve-se escolher um ponto representativo para o local de interesse e evitar o uso de médias. Para a região da bacia do Rio Uruguai escolheu-se um ponto em cada malha de discretização de cada modelo.

modelo	latitude	longitude
GFDL	28,89°	52,50°
GISS	27,39°	50,00°
UKMO ₂	27,50°	56,25°
UKMO ₁	27,50°	48,75°

O modelo UKMO apresenta dois pontos, devido a sua resolução mais detalhada. Desta forma foi necessário definir duas regiões, uma representativa do Alto Uruguai (Rio Canoas) e outro representando os afluentes Ijuí e Ibicuí.

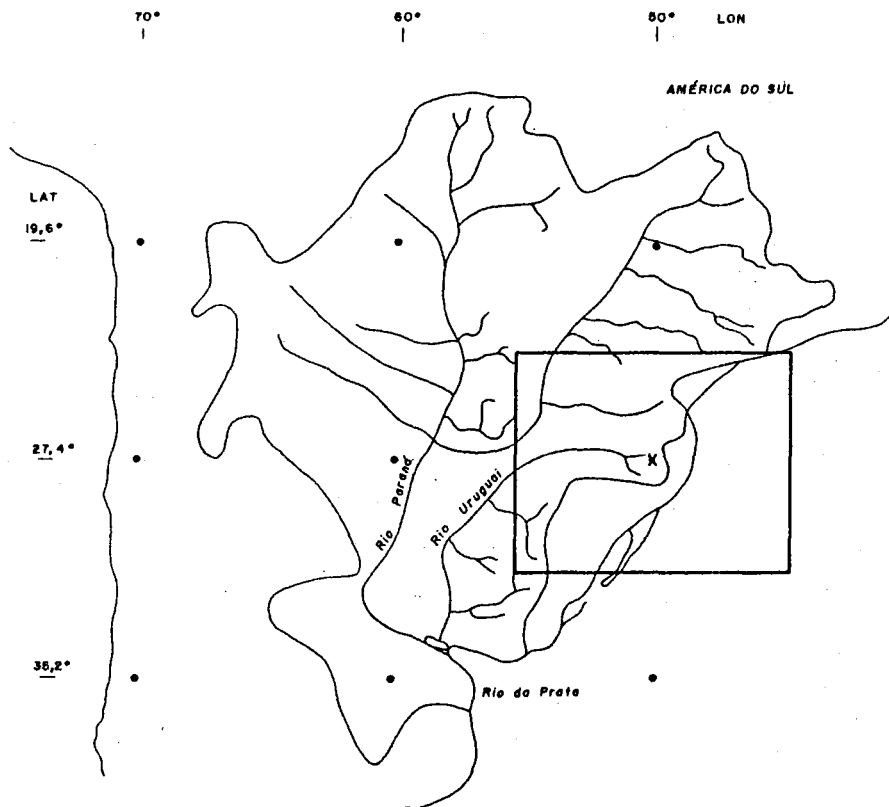


Figura 4.3: Discretização do modelo GISS

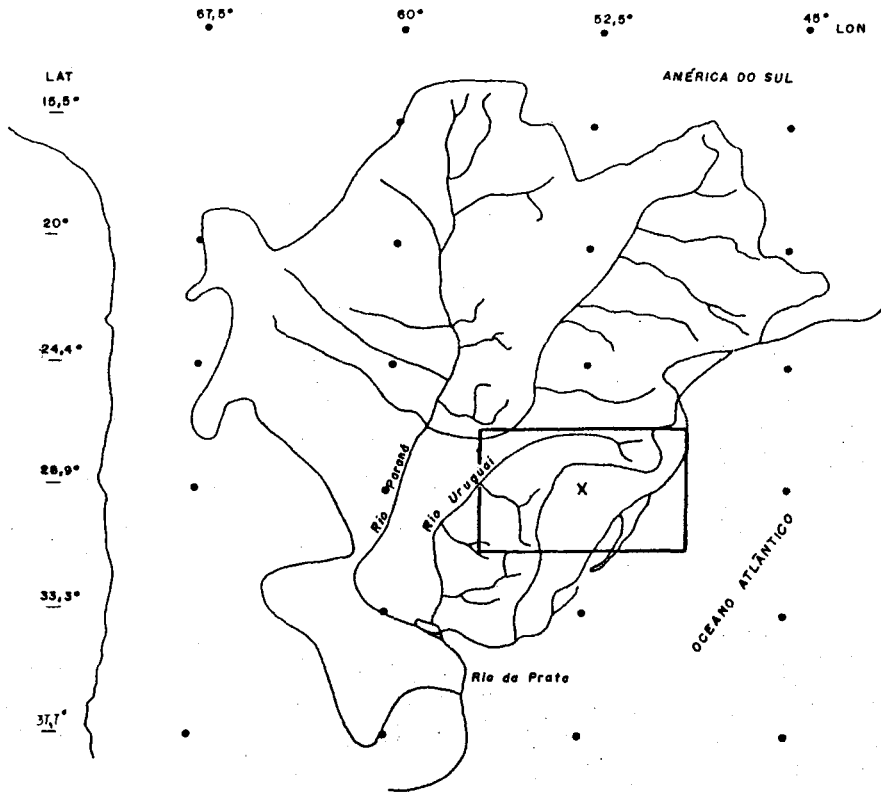


Figura 4.4: Discretização do modelo GFDL

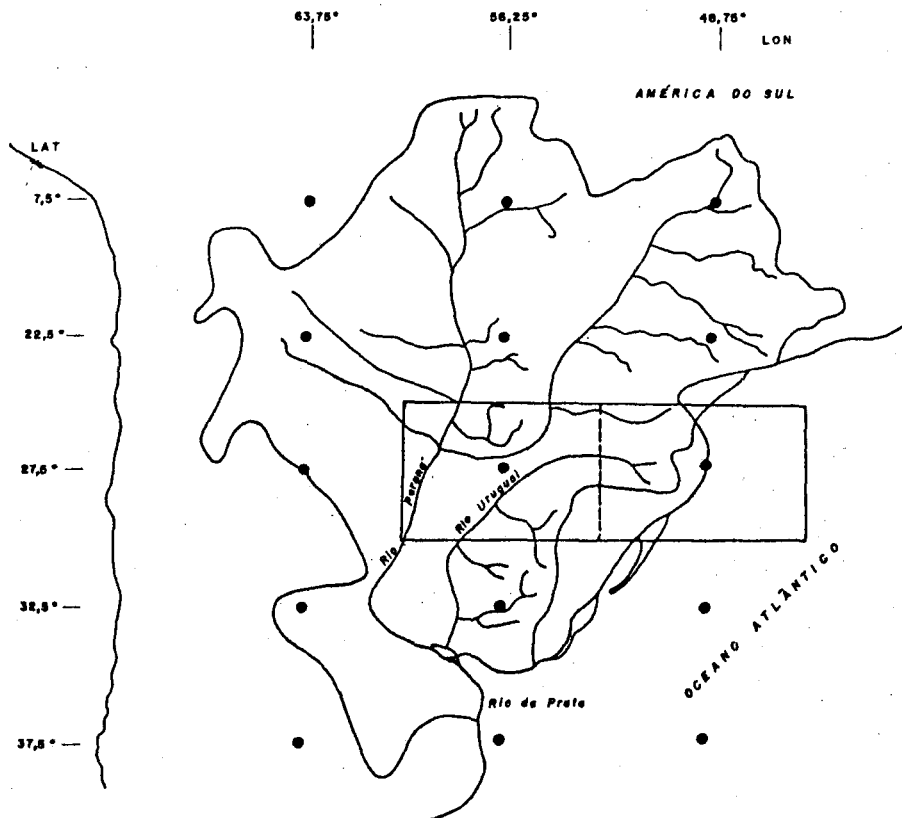


Figura 4.5: Discretização do modelo UKMO

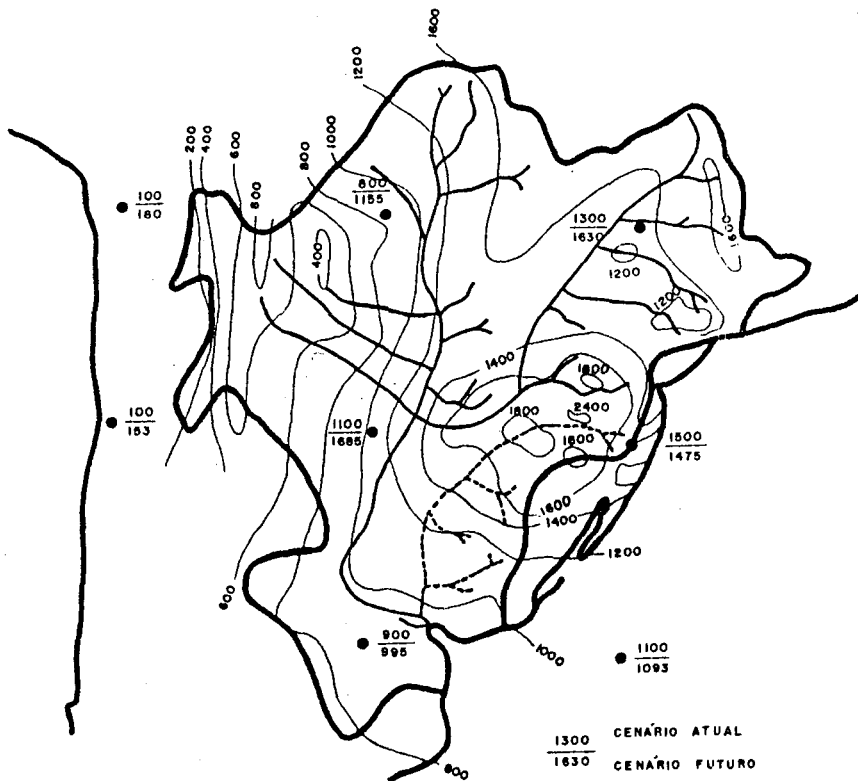


Figura 4.6: Modelo GISS e as isoietas sobre a Bacia da Prata

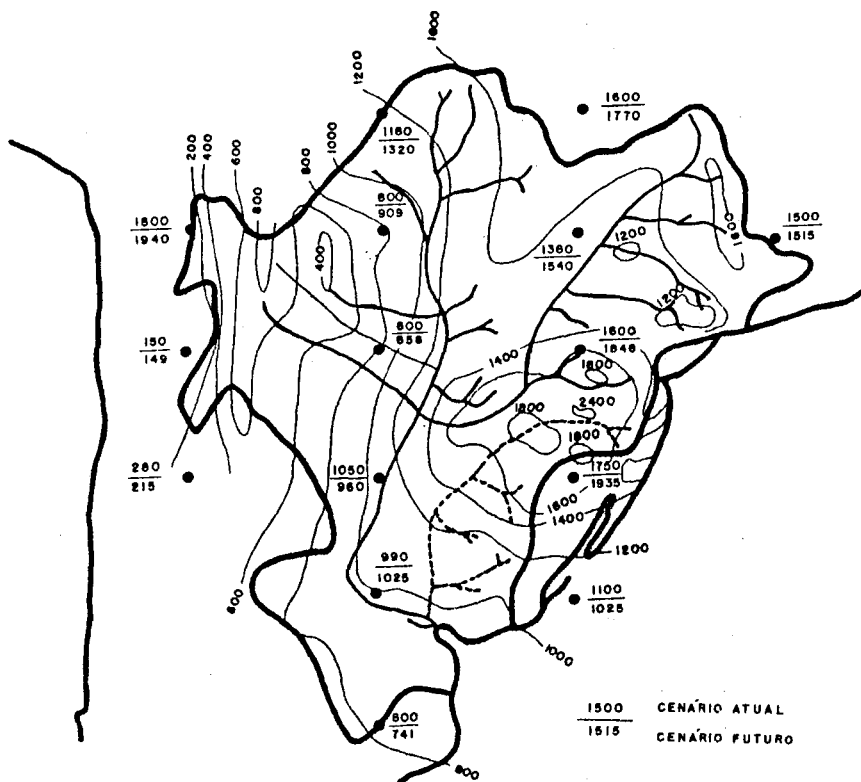


Figura 4.7: Modelo GFDL e as isoietas sobre a Bacia da Prata

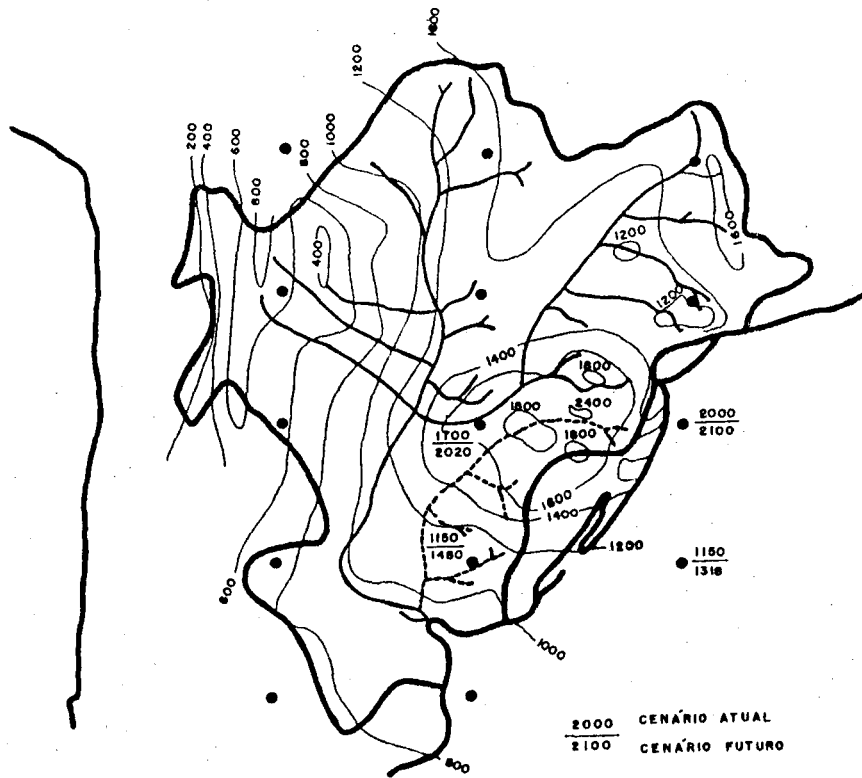


Figura 4.8: Modelo UKMO e as isoietas sobre a Bacia da Prata

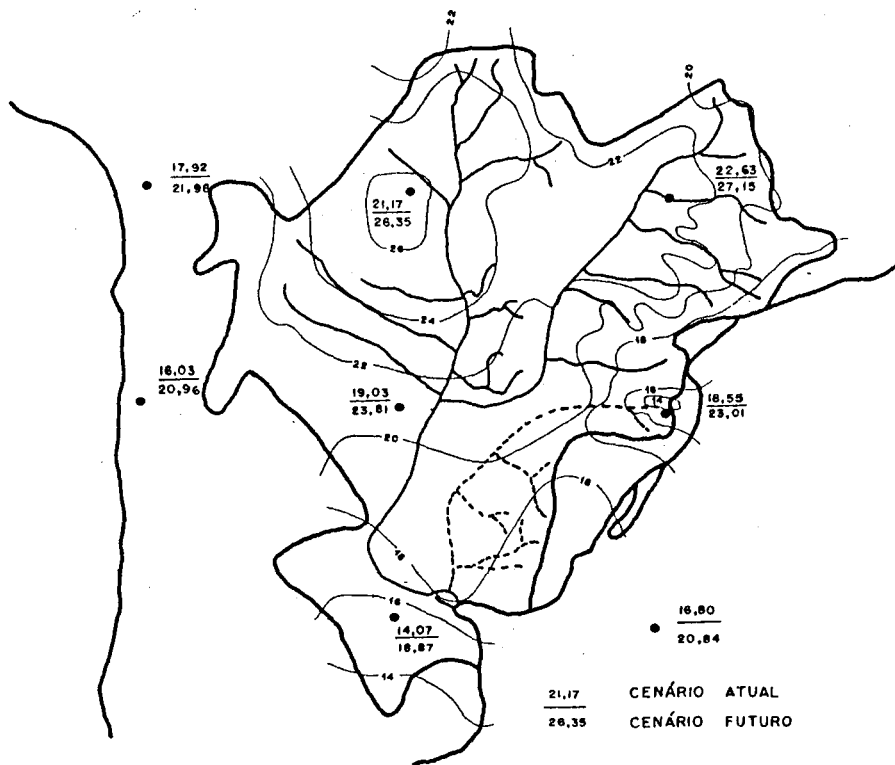


Figura 4.9: Modelo GISS e as isotermas sobre a Bacia da Prata

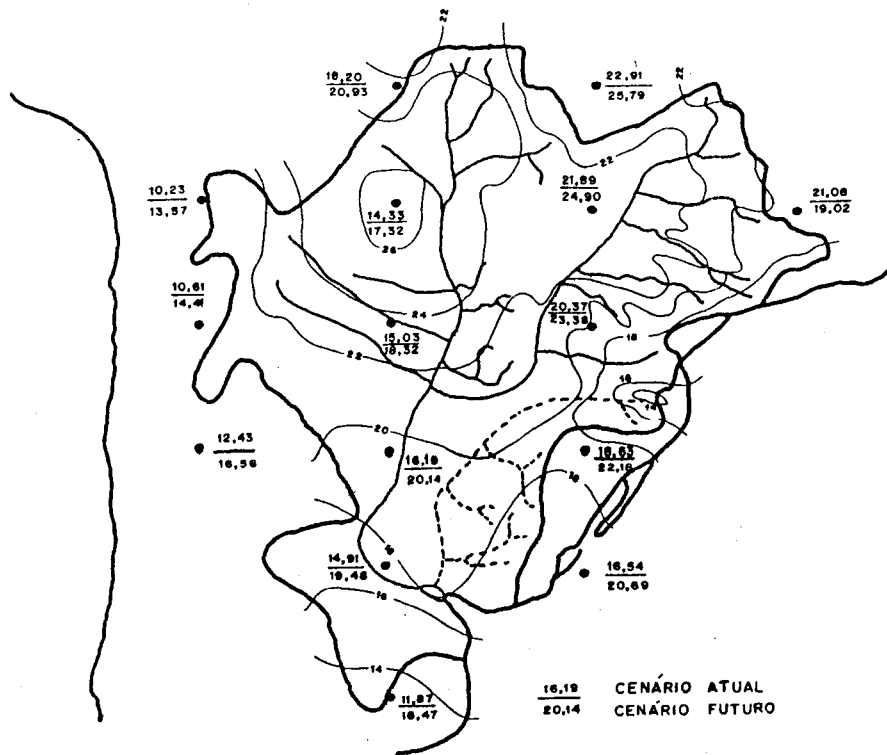


Figura 4.10: Modelo GFDL e as isotermas sobre a Bacia da Prata

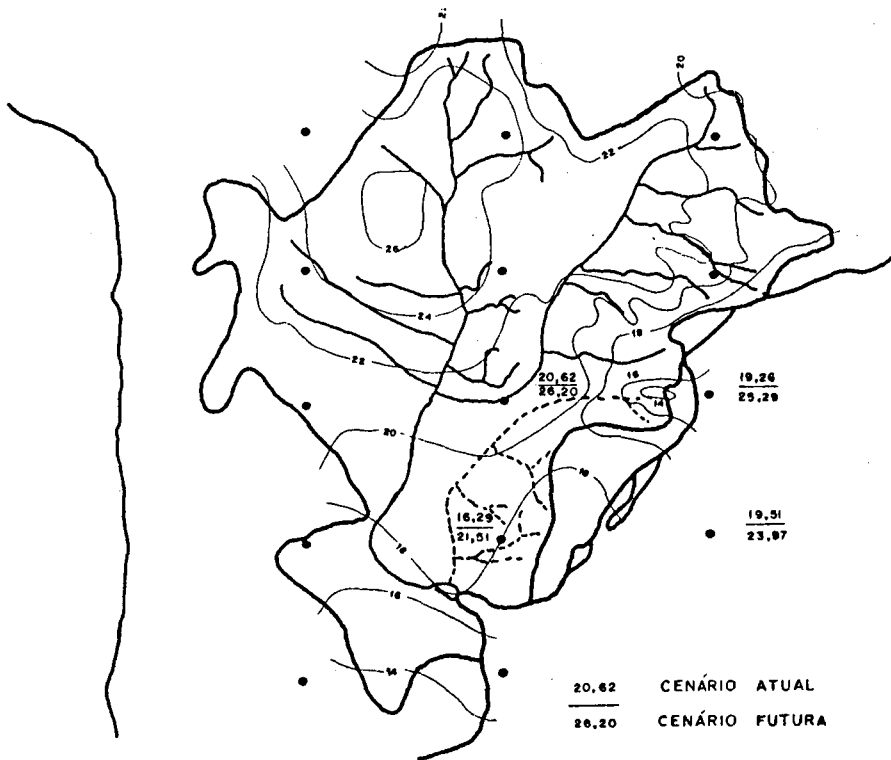


Figura 4.11: Modelo UKMO e as isotermas sobre a Bacia da Prata

Precipitação:

A precipitação média da bacia do Rio Uruguai foi calculada pela média de dez postos pluviométricos da região para um período de vinte e um anos. Na figura 4.12, estes valores são comparados com os resultados dos modelos para o cenário atual. Os modelos GCMs subestimam a precipitação média mensal, somente o modelo GISS, para o mês de janeiro não o faz. Em geral os modelos subestimam a precipitação, o modelo GISS em cerca de 20%, o GFDL em 65% e UKMO em mais de 70%. Sendo que o GISS consegue representar melhor a sazonalidade da distribuição das chuvas durante o ano nesta região.

Nas figuras 4.13 a 4.15 são apresentados os dois cenários dos diferentes modelos, 1XCO₂ e 2XCO₂, e a série observada na região. Pode-se constatar incremento elevado entre os dois cenários para o modelo GFDL. Na figura 4.16 o diagrama representa o incremento mensal entre os dois cenários para todos os modelos. No mês de outubro o modelo GFDL apresenta uma variação de 240% entre os dois cenários, o que não acontece com o GISS nem o UKMO.

Nas figuras 4.17 a 4.20 são apresentados os cenários 1XCO₂ e 2XCO₂ para as sub-bacias representadas pelos postos meteorológicos, aos quais confirmam-se as observações acima.

Temperatura:

A temperatura é sem dúvida a variável climática de maior confiabilidade dos modelos GCMs.

Na figura 4.21 são apresentadas as temperaturas médias da bacia dos modelos e as observadas para o cenário atual, calculadas a partir de dez postos climatológicos num período de vinte e um anos. O ajuste dos modelos às tendências locais pode ser considerado bom, sendo que o GISS apresenta melhor aderência.

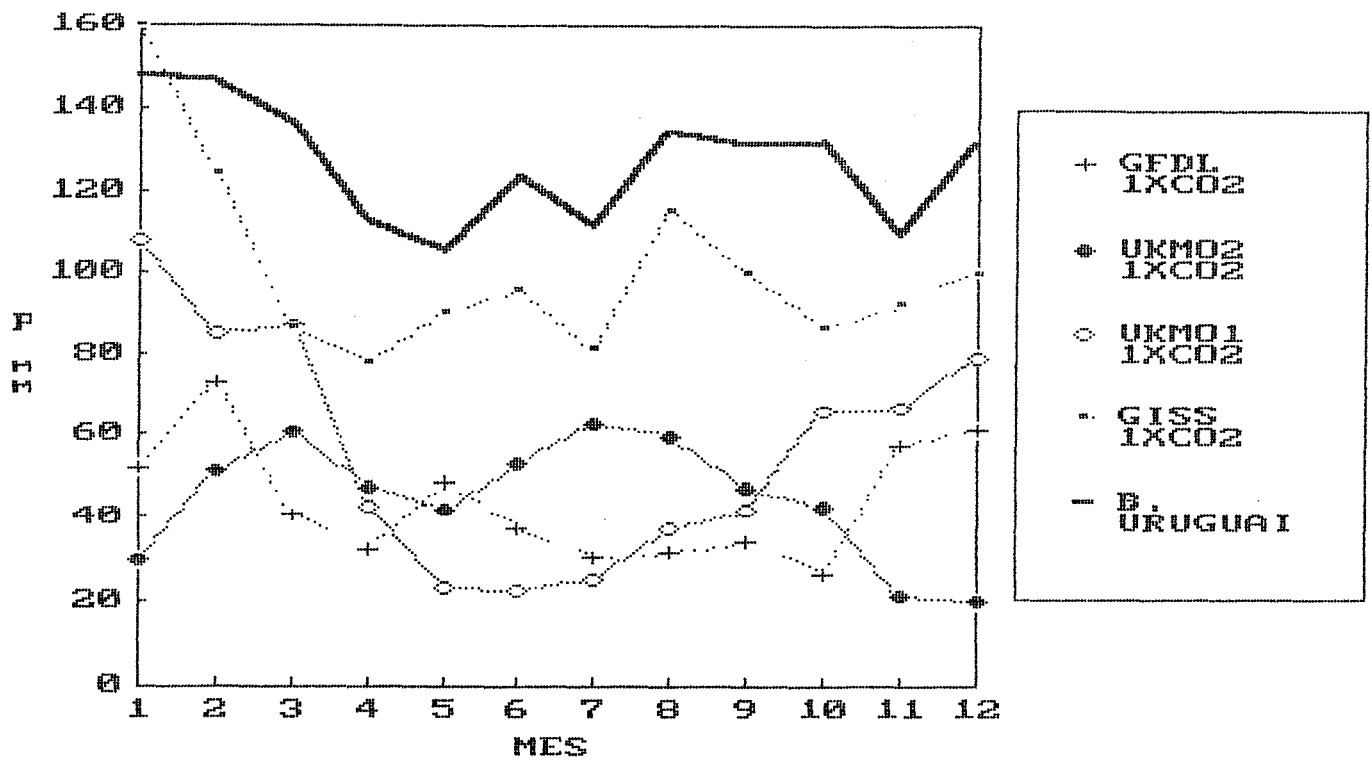


Figura 4.12: Precipitação média sobre a bacia do Rio Uruguai

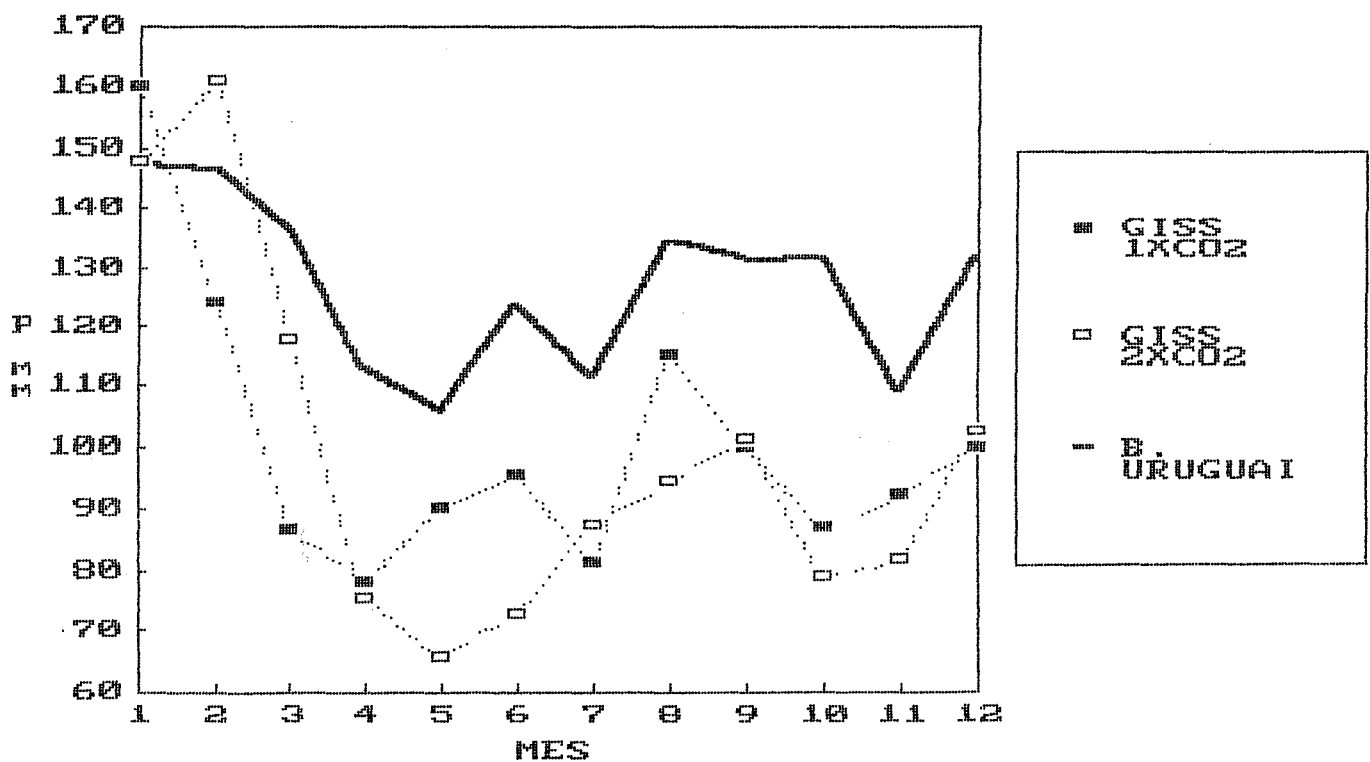


Figura 4.13: Precipitação: Modelo GISS e bacia do Rio Uruguai

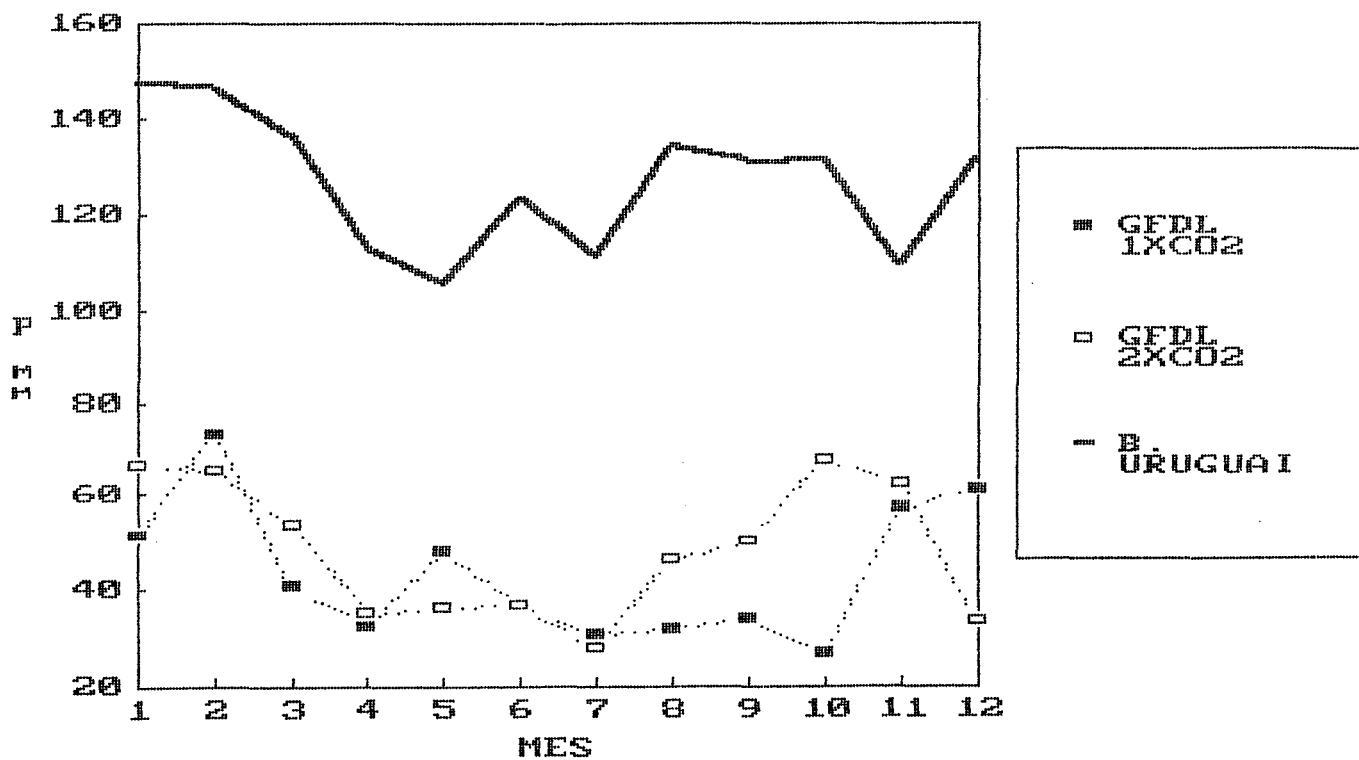


Figura 4.14: Precipitação: Modelo GFDL e bacia do Rio Uruguai

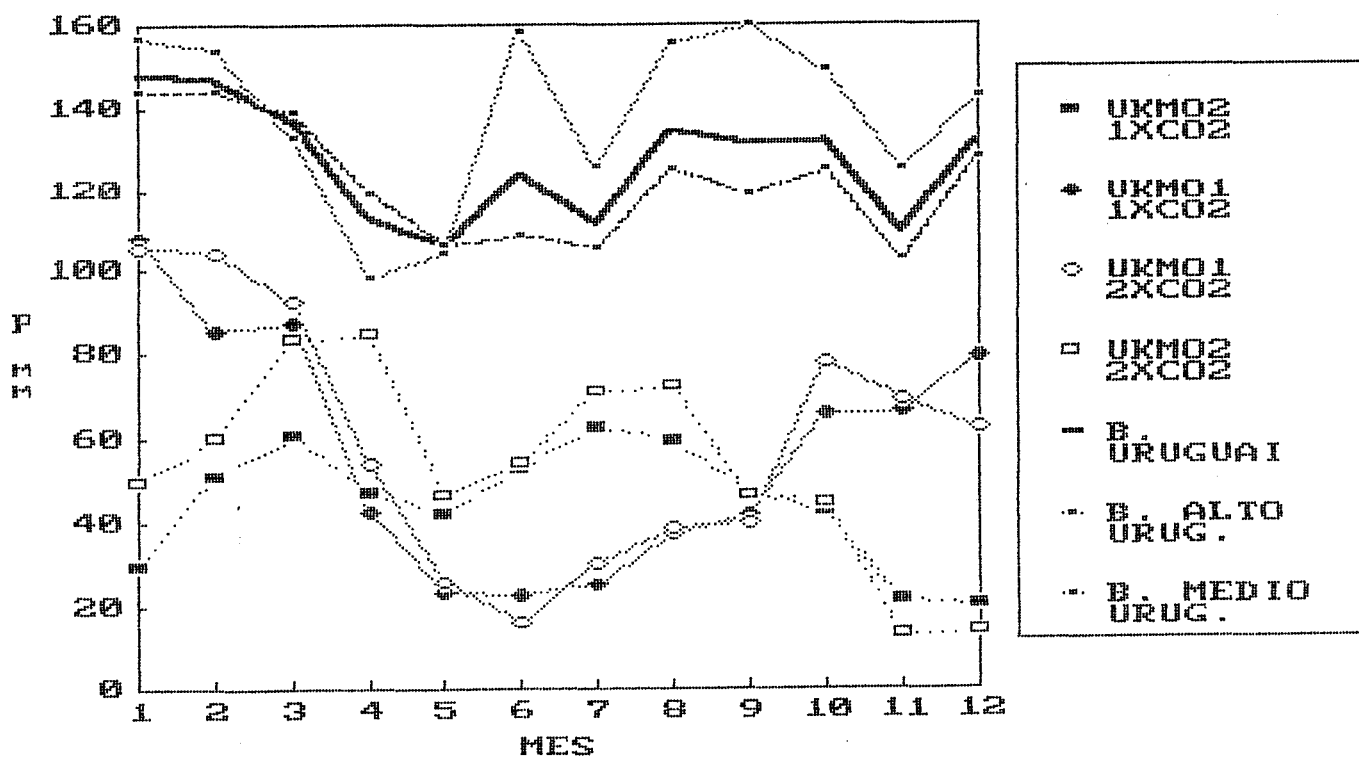


Figura 4.15: Precipitação: Modelo UKMO e bacia do Rio Uruguai

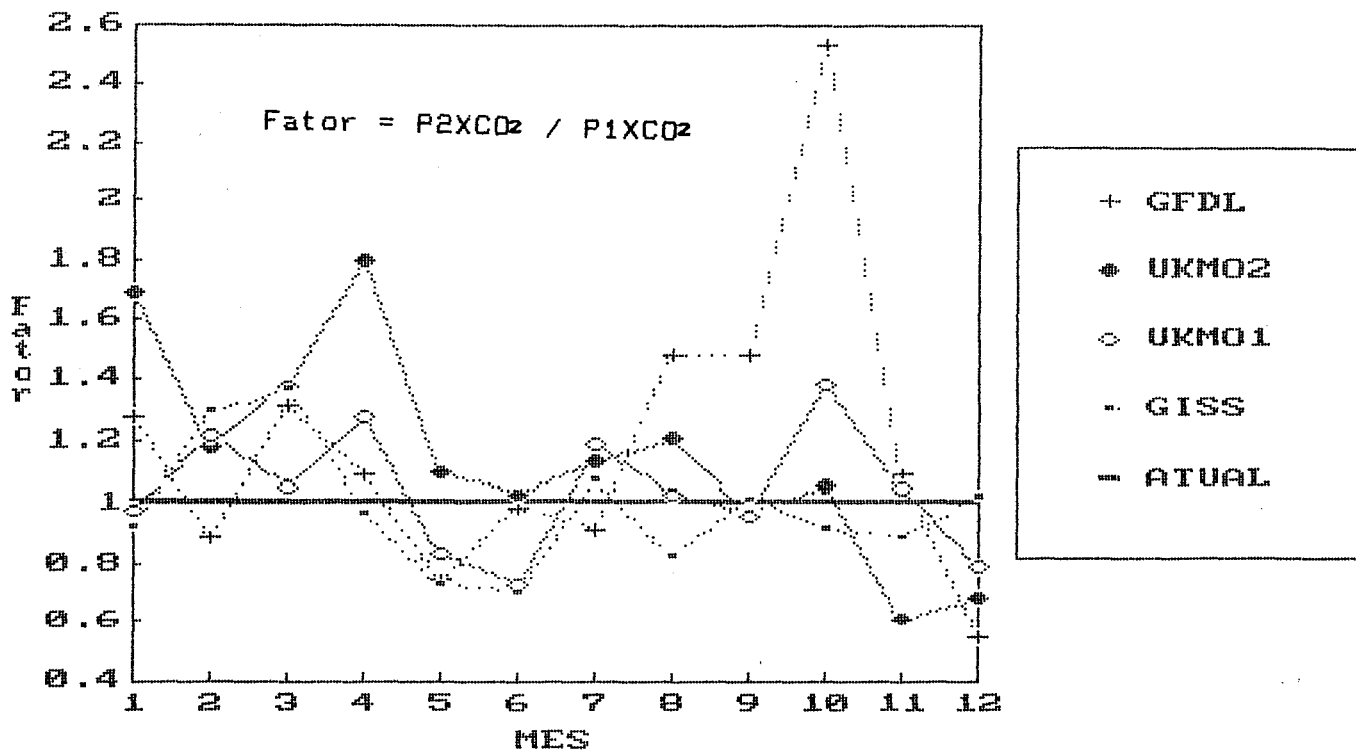


Figura 4.16: Precipitação: Relação entre os cenários (GCMs)

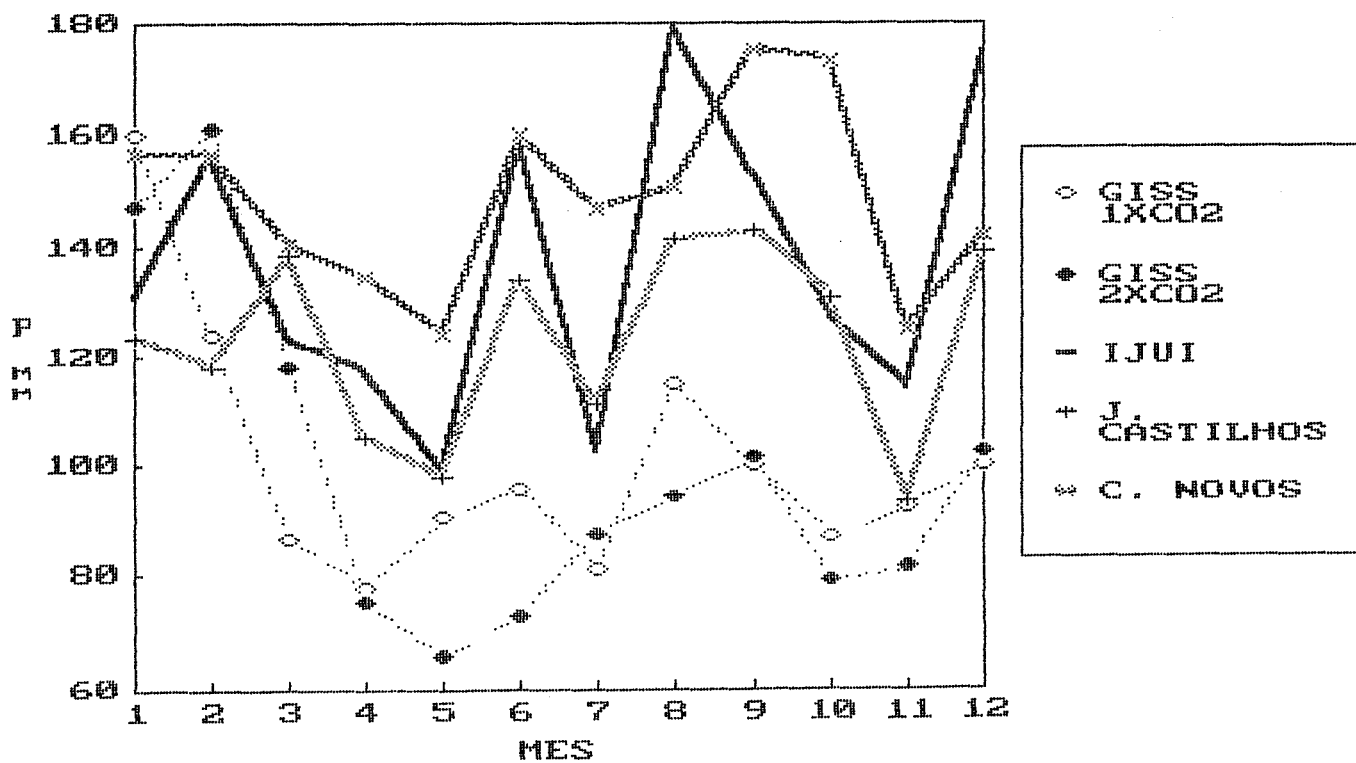


Figura 4.17: Precipitação: Modelo GISS e Sub-bacias

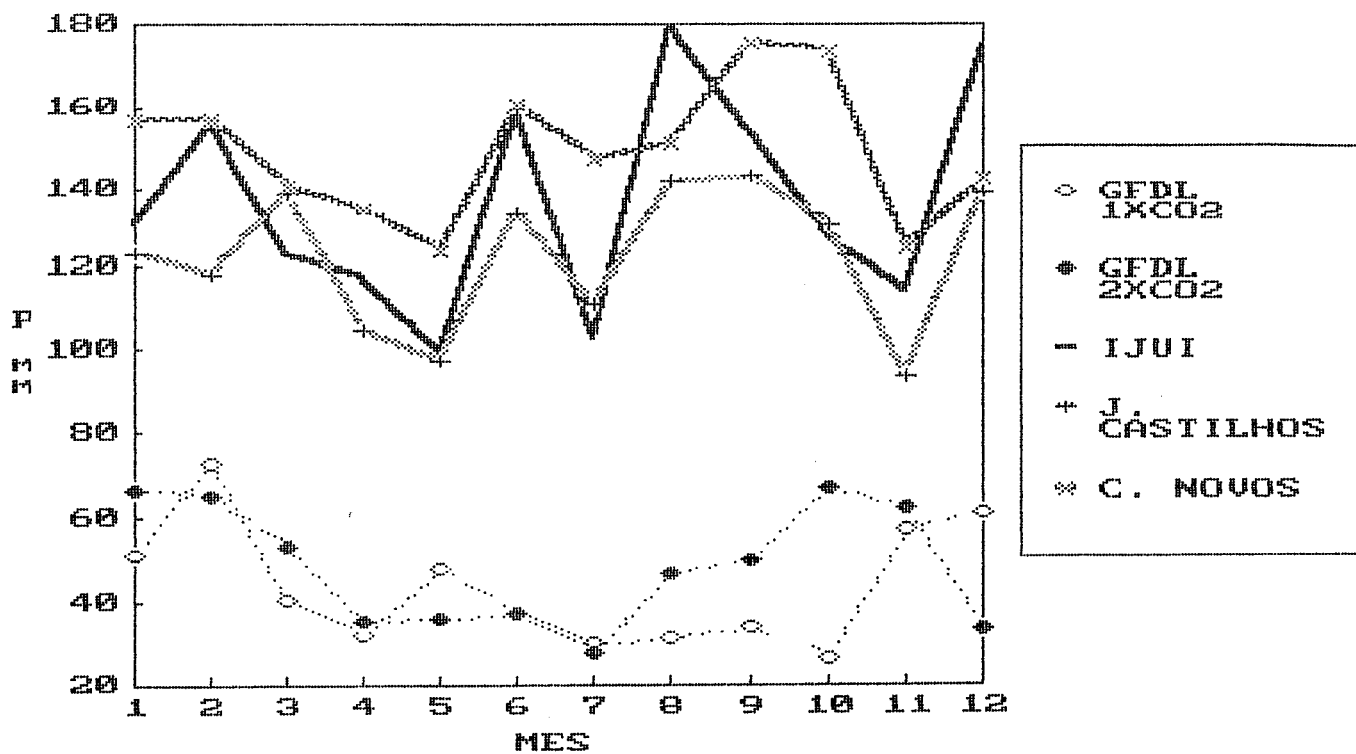


Figura 4.18: Precipitação: Modelo GFDL e Sub-bacias

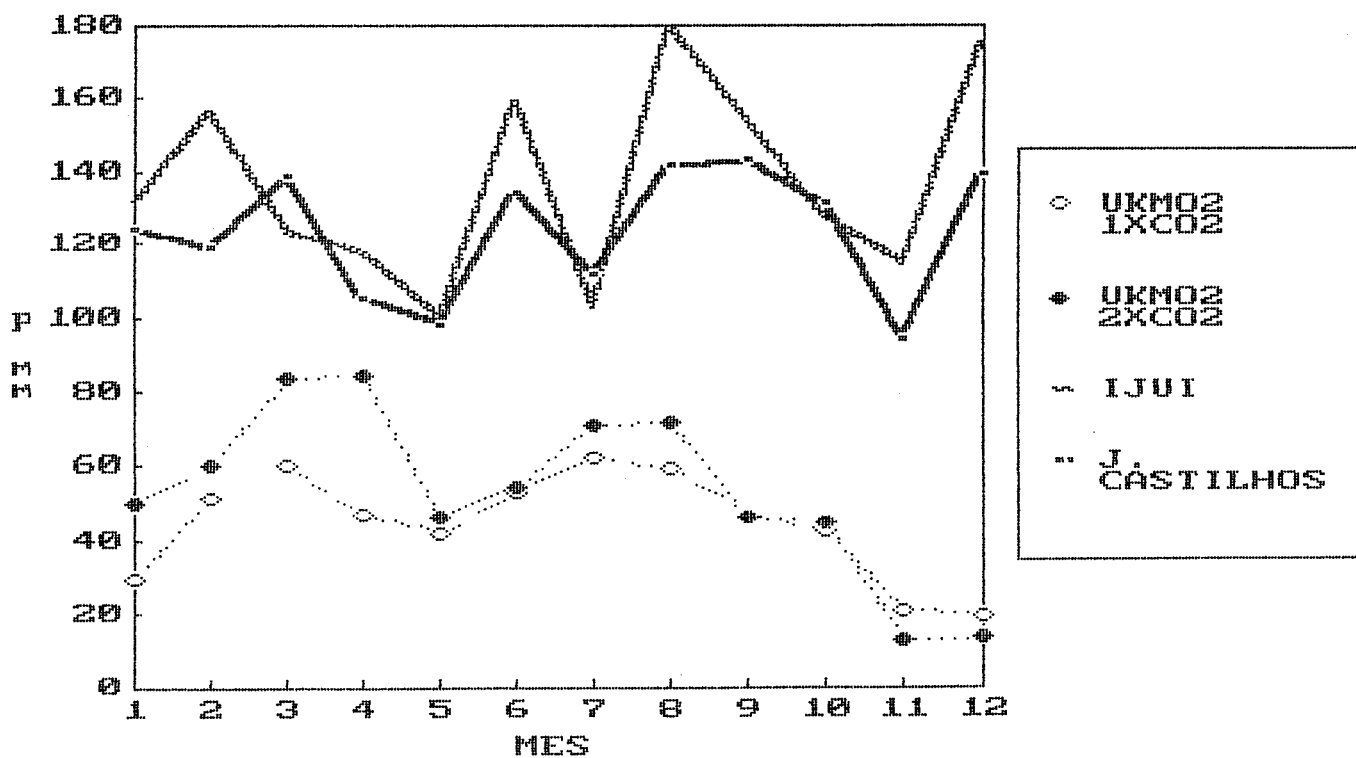


Figura 4.19: Precipitação: Modelo UKMO e Sub-bacias.
(Rios Ijuí e Ibicuí)

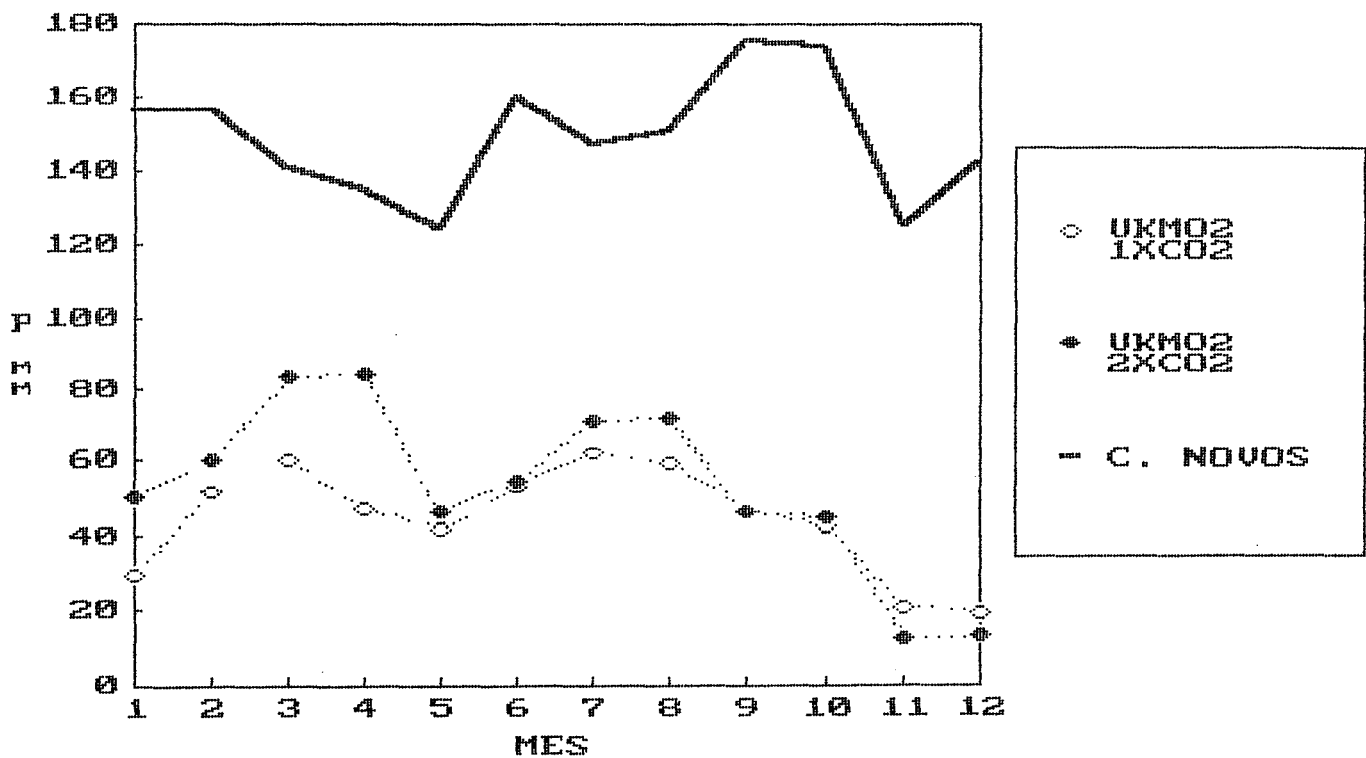


Figura 4.20: Precipitação: Modelo UKMO e Sub-bacia. (Rio Canoas).

Nas figuras 4.22 a 4.25 são apresentados os gráficos das temperaturas médias mensais dos cenários 1XCO2 e 2XCO2, e o observado na região da bacia.

Verifica-se que os modelos tendem a subestimar no inverno as temperaturas para a região, com exceção do modelo GISS. No período crítico de inverno o GISS difere em cerca de 1.5°C , o GFDL em -5.5°C e o UKMO em -5°C , o que distancia muito da realidade.

Nas figuras 4.26 a 4.29 são apresentados os cenários 1XCO2 e o atual das sub-bacias, o que mantém as mesmas tendências.

Na tabela 4.4 verifica-se que os modelos são contraditórios nos prognósticos, isto se dá devido as diferentes estruturas e esquemas numéricos, com os quais os modelos GCMs foram formulados.

Tabela 4.4: Precipitação e temperatura: comparação entre modelos
Bacia do Rio Uruguai

mês	Temperatura (°C) acréscimos				Precipitação 2XCO ₂ /1XCO ₂			
	GISS	GFDL	UKMO1	UKMO2	GISS	GFDL	UKMO1	UKMO2
Janeiro	4.8	4.5	5.97	6.54	0.920	1.277	0.980	1.690
Fevereiro	4.4	3.9	6.12	5.63	1.295	0.89	1.220	1.180
Março	4.9	2.1	6.04	5.53	1.366	1.314	1.060	1.380
Abril	4.5	3.1	3.65	5.47	0.967	1.088	1.280	1.800
Mai	4.2	3.7	4.02	5.14	0.725	0.745	0.830	1.490
Junho	3.5	2.9	5.35	6.64	0.760	0.989	0.730	1.030
Julho	4.6	3.6	4.97	5.78	1.076	0.909	1.190	1.140
Agosto	3.9	4.0	5.00	6.05	0.820	1.483	1.030	1.210
Setembro	4.2	3.7	5.65	5.58	1.015	1.482	0.960	0.970
Outubro	4.7	4.1	6.02	5.36	0.910	2.541	1.390	1.060
Novembro	5.1	1.7	7.16	7.13	0.884	1.088	1.050	0.610
Dezembro	5.1	5.2	6.96	7.46	1.027	0.544	0.790	0.680
Média	4.5	3.6	5.58	6.02	0.981	1.196	1.042	1.187

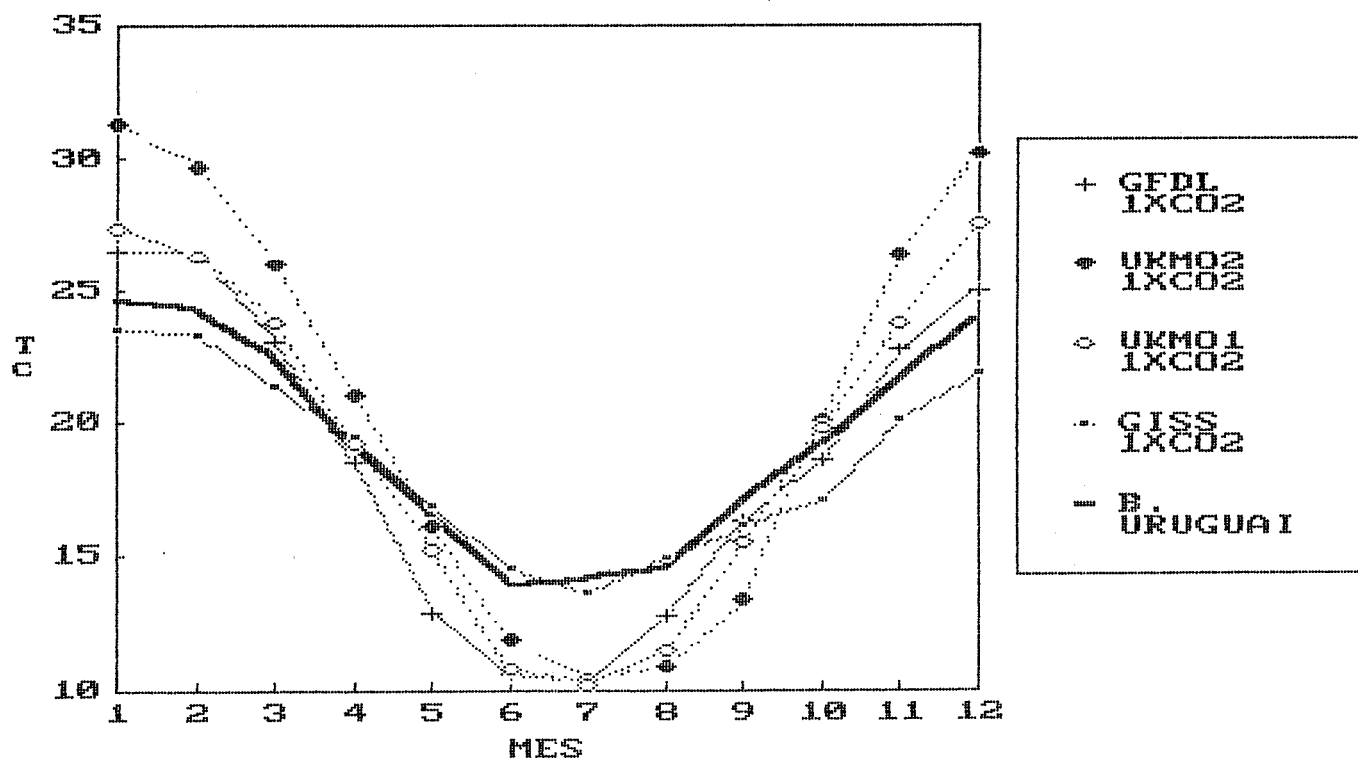


Figura 4.21: Temperatura média sobre a bacia do Rio Uruguai

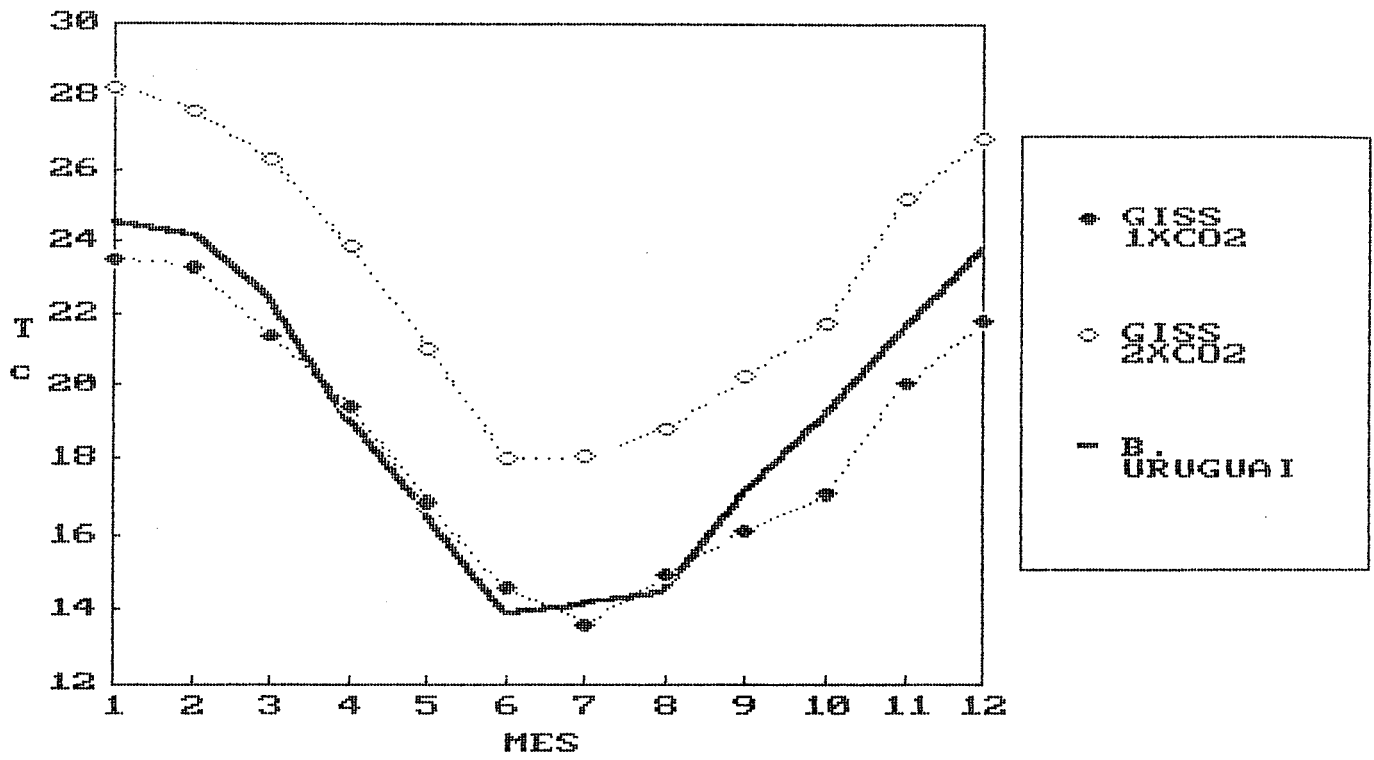


figura 4.22: Temperatura: Modelo GISS, bacia do Rio Uruguai

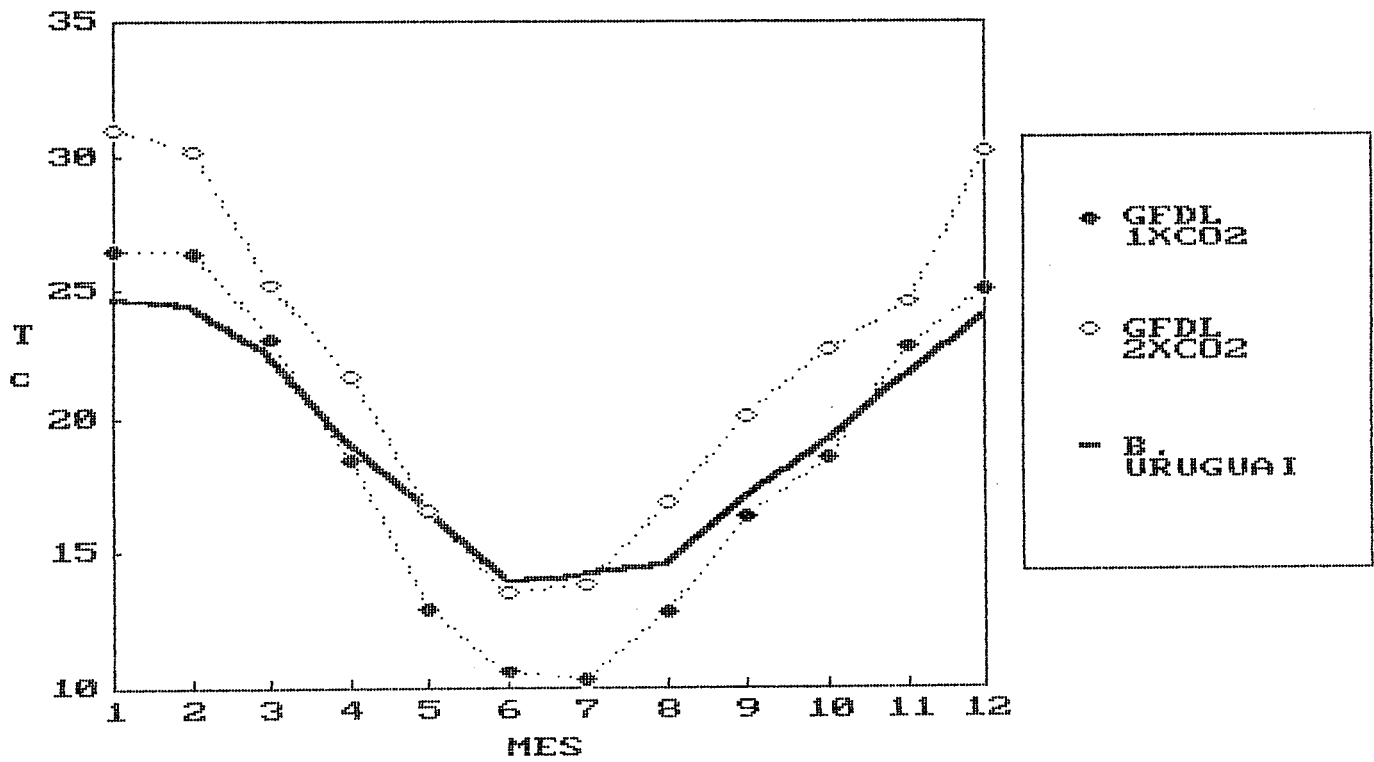


Figura 4.23: Temperatura: Modelo GFDL, bacia do Rio Uruguai

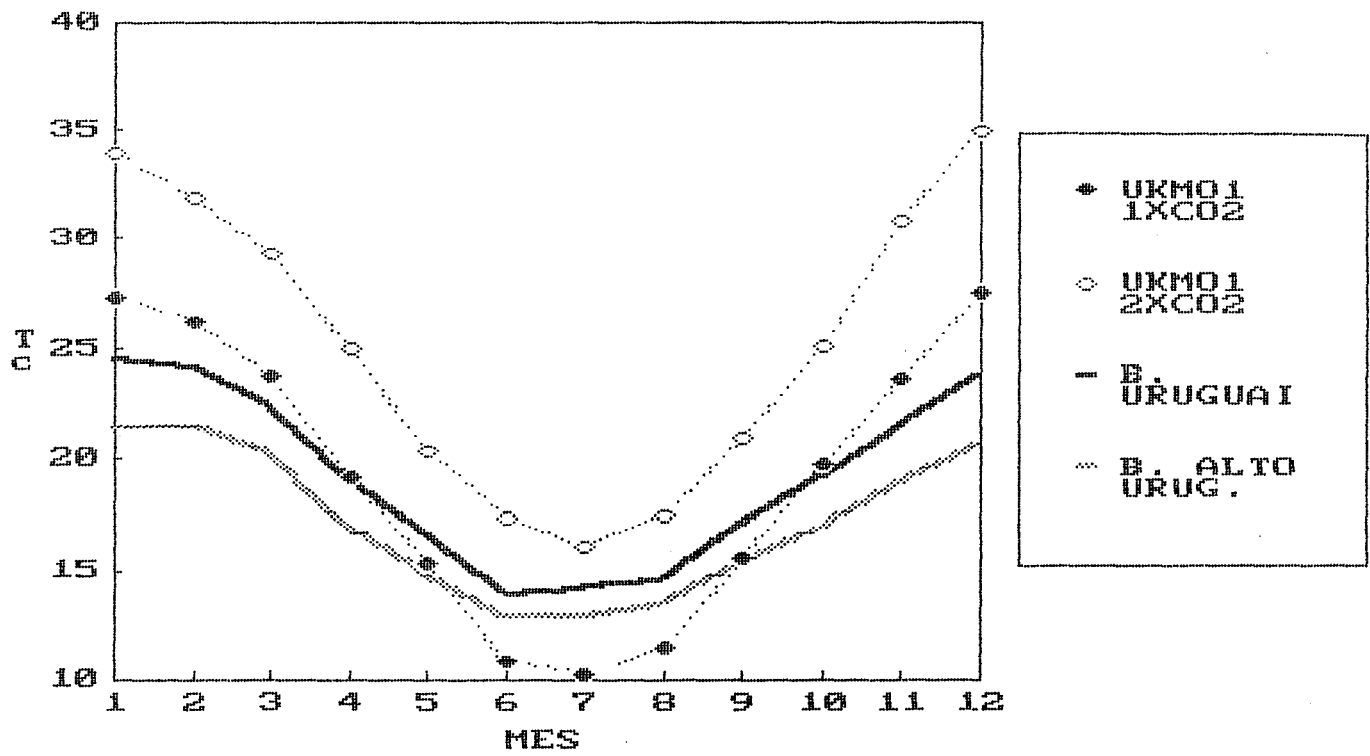


Figura 4.24: Temperatura: Modelo UKMO, bacia do Rio Uruguai. Região do Rio Canoas.

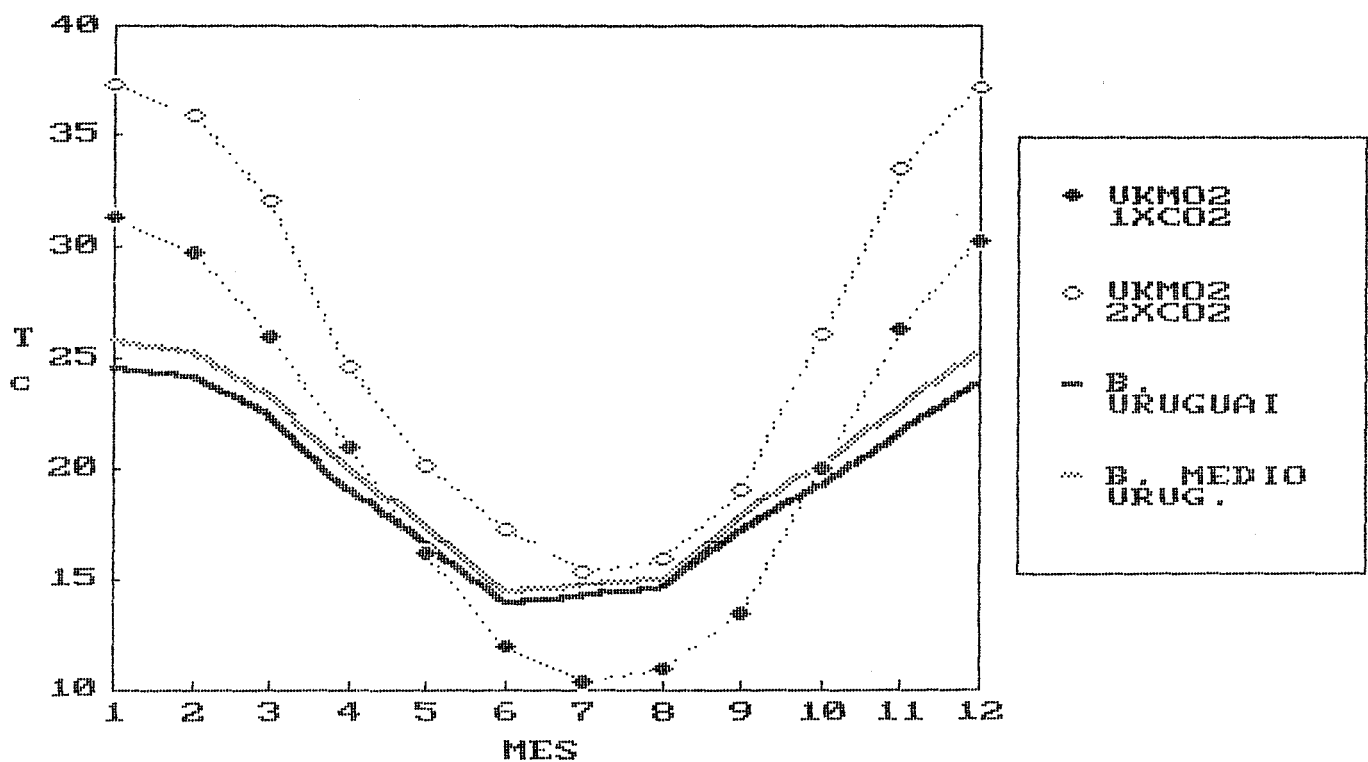


Figura 4.25: Temperatura: Modelo UKMO, bacia do Rio Uruguai. Região do Rio Ijuí e Ibicuí

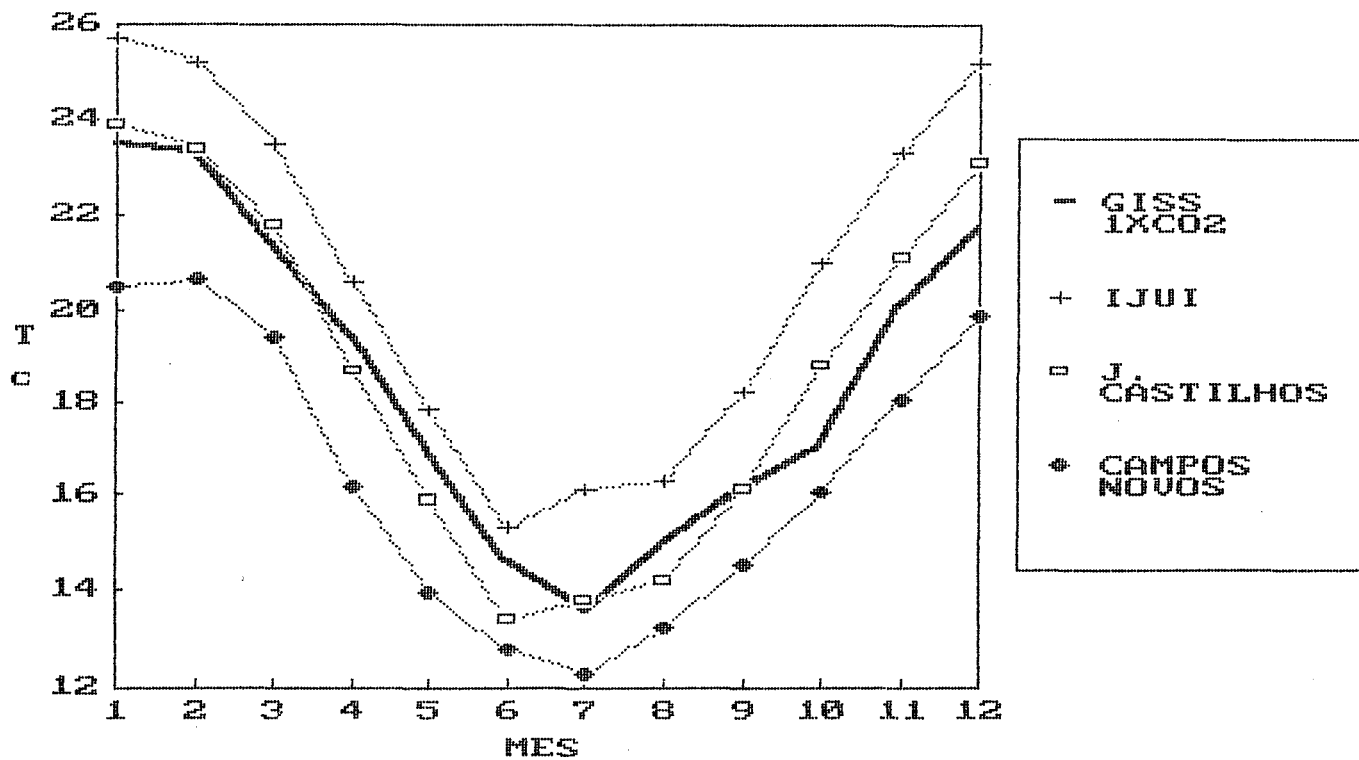


Figura 4.26: Temperatura: Modelo GISS e Sub-bacias

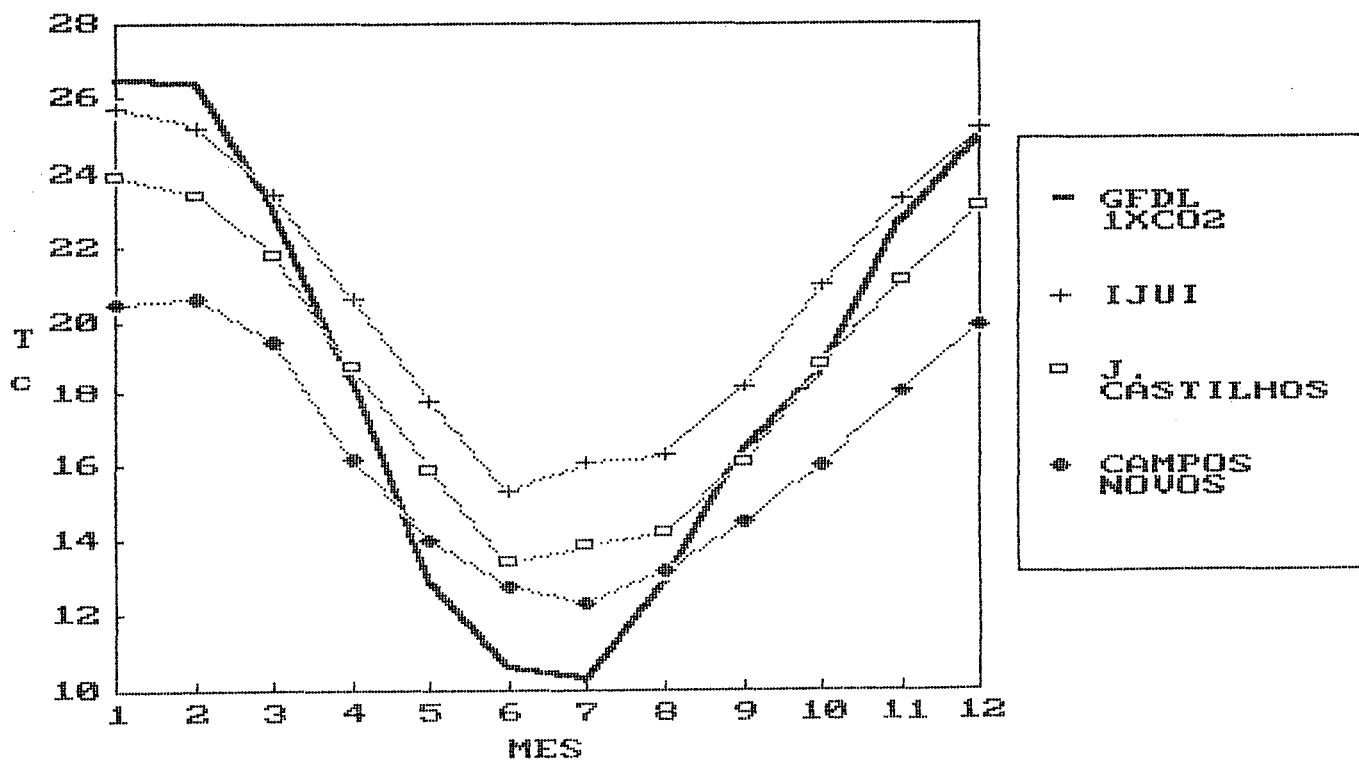


Figura 4.27: Temperatura: Modelo GFDL e Sub-bacias

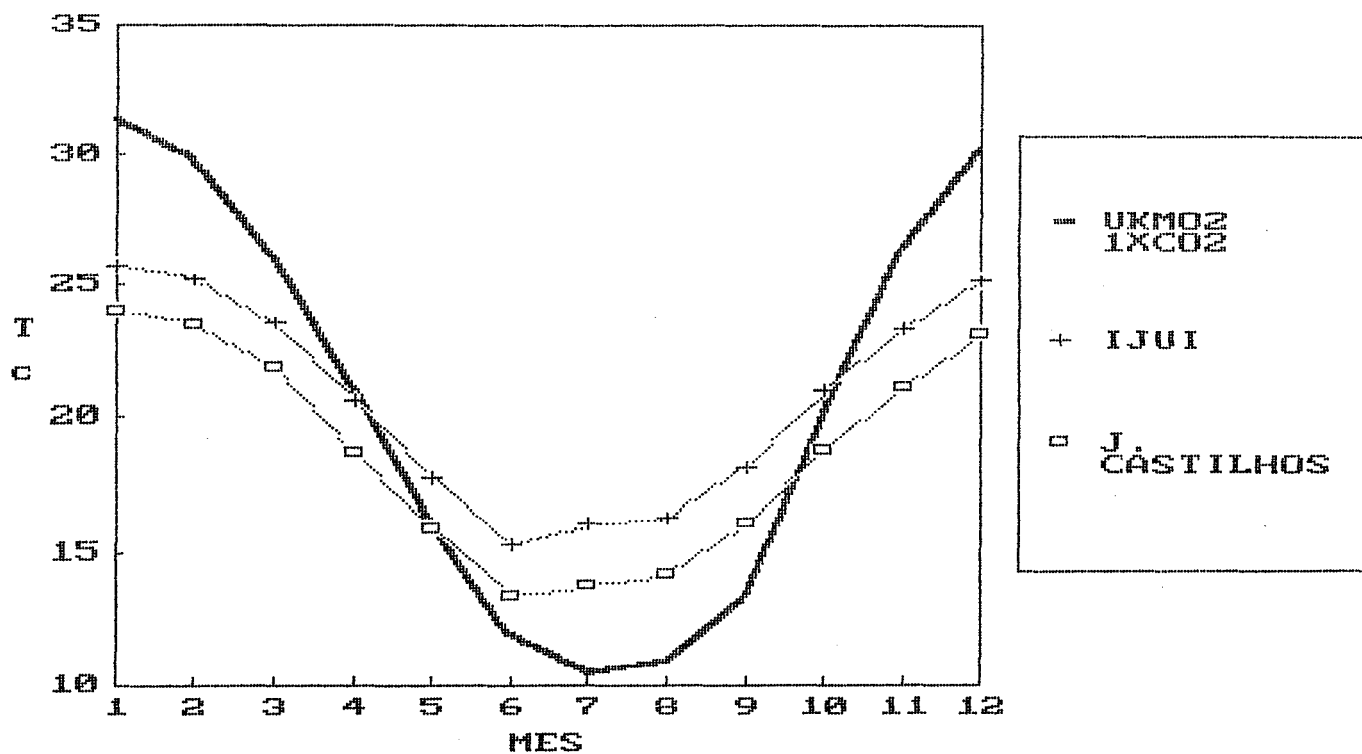


Figura 4.28: Temperatura: Modelo UKMO e Sub-bacias (Ijuí e Ibicuí)

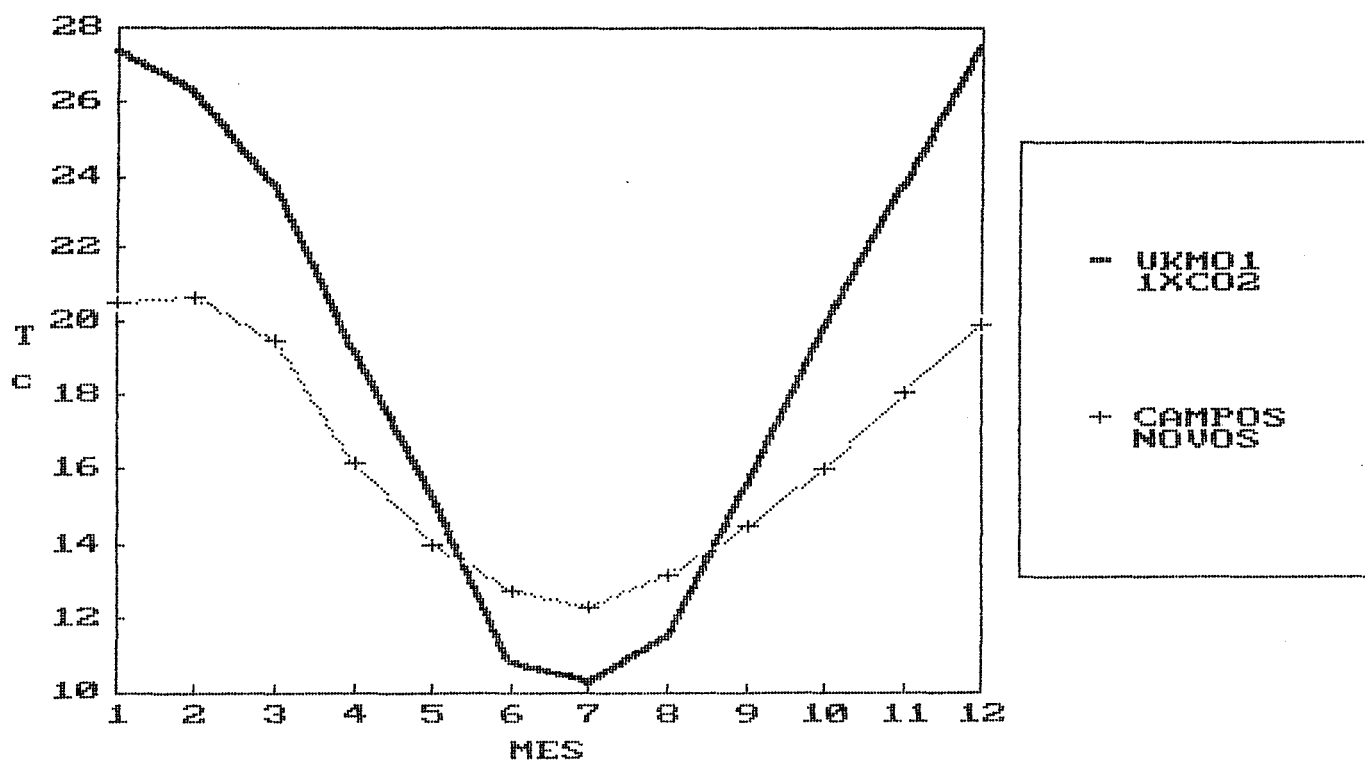


Figura 4.29: Temperatura: Modelo UKMO e Sub-bacia (Rio Canoas)

4.4 AJUSTE E VERIFICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO

Para as oito sub-bacias do estudo foram utilizados períodos de 16 a 23 anos de séries contínuas, diárias de descarga e precipitações. A evapotranspiração potencial foi obtida pelo método de Penman, para intervalos mensais, e obtida com base na temperatura e variáveis climáticas da região.

O período de ajuste foi definido de acordo com o ciclo de anos secos e úmidos, fazendo com que os intervalos não fossem constantes. O restante da série é utilizado para verificação. Na tabela 4.5 é apresentado um quadro resumo das séries.

As estatísticas das séries observadas e simuladas para o ajuste e verificação são apresentadas na tabela 4.6. Na tabela 4.7 são apresentados os parâmetros do modelo.

Tabela 4.5 - Quadro resumo

bacia	Período	Ajuste	Verificação
Potiribu		1964 - 1972	1973 - 1983
Conceição		1963 - 1971	1972 - 1983
Santo Ângelo		1969 - 1974	1963 - 68 e 75 - 82
Passo Marombas		1980 - 1984	1969 - 1979
Pte. Alta do Sul		1980 - 1984	1969 - 1979
Rio Bonito		1980 - 1984	1969 - 1979
Passo da Cachoeira		1977 - 1983	1962 - 1976
Vila Clara		1980 - 1983	1963 - 1979

No anexo A são apresentadas as funções hidrológicas ajustadas, usadas em projetos e obras hidráulicas, que também foram utilizadas como critério de ajuste. O modelo apresentou boas estimativas das descargas para as bacias estudadas.

As incertezas na curva-chave de alguns postos e na distribuição espacial da precipitação, dificultaram o ajuste e verificação, principalmente para a curva de regularização.

Tabela 4.6 - Estatísticas do ajuste e verificação

bacia	R2 %	Qobs	AJUSTE			D.P.	
			Qcal.	$\Delta Q\%$	Desv. padrão $\frac{Q_o - Q_c}{Q_o + Q_c}$	obs.	cal.
Potiribu	81.5	14.41	14.35	0.41	5.60	2.04	1.67
Conceição	75.6	21.10	21.70	1.89	7.78	3.07	2.97
Sto Ângelo	87.4	139.06	139.09	0.02	42.66	21.77	20.03
Pte A. Sul	70.0	120.58	126.45	4.87	28.45	13.72	13.20
Rio Bonito	82.0	70.06	69.57	0.70	17.67	7.51	7.60
P Marombas	93.6	114.10	114.81	0.62	27.25	19.58	19.01
P Cachoeira	83.7	63.56	64.38	1.29	21.47	9.64	8.74
V Clara	82.5	67.94	70.18	3.30	30.93	13.39	10.70

bacia	R2 %	Qobs	VERIFICAÇÃO			Desv. padrão $\frac{Q_o - Q_c}{Q_o + Q_c}$
			Qcal.	$\Delta Q\%$	(m ³ /s)	
Potiribu	80.9	15.26	14.50	4.98	5.86	
Conceição	75.0	22.58	20.00	11.42	9.11	
Sto Ângelo	75.0	117.69	120.18	2.12	47.92	
Pte a. Sul	73.0	111.76	102.20	8.55	45.66	
Rio Bonito	73.0	49.55	48.00	3.13	16.60	
P Marombas	81.1	89.47	88.63	0.94	25.46	
P Cachoeira	72.0	56.72	57.13	0.72	20.35	
V Clara	80.20	54.79	56.47	3.07	24.89	

No anexo B são apresentados os hidrogramas calculados e observados para as séries históricas de cada sub-bacia.

Tabela 4.7 - Parâmetros do modelo hidrológico

Bacia	I _o	I _b	\bar{h}	sup	K _{sub}	R _{max}	α_1	α_2
Potiribu	37.55	6.75	0.69	1.00	53.0	5.70	35.0	0.15
Conceição	27.00	10.00	0.68	1.10	37.0	6.00	20.0	0.20
Sto Ângelo	20.20	3.50	0.55	2.00	70.0	12.00	35.0	0.15
Pte A. Sul	6.15	2.84	0.51	6.00	57.0	5.00	30.0	1.00
Rio Bonito	5.50	3.10	0.54	4.95	90.0	3.40	6.0	1.00
P. Marombas	19.50	6.10	0.62	2.60	37.0	5.70	40.0	0.75
P. Cachoeira	24.6	6.05	0.51	1.10	94.0	13.00	30.0	0.15
Vila Clara	17.20	1.83	0.90	1.54	16.0	3.00	30.0	0.55

4.5 REGIONALIZAÇÃO DOS VALORES HISTÓRICOS

Regionalização das vazões médias:

As vazões médias foram calculadas com base nos dados simulados pelo modelo IPH II sobre as oito sub-bacias.

A vazão média de longo período foi regionalizada utilizando todos os postos, e a área de drenagem foi utilizada como variável independente. A figura 4.30 apresenta a regressão entre as vazões médias e a área, para os postos com registro em toda a bacia do Rio Uruguai (84 postos). As oito sub-bacias escolhidas, apresentam tendências semelhantes a todos os postos da bacia, indicando que os mesmos são bons indicadores da representatividade da vazão média da mesma.

A equação de regressão com as vazões simuladas é:

$$Q_{lp} = 0.03226 A^{0.963675} \quad (4.1)$$

Sendo Q_{lp} em m^3/s : A em km^2 .

$$O R^2 = 0.99 \text{ e } \sigma_f = 1.08543$$

A figura 4.31 apresenta a curva adimensional de probabilidades para vazão média.

Vazões máximas:

Para a vazão média de cheia, obteve-se a seguinte equação de regressão utilizando os dados das 8 sub-bacias:

$$Q_{mc} = 0.56381 A^{0.850269} \quad (4.2)$$

Q_{mc} em m^3/s e A em km^2

Sendo $R^2 = 0.851$ e $\sigma_f = 1.35557$.

A figura 4.32 apresenta as oito sub-bacias justapostas com os 72 postos fluviométricos, utilizados para a regionalização da vazão média de cheia (IPH, 1991), o que pode ser considerado um ajuste aceitável.

A curva de frequência foi determinada segundo o mesmo procedimento adotado para as vazões médias, na figura 4.33.

Na tabela 4.8 é apresentado um quadro resumo das vazões calculadas e as verificadas para as oito sub-bacias.

Verificou-se que o ajuste das vazões máximas não dispõe de tal qualidade de estimativa quanto as vazões médias, visto que a estimativa de extremos envolve maiores erros dos dados e necessita de mais variáveis explicativas.

Tabela 4.8 - Vazões médias e máximas para a região.

bacia	Área	Vazão média		Vazão máxima	
		Verif.	calc.	verif.	calc.
Potiribu	628	15.17	16.03	122.13	134.94
Conceição	784	20.80	19.85	172.67	162.96
Sto Ângelo	5414	125.89	127.81	816.42	842.61
Pte a. Sul	4600	109.56	109.24	494.22	733.60
P. Marombas	3800	97.10	90.87	727.09	623.61
R. Bonito	1990	54.47	48.72	250.98	359.79
P Cachoeira	2562	60.58	62.15	598.41	446.01
V. Clara	2783	59.00	67.31	700.58	478.51

Verificou-se para as sub-bacias do Ibicuí, Passo da Cachoeira e Vila Clara, que os valores de vazão média de cheia são maiores que o definido pela equação regional. Isto em virtude das características da região no tocante aos aquíferos, relevo, e outros fatores que determinam a resposta da bacia a um impulso (precipitação), serem diferentes da tendência regional. Neste problema seria necessário estabelecer uma sub-região para esta

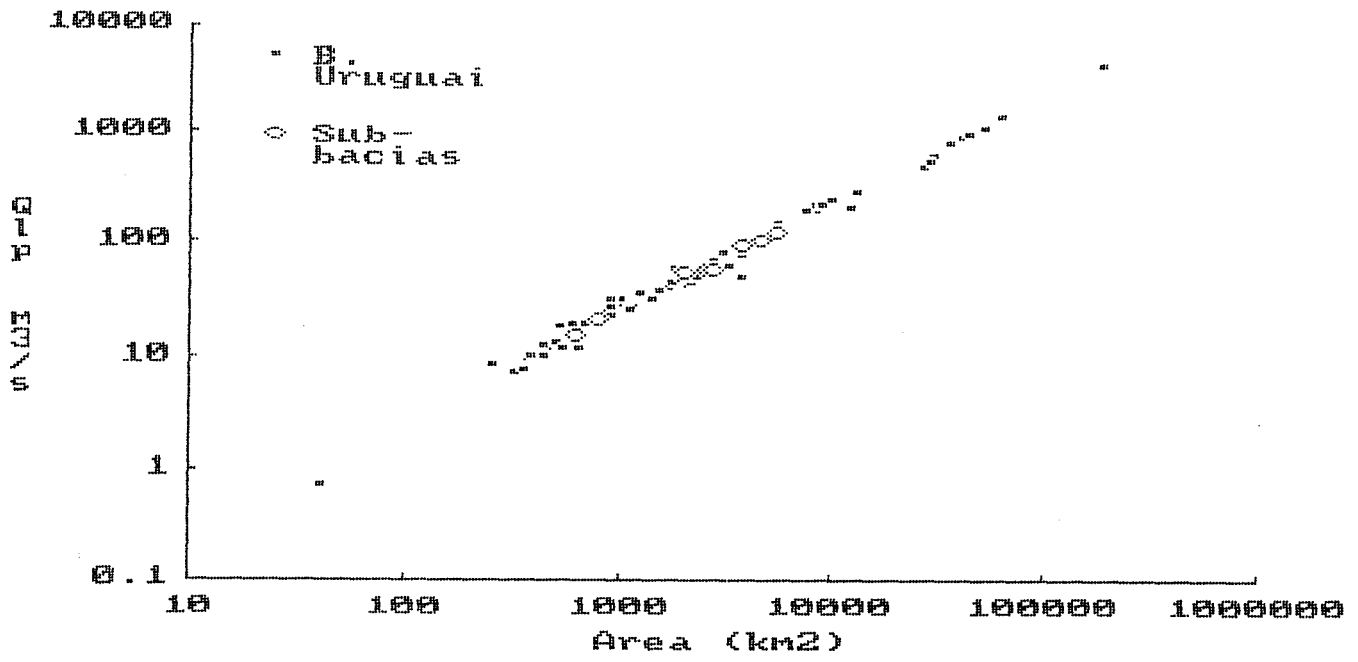


Figura 4.30: Regressão da Vazão média X Área

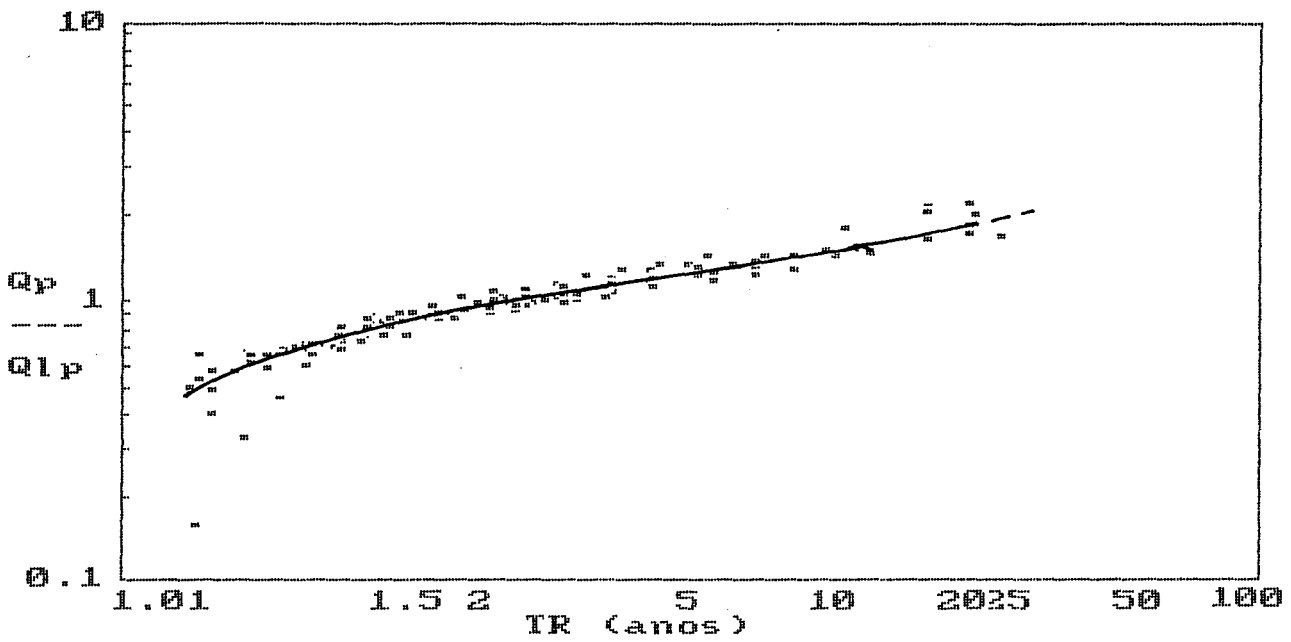


Figura 4.31: Curva Adimensional Regional das Vazões Médias

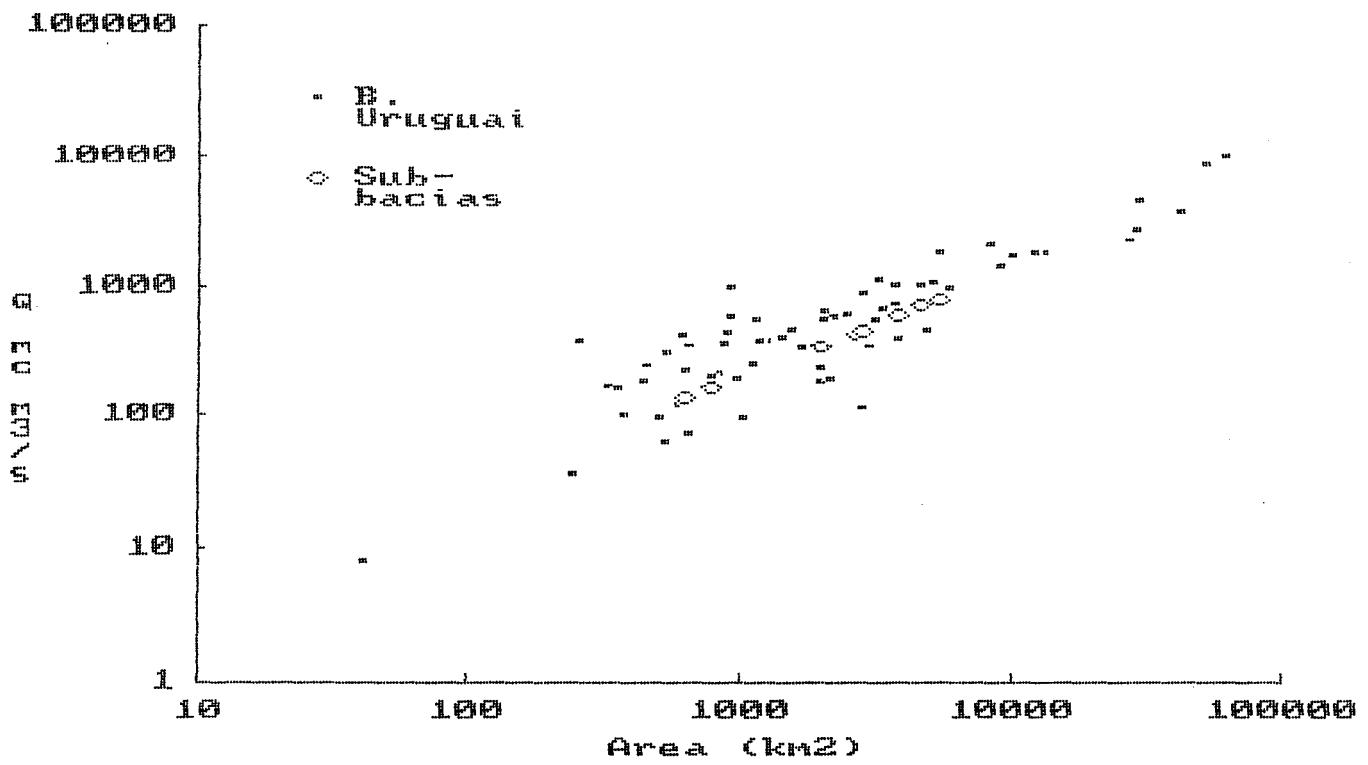


Figura 4.32: Regressão da Vazão máxima de cheia X Área

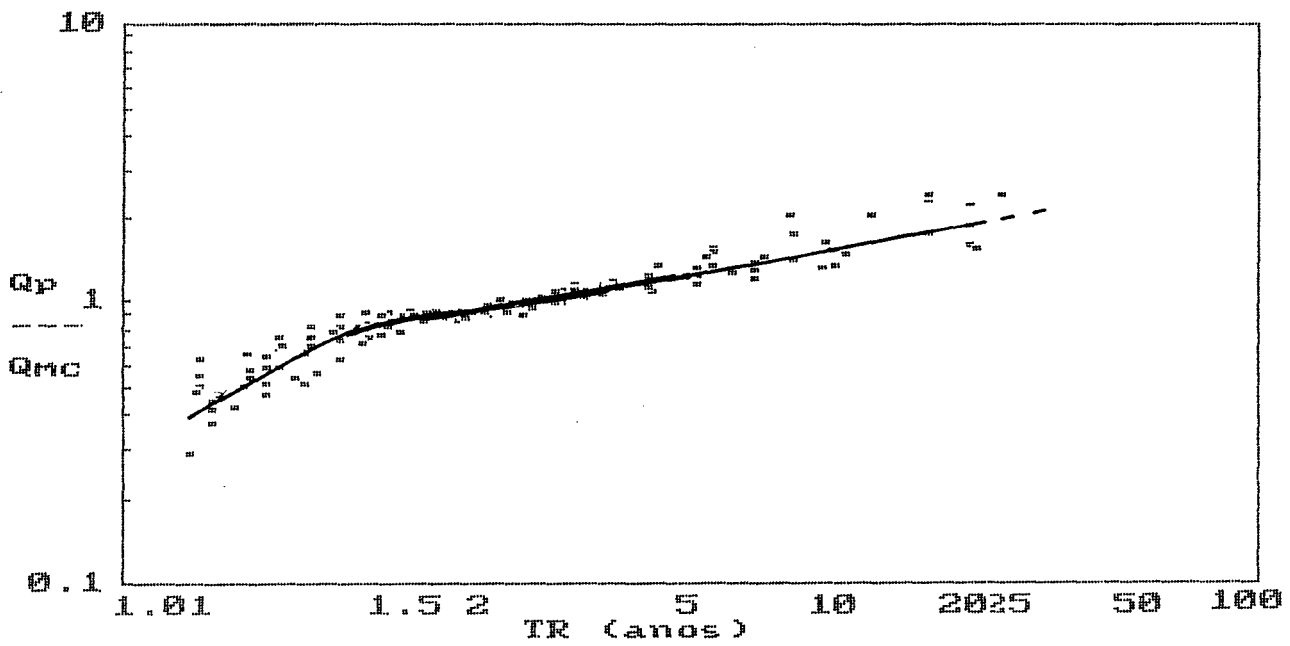


Figura 4.33: Curva Adimensional Regional das Vazões Máximas

bacia, o que acarretaria o uso de mais postos.

Vazões mínimas:

A regionalização das vazões mínimas segue a mesma metodologia adotada para as vazões médias.

Como as vazões mínimas dependem da duração, têm como variáveis independentes a área de drenagem da bacia e as durações escolhidas, são 7 e 30 dias.

A equação de regressão determinada fica:

$$Q_{mt} = 0.00609 A^{0.938595} t^{0.157634} \quad (4.3)$$

Sendo $R^2 = 0.97$ e $\sigma_f = 1.15924$. Nesta regressão não está incluído o posto de Vila Clara, uma vez que não representa a tendência das demais sub-bacias, e apresentando vazões mínimas muito inferiores à tendência das demais sub-bacias do estudo.

A figura 4.34 visualiza a curva de probabilidade adimensional regional dos pontos de vazões mínimas. Na figura 4.35 é possível verificar que os postos ajustam-se bem a tendência da bacia, para a duração de 7 dias.

A tabela 4.9 apresenta um quadro resumo das estimativas das vazões mínimas.

Tabela 4.9 - Quadro das vazões mínimas

bacia	duração	7 dias		30 dias	
		verif.	calc.	verif.	calc.
Potiribu		3.93	3.50	4.68	4.40
Conceição		3.46	4.31	4.63	5.42
Sto Ângelo		25.00	26.43	29.62	33.24
Pte A. Sul		21.04	22.68	26.08	28.53
R Bonito		9.94	10.33	13.43	12.99
P Marombas		18.59	18.96	24.55	23.84
P Cachoeira		17.47	13.09	20.08	16.47
Vila Clara		1.98	****	4.36	****

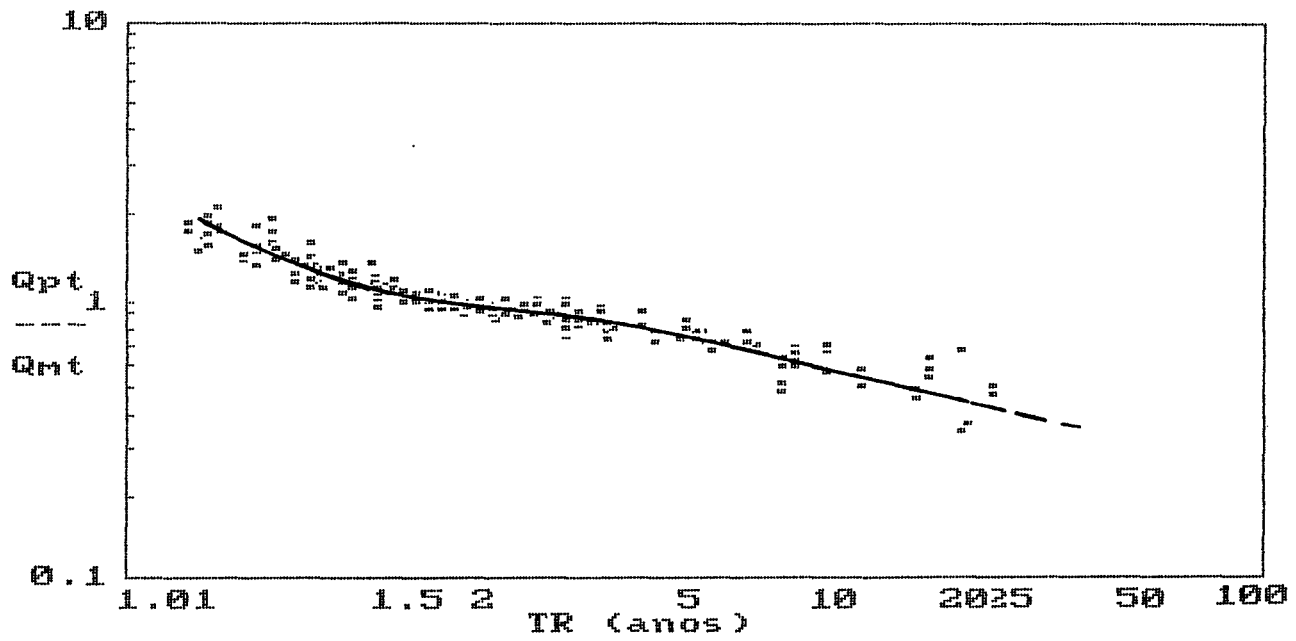


Figura 4.34: Curva Adimensional Regional das Vazões Mínimas

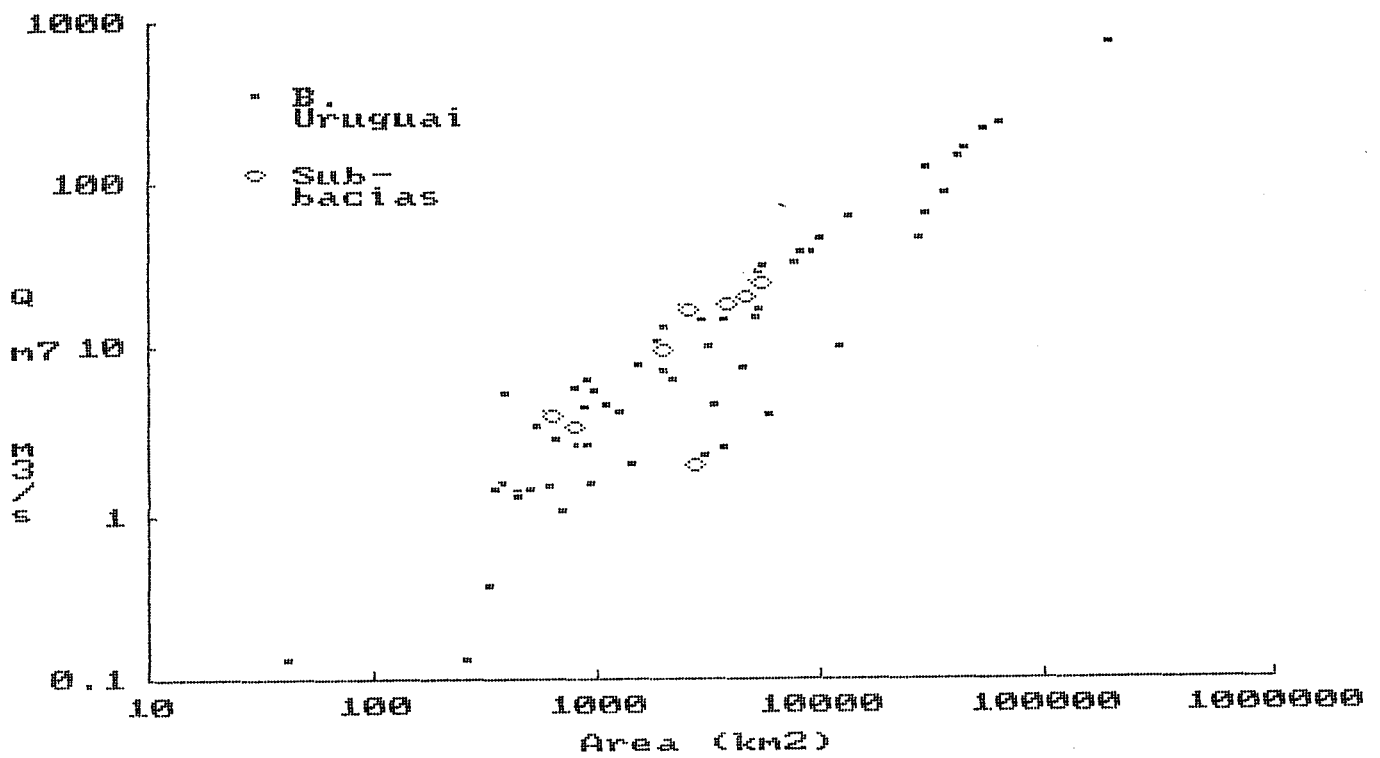


Figura 4.35: Regressão da Vazão mínima de 7 dias X Área

Curva de permanência:

Adotou-se o procedimento de regionalizar os Q_{50} e Q_{95} % das curvas, através da regionalização do trecho de exponencial compreendido entre estes dois valores. Nas figuras 4.36 e 4.37 são apresentadas as curvas de permanência com os trechos da equação exponencial ajustadas às mesmas, com bons ajustes com exceção da bacia de Vila Clara que não possui ajuste, por apresentar tendências de vazões mínimas muito pequenas em relação as demais bacias.

Encontrou-se as seguintes equações de regressão para os Q_{50} e Q_{95} %.

$$Q_{95} = 0.00649 A^{0.974486} \quad (4.4)$$

Com $R^2 = 0.97$ e $\sigma_f = 1.1594$

$$Q_{50} = 0.02003 A^{0.964624} \quad (4.5)$$

Com $R^2 = 0.975$ e $\sigma_f = 1.15522$, sendo Q_{50} e Q_{95} em m^3/s e A em km^2 .

A tabela 4.10 apresenta um quadro resumo entre as vazões verificadas e calculadas pelas equações de Q_{50} e Q_{95} %.

Todavia, pode ser considerado satisfatório o ajuste adotado, que poderia ser melhorado se houvessem dados sobre a geologia das regiões em estudo.

Curva de regularização:

Para a bacia do Rio Uruguai, a década de 1940-1950 representa o período crítico de estiagem, o qual neste estudo não foi utilizado, por falta de dados históricos para o período em questão.

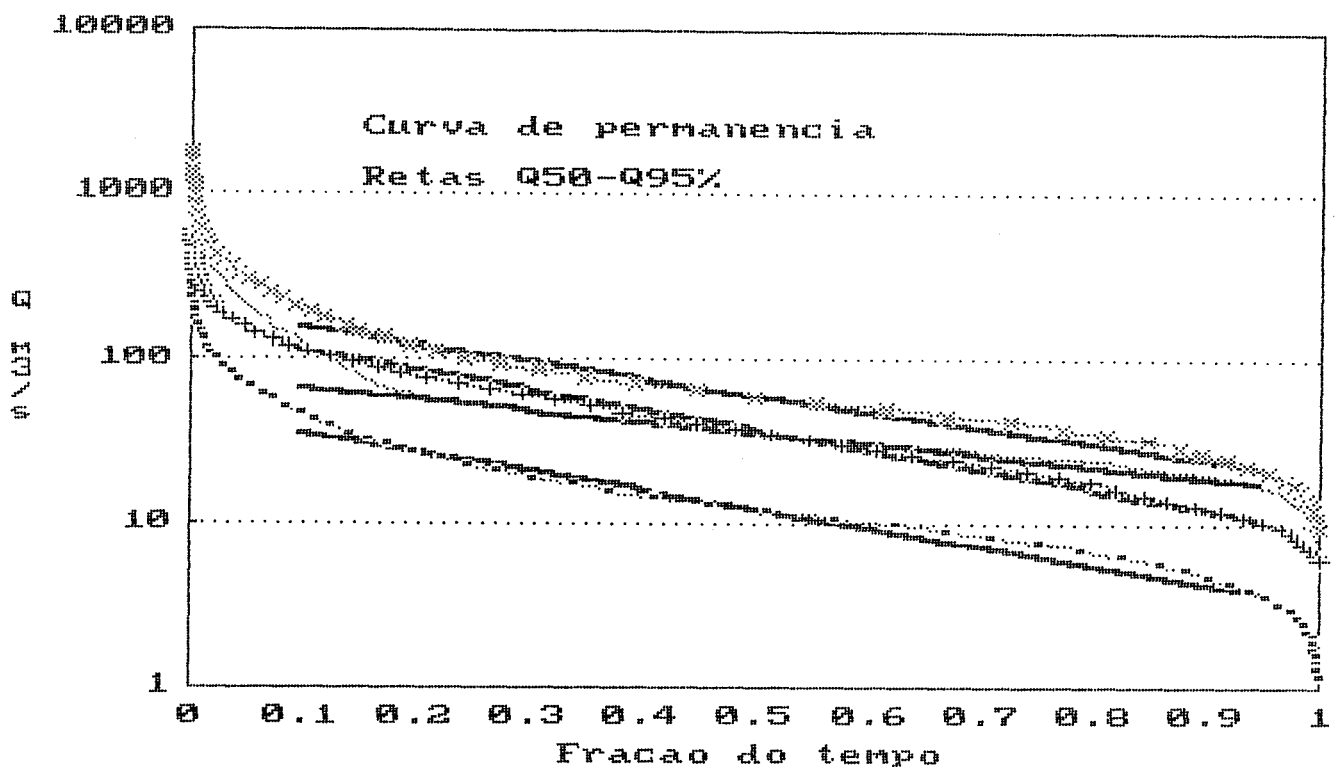


Figura 4.36: Curvas de Permanência e a equação exponencial ajustada

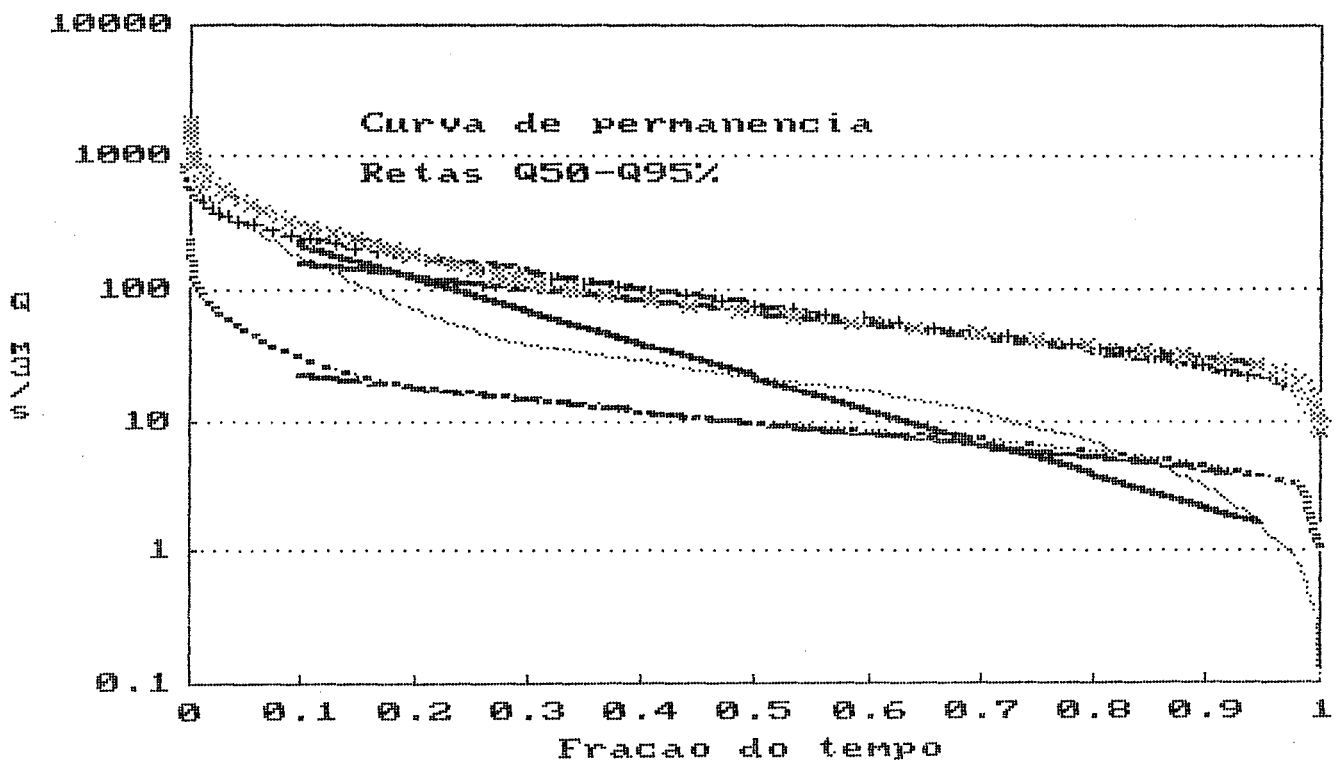


Figura 4.37: Curvas de Permanência e a equação exponencial ajustada

Tabela 4.10 - Quadro comparativo das vazões.

Curva de permanência

bacia	Área	Q50 %		Q95 %	
		verif.	calc.	verif.	calc.
Potiribu	628	9.52	10.01	3.74	3.46
Conceição	784	12.07	12.40	3.64	4.29
Sto Ângelo	5414	65.82	80.00	26.26	28.21
Pte A. Sul	4600	76.49	68.37	21.47	24.07
R Bonito	1990	36.92	30.47	10.32	10.64
P Marombas	3800	60.59	56.86	21.49	19.98
P Cachoeira	2562	35.34	38.87	17.08	13.61
Vila Clara	2783	21.35	****	1.58	****

A figura 4.38 visualiza como as bacias apresentam a mesma tendência regional. Distanciando apenas a sub-bacia de Passo da Cachoeira, que está sobre uma formação geológica rica em aquíferos, o que lhe gera uma tendência diferente que as demais. E a bacia de Vila Clara que apresenta estiagens maiores, e em consequência uma curva de também diferente tendência.

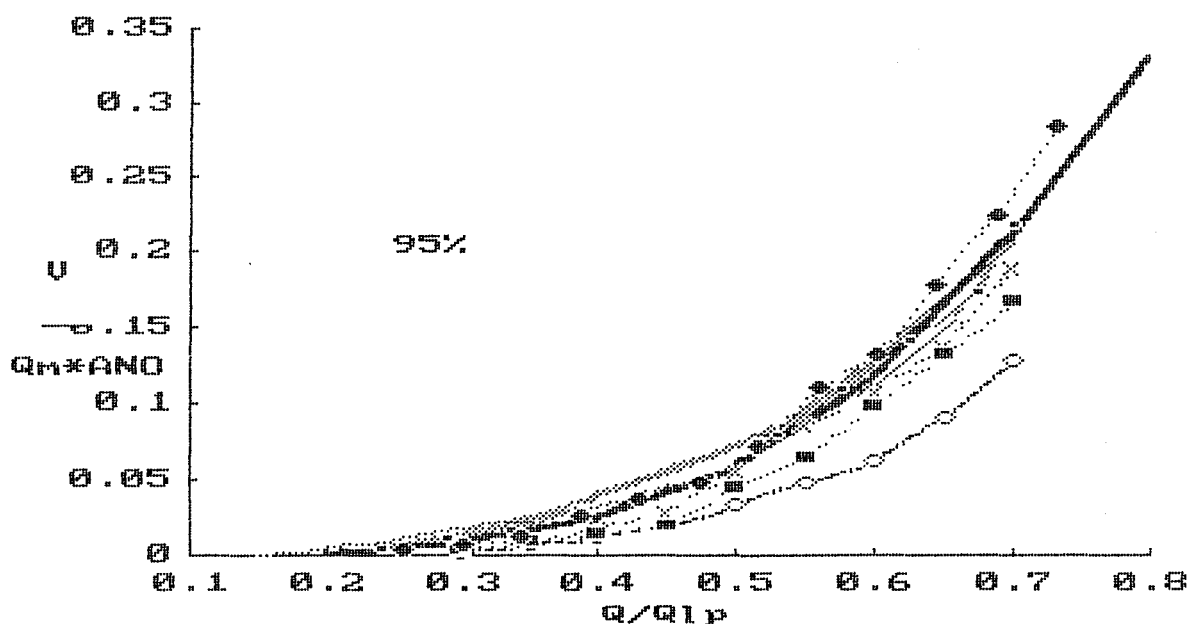


Figura 4.38: Curva Adimensional Regional de Regularização.

4.6 ESTIMATIVA PARA O CENÁRIO DE 2XCO₂

Sabe-se que as mudanças climáticas aferidas pelos GCMs são em nível mensal devido as suas limitações. Sejam elas causadas pela resolução dos modelos, ou pelas dificuldades em representar melhor os processos envolvidos. Isto em função das incertezas matemáticas na descrição dos mecanismos físicos formadores do clima. Para tanto, adotou-se o critério de considerar a proporcionalidade entre os valores mensais e diários, apesar das grandes limitações envolvidas em tal consideração, mas que se justificam com relação a disponibilidade e qualidade dos dados dos modelos globais do clima GCMs.

O impacto da modificação climática devido à variação de temperatura, não pode ser avaliado de forma direta, mas sim através da transformação das temperaturas em evapotranspirações.

Para efetuar a análise da compatibilidade dos métodos, utilizou-se os dados do Tanque Classe A do posto meteorológico de Ijuí. Os valores de tanque são corrigidos por um fator (0.70) para representar as condições de lagos e reservatórios. Esses valores representam evaporação e não evapotranspiração, no entanto a comparação relativa permite analisar a compatibilidade dos métodos. Na figura 4.39 são apresentados a relação média do Tanque Classe A, com os resultados do método de Penman e Thornthwaite. Pode-se observar que os valores do método de Penman estão mais próximos dos valores de tanque. O total anual deste método é mais compatível com o balanço hídrico das bacias da região.

Utilizando o método de Penman admite-se que as outras variáveis são insensíveis à mudança climática, ou que as mudanças resultam em pequena variação na evaporação. Nas tabelas 4.11 a 4.13 são apresentadas as alterações na evapotranspiração devido à mudança das temperaturas.

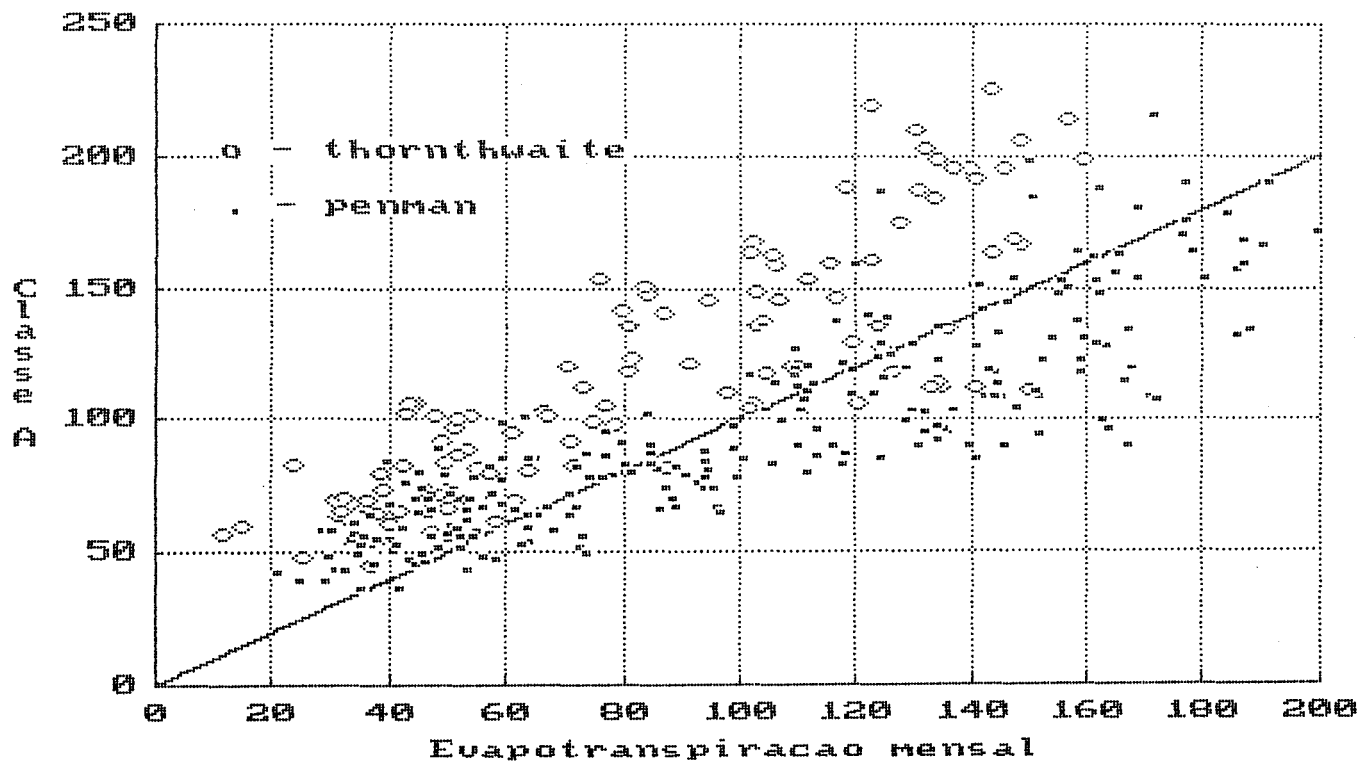


Figura 4.39: Relação Tanque Classe A e métodos de Estimativas.

Tabela 4.11: Temperatura e evapotranspiração - IJUI:

Mês	Temperatura observada (°C)	EVT ¹ (mm)	ΔE^2 (mm)		
			GISS	GFDL	UKMO ²
Janeiro	25.7	166.1	21.8	23.4	28.1
Fevereiro	25.2	136.0	16.1	17.9	26.5
Março	13.5	128.0	14.1	10.5	25.4
Abril	20.6	85.4	14.8	10.4	11.7
Maio	17.8	54.3	10.9	5.3	9.6
Junho	15.3	38.4	6.5	3.8	9.5
Julho	16.1	42.5	7.7	4.8	10.2
Agosto	16.3	58.3	8.2	6.1	12.2
Setembro	18.2	86.0	9.5	7.5	17.1
Outubro	21.0	127.5	15.6	15.1	23.6
Novembro	13.3	142.4	24.7	4.7	30.2
Dezembro	25.2	168.5	16.5	24.5	33.4
média	20.7	102.8	13.9	11.2	19.8

Tabela 4.12: Temperatura e evapotranspiração - CAMPOS NOVOS:

Mês	Temperatura observada (°C)	EVT ¹ (mm)	ΔE^2 (mm)		
			GISS	GFDL	UKMO ²
Janeiro	20.5	155.4	20.3	22.6	26.5
Fevereiro	20.6	133.2	16.0	13.8	20.7
Março	19.4	114.0	20.7	11.0	22.9
Abril	16.2	78.5	11.5	7.8	16.4
Maio	14.0	54.0	8.7	7.5	11.5
Junho	12.8	40.0	6.2	4.9	11.9
Julho	12.3	46.4	8.1	6.4	10.5
Agosto	13.2	64.2	7.5	8.0	12.9
Setembro	14.5	84.9	10.0	9.6	14.7
Outubro	16.1	116.6	16.1	12.7	19.5
Novembro	18.0	134.8	17.9	1.9	26.4
Dezembro	19.9	151.7	23.7	24.6	32.7
média	16.4	97.8	13.9	10.9	18.9

Tabela 4.13: Temperatura e evapotranspiração JULIO DE CASTILHOS:

Mês	Temperatura observada (°C)	EVT ¹ (mm)	ΔE^2 (mm)		
			GISS	GFDL	UKMO ²
Janeiro	23.9	177.9	23.8	28.2	30.5
Fevereiro	23.4	146.9	18.0	15.0	27.8
Março	21.8	126.8	17.5	6.6	22.9
Abril	18.7	81.6	14.1	10.1	11.9
Maio	15.9	51.8	9.3	7.9	8.7
Junho	13.4	34.6	5.8	4.6	9.0
Julho	13.8	42.2	8.0	6.5	8.8
Agosto	14.2	59.9	8.1	8.2	10.4
Setembro	16.1	87.6	10.9	9.3	17.0
Outubro	18.8	130.2	18.4	16.5	22.6
Novembro	21.2	157.2	21.6	8.8	31.0
Dezembro	23.1	186.5	23.4	24.8	34.9
média	18.7	106.8	14.9	12.2	19.6

OBS.: Os índices 1 e 2 nas tabelas 4.11 a 4.13 definem-se:

- 1- Equação de Penman utilizada para estimar a evapotranspiração potencial usando dados históricos;
- 2- Variação da evapotranspiração potencial calculada pela equação de Penman com modificação das temperaturas pelos GCMs.

A descarga futura será obtida da simulação pelo modelo hidrológico IPH II, com as precipitações e evaporações obtidos com os cenários futuros.

A simulação para os três modelos GCMs, nas oito sub-bacias é apresentada na tabela 4.14, bem como no anexo C são apresentados hidrogramas das séries históricas e das modificadas pelos GCMs para as oito sub-bacias.

Pode ser verificado que o modelo GISS apresentou os menores incrementos (negativos), visto também que trata-se do modelo que apresenta uma melhor representatividade das variáveis climáticas da região. Os resultados mais catastróficos ficam a encargo do GFDL, modelo que possui a pior representatividade em relação as condições atuais do complexo da bacia do Prata e Uruguai em específico.

Tabela 4.14 - Resultados da simulação dos GCMs.

bacia	Qobs.	Qgis	ΔQ%	Qgfdl	ΔQ%	Qukmo	ΔQ%
Potiribu	15.16	13.09	-13.65	17.52	15.57	16.80	10.82
Conceição	20.80	18.50	-11.06	23.69	13.89	21.80	4.81
Sto Ângelo	125.89	110.58	-12.16	151.75	20.05	137.84	9.49
R Bonito	54.47	49.23	-9.62	67.34	23.63	53.05	-2.61
Pte. A. Sul	109.56	98.20	-10.37	136.84	24.90	106.72	-2.59
P. Marombas	97.10	87.02	-10.38	128.64	32.48	94.79	-2.38
P. Cachoeira	60.58	53.05	-12.43	70.52	16.41	68.13	12.46
Vila Clara	59.00	50.66	-14.14	73.89	25.24	71.49	21.17

-OBS.: Vazoes medias em m³/s.

Nas figuras 4.40 a 4.47 é verificada a distribuição média das vazões durante o ano entre os modelos GCMs e a série ajustado às sub-bacias.

Verificou-se, no período de abril a julho que os modelos GISS e GFDL prevêm uma redução na vazão média, como também o modelo UKMO para a região do Rio Canoas (Alto Uruguai). O modelo GISS, somente no verão, entre os meses de fevereiro e março estima vazões maiores

que as observadas, gerando em média uma redução de 11.7% durante o ano. No modelo GFDL prevalecem incrementos no período da primavera, entre os meses de setembro e dezembro, sendo que no restante do ano estima pequenos decréscimos, e um incremento anual de 21.5% nas vazões médias. O modelo UKMO, em particular possui dois pontos para representar a bacia, um destes representa o Médio Uruguai (Rio Ijuí e Ibicuí entre outros) e outro o Alto Uruguai (Rio Canoas entre outros), com resultados diferentes. Na região do Médio Uruguai, somente entre setembro e dezembro, estima-se uma redução das descargas, o que não acontece no restante do ano, este cenário estima um incremento de 11.8% nas vazões médias anuais, o segundo ponto representa o Alto Uruguai e prevê uma redução média de 2.5%.

As funções estatísticas das séries com as modificações climáticas podem ser visualizadas no Anexo D.

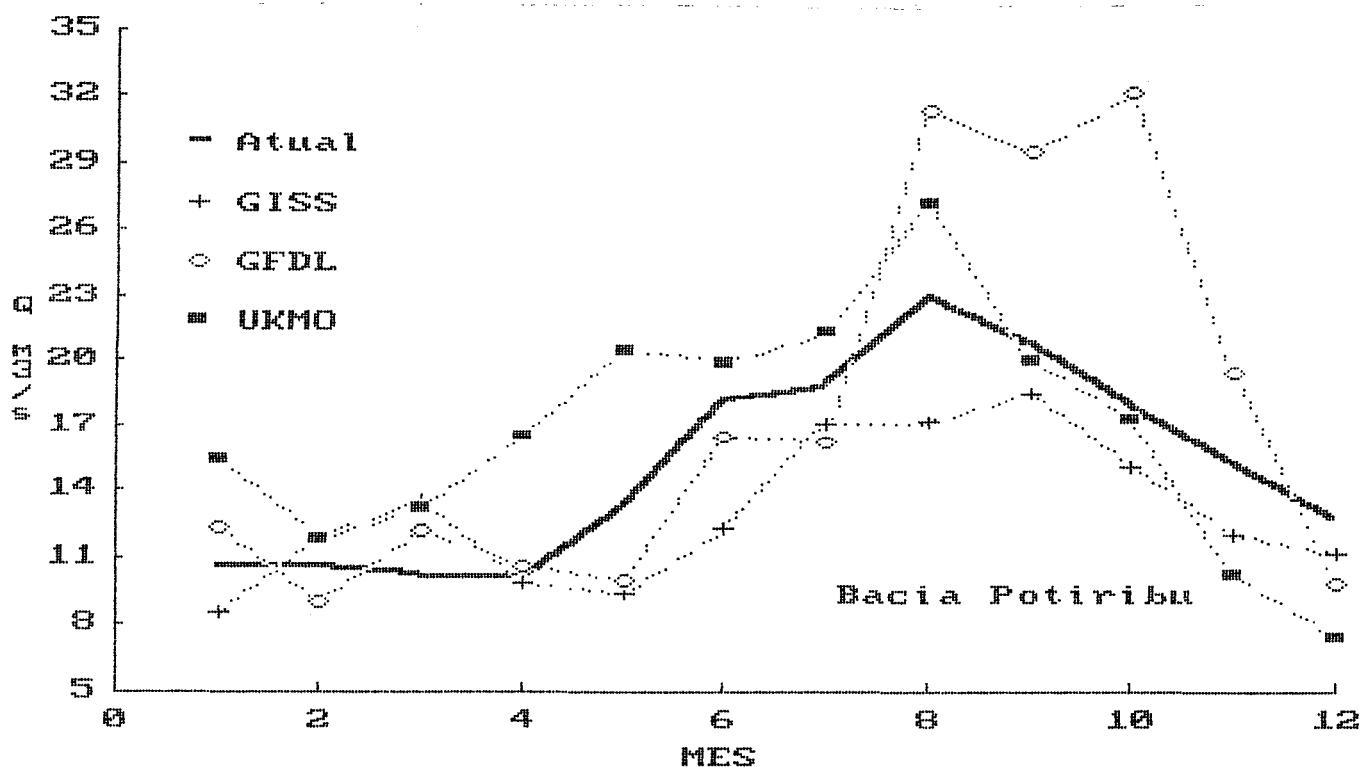


Figura 4.40: Vazões médias mensais - Potiribu

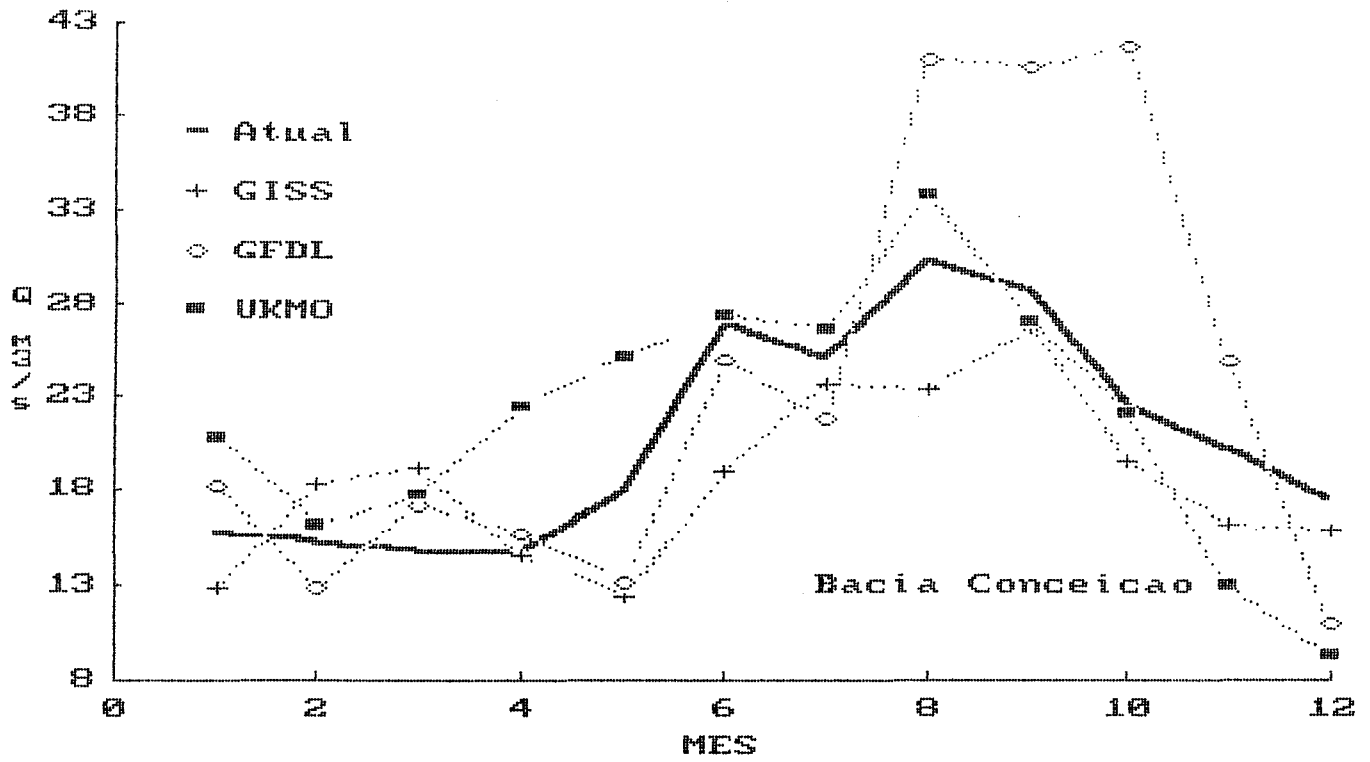


Figura 4.41: Vazões médias mensais - Conceição

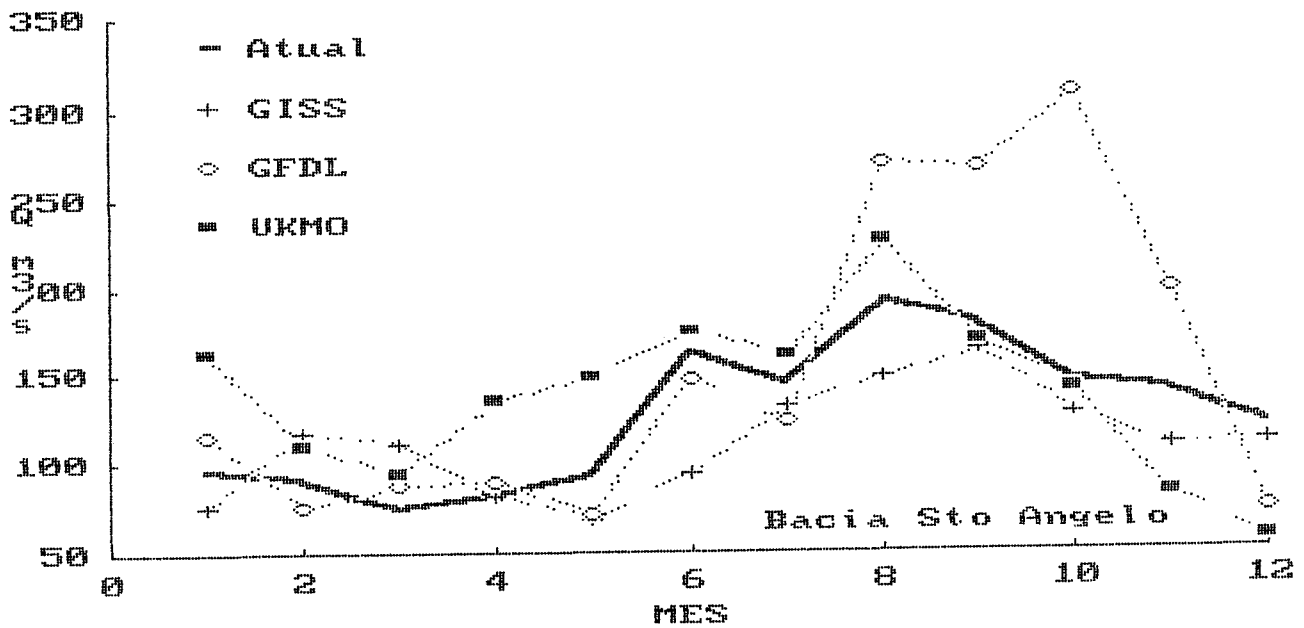


Figura 4.42: Vazões médias mensais - Sto. Ângelo

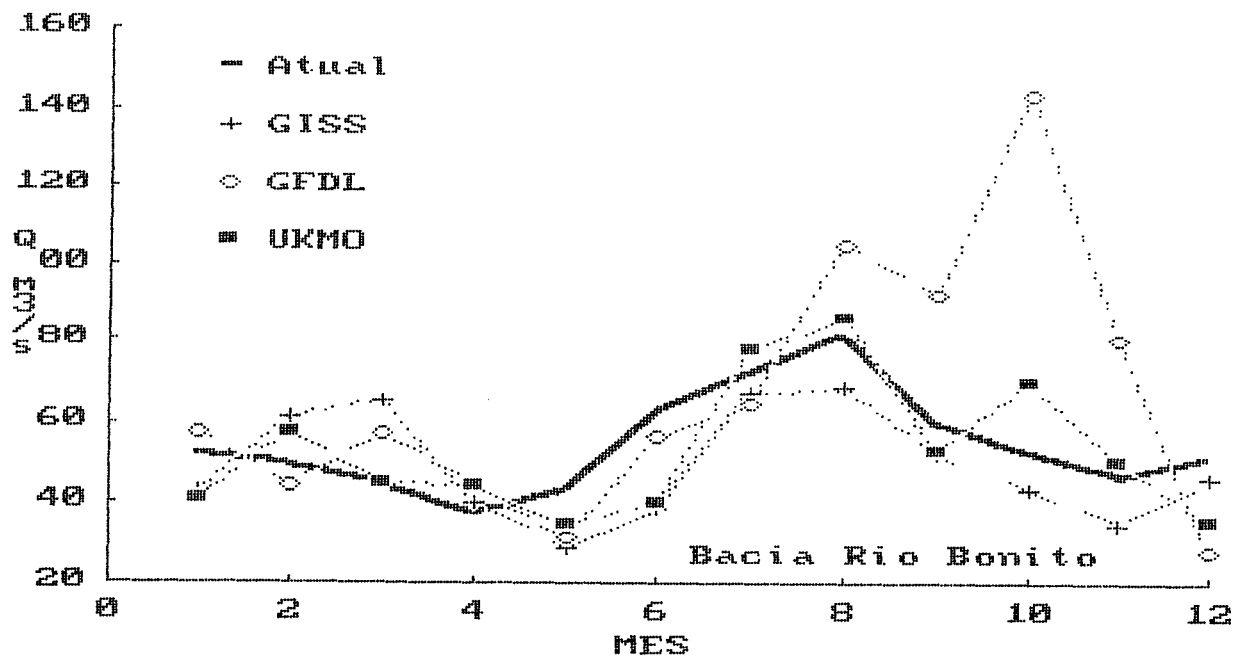


Figura 4.43: Vazões médias mensais - Rio Bonito

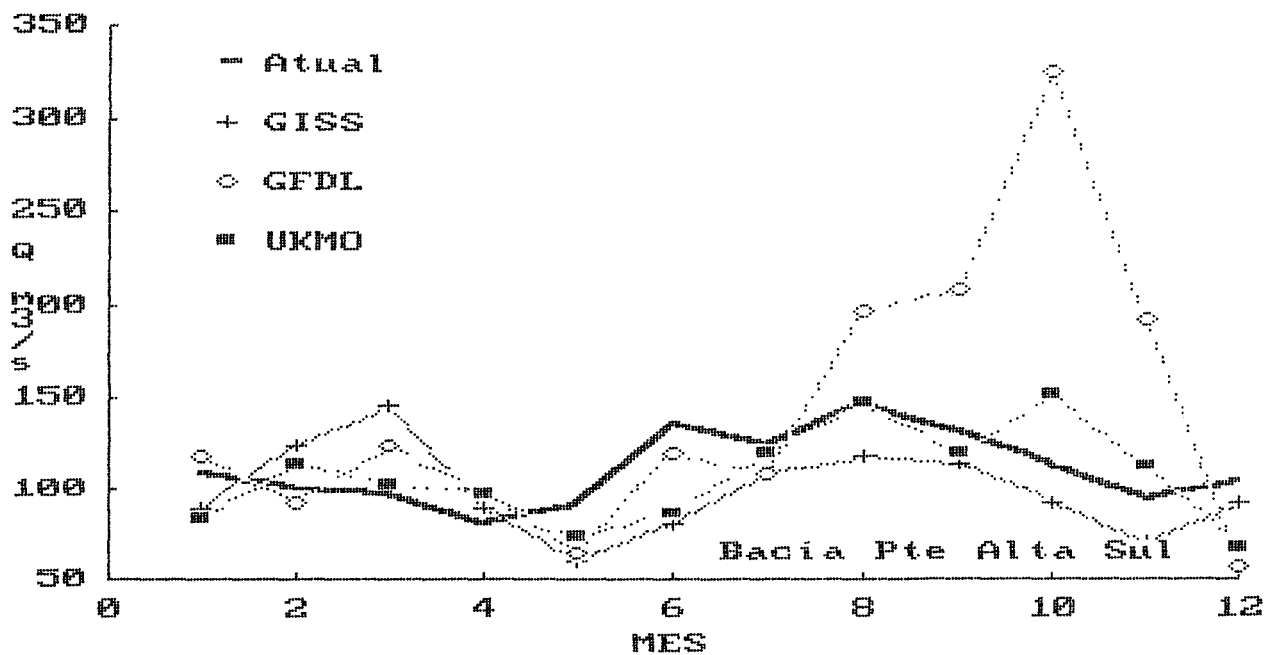


Figura 4.44: Vazões médias mensais - Pte. Alta do Sul

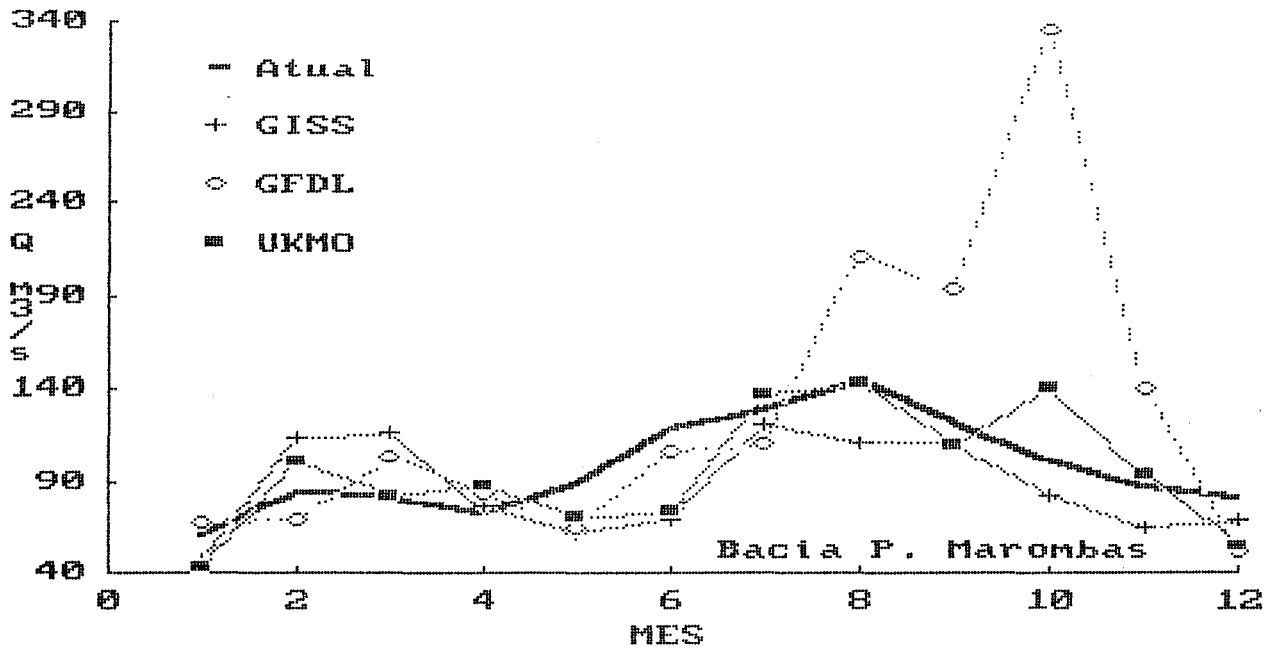


Figura 4.45: Vazões médias mensais - Passo Marombas

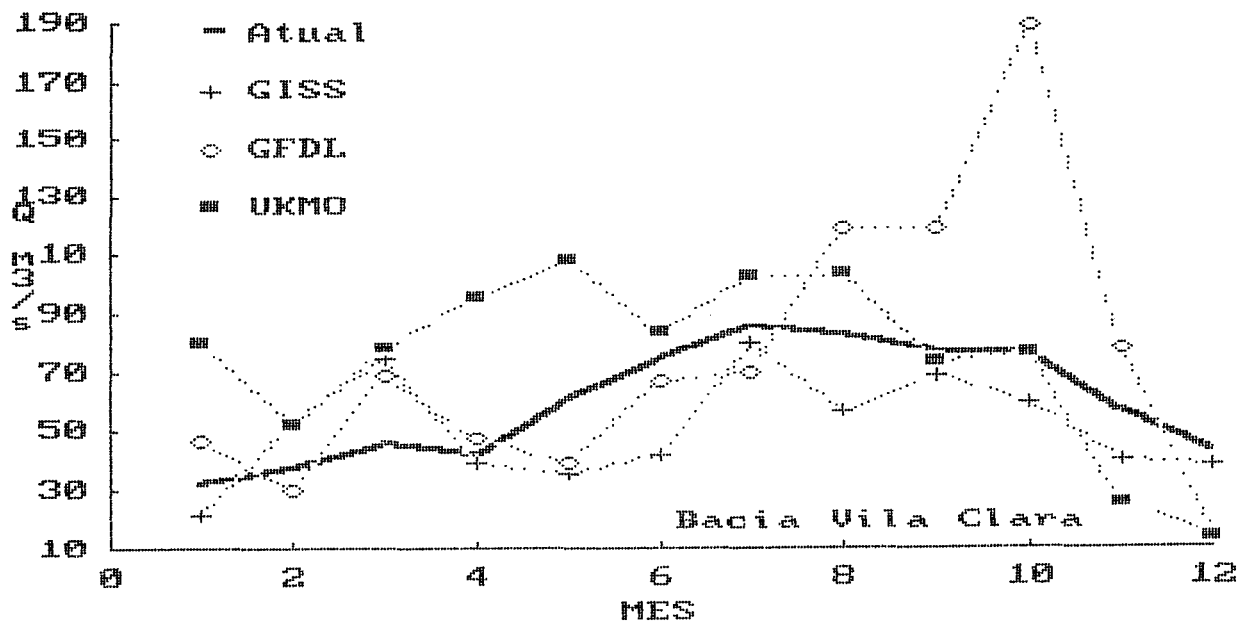


Figura 4.46: Vazões médias mensais - Vila Clara

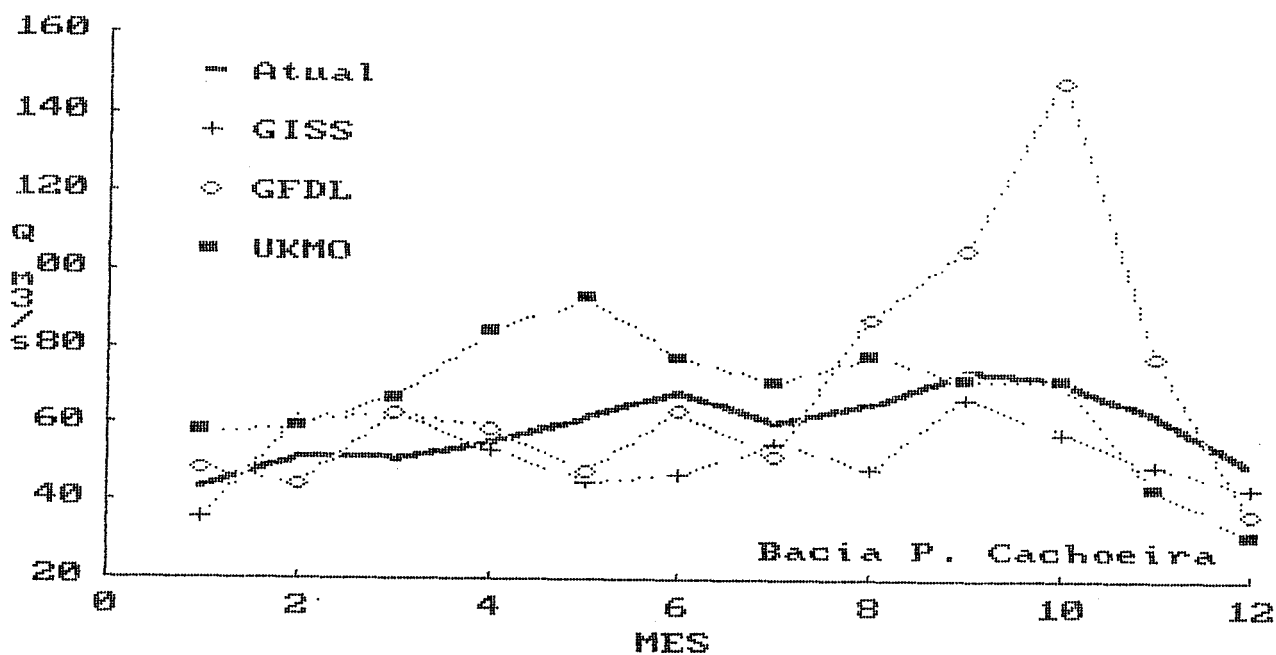


Figura 4.47: Vazões médias mensais - Passo da Cachoeira

4.7 REGIONALIZAÇÃO DOS PROGNÓSTICOS

Regionalização das vazões médias:

As vazões médias foram calculadas com base nos dados simulados pelo modelo IPH II, a partir dos cenários estimados do GCMs, conforme o capítulo 4.6, sobre as oito sub-bacias.

As equações das regressões encontram-se na tabela 4.15, bem como os indicadores estatísticos do ajuste.

Tabela 4.15: Regressões - $Q_p = a A^b$

Modelo	a	b	R2	σ_f
Atual	0.03226	0.963675	0.99	1.08543
GISS	0.02634	0.973488	0.99	1.10446
GFDL	0.02803	1.007058	0.99	1.10494
UKMO	0.03890	0.947001	0.997	1.04001

A figura 4.48 apresenta as regressões entre a área e as vazões médias, ficando claro o comportamento de cada modelo GCM, quando comparados ao cenário atual. Verificou-se que somente o GISS tem como prognóstico a redução das vazões, bem como as maiores estimativas são do GFDL. Os incrementos médios de cada modelo são - 12.5 , 17.0 e 7.5 %, respectivamente GISS, GFDL e UKMO. A figura 4.31 que define a curva adimensional de probabilidade regional para a condição atual, também define as curvas dos cenários futuros. Os resultados mostraram que utilizando um multiplicador sobre as precipitações futuras o impacto não-linear é desprezível e a curva adimensional se mantém a mesma.

Vazões máximas:

Fazendo uso da mesma metodologia, mas agora com as vazões máximas de cheia, obteve-se as seguintes equações de regressão:

As equações das regressões encontram-se na tabela 4.16, bem como os indicadores estatísticos do ajuste.

Tabela 4.16: Regressões - $Q_{mc} = a A^b$

Modelo	a	b	R ²	σ_f
Atual	0.56381	0.85026900	0.85	1.35557
GISS	0.56726	0.83833311	0.82	1.38707
GFDL	0.45183	0.92034500	0.87	1.35463
UKMO	1.36891	0.75623000	0.80	1.37846

A figura 4.49 apresenta as regressões entre a área e a vazão média de cheia. Fica novamente claro o comportamento de cada modelo GCM quando comparados ao cenário atual, verifica-se que somente o GISS tem como prognóstico a redução das vazões. Assim como as maiores estimativas são do GFDL. O modelo UKMO apresenta declividade diferente dos demais modelos, pois a bacia é

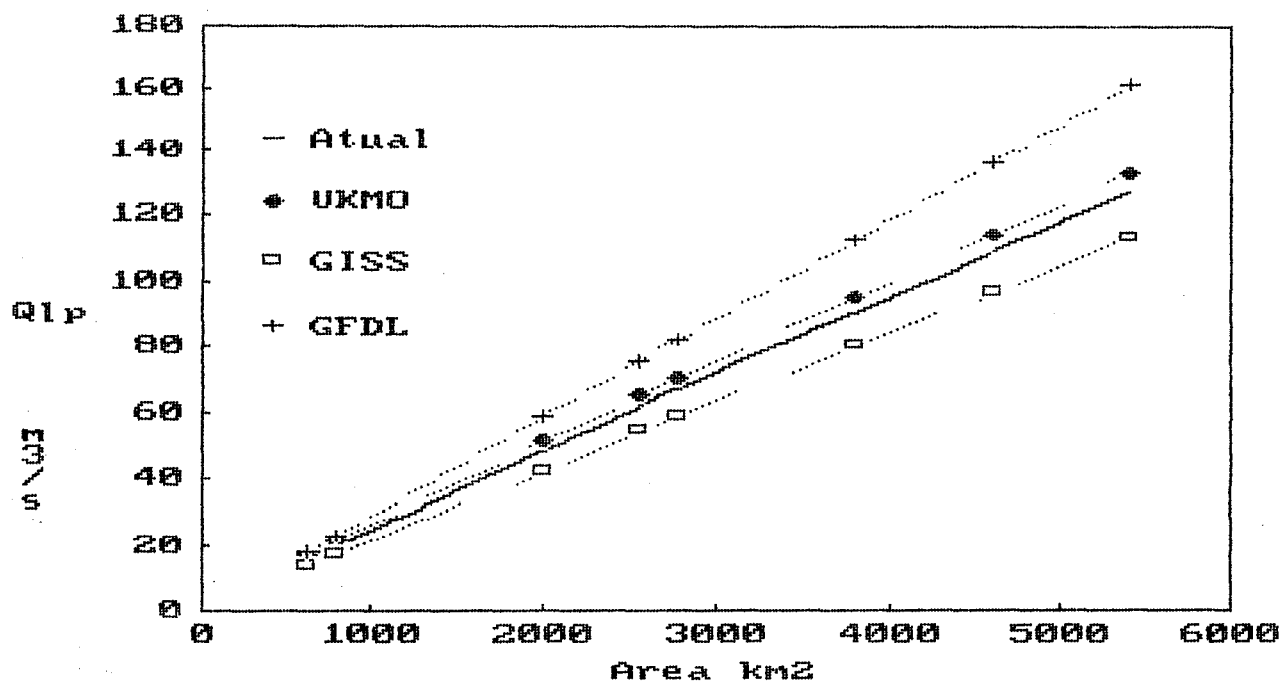


Figura 4.48: Vazões médias de longo período X Área de drenagem

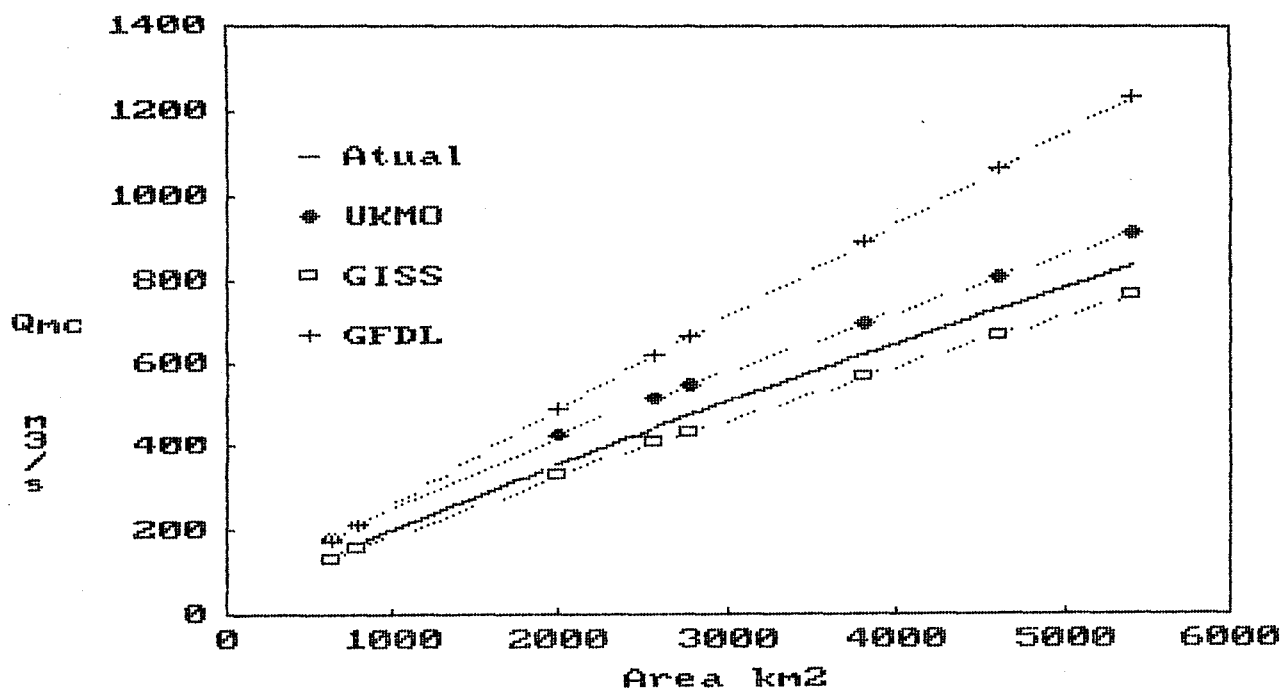


Figura 4.49: Vazões máximas de cheia X Área de drenagem

representada por dois pontos na malha do modelo. Neste caso, ou os dados são tendenciosos devido ao reduzido número de bacias ou os outros modelos GCMs não representam a variabilidade possível de toda a bacia.

A mesma curva adimensional de probabilidade regional, determinada pelos dados históricos, satisfaz os cenários futuros definidos a partir dos modelos GCMs.

As tabelas 4.17a e 4.17b apresentam um quadro resumo das vazões calculadas (regressões) e as simuladas, para as oito sub-bacias com base nos GCMs.

Verificou-se que o ajuste das vazões máximas não dispõe de tal qualidade de estimativa quanto as vazões médias, visto que a estimativa de extremos envolve maiores erros nos dados e necessita de mais variáveis explicativas.

Para o modelo GFDL ocorre um incremento de 30 % nas vazões e para o GISS -7.4 %. Para o modelo UKMO observa-se que para bacias maiores existe a tendência dos resultados se aproximarem do cenário atual.

Tabela 4.17a - Vazões médias para a região.

bacia	Área	GISS		GFDL		UKMO	
		simul.	cal.	simul.	cal.	simul.	cal.
Potiribu	628	13.09	13.94	17.52	18.42	16.80	17.36
Conceição	784	18.20	17.30	23.69	23.03	21.80	21.42
Sto Ângelo	5414	110.57	113.54	151.75	161.25	137.84	133.54
Pte a. Sul	4600	98.20	96.88	136.84	136.85	106.72	114.44
P. Marombas	3800	87.02	80.44	128.64	112.89	94.79	95.50
R. Bonito	1990	49.23	42.86	67.34	58.85	53.05	51.76
P Cachoeira	2562	53.05	54.81	70.52	75.90	68.13	65.75
V. Clara	2783	50.66	59.40	73.89	82.50	71.49	71.11

Tabela 4.17b - Vazões máximas para a região

bacia	Área	GISS		GFDL		UKMO	
		simul.	cal.	simul.	cal.	simul.	cal.
Potiribu	628	109.86	125.70	161.23	169.85	182.33	178.76
Conceição	784	157.87	151.40	207.62	208.33	196.96	211.42
Sto Ângelo	5414	685.64	764.95	1083.71	1233.39	947.90	911.53
Pte a. Sul	4600	443.28	667.28	726.81	1061.64	515.84	805.86
P. Marombas	3800	669.67	568.53	1230.72	890.45	786.72	697.45
R. Bonito	1990	236.81	330.56	352.36	490.97	294.59	427.63
P Cachoeira	2562	601.43	408.54	764.39	619.50	697.58	517.66
V. Clara	2783	649.61	437.88	959.82	668.52	832.10	551.09

Vazões mínimas:

A regionalização das vazões mínimas segue a mesma metodologia adotada para as vazões médias.

Como as vazões mínimas dependem da duração, tendo como variáveis independentes a área de drenagem da bacia e as durações escolhidas de 7 e 30 dias.

As equações das regressões encontram-se na tabela 4.18, bem como os indicadores estatísticos do ajuste.

Tabela 4.18: Regressões — $Q_{mt} = a A^b t^c$

Modelo	a	b	c	R ²	σ_f
Atual	0.00609	0.938595	0.157634	0.97	1.15924
GISS	0.00508	0.946639	0.150840	0.97	1.15272
GFDL	0.00579	0.940851	0.166425	0.97	1.16740
UKMO	0.00764	0.884186	0.194923	0.95	1.19202

Nestas regressões não está incluído o posto de Vila Clara, uma vez que não representa a tendência das demais sub-bacias. Apresentando vazões mínimas muito inferiores que as tendências das demais sub-bacias do estudo.

Na figura 4.50 podem ser visualizadas as regressões para as vazões mínimas de sete dias de duração. Verifica-se a tendência dos GCMs em estimar reduções para as mesmas vazões, em especial o modelo GFDL, simula praticamente o cenário atual, enquanto os outros dois modelos estimam uma redução de cerca de 14%. Neste caso, o modelo UKMO apresenta para bacias pequenas a tendência de se aproximar do cenário atual e para as maiores se distancia.

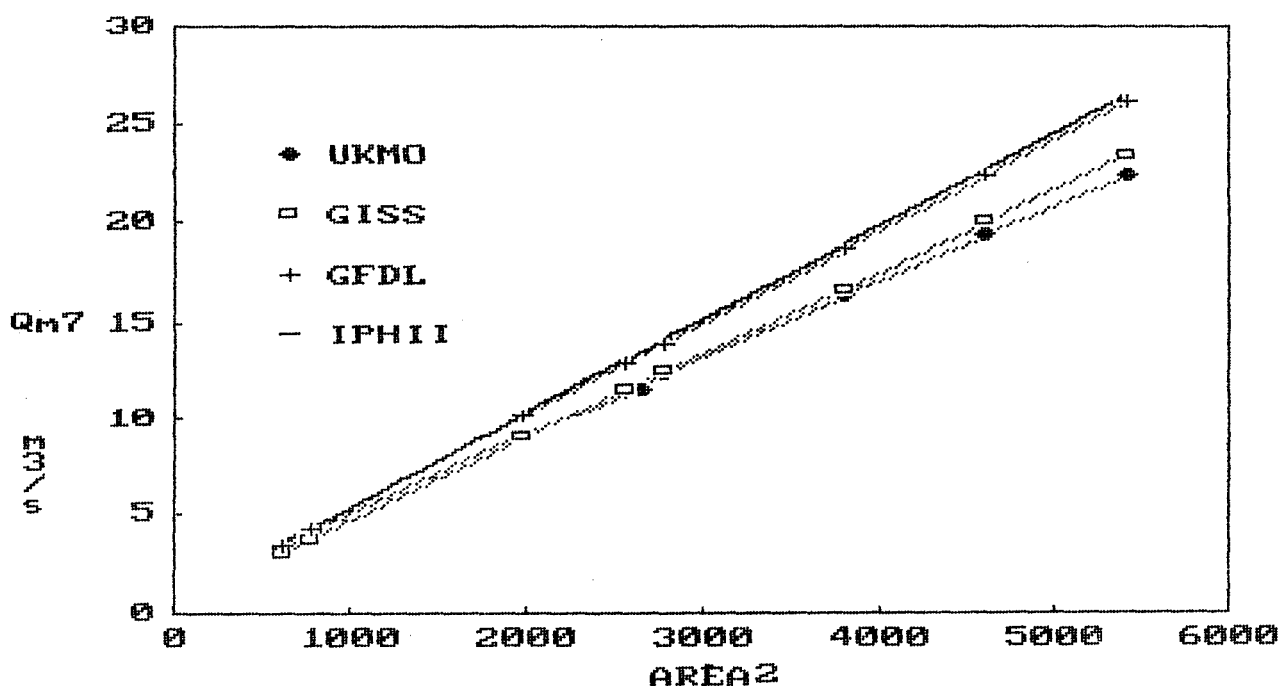


Figura 4.50: Vazões mínimas de 7 dias X Área de drenagem.

Novamente a curva adimensional de probabilidade regional para os modelos GCMs, coincide com a curva ajustada para os dados históricos, sendo então utilizada a mesma curva, já definida anteriormente.

As tabelas 4.19a e 4.19b apresentam um quadro resumo das estimativas das vazões mínimas.

Tabela 4.19a - Quadro das vazões mínimas de 7 dias

bacia	GISS		GFDL		UKMO	
	simul.	cal.	simul.	cal.	simul.	cal.
Potiribu	3.39	3.03	3.91	3.43	3.46	3.32
Conceição	3.12	3.74	3.37	4.23	3.45	4.04
Sto Ângelo	22.37	23.31	24.46	26.06	23.01	22.33
Pte A. Sul	18.03	19.98	21.29	22.36	15.78	19.33
P Marombas	16.29	16.68	18.94	18.68	15.28	16.33
R Bonito	8.59	9.04	9.13	10.16	8.89	9.22
P Cachoeira	15.26	11.48	17.47	12.89	17.04	11.52
Vila Clara	1.47	****	1.67	****	1.33	****

Tabela 4.19b - Quadro das vazões mínimas de 30 dias

bacia	GISS		GFDL		UKMO	
	simul.	cal.	simul.	cal.	simul.	cal.
Potiribu	3.78	3.78	4.73	4.37	4.44	4.42
Conceição	4.13	4.66	4.67	5.39	4.87	5.37
Sto Ângelo	26.31	29.04	29.73	33.20	29.60	29.66
Pte A. Sul	23.78	24.89	27.04	28.48	22.62	25.68
P Marombas	20.61	20.77	24.37	23.80	19.65	21.69
R Bonito	11.70	11.26	12.94	12.95	12.58	12.24
P Cachoeira	17.98	14.30	20.17	16.42	20.10	15.30
Vila Clara	3.10	****	4.16	****	3.53	****

Curva de permanência:

Adotou-se o procedimento de regionalizar os Q₅₀ e Q₉₅ % das curvas, através da regionalização do trecho de exponencial compreendido entre estes dois valores.

As equações das regressões para os Q₅₀ e Q₉₅% encontram-se na tabela 4.20, bem como os indicadores estatísticos do ajuste.

As figuras 4.51 e 4.52 apresentam as regressões de Q₅₀ e Q₉₅ %, onde pode ser verificado para Q₅₀% que o GISS apresenta o mesmo comportamento já verificado para outras funções. O modelo UKMO para bacias superiores a 10000 km², gera uma pequena redução quando comparado aos valores atuais. O GFDL, tende a aumentar os incrementos com o aumento das bacias. Para os Q₉₅ % os modelos tendem a prever reduções no escoamento.

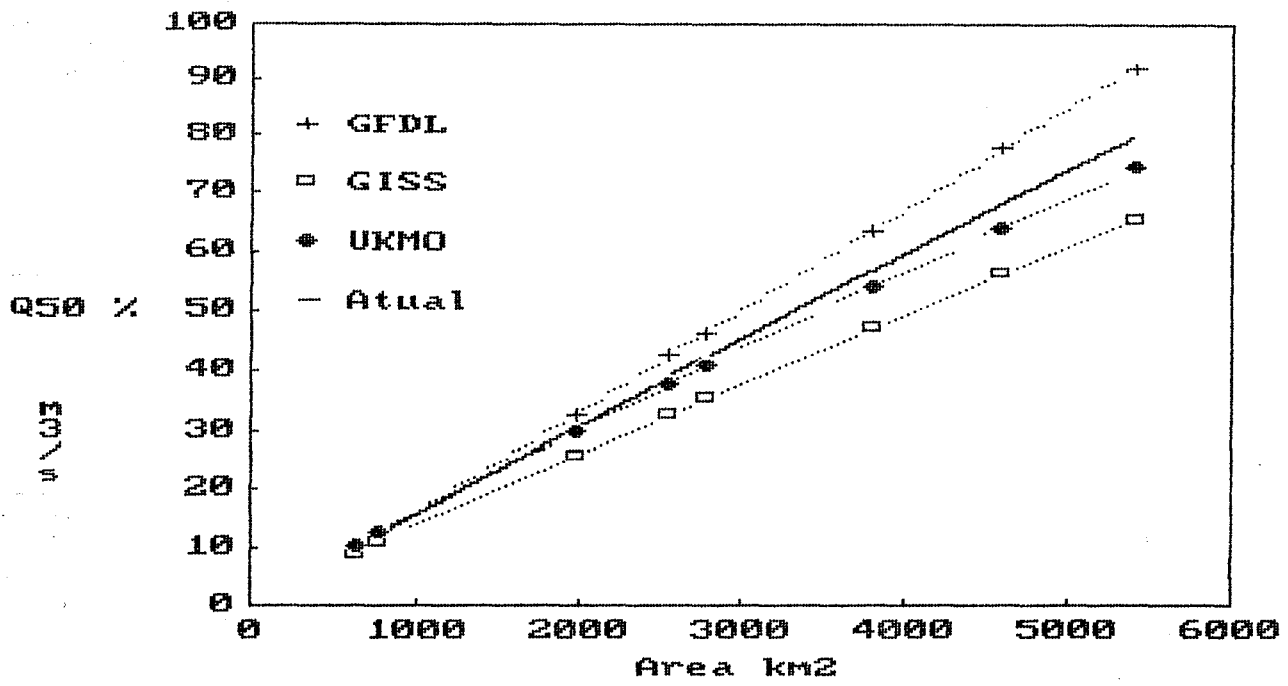


Figura 4.51: Vazões Q50 % X Área de drenagem

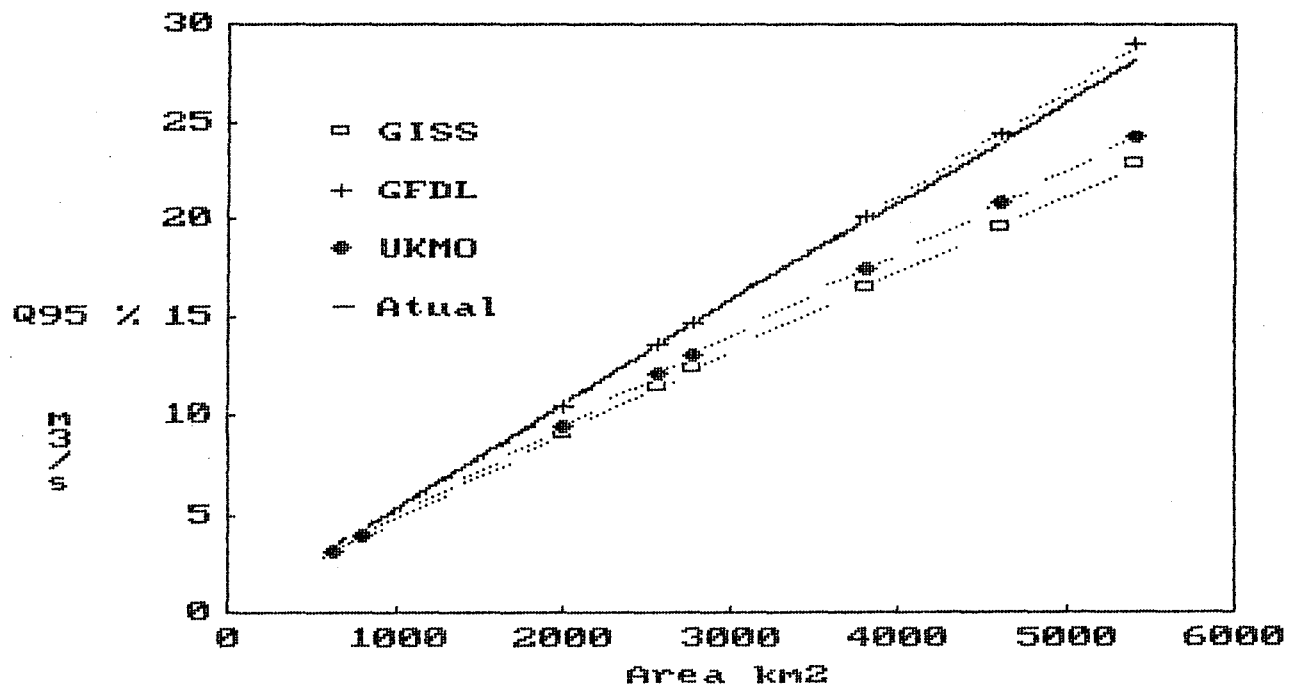


Figura 4.52: Vazões Q95 % X Área de drenagem

Tabela 4.20: Regressões - $Q * = a A^b$

Modelo	a	b	R2	σf
Atuais	0.00649	0.974486	0.97	1.15940
GISS	0.00773	0.929861	0.97	1.16698
GFDL	0.00472	1.014387	0.98	1.15721
UKMO	0.00762	0.938721	0.95	1.23126

Modelo	a	b	R2	σf
Atuais	0.020030	0.964624	0.975	1.15522
GISS	0.021950	0.930899	0.96	1.20039
GFDL	0.012550	1.035362	0.98	1.15872
UKMO	0.02893	0.913659	0.99	1.07484

Na tabela 4.21 é apresentado um quadro resumo entre as vazões verificadas e calculadas pelas equações de Q_{50} e Q_{95} %, para os modelos GCMs.

É mencionado ainda que para as curvas de permanência a extrapolação para valores superiores a 95% tem bons resultados, mas para valores inferiores a 50 % os resultados podem ser muito ruins. O que não inviabiliza a curva, visto que a faixa de maior utilização está compreendida entre 50 e 95%.

Tabela 4.21 - Quadro comparativo da curva de permanência

Bacia	GISS		GFDL		UKMO	
	Q_{50}	Q_{95}	Q_{50}	Q_{95}	Q_{50}	Q_{95}
Potiribu	8.18	3.2	9.61	3.55	9.75	3.25
Conceição	10.6	3.32	12.01	3.55	13.4	3.65
R. Bonito	31.51	8.78	41.43	9.59	31.45	8.66
P. Cachoeira	30.52	14.98	35.77	17.24	36.78	17.59
Vila Clara	16.75	1.39	21.24	1.38	22.73	1.27
P. Marombas	52.84	17.5	65.79	20.5	54.09	17.23
Pte A. Sul	65.13	18.11	84.36	21.82	69.82	16.49
Sto Ângelo	49.22	20.26	82.32	28.92	67.75	25.43

cont tab 4.21

	Q50cal	Q95cal	Q50cal	Q95cal	Q50cal	Q95cal
Potiribu	8.831863	3.089534	9.897940	3.252040	10.41668	3.224470
Conceição	10.85801	3.797441	12.45399	4.072851	12.75752	3.971094
R. Bonito	25.84244	9.029304	32.67012	10.47745	29.87963	9.520453
P. Cachoeira	32.69470	11.42047	42.43820	13.53818	37.63807	12.06868
Vila Clara	35.31249	12.33383	46.23403	14.72351	40.59372	13.04343
P. Marombas	47.19016	16.47709	63.82864	20.19425	53.95726	17.47322
Pte A. Sul	56.37572	19.68045	77.79004	24.51296	64.24807	20.90560
Sto Ângelo	65.60892	22.89984	92.08452	28.91840	74.56087	24.36054

	GISS	GFDL	UKMO	GISS	GFDL	UKMO
	Modificação			entre cenário atual e futuro		
	Q50%			Q95%		
	(%)			(%)		
Potiribu	- 11.78	-1.12	4.05	-10.98	-6.07	-6.94
Conceição	- 12.50	0.40	2.82	-11.49	-5.13	-7.46
R. Bonito	- 15.19	7.22	-1.94	-15.14	-1.53	-10.53
P. Cachoeira	- 15.40	9.18	-3.17	-16.09	-0.53	-11.33
Vila Clara	*****	*****	*****	*****	*****	*****
P. Marombas	- 17.01	12.24	-5.12	-17.53	1.07	-12.56
Pte A. Sul	- 17.55	13.79	-6.03	-18.23	1.83	-13.17
Sto Ângelo	- 17.99	15.10	-6.80	-18.83	2.48	-13.65

Curva de regularização:

Também cabe mencionar, que para a bacia do Rio Uruguai, a década de 1940-1950 representa o período crítico de estiagem, que não foi possível atingir neste estudo, por falta de dados históricos.

Entretanto, são apresentadas três curvas adimensionais para a bacia. Uma definida pelo modelo GFDL, outra pelo UKMO e a terceira definida para o GISS, sendo esta a própria curva dos dados observados (figura 4.53). Neste caso os modelos GFDL e UKMO têm associado à modificação das vazões médias a modificação da curva regional de regularização, que não ocorre com o modelo GISS.

Para melhor visualizar os impactos a figura 4.54 apresenta as curvas regionais não-adimensionais, para uma bacia de 1000 km², onde verifica-se que para o modelo GFDL uma redução para a vazão

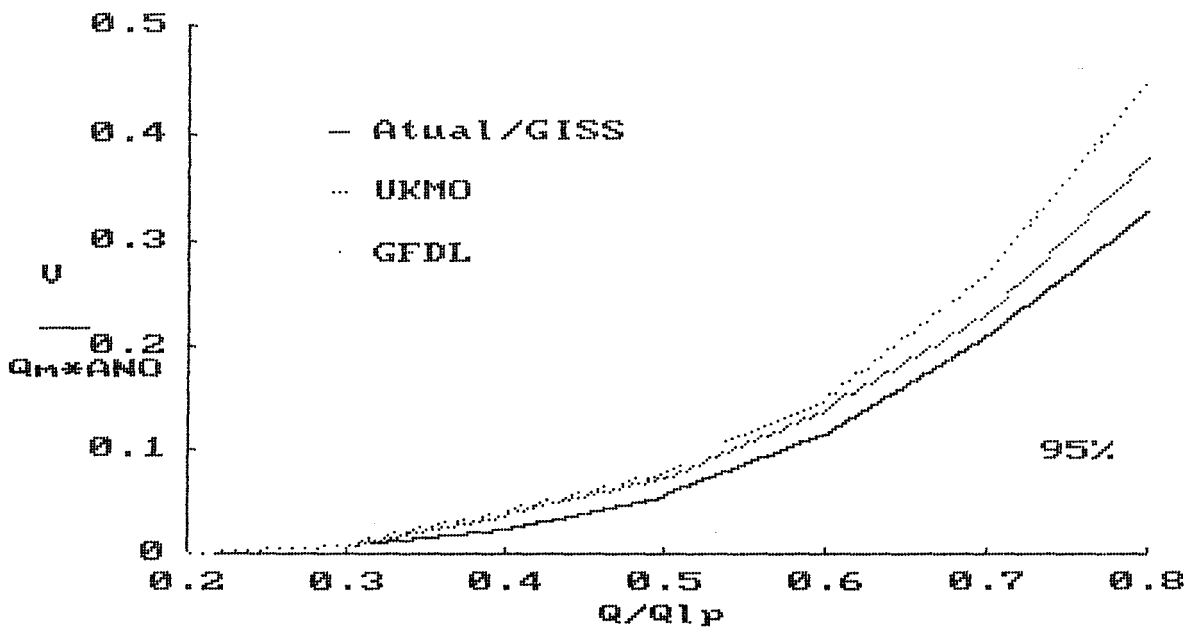


Figura 4.53: Curva Adimensional Regional de Regularização.

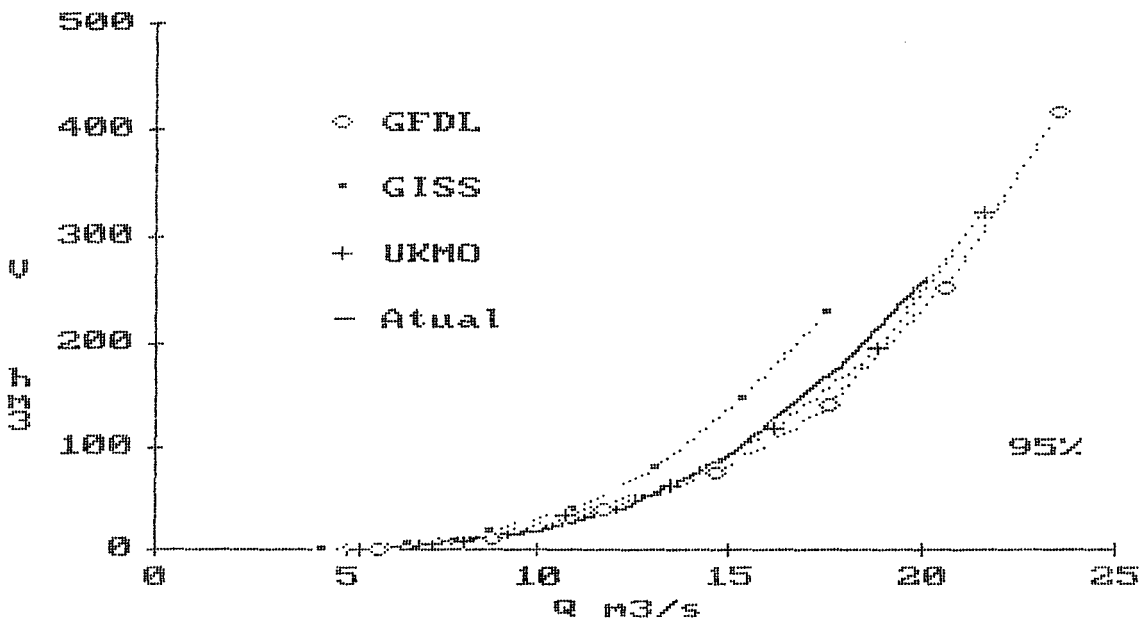


Figura 4.54: Curva de Regularização para uma bacia de $1000 km^2$.

média de 24% do volume necessário para regularizá-la em 95% do tempo, e para o UKMO em 5 %. Para o modelo GISS a situação inverte-se, pois para o mesmo volume da situação atual a vazão reduz em 20%

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho realizado neste estudo, teve por objetivo avaliar as possíveis alterações no escoamento da bacia do Rio Uruguai, devido ao aquecimento do planeta, previsto pelos modelos GCMs. Para tanto foram utilizados prognósticos de três modelos GCMs e um modelo hidrológico.

Quanto ao modelo hidrológico:

No decorrer do estudo, foi possível analisar, em maior profundidade o modelo hidrológico utilizado, propiciando o desenvolvimento de alterações, bem como, um melhor entendimento dos processos envolvidos, das limitações, e virtudes inerente destes tipos de modelos.

⇒ Algumas dificuldades foram encontradas tanto na qualidade das séries hidrológicas e climáticas, como em sua disponibilidade, devido a falhas, erros de curva-chave e outras.

⇒ Há escassez de dados climatológicos para a bacia do Rio Uruguai, o que impossibilitou a estimativa das evapotranspirações a nível diário, bem como de maior número de postos. Neste sentido o método de Penman consegue representar com um grau de precisão aceitável às evaporações da região.

⇒ Devem ser mencionadas, as dificuldades do ajuste do modelo IPHII, entre elas: o ajuste da curva de regularização, e vazões mínimas. Para tanto, a modificação do algoritmo de perdas foi necessária, não só devido as dificuldades de ajuste, mas também a extensão das séries e à necessidade de ajustar as funções estatísticas à série hidrológica.

⇒ Os parâmetros que possuem maior sensibilidade neste tipo de

ajuste, são o I_0 , I_b , e b . Apesar do parâmetro α_1 , que define as perdas no solo por evaporação, ter uma função importante no ajuste das funções estatísticas.

⇒ A avaliação das funções estatísticas pode ser um fator importante na definição do ajuste de uma série hidrológica por um modelo semi-conceitual tipo IPH II. Visto que um ajuste é considerado satisfatório, para os critérios tradicionais, quando a diferença de volumes é pequena, e/ou o coeficiente de determinação é próximo de um, os quais muitas vezes não indicam um bom ajuste das vazões máximas, curva de permanência, curva de regularização, o que levará a um exaustivo processo de ajuste entre as respectivas curvas.

É recomendado, para que se possa utilizar neste tipo de ajuste de séries longas, rotinas de otimização automáticas dos parâmetros, usar funções objetivas conjugadas, a partir das funções estatísticas das séries.

Quanto aos resultados dos modelos GCMs:

⇒ No desenvolvimento atual dos modelos GCMs, os mesmos não são capazes de representar com a devida fidelidade a função dos oceanos, que são capazes de absorver 50% do CO_2 emitido à atmosfera. Bem como não representam fielmente as funções das nuvens neste processo, fazendo com que em muitos casos estas executem uma função de aquecimento artificial da atmosfera. Discutido por Jenne, (1989) e (1990).

⇒ De acordo com as comparações realizadas com as variáveis Temperatura e Precipitação, o modelo GISS apresenta melhor resposta para a bacia do Rio Uruguai. Se comparados com os outros dois modelos, com bom ajuste à temperatura média do ar, apesar de não corresponder às precipitações médias observadas. Os modelos GFDL e UKMO, não apresentaram bons ajustes se comparados às séries

históricas. Portanto, admite-se que suas previsões não são as mais confiáveis.

⇒ Os modelos GCMs são limitados e serão atualizados nos próximos anos. Os resultados obtidos poderão se alterar com base em prognósticos de clima mais confiáveis.

Quanto a avaliação regional:

⇒ O processo de regionalização foi utilizado como uma ferramenta auxiliar, na definição das funções regionais. As mesmas possibilitaram a visão geral sobre a bacia, a sintetização dos resultados, e a avaliação do impacto da modificação climática sobre a bacia do Rio Uruguai.

⇒ O efeito da modificação do clima, poderá ser avaliado potencialmente pelas regressões das variáveis hidrológicas estudadas: vazão média de longo período, vazão máxima, vazões mínimas de 7 e 30 dias, curva de permanência e a curva de regularização.

⇒ As vazões médias para um mesmo tempo de retorno, poderão ser reduzidas de 11 a 14.5 % (GISS). Enquanto que para os outros dois modelos a tendência inverte-se, com incrementos de 6 a 25 % para o GFDL e de 11.6 a 6% para o UKMO, para bacias entre 100 e 5000 km² de área de drenagem.

⇒ Os resultados da simulação das cheias, ficam prejudicados devido ao número de postos, ao tamanho das séries, ao pequeno número de variáveis envolvidas na descrição da regressão. Estas condições podem prejudicar a extrapolação dos resultados para alguns locais, em razão das características das cheias serem diferentes às descritas pelas sub-bacias utilizadas. Os resultados para bacias entre 100 e 5000 km² são, respectivamente para os modelos GISS, GFDL e UKMO os seguintes: redução de 5 a 9%, incremento de 10 a 40 % e incremento de 57 a 8%.

O risco associado a uma enchente, considerando o modelo GISS, deverá sofrer uma tendência a redução. Para a cidade de Marcelino Ramos, para o tempo de retorno de 50 anos, nas condições atuais, o Rio Uruguai apresenta uma vazão de $19000 \text{ m}^3/\text{s}$. No cenário futuro do GISS este valor será de $16800 \text{ m}^3/\text{s}$, para o GFDL de $32200 \text{ m}^3/\text{s}$ e UKMO de $16900 \text{ m}^3/\text{s}$, o que representa uma redução em mais de um metro na cota de cheia para 50 anos de tempo de retorno, para o GISS e UKMO. A curva de descarga existente não comporta a extrapolação para o modelo GFDL. Deve-se ressaltar que os prognósticos de cheias a partir da metodologia usada neste estudo poderá apresentar grandes limitações nos prognósticos devido ao seguinte: a) A resolução temporal dos GCMs utilizada é mensal e a transferência para o modelo hidrológico é por proporção, não indicando alterações no comportamento das cheias; b) Para bacias pequenas e médias o efeito da representação adequada das nuvens é mais significativo.

⇒ Os Resultados sobre as vazões mínimas é função do impacto da evaporação sobre a umidade do solo, já que as precipitações não são alteradas para os dias secos. Para os modelos que reduzem a precipitação, o impacto é o de manter o solo ainda mais seco para os períodos de pequena precipitação.

Somente o modelo GFDL prevê um incremento às vazões mínimas em algumas bacias. Os demais modelos, tanto o UKMO como o GISS, estimam o contrário, os valores médios de redução para as vazões mínimas são para os modelos GISS, GFDL e UKMO respectivamente: 14.10 %, 3.26 % e 13.57 %, para toda a bacia brasileira do Rio Uruguai. Cabe mencionar que para o modelo UKMO a taxa de redução cresce em grande proporção com a área da bacia.

A vazão mínima é importante para a avaliação da qualidade da água dos mananciais. Os problemas de qualidade d'água na bacia residem para a bacia do Rio Canoas nos esgotos industriais e no restante da bacia no uso de pesticidas e esgotos domésticos. Isto associado à redução das vazões mínimas acarretará a redução na

qualidade ambiental. A vazão de 7 dias e 10 anos apresenta redução de 8.5% e conseqüente redução na capacidade de diluição.

⇒ Na bacia do Rio Uruguai, a produção energética através de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) é muito utilizada em propriedades rurais e pequenas comunidades. Considerando que para a curva de permanência, as vazões de 95% sofrerão uma redução de 3.0 a 18 % para o modelo GISS, de 13.0% a um incremento de 2.2 % para o GFDL e redução de 1 a 13.0 % para o UKMO, isto para bacias de 100 a 5000 km². Pode ser previsto uma redução da geração de energia em pequenos aproveitamentos, na mesma proporção da redução da vazão.

⇒ Analisando a questão da irrigação, verifica-se que os períodos mais quentes e em decorrência com maior potencial de evaporação, estão localizados entre novembro e março, que também é o período de redução nas precipitações. O modelo UKMO prevê entre novembro e janeiro uma redução de 5 % nas precipitações médias na bacia, o GISS de 7 %, com um incremento de 29 % para fevereiro, já o GFDL prevê uma redução de 46 % para dezembro.

⇒ A capacidade de regularização deverá ser menor, para vazões maiores que 30% da vazão média de longo período, para os modelos UKMO e GFDL. De outra forma o modelo GISS reproduz um cenário inverso. Para uma bacia de 1000 km² os modelos GFDL e UKMO apresentam reduções de 24% e 5% do volume necessário para regularizar a vazão média em 95% do tempo, respectivamente. Para o modelo GISS a vazão média reduz em 20% para o mesmo volume atual.

⇒ As curvas adimensionais de frequência para a região do Rio Uruguai, não se alteram com a hipótese das modificações no clima. Visto que a sazonalidade, as características de cobertura, e outros fatores de grande importância, na resposta da bacia a um estímulo externo, não se alteraram. As pequenas variações propostas pelos GCMs, não são capazes de modificar as curvas adimensionais, isto é o impacto não-linear de um multiplicador sobre as precipitações futuras é desprezível.

⇒ Verifica-se que as funções de regressão entre área de drenagem e vazões, sejam elas médias de longo período, cheias, mínimas associadas a uma duração, ou ainda uma vazão característica da curva de permanência, tendem a aumentar a taxa de modificação com o aumento da área de drenagem. Já que a área entra no processo de uma maneira linear, esta não deveria interferir ou modificar a estimativa, assim o faz devido ao erro amostral imbutido no processo.

Recomendações:

⇒ Recomenda-se que testes com outras sub-bacias da região sejam feitos, buscando confirmar as tendências encontradas aqui, bem como se possível a utilização de outros modelos hidrológicos, buscando retirar as influências, se existirem, do modelo utilizado.

⇒ O uso de um maior número de bacias possibilitará maior confiança nos resultados, assim como o diagnóstico sobre grandes aproveitamentos na bacia, e uma maior análise dos modelos GCMs.

⇒ Torna-se necessário a integração entre modelos GCMs e hidrológicos, a medida que a malha dos primeiros se reduzir e os efeitos da superfície influenciam o clima.

⇒ Os resultados obtidos são especulações sobre o clima do próximo século e poderão se tornar previsões confiáveis a medida que os modelos GCMS reduzam as incertezas e limitações existentes.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, M. B., BATHURST, J. C., CUNGE, P. E., O'CONNELL and RASMUSSEN, J., 1986: An Introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrlogique Europeen, "SHE", 1: History and Philosophy of a Physically-Based, Distributed Modelling System. J. of Hydrology n. 87, pp 45-59.

ABBOTT, M. B., BATHURST, J. C., CUNGE, P. E., O'CONNELL and RASMUSSEN, J., 1986: An Introduction to the European Hydrological System - Systeme Hydrlogique Europeen, "SHE", 2: Structure of a Physically-Based, Distributed Modelling System. J. of Hydrology n. 87, pp 61-67.

ANDERSON, J. A., 1969: Runoff evaluation and Streamflow Simulation by Computer. Portland. Corps of Engineer. n.p.

ANDERSON, M. G. e BURT T. P., 1985: Hydrological Forecasting- A wiley- Interscience Publication- NEW YORK, 604 PP.

BERTHELOT, R., 1970: Curso de Hidrologia Sintética, Mestrado em Hidrologia Aplicada. IPH - UFRGS.

BEVEN, K. J. e KIZKBY, M. J., 1979: A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrological Sciences Bull, 24, 1: pp 43 - 69.

BINLEY, A. , ELGY, J. e BEVEN, K., 1989: A Phisically Based Model of Heterogeneous Hillslopes, 1, Runoff Production. Water Resources Research, Vol. 25, n. 6, june, pp 1219- 1226.

BITHIN, D. e LETTENMAIER, D. P., 1985: A Nonlinear Time-Variant Constrained Model for Rainfall-Runoff J. of Hydrology, n. 111. pp 321-360.

BULTOT, F., DUPRIEZ, G. L. e GELLENS, D. 1990: Simulation of land use changes and impacts on the water-balance - A case study for Belgium. V. 114, 327- 348 pp. Journal of hydrology.

BROWN, J. W., WALSH, M. R., McCARLEY, R. W., GREEN, Jr., A. J. e WEST, H. W., 1974: Model and Methods Aplicable to Corps of Engineers Urban Studies. U. S. Army Water Ways Experiment Station, Vicks Burg.

CLARKE, R. T., 1973: Mathematical Model in Hydrology, Irrigation and Drainage. Paper n. 19, FAO

CLARKE, R. T. e HOSKING, J. R. M., 1989: Relações Precipitação-vazão Derivadas da Teoria Probabilística de Armazenamento. 4^o Simpósio Luso-Brasileiro de Hidráulica e Recursos hídricos. ANAIS, vol 2, pp 249-258.

COOLER, K. R., 1990: Effects of CO₂ induced climatic changes on snowpack and streamflow. n. 35, vol. 5, outubro, 511- 522 pp. Hydrological Sciences.

COSTA, J. E. 1987: A Comparision of the Largest Rainfall-Runoff Floods in the United States with those of the Peoples Republic of China and the World. J. of Hydrology n. 96, pp 101-115, jan.

CRAWFORD, M. e LINSLEY, 1966: Digital Simulation in Hydrology Stanford Watershed Model IV, Technical Report n. 39, Departament of Civil Engineer, Stanford University. 210 pp.

CRESPO, C. E. e TUCCI, C. E. M., 1984: Regionalização de Vazões Máximas do RGS e SC. Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos, vol 3, n.1.

CROSSON, P. R., 1989: Climate Change: Problems of limits and policy Respouses. Resources for the Future, Washington, D. C., part I, Cap 5, pp 69 - 82.

DOOGE, J.C. I., 1973: **Linear Theory of Hydrologic Systems**, Tech. Bull. n. 1468. U.S. Dept. of Agriculture.

DORFMAN, R., 1977: **Critérios de avaliação de alguns métodos de cálculo da evapotranspiração potencial**. Porto Alegre, UFRGS - Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. DISS. Mestrado.

EPA - United States Environmental Protection Agency, 1989: **The Potential Effects of Global Climate Change On the United States**. Appendix A, Water Resources, June, np.

EPA, 1989: **The Potential Effects of Global Climate on the United States**: Office of Policy, Planning and Evaluation U.S. Environmental Protection Agency Washington. DC.20460, May, 8p.

FLEMING, G., 1975: **Computer Simulation Technics in Hydrology**, Elsevier, NEW YORK.

FREDERICK, K. P. e GLEICK, P. H., 1989: **Water resources and Climate Change Resources for the Future**, Washington, D. C., part II, Cap 10, pp 133-143.

FREZZE, R. A., 1980: **A Stochastic-Conceptual Analysis of Rainfall-Runoff Processes on a Hillslope**. Water Resources Research, vol 16, n. 2, pp 391-408.

GRAY, D. M., 1970: **Handbook on the Principles of Hydrology**, Water Information Center Publication, n.p.

GREEN, R. A., 1986: **An Explicit Solution of the Modified Horton Equation**, J. of Hydrology, n. 83 pp 23-27.

GEORGAKAKOS, K. P. e SMITH, G. F., 1990: **On improved hydrologic forecasting - Results from a WMO Real-time forecasting experiment**. n. 114, 17-45 pp, journal Hydrology.

GROTCH, S. L., 1988: Regional Intercomparisions of General Circulation Model Predictions and Historical Climate Data. Washington, D. C.: U.S. Department of Energy. (DOE/NBB-0084).

HAINS, D. K., 1989: Impacts of Global Warming on Runoff in the Upper Chattahoocha River Basin, U. S. Environmental Protection Agency. CR 814667, 26pp.

HANSEN, J., FUND, I., LACIS, A., LEBEDEFF, S., RIND, D., RUEDY, R. e RUSSELL, G., 1988: Global Climate Change as forecast by GISS 3-D model Institute for Space Studies three-dimensional model. Journal of Geophysical Research 93: 9341-9364.

HARLEY, B. M.; PERKINS, F. E. e GLESON, P. S., 1970: A Modular Distributed Model of Catchment Dynamic Mit Technical Reprint n. 133, Dezembro.

HAUSMAN, A., 1966: Comportamento do freático nas áreas basálticas do Rio Grande do Sul. Boletim Paranaense de Geografia, (18/20), pp 177-213.

HROMADKA, T. V. e McCUEN, R. H., 1989: An Approximate Analysis of Surface Runoff Model Uncertainty, J. of Hydrology n. 111, pp 321-360.

IPCC, 1990: Policy makers' summary of the Potential impacts of Climate Change. Report from Working Group II to IPCC. June, 46 pp.

IPCC, 1990: Climate change the IPCC Scientific Assessment-Group I, editado por Houghton J. T., Jenkins G. J. e Ephraums J. S., 26 pp.

IPH, 1991: Regionalização de vazões do Rio Grande do Sul. Vol. I - Desenvolvimento da regionalização, fevereiro, Porto Alegre, 150 pp.

JAMES, L. D., 1970: Hydrologic Modeling, Parameter Estimation and Watershed Characteristic, J. of Hydrology.

JENNE, R., 1990: Status of selected CO2 Climate Model Runs. 16 maio 1989, revisado em junho de 1990, 18 pp.

JENNE, R., 1990: July, NCAR/EPA, DOC 1, 2,4,5 e 7, pp 24.

JENNE, R., 1989: Data From Climate Models, the CO2 Warming, "DRAFT", may, 22 pp.

KARL, T. R., HIAZ, H. e BARNETT, T., 1989: Climate Variations of the past century and the greenhouse effect Rockville. M.D.: National Climate Program Office/NOAA.

KHAN, M. H., 1989: Evolution of Rainfall-Discharge Models with Discrimination. J. of Hydrology, n.108, pp 63-78.

KIDD, C. H. R., MAKIN, I. W., LOWING, M. J., PACKMAN, J. C. e PRICE, A. G., 1978: Studies in Urban Hydrology: Rainfall-Runoff Processes over Urban Surfaces. Institute of Hydrology, Wallingford, Oxon, Report n. 53, September.

KLEMES, V., 1974: The Hurst Phenomenon: A Puzzle?, Water Resources Research, 10(4), 675-688.

LETTENMAIER, D. P. e BURGESS, S. J., 1978: Climate Change: Detection and its Impact on Hydrologic Design, Water Resources Research, 14(4), pp 679-687.

LETTENMAIER, D. P., GAN, T. Y. e DAWDY, D. R., 1989: Interpretation of Hydrologic Effects of Climate Change in the Sacramento-San Joaquin River Basin, California, Water Resources Serie Technical Report n. 110, 55pp.

LOAGUE, K., 1990: Reavalution of a Quasi-Physically Based

Rainfall-Runoff Model. With Supplemental Information. vol. 26 no. 5, 973-987 pp. maio, Water Resources Research.

MAGARITZ, M. , KAUFMAN, A. , PAUL, M. , BOARETTO, E. e HOLLOS, G. , 1990: **A new Method to Determine Regional Evapotranspiration.** vol. 26, no. 8, 1759-1762 pp. Water Resources Research.

MILLER, R. J. e RUSSELL, G. L. , 1990: **The impact of Global Warming on river runoff.** Submitted to Nature. June No. 26, 11pp.

MITCHELL, J. B. , SENIOR, C. A. e INGRAM, W. J. , 1989: **CO₂ and Climate a missing Feedback ?.** Nature vol. 341, no. 6238. pp 132-134. Setembro.

MOLION, L. C. B. , 1991: **Destaque: Arrefecimento o aquecimento global.** Boletim informativo ABRH, no. 42, jan-fev. 5-8 pp.

MOORE, R. J. , 1980: **Real Time Forecasting of Flood Events. Using Transfer Function Noise Models: Part 2,** Institute of Hydrology, Wallingford. may.

MOORE, R. J. e CLARKE, R.T. , 1981: **A Distribution Function Approach to Rainfall-Runoff Modeling.** Water Resources Research, vol 17, n. 5, pp 1367-1382, october.

NOBRE, C. , SHUKLA, J. e SELLERS, P. , 1989: **Impactos Climáticos do Desenvolvimento da Amazônia,** ABRH, Boletim Informativo n. 39, novembro, pp 10-14.

O'CONNELL, P. E. e CLARKE, T. R. , 1981: **Adaptative Hydrological Forecasting - a review,** Hydrological Sciences - Bulletin 26,2,6. pp 179-203.

OEA, 1969: **Bacia do Prata. Estudo para sua Planificação e Desenvolvimento.** , Organização dos Estados Americanos. np.

PASINATO, H. , 1990: **Global Change effects on total annual**

small hydropower plants energy production in Uruguai River Basin.
Report n. 3, dezembro, EPA-IPH(UFRGS), 6 pp.

PEARSON, C. P., 1989: One-Dimensional Flow Over a Plane: Criteria for Kinematic Wave Modelling., J. of Hydrology n. 111, pp 39-48.

PESCHKE, G. e KUTÍLEK, M., 1982: Infiltration Model in Simulated Hydrographs., J. of Hydrology. vol n. 52, pp 369-379.

RIND, D., GOLDBERG, R., HANSEN, J., ROSENZWEIG, C. e RUEDY, R., 1990: June, pp 9983-10004, no. d7, vol. 95 Journal of Geophysical Research.

SANCHEZ, J. E., 1987: Fundamentos de Hidrologia, Porto Alegre, IPH-UFRGS, 355pp.

SCHAAKE, C. J. e CHUZHEN, L., 1989: Development and Application of Simple Water Balance Models to Understand the Relationship between Climate and Water resources., IAHS, plub. n. 181, may, pp 343-352.

SCHNEIDER, S.H. e ROSENBERG, N. J., 1989: The Greenhouse Effect: Its causes, Possible impacts, and Associated Uncertainties. Resources for the Future, Washington, D. C., part I, Cap 2, pp 7-34.

SINGH, P. V., 1982: Applied Modeling in Catchment Hydrology "A Simplified Hydrologic Model", Water Resources Publication. pp 167-176.

SMITH, J. B. e TIRPAK, D., 1989: The Potential effects of Global Climate Change on the United States. Environmental Protection Agency - EPA, EPA-230-05-89-050, dezembro.

SWCC, 1990: Second World Climate Conference, final, Conference Statement Scientific/ technical sessions. novembro, 15 pp.

SWCC, 1990: PORTION, Scientific/technical - recommendation of task Group I (water). out-novembro np.

SWCC, 1990: PORTION, Scientific/technical - recommendation of task Group II (agriculture and food). out-novembro np.

SWCC, 1990: PORTION, Scientific/technical - recommendation of task Group IV (energy). out-novembro np.

TITUS, J. G., 1990: Strategies for Adapting to the Greenhouse Effect. APA, Journal Summer, pp 311-323.

TUCCI, C. E. M., SANCHEZ, J. e SIMÕES LOPES, M., 1983: Modelo Matemático Precipitação-vazão IPH II, Recursos Hídricos, pub. n. 3, Publicação aperiódica do IPH-UFRGS.

TUCCI, C. E. M. e SIMÕES LOPES, M., 1984: Previsão de cheias do rio Uruguai: 1ª etapa - zoneamento das áreas inundáveis. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. 125 pp.

TUCCI, C. E. M., 1986: Modelos Matemáticos em Hidrologia e Hidráulica. Rio de Janeiro, RBE. 3V.

TUCCI, C., SIMÕES LOPES, M., LANNA, A. e ENDRES, L., 1986: Previsão de Cheias no Rio Uruguai: Itaqui. Porto Alegre, IPH-UFRGS, v.p.

TUCCI, C. E. M. e DAMIANI, A. R.R., 1990: Prata River Basin: Preliminary Analysis. Porto Alegre, IPH-UFRGS, 15pp.

UNESCO, 1982: GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE AMÉRICA DEL SUR, 130 PP.

U. S. ARMY HEC-1, 1969: HEC-1; Flood Hydrograph Package Hydrologic Engineering Center. Davis, 70pp.

U. S. ARMY , 1972: Program Description and User Manual for
SSARR, U. S. Army Engineer Division, North Pacific, Portland,
Oregon.

ANEXOS

ANEXO - A

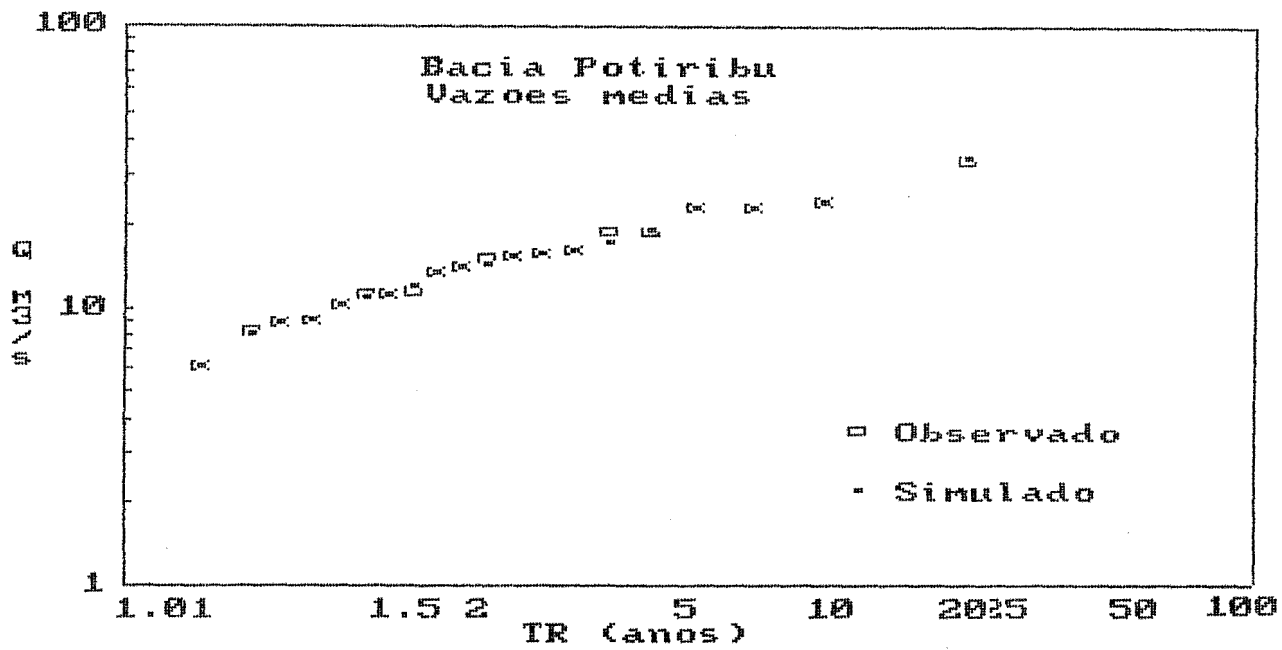


Figura A.1: Curva de Frequência de Vazões Médias(Potiribu)

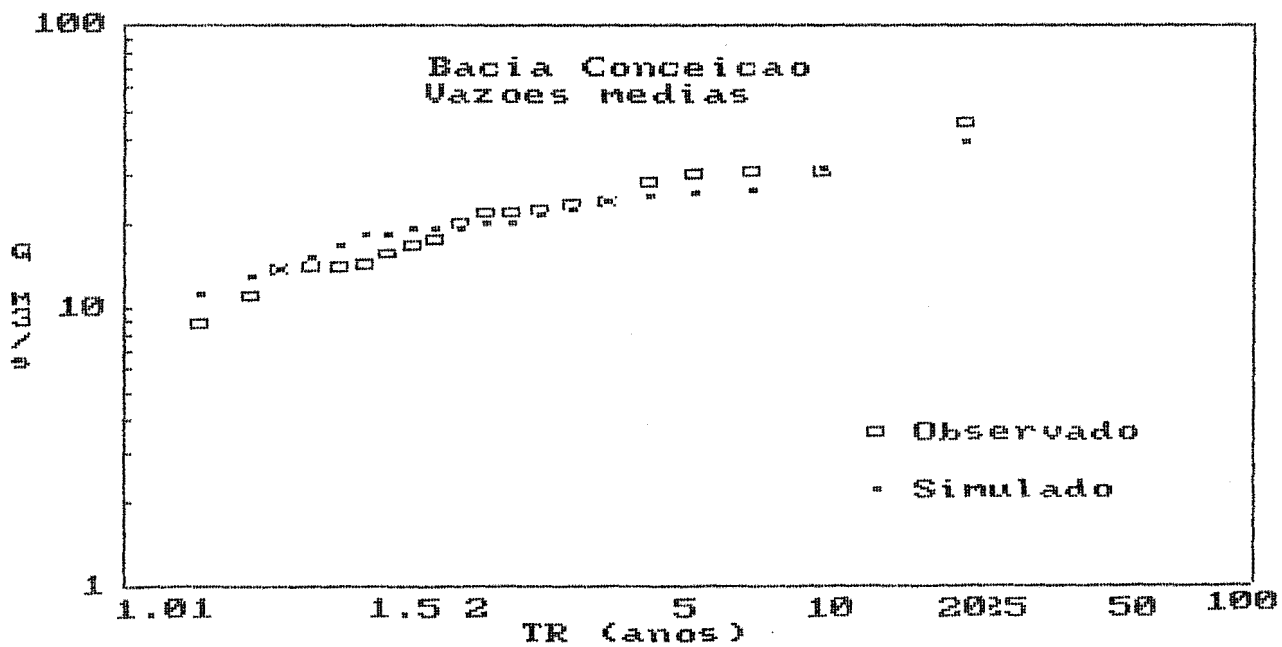


Figura A.2: Curva de Frequência de Vazões Médias(Conceição)

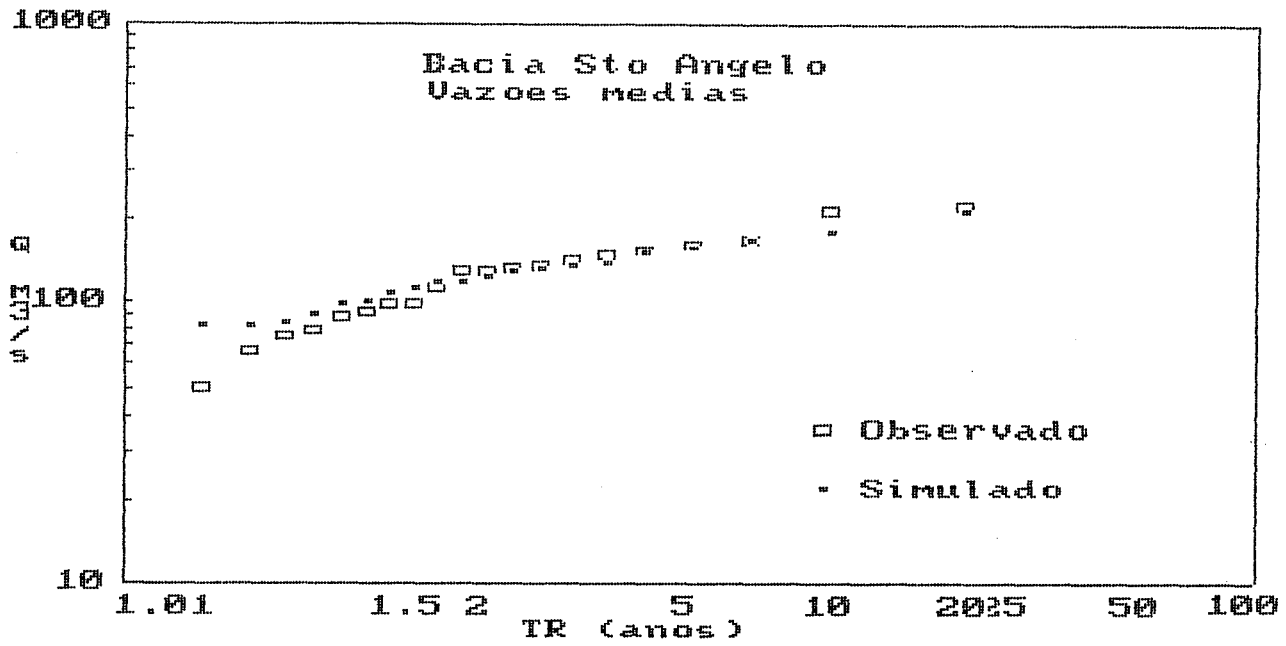


Figura A.3: Curva de Frequência de Vazões Médias (Sto Ângelo)

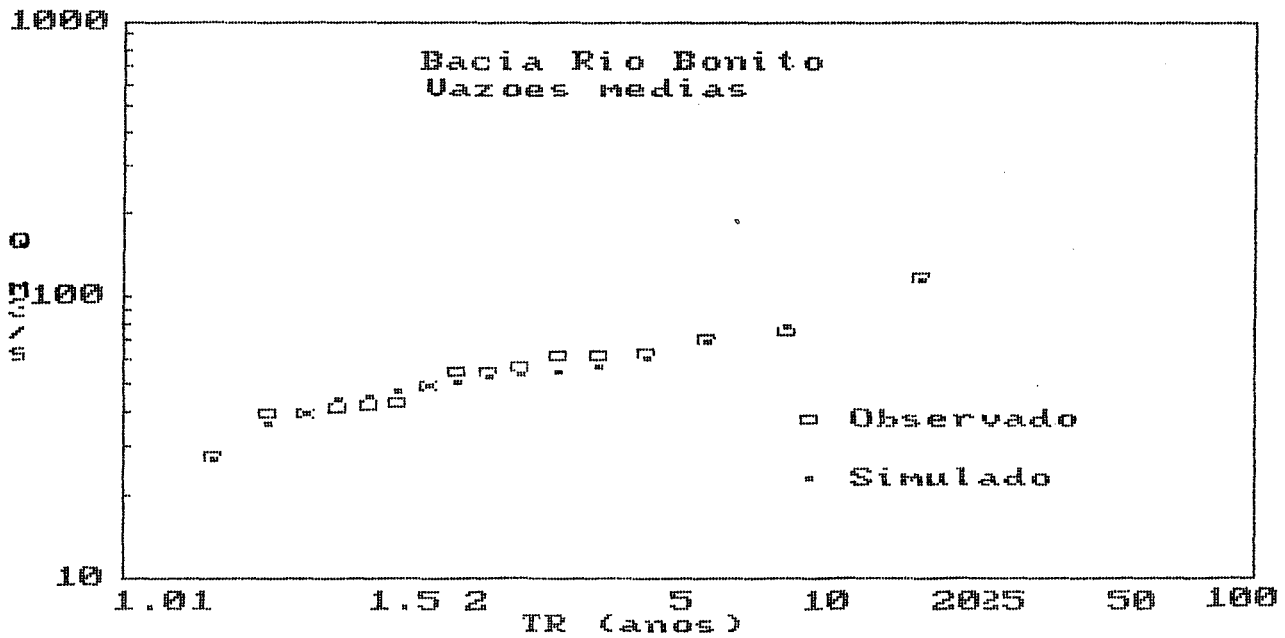


Figura A.4: Curva de Frequência de Vazões Médias (R. Bonito)

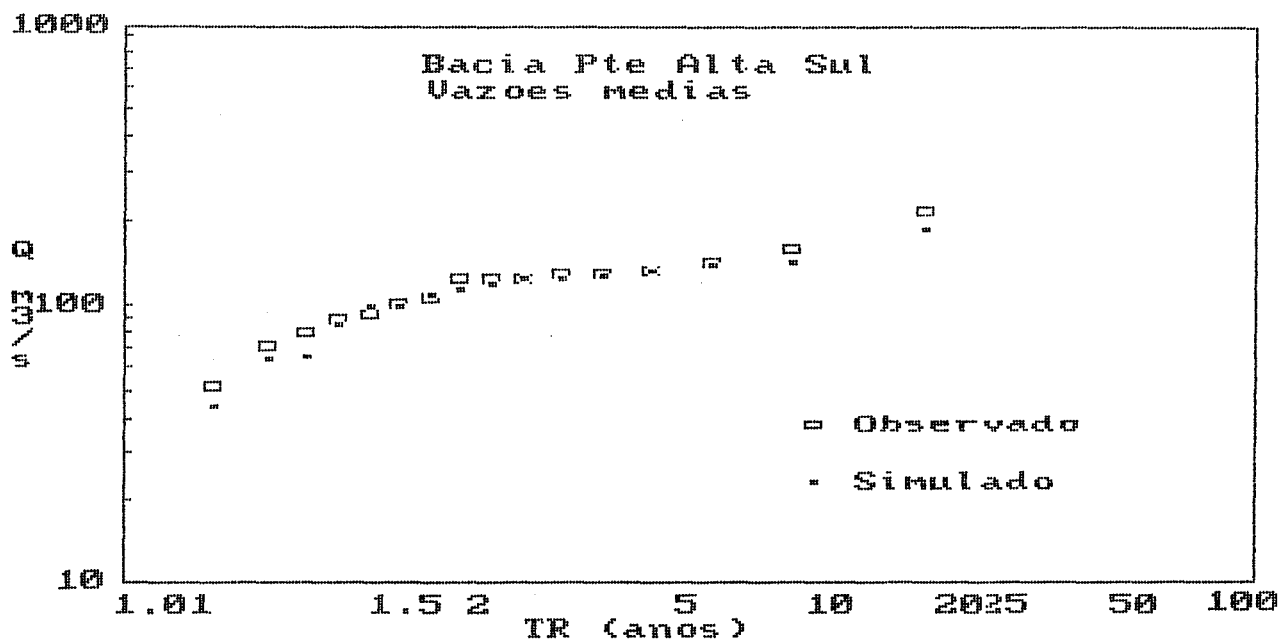


Figura A.5: Curva de Frequência de Vazões Médias (Pte A. do Sul)

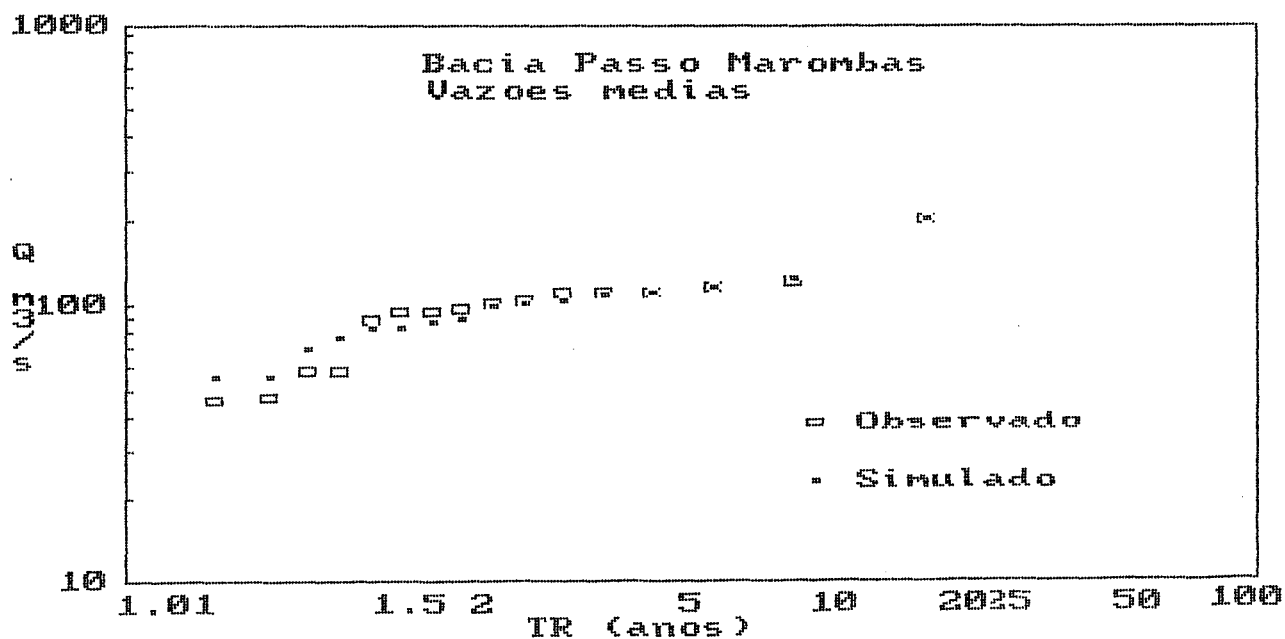


Figura A.6: Curva de Frequência de Vazões Médias (Passo Marombas)

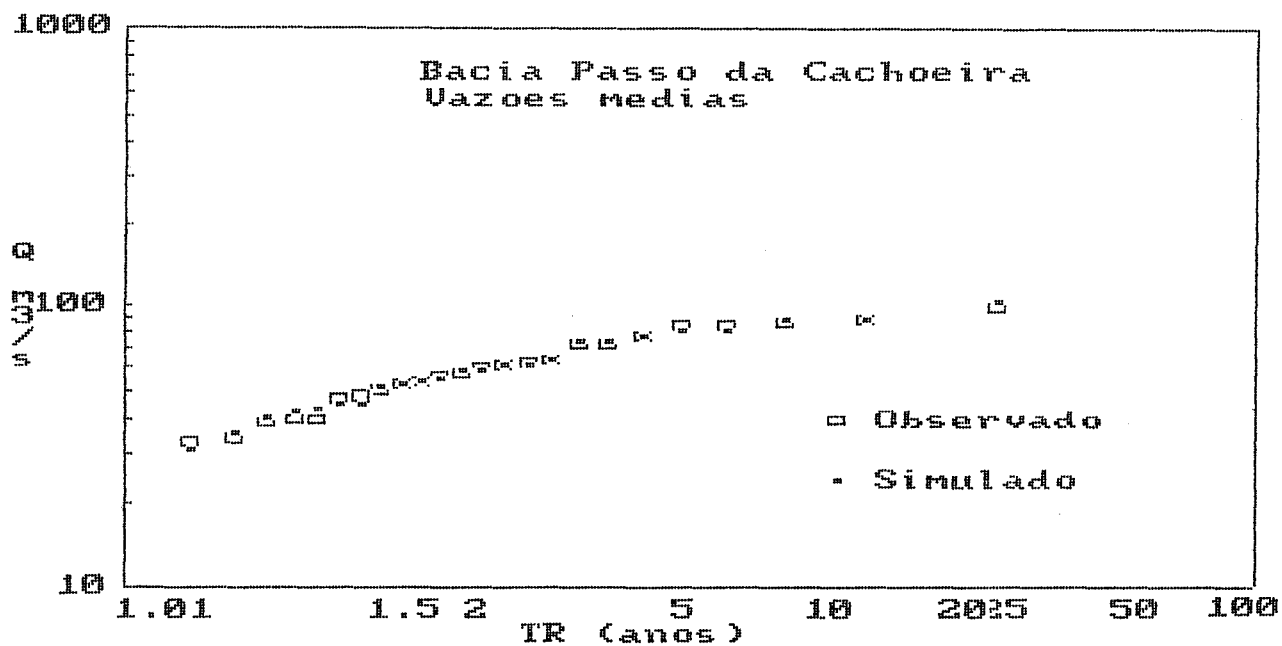


Figura A.7: Curva de Frequência de Vazões Médias (Passo da Cachoeira)

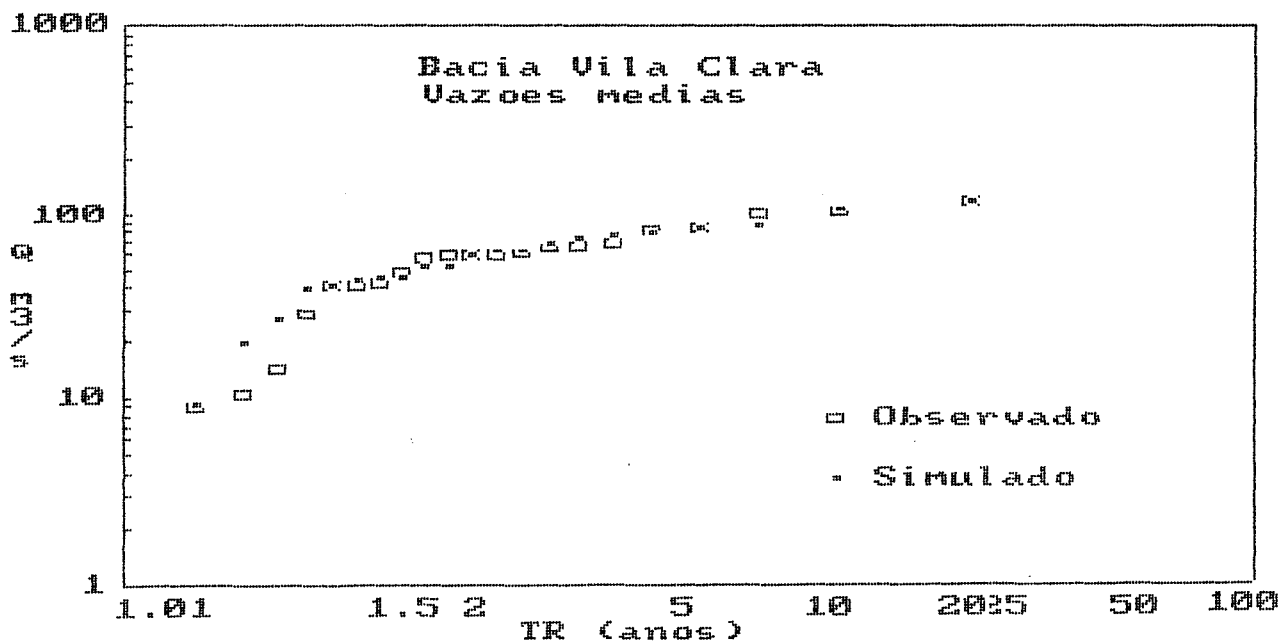


Figura A.8: Curva de Frequência de Vazões Médias (Vila Clara)

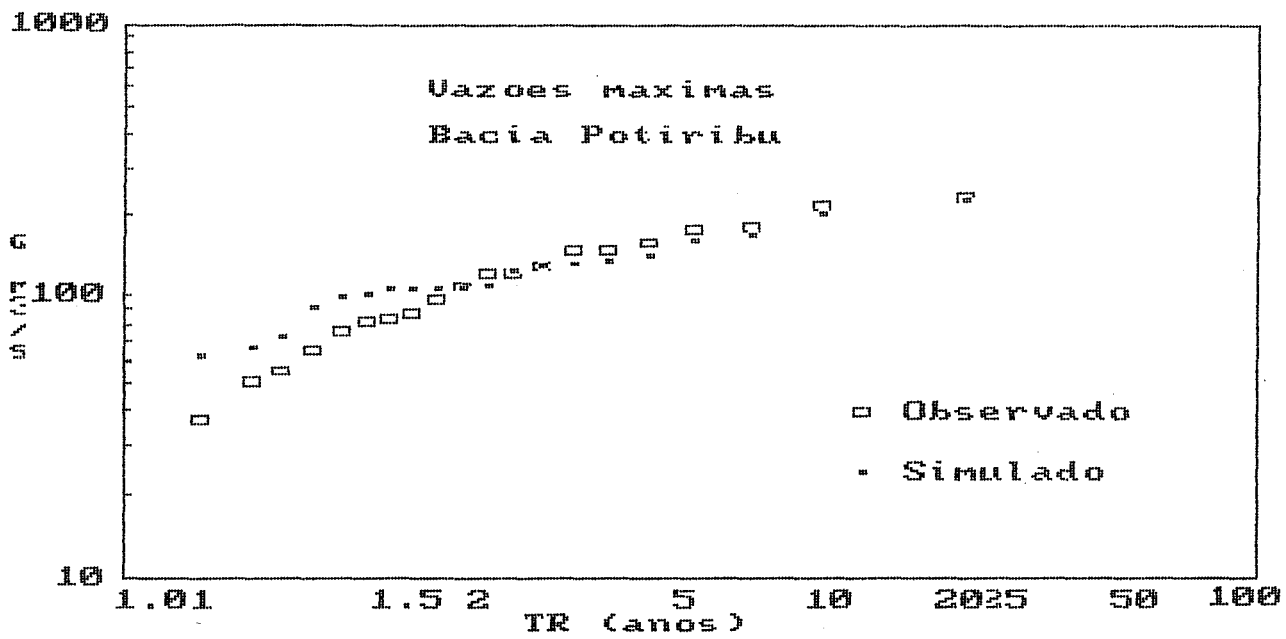


Figura A.9: Curva de Frequência de Vazões Máximas(Potiribu)

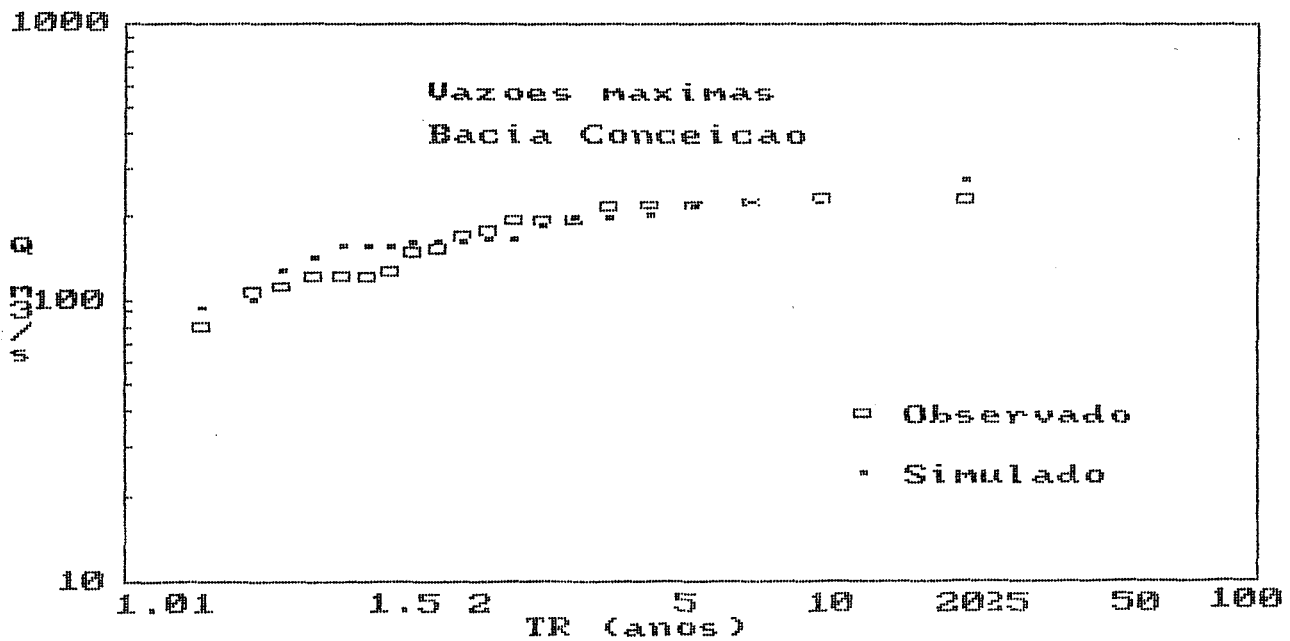


Figura A.10: Curva de Frequência de Vazões Máximas(Conceição)

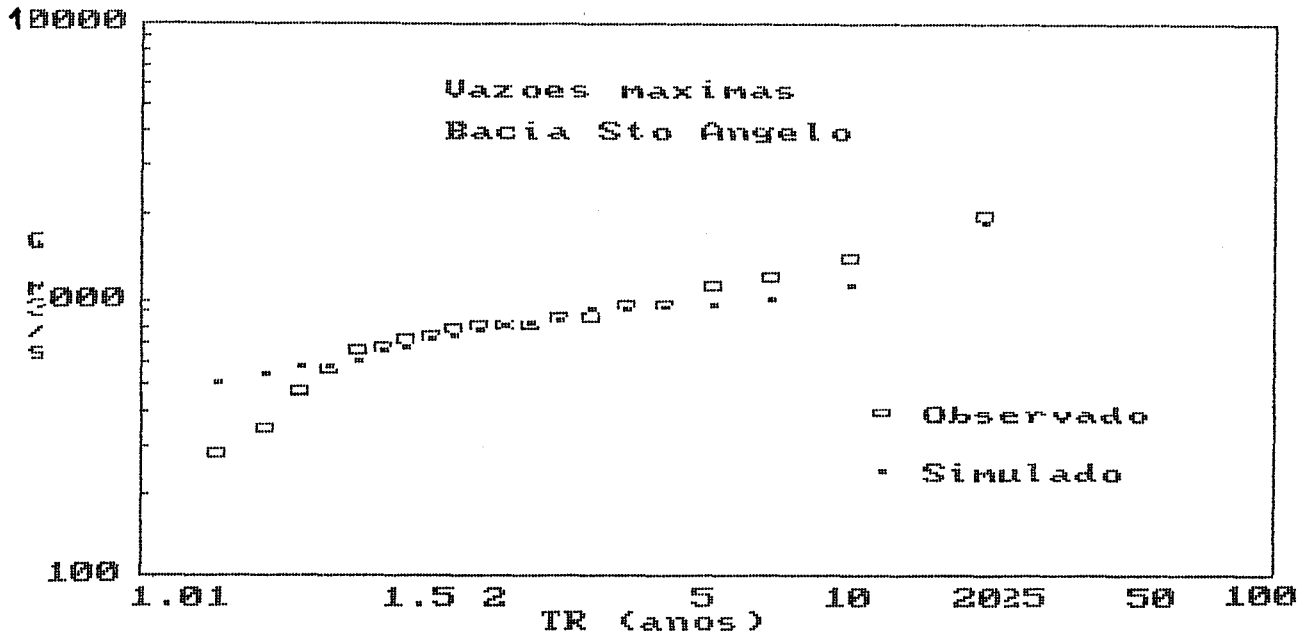


Figura A.11: Curva de Frequência de Vazões Máximas (Sto Ângelo)

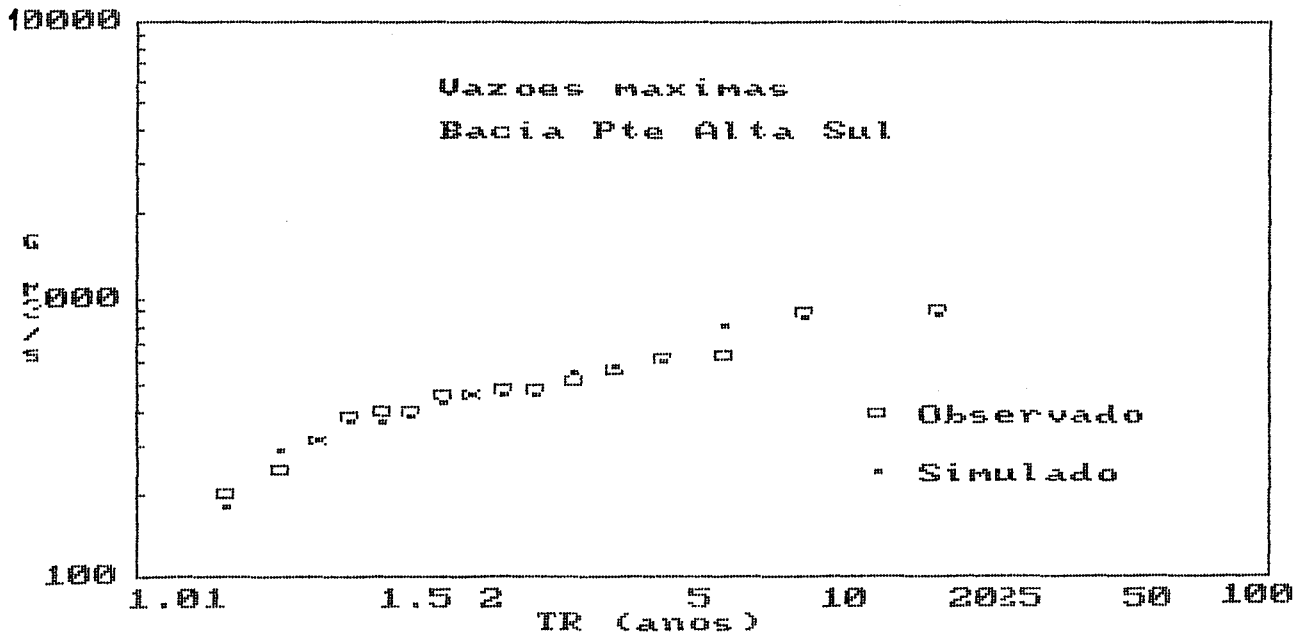


Figura A.12: Curva de Frequência de Vazões Máximas (Pte A. do Sul)

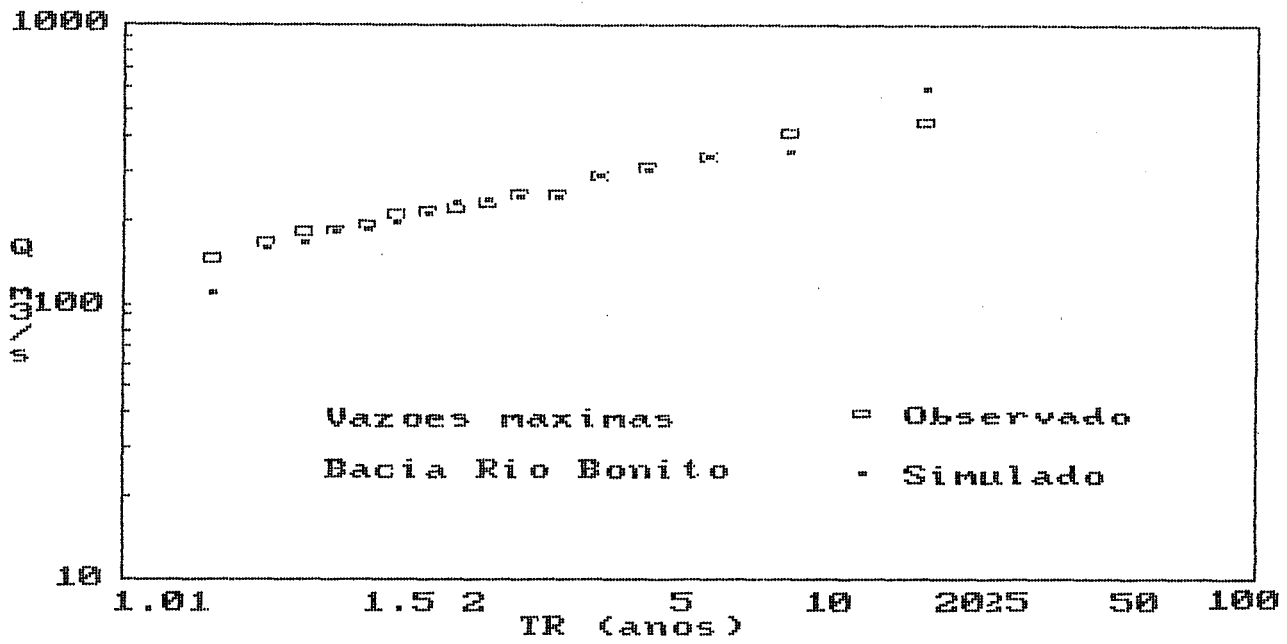


Figura A.13: Curva de Frequência de Vazões Máximas(R. Bonito)

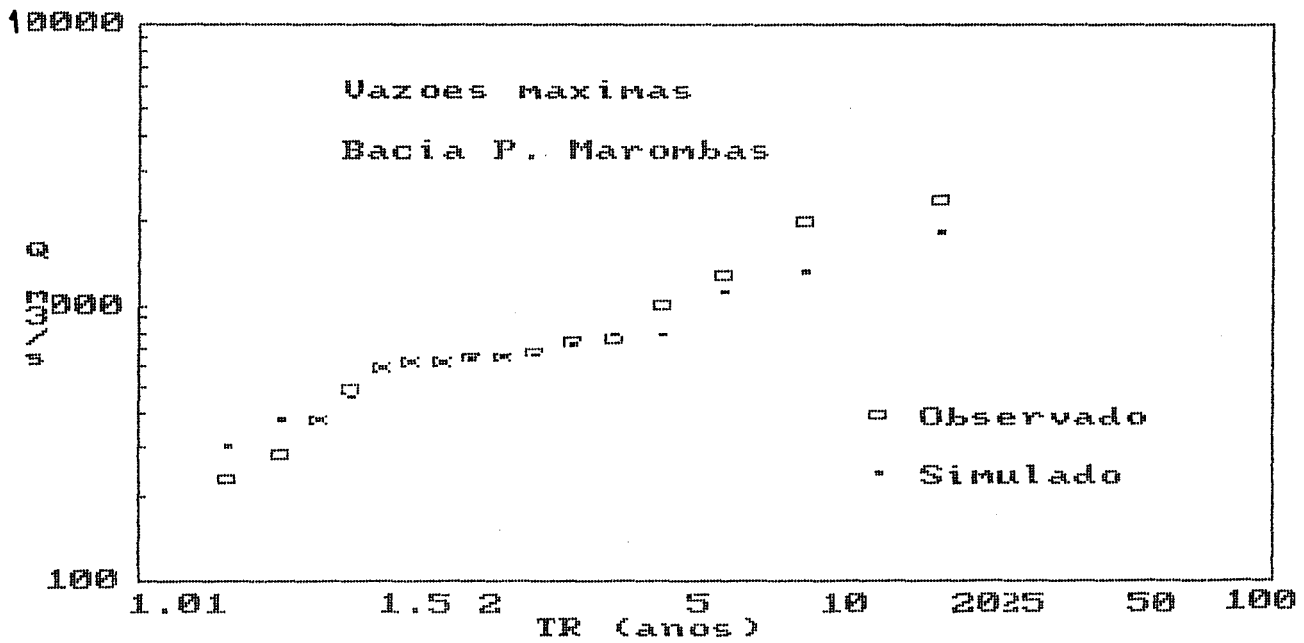


Figura A.14: Curva de Frequência de Vazões Máximas (Passo Marombas)

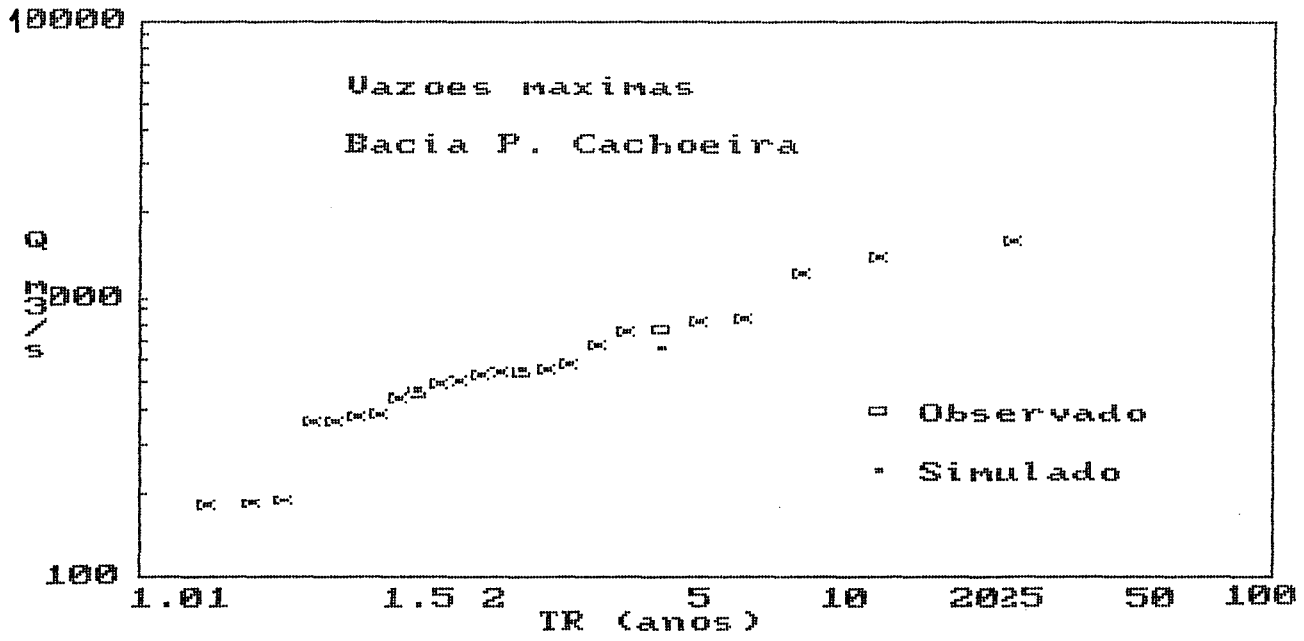


Figura A.15: Curva de Frequência de Vazões Máximas (Passo da Cachoeira)

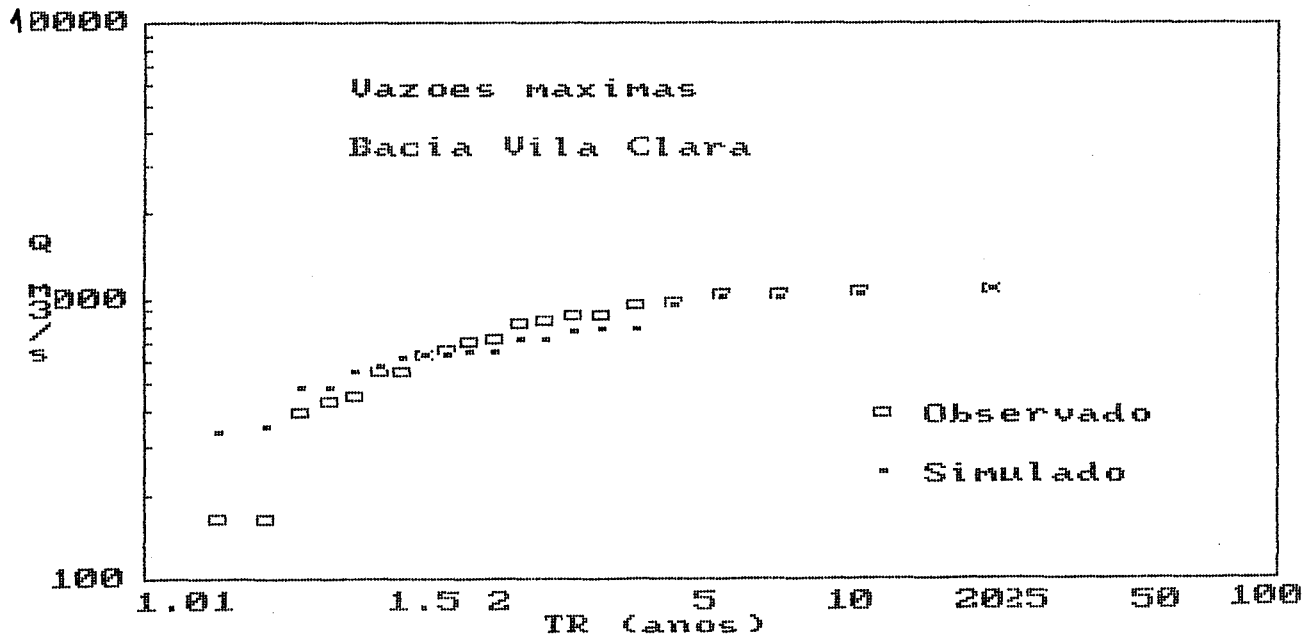


Figura A.16: Curva de Frequência de Vazões Máximas (Vila Clara)

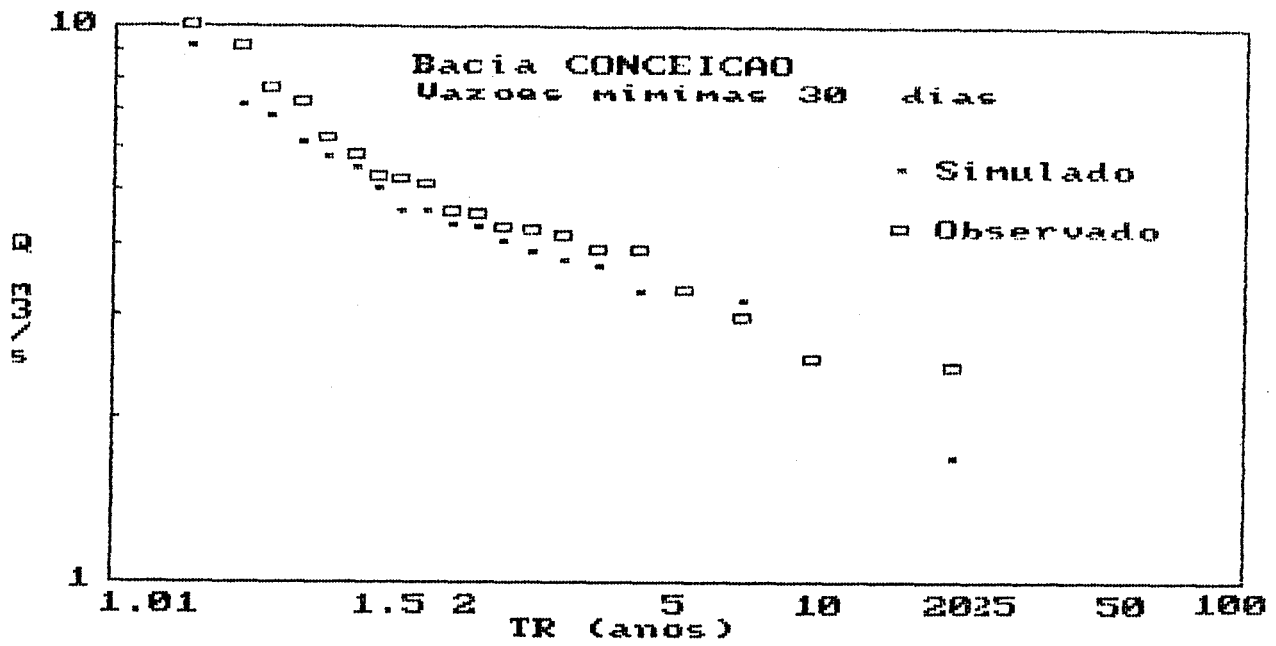


Figura A.17: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (Conceição)

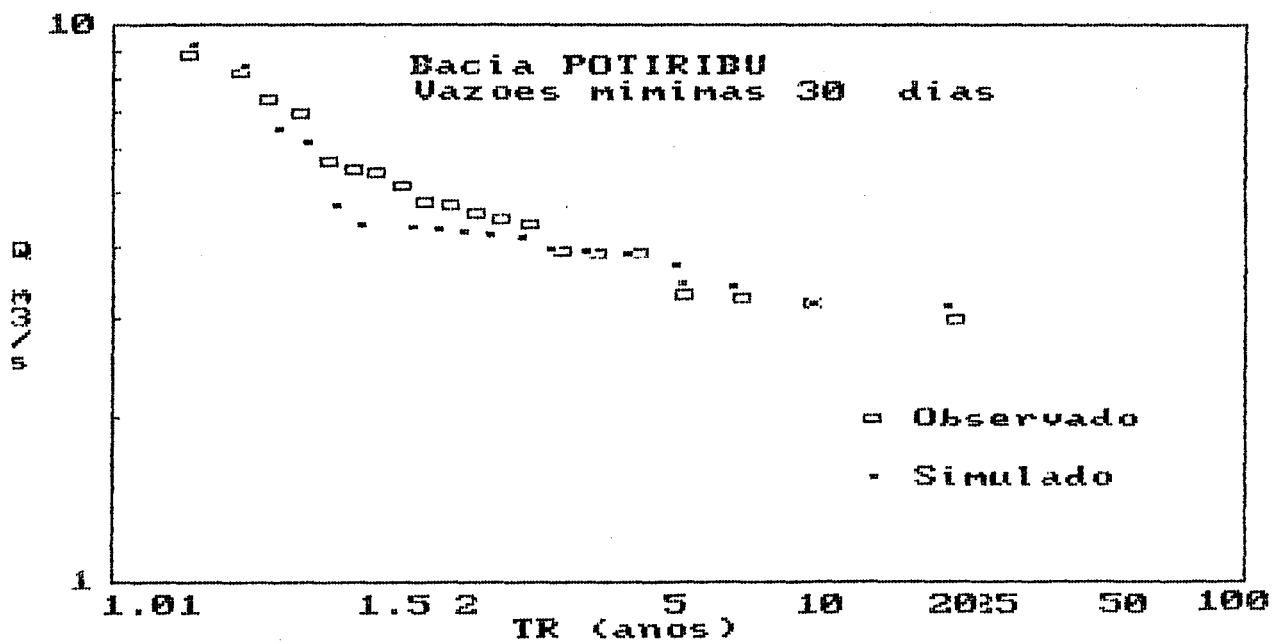


Figura A.18: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (Potiribu)

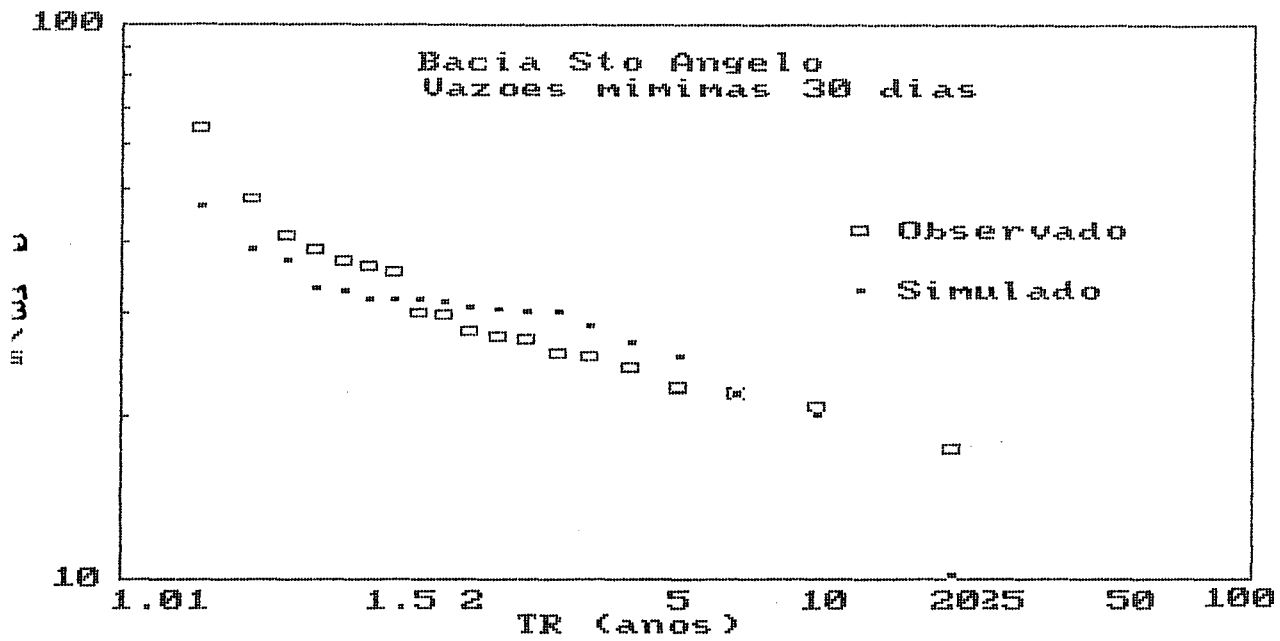


Figura A.19: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (Sto Ângelo)

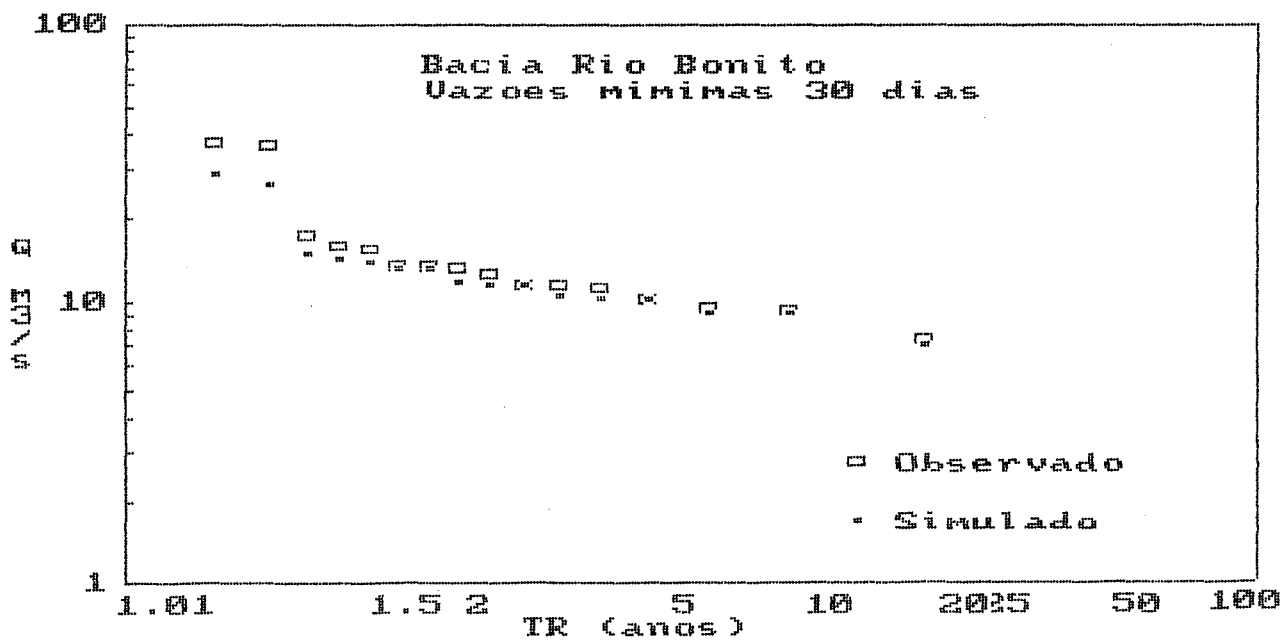


Figura A.20: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (R. Bonito)

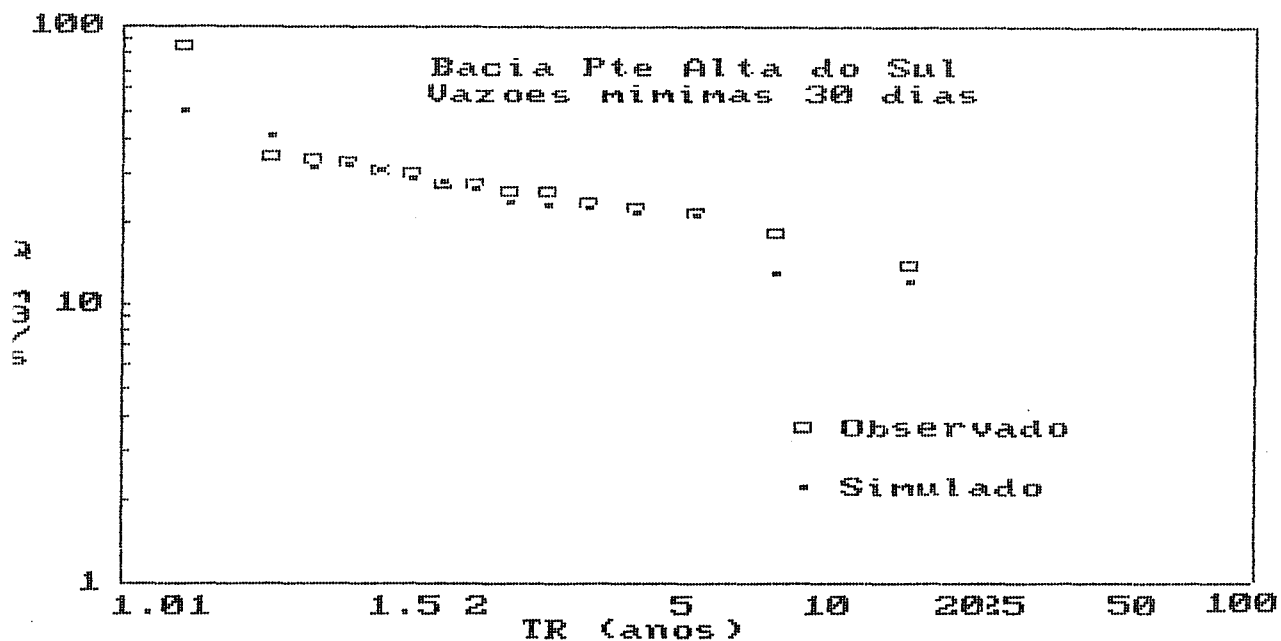


Figura A.21: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (Pte A. do Sul)

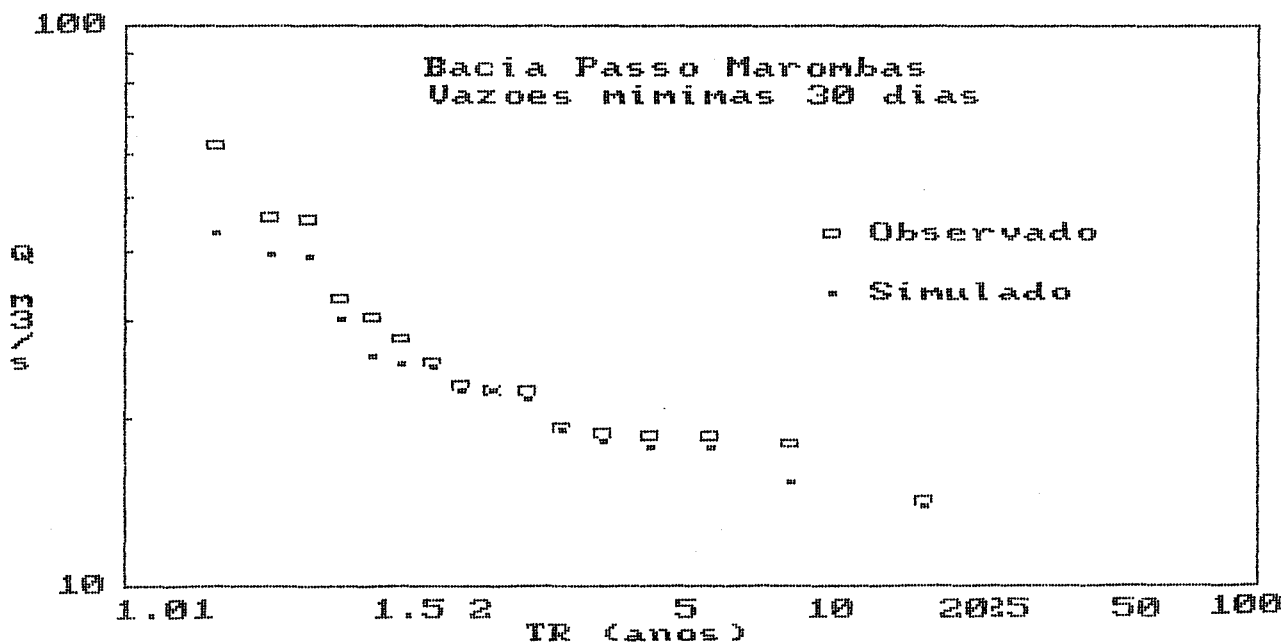


Figura A.22: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (Passo Marombas)

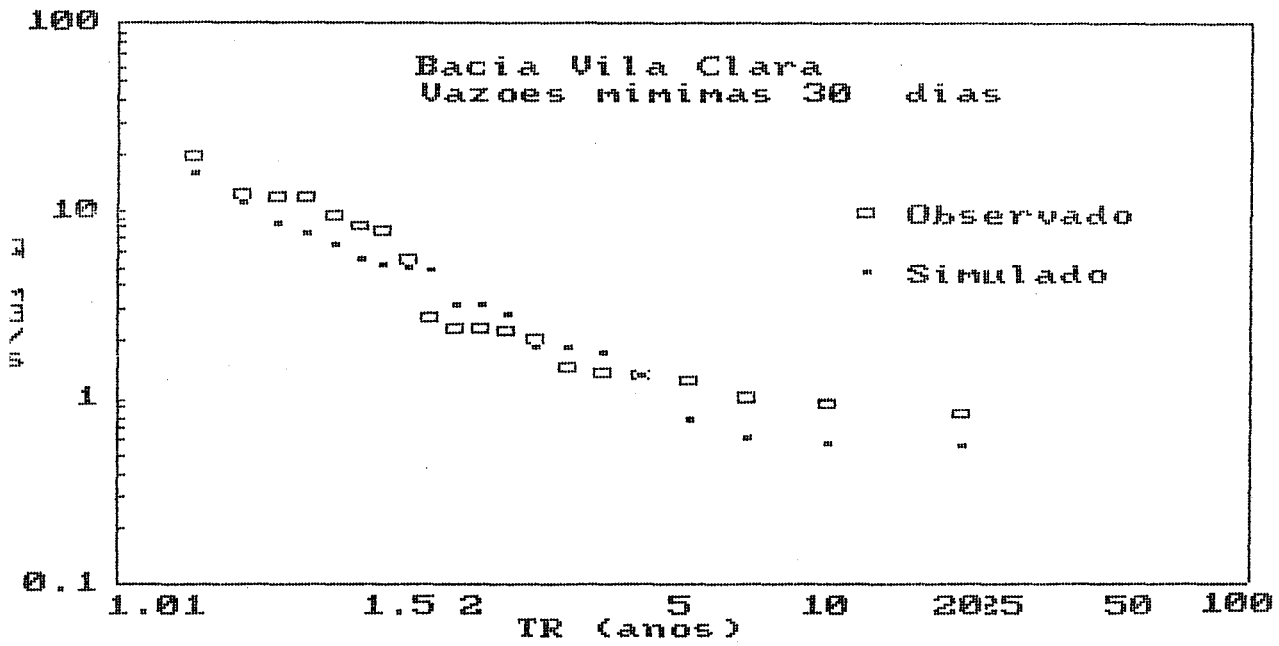


Figura A.23: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (Vila Clara)

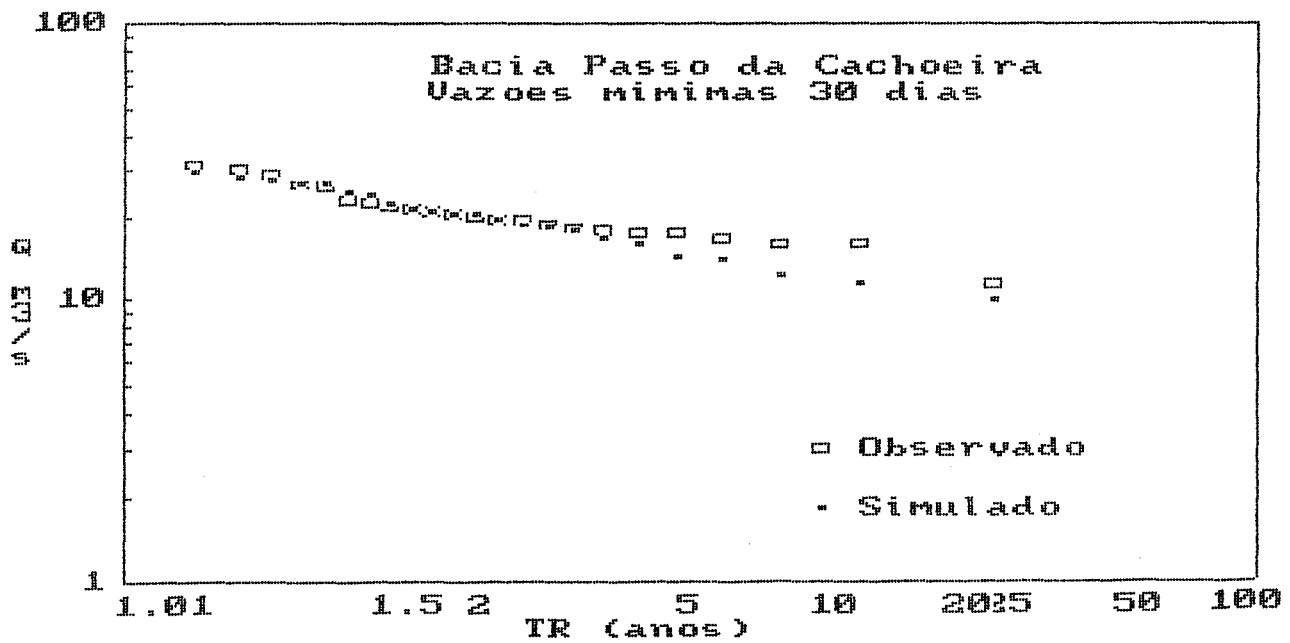


Figura A.24: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (Passo da Cachoeira)

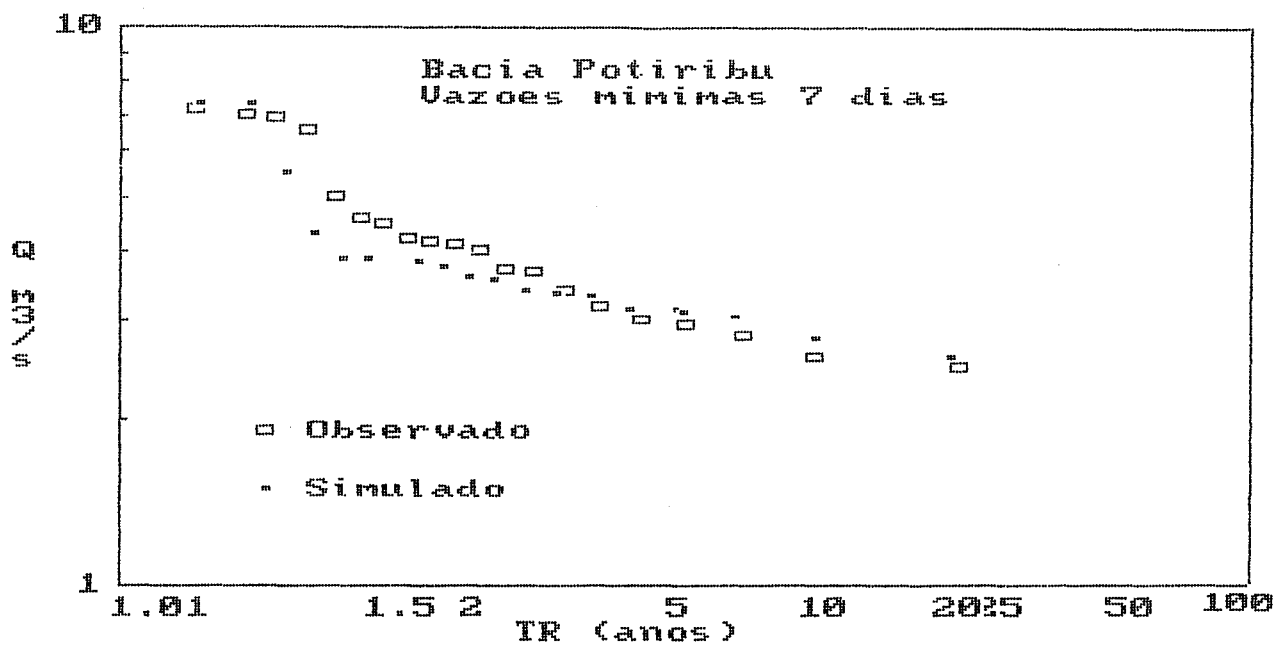


Figura A.25: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias(Potiribu)

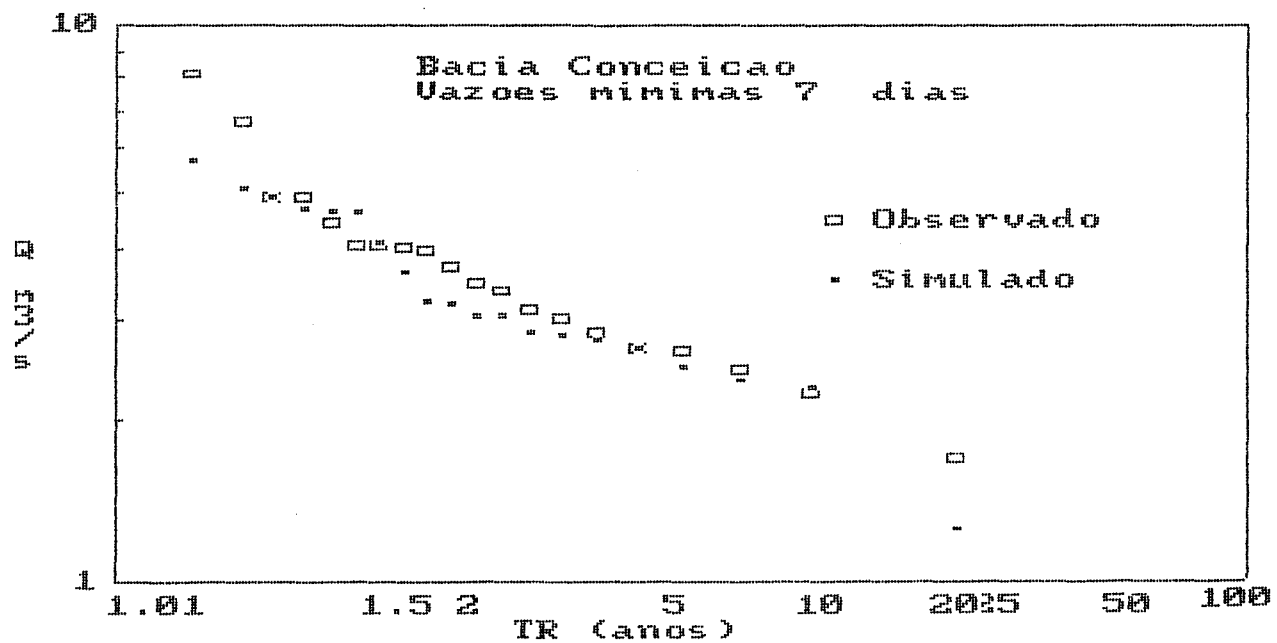


Figura A.26: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias(Conceição)

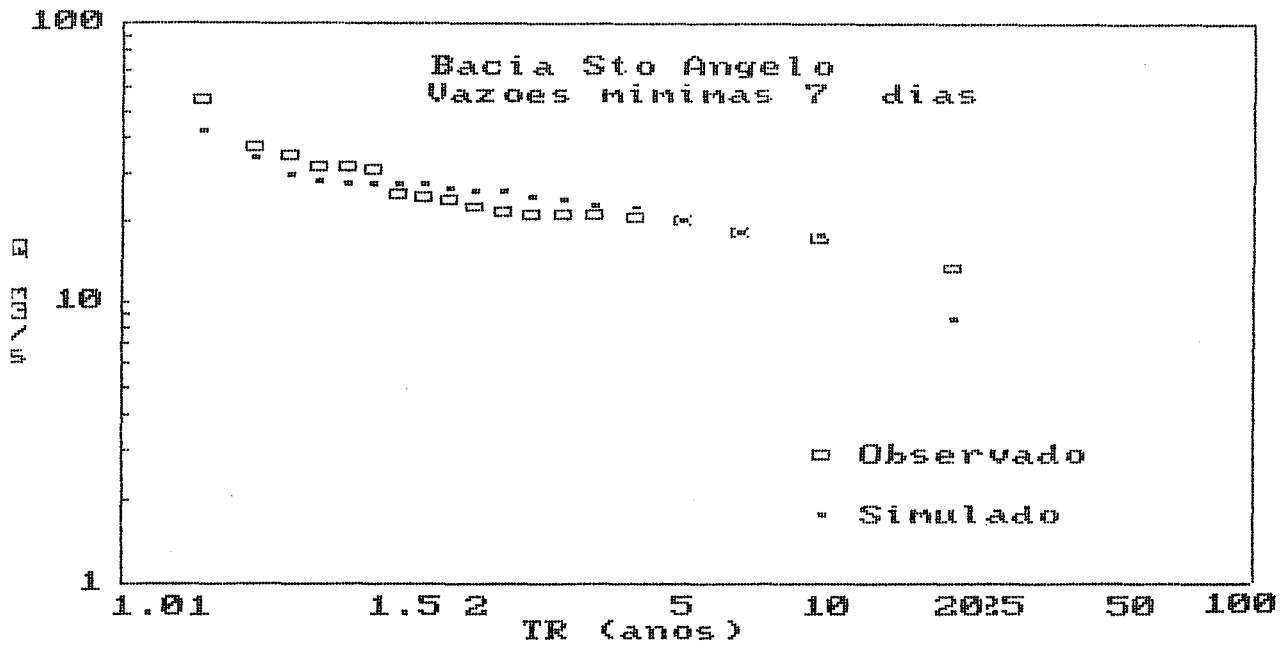


Figura A.27: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias (Sto Ângelo)

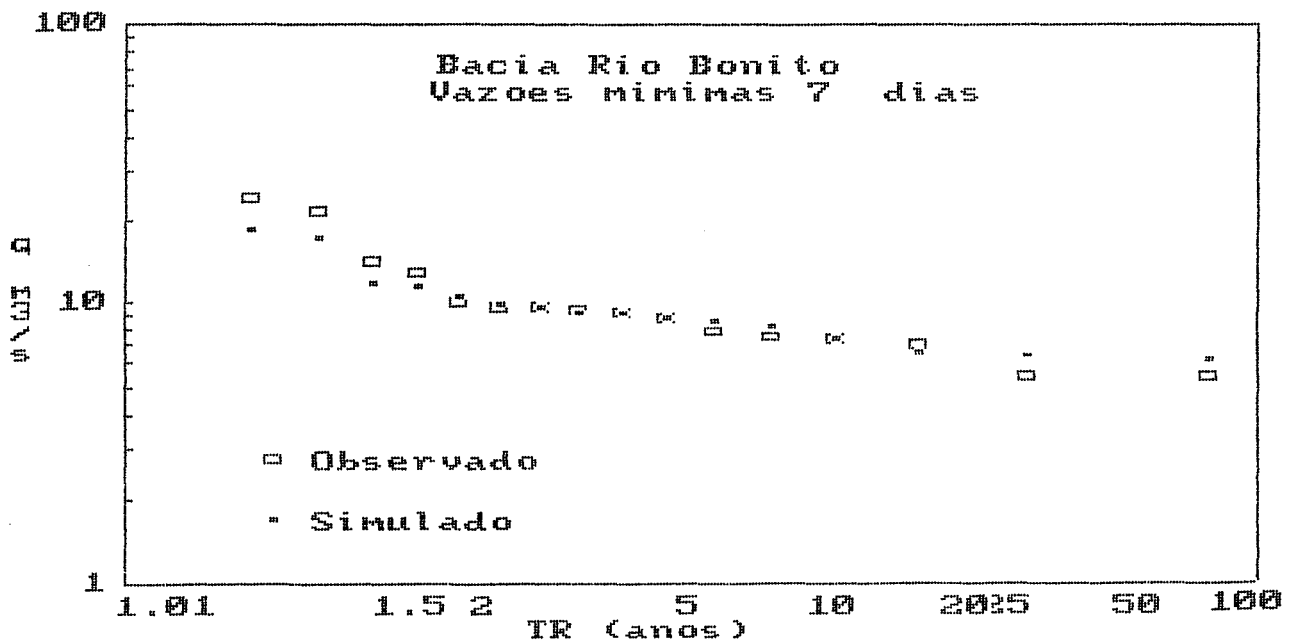


Figura A.28: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias (R. Bonito)

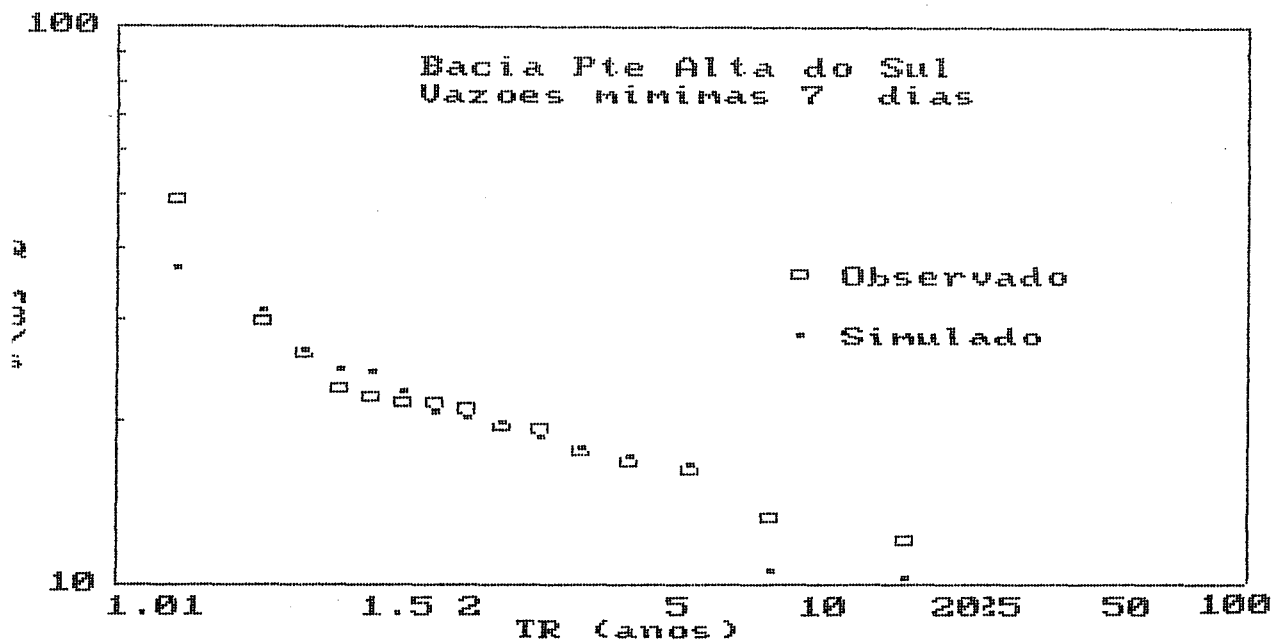


Figura A.29: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias (Pte A. do Sul)

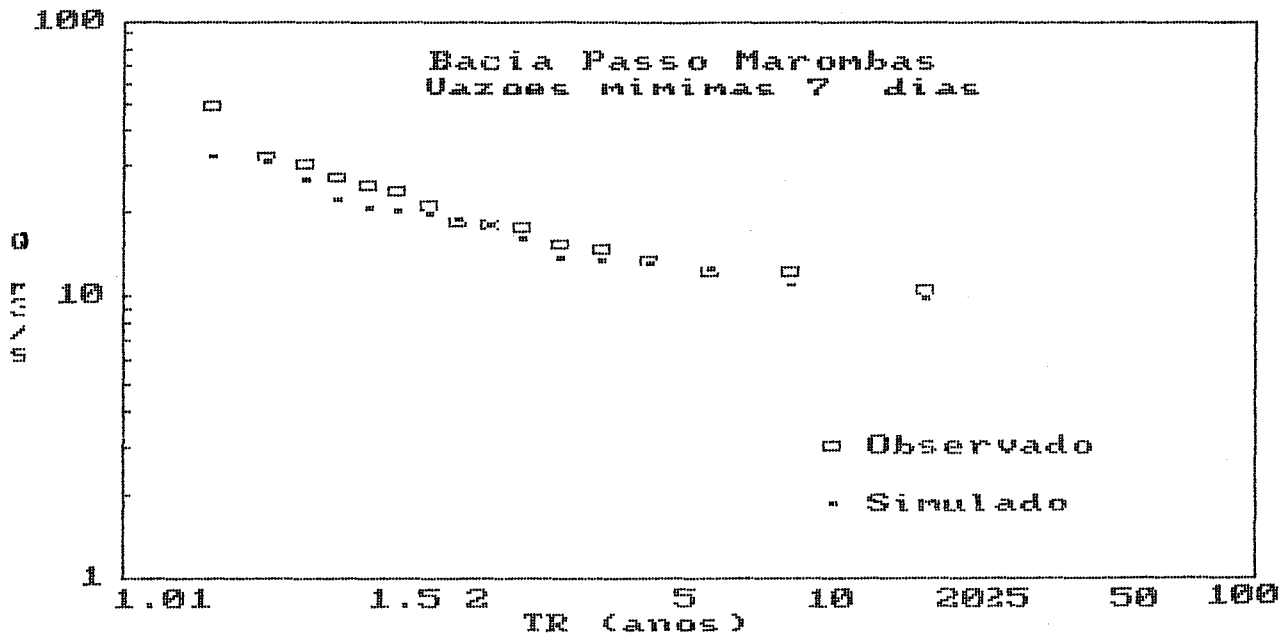


Figura A.30: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias (Passo Marombas)

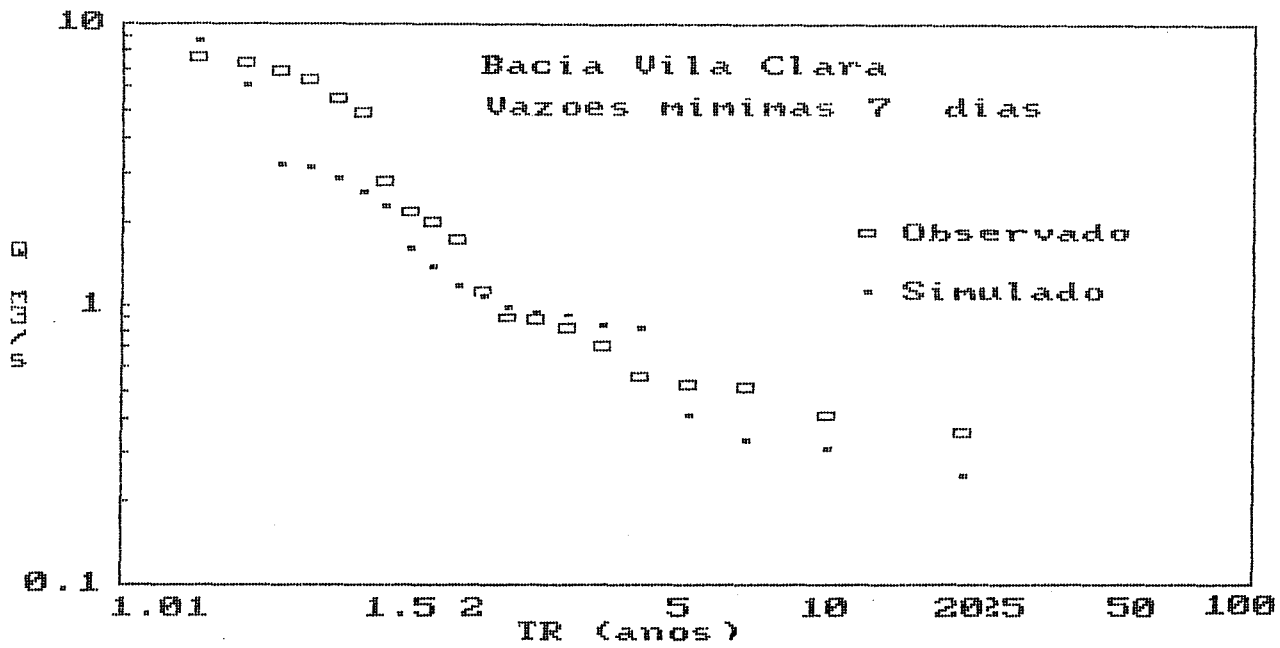


Figura A.31: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias (Vila Clara)

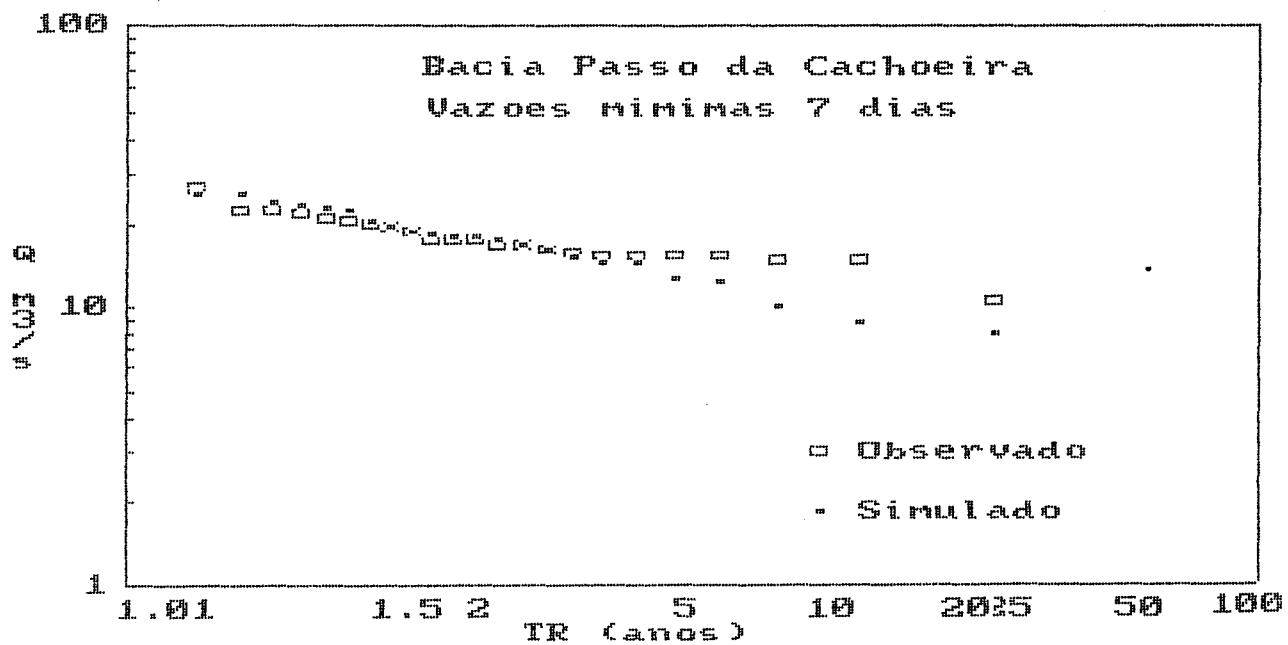


Figura A.32: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias (Passo da Cachoeira)

CURVA DE REGULARIZACAO

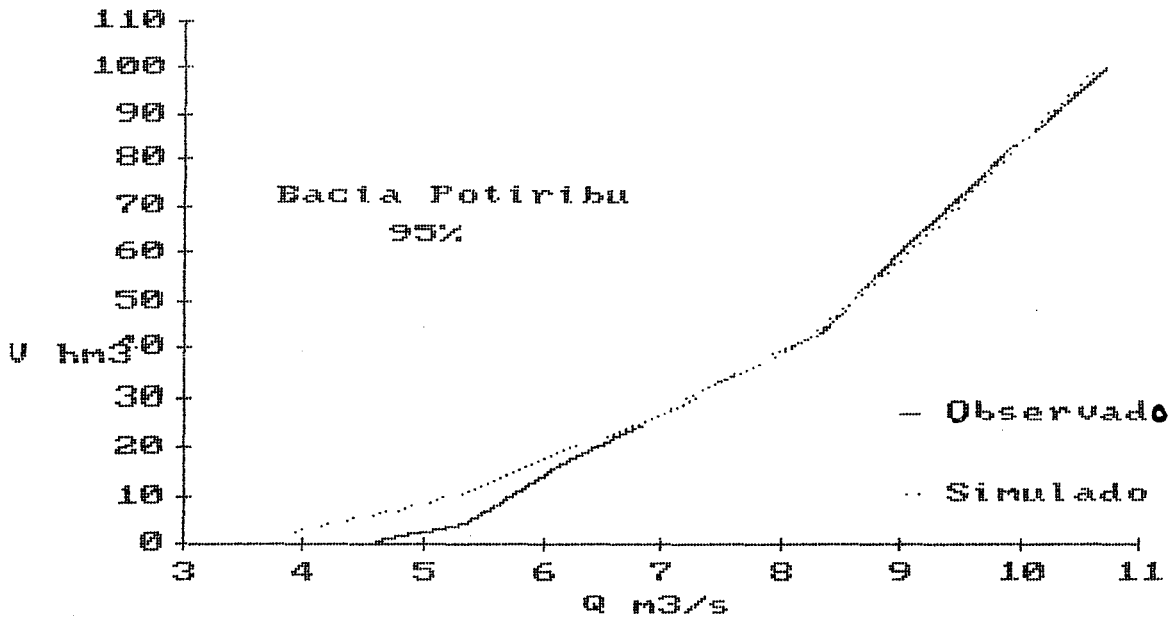


Figura A.33: Curva de Regularização - 95 %(Potiribu)

CURVA DE REGULARIZACAO

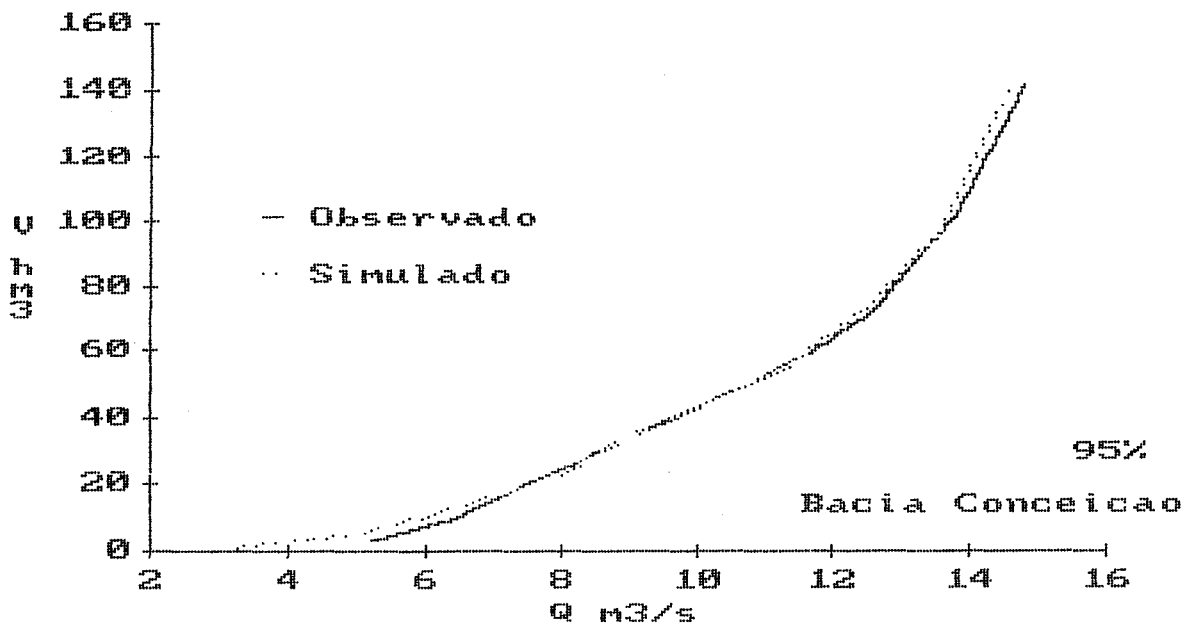


Figura A.34: Curva de Regularização - 95 %(Conceição)

CURVA DE REGULARIZACAO

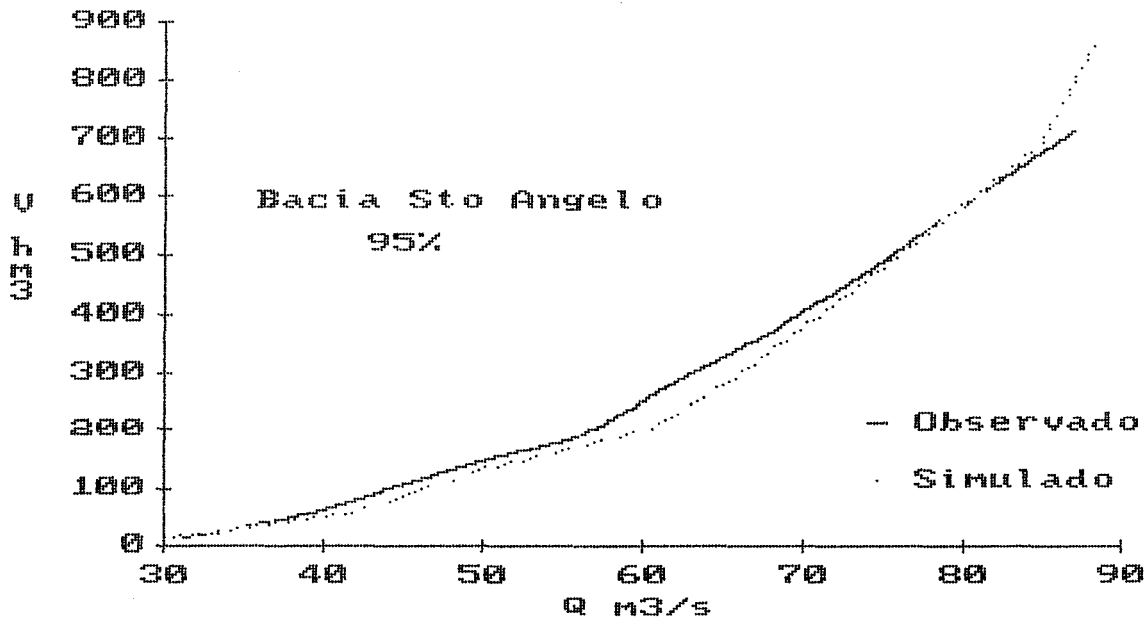


Figura A.35: Curva de Regularização - 95 % (Sto Ângelo)

CURVA DE REGULARIZACAO

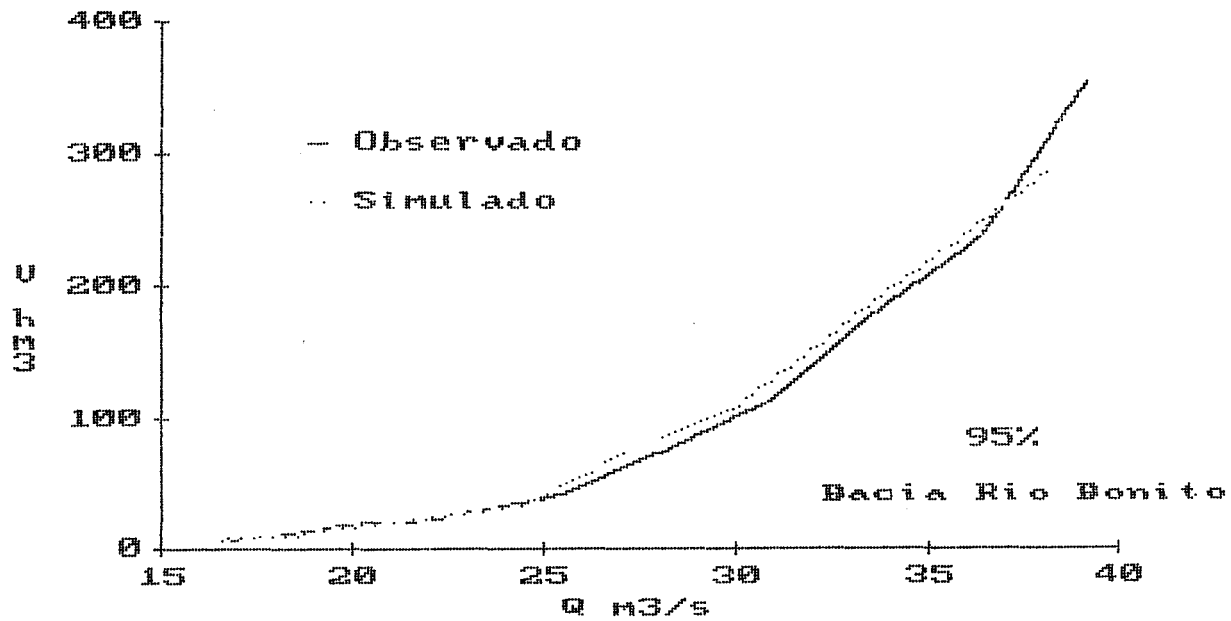


Figura A.36: Curva de Regularização - 95 % (Rio Bonito)

CURVA DE REGULARIZACAO

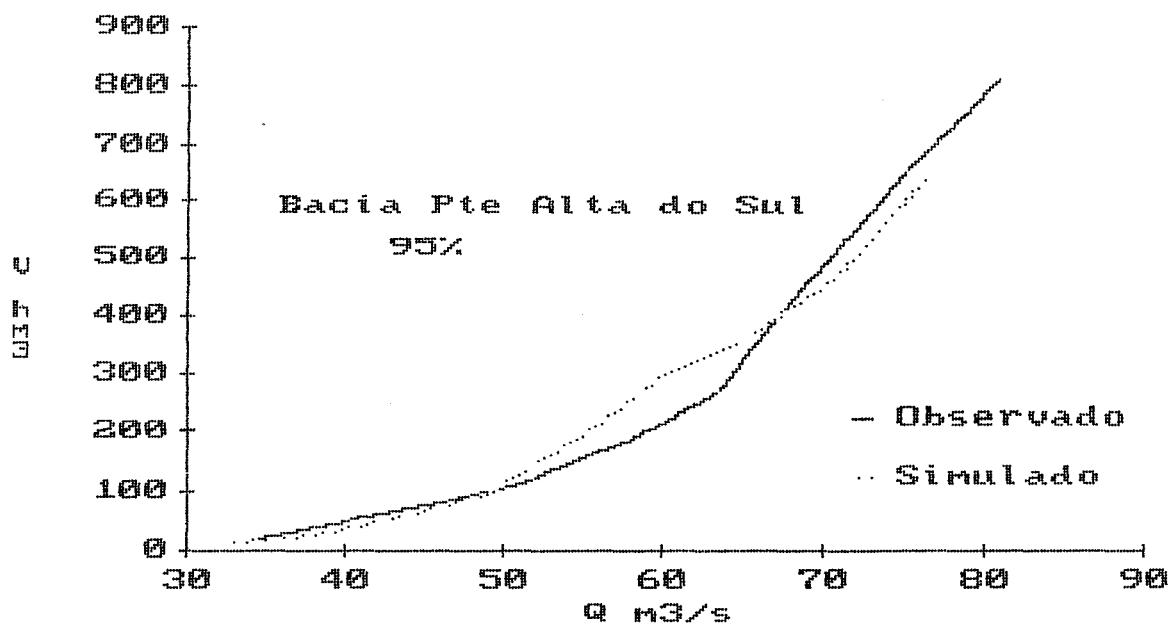


Figura A.37: Curva de Regularização - 95 % (Pte A. do Sul)

CURVA DE REGULARIZACAO

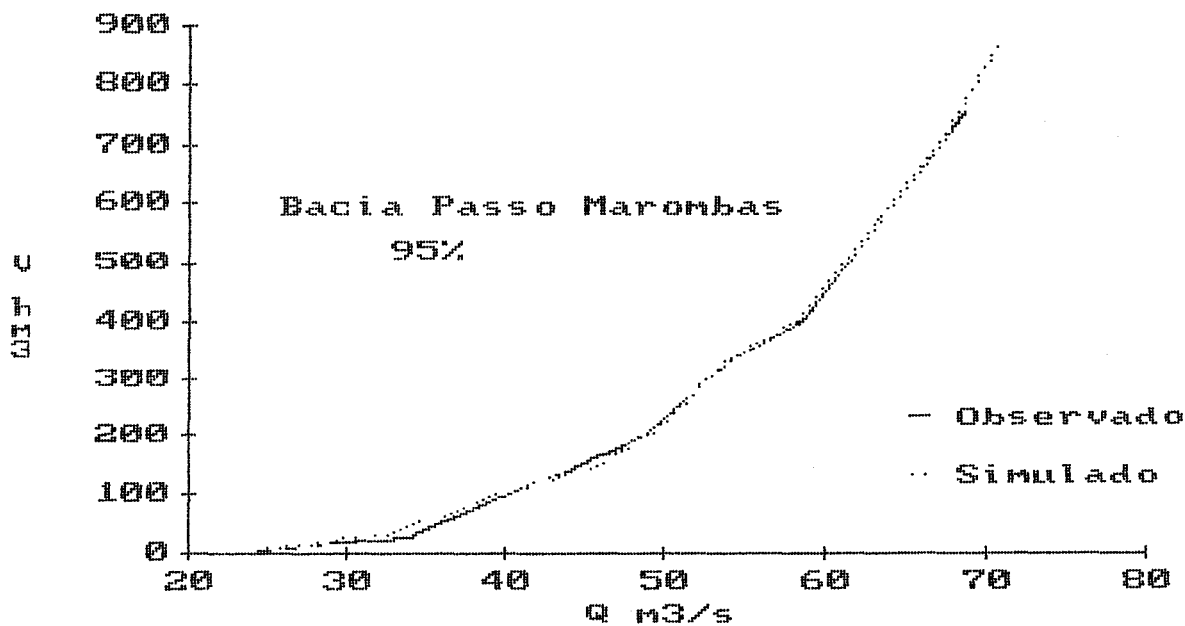


Figura A.38: Curva de Regularização - 95 % (Passo Marombas)

CURVA DE REGULARIZACAO

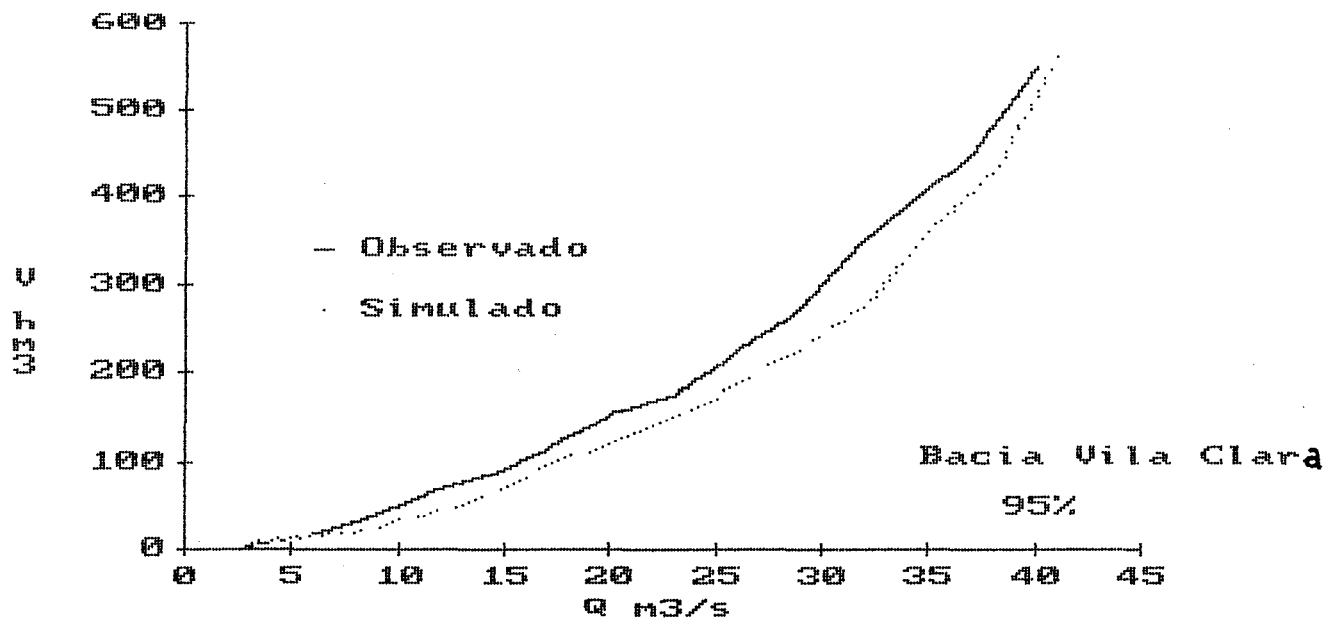


Figura A.39: Curva de Regularização - 95 % (Vila Clara)

CURVA DE REGULARIZACAO

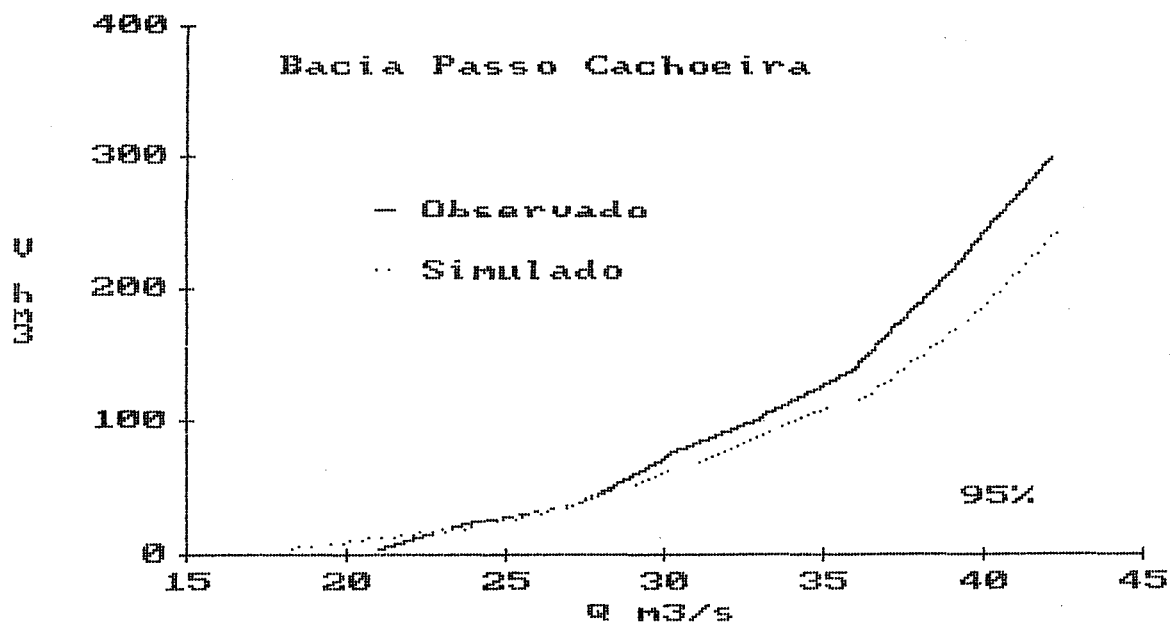


Figura A.40: Curva de Regularização - 95 % (Passo da Cachoeira)

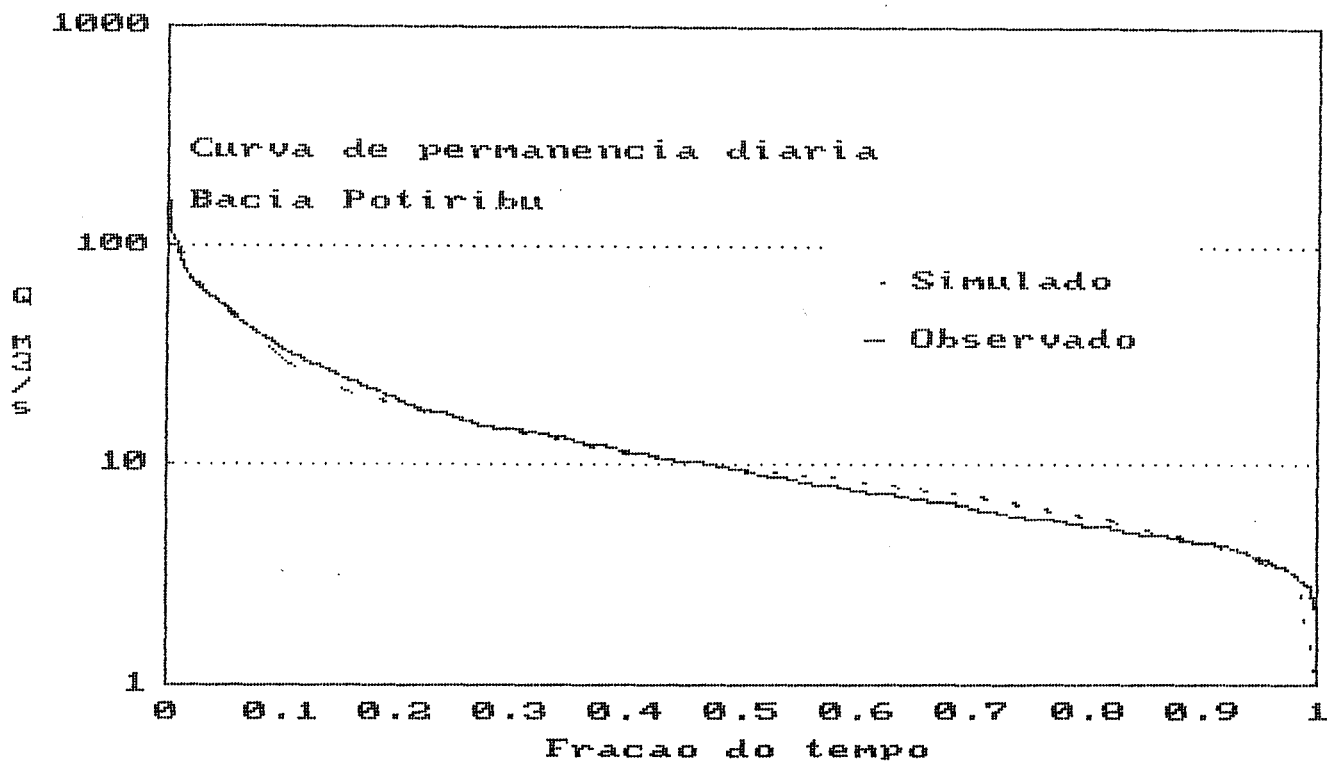


Figura A.41: Curva de Permanência (Potiribu)

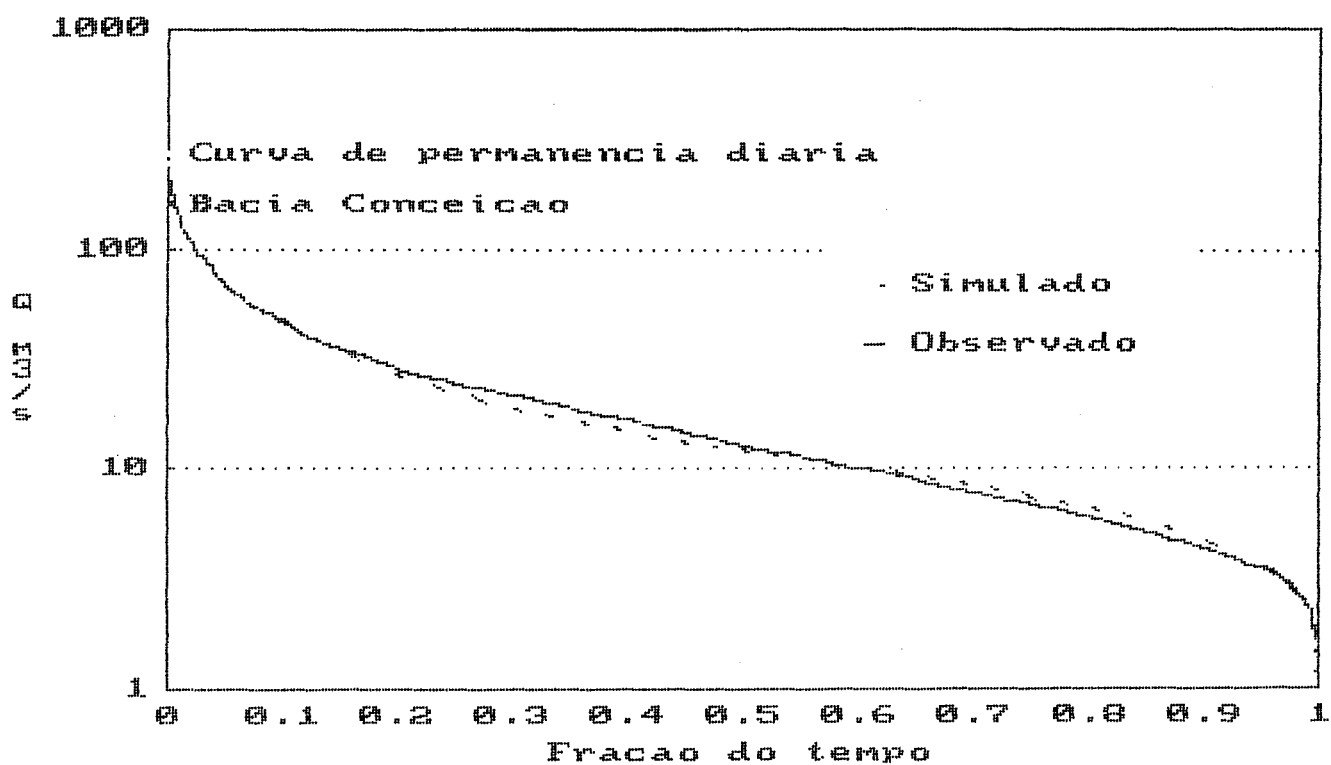


Figura A.42: Curva de Permanência (Conceição)

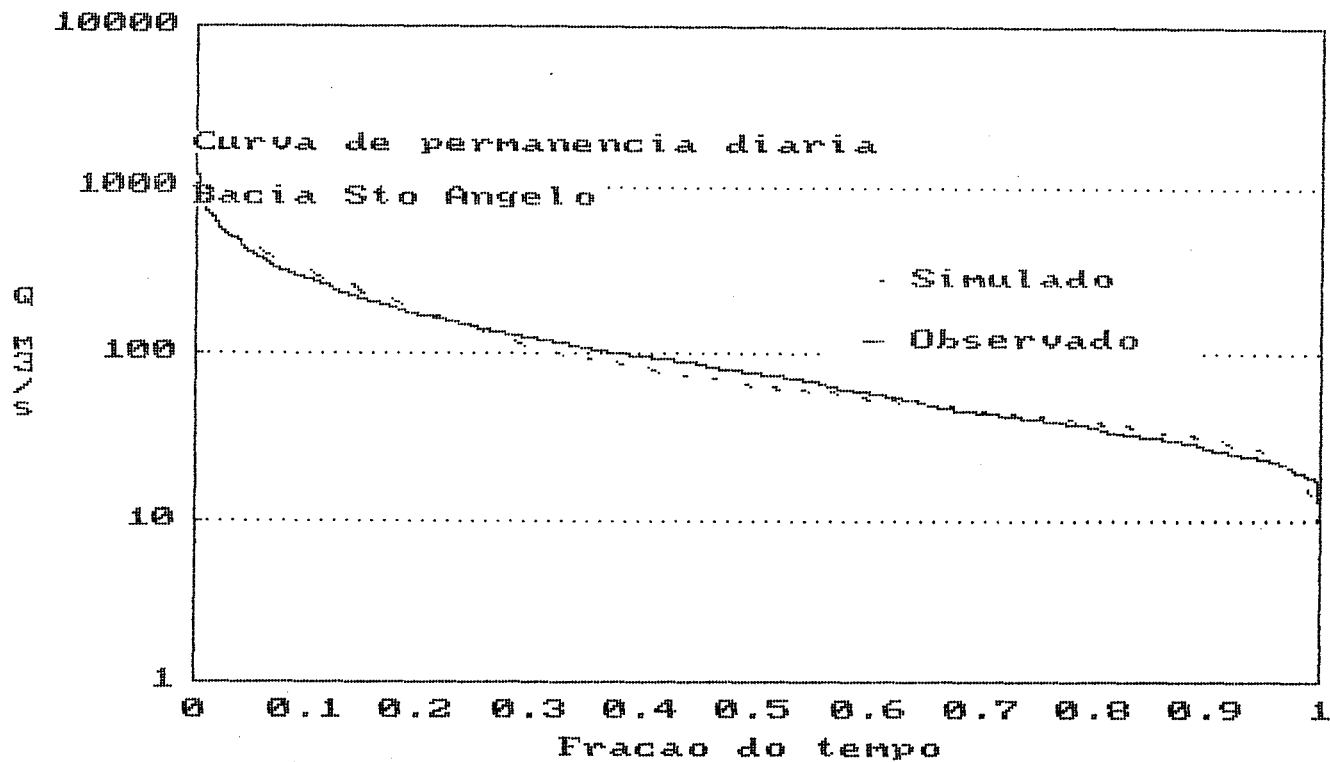


Figura A.43: Curva de Permanência (Sto Ângelo)

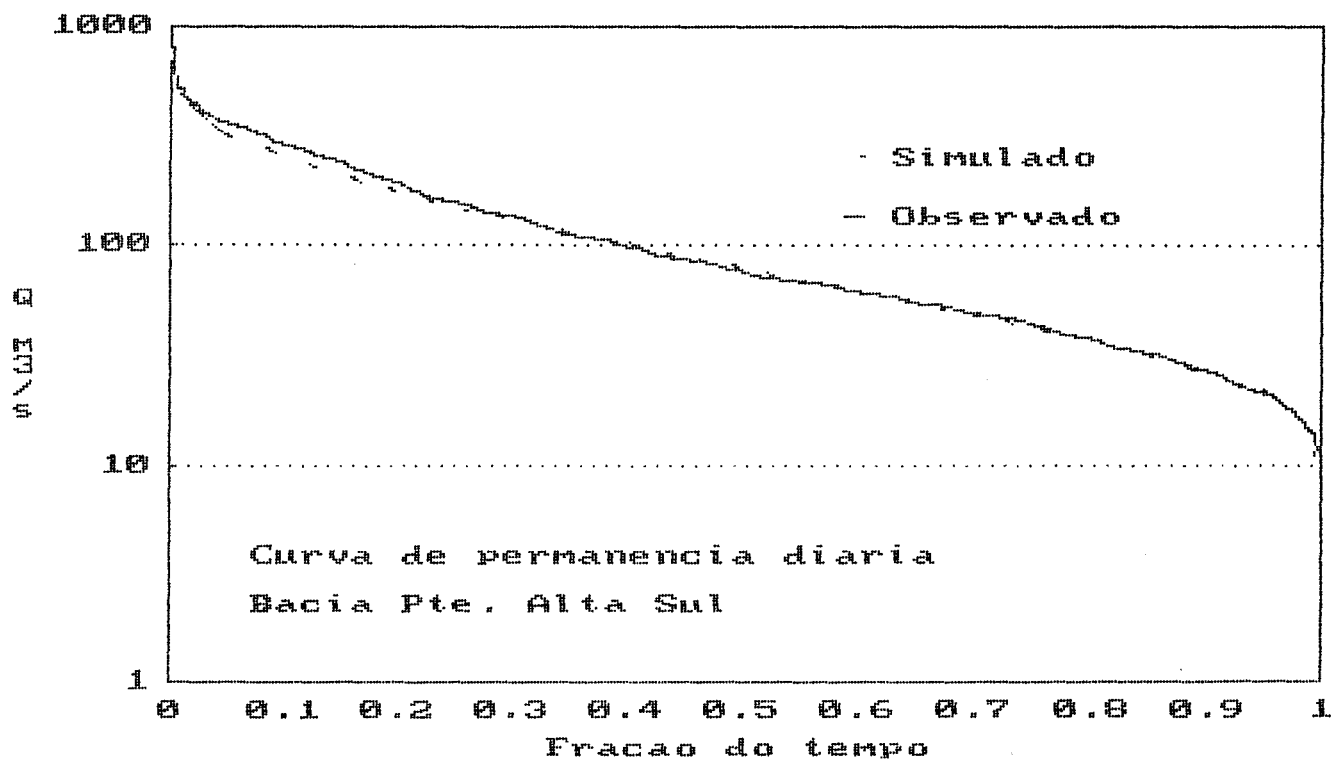


Figura A.44: Curva de Permanência (Pte A. do Sul)

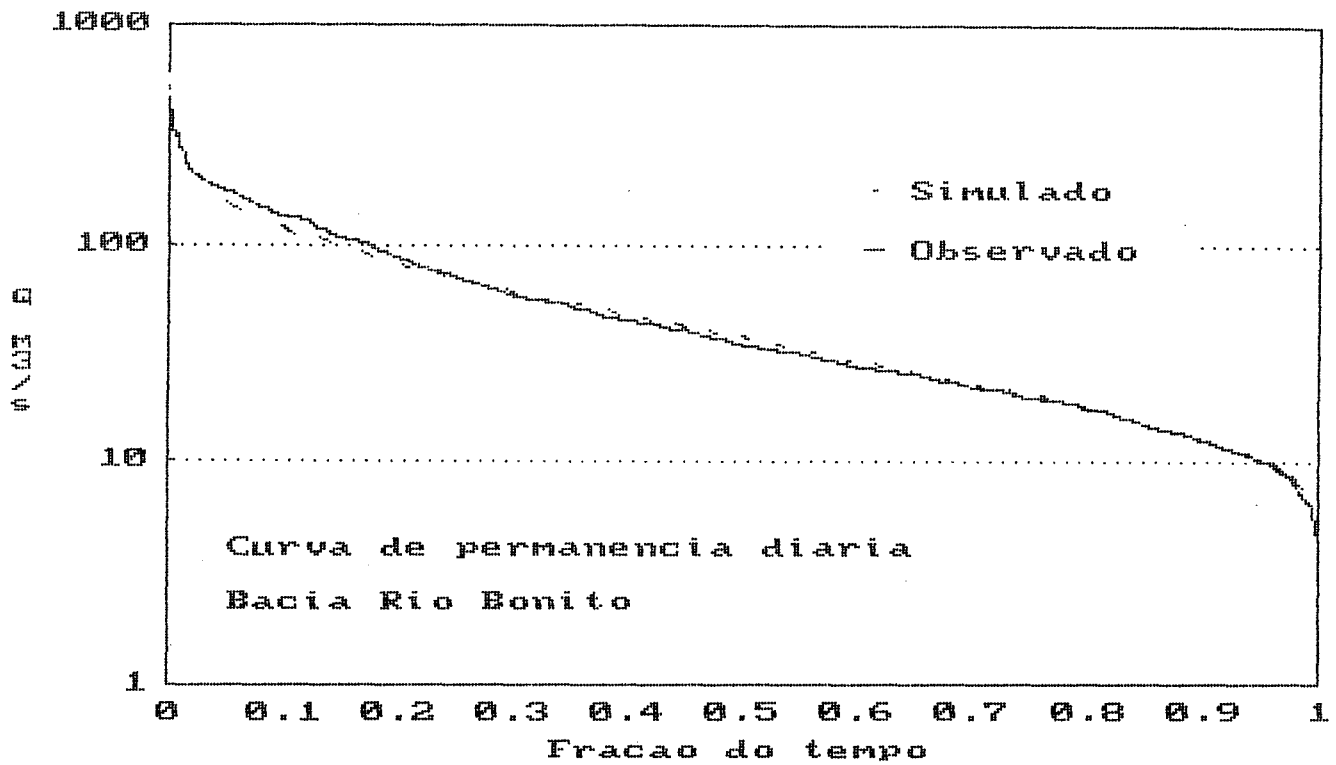


Figura A.45: Curva de Permanência (Rio Bonito)

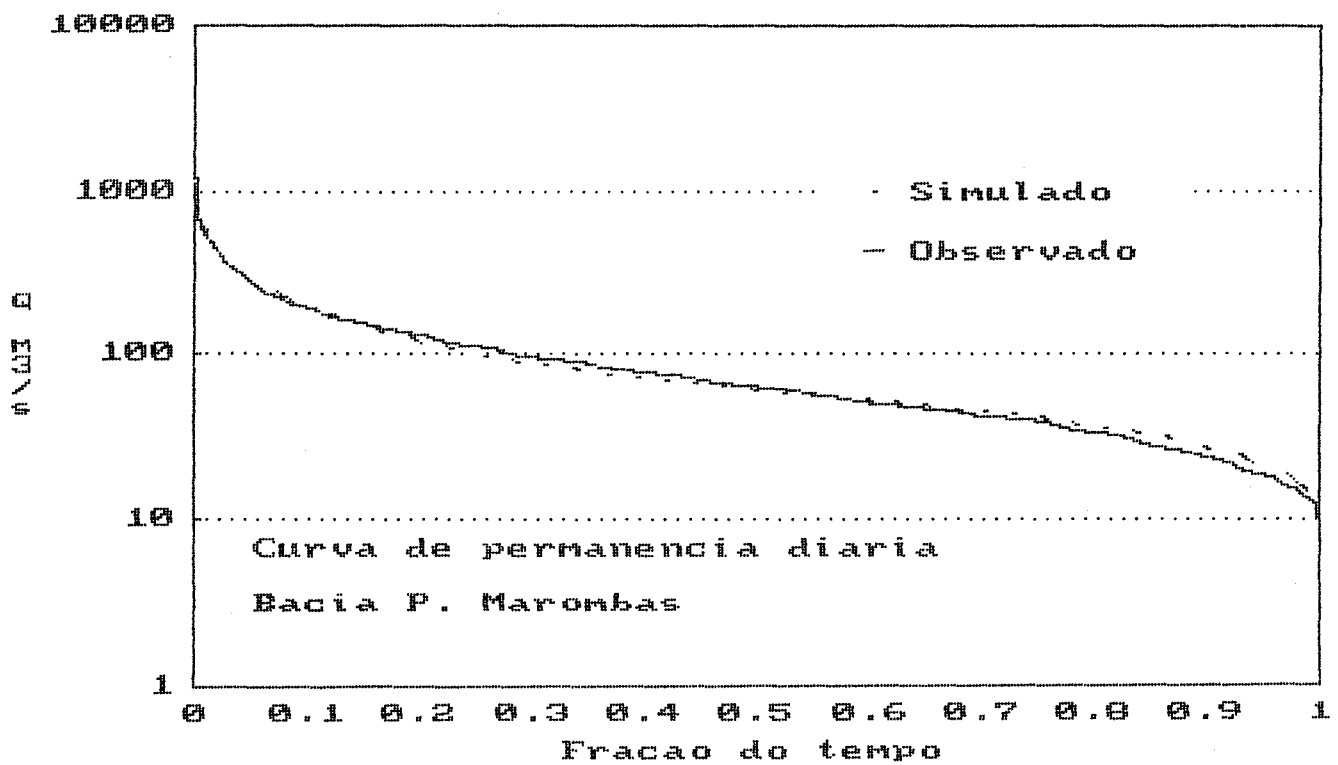


Figura A.46: Curva de Permanência (Passo Marombas)

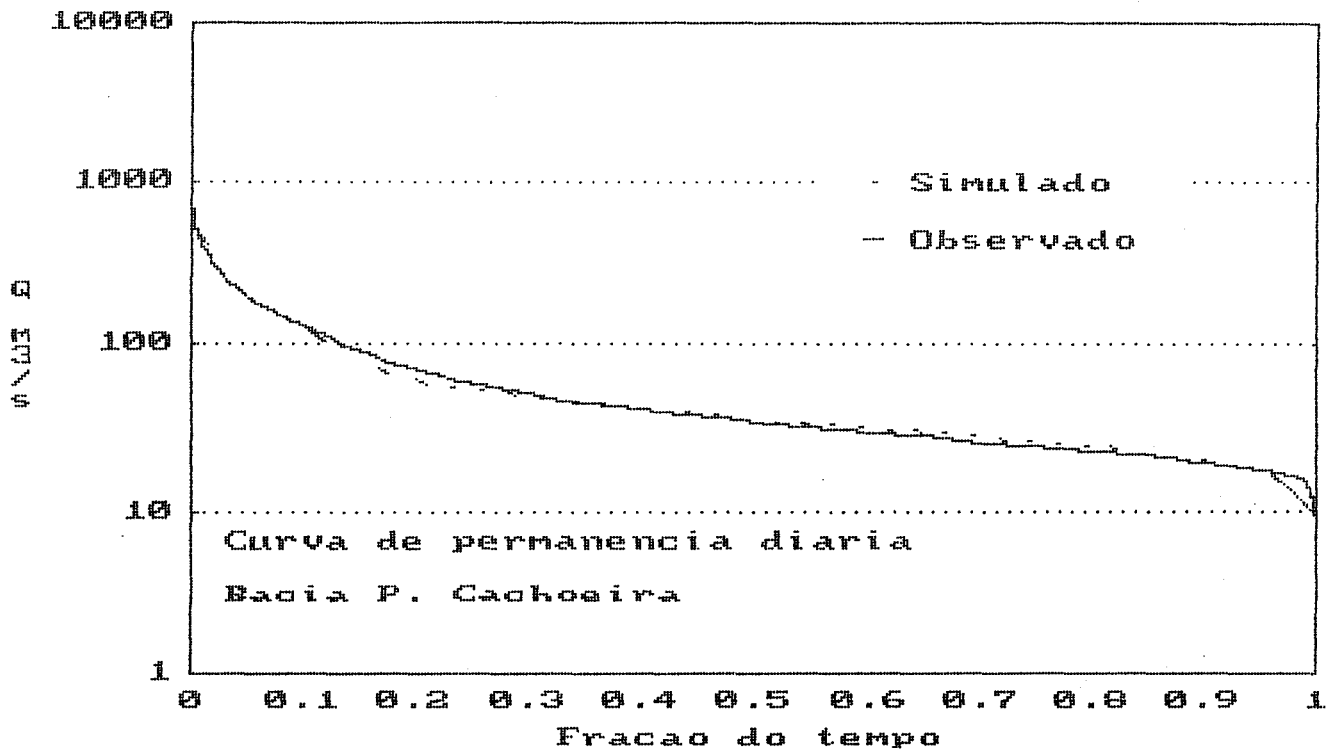


Figura A.47: Curva de Permanência (Passo da Cachoeira)

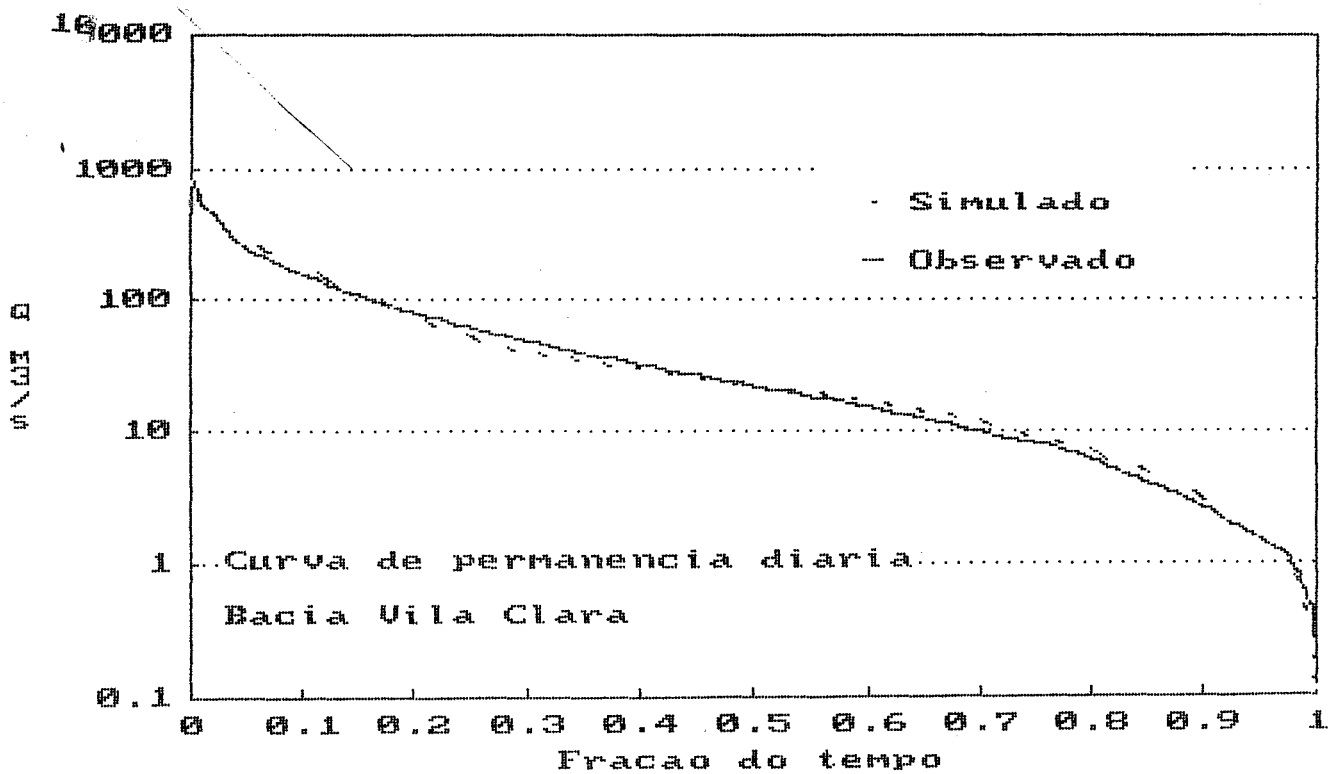


Figura A.48: Curva de Permanência (Vila Clara)

ANEXO - B

HIDROGRAMA MENSAL

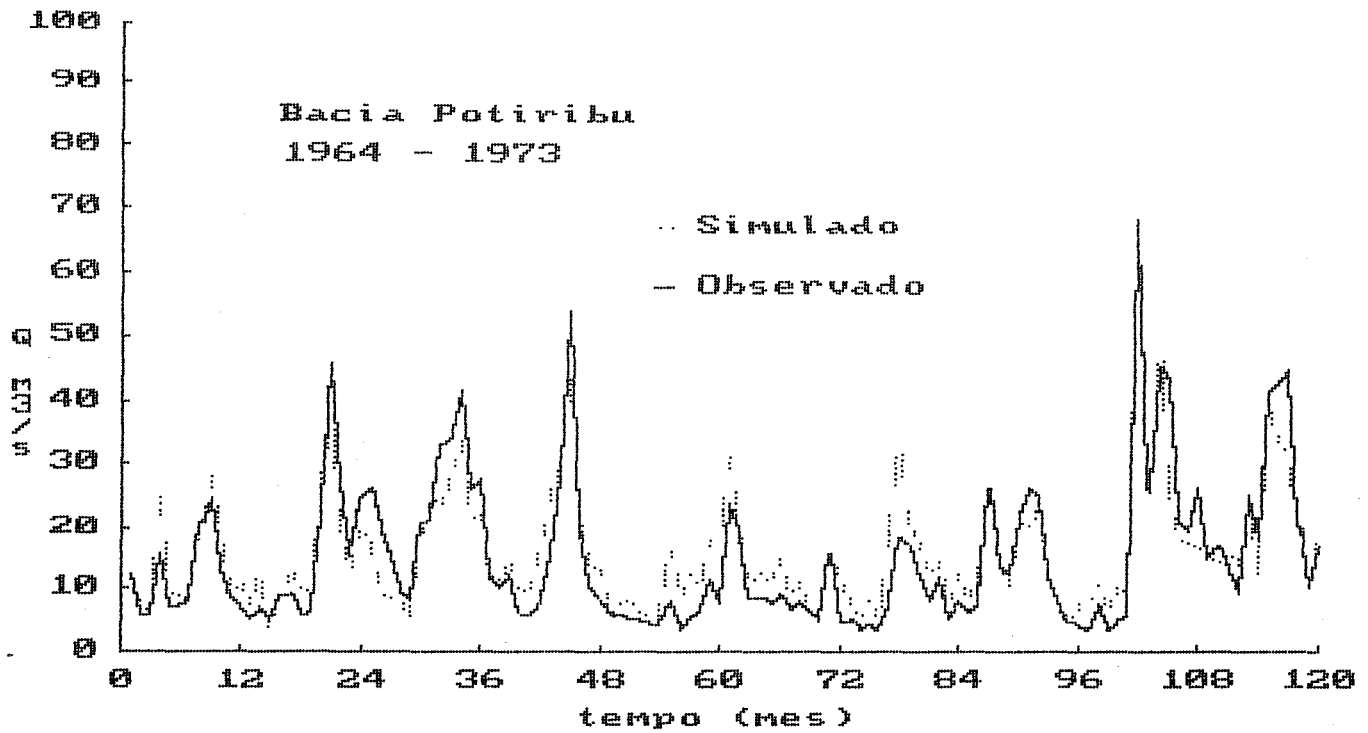


Figura B.1: Hidrograma Mensal(Potiribu)

HIDROGRAMA MENSAL

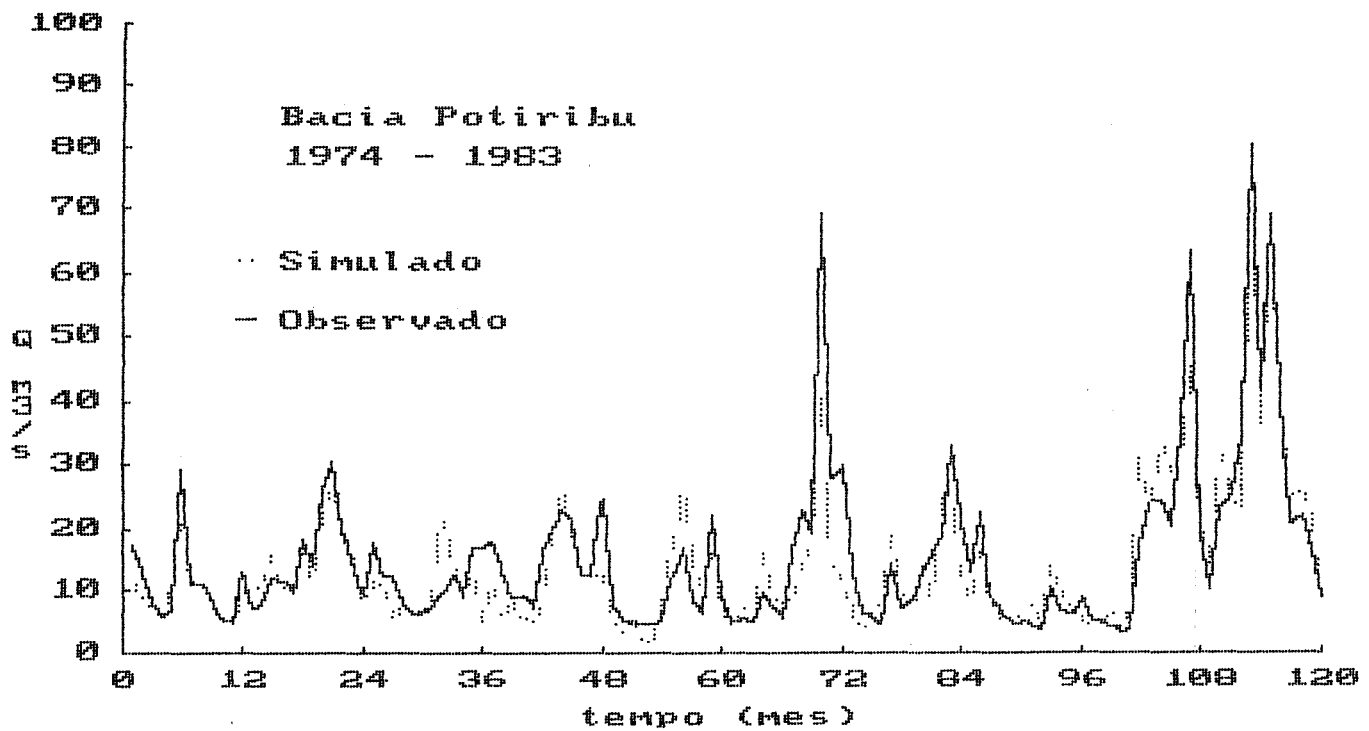


Figura B.2: Hidrograma Mensal(Potiribu)

HIDROGRAMA MENSAL

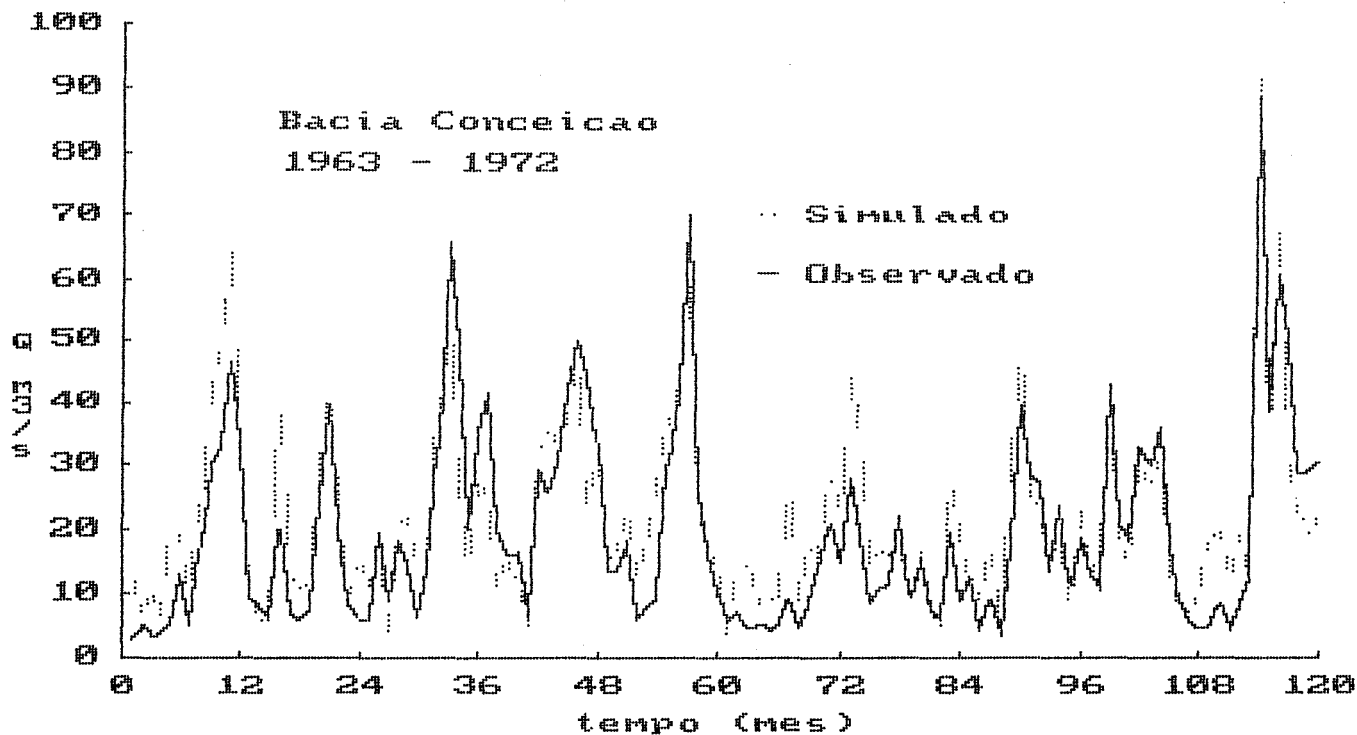


Figura B.3: Hidrograma Mensal (Conceição)

HIDROGRAMA MENSAL

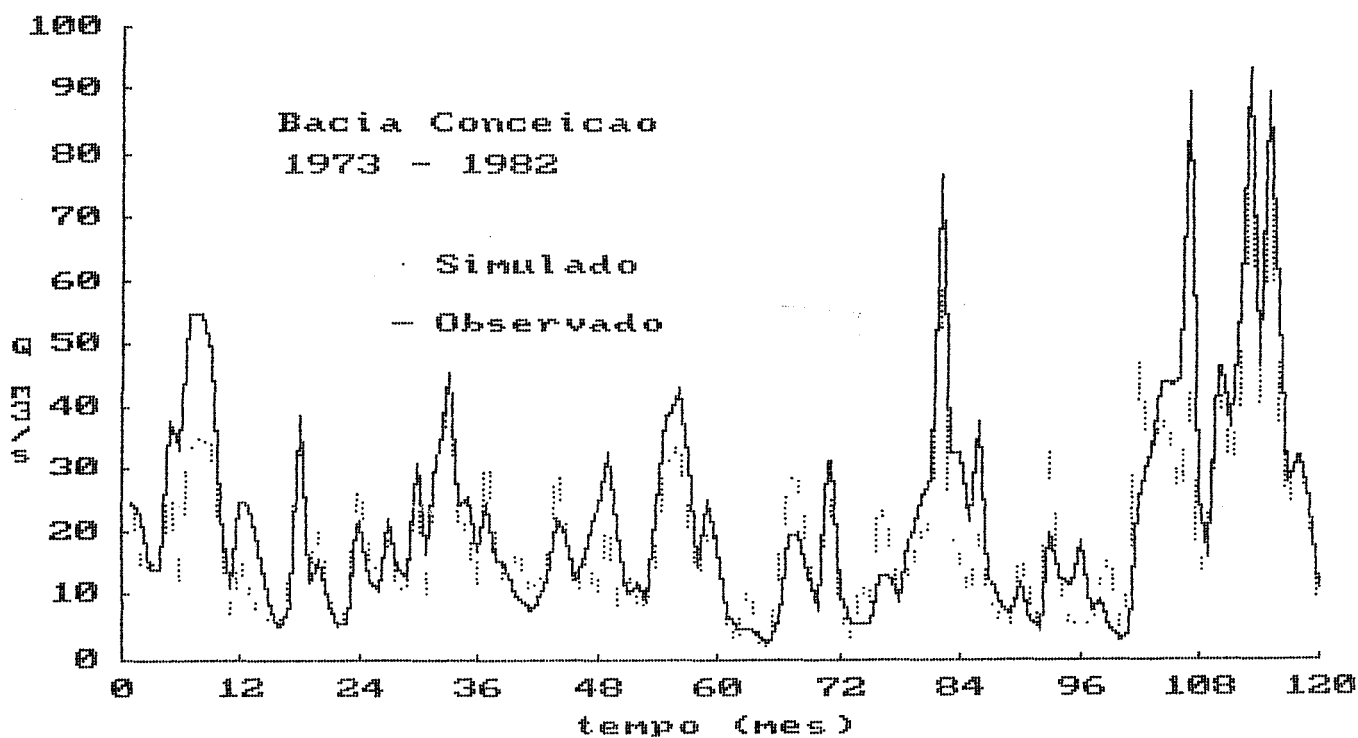


Figura B.4: Hidrograma Mensal (Conceição)

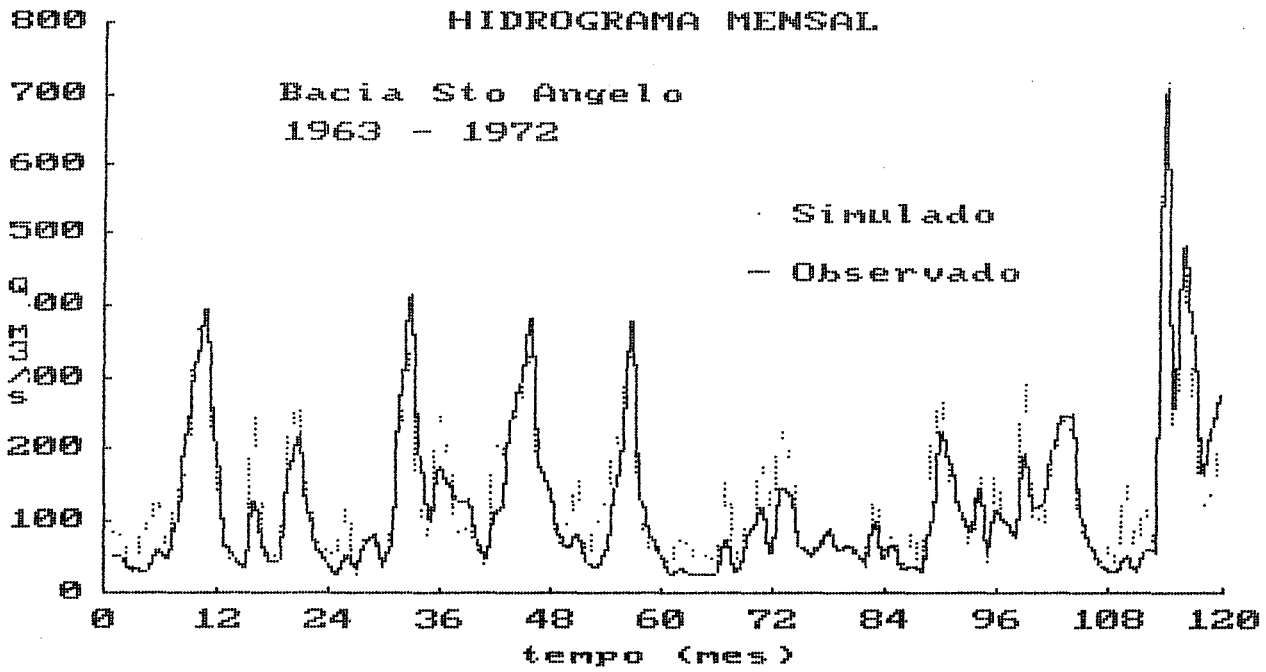


Figura B.5: Hidrograma Mensal (Sto Ângelo)

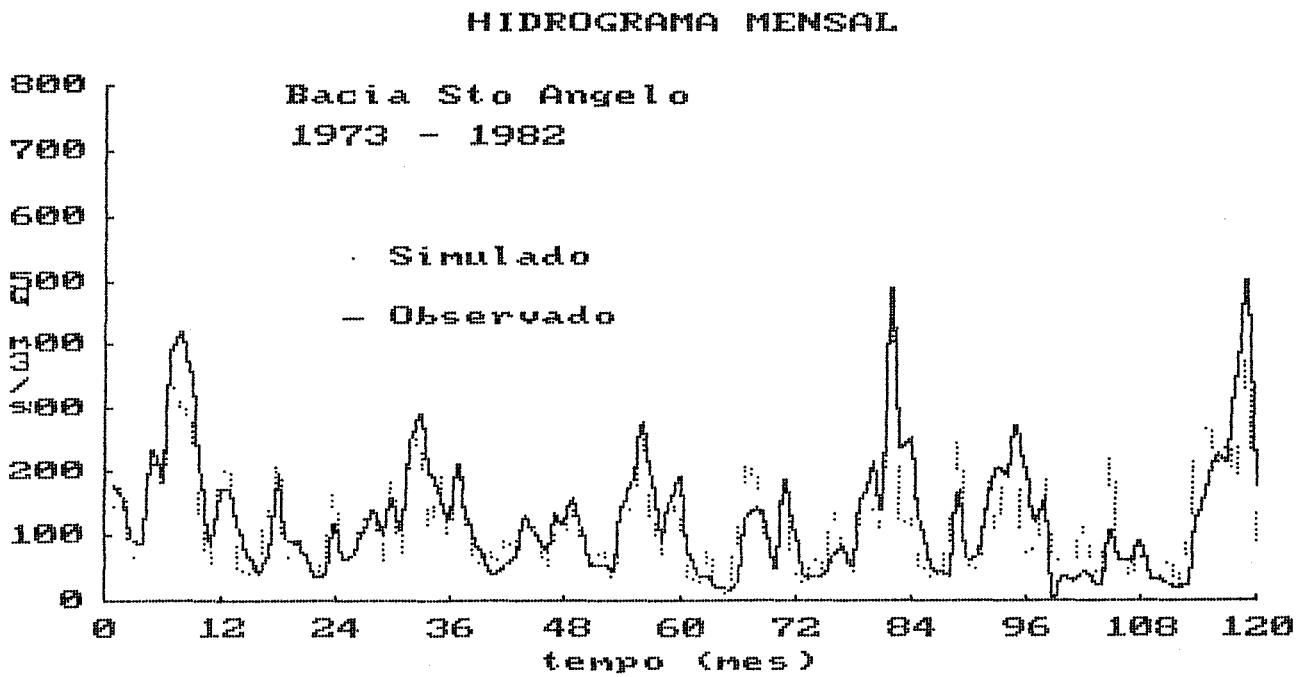


Figura B.6: Hidrograma Mensal (Sto Ângelo)

HIDROGRAMA MENSAL

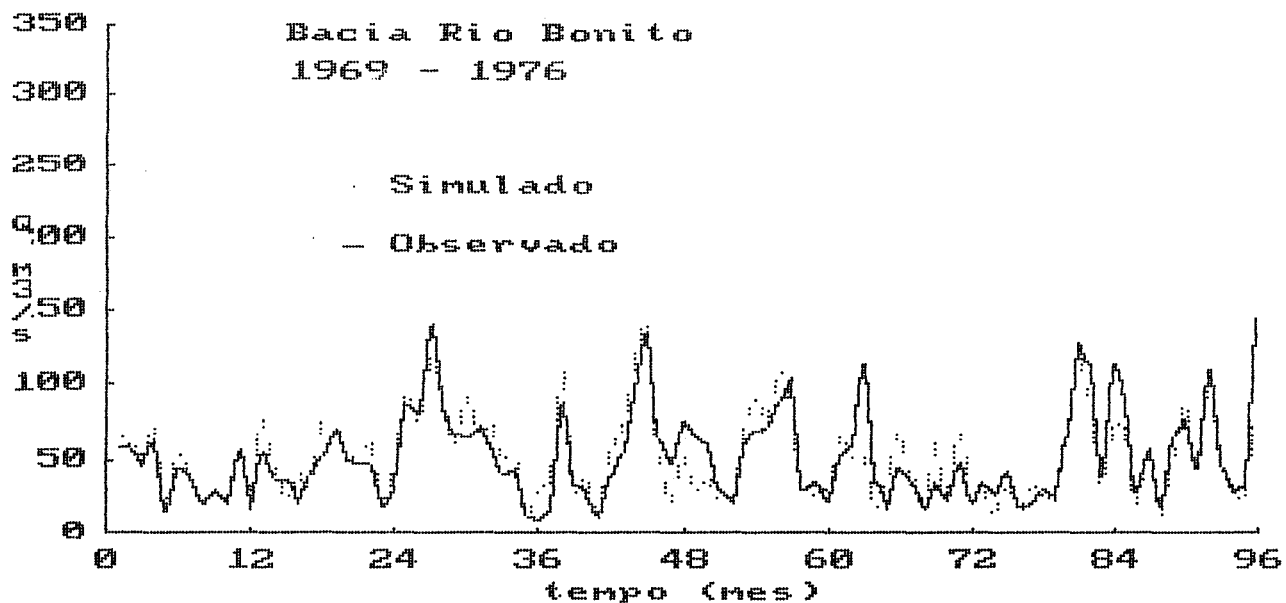


Figura B.7: Hidrograma Mensal (Rio Bonito)

HIDROGRAMA MENSAL

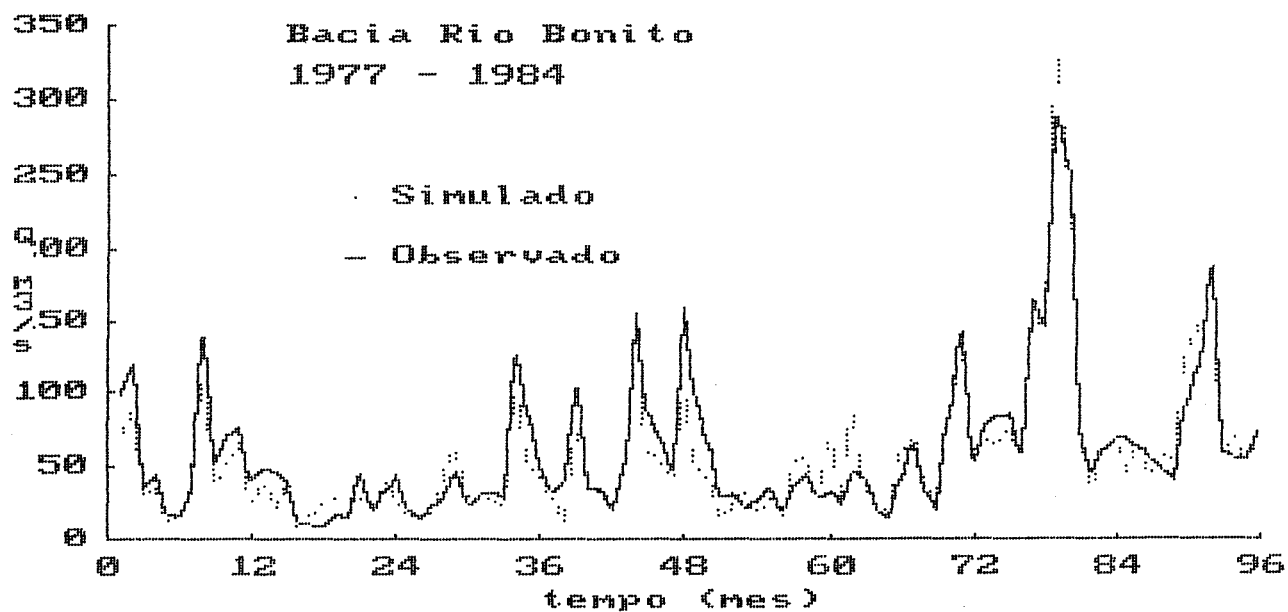


Figura B.8: Hidrograma Mensal (Rio Bonito)

HIDROGRAMA MENSAL

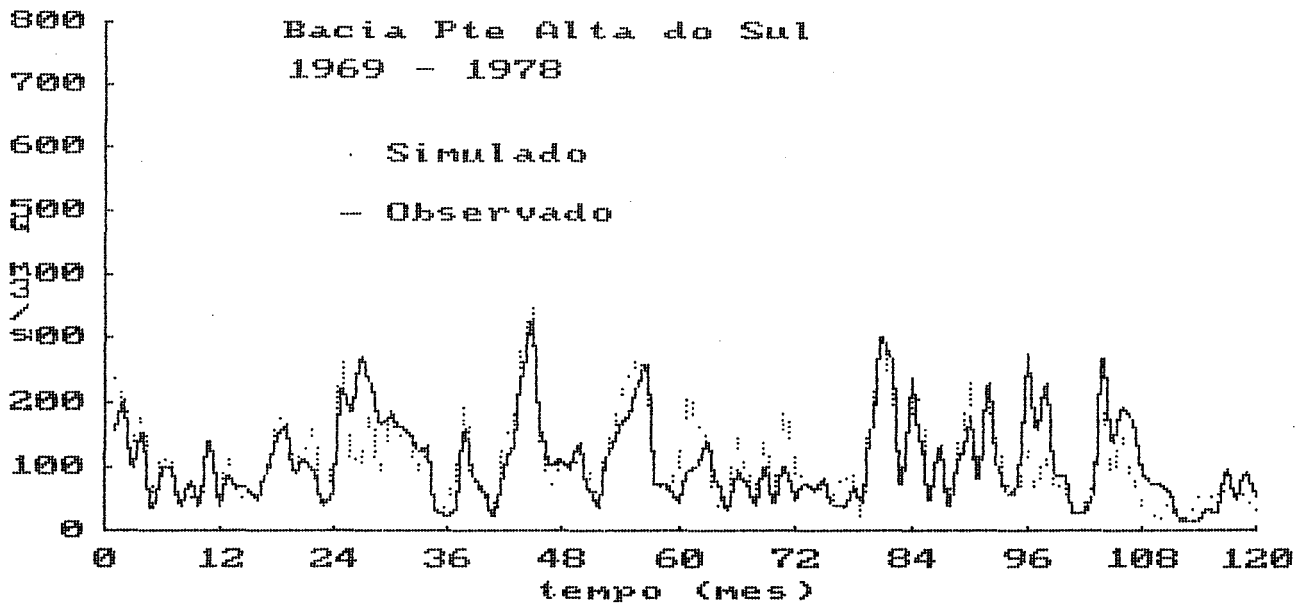


Figura B.9: Hidrograma Mensal (Pte A. do Sul)

HIDROGRAMA MENSAL

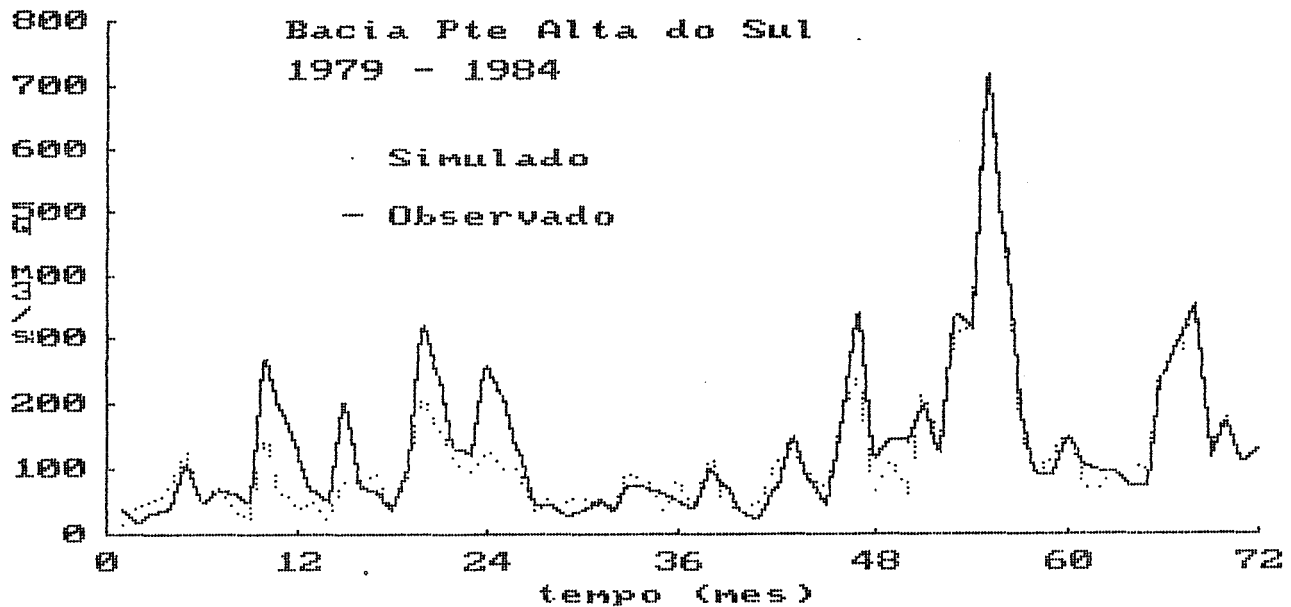


Figura B.10: Hidrograma Mensal (Pte A. do Sul)

HIDROGRAMA MENSAL

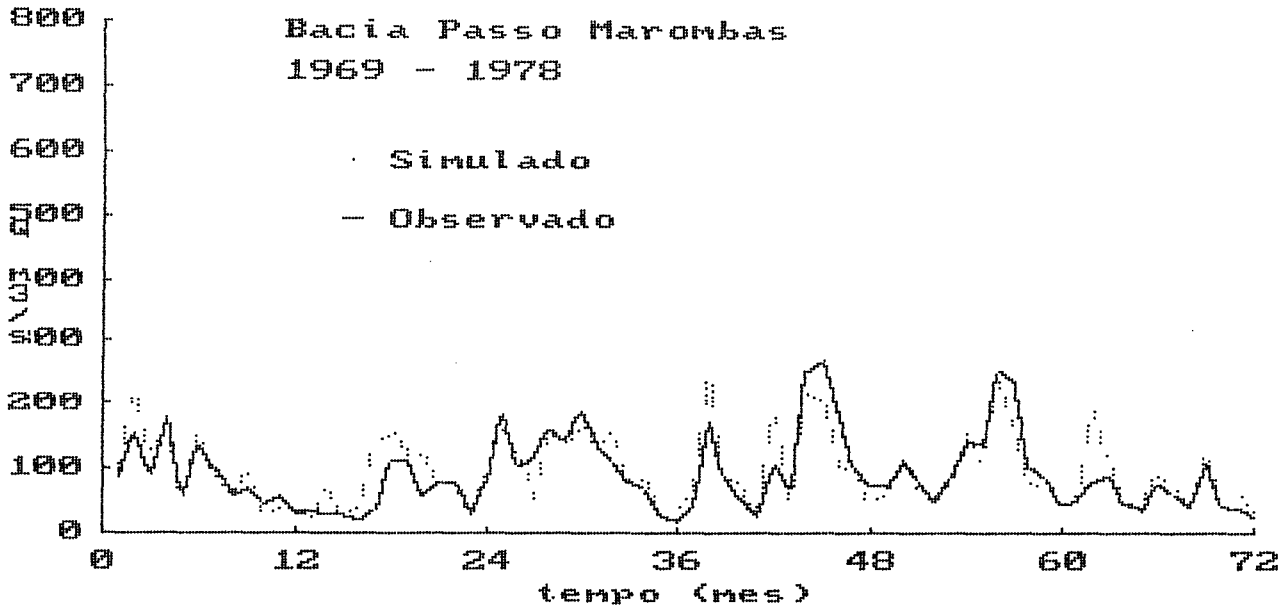


Figura B.11: Hidrograma Mensal (Passo Marombas)

HIDROGRAMA MENSAL

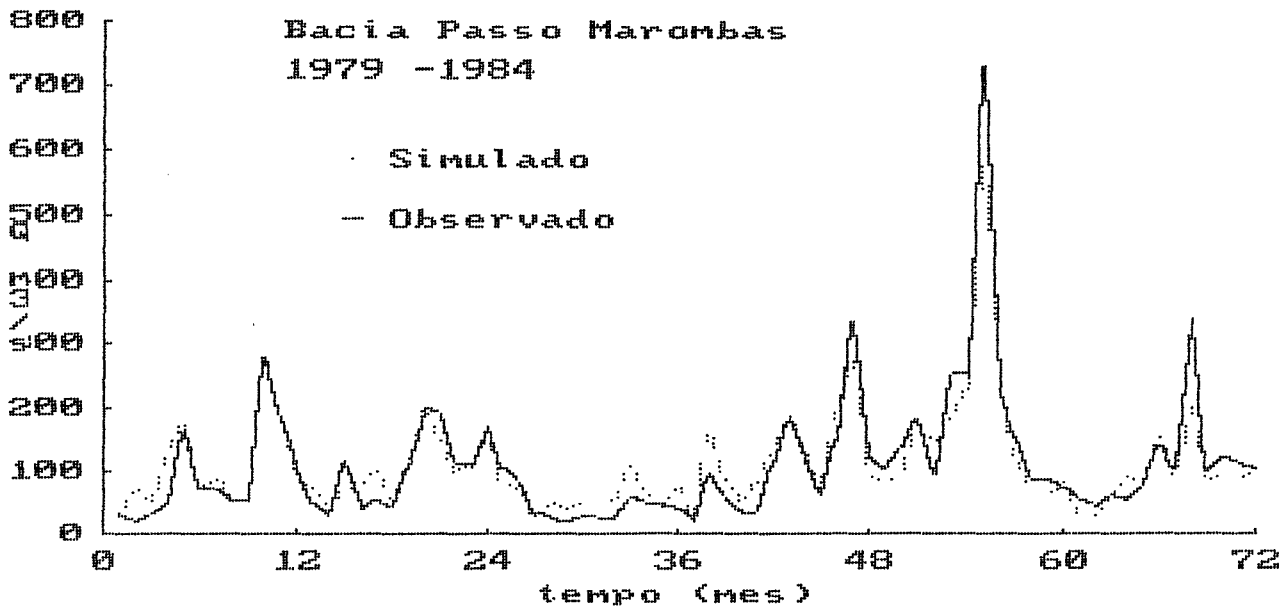


Figura B.12: Hidrograma Mensal (Passo Marombas)

HIDROGRAMA MENSAL

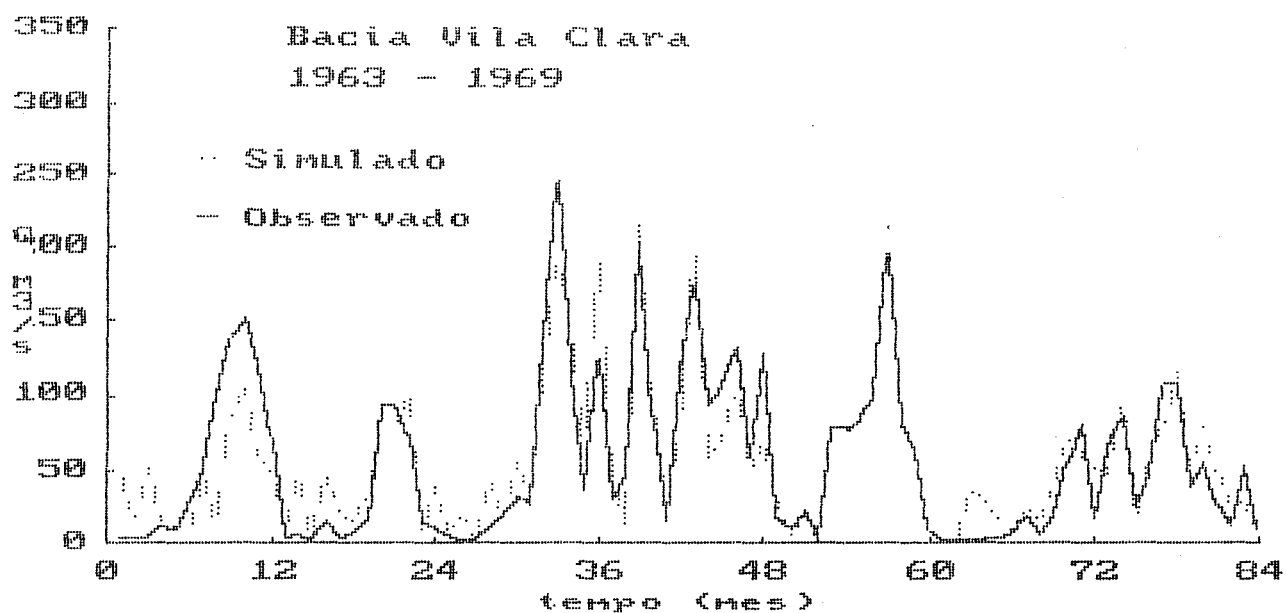


Figura B.13: Hidrograma Mensal (Vila Clara)

HIDROGRAMA MENSAL

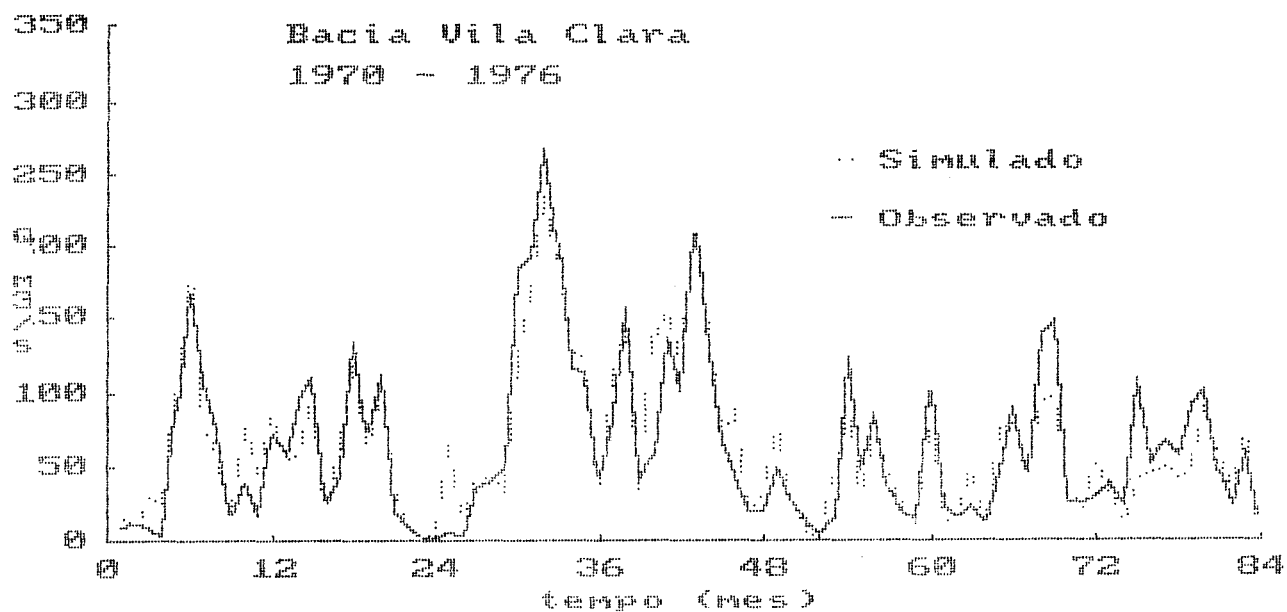


Figura B.14: Hidrograma Mensal (Vila Clara)

HIDROGRAMA MENSAL

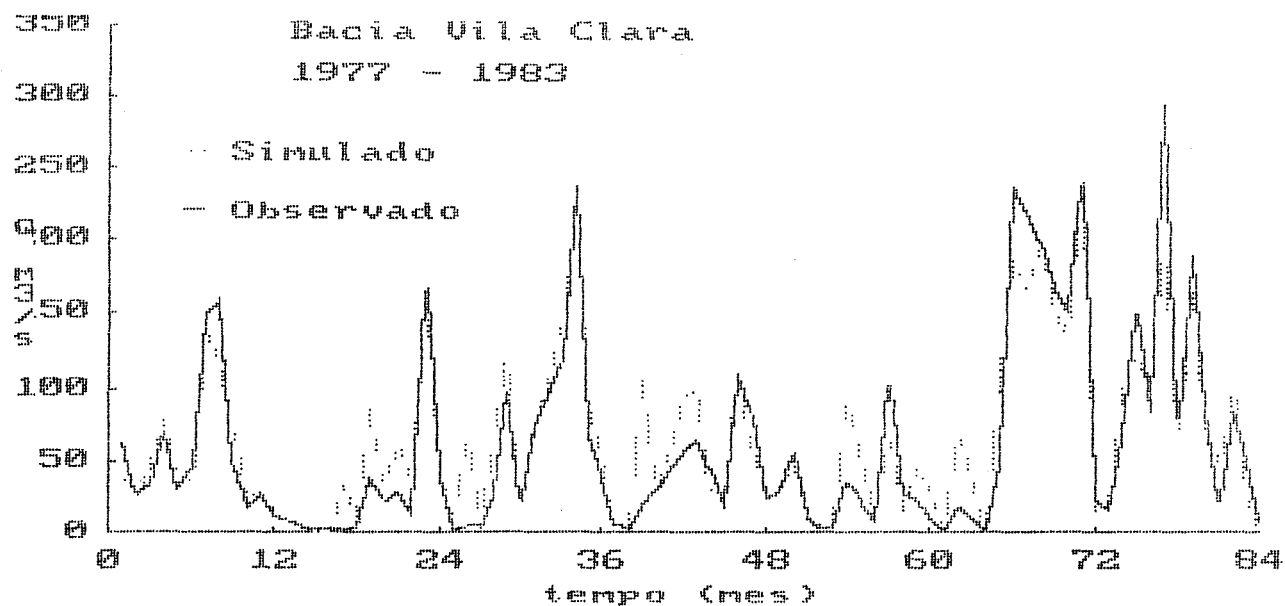


Figura B.15: Hidrograma Mensal (Vila Clara)

HIDROGRAMA MENSAL

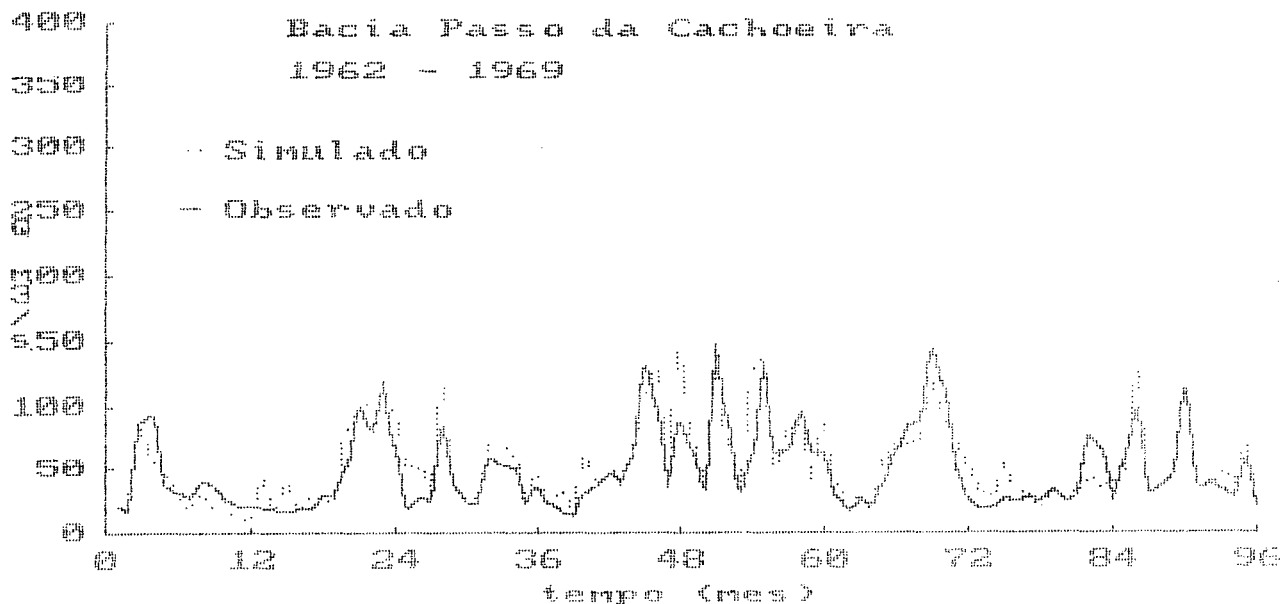


Figura B.16: Hidrograma Mensal (Passo da Cachoeira)

HIDROGRAMA MENSAL

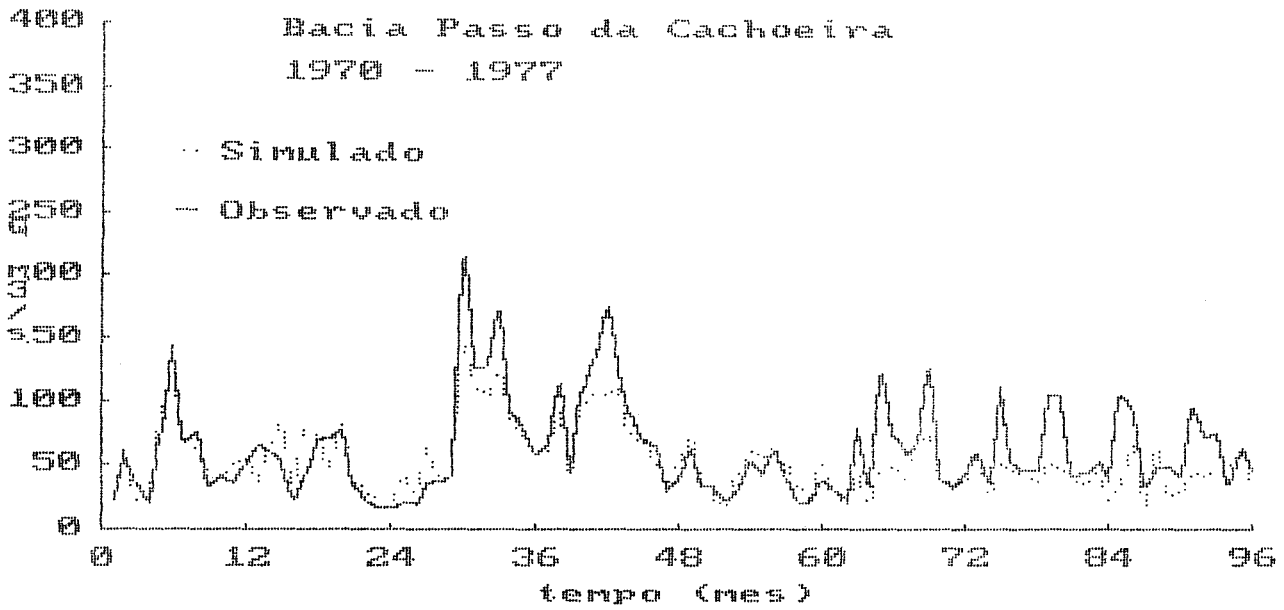


Figura B.17: Hidrograma Mensal (Passo da Cachoeira)

HIDROGRAMA MENSAL

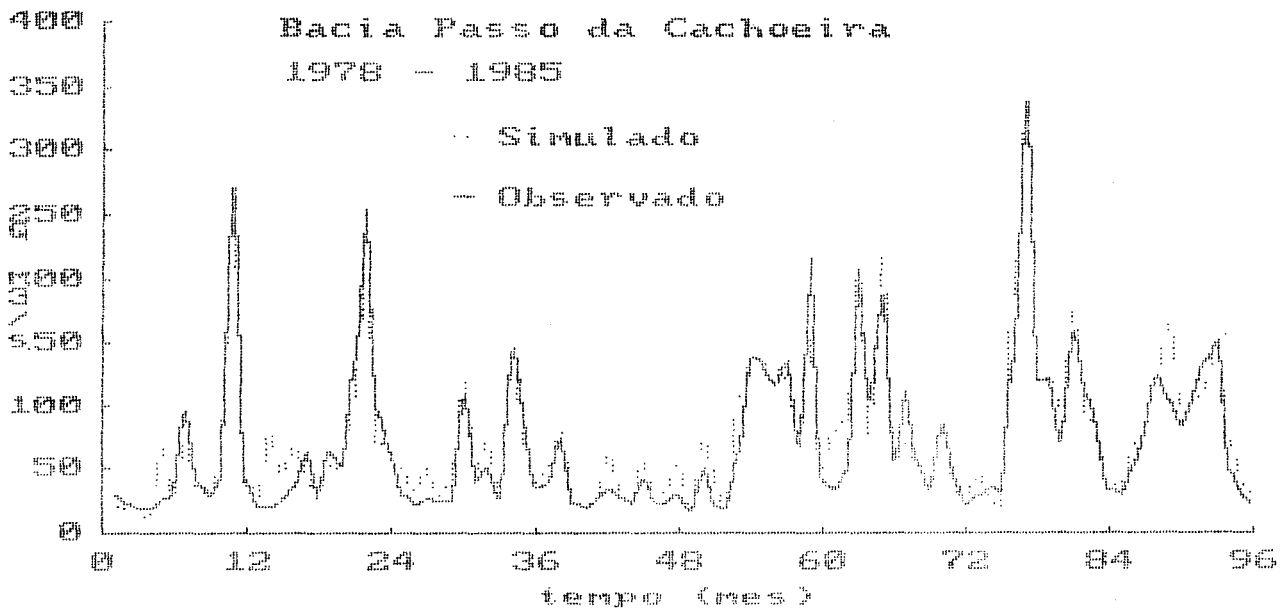


Figura B.18: Hidrograma Mensal (Passo da Cachoeira)

ANEXO - C

HIDROGRAMA MENSAL

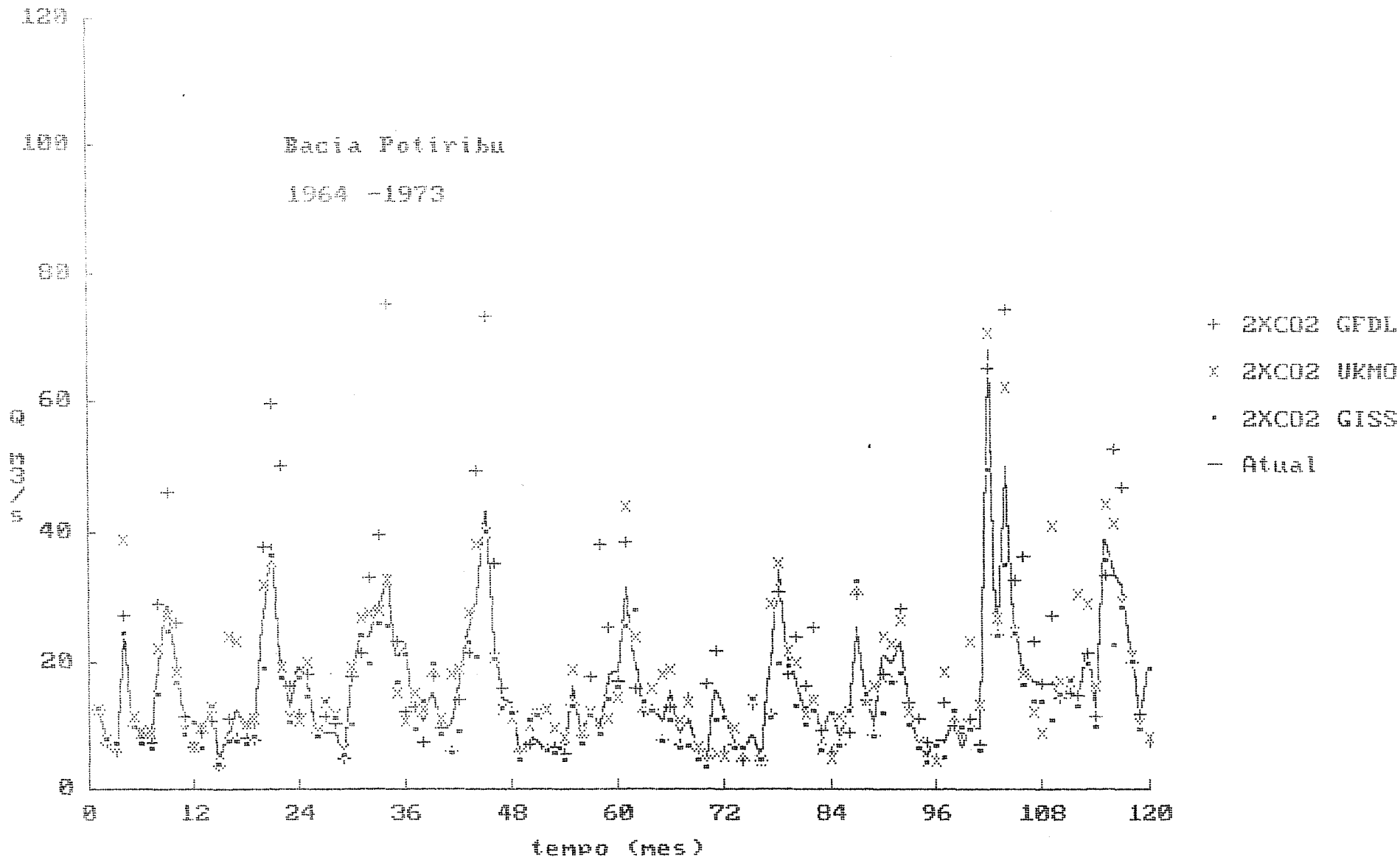


Figura C.1: Hidrograma Mensal(GCMs) (Potiribu)

HIDROGRAMA MENSAL

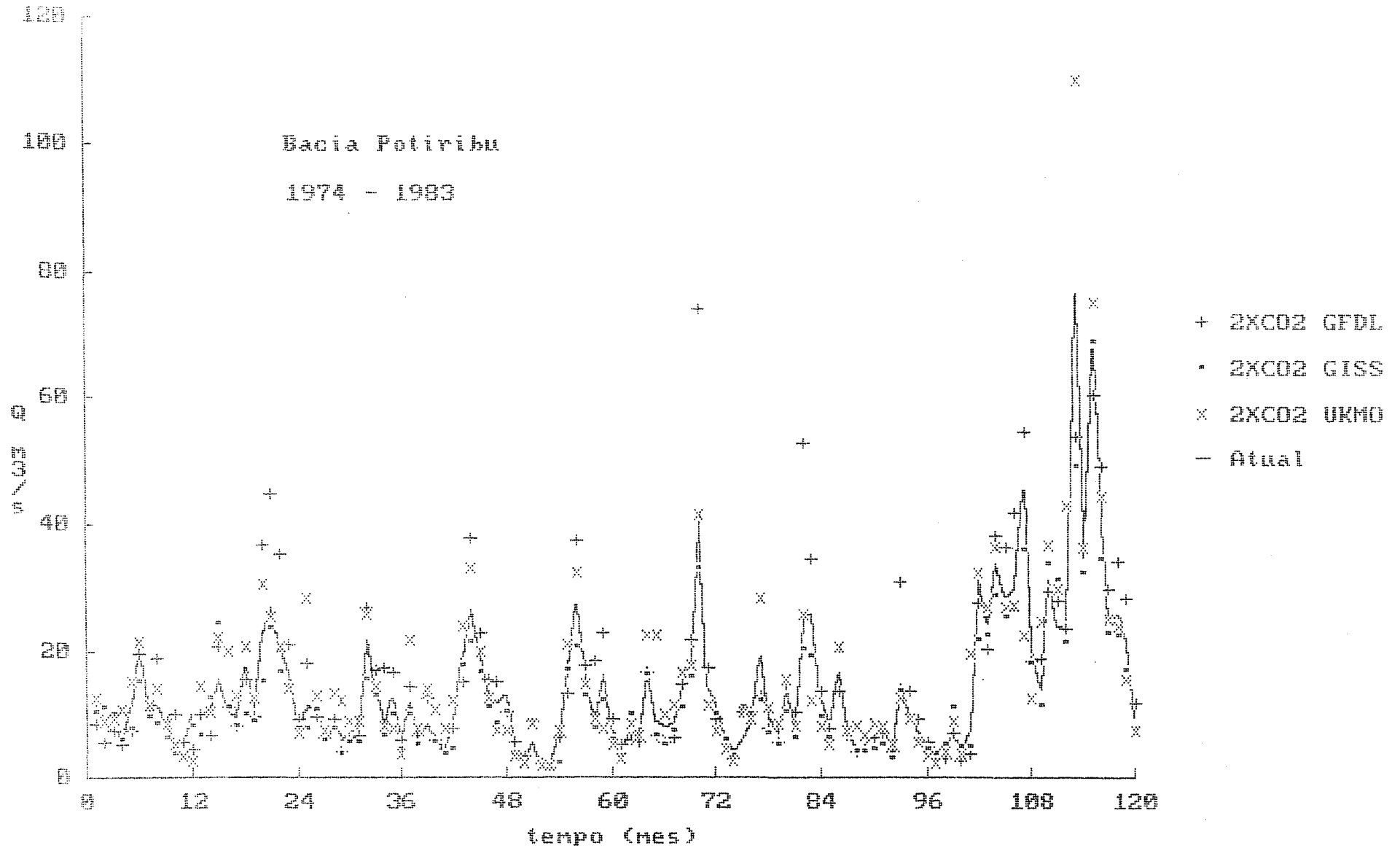


Figura C.2: Hidrograma Mensal (GCMs)(Potiribu)

HIDROGRAMA MENSAL

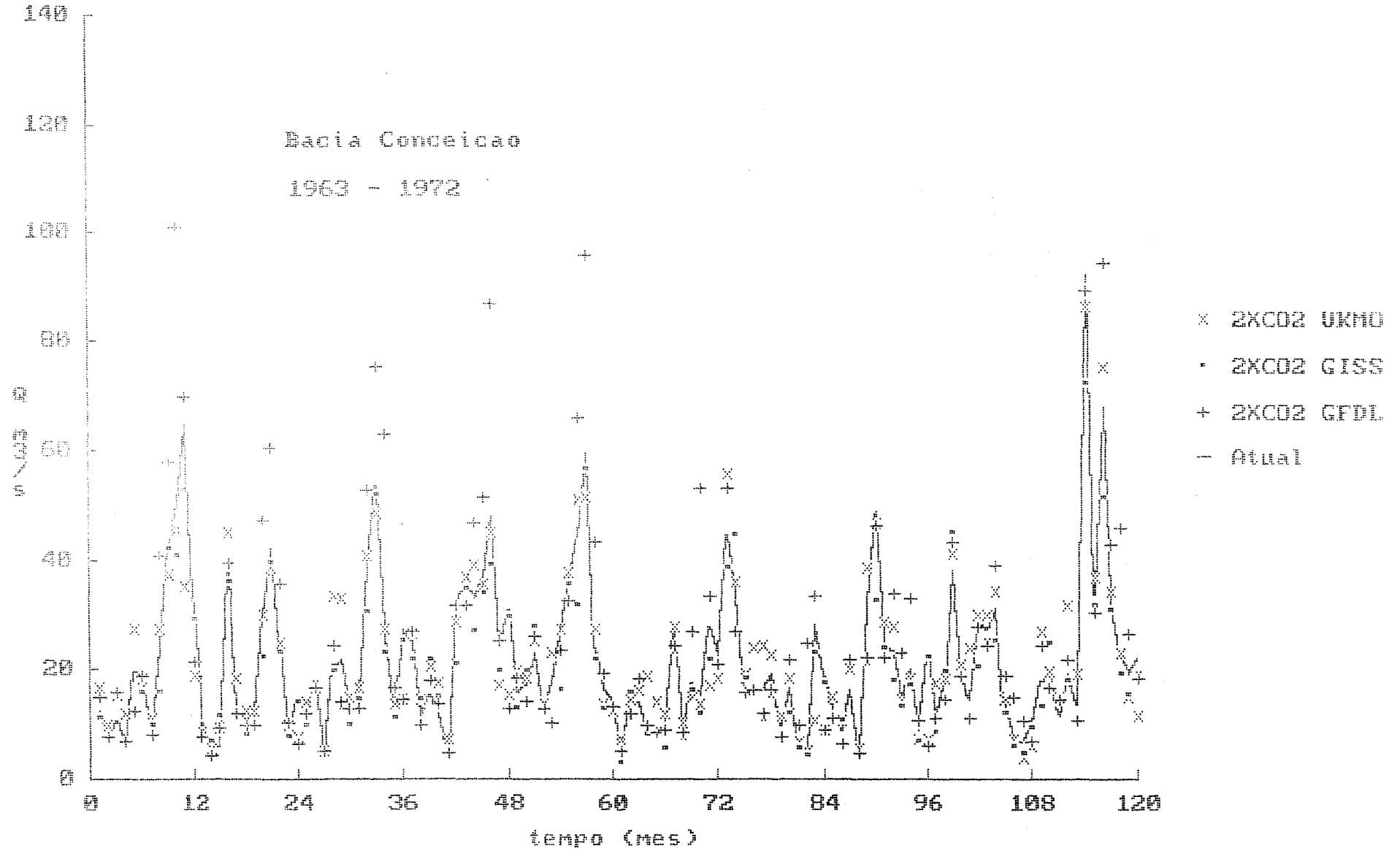


Figura C.3: Hidrograma Mensal (GCMs)(Conceição)

HIDROGRAMA MENSAL

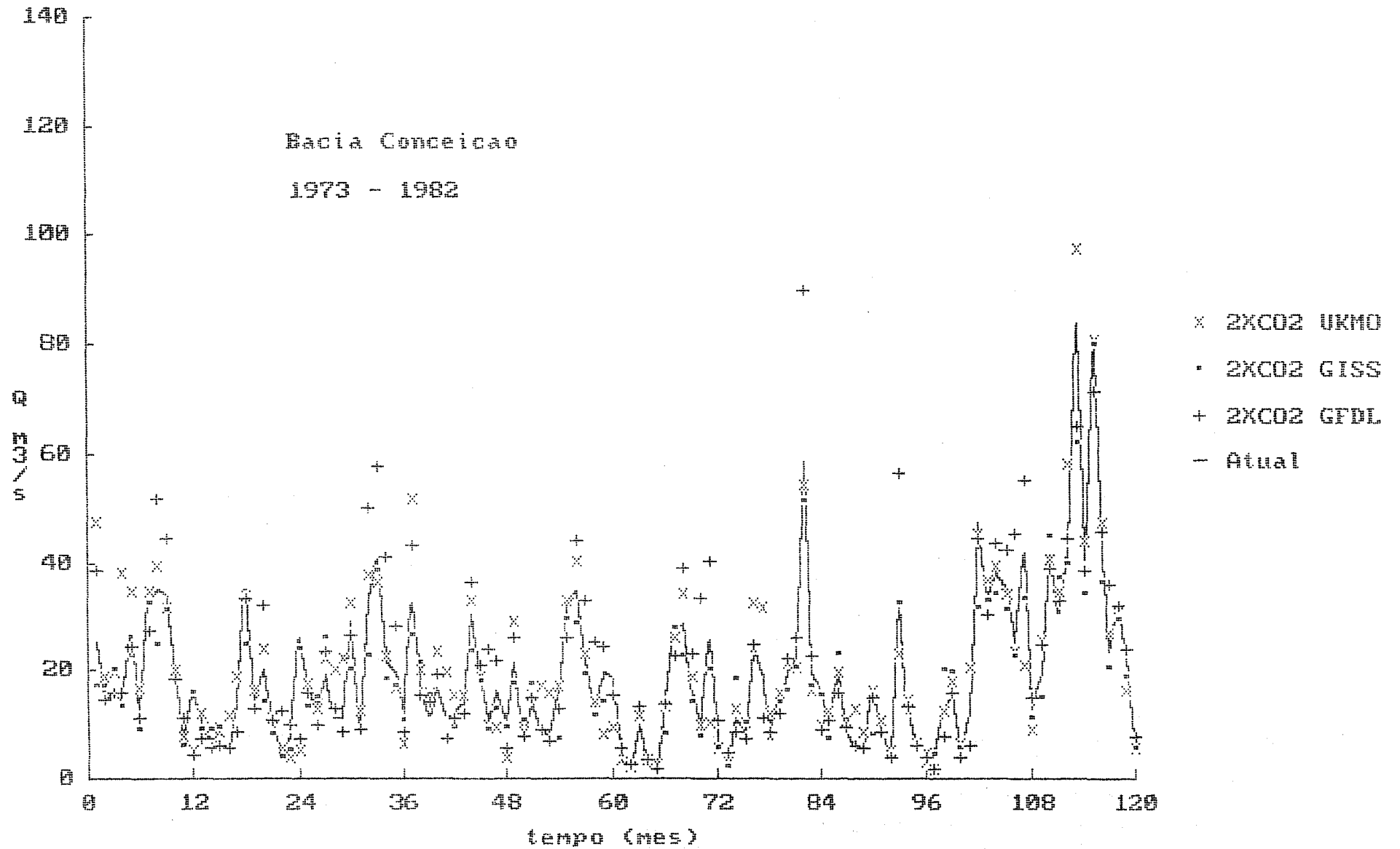


Figura C.4: Hidrograma Mensal (GCMs)(Conceição)

HIDROGRAMA MENSAL

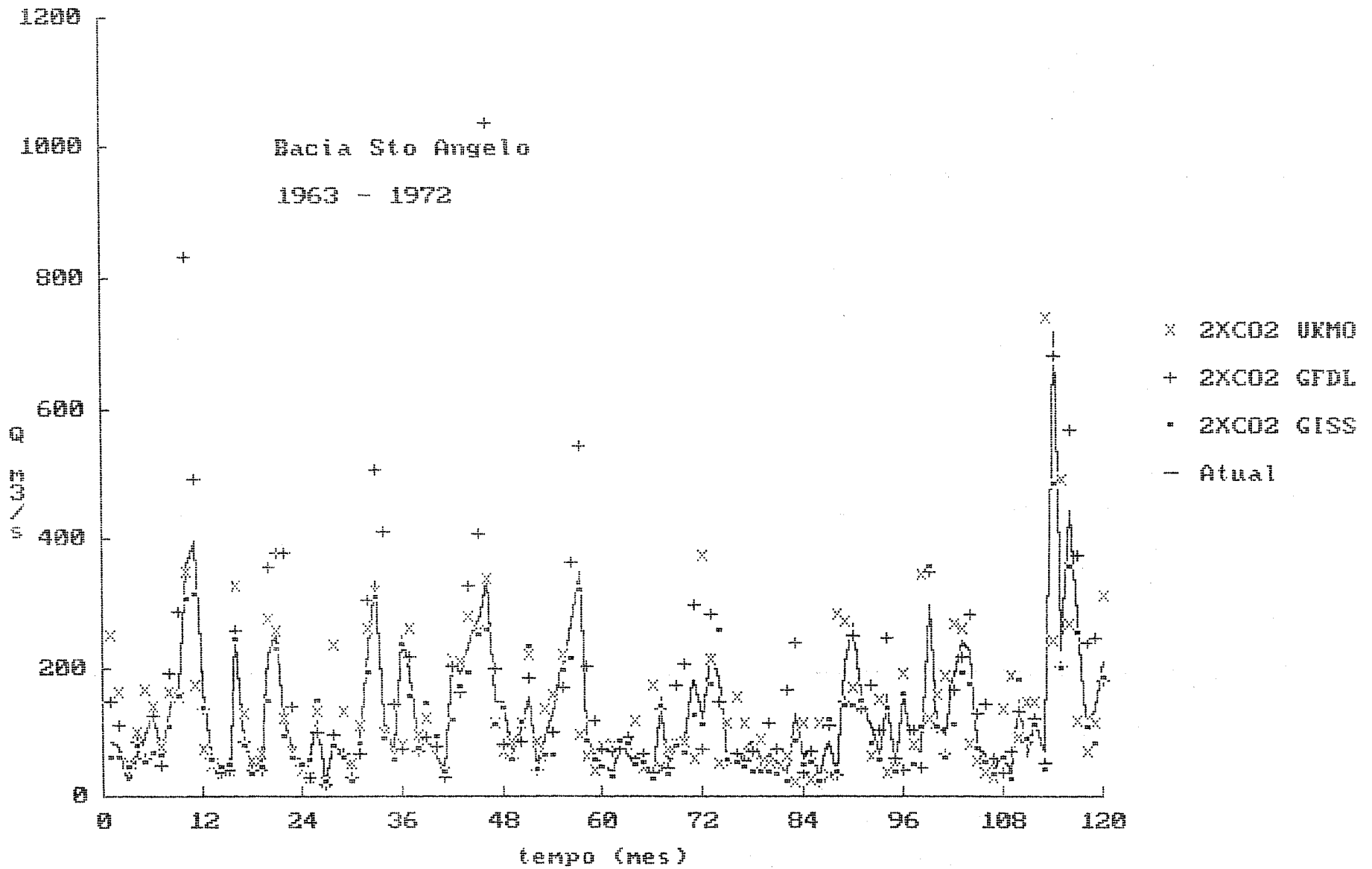


Figura C.5: Hidrograma Mensal (GCMs) (Sto Ângelo)

HIDROGRAMA MENSAL

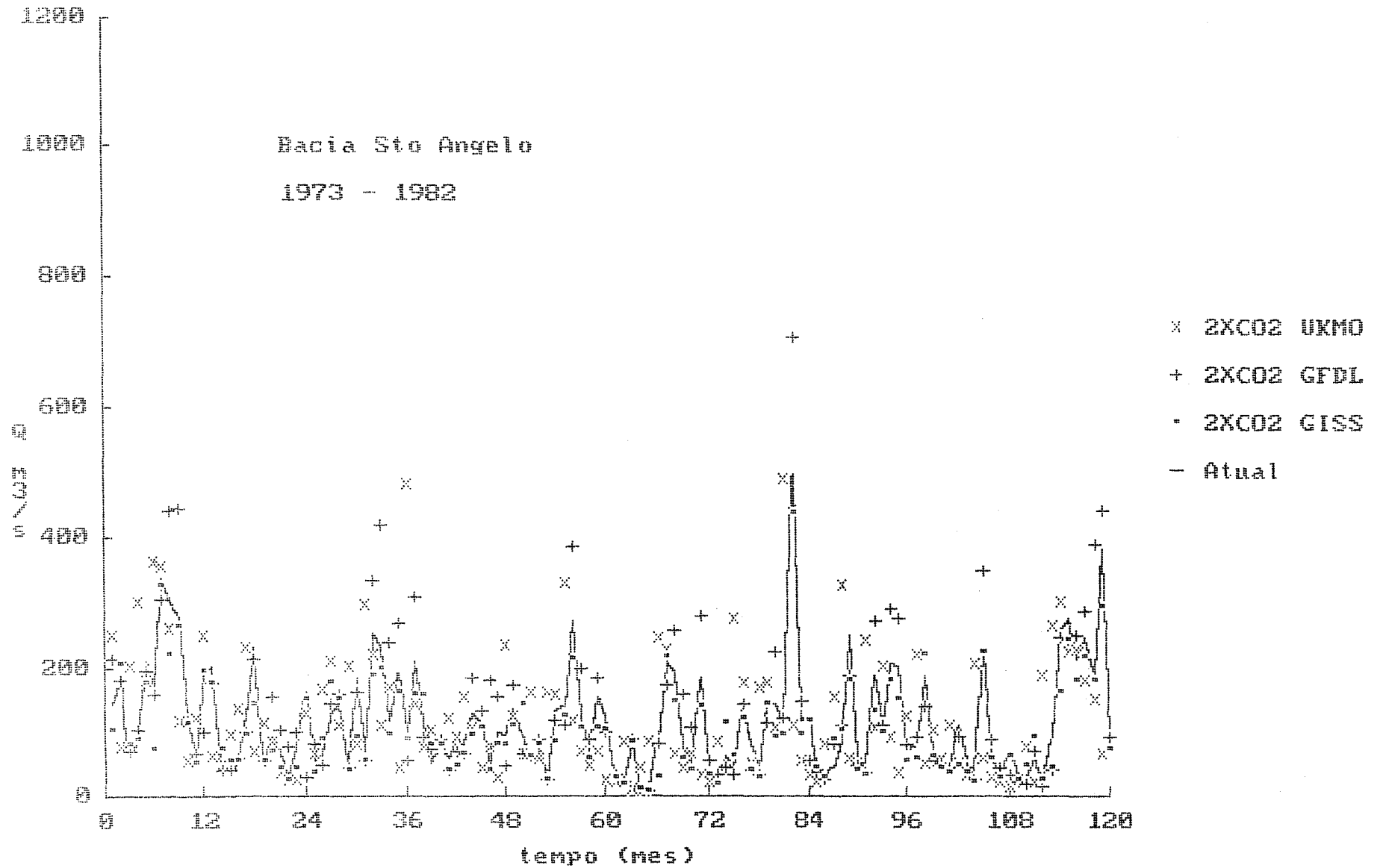


Figura C.6: Hidrograma Mensal (GCMs) (Sto Angelo)

HIDROGRAMA MENSAL

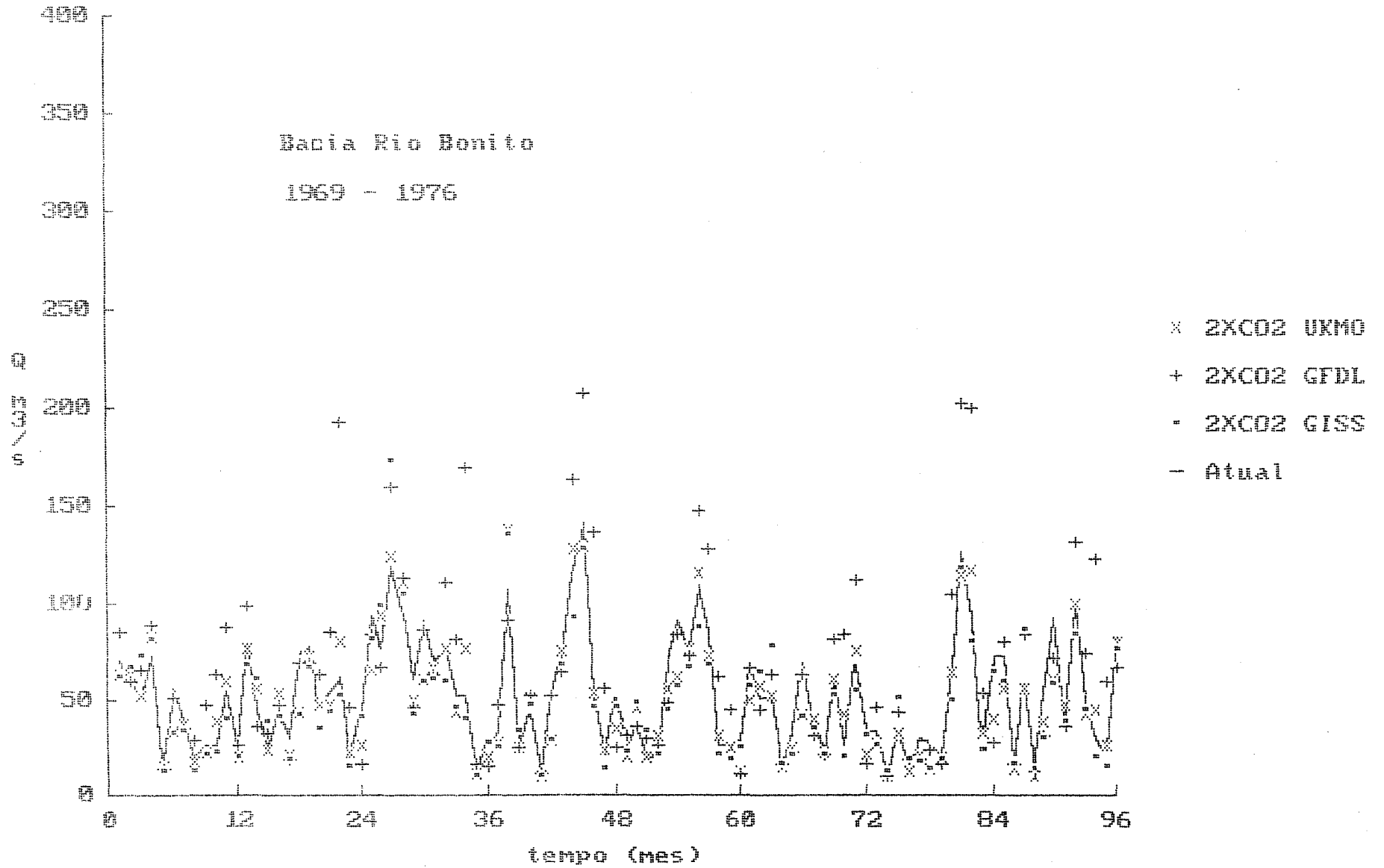


Figura C.7: Hidrograma Mensal (GCMs) (Rio Bonito)

HIDROGRAMA MENSAL

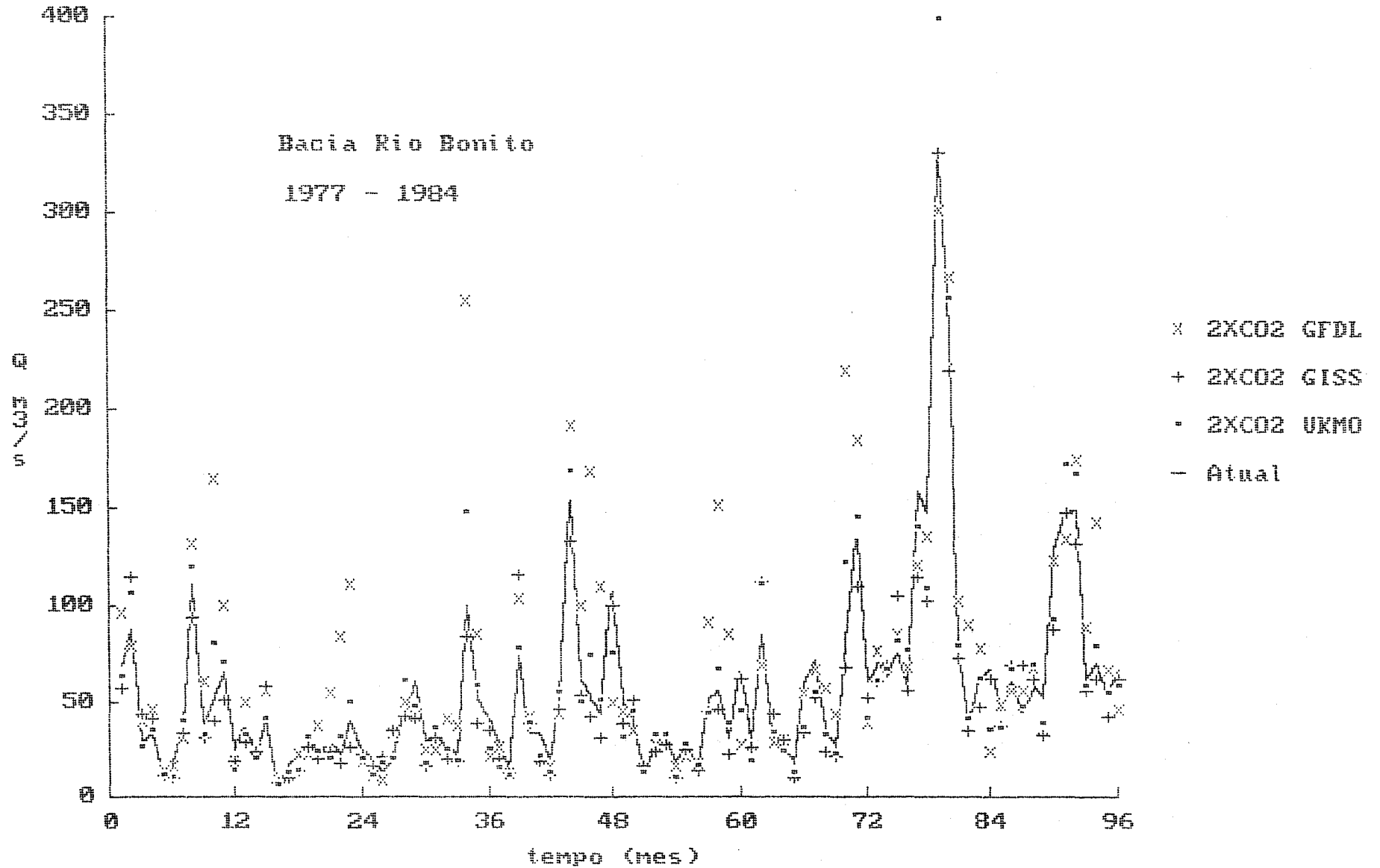


Figura C.8: Hidrograma Mensal (GCMs) (Rio Bonito)

HIDROGRAMA MENSAL

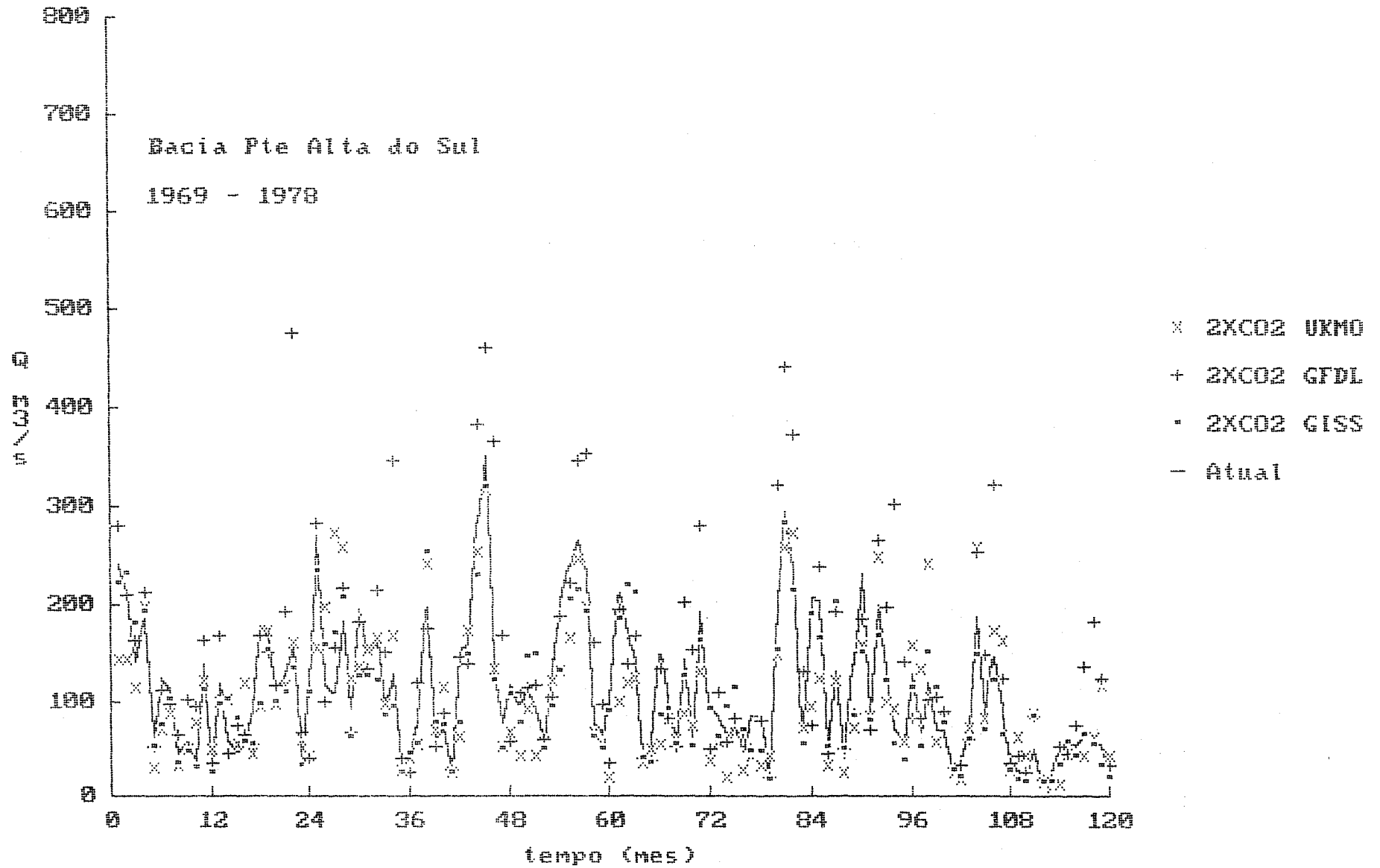


Figura C.9: Hidrograma Mensal (GCMs) (Pte A. do Sul)

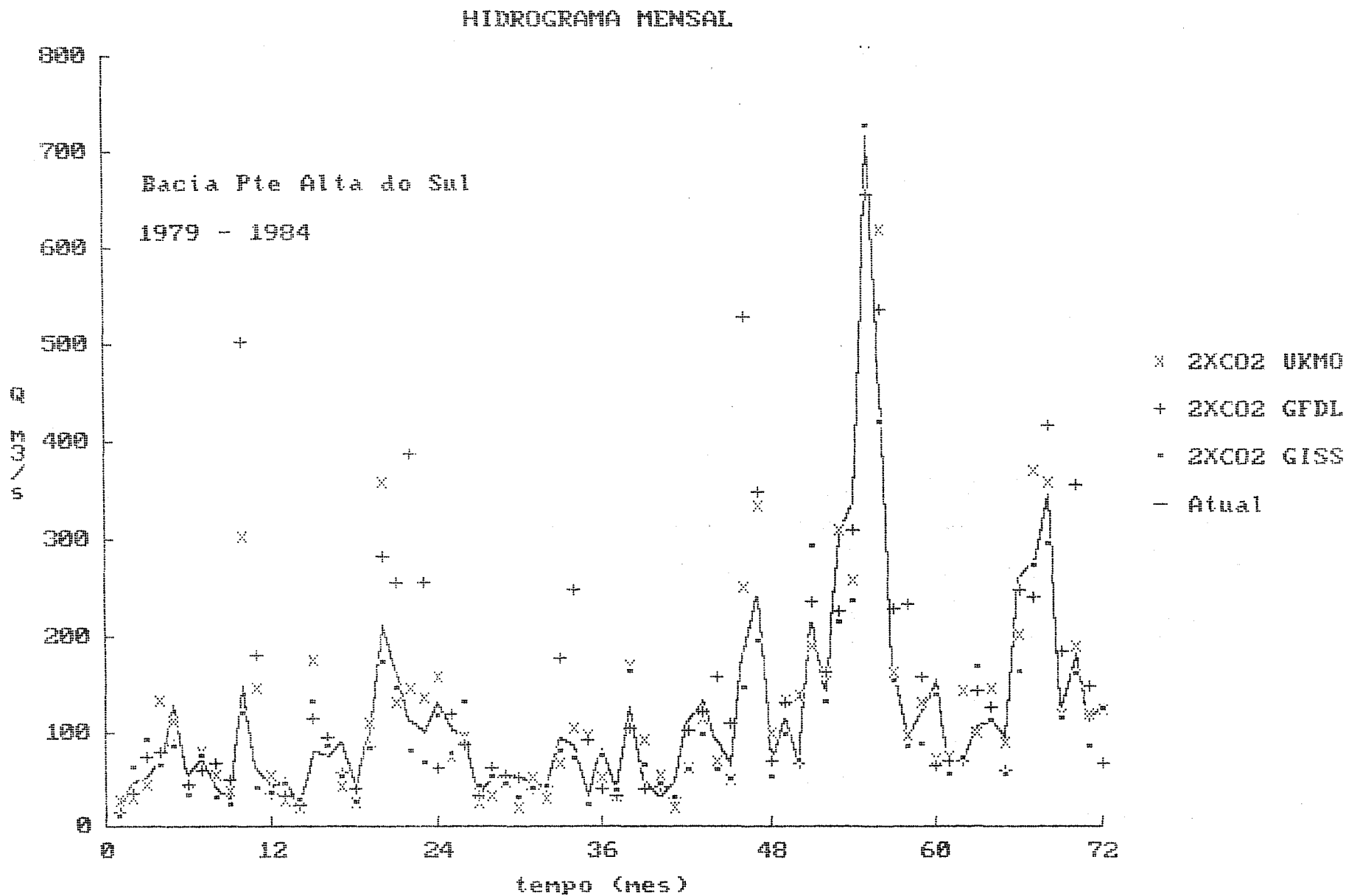


Figura C.10: Hidrograma Mensal (GCMs) (Pte A. do Sul)

HIDROGRAMA MENSAL

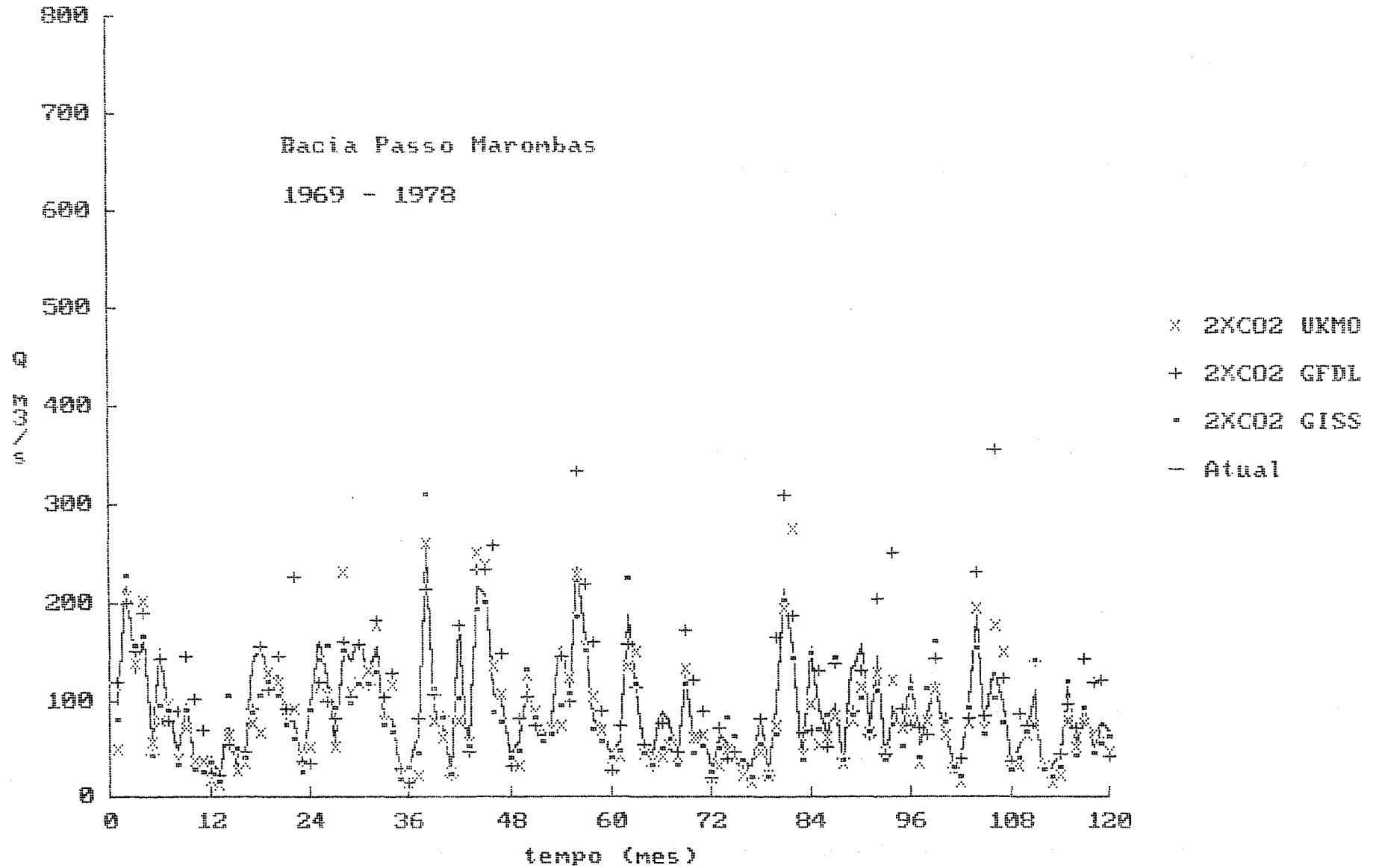


Figura C.11: Hidrograma Mensal (GCMs) (Passo Marombas)

HIDROGRAMA MENSAL

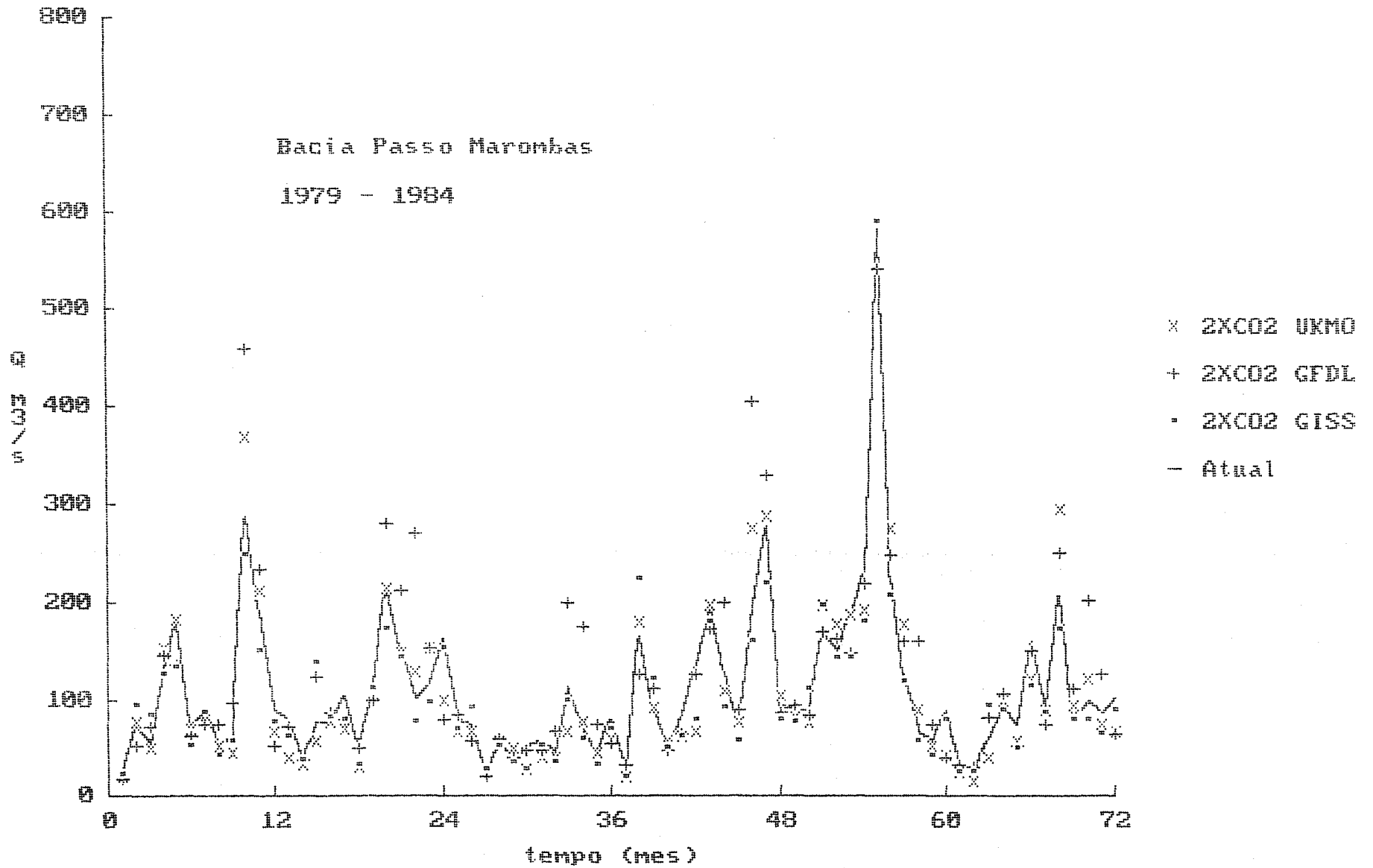


Figura C.12: Hidrograma Mensal (GCMs) (Passo Marombas)

HIDROGRAMA MENSAL

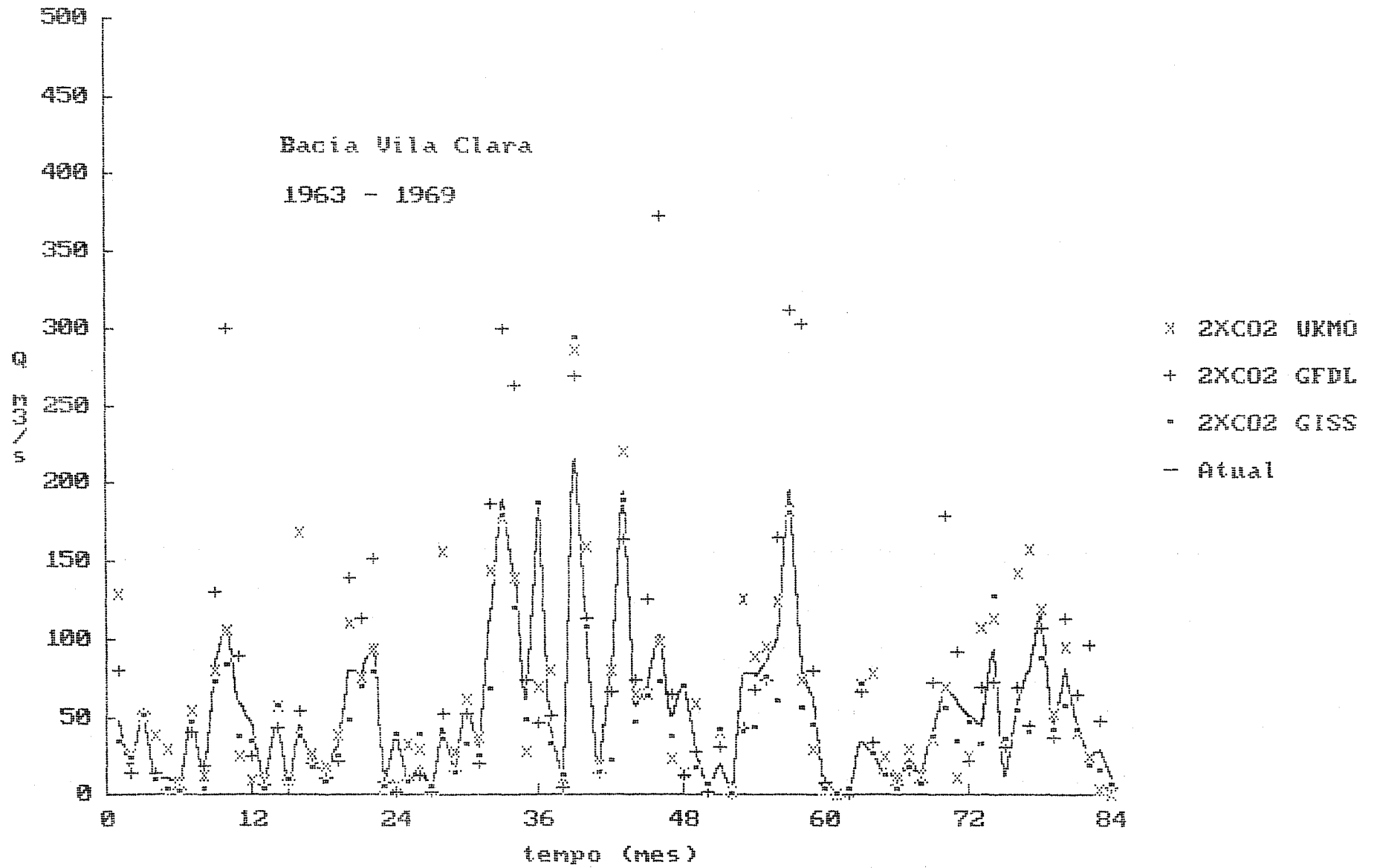


Figura C.13: Hidrograma Mensal (GCMs) (Vila Clara)

HIDROGRAMA MENSAL

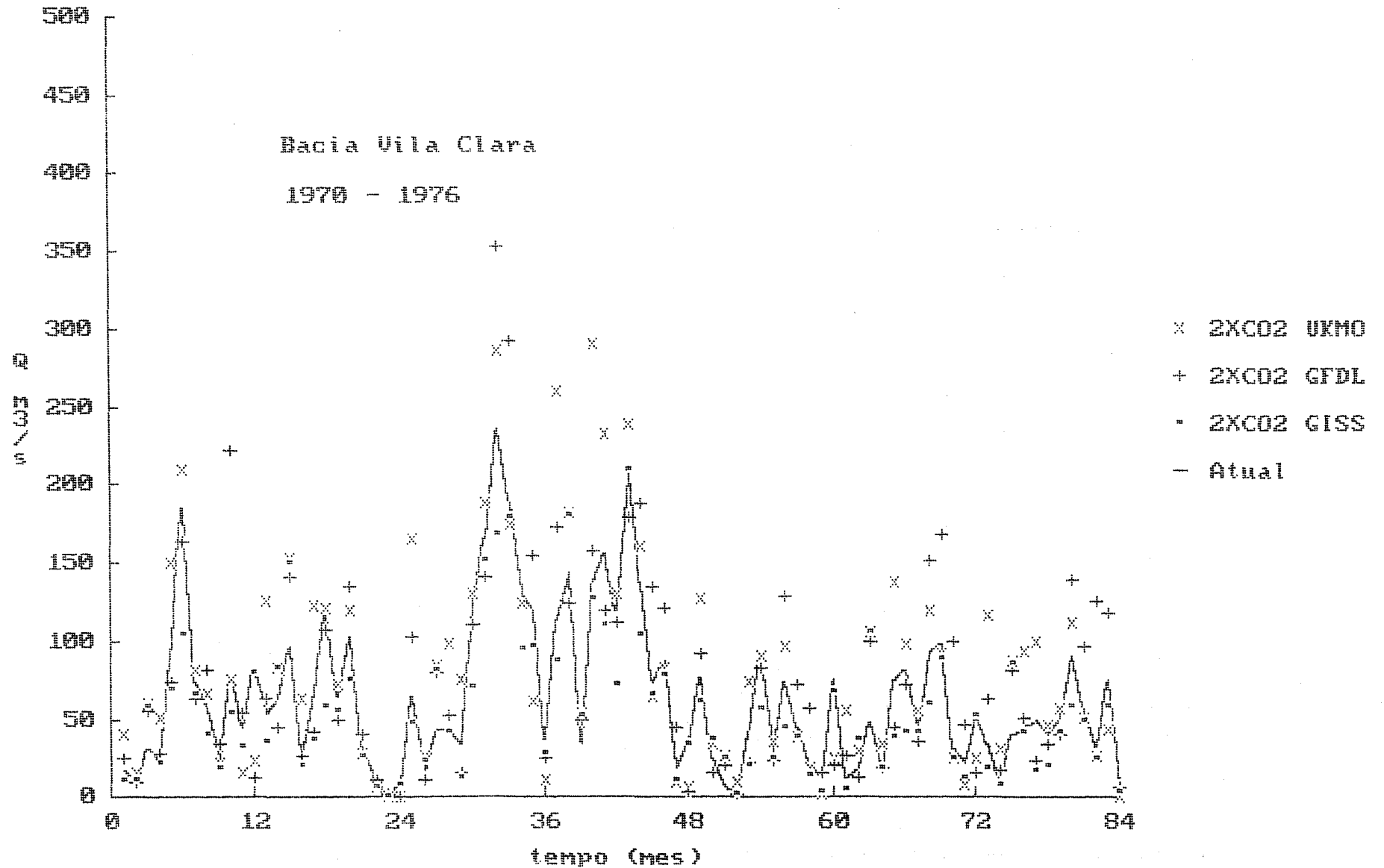


Figura C.14: Hidrograma Mensal (GCMs) (Vila Clara)

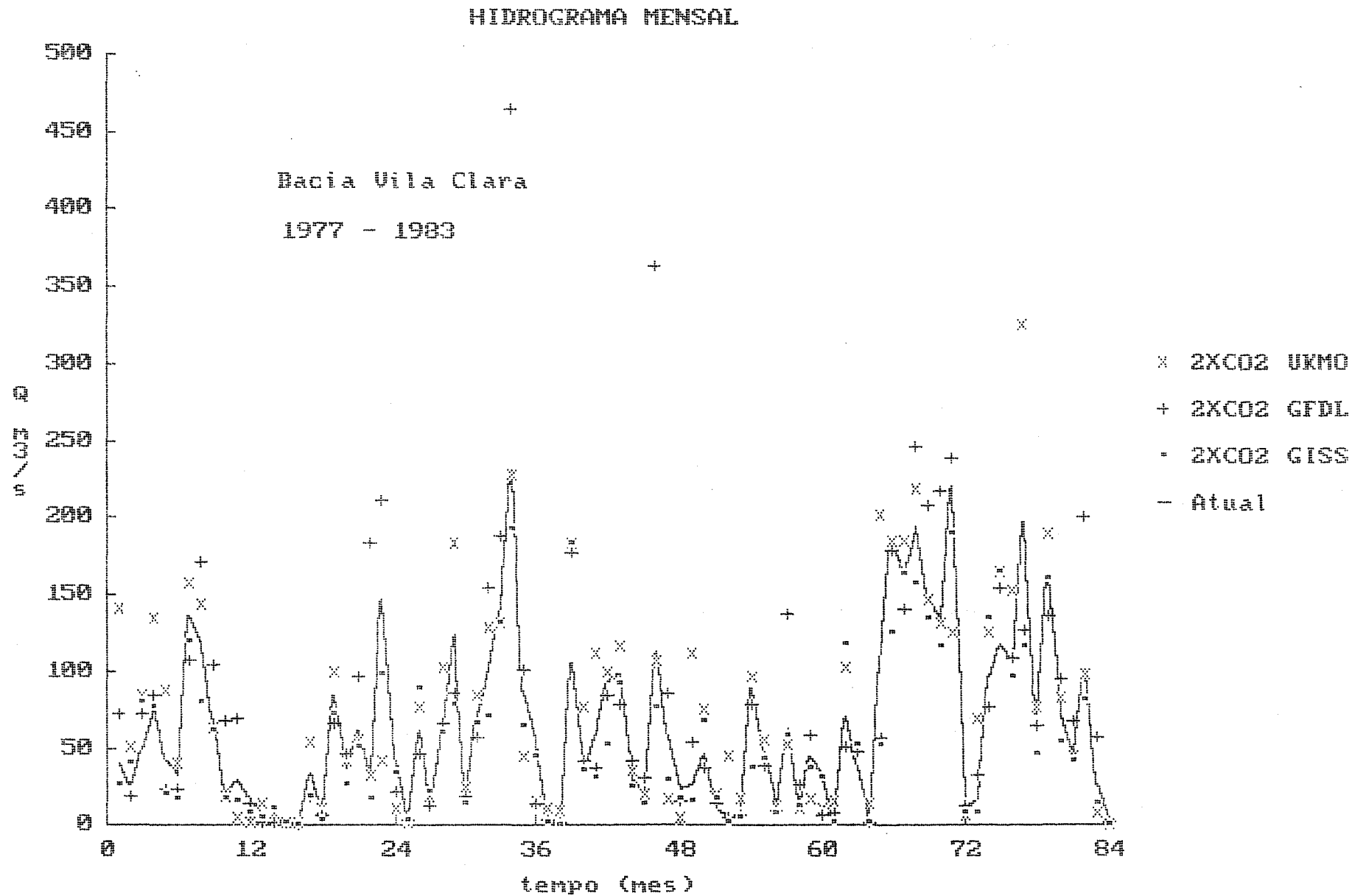


Figura C.15: Hidrograma Mensal (GCMs) (Vila Clara)

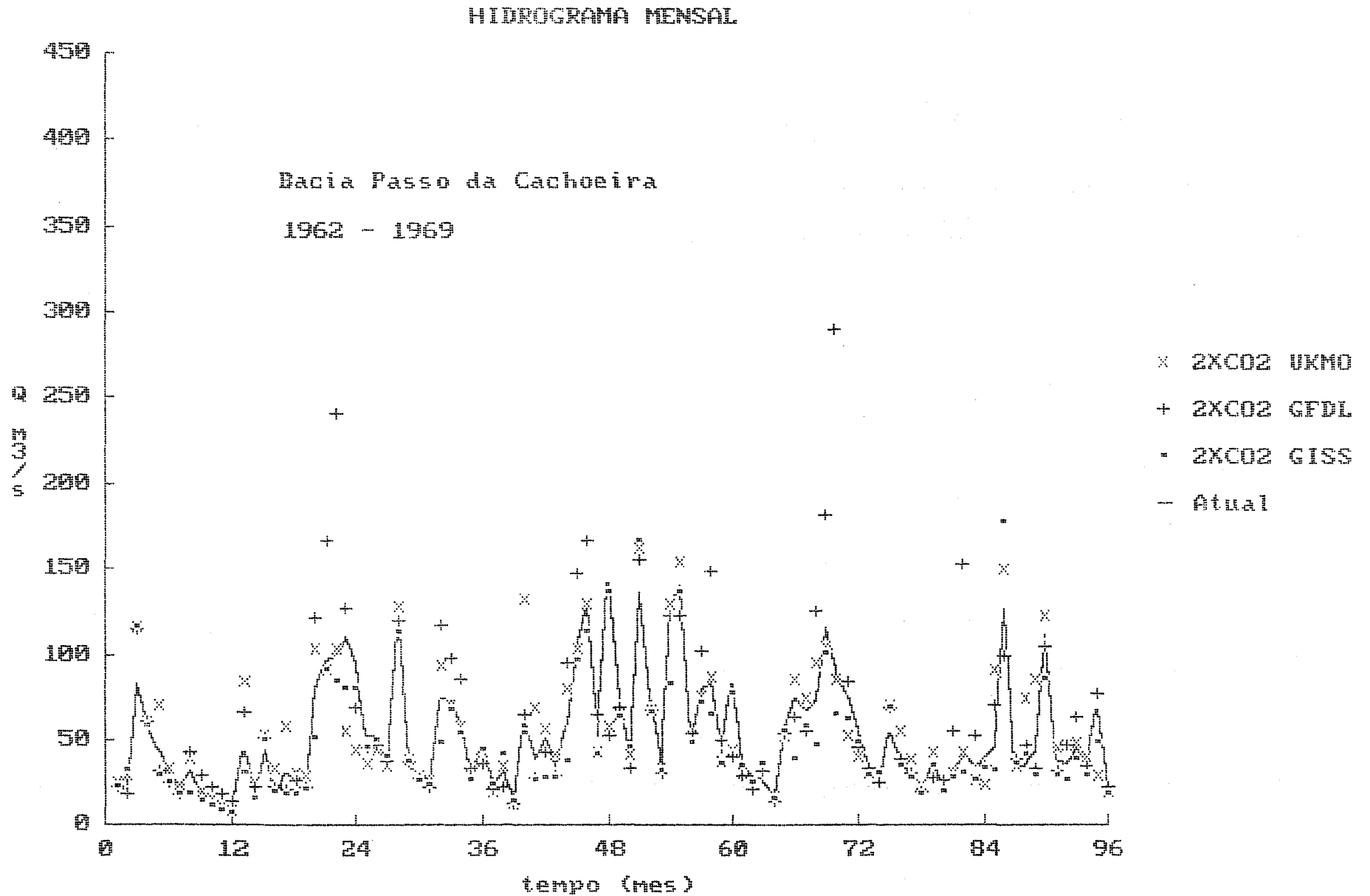


Figura C.16: Hidrograma Mensal (GCMs) (Passo da Cachoeira)

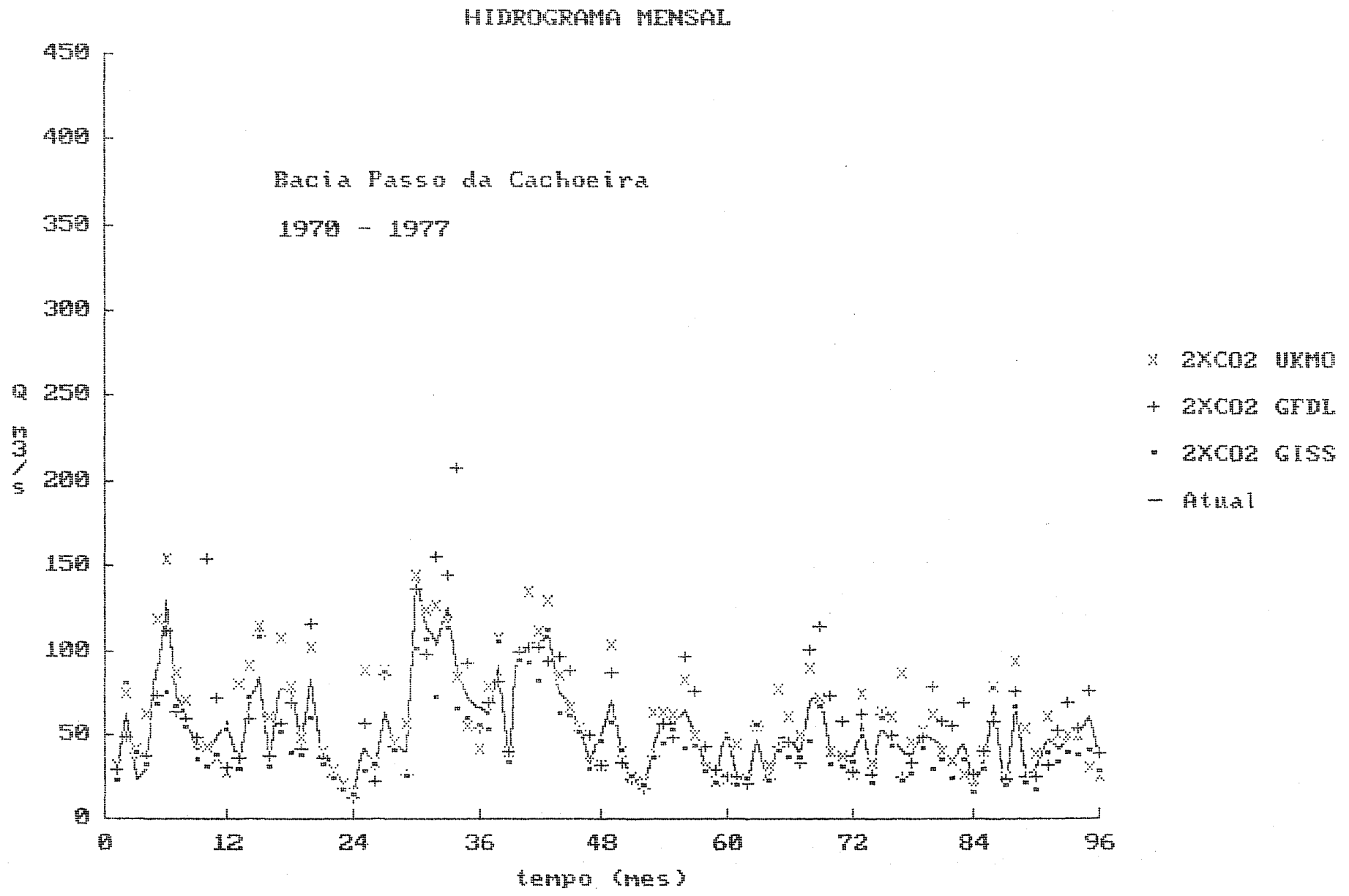


Figura C.17: Hidrograma Mensal (GCMs) (Passo da Cachoeira)

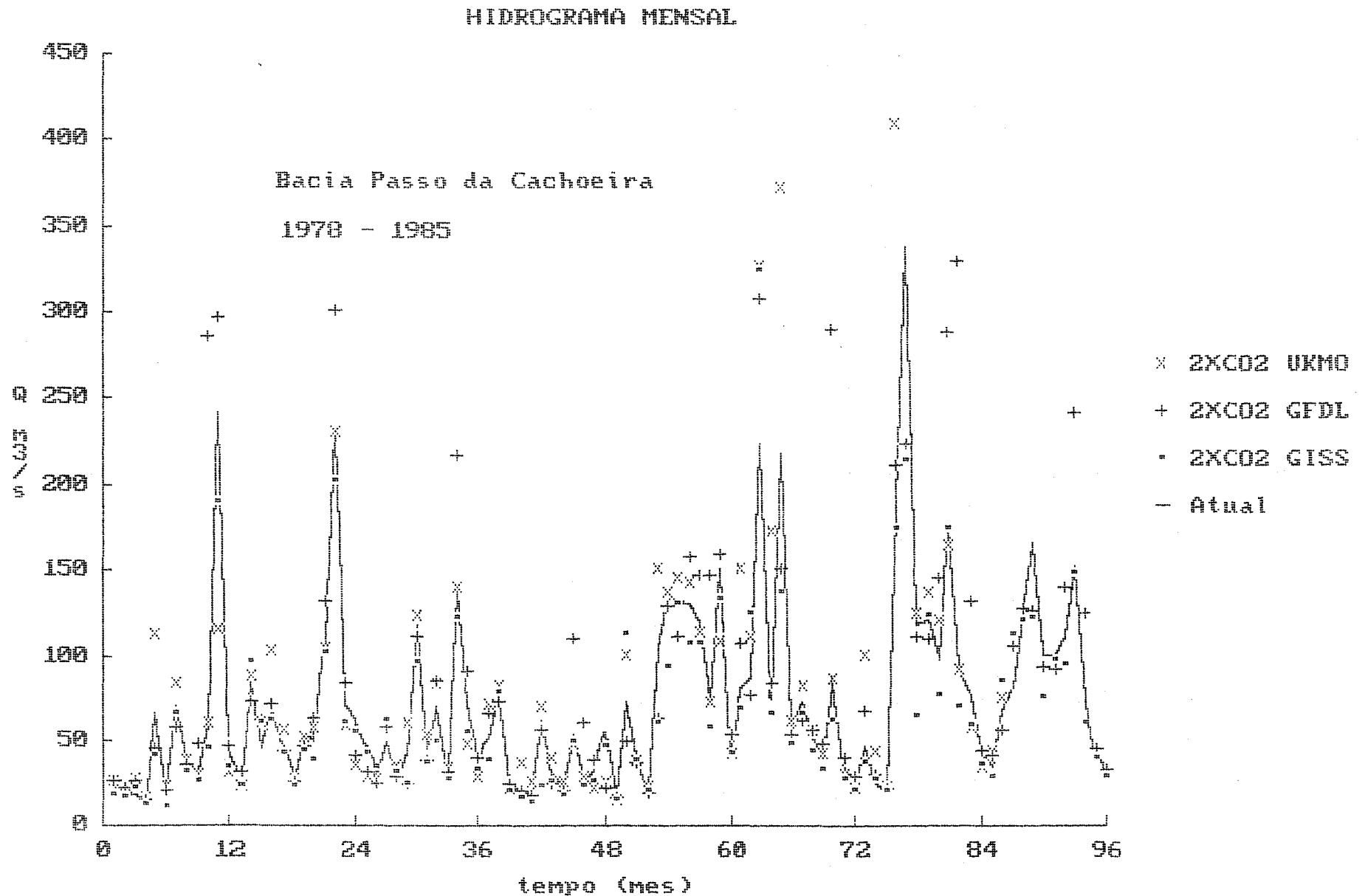


Figura C.18: Hidrograma Mensal (GCMs) (Passo da Cachoeira)

ANEXO - D

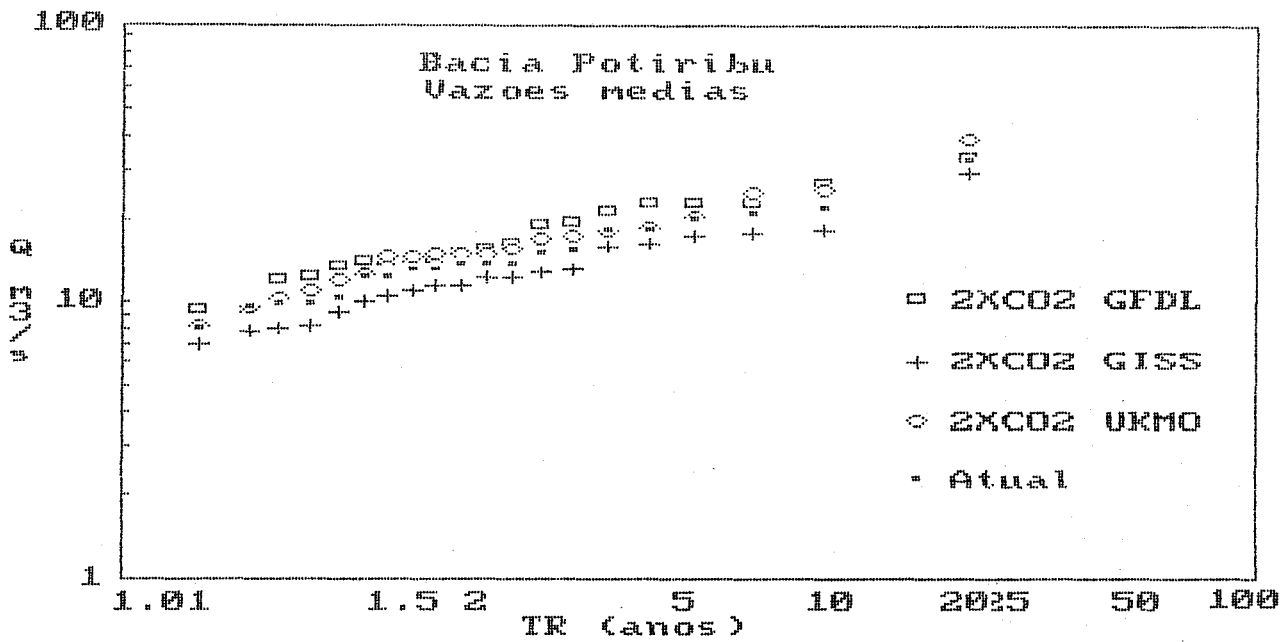


Figura D.1: Curva de Frequência de Vazões Médias (GCMs)(Potiribu)

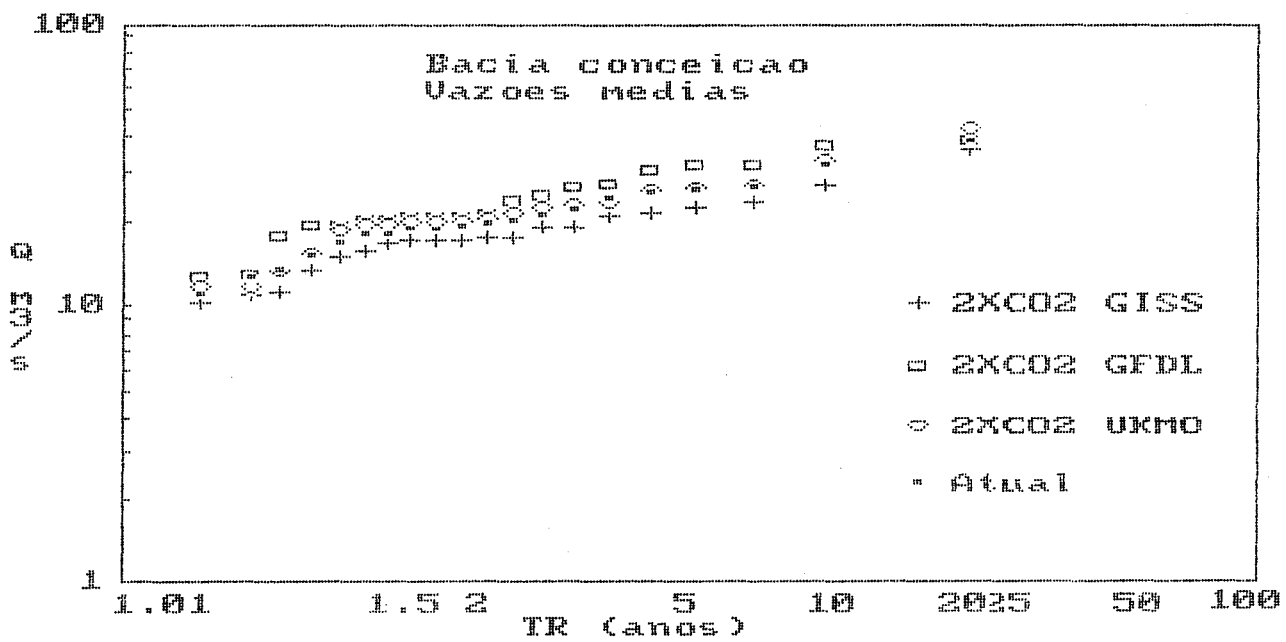


Figura D.2: Curva de Frequência de Vazões Médias (GCMs)(Conceição)

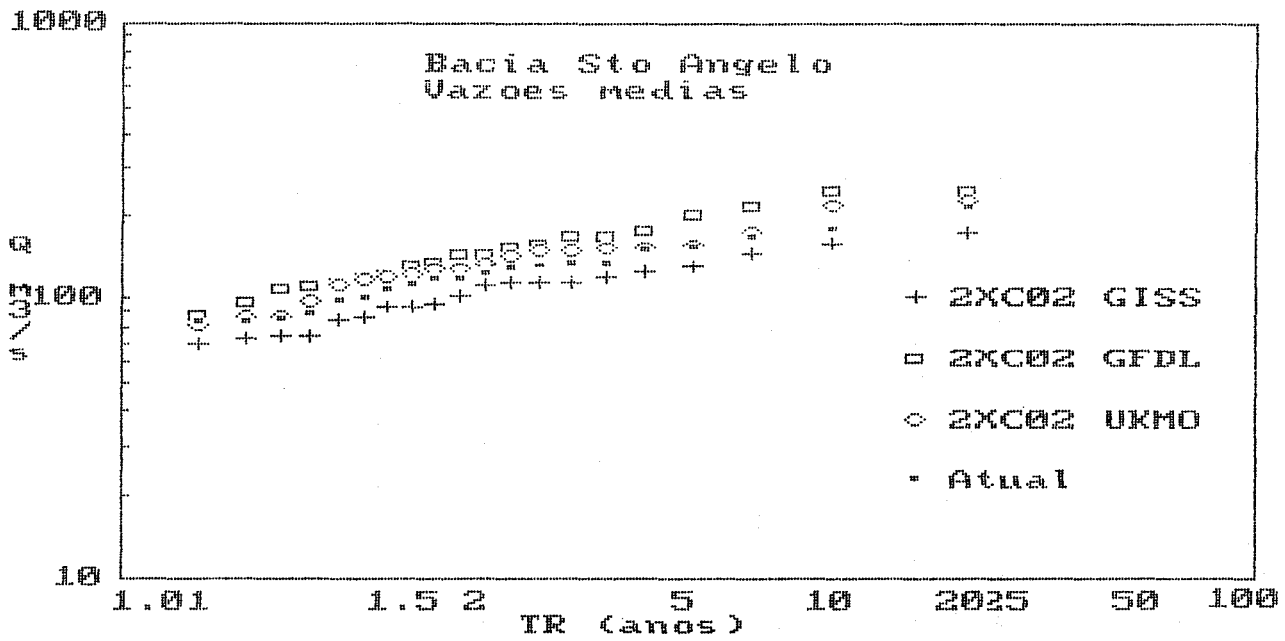


Figura D.3: Curva de Frequência de Vazões Médias (GCMs) (Sto Ângelo)

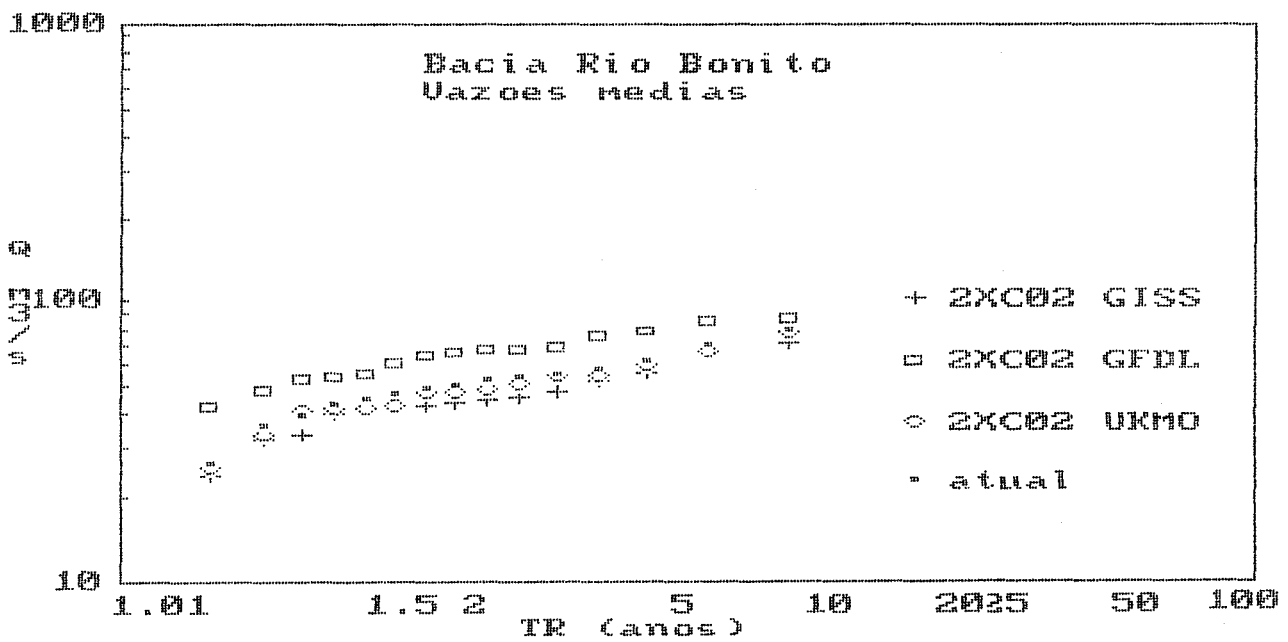


Figura D.4: Curva de Frequência de Vazões Médias (GCMs)(R. Bonito)

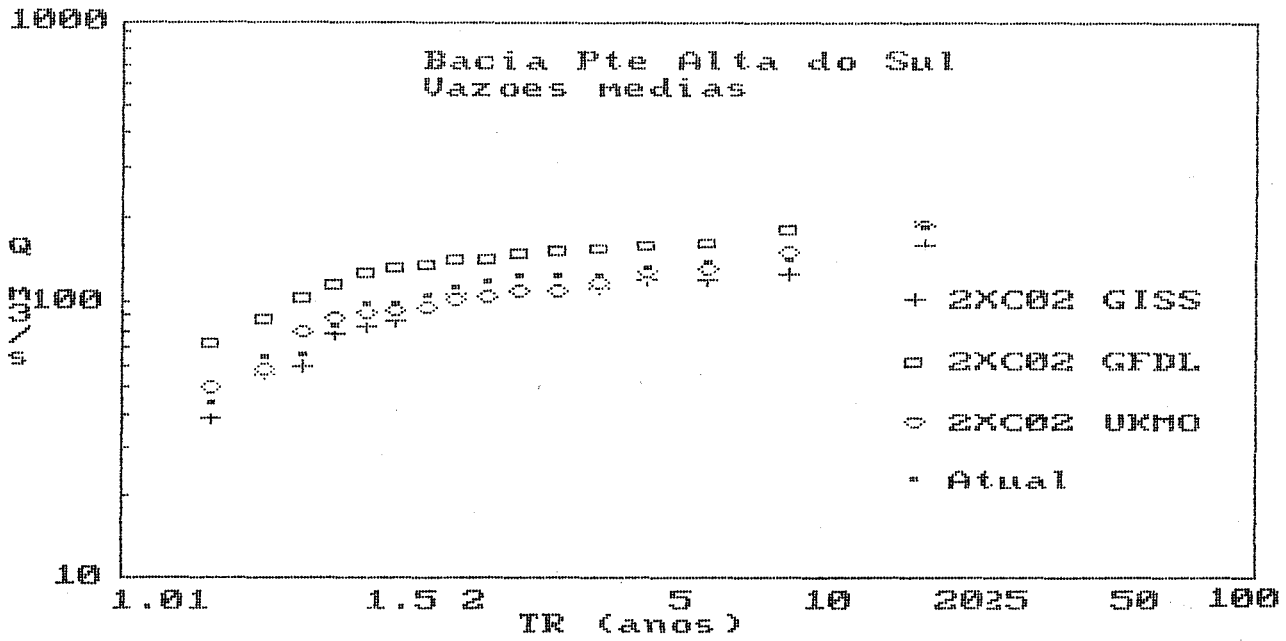


Figura D.5: Curva de Frequência de Vazões Médias (GCMs) (Pte A. do Sul)

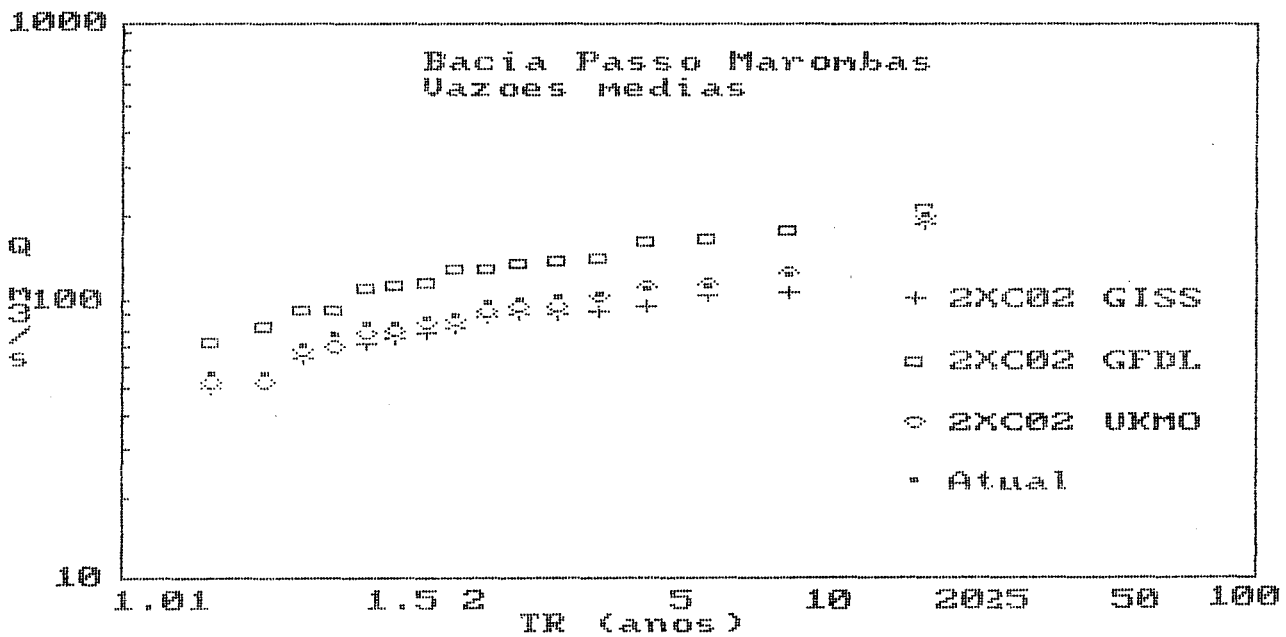


Figura D.6: Curva de Frequência de Vazões Médias (GCMs) (Passo Marombas)

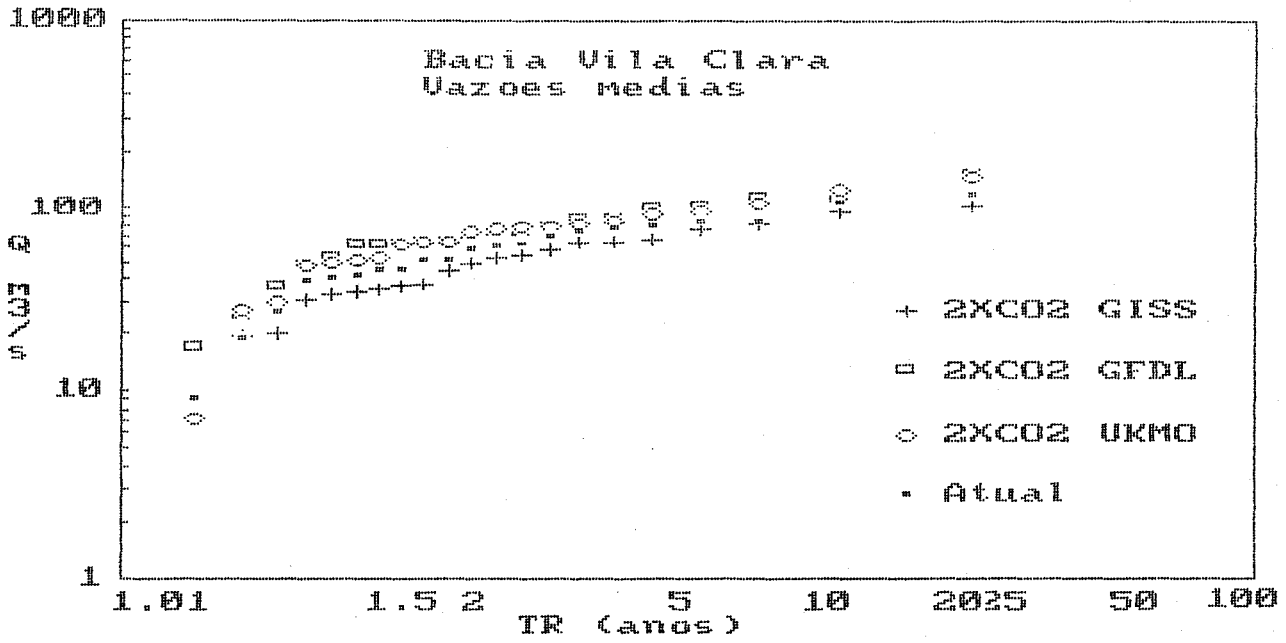


Figura D.7: Curva de Frequência de Vazões Médias (GCMs) (Vila Clara)

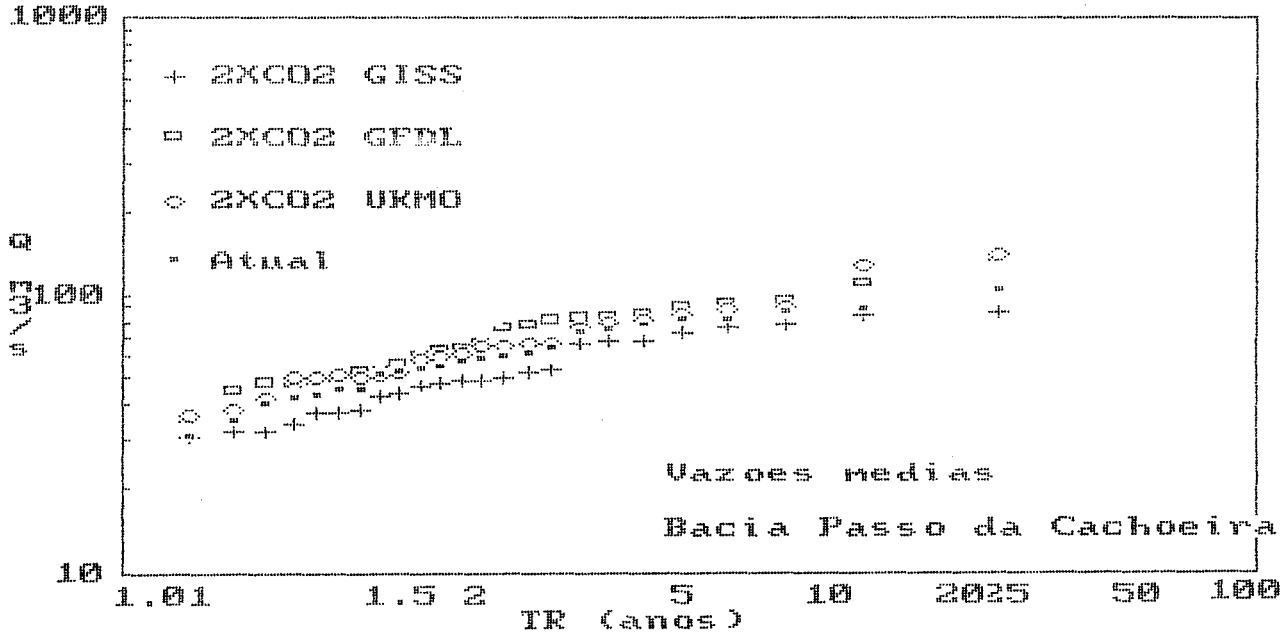


Figura D.8: Curva de Frequência de Vazões Médias (GCMs) (Passo da Cachoeira)

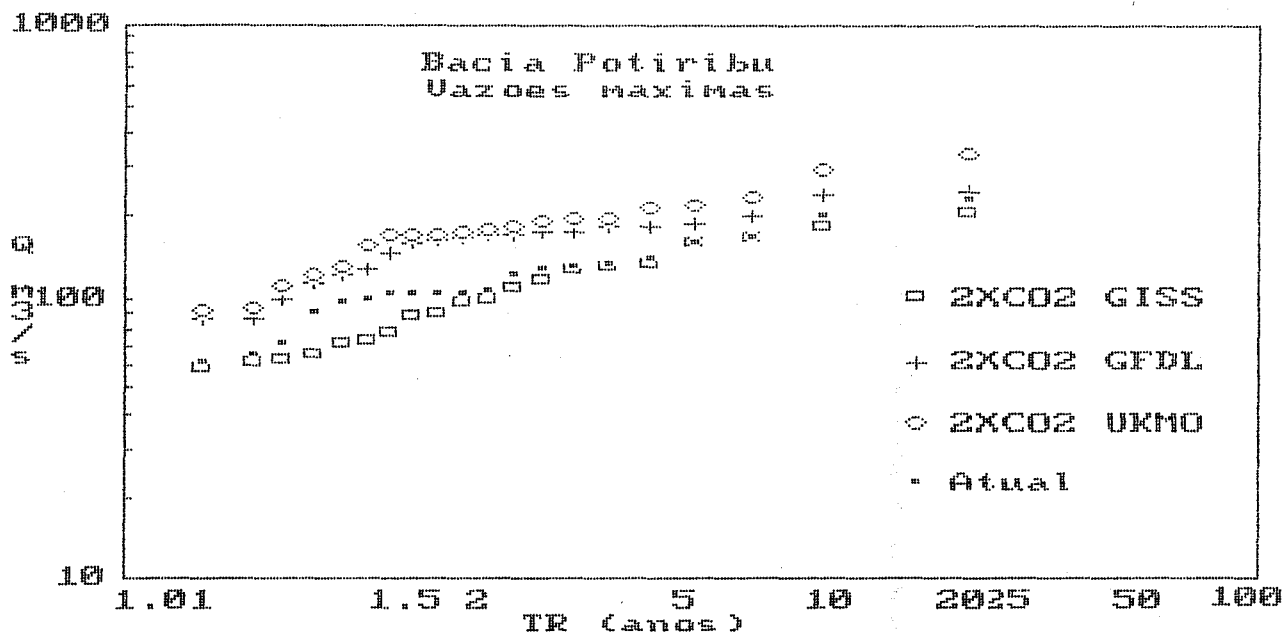


Figura D.9: Curva de Frequência de Vazões Máximas (GCMs)(Potiribu)

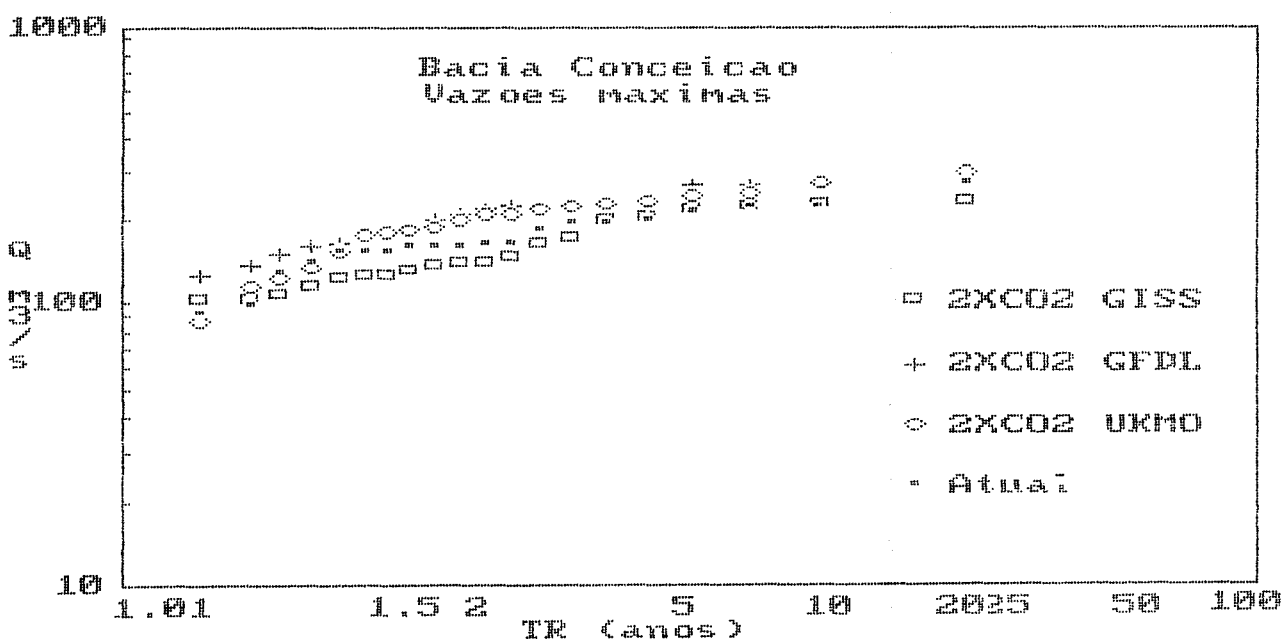


Figura D.10: Curva de Frequência de Vazões Máximas (GCMs)(Conceição)

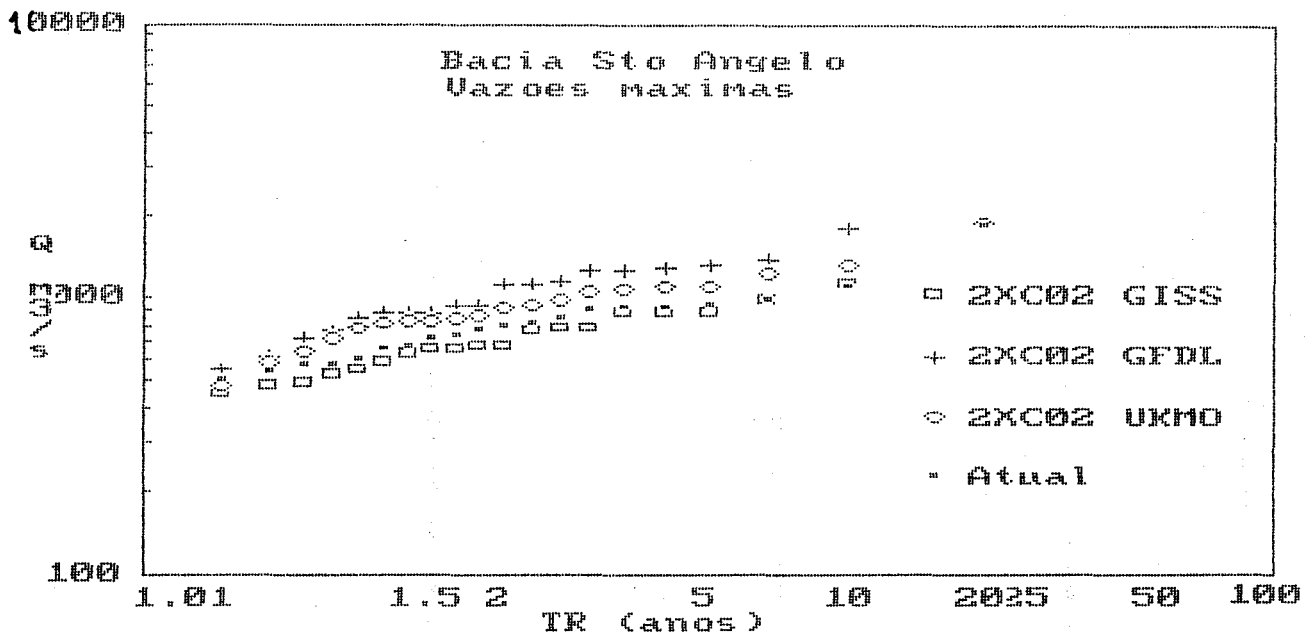


Figura D.11: Curva de Frequência de Vazões Máximas (GCMs) (Sto Ângelo)

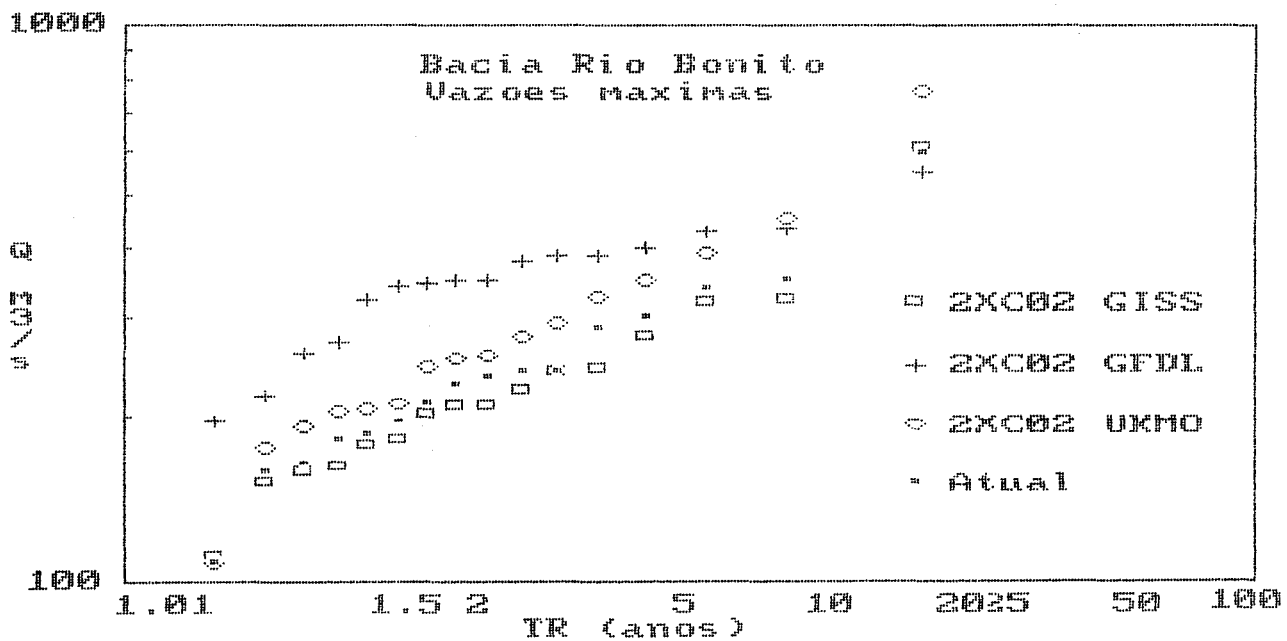


Figura D.12: Curva de Frequência de Vazões Máximas (GCMs)(R. Bonito)

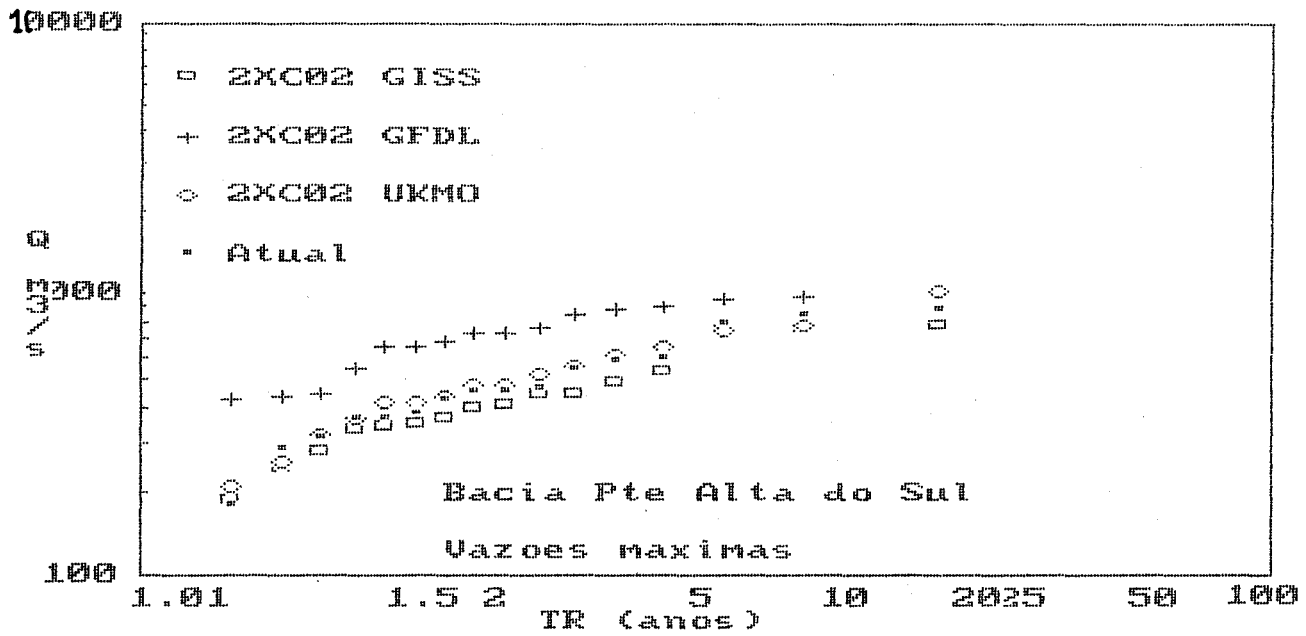


Figura D.13: Curva de Frequência de Vazões Máximas (GCMs) (Pte A. do Sul)

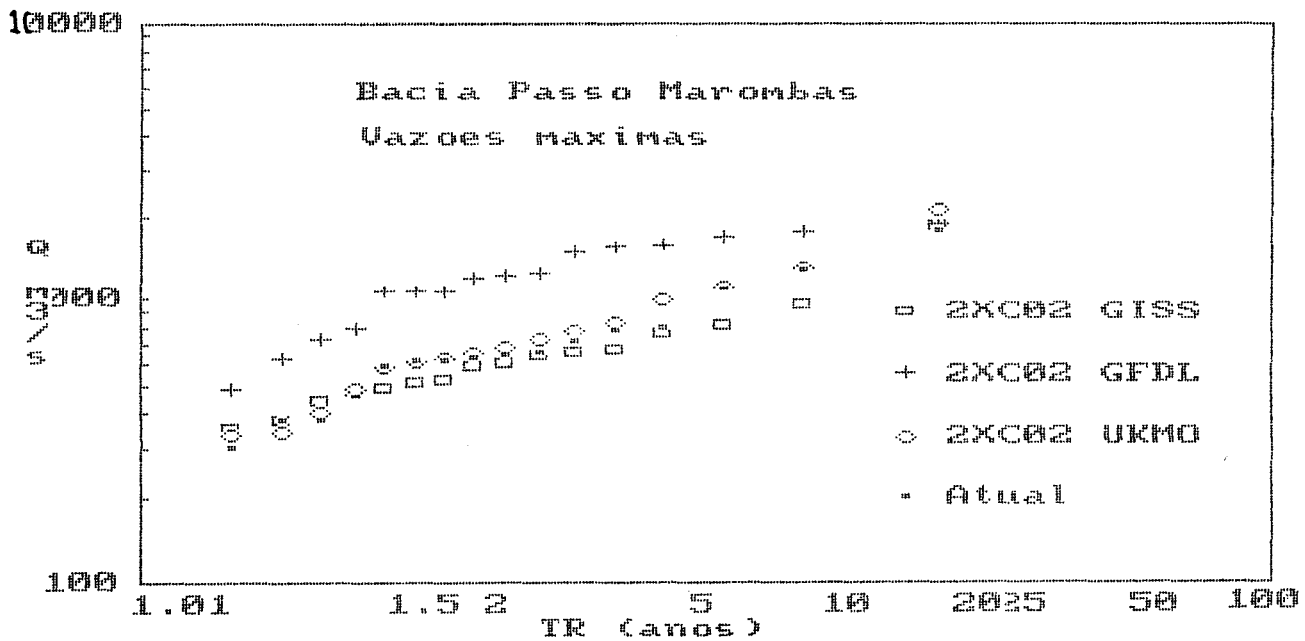


Figura D.14: Curva de Frequência de Vazões Máximas (GCMs) (Passo Marombas)

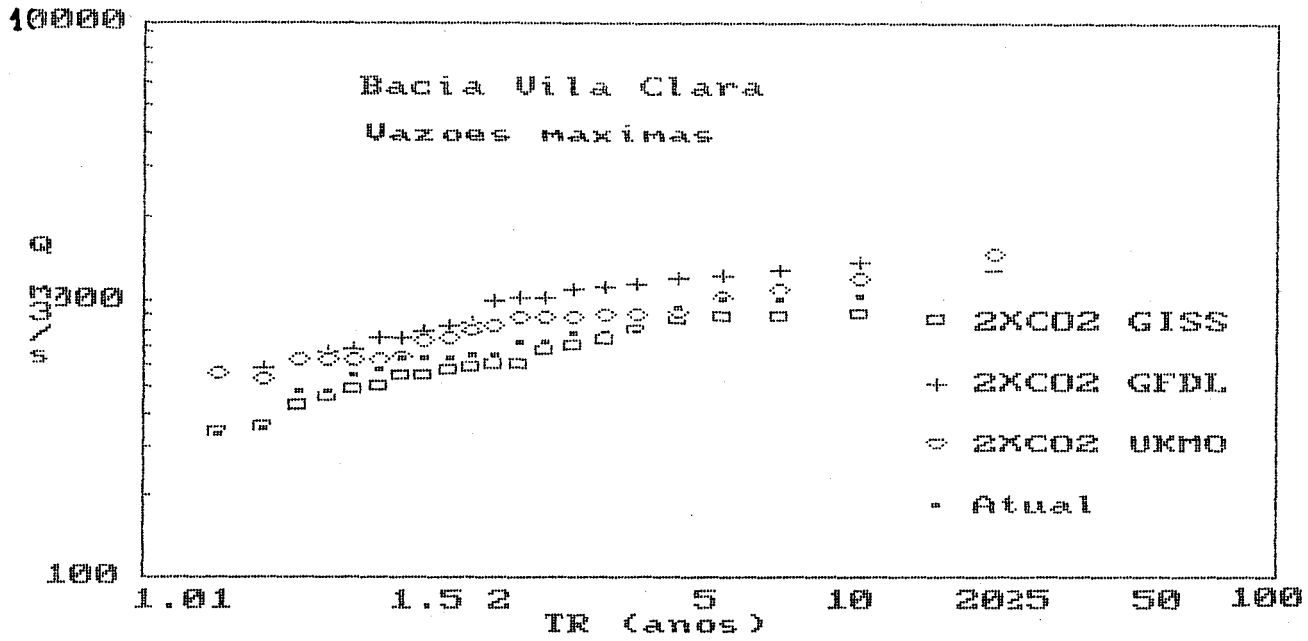


Figura D.15: Curva de Frequência de Vazões Máximas (GCMs) (Vila Clara)

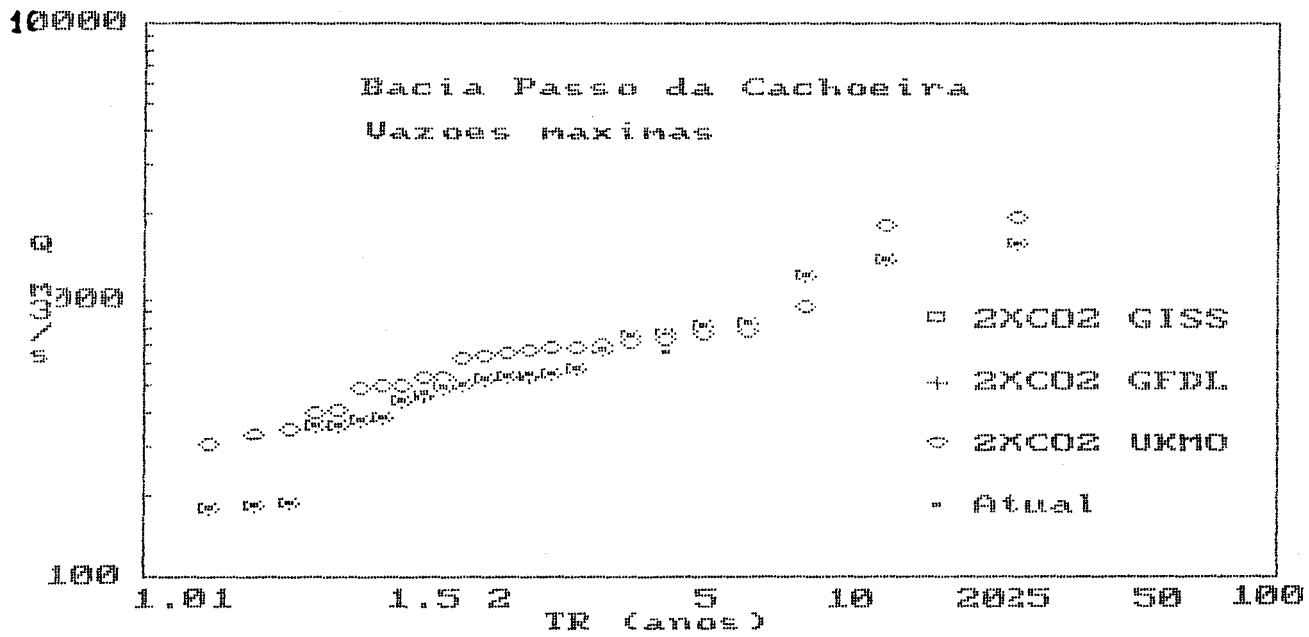


Figura D.16: Curva de Frequência de Vazões Máximas (GCMs) (Passo da Cachoeira)

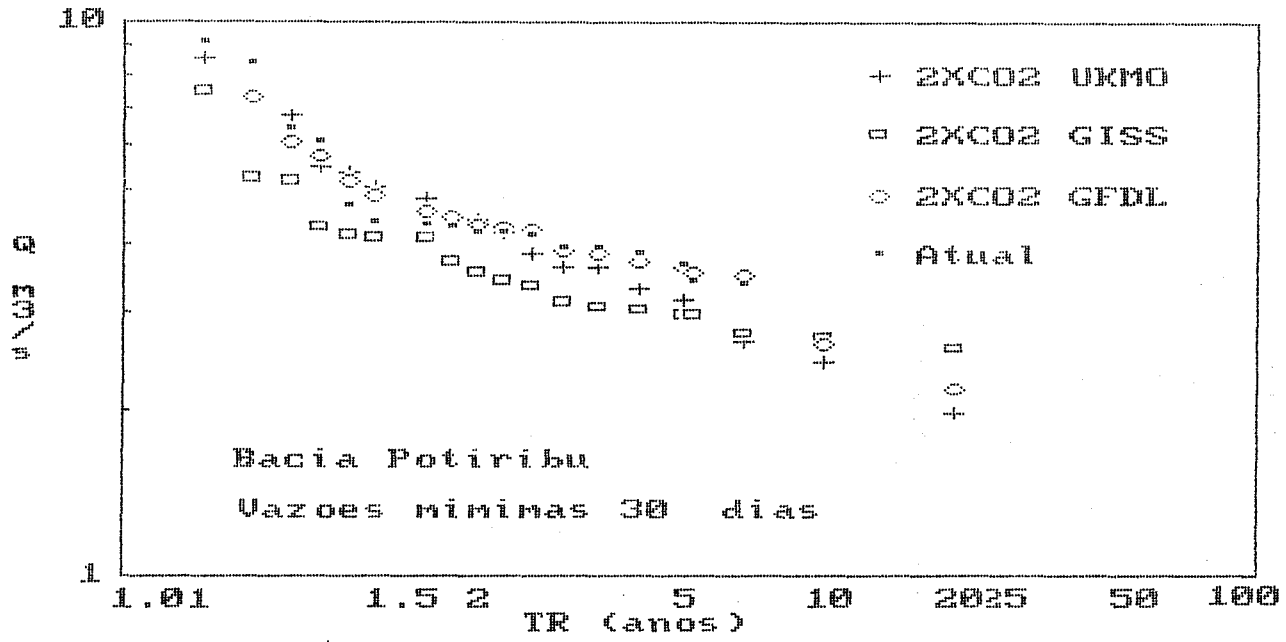


Figura D.17: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (GCMs)(Potiribu)

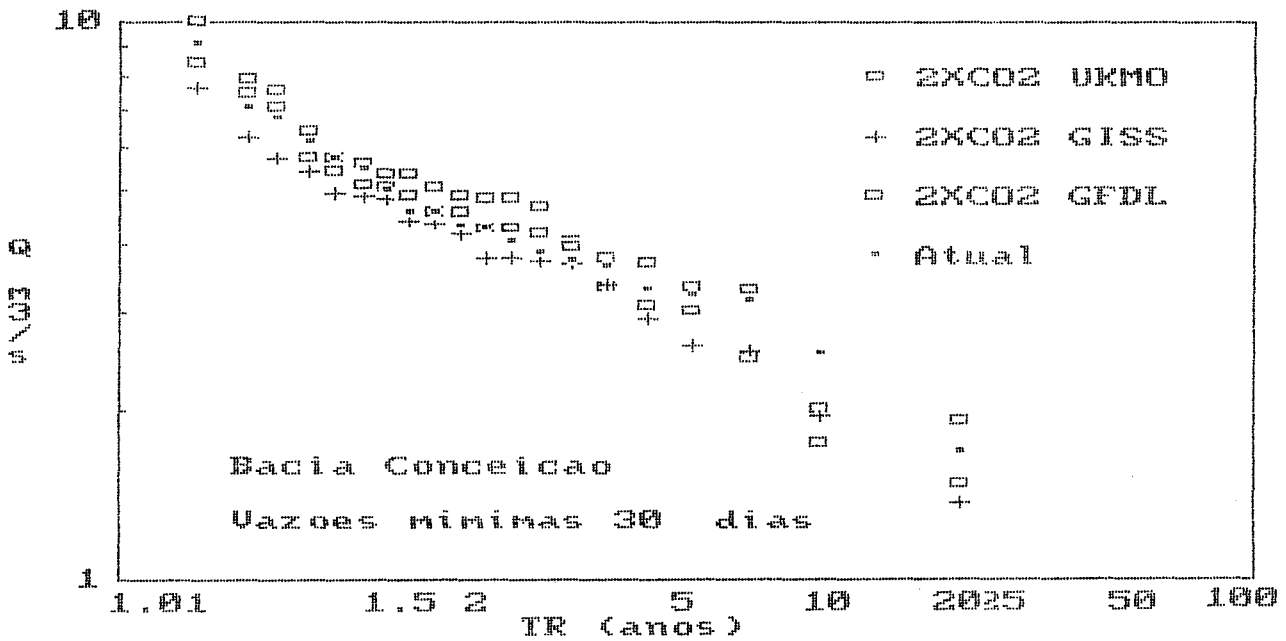


Figura D.18: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (GCMs)(Conceição)

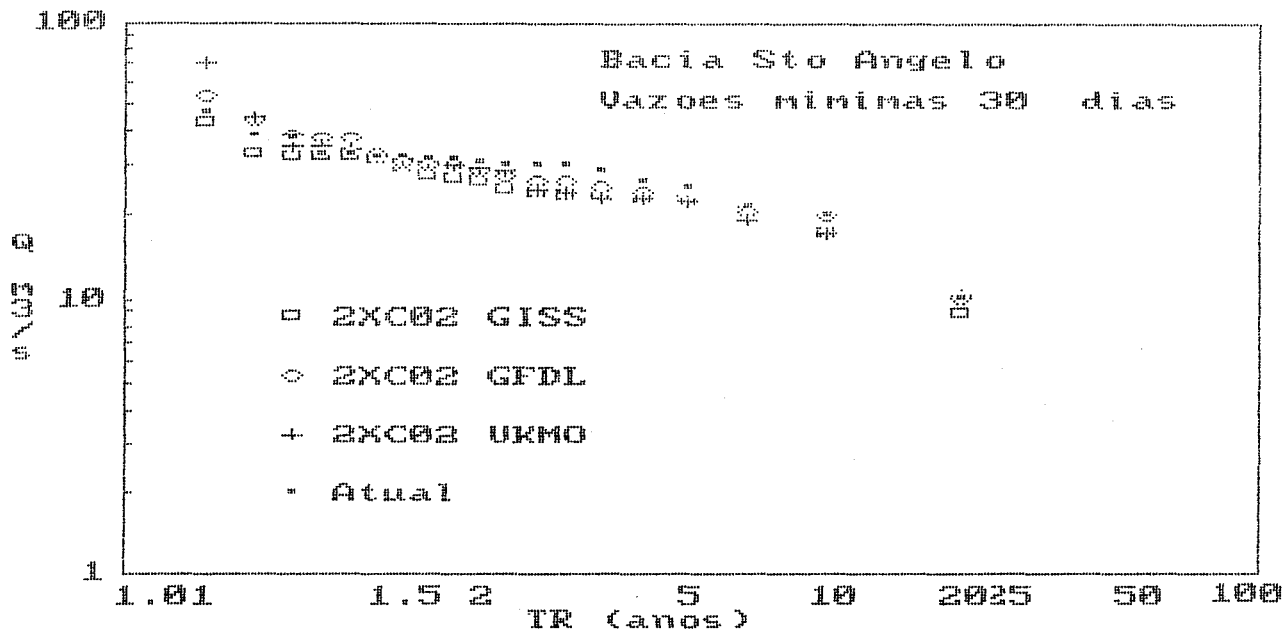


Figura D.19: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (GCMs) (Sto Ângelo)

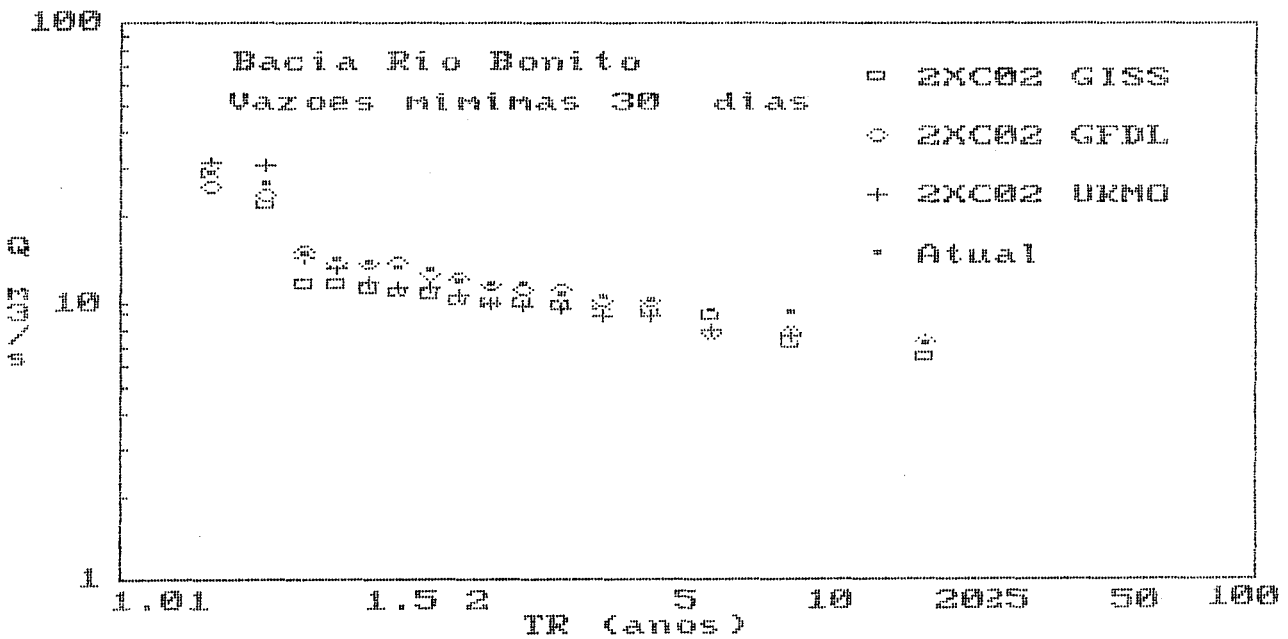


Figura D.20: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (GCMs) (R. Bonito)

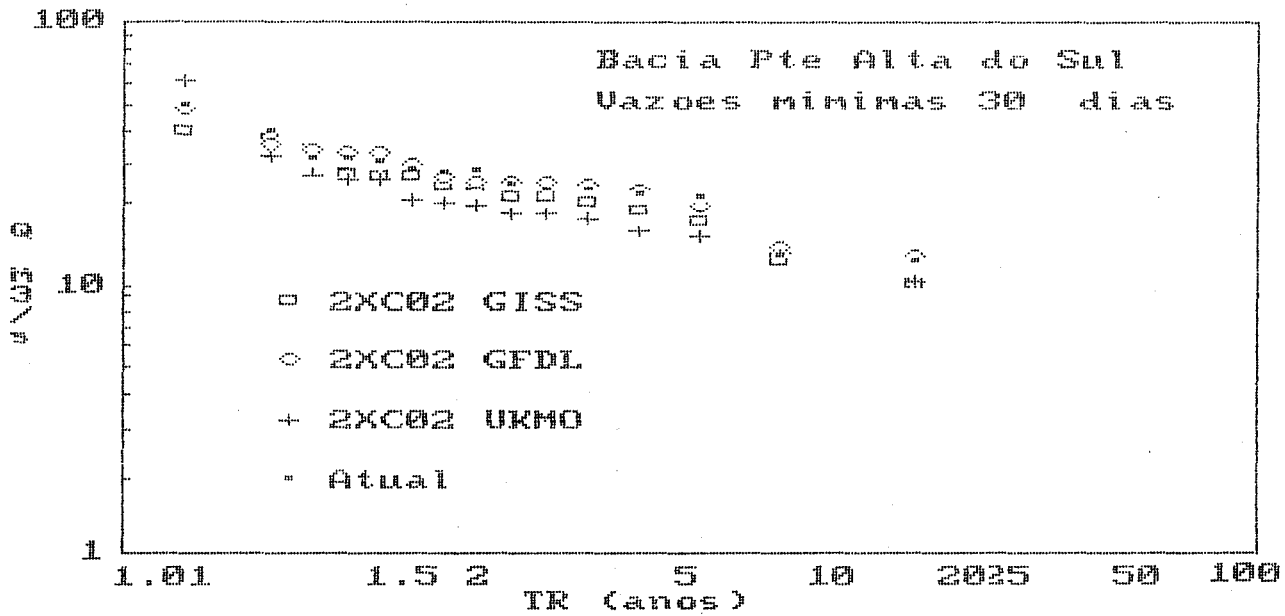


Figura D.21: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (GCMs) (Pte A. do Sul)

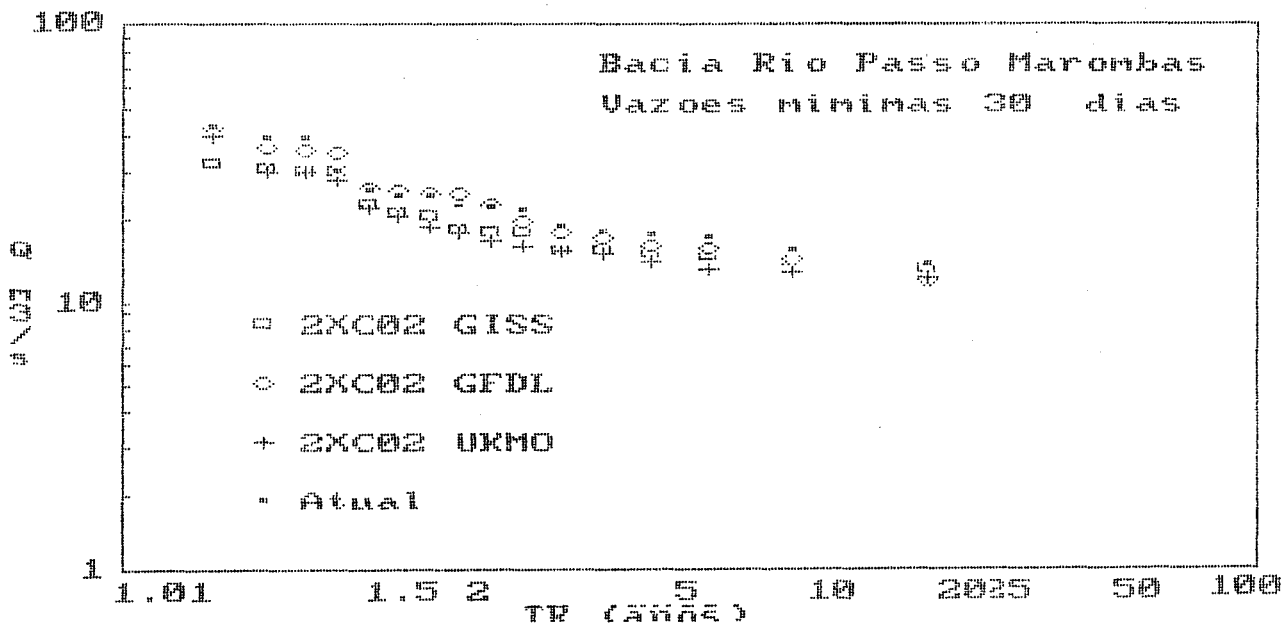


Figura D.22: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (GCMs) (Passo Marombas)

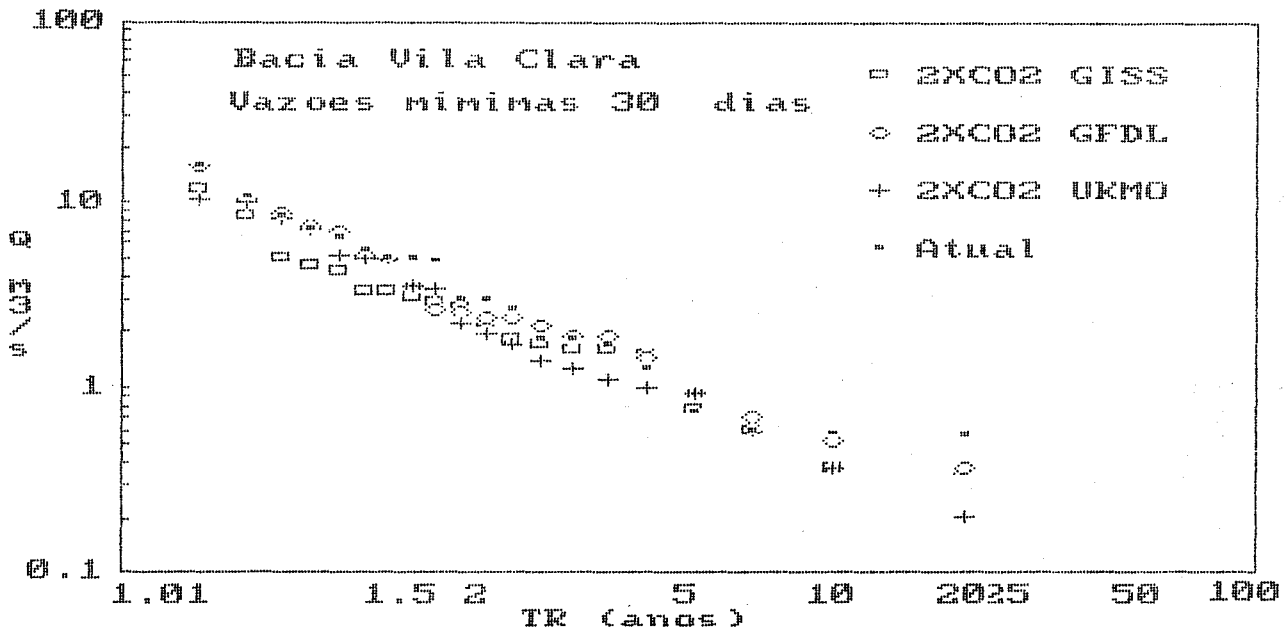


Figura D.23: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (GCMs) (Vila Clara)

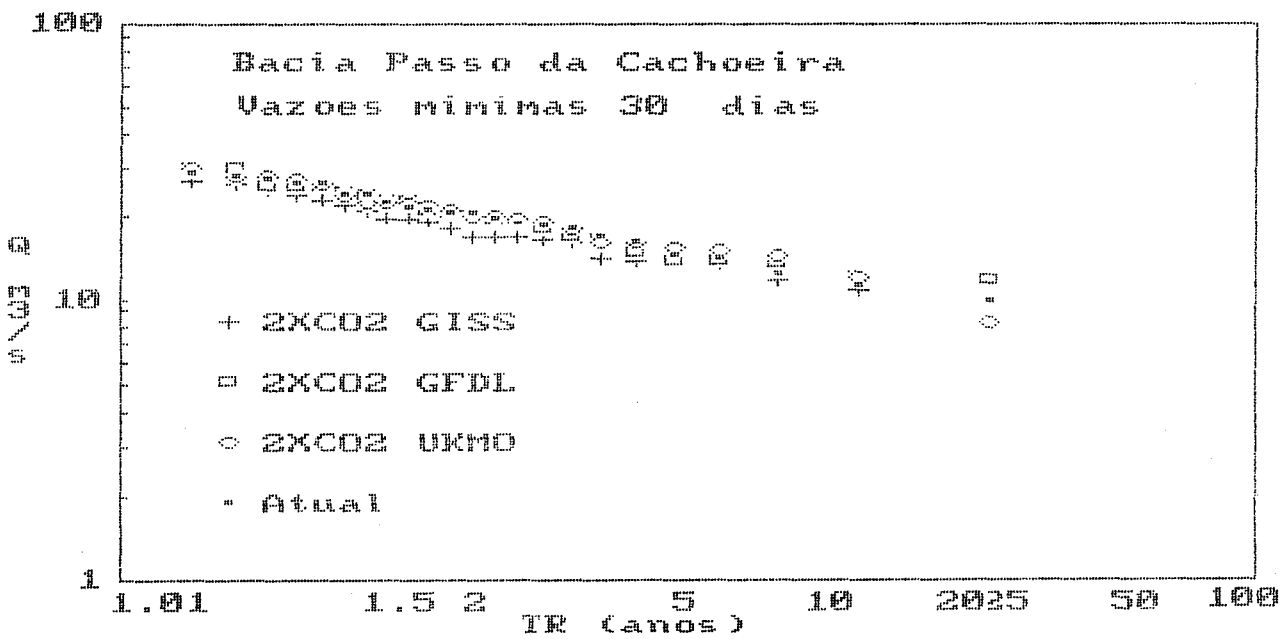


Figura D.24: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 30 dias (GCMs) (Passo da Cachoeira)

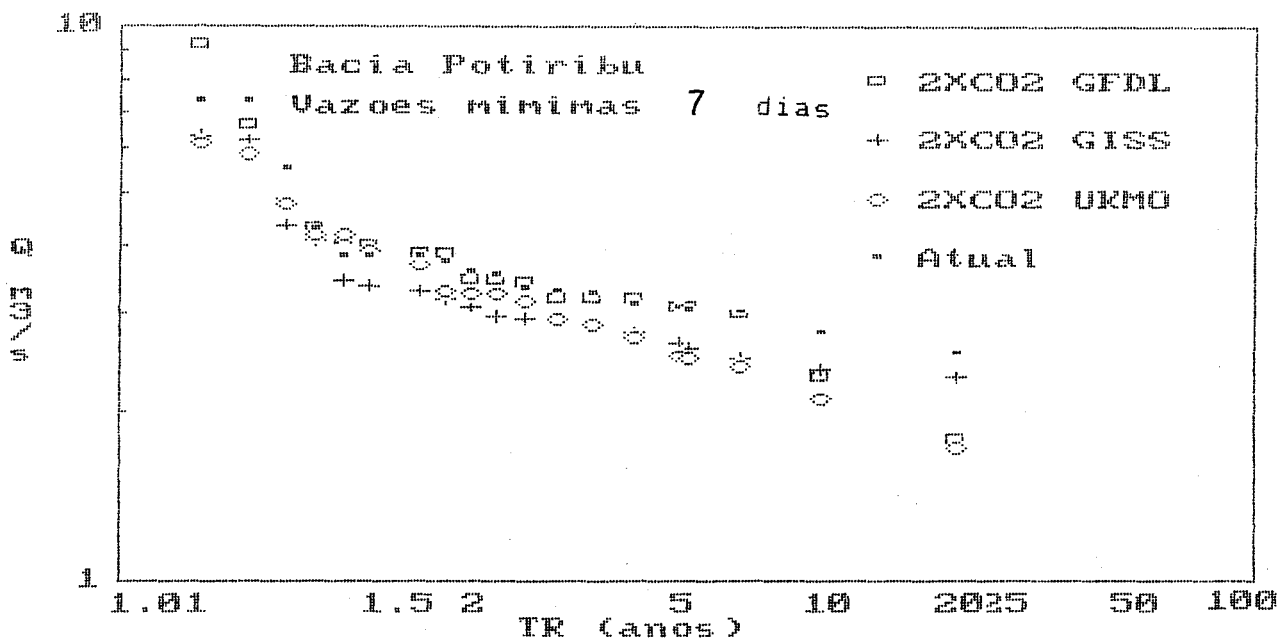


Figura D.25: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias (GCMs)(Potiribu)

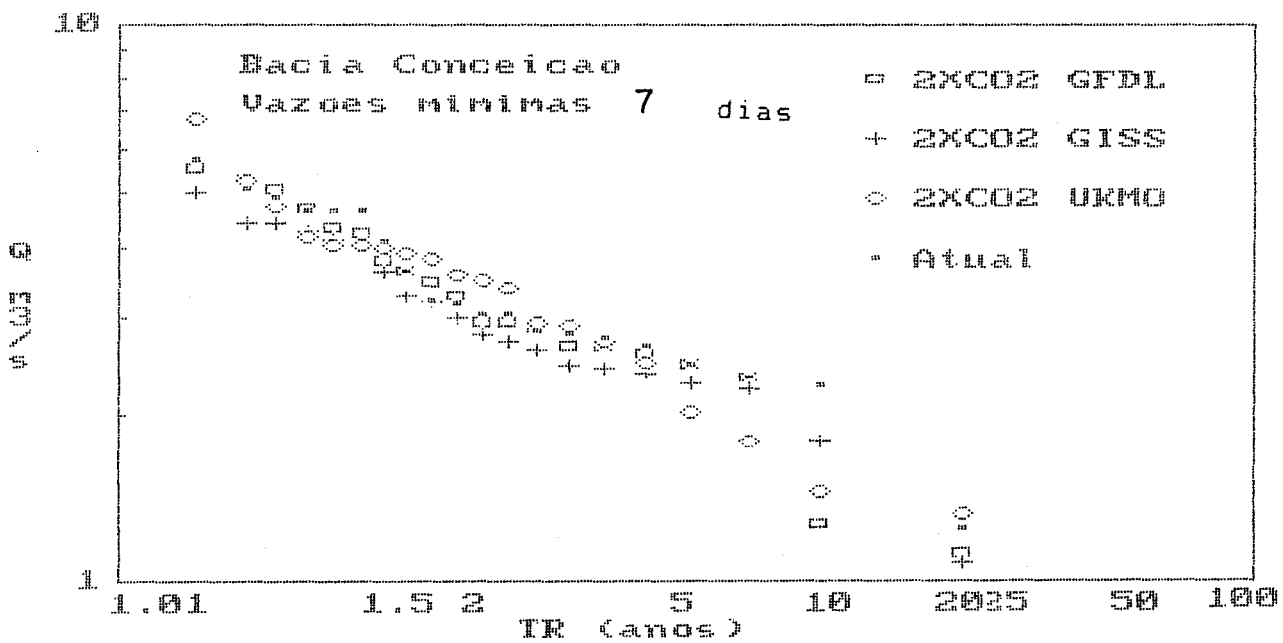


Figura D.26: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias (GCMs)(Conceição)

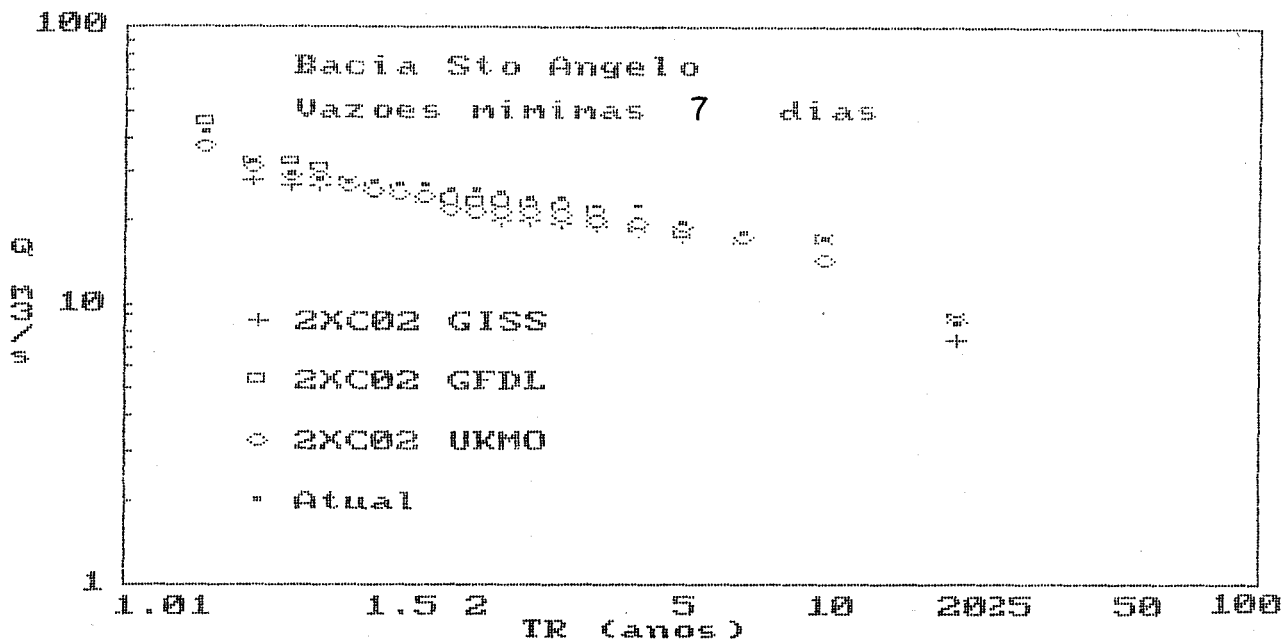


Figura D.27: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias (GCMs) (Sto Ângelo)

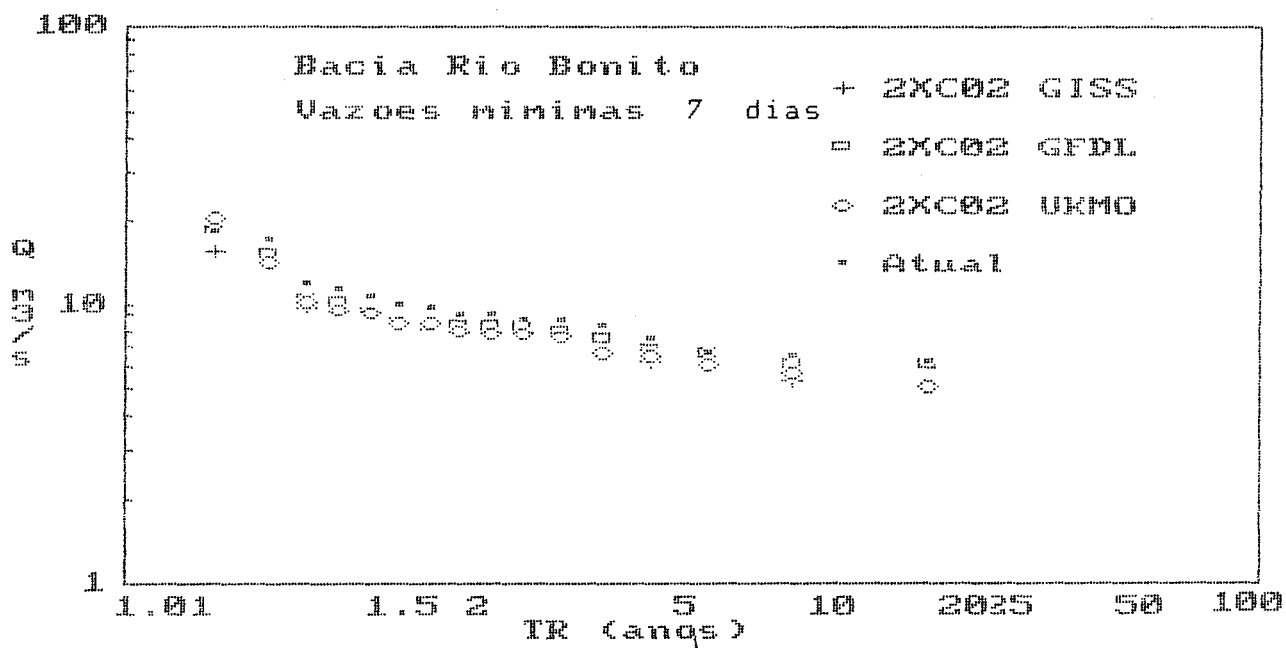


Figura D.28: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias (GCMs)(R. Bonito)

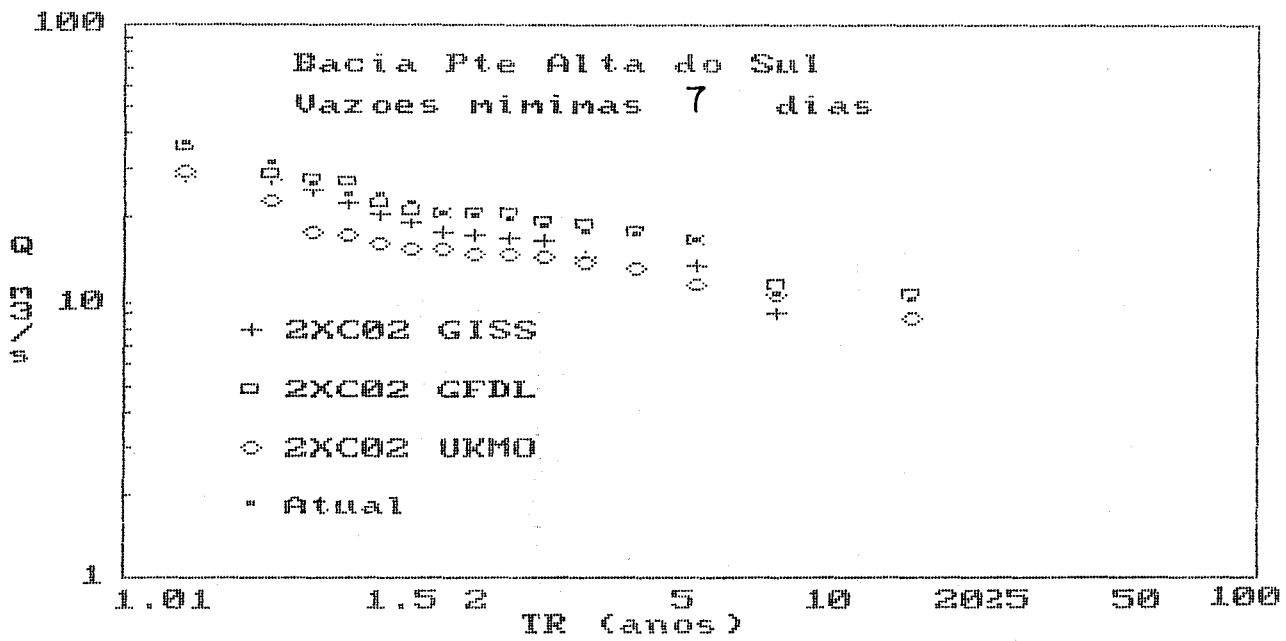


Figura D.29: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias (GCMs) (Pte A. do Sul)

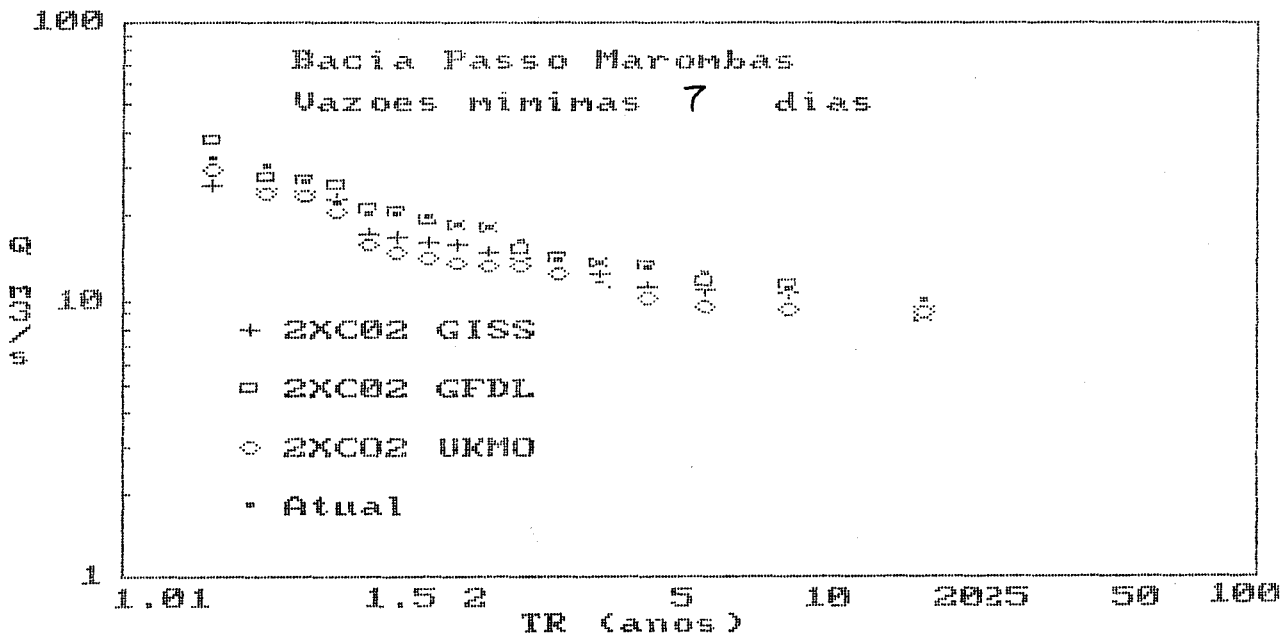


Figura D.30: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias (GCMs) (Passo Marombas)

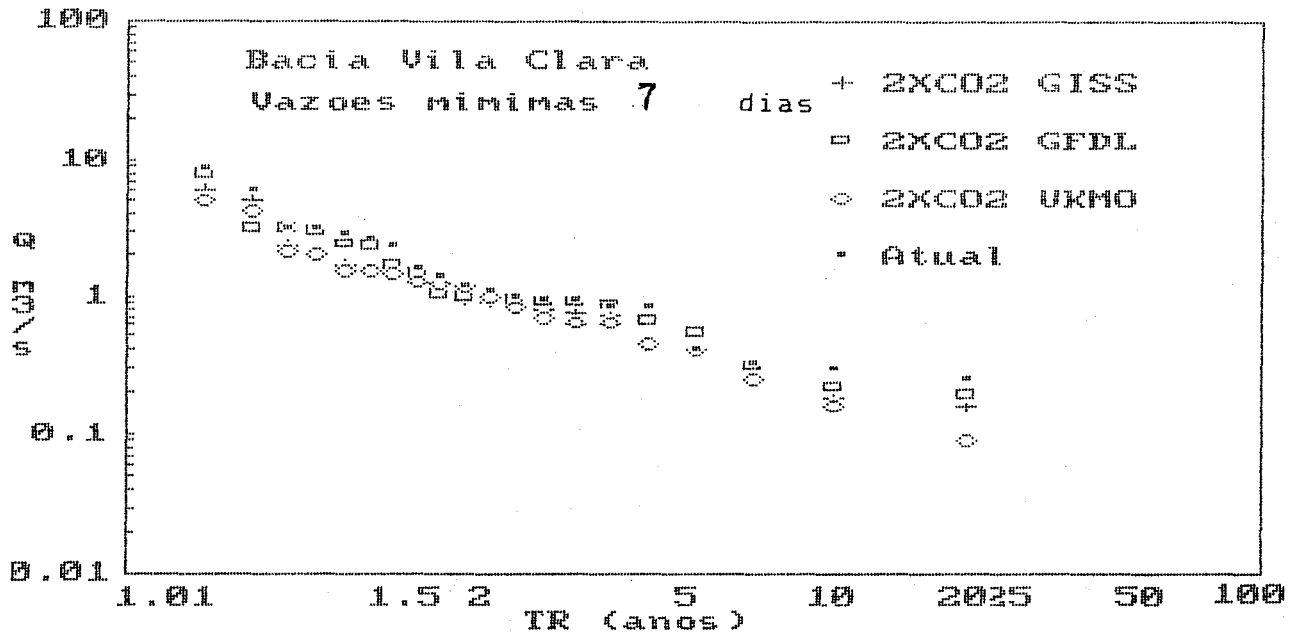


Figura D.31: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias (GCMs) (Vila Clara)

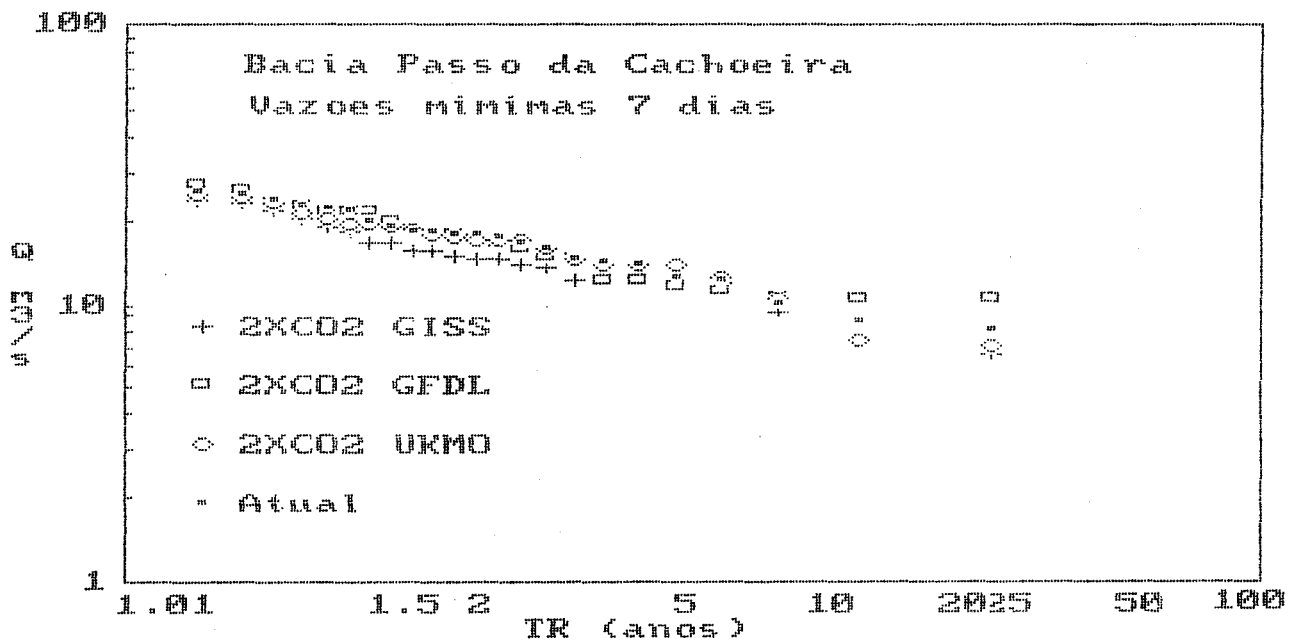


Figura D.32: Curva de Frequência de Vazões Mínimas 7 dias (GCMs) (Passo da Cachoeira)

CURVA DE REGULARIZACAO

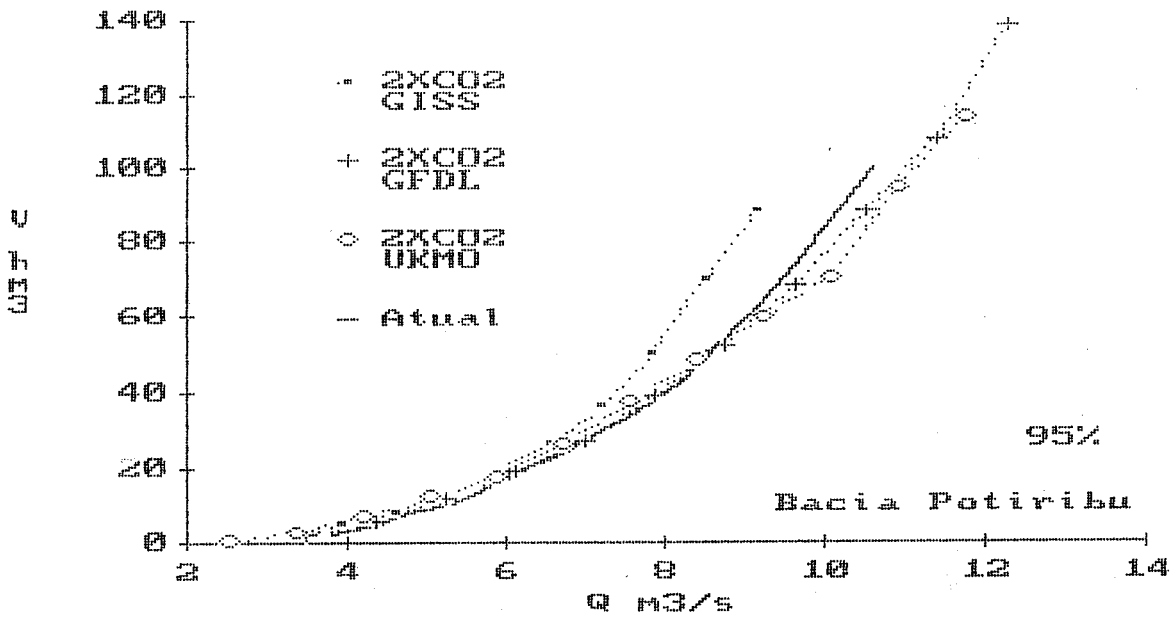


Figura D.33: Curva de Regularização - 95 % (GCMs)(Potiribu)

CURVA DE REGULARIZACAO

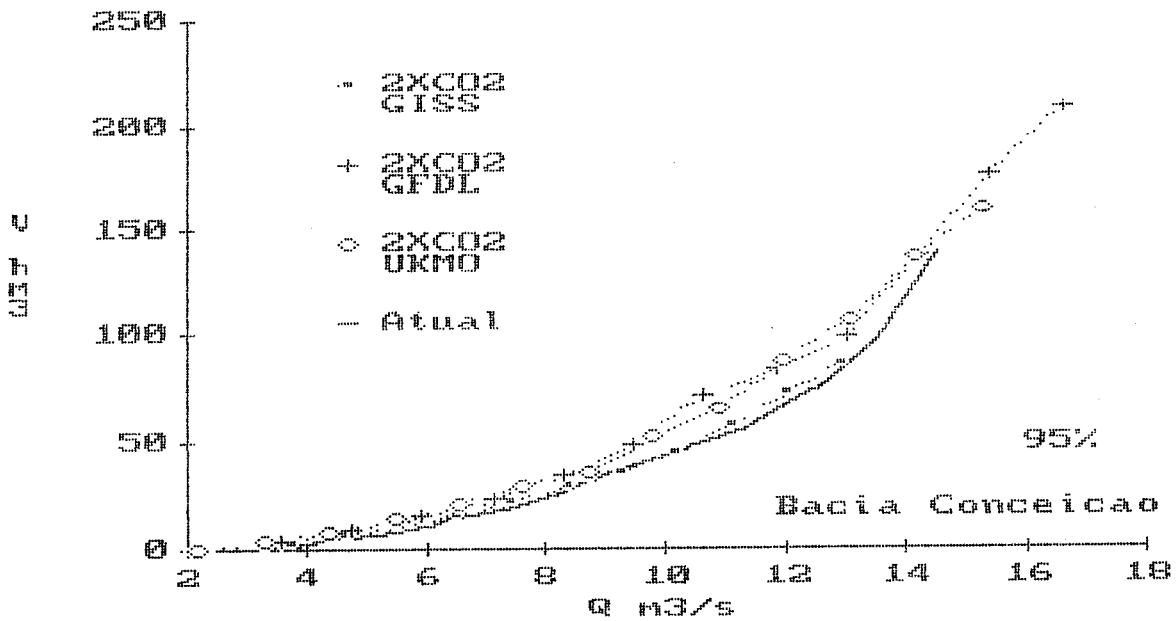


Figura D.34: Curva de Regularização - 95 % (GCMs)(Conceição)

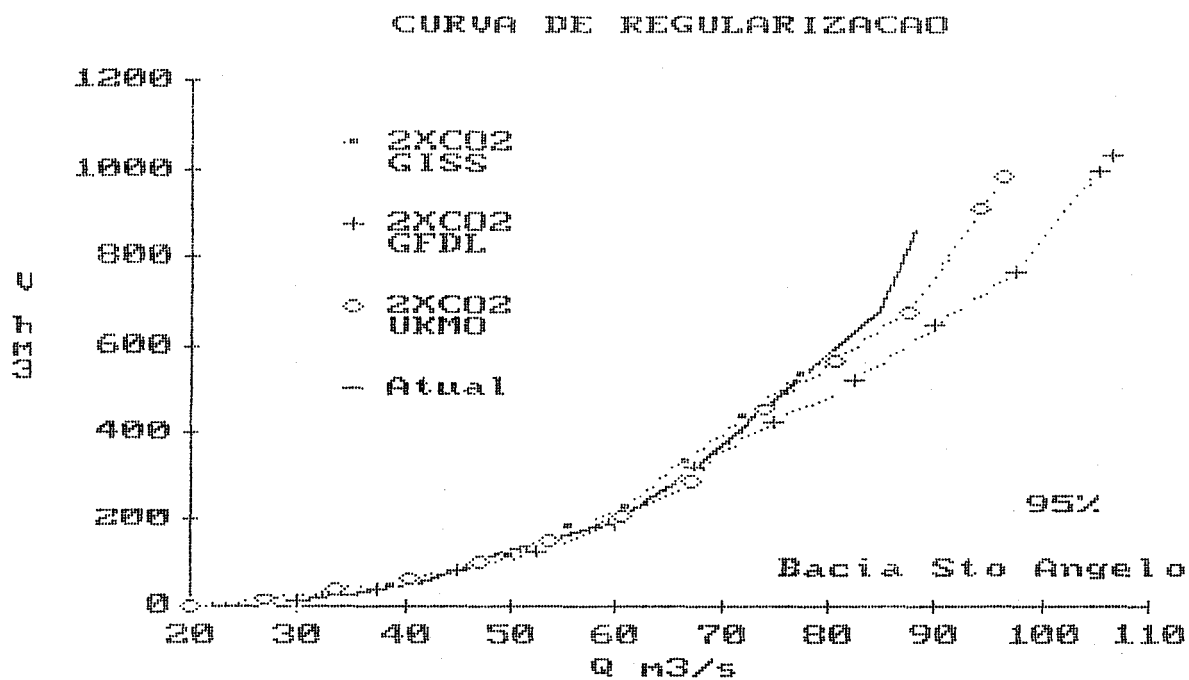


Figura D.35: Curva de Regularização - 95 % (GCMs) (Sto Ângelo)

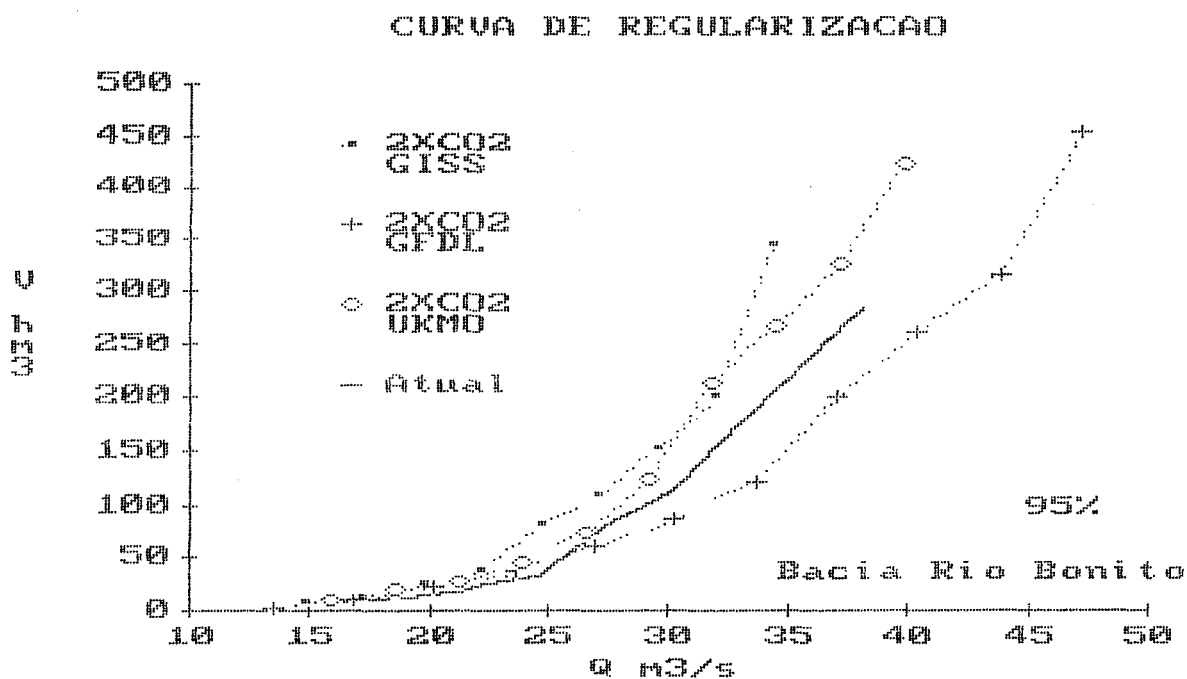


Figura D.36: Curva de Regularização - 95 % (GCMs) (Rio Bonito)

CURVA DE REGULARIZACAO

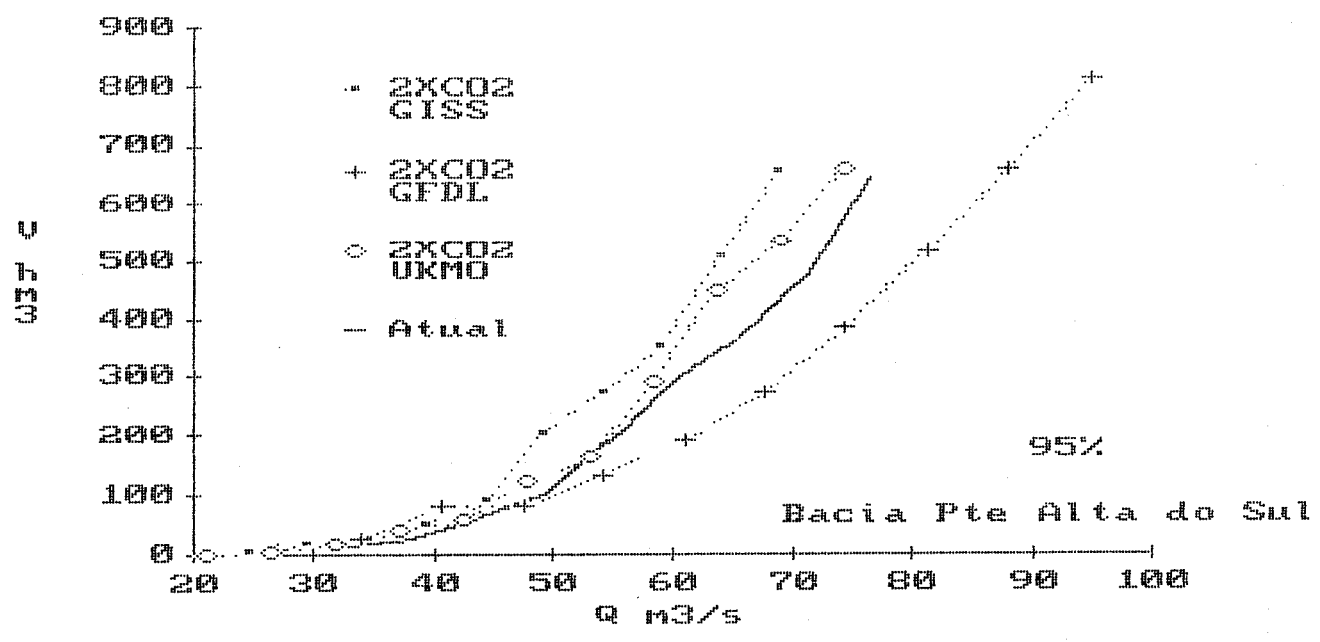


Figura D.37: Curva de Regularização - 95 % (GCMs) (Pte A. do Sul)

CURVA DE REGULARIZACAO

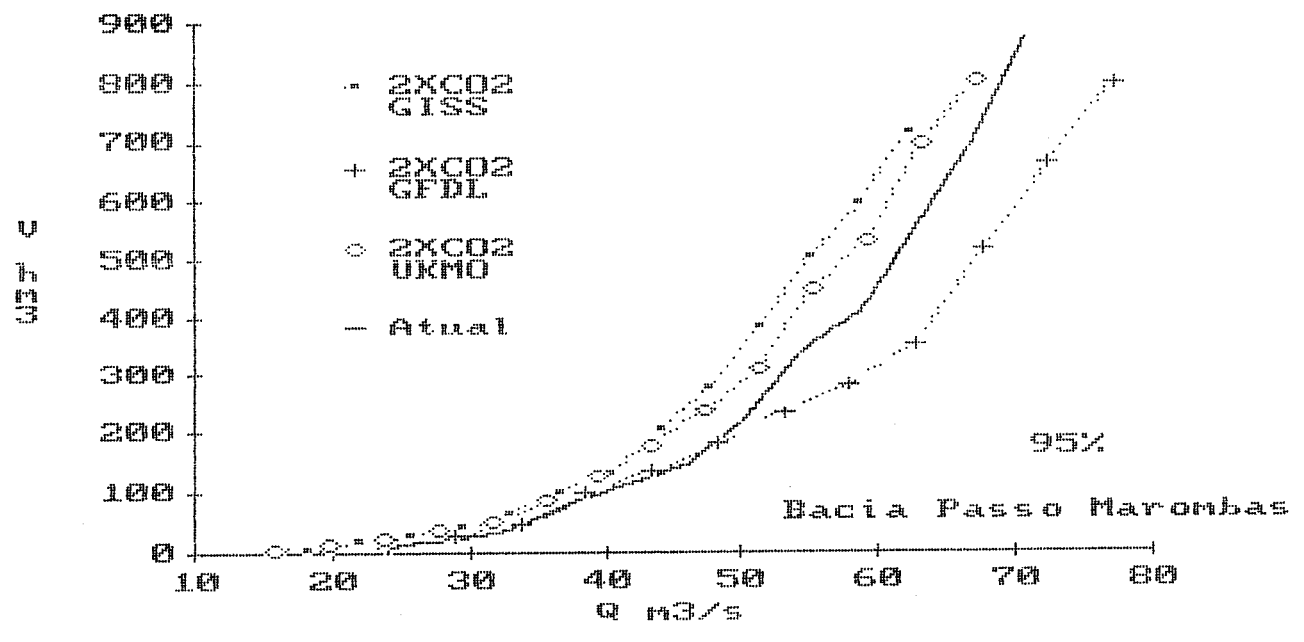


Figura D.38: Curva de Regularização - 95 % (GCMs) (Passo Marombas)

CURVA DE REGULARIZACAO

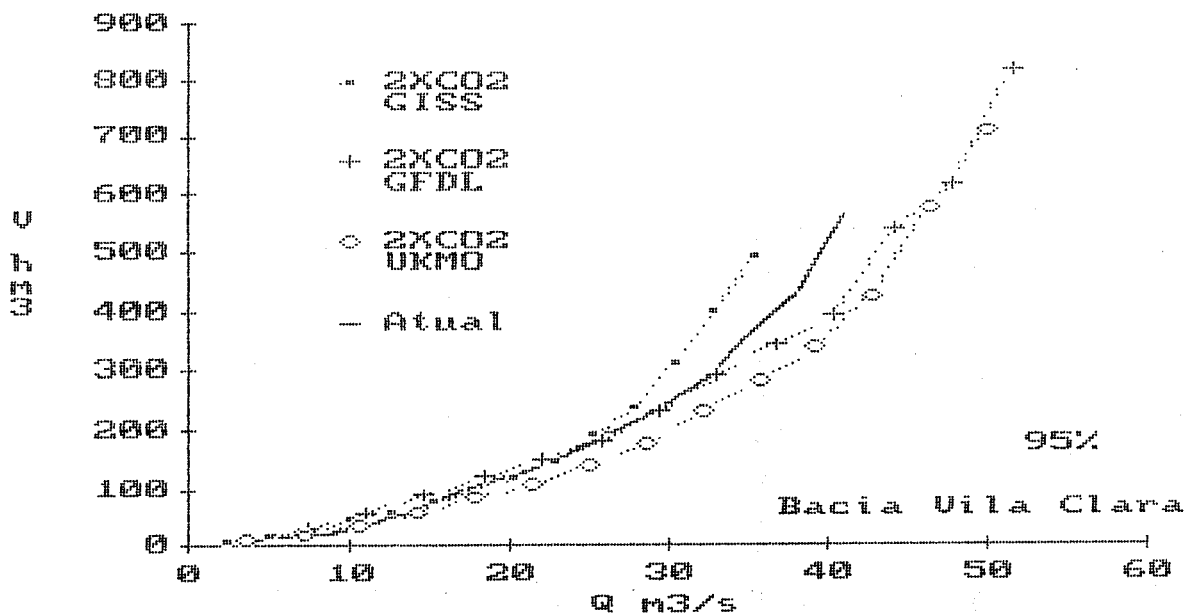


Figura D.39: Curva de Regularização - 95 % (GCMs) (Vila Clara)

CURVA DE REGULARIZACAO

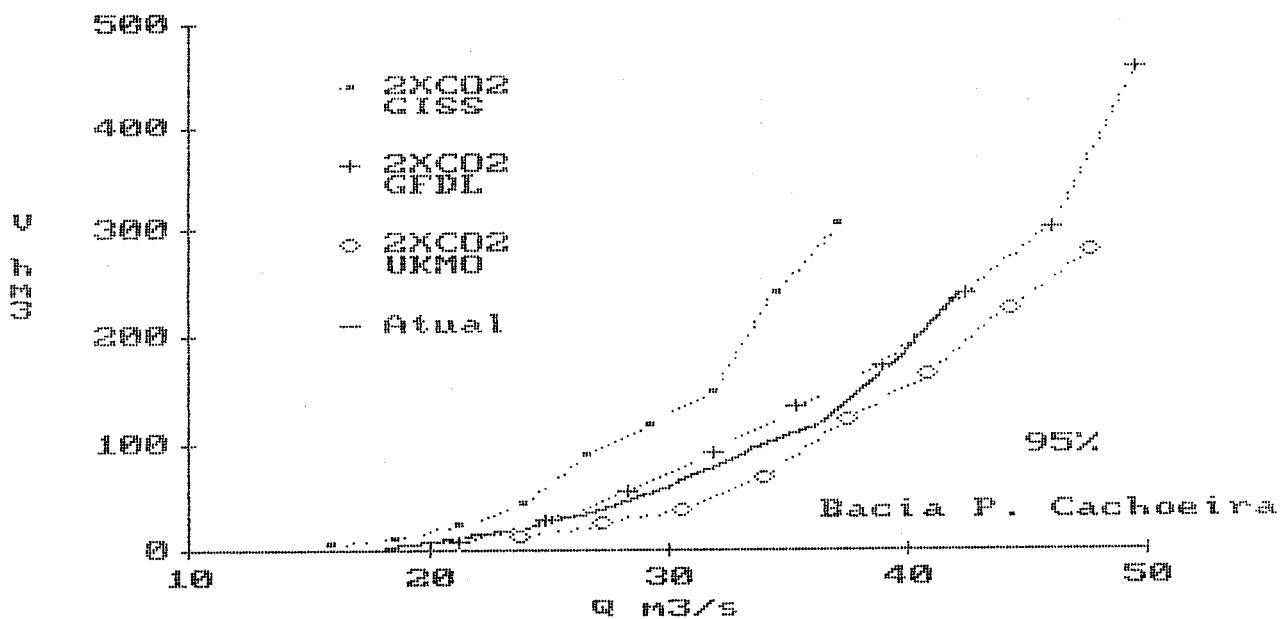


Figura D.40: Curva de Regularização - 95 % (GCMs) (Passo da Cachoeira)

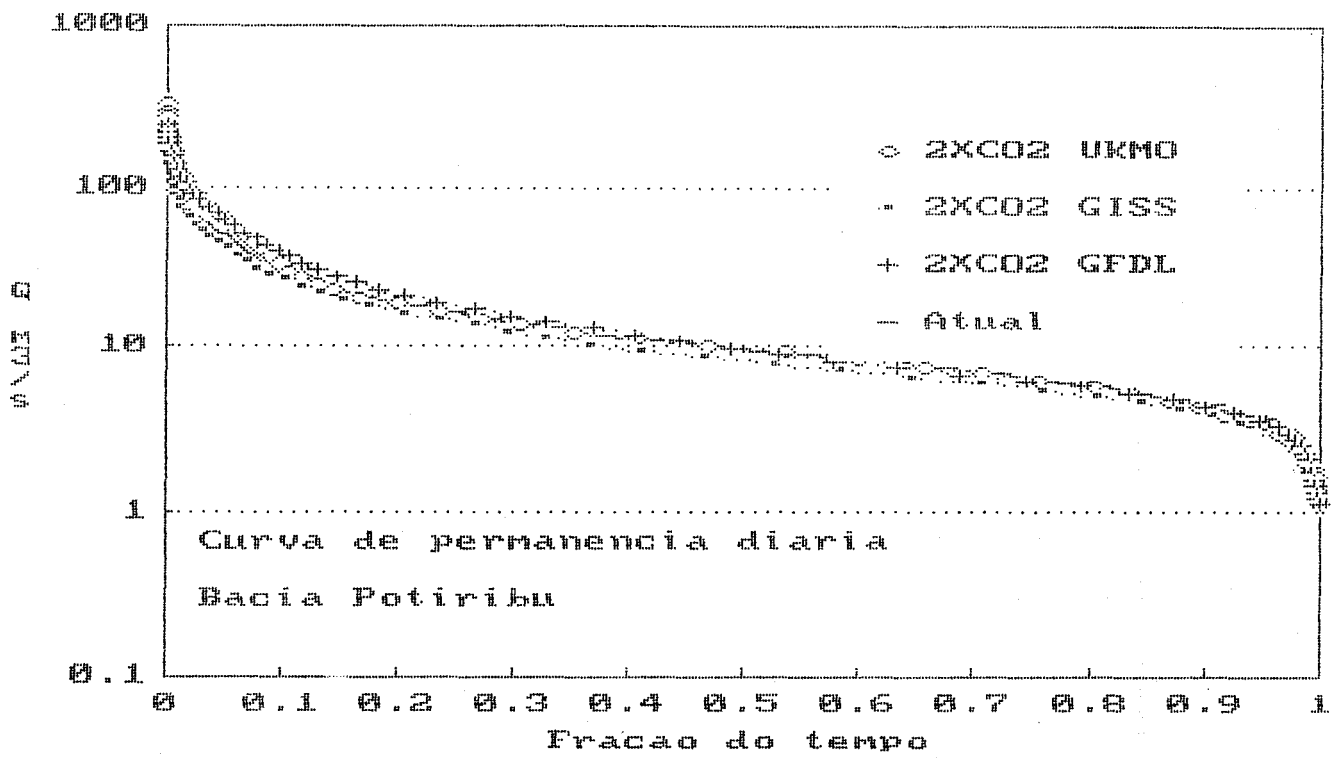


Figura D.41: Curva de Permanência (GCMs)(Potiribu)

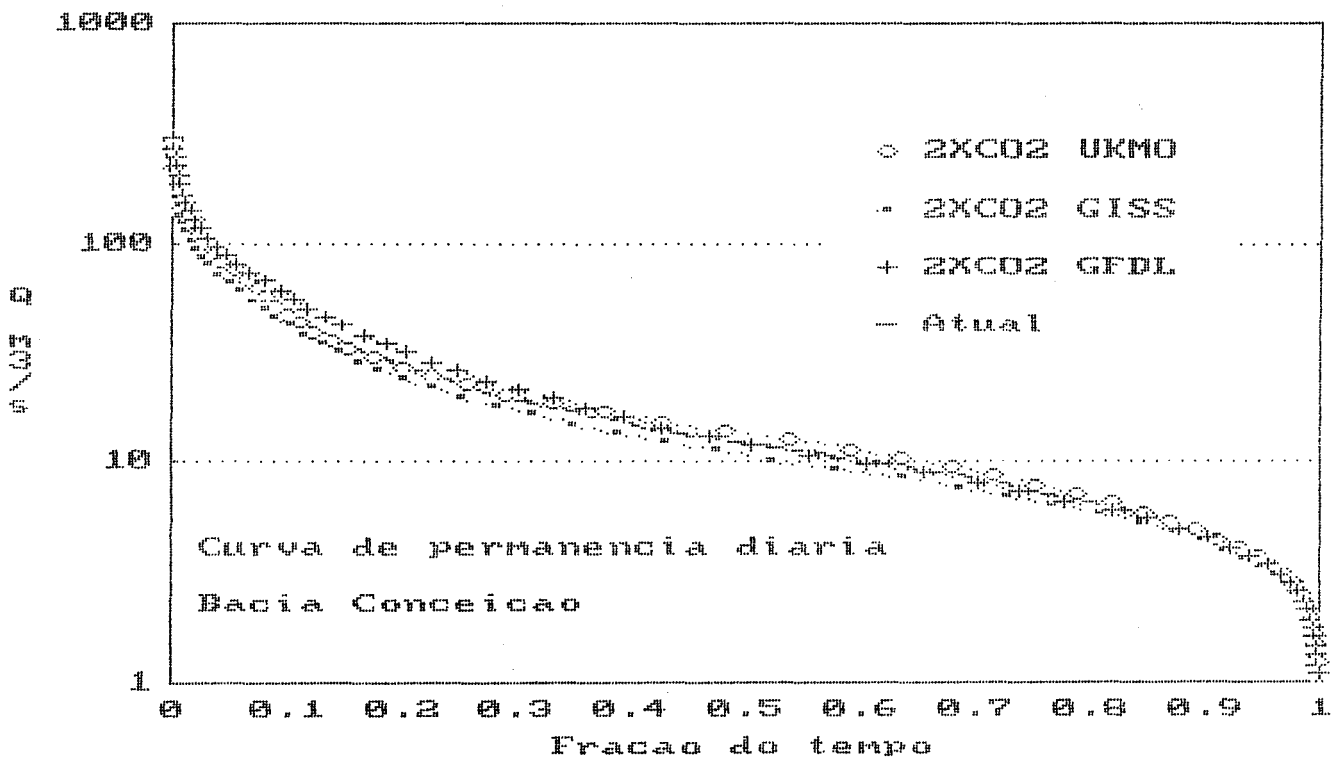


Figura D.42: Curva de Permanência (GCMs)(Conceição)

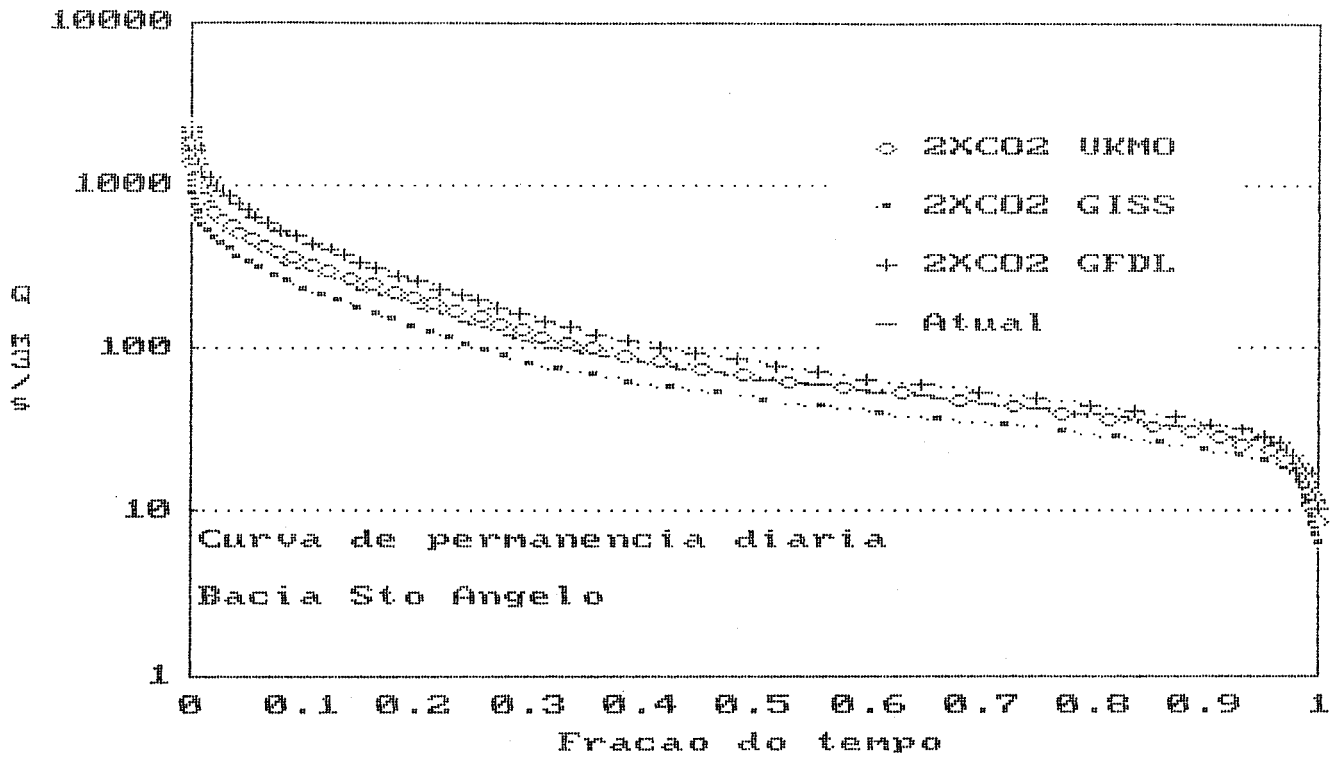


Figura D.43: Curva de Permanência (GCMs) (Sto Ângelo)

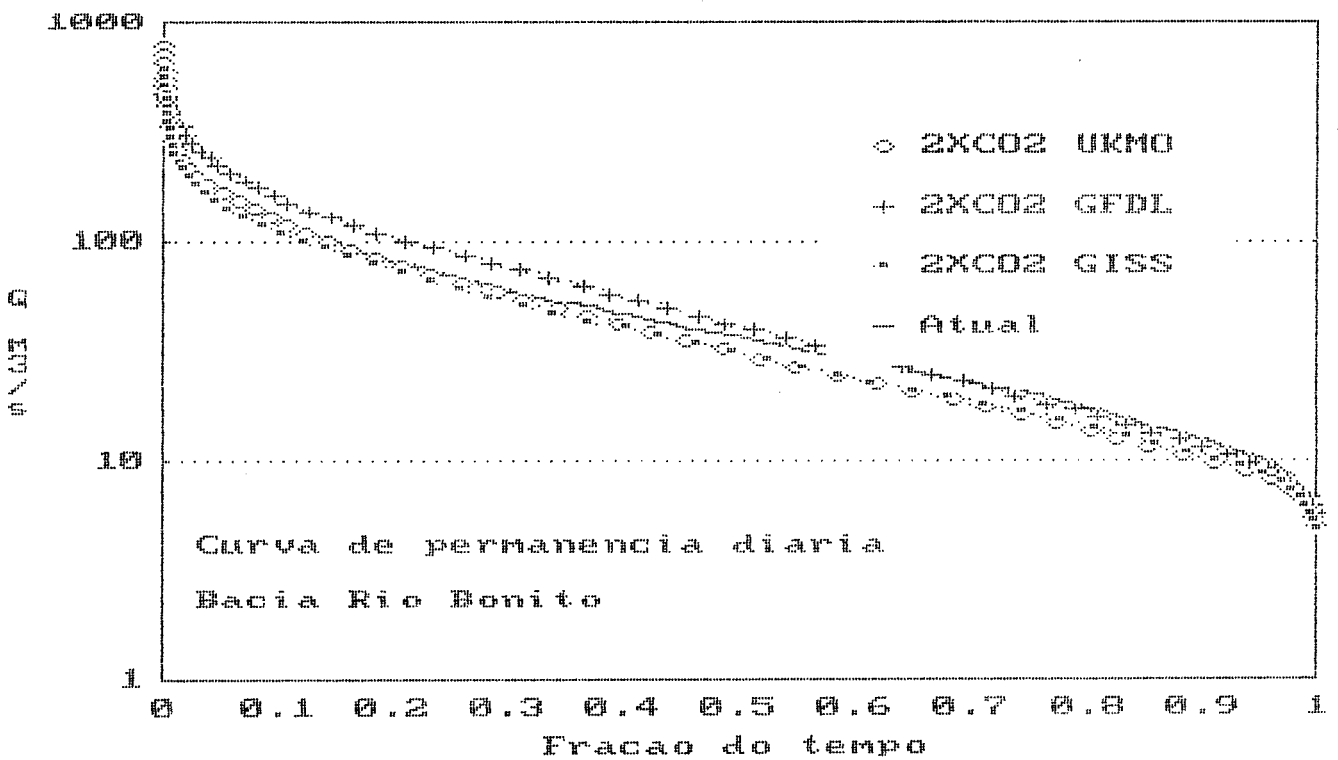


Figura D.44: Curva de Permanência (GCMs) (Rio Bonito)

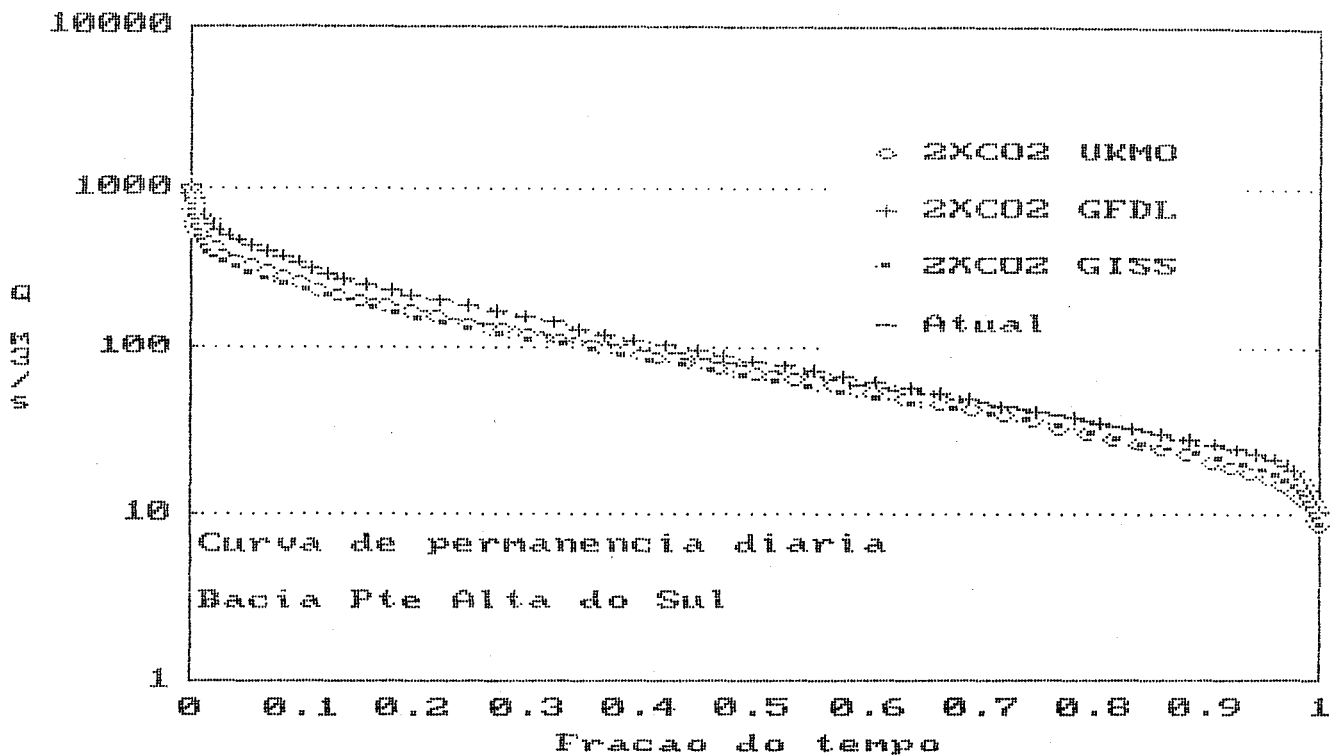


Figura D.45: Curva de Permanência (GCMs) (Pte A. do Sul)

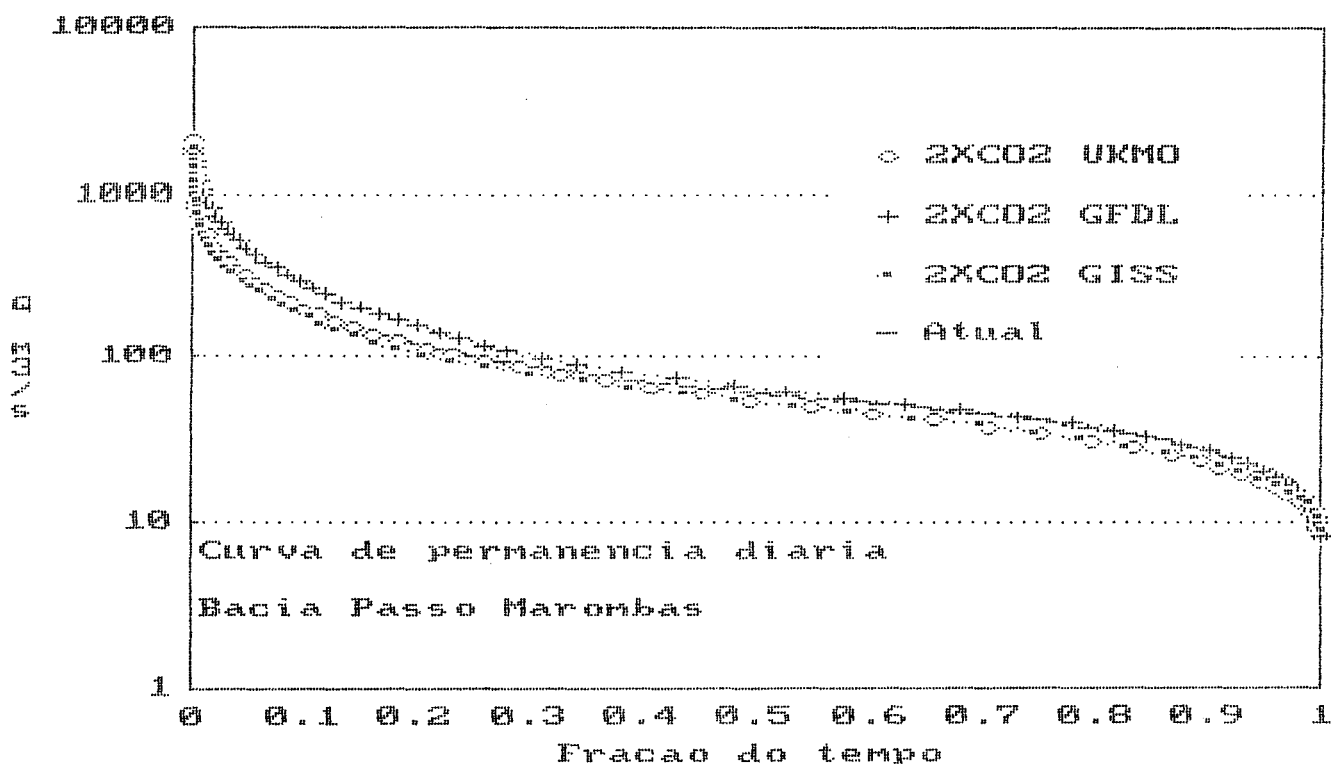


Figura D.46: Curva de Permanência (GCMs) (Passo Marombas)

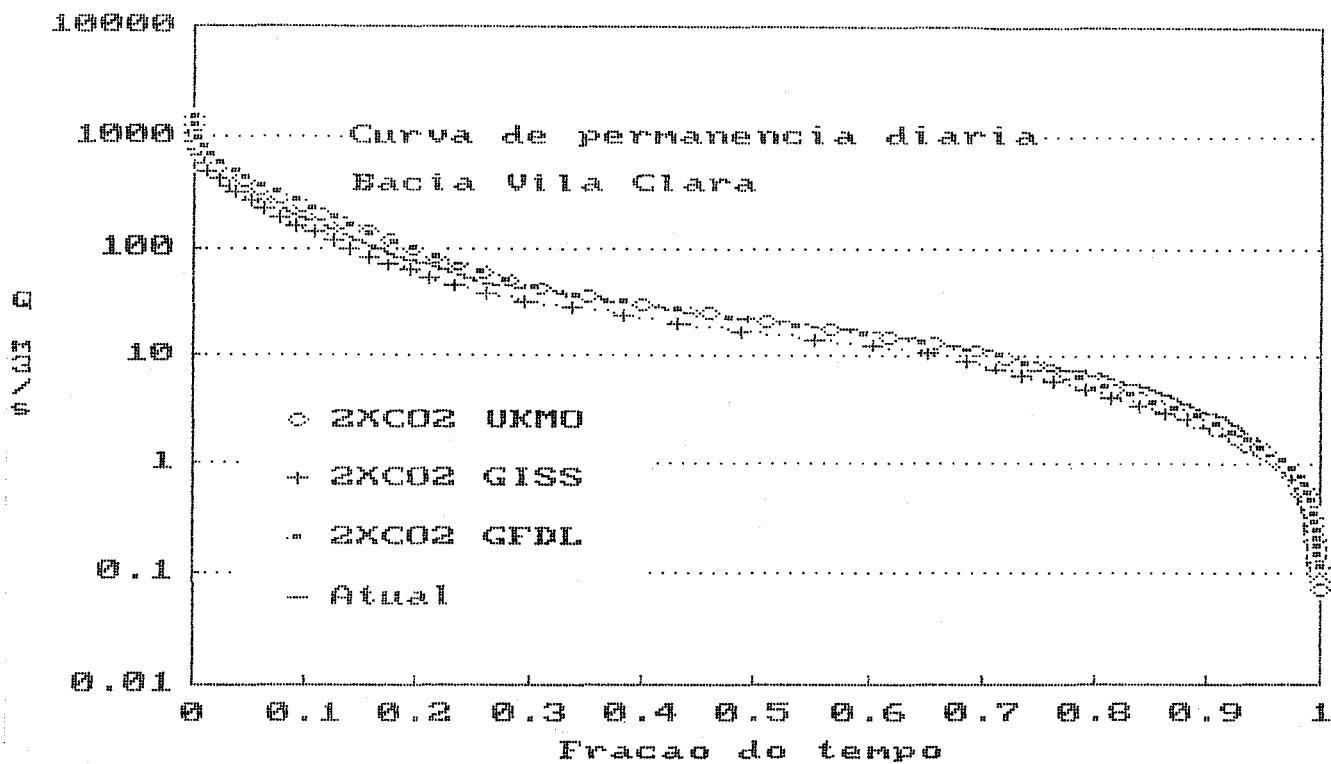


Figura D.47: Curva de Permanência (GCMs) (Vila Clara)

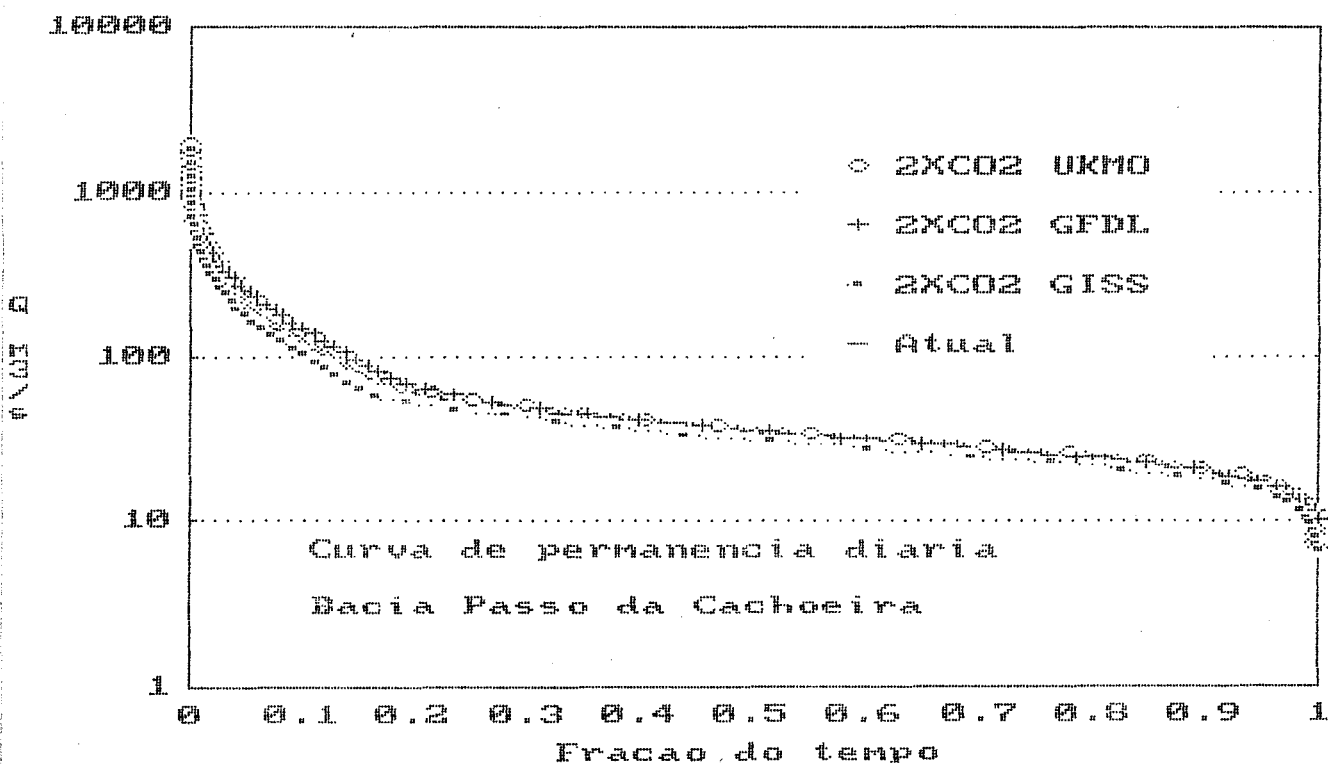


Figura D.48: Curva de Permanência (GCMs) (Passo da Cachoeira)