

RE/GPO/08

SEMINÁRIO NACIONAL DE
PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA

GRUPO VII

PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO
ECONÔMICA DE SISTEMAS
ELÉTRICOS

(G P O)

REVISÃO DO CONCEITO DE ENERGIA
FIRME ATRAVÉS DO USO DE SÉRIES
HIDROLÓGICAS SINTÉTICAS

Autores : Eng. Jerson Kelman
Eng. Frederico Birchal de Magalhães Gomes
Enr.^a Celange Fernandes Pinheiro
Eng. Mário Veiga Ferraz Pereira

Empresa : CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

Recife - PE - Brasil

1 9 7 9

1- OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é sugerir métodos de avaliação energética de bacias ou usinas através do uso de séries sintéticas de energias e vazões. Foram utilizados modelos de simulação a sistema equivalente e a usinas individualizadas. As séries de energia para o sistema equivalente foram obtidas de duas maneiras : diretamente, a partir de um modelo estocástico de energias afluentes, e indiretamente, a partir de vazões mensais sintéticas.

O estudo pode ser dividido em duas partes:

- . Comparação de curvas risco anual de déficit a mercado, para diferentes alternativas de simulação.
- . Levantamento de distribuições de probabilidades de variáveis consideradas de interesse, a partir dos resultados da simulação a usinas individualizadas.

2- MODELOS UTILIZADOS

2.1 Modelo a Sistemas Equivalente

Utilizou-se um modelo análogo ao MSSE - Modelo de Simulação a Sistema Equivalente, apresentado em (1).

As energias geradas diretamente foram obtidas através do modelo apresentado em (2), que pode ser resumidamente descrito como um esquema auto-regressivo de ordem 1, em que o componente independente tem distribuição log-normal. A média, o desvio padrão, o coeficiente de autocorrelação e a assimetria são estimados para cada mês do ano.

As vazões utilizadas na geração indireta de energias foram obtidas através do modelo apresentado em (3). Neste modelo o logaritmo das vazões é representado por um esquema auto-regressivo de ordem 1, em que o componente independente tem distribuição normal. Os parâmetros são também estimados mês a mês. A dependência espacial é preservada reproduzindo-se a matriz de correlação dos resíduos.

2.2 Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas

O modelo está detalhadamente apresentado em (4). Tem função análoga à do MSUI - Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas (5), com algumas simplificações. Seu objetivo é simular a operação de um sistema puramente hidráulico. A configuração é estática e o programa não faz balanço de ponta. A maior rapidez deste modelo em relação ao MSUI foi a principal razão que motivou a sua utilização, pois é cerca de 35% mais rápido para a configuração testada. Seu desempenho foi comparado com o do MSUI no que se refere à operação, e os resultados foram considerados satisfatórios (4). Utilizaram-se as mesmas vazões sintéticas mencionadas no item anterior.

3- ESTUDOS PROBABILÍSTICOS

3.1 Energia Garantida

O conceito de energia garantida a um certo risco é o equivalente probabilístico da energia firme. De fato, a energia-firme é o maior mercado que uma dada configuração pode suprir sem ocorrência de deficit, caso se repetam as vazões do histórico. Analogamente, a energia garantida ao risco r é o mercado de energia que esta configuração poderá atender com probabilidade anual de deficit r .

O período crítico do histórico também tem seu equivalente na simulação probabilística : um mês pertence a um período seco se houver um deficit no futuro e se o reservatório equivalente não encher completamente no intervalo que vai deste mês até a ocorrência de deficit. É possível, portanto, considerar distribuições de probabilidades restritas a meses que pertençam a períodos secos.

Para uma configuração, denomina-se curva risco x energia garantida a curva formada pelo conjunto de pontos (r, e) , onde e é a energia garantida ao risco anual de deficit r .

Estas curvas possuem uma utilização imediata na avaliação da contribuição energética de uma usina ou bacia. Considere-se a configuração C1 e acrescente-se a C1 uma bacia B, obtendo-se a configuração C2. Fixando-se um risco r , obtêm-se e_1 e e_2 , energias garantidas para C1 e C2. A diferença $e_2 - e_1$ é a contribuição energética de B ao risco r .

Utilizou-se a configuração do sistema Sul-Sudeste integrado, previsto para 1987.

A curva risco x energia garantida foi determinada utilizando os seguintes modelos:

- . Simulação a sistema equivalente com energias geradas diretamente
- . Simulação a sistema equivalente com energias geradas indiretamente
- . Simulação a usinas individualizadas.

A contribuição da bacia do Iguazu foi avaliada utilizando-se os dois primeiros métodos.

O primeiro problema foi decidir quantos anos utilizar na simulação. Para estudar este assunto, simulou-se o sistema para ambas as configurações (com e sem o Iguazu), durante 5000 anos. Por simplicidade, optou-se pelo modelo a sistema equivalente e geração direta de energias. A comparação das curvas risco x energia garantida para os primeiros 1000 anos e para os 5000 anos acha-se representada na ilustração 1. A maior diferença entre as duas curvas (de 1000 e de 5000 anos) é da ordem de 2%. No que diz respeito a avaliação do Iguazu (curva inferior), as diferenças são desprezíveis. Decidiu-se, portanto, utilizar amostras de 1000 anos.

A seguir, fez-se um estudo comparativo do desempenho do modelo a sistema equivalente com energias geradas direta e indiretamente. As curvas risco x energia gerada para

as duas configurações são mostradas na ilustração 2. Também estão assinaladas as energias firmes obtidas a partir das vazões históricas. Nota-se que as curvas associadas a cada alternativa, geração direta e indireta, são bastante distintas. A maior diferença é da ordem de 6% , ocorrida para a configuração sem o Iguaçu. É interessante observar que a subtração das energias firmes das duas configurações resulta num valor cerca de 25% maior (400 MW) do que o valor da energia garantida estimada por simulação com energias geradas diretamente. Esta diferença cai para 20% quando se utilizam energias geradas indiretamente.

Finalmente, procedeu-se à comparação do desempenho dos modelos a sistema equivalente e a usinas individualizadas . A ilustração 3 mostra, para a configuração de 67 completa, as curvas risco x energia garantida assim obtidas . Observa-se que a energia firme da configuração corresponde a um risco entre 0 e 1% para todas as alternativas de simulação. O modelo a sistema equivalente com geração indireta de energia comportou-se de maneira semelhante ao das usinas individualizadas para riscos entre 1 e 3%. Nesta faixa, a simulação a partir de energias geradas diretamente é pessimista - para um mesmo risco associa um mercado mais baixo. Para riscos mais elevados, ambas as simulações a sistema equivalente passam a ser otimistas. Este efeito poderia ser atribuído ao fato de que o modelo a sistema equivalente ignora vertimentos localizados.

3.2 Resultados da Simulação Usinas Individualizadas

Para cada mercado, para todos os meses simulados, foram armazenados os resultados obtidos : a energia gerada em cada usina, a potência disponível, o volume de fim de mês, e outros. A partir destes dados é possível reconstituir-se o estado do sistema em cada mês da simulação. Estes valores podem ser úteis, por exemplo, no cálculo da probabilidade de perda de carga, a partir das potências disponíveis em cada usina, a cada mês.

A título de exemplo foram calculadas, para a configuração de 1987, com mercado de 22000MW, as distribuições acumuladas de probabilidades das seguintes variáveis aleatórias:

- . Mínima energia mensal gerada em cada ano
- . Mínima potência mensal disponível em cada ano
- . Mínimo volume de fim de mês em cada ano
- . Participação da usina ou bacia na geração em cada mês, definida como o quociente entre a energia gerada pela usina ou bacia e a produção total do sistema.

As variáveis do tipo "mínimo-no-ano" foram selecionadas para eliminar o efeito da sazonalidade.

Decidiu-se apresentar os resultados relativos às usinas de Furnas e Salto Osório, e também à Bacia do Iguaçu, conforme indica a tabela 1. Os resultados obtidos para a simulação com vazões históricas também serão apresentados para efeito de comparação.

As ilustrações 4 e 5 indicam que a distribuição de probabilidades da energia mínima gerada não difere substancialmente da obtida a partir do histórico. Este mesmo comportamento não foi encontrado no caso da potência mínima disponível. Deve-se observar nas ilustrações 6 e 7 que há uma discrepância entre os resultados do histórico e o das séries geradas para as potências baixas, que é a região de interesse para o estudo de confiabilidade de atendimento de ponta. Esta diferença parece resultar da probabilidade baixa de ocorrência de tais eventos (poucas observações no histórico).

As ilustrações 8 e 9 refletem as diferenças de operação para as duas usinas: Salto Osório se caracteriza por um volume útil relativamente pequeno, o que leva a uma ocupação frequente dos limites das faixas de deplecionamento, portanto a patamares na dis-

tribuição acumulada. A distância entre as curvas - guia de Furnas, por outro lado, é muito maior, o que leva a deplecionamentos até pontos intermediários.

Analisando a ilustração 10 verifica-se que a bacia do Iguaçu tem uma participação média a longo termo de 7,9 % na geração total, quando se utiliza um mercado de 22000 MW. Este resultado está próximo do valor da contribuição estimada através da simulação a sistema equivalente com energias geradas indiretamente (ilustração 2). Nota-se ainda que a participação do Iguaçu a longo termo nas séries geradas e no histórico é praticamente igual. A ilustração 11 mostra que a participação nos períodos secos das séries geradas é bastante distinta da correspondente à série histórica. A discrepância indica o possível erro cometido quando se avalia a contribuição da bacia do Iguaçu a partir do período crítico do sistema. É interessante notar a semelhança entre as seguintes distribuições (ilustrações 10 e 11):

- . Participação da Bacia do Iguaçu utilizando a série histórica, a longo termo
- . Participação da Bacia do Iguaçu utilizando a série gerada, a longo termo
- . Participação da Bacia do Iguaçu utilizando a série gerada, período seco.

Esta coincidência provavelmente tem origem na pequena correlação existente entre energias geradas no Sistema e na Bacia do Iguaçu. Ou seja, o uso do período seco da série histórica não é suficiente para estimar corretamente a contribuição desta bacia.

4- CONCLUSÕES

- . A energia firme da configuração de 87 corresponde a um risco de no máximo 1% para qualquer dos modelos adotados.
- . A contribuição energética da Bacia do Iguaçu para riscos entre 0 e 10% é sistematicamente menor do que a energia firme desta Bacia, calculada a partir do período crítico do sis

tema.

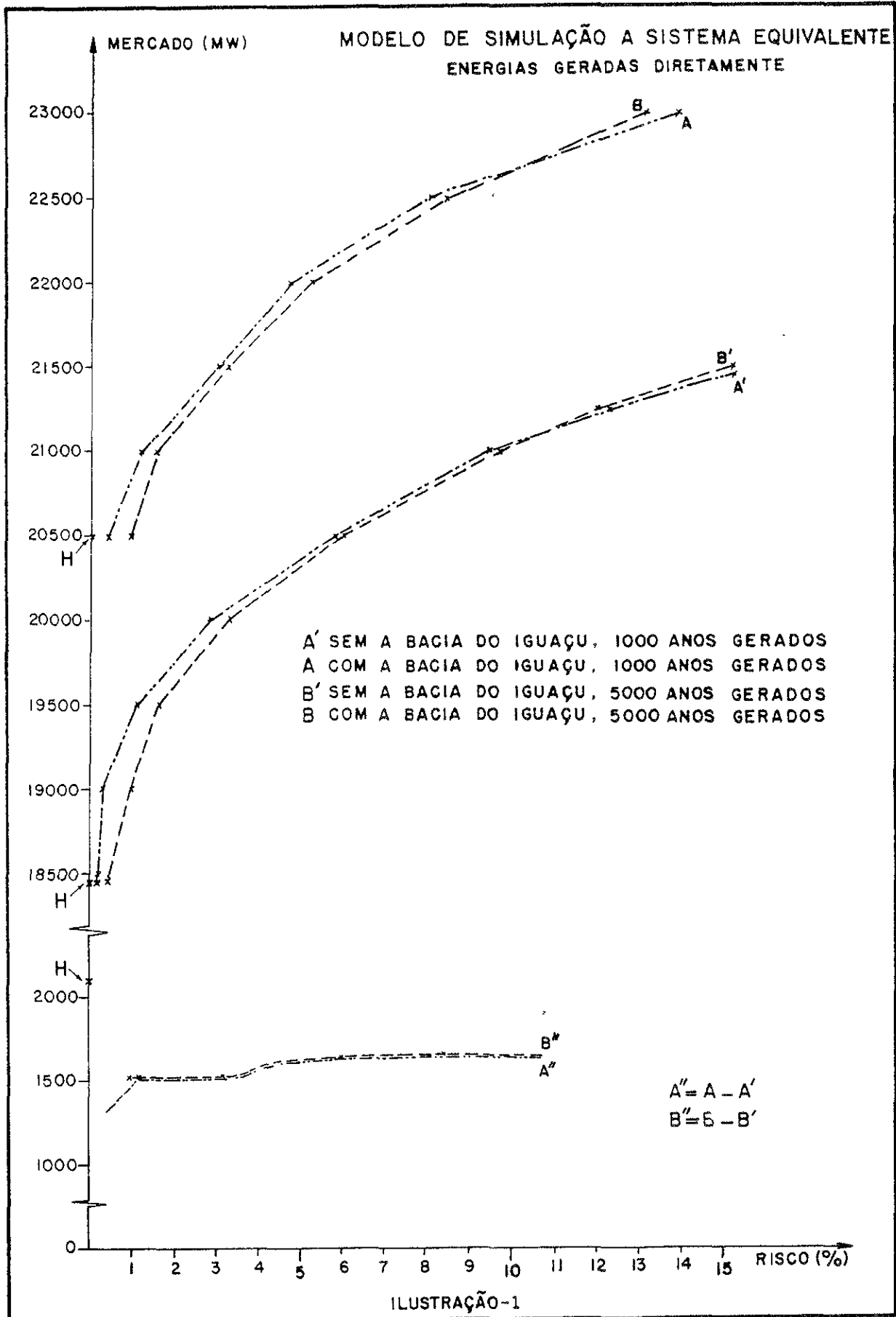
- . É suficiente utilizar séries de 1000 anos, para os propósitos deste trabalho.
- . Curvas risco x energia garantida para geração direta e indireta de energias são distintas (maior diferença é de 6%).
- . As curvas risco x energia garantida obtidas a partir respectivamente do modelo individualizado e equivalente com geração indireta são bastante próximas, dentro da faixa de 0 a 3% de risco. Para riscos mais elevados, o modelo individualizado associa mercados mais baixos.
- . O valor estimado da contribuição média da bacia do Iguaçu, a partir da participação a longo termo na simulação a usinas individualizadas, é muito próximo da estimativa fornecida pelo modelo equivalente com energias geradas indiretamente (obtida pela subtração de curvas risco x energia garantida).

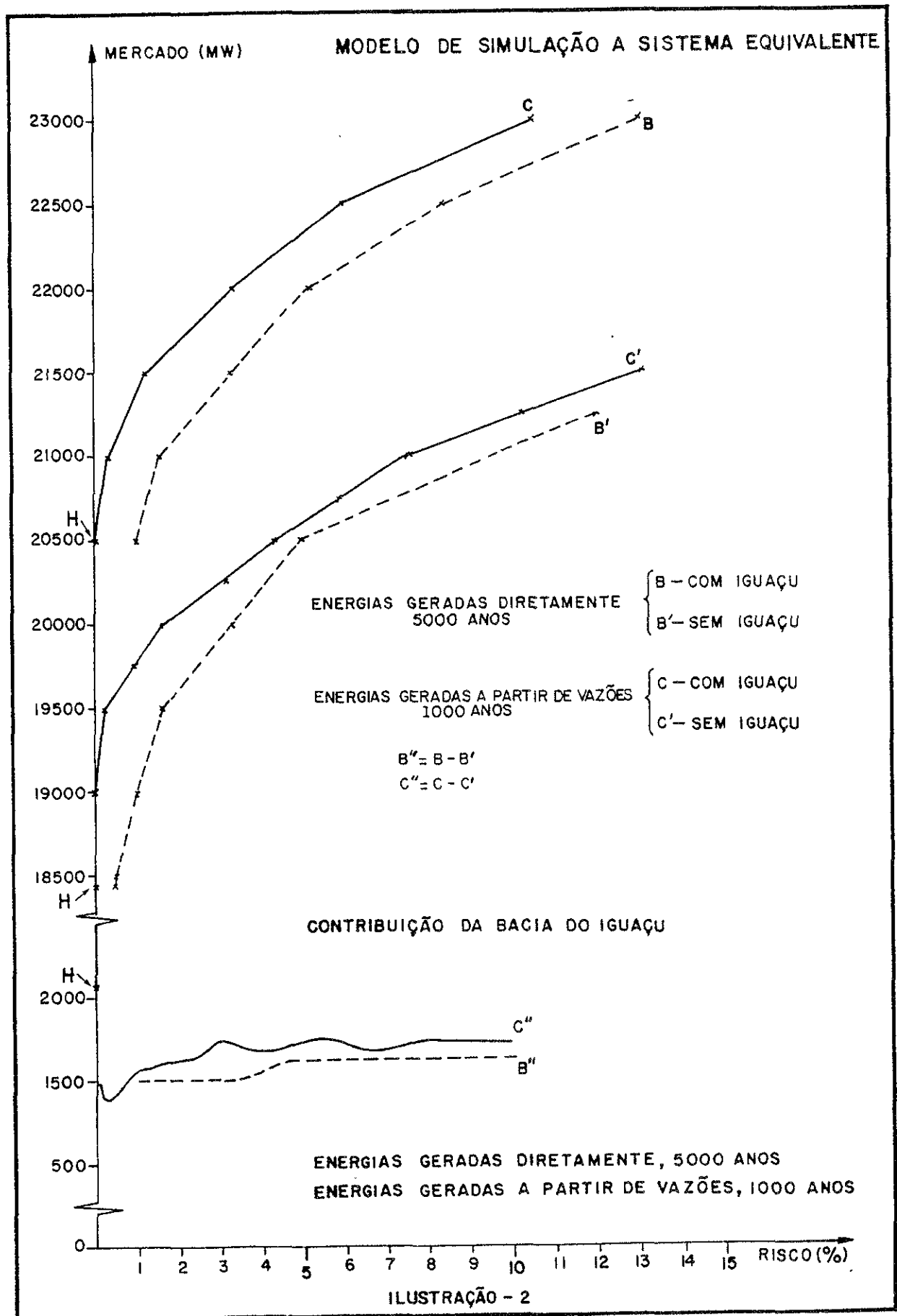
BIBLIOGRAFIA

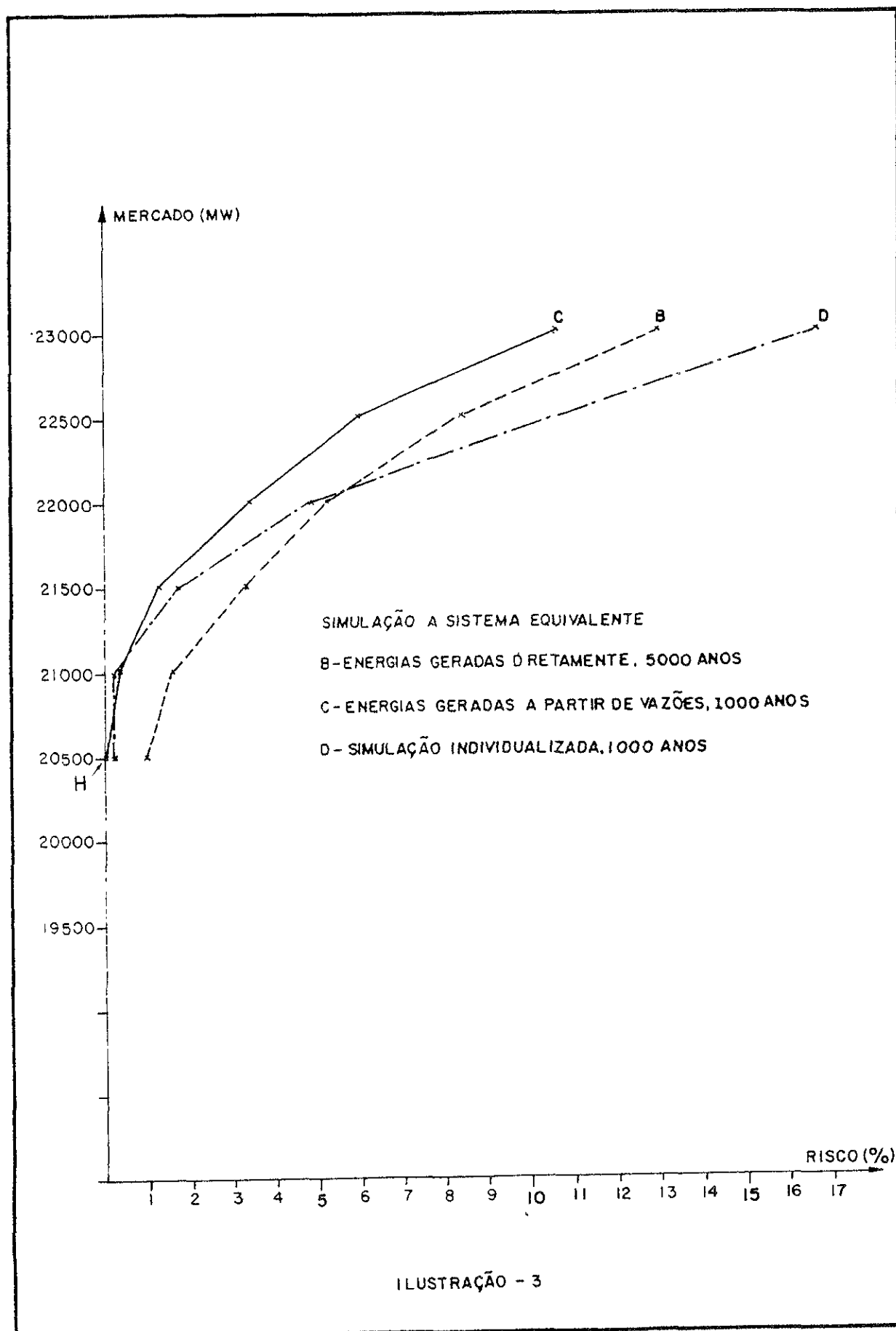
- (1) ELETROBRÁS (DENE) - Manual do Modelo de Simulação a Sistema Equivalente, 1975.
- (2) ELETROBRÁS (DENE) - Manual do Modelo de Simulação a Sistema Equivalente com Séries Sintéticas, 1978.
- (3) GUERRERO, P; PEREIRA, M; KELMAN, J; GOMES, F. - Geração de Séries Hidrológicas Mensais para Estudos Energéticos - IV SNPTEE, 1977.
- (4) CEPEL (DPST) - Relatório de Metodologia do Simulador Individualizado (SIMULA), 1979.
- (5) ELETROBRÁS (DENE) - Manual do Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas, 1978.

VARIÁVEL ALEATÓRIA	USINA	FURNAS	SALTO OSÓRIO	IGUAÇU
MÍNIMA ENERGIA GERADA EM CADA ANO, A LONGO TERMO		ILUSTR. 4	ILUSTR. 5	-
MÍNIMA POTÊNCIA DISPONÍVEL		ILUSTR. 6	ILUSTR. 7	-
MÍNIMO VOLUME EM CADA ANO		ILUSTR. 8	ILUSTR. 9	-
PARTICIPAÇÃO EM TODOS OS PERÍODOS		-	-	ILUSTR. 10
PARTICIPAÇÃO EM PERÍODOS SECCS		-	-	ILUSTR. 11

TABELA 1







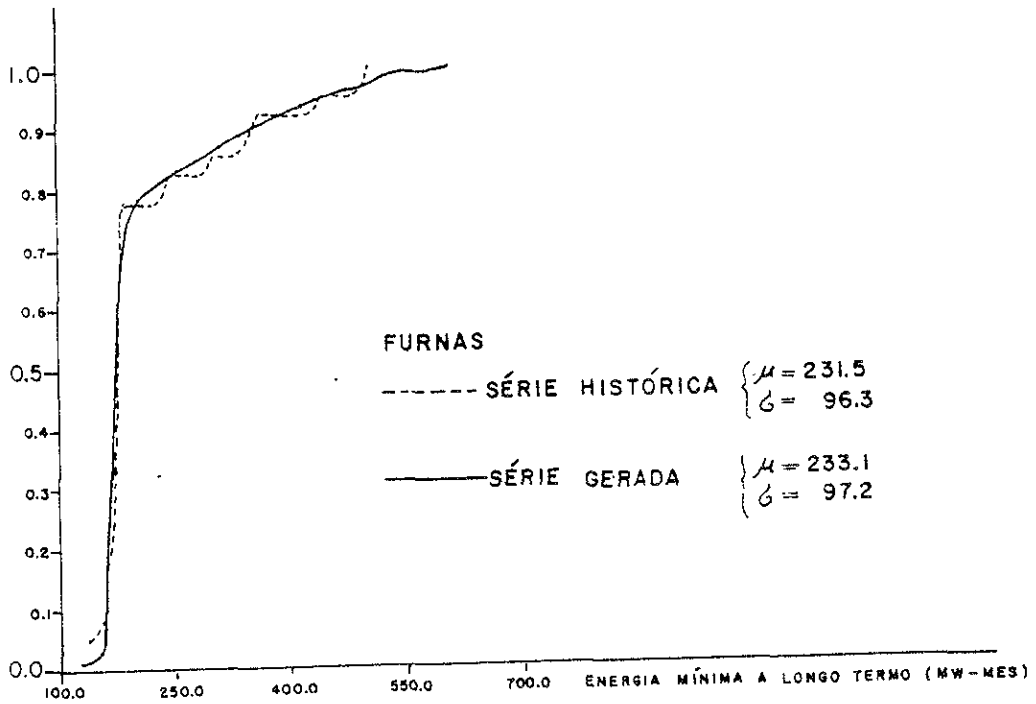


ILUSTRAÇÃO - 4

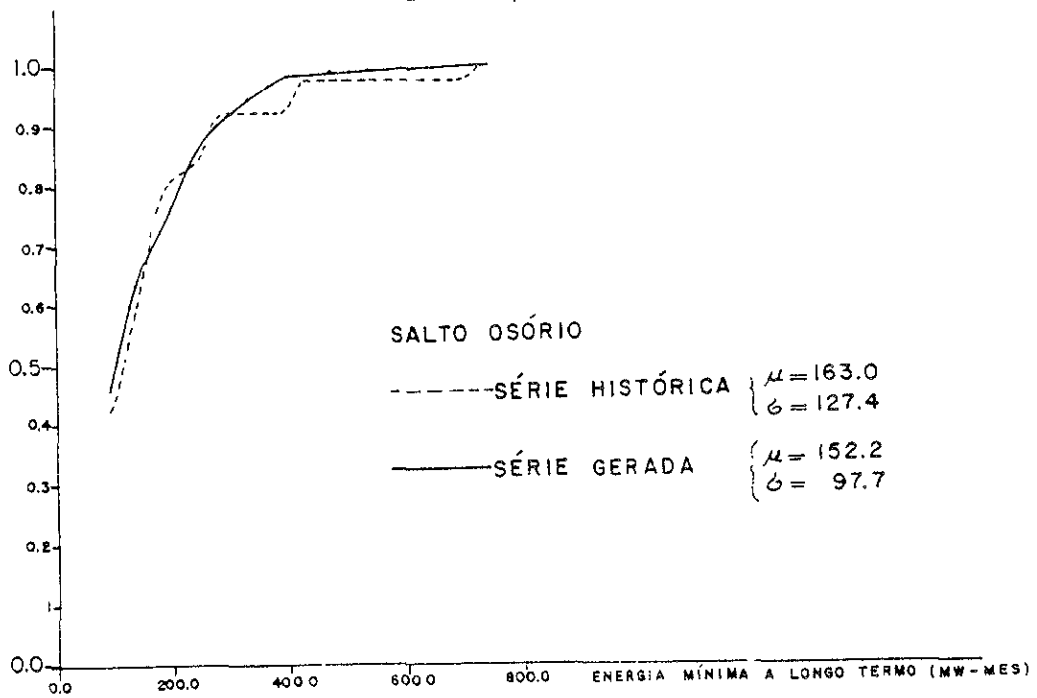


ILUSTRAÇÃO - 5

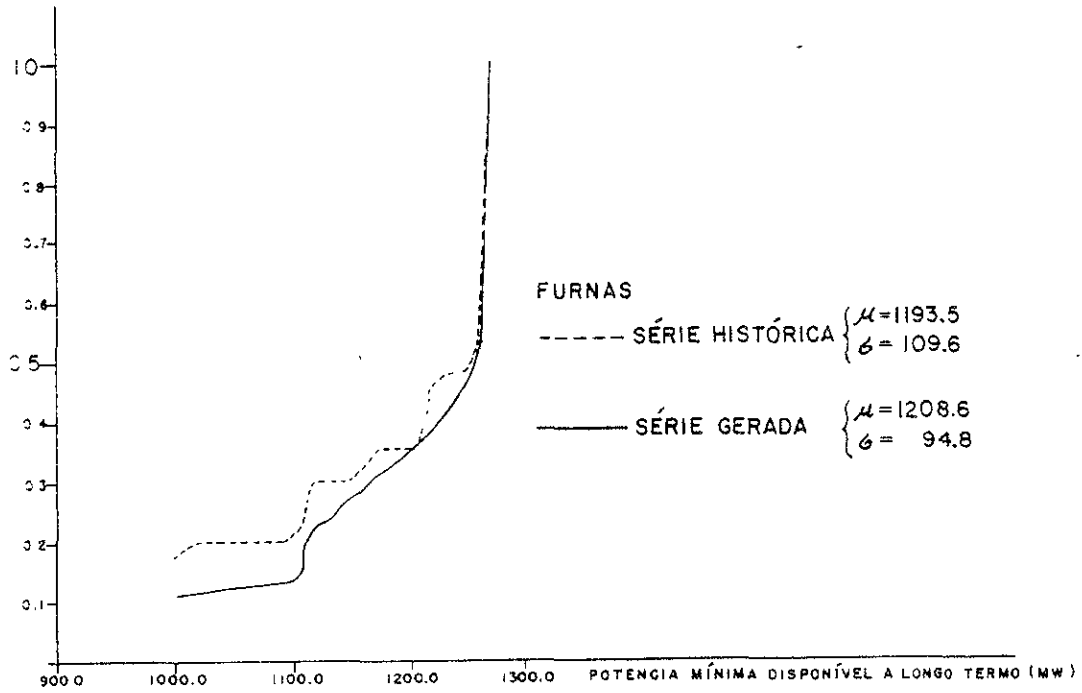


ILUSTRAÇÃO - 6

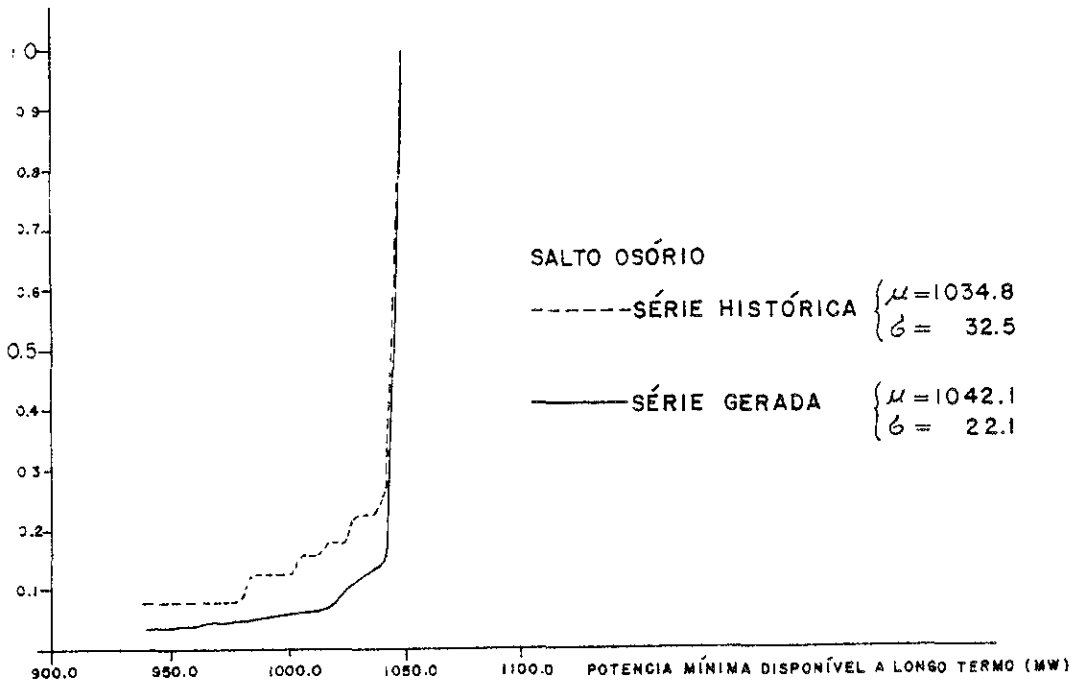


ILUSTRAÇÃO - 7

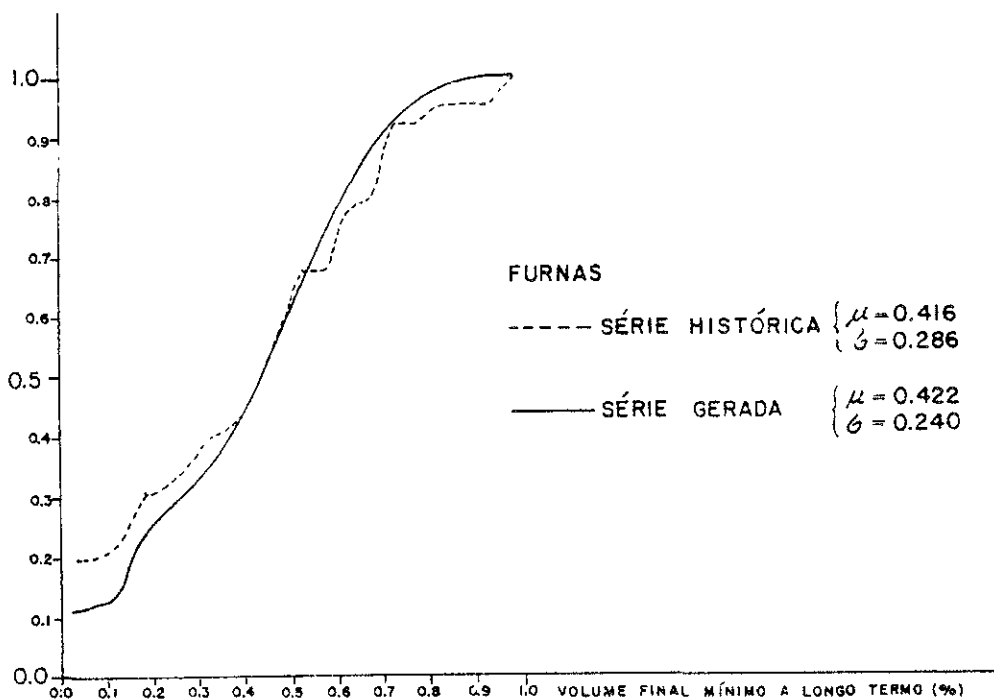


ILUSTRAÇÃO - 8

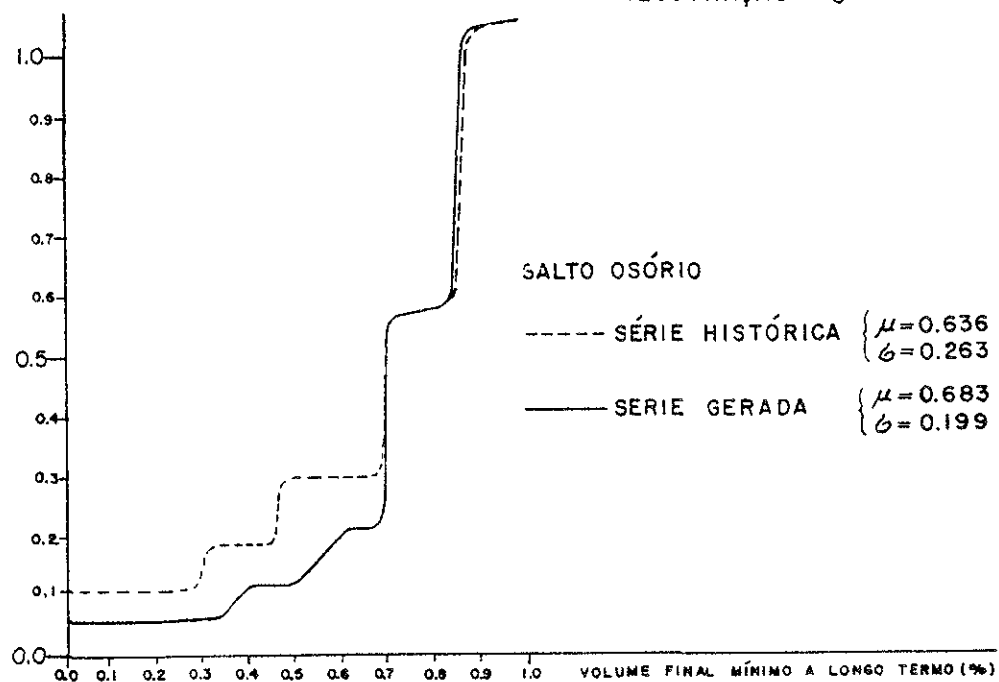


ILUSTRAÇÃO - 9

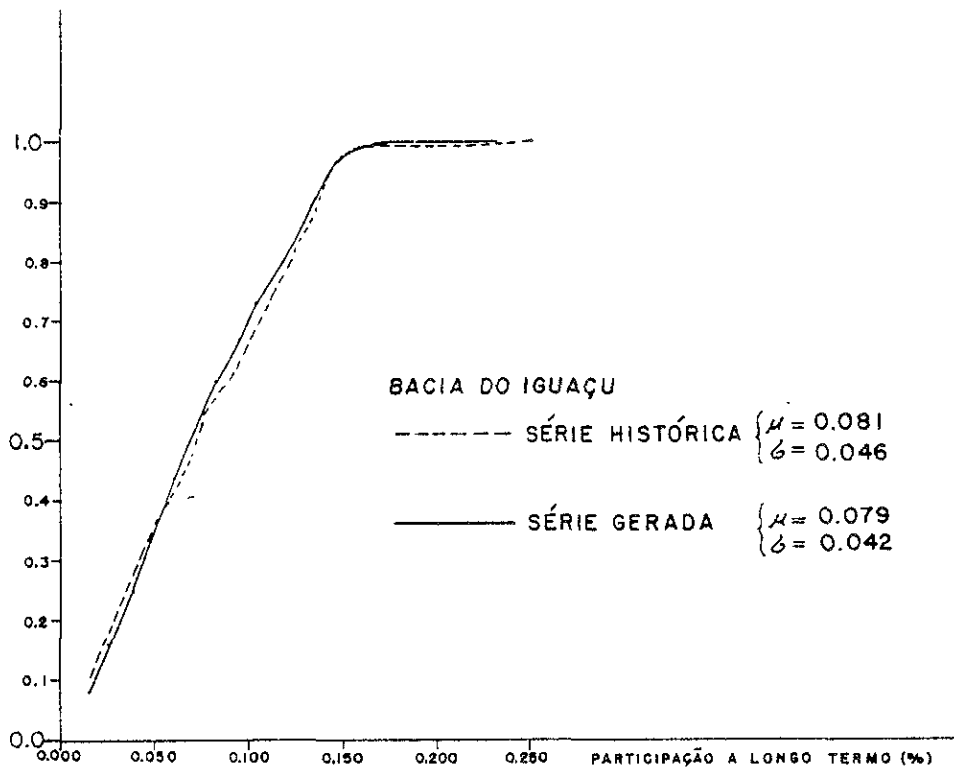


ILUSTRAÇÃO - 10

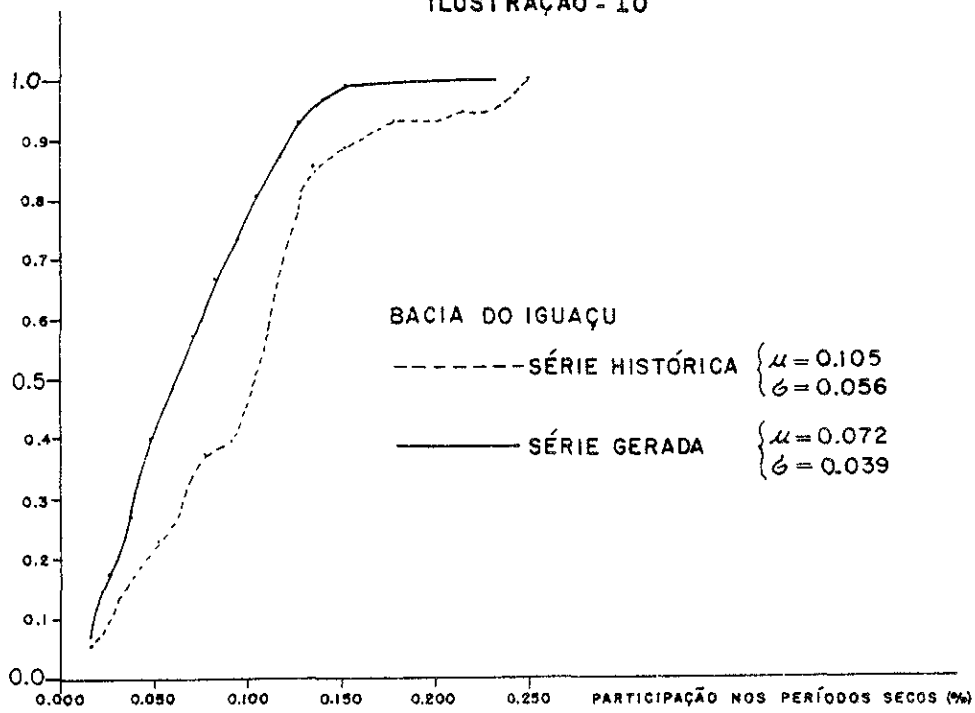


ILUSTRAÇÃO - 11