



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GPL - 08
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO VII
GRUPO DE PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GPL**

DETERMINAÇÃO DO PERÍODO CRÍTICO DO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL

Fabiano Salomão de Oliveira

Flavio Corga Cardinot

Lilian Laubenbacher Sampaio

Marcio Gomes Catharino

Paulo Fernando Vieira Souto Rezende

Renato Santos de Almeida*

RESUMO

No modelo vigente do Setor Elétrico a determinação do Período Crítico do SIN afeta diretamente o cálculo da Energia Assegurada de um aproveitamento hidrelétrico e a definição do dimensionamento energético-econômico de um aproveitamento hidrelétrico em estudo, por consequência o respectivo aproveitamento ótimo do local.

Apresentamos neste Informe Técnico, a luz da revisão e extensão do histórico das séries de vazões e dos novos aproveitamentos hidrelétricos inventariados/planejados, a determinação do Período Crítico do SIN, a partir de simulações utilizando o modelo MSUI, desenvolvido pela ELETROBRÁS, considerando configurações do parque gerador de curto e longo prazo e diferentes níveis de tolerância da energia armazenada máxima do sistema para efeito de convergência da carga crítica.

PALAVRAS-CHAVE

Período Crítico, Energia Assegurada, Dimensionamento. Aproveitamento Ótimo.

1.0 - INTRODUÇÃO

O artigo 176 da Constituição Federal de 1988 expressa "...os potenciais de energia hidráulica constituem propriedade distinta da do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento, e pertencem à União..."

A Lei nº 9.074, de 07 de julho de 1995, em seu artigo 5º, nos parágrafos 2º e 3º, explicita:

§2º Nenhum aproveitamento hidrelétrico poderá ser licitado sem a definição do "aproveitamento ótimo" pelo poder concedente,.....

§3º Considera-se "aproveitamento ótimo", todo potencial definido em sua concepção global pelo melhor eixo do barramento, arranjo físico geral, níveis d'água operativos, reservatório e potência,.....

Para a definição do "aproveitamento ótimo", o Setor Elétrico sempre trabalhou com o dimensionamento energético-econômico, que consiste em otimizar os parâmetros de níveis d'água máximo e mínimo do reservatório e a potência instalada, baseado no critério "custo-benefício" ou "análise incremental", ou seja, cada parâmetro é variado, separadamente, até que o custo incremental correspondente a cada variação incremental não supere os conseqüentes benefícios incrementais, ou seja, enquanto a relação benefício incremental/custo incremental for superior a unidade o parâmetro deve ser incrementado.

* Divisão de Estudos Energéticos/Departamento de Estudos Energéticos e Mercado
Centrais Elétricas Brasileiras S.A. - ELETROBRÁS

Praia do Flamengo, 66 - Bloco A - CEP 22210-903 – Rio de Janeiro - RJ - BRASIL
Tel.: (021) 2514-6432 - Fax: (021) 2514-5948 - e-mail: renato_almeida@eletrobras.com

Na estimativa do benefício energético, como veremos no item Conceitos, a determinação do Período Crítico se reveste de suma importância.

Outro ponto de importância se relaciona à definição da Energia Assegurada para os aproveitamentos hidrelétricos calculada a partir da utilização do Modelo Estratégico de Geração Hidrotérmica a Subsistemas Equivalentes - NEWAVE, desenvolvido pelo CEPEL, que através da simulação hidrotérmica a sistemas equivalentes de uma dada configuração de usinas, define a carga crítica total do sistema, para uma probabilidade de risco de não atendimento ao mercado.

Em seguida, é feito o rateio da oferta hidráulica global pelas usinas proporcionalmente à energia firme de cada usina, obtida através da simulação com o Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas - MSUI, representando as usinas hidrelétricas individualmente e considerando o período crítico do sistema brasileiro, de junho de 1949 a novembro de 1956¹.

Na presente revisão das energias asseguradas², um dos parâmetros questionados foi à abrangência do período crítico do sistema elétrico brasileiro, devido a sua influência na definição das energias firmes e, como consequência, no fator de rateio das usinas hidrelétricas, com impacto direto no cálculo das Energias Asseguradas.

2.0 - CONCEITOS

Durante a década de 70, e até o início da década de 80, o Setor Elétrico utilizou como critério de expansão da oferta para atendimento ao mercado consumidor o chamado "Critério da Energia Firme" ou "Critério Determinístico".

Este critério estabelecia que o sistema elétrico, através de uma simulação da operação hidrotérmica, deveria ser capaz de atender ao mercado projetado sem déficits de energia no caso de ocorrência de qualquer das seqüências de vazões existentes no registro histórico.

Embora, atualmente, o Setor Elétrico não esteja mais utilizando este Critério Determinístico, nos estudos de garantia de atendimento ao mercado consumidor, tendo sido substituído pelo chamado "Critério Probabilístico", compatível com a natureza estocástica do suprimento ao mercado consumidor, a avaliação do benefício energético de uma usina, ainda tem por base o conceito de Ganho de Energia Firme do Critério Determinístico.

Denomina-se "Energia Firme do Sistema", para uma determinada configuração (conjunto de usinas existentes ou planejadas), a maior carga contínua que esta configuração pode atender sem déficits de energia, considerando o histórico de vazões existentes. Sendo o "Período Crítico" a seqüência de anos de registro histórico para cujas vazões a configuração atende a Energia Firme sem dispor de sobras, ou seja, é o intervalo de tempo em que o sistema passa da situação de armazenamento máximo até o armazenamento mínimo, sem déficits observados e sem reenchimentos totais.

A geração média de cada usina neste Período Crítico é denominada "Energia Firme Local" e, o "Ganho de Energia Firme" de uma usina corresponde ao aumento de Energia Firme do Sistema quando esta usina é considerada na configuração em análise, ou seja, avalia-se o Ganho de Energia Firme simulando-se a configuração **com e sem** a usina em questão.

Os estudos de dimensionamento energético-econômico concentram-se nas etapas de Inventário e Viabilidade, em especial nesta última, ou seja, é nesta etapa que se dá o dimensionamento final de um empreendimento hidrelétrico, entendendo-se como dimensionamento energético-econômico a definição dos principais parâmetros de um aproveitamento hidrelétrico que tenham influência direta no seu desempenho energético.

O critério "custo-benefício" é baseado no benefício energético que o aproveitamento agrega ao sistema, benefício este equivalente à variação da geração média do Sistema, com e sem a usina em estudo, no Período Crítico.

¹ Este Período Crítico foi obtido em estudos realizados pelo GCPS, na década de 80, para uma configuração de longo prazo.

² Portaria nº 303, publicada pelo MME em 18 de novembro de 2004, que definiu os montantes da garantia física dos empreendimentos de geração de energia elétrica.

3.0 - MODELO DE SIMULAÇÃO

O Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas – MSUI, desenvolvido na Eletrobrás, atualmente, em sua versão 3.0, executável na plataforma Windows para qualquer sistema operacional do mesmo, permite simular a operação de um sistema constituído de usinas hidrelétricas, sob diversas condições de carga e hidráulicidade, subordinadas a um conjunto de parâmetros definidores de prioridades de esvaziamento/armazenamento, através de faixas paralelas.

A representação de uma usina hidrelétrica é feita através dos seguintes dados de entrada:

- curva de cota do reservatório em função do volume;
- curva de área do reservatório em função da cota;
- nível de montante e área no caso de usinas a fio d'água;
- curva do nível de jusante em função da vazão defluente;
- perdas hidráulicas médias nas tubulações;
- rendimento médio do conjunto turbina e gerador;
- dados das turbinas e geradores;
- fator de carga máximo para operação contínua;
- dados de evaporação.

A operação do sistema é simulada mês a mês, tendo por objetivo atender aos requisitos mensais e, condicionada pelas vazões naturais dos postos correspondentes às usinas hidráulicas.

Os principais objetivos do modelo englobam:

- a análise da convergência da carga máxima a ser atendida por uma determinada configuração de usinas;
- o cálculo do respectivo período crítico;
- a avaliação do comportamento de uma usina individualizada através de seus parâmetros característicos, tais como: queda, energia firme, energia produzida, vazão vertida, etc...

4.0 - DETERMINAÇÃO DO PERÍODO CRÍTICO

A definição do Período Crítico do Sistema Interligado Nacional esta diretamente relacionada à configuração do parque gerador, ou seja a consideração das usinas hidrelétricas em operação e planejadas, e ao valor da tolerância para consideração da energia armazenada máxima do sistema, ou seja, o nível para que o sistema atinja a sua energia armazenada máxima no mês suficiente para transformá-lo em possível candidato ao início do período crítico. Historicamente, o valor da tolerância adotado é de 1,5%.

No presente estudo foram pesquisadas as seguintes configurações de usinas hidrelétricas:

- Configuração de **Longo Prazo** (30 anos) – englobando as usinas hidrelétricas simuláveis, cadastradas no banco de dados da ELETROBRAS - SIPOT³, totalizando uma capacidade instalada de 149.898 MW.
- Configuração de **Médio Prazo** (15 anos) – englobando as usinas hidrelétricas adotadas no IT DEM/DEME-025/2004 “Programa de Expansão da Oferta no SIN para o Horizonte 2004-2014 – 2ª Revisão 2004”, que abrangeu nas simulações o período de 2004 a 2019, totalizando uma capacidade instalada de 118.022 MW.
- Configuração de **Curto Prazo** (5 anos) – englobando as usinas hidrelétricas do Programa Mensal de Operação – Novembro/2004, elaborado pelo ONS, e que serviu de base para o cálculo das energias asseguradas da Portaria MME 303, de 18 de novembro de 2004, totalizando uma capacidade instalada de 79.912 MW.

As séries de vazões utilizadas abrangeram os períodos de janeiro/1931 a dezembro/2003, adotando-se os dados das usinas constantes do banco de dados da ELETROBRÁS - SIPOT.

Foram consideradas as retiradas de água das UHE Sobradinho, Itaparica, Xingó e Belo Monte, e adotado 20 faixas operativas.

³ SIPOT – Sistema de Informações do Potencial Hidrelétrico Brasileiro, desenvolvido pela ELETROBRÁS.

5.0 - RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

➤ Configuração de Longo Prazo

A simulação da configuração de **Longo Prazo** para a tolerância de 1,5% indica um Período Crítico entre jun/1948 a nov/1956. Somente com o relaxamento da tolerância para 1,7% é possível encontrar o Período Crítico entre jun/1949 a nov/1956.

Caso não se considerem os aproveitamentos da bacia do Xingu, inclusive Belo Monte, nesta configuração de **Longo Prazo**, o Período Crítico, considerando tanto a tolerância de 1,5% quanto à de 1,7%, fica compreendido entre mai/1949 a nov/1956.

O Figura 5-1 apresenta uma comparação da energia armazenada nas duas configurações, de Longo Prazo e de Longo Prazo sem a Bacia do Xingu, ambas simuladas com a tolerância igual a 1,5%, e a Tabela 5-1 detalha os valores de enchimento dos reservatórios no Período Crítico.

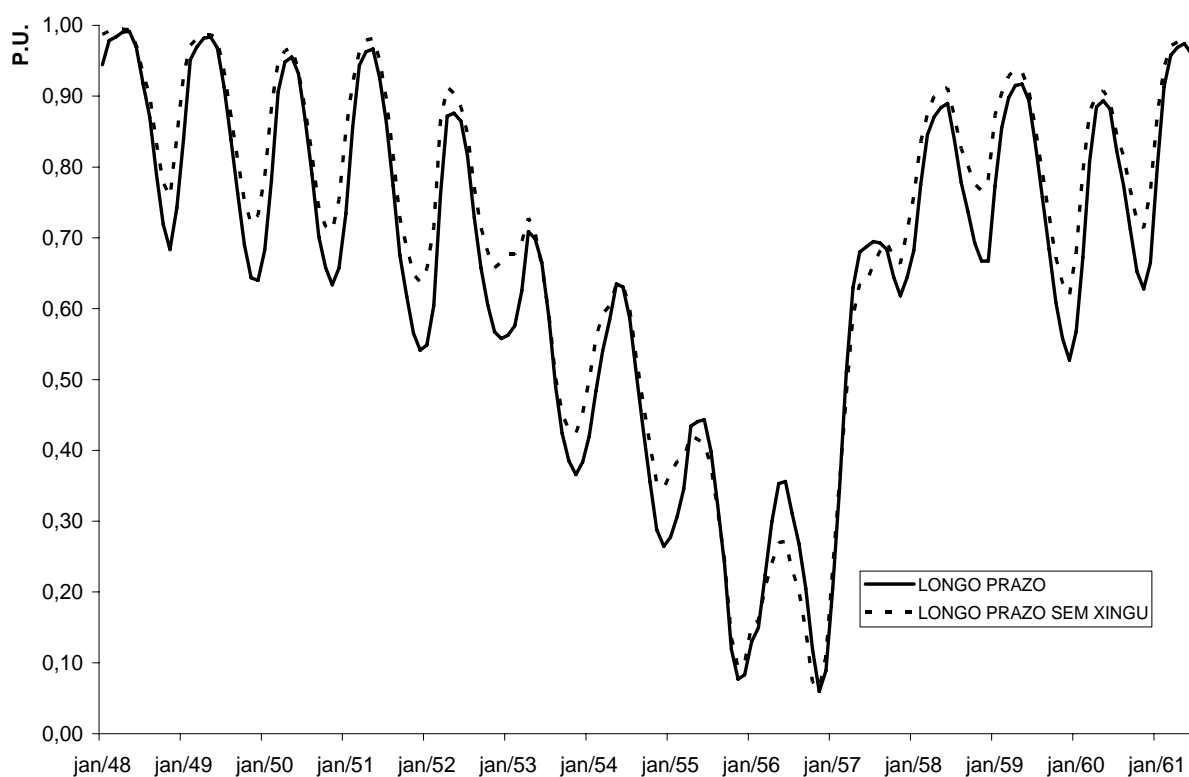


FIGURA 5-1
Demonstrativo da Energia Armazenada do SIN (P.U. do Volume Útil)

TABELA 5-1
P.U. do Volume Útil

DATA	Configuração Longo Prazo	Configuração Longo Prazo sem a bacia do Xingu
jun/48	0,9695	0,9724
jul/48	0,9176	0,9317
ago/48	0,8700	0,8997
set/48	0,7890	0,8319
out/48	0,7189	0,7774
nov/48	0,6834	0,7585
dez/48	0,7424	0,8427
jan/49	0,8400	0,9302

Tabela 5-1 (Continuação)
P.U. do Volume Útil

DATA	Configuração Longo Prazo	Configuração Longo Prazo sem a bacia do Xingu
fev/49	0,9514	0,9716
mar/49	0,9700	0,9813
abr/49	0,9819	0,9869
mai/49	0,9835	0,9867
jun/49	0,9682	0,9793
jul/49	0,9133	0,9339
ago/49	0,8388	0,8715
set/49	0,7628	0,8089
out/49	0,6903	0,7515
nov/49	0,6437	0,7200
dez/49	0,6397	0,7321
jan/50	0,6824	0,7870
fev/50	0,7812	0,8854
mar/50	0,9066	0,9493
abr/50	0,9485	0,9643
mai/50	0,9553	0,9683
jun/50	0,9315	0,9339
jul/50	0,8662	0,8795
ago/50	0,7902	0,8172
set/50	0,7014	0,7411
out/50	0,6581	0,7158
nov/50	0,6338	0,7099
dez/50	0,6575	0,7544

Podemos observar que na data de maio de 1949 o percentual do volume na configuração de **Longo Prazo** atinge o valor de 0,9835, enquanto na configuração de **Longo Prazo sem a bacia do Xingu** este valor aumenta para 0,9867.

Como a tolerância é de 1,5% no primeiro caso temos: $0,9835 + 0,015 = 0,9985$, ou seja, o sistema não atingiu a energia armazenada de 100%. No segundo caso temos: $0,9867 + 0,015 = 1,0017$, ou seja, o sistema atingiu 100% da energia armazenada, sendo portanto um candidato a início do Período Crítico.

➤ Configuração de Médio Prazo

Para a configuração de **Médio Prazo** o Período Crítico definido, adotando a tolerância de 1,5% situa-se entre maio/1948 e nov/1956. Com o relaxamento da tolerância para 1,9% é possível encontrar o Período Crítico entre maio/1949 e nov/1956.

➤ Configuração de Curto Prazo

Já para a configuração de **Curto Prazo** o Período Crítico definido, pela a tolerância de 1,5% situa-se entre maio/1951 e nov/1955. Nesta configuração o aumento da tolerância a níveis aceitáveis não altera os meses do Período Crítico.

A Tabela 5-2 resume os resultados encontrados.

Tabela 5-2
Resumo dos Resultados

Configuração	Tolerância %	Período Crítico	Energia Firme do Sistema MWmédios
Longo Prazo	1,5	jun/1948 a nov/1956	79.533
	1,7	jun/1949 a nov/1956	79.074
Longo Prazo sem Xingu	1,5	mai/1949 a nov/1956	67.243
	1,7	mai/1949 a nov/1956	67.243
Médio Prazo	1,5	mai/1948 a nov/1956	61.200
	1,9	mai/1949 a nov/1956	60.620
Curto Prazo	1,5	mai/1951 a nov/1955	39.828

6.0 - CONCLUSÃO

Como pudemos observar no trabalho a definição da configuração do parque gerador bem como a adoção do nível de tolerância, para consideração da energia armazenada máxima do sistema, são de suma importância para a determinação do Período Crítico.

Tanto nos estudos de dimensionamento energético como nos estudos para definição da energia assegurada de um aproveitamento hidrelétrico o que se busca é uma configuração de longo prazo, que atenda a vida útil da usina ou pelos menos o seu prazo de concessão,

Já para a definição do nível de tolerância para consideração da energia armazenada máxima do sistema deverá se buscar um embasamento teórico que não encontramos na bibliografia pesquisada.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Duarte, Luiz Claudio Gutierrez e Sampaio, Lilian Launbenbacher – Mercado de Oferta a 5% de Risco de Déficit de Energia. Metodologia – Informe Técnica DEM/DEME-011/2003. Maio de 2003..
- (2) Metodologia. MSUI – Modelo de Simulação a Usinas Individualizadas. Eletrobrás – DEGE.
- (3) Influência dos Contratos de Suprimento entre Empresas nas Condições de Atendimento ao Mercado de Energia Elétrica. DE/DEN/DENL. Janeiro de 2000.
- (4) Daher, Mario Jorge – Dimensionamento Energético de Usinas Hidrelétricas a Nível de Viabilidade. – Informação Técnica DPE/DPEG-026/94. Maio de 1994.
- (5) Programa de Expansão da Oferta no SIN para o Horizonte 2004-2014 – 2ª Revisão 2004. IT DEM/DEME-025/2004. Outubro de 2004.