

# METODOLOGIA DE CÁLCULO DA GARANTIA FÍSICA DAS USINAS



Empresa de Pesquisa Energética

Ministério de  
Minas e Energia





GOVERNO FEDERAL

**Ministério de Minas e Energia**

**Ministro**

Edison Lobão

**Secretário Executivo**

Márcio Pereira Zimmermann

**Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético**

Altino Ventura Filho

**Diretor do Departamento de Planejamento Energético**

Pedro Alves de Melo

# METODOLOGIA DE CÁLCULO DA GARANTIA FÍSICA DAS USINAS



Empresa de Pesquisa Energética

*Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.*

**Presidente**

Maurício Tiomno Tolmasquim

**Diretor de Estudos Econômicos e Energéticos**

Amílcar Guerreiro

**Diretor de Estudos de Energia Elétrica**

José Carlos de Miranda Farias

**Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustível**

Gelson Baptista Serva (Interino)

**Diretor de Gestão Corporativa**

Ibanês César Cássel

**Coordenação Geral**

Maurício Tiomno Tolmasquim

José Carlos de Miranda Farias

**Coordenação Executiva**

Talita de Oliveira Porto

**Equipe Técnica**

Angela Regina Livino de Carvalho

Danielle Bueno de Andrade

Leonardo Sant'Anna

URL: <http://www.epe.gov.br>

**Sede**

SAN – Quadra 1 – Bloco B – Sala 100-A  
70041-903 - Brasília – DF

**Escritório Central**

Av. Rio Branco, n.º 01 – 11º Andar  
20090-003 - Rio de Janeiro – RJ

**Nº EPE-DEE-RE-099/2008 – r0**

Data: 02 de julho de 2008

## 1. Introdução

A quantidade máxima de energia que as usinas hidrelétricas, termelétricas e projetos de importação de energia podem comercializar é a sua garantia física, conforme estabelecido na Lei nº 10.848 de 15 de março de 2004 e regulamentada pelo art. 2º do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Este Decreto, em seu art. 4º, também determina que o Conselho Nacional de Política Energética – CNPE proponha critérios gerais de garantia de suprimento a serem observados pelo Ministério de Minas e Energia – MME na determinação da forma de cálculo da garantia física dos empreendimentos de geração.

Em 17 de novembro de 2004 o CNPE estabeleceu, por meio da Resolução nº 1, o critério geral de garantia de suprimento aplicável ao cálculo das garantias físicas de energia e potência de empreendimentos de geração de energia elétrica.

Em seguida, a Portaria MME nº 303, de 18 de novembro de 2004, definiu a metodologia de cálculo, diretrizes e processo de implantação da garantia física de energia e potência vigentes até então.

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE, de acordo com sua competência estabelecida no art. 4º da Lei 10.847, de 15 de março de 2004, e no art. 6º do Anexo III do Decreto nº 5.184, de 16 de agosto de 2004, se baseia nestes regulamentos para o cálculo da garantia física dos empreendimentos novos e nos processos de revisão das garantias físicas dos empreendimentos existentes.

Tendo em vista o esforço de se obter a compatibilização nos procedimentos e critérios de planejamento da expansão, comercialização e operação, alguns aperfeiçoamentos se fazem necessários na metodologia de cálculo de garantia física para novos empreendimentos de geração.

Ressalta-se, ainda, que ao longo dos anos a economia brasileira tem se transformado, ampliando a participação de seu setor industrial e de prestação de serviços, bem como modernizando seus processos agrícolas. Ocorre, desta feita, uma maior dependência da energia elétrica em seus processos produtivos. Também o consumo residencial tem apresentado mudanças importantes, como as decorrentes da verticalização das residências, levando a maior dependência do transporte vertical por meio de elevadores e do bombeamento de água, além de novos equipamentos de consumo

como os microcomputadores. Como consequência, a garantia de suprimento torna-se mais valiosa para a sociedade brasileira, ensejando uma revisão dos critérios vigentes.

Nesse sentido, para aumentar a garantia de suprimento no Sistema Interligado Nacional – SIN, o cálculo das Garantias Físicas das novas usinas deve ser feito de forma a obter a igualdade entre o custo marginal de operação médio anual - CMO e o custo marginal de expansão - CME, respeitado o limite de risco de déficit estabelecido na Resolução CNPE nº1 de 2004.

A presente Nota Técnica, portanto, visa detalhar a metodologia de cálculo da garantia física para os novos empreendimentos de geração de energia elétrica para adequação ao novo critério.

## 2. Cálculo da Garantia Física de Energia

Para atender ao critério geral de garantia de suprimento estabelecido, o processo de determinação da garantia física das novas usinas contempla um conjunto de premissas e metodologias de cálculo que serão apresentados a seguir.

### 2.1 Premissas Gerais

#### I. Modelos e Parâmetros de Simulação

Para as simulações energéticas a sistemas equivalentes será utilizado o modelo NEWAVE, desenvolvido pelo CEPEL, na versão para cálculo de garantia física.

Para os estudos a usinas individualizadas será utilizado o modelo MSUI, desenvolvido pela ELETROBRÁS. A Tabela 1 e a Tabela 2 apresentam os parâmetros de simulação vigentes a serem aplicados nos modelos NEWAVE e MSUI, respectivamente. Em caso de necessidade de atualização dos mesmos, o MME indicará os modelos e a definição dos parâmetros de simulação a serem utilizados nos estudos.

**Tabela 1: Parâmetros de Simulação do NEWAVE**

Nº de séries sintéticas e aberturas para cálculo da função de custo futuro	200 e 20
Nº de séries sintéticas na simulação final	2000
Nº de anos do período estático inicial	10
Nº de anos do período de estudo	5
Nº de anos do período estático final	5
Racionamento Preventivo	Considerar
Curva de Aversão a Risco	Não Considerar
Tendência Hidrológica	Não Considerar
Acoplamento Hidráulico entre Subsistemas	Não Considerar
Perdas nas Interligações	Não Considerar
Taxa de Desconto	12% ao ano

**Tabela 2: Parâmetros de Simulação do MSUI**

Permitir vertimento	Sim
Tolerância para convergência	0,0001 pu
Período Crítico	jun/49 a nov/56

## II. Configuração Hidrotérmica de Referência

Nos estudos a sistema equivalente (NEWAVE) e nos estudos com usinas individualizadas (MSUI), a configuração hidrelétrica de referência será composta pelas usinas hidrelétricas – UHE interligadas ao SIN em operação, concedidas, e já licitadas. As usinas com graves impedimentos para início da construção e/ou usinas que estão em processo de devolução da concessão serão excluídas da configuração de referência.

Para as usinas termelétricas – UTE<sup>1</sup>, a configuração de referência será composta pelas UTE interligadas ao SIN em operação, autorizadas e já licitadas. Na configuração de referência serão utilizados os mesmos critérios de exclusão adotados para as UHE.

Não são simuladas as pequenas centrais hidrelétricas – PCH (usinas com capacidade instalada inferior a 30 MW), com exceção daquelas despachadas centralizadamente.

No caso de projetos de importação de energia não interruptível e por tempo indeterminado, serão considerados apenas os projetos instalados e que estejam com previsão de disponibilidade no ano correspondente à configuração de referência do cálculo de garantia física.

As características técnicas das usinas hidrelétricas e termelétricas da configuração de referência, que ainda não entraram em operação comercial, serão compatíveis com as constantes dos contratos de concessão (para UHE) e dos atos autorizativos (para UTE).

Para os empreendimentos em operação, os dados técnicos deverão ser obtidos do Programa Mensal de Operação – PMO<sup>2</sup> mais recentemente publicado.

Em relação aos dados hidrológicos, deve-se:

- Utilizar os volumes mínimos e restrições operativas hidráulicas de caráter estrutural considerados no PMO;
- Considerar os valores de usos consuntivos estabelecidos pela Agência Nacional de Águas – ANA para o ano correspondente à configuração de referência do cálculo de garantia física;

---

<sup>1</sup> Não aplicável à simulação a usinas individualizadas, visto que a mesma é feita com sistema puramente hidráulico.

<sup>2</sup> Estudo elaborado mensalmente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.

- Utilizar o histórico de vazões consistido em conjunto pelo ONS, ANEEL e ANA para as usinas em operação e licitadas.

### **III. Topologia**

Para a simulação energética dos subsistemas equivalentes do SIN, a topologia a considerar é a seguinte:

- SE/CO/AC/RO: Regiões Sudeste e Centro-Oeste e Rondônia e Acre interligados;
- S: Região Sul
- NE: Região Nordeste
- N/Manaus: Norte e Manaus interligados

Em caso de necessidade de atualização da Topologia aqui indicada, o MME indicará a nova configuração a ser adotada.

### **IV. Proporcionalidade da Carga**

Para o ajuste da carga crítica deverão ser mantidas as proporcionalidades entre as regiões fortemente interligadas. Para a topologia descrita anteriormente, deve-se manter a proporção do mercado dos subsistemas SE/CO/AC/RO e S, bem como entre os subsistemas NE e N/Manaus. Assim, para atendimento desta premissa, devem-se considerar as proporcionalidades do mercado previsto no Plano Decenal de Energia – PDE.

### **V. Limites de Intercâmbio entre os Subsistemas**

Os limites de intercâmbio entre os subsistemas serão determinados a cada processo de cálculo de garantia física, de modo a manter a compatibilidade entre a expansão da oferta de energia e a expansão das interligações.

### **VI. Custo do Déficit de Energia e Penalidade Associada à Violação de Restrição**

Utilizar o custo do déficit em um patamar.

A penalidade por não atendimento ao desvio de água para outros usos, em R\$/MWh, será obtida a partir do custo do déficit, conforme a seguinte expressão:

$$\text{PENALIDADE} = \text{CUSTO DÉFICIT} + 0,1\% \text{ CUSTO DÉFICIT} + 0,1 \text{ R\$/MWh}$$

## 2.2 Metodologia de Cálculo

A garantia física do SIN é definida como aquela correspondente à máxima quantidade de energia que este sistema pode suprir a um dado critério de garantia de suprimento. Esta energia é rateada entre todos os empreendimentos de geração que constituem o sistema, a fim de se obter a garantia física dos empreendimentos com vistas à comercialização de energia via contratos.

A metodologia de cálculo da garantia física dos novos empreendimentos de geração que comporão o SIN consiste nos seguintes passos:

- determinação da oferta total de garantia física do SIN, com configuração estática, ajustada para a igualdade do custo marginal de operação médio anual - CMO com o custo marginal de expansão - CME, admitida uma tolerância;
- rateio da oferta total (ou garantia física do SIN) em dois blocos: oferta hidráulica - EH e oferta térmica - ET;
- rateio da oferta hidráulica entre todas as UHE proporcionalmente às suas energias firmes;
- rateio da oferta térmica entre as UTE, limitado à disponibilidade máxima de geração contínua de cada UTE e com o eventual excedente de oferta sendo distribuído entre as demais UTE, também limitado à oferta correspondente à disponibilidade máxima de geração contínua da usina.

### I. Determinação da Oferta Total

A determinação da oferta total de energia, correspondente à garantia física do sistema interligado (SE/CO/AC/RO, S, NE, N/Manaus)<sup>3</sup>, é obtida por simulação estática da operação do sistema hidrotérmico para o ano de interesse, empregando-se o modelo NEWAVE. Nesta simulação são considerados todos os empreendimentos da

---

<sup>3</sup> Vide descrição da topologia no item 2.1 Premissas Gerais

configuração de referência, adicionados os empreendimentos que se deseja calcular a garantia física.<sup>4</sup>

A simulação estática é realizada considerando todas as usinas e interligações da configuração como existentes por um período de 5 anos (período de estudo). A eliminação da influência das condições de partida da simulação (armazenamentos e afluências) é obtida com a inclusão de 10 anos no horizonte de simulação (período estático inicial), antecedendo o período de estudo. Para estabilização da função de custo futuro no fim do horizonte de simulação é considerado um período adicional de 5 anos (período estático final), após o período de estudo.

No processo iterativo de ajuste da oferta total, mantém-se uma proporção fixa entre as ofertas dos subsistemas Sul e Sudeste/Centro-Oeste/Acre/Rondônia, assim como as dos subsistemas Norte/Manaus e Nordeste, havendo, no entanto, uma variação livre da oferta conjunta e da proporção relativa entre estes dois grandes sistemas regionais.

Seguindo os critérios de garantia de suprimento estabelecido pelo CNPE, o processo é considerado convergido quando, no mínimo, um subsistema de cada sistema regional atende ao critério de igualdade entre o custo marginal de operação médio anual - CMO e o custo marginal de expansão - CME, admitida uma tolerância.

O somatório da carga dos subsistemas, quando ajustada para atendimento aos critérios de garantia de suprimento, é denominado carga crítica.

## **II. Rateio da Oferta Total entre os Blocos Hidrelétrico e Termelétrico**

O rateio da oferta total (igual ao somatório das cargas críticas resultantes para os subsistemas) em dois grandes blocos de energia, oferta hidráulica – EH e oferta térmica – ET, é obtido multiplicando-se a oferta total por um Fator Hidrelétrico – FH e um Fator Térmico – FT, respectivamente.

Estes fatores correspondem à participação relativa das gerações hidráulica e térmica na geração total e são calculados com base em uma ponderação pelo custo marginal

---

<sup>4</sup> No caso do cálculo para os leilões de energia proveniente de novos empreendimentos - LEN, por vezes, o somatório dos empreendimentos cadastrados ultrapassa consideravelmente o montante que será contratado nos leilões. Desta forma, poderão ser necessárias agregações dos projetos em blocos de usinas de forma a não distorcer o perfil de atendimento à demanda. Para cada bloco de novas usinas os demais passos da metodologia são aplicados da mesma forma.

de operação – CMO, sendo estas variáveis obtidas na simulação com o modelo NEWAVE<sup>5</sup>.

As equações (1) a (4), apresentadas a seguir, detalham o cálculo das ofertas hidráulica e termelétrica.

$$EH = FH \times \sum_{s=1}^{nss} ccrítica_s \quad (1)$$

$$FH = \frac{\sum_{s=1}^{nss} \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=11}^{15} \sum_{k=1}^{2000} gh_{i,j,k,s} \times cmo_{i,j,k,s}}{\sum_{s=1}^{nss} \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=11}^{15} \sum_{k=1}^{2000} \left[ gh_{i,j,k,s} + \sum_{l=1}^{nt(s)} gt_{i,j,k,t,s} \right] \times cmo_{i,j,k,s}} \quad (2)$$

$$ET(t,s) = FT(t,s) \times \sum_{s=1}^{nss} ccrítica_s \quad (3)$$

$$FT(t,s) = \frac{\sum_{s=1}^{nss} \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=11}^{15} \sum_{k=1}^{2000} gt_{i,j,k,t,s} \times cmo_{i,j,k,s}}{\sum_{s=1}^{nss} \sum_{i=1}^{12} \sum_{j=11}^{15} \sum_{k=1}^{2000} \left[ gh_{i,j,k,s} + \sum_{l=1}^{nt(s)} gt_{i,j,k,t,s} \right] \times cmo_{i,j,k,s}} \quad (4)$$

onde:

s = subsistema

nss = número de subsistemas

FH = fator hidrelétrico

i = mês

j = ano

k = série

t = usina térmica

gh = geração hidráulica total (controlável + fio d'água + vazão mínima)

gt = geração térmica total (inflexibilidade + geração flexível)

cmo = custo marginal de operação

nt(s) = número de térmicas do subsistema s

FT(t,s) = fator térmico de cada usina termelétrica t

<sup>5</sup> Utilizando-se configuração estática, horizonte de 5 anos e 2000 séries sintéticas de energias afluentes.

É importante destacar que as simulações energéticas realizadas com o modelo NEWAVE empregam o conceito de sistemas equivalentes, tendo-se como resultado a geração hidrelétrica agrupada por subsistema. A representação das usinas térmicas já é feita de forma individualizada no modelo NEWAVE. Daí a diferença entre as equações das ofertas EH e ET, onde se tem, no primeiro caso, o resultado agregado e, no segundo caso, o resultado discriminado por usina.

### III. Rateio do Bloco Hidrelétrico e determinação das GF das UHE

O rateio da oferta hidráulica (EH), pelo conjunto das usinas hidrelétricas da configuração, é feito proporcionalmente à energia firme de cada usina, obtidas com auxílio do modelo de simulação a usinas individualizadas MSUI.

A energia firme de uma usina corresponde à geração média nos meses do período crítico, e é obtida por simulação a usinas individualizadas do sistema integrado puramente hidrelétrico, utilizando séries de vazões históricas e sendo limitada ao valor da disponibilidade máxima de geração contínua da usina.

A equação (5) apresenta o rateio do bloco hidráulico entre as usinas hidrelétricas constantes do estudo.

$$GF_{local} = EH \times \frac{EF_h}{\sum_{h=1}^{nh} EF_h} \quad (5)$$

onde:

h = usina hidrelétrica

nh = número de usinas hidrelétricas na configuração

Caso a usina possua um reservatório de regularização, com usinas a jusante, além do ganho de garantia física local na usina ( $GF_{local}$ ), poderá haver um acréscimo de energia nessas usinas a jusante. Esse benefício, também conhecido por benefício indireto – BI, é calculado pela diferença entre o somatório da energia firme das usinas a jusante na cascata com e sem a usina em questão.

Assim, a garantia física de um empreendimento hidrelétrico é obtida pela equação (6).

$$GF_h = GF_{local} + BI_{cascata} \quad (6)$$

onde:

$BI_{cascata}$  = benefício indireto obtido nas usinas a jusante da usina  $h$  decorrente da entrada do reservatório da usina hidrelétrica  $h$

$GF_h$  = garantia física total da usina hidrelétrica  $h$

A garantia física de uma usina hidrelétrica deverá ser limitada ao valor de sua disponibilidade máxima de geração contínua ( $D_{max_h}$ ).

$$D_{max_h} = Pot_{ef} \times (1 - TEIF) \times (1 - IP) \quad (7)$$

onde:

$Pot_{ef}$  = potência efetiva da usina

$TEIF$  = taxa equivalente de indisponibilidade forçada

$IP$  = indisponibilidade programada

Para efeito de discretização da energia assegurada ao longo da motorização de uma usina hidrelétrica, a garantia física de cada uma das unidades geradoras é calculada a partir da proporção de suas energias firmes determinadas em simulações considerando a evolução da entrada das unidades geradoras, salvo disposição regulamentar em contrário.

#### IV. Rateio do Bloco Termelétrico e determinação das GF das UTE e UEE

A garantia física de uma usina termelétrica ( $GF_t$ ) deverá ser limitada ao valor de sua disponibilidade máxima de geração contínua ( $D_{max_t}$ ), apresentada na equação (8).

$$D_{max_t} = Pot_{ef} \times FC_{max} \times (1 - TEIF) \times (1 - IP) \quad (8)$$

onde:

$Pot_{ef}$  = potência efetiva da usina

$FC_{max}$  = fator de capacidade máximo da usina

$TEIF$  = taxa equivalente de indisponibilidade forçada

$IP$  = indisponibilidade programada

Sendo assim, a oferta térmica inicialmente calculada (ET) deve ser compatibilizada à disponibilidade da usina, sendo o excedente distribuído entre as demais térmicas da configuração na proporção de suas ofertas térmicas originais, também limitado à disponibilidade máxima de geração contínua.

A garantia física para uma usina termelétrica, tal como para as hidrelétricas, será determinada na barra de saída do gerador, sem considerar o abatimento do consumo interno da usina e as perdas na rede básica.

As usinas cuja inflexibilidade é igual à disponibilidade declarada pelo agente gerador, ou ainda, que possuam Custo Variável Unitário – CVU nulo, como é o caso das usinas de fonte eólica e das termelétricas movidas à biomassa cana de açúcar, terão a sua GF, definida como a máxima quantidade de energia que a usina pode vender no SIN, calculada de acordo com as metodologias descritas a seguir. Nestes casos, a declaração de disponibilidade de energia para o SIN, feita pelos agentes, deverá ser a líquida, ou seja, já abatida do consumo interno e das perdas elétricas até o ponto de conexão (rede de distribuição ou rede básica de transmissão).

#### **a. Determinação das GF das UTE inflexíveis ou com CVU nulo**

As premissas básicas para cálculo da Garantia Física destes empreendimentos são as seguintes:

- geração é totalmente inflexível;
- Custo Variável Unitário pode ser igual a ZERO em razão da inflexibilidade total;
- disponibilidade de energia para o SIN definida pelo agente gerador, devendo este informar os valores mensais em MW médios. Cada um destes valores mensais deve ser igual ou inferior a Disponibilidade Máxima ( $D_{max}$ ), dada pela equação (8);
- toda a capacidade instalada deve ser informada, e esta capacidade, estará comprometida com o montante de energia declarado pelo agente gerador.

Como a Inflexibilidade da usina, em cada mês, é igual a sua Disponibilidade mensal informada, a Garantia Física do empreendimento será dada por:

$$GF = \frac{\sum_{m=1}^{12} Disp_m}{12}$$

onde,

GF é a garantia física da usina;

Disp<sub>m</sub> é a disponibilidade mensal da usina declarada pelo agente gerador.

## b. Determinação das GF das Eólicas

No caso da energia eólica, as séries de dados de velocidade de vento, pressão do ar e temperatura ambiente, registradas com a precisão requerida para avaliação do potencial de energia eólica, ainda são relativamente pequenas, raramente alcançando um período superior a 3 anos, o que impede as simulações estocásticas da geração eólica, integrada ao sistema interligado hidrotérmico nacional, com o Modelo NEWAVE. Desta forma, a garantia física de energia associada a uma usina eólica será calculada pela expressão a seguir:

$$GF = \frac{\sum_{m=1}^{12} E_m}{8760}$$

Onde:

E<sub>m</sub>: compromisso firme de entrega de energia ao SIN declarado pelo agente, em cada mês "m" e em MWh, e que deve ser menor ou igual aos valores estimados de produção de energia apresentados na certificação da medição anemométrica .

A produção efetiva de energia será medida de acordo com o estabelecido pela CCEE. O agente está sujeito à penalização, a ser estabelecida e aplicada pela ANEEL, caso a produção verificada seja menor que os valores declarados pelo agente.

### 3. Referências

NOTA TÉCNICA MME/CCPE-ONS, "Garantia Física de Energia e Potência Metodologia, Diretrizes e Processo de Implantação", anexa à Portaria MME 303, de 18 de novembro de 2004.

NOTA TÉCNICA EPE-DEE-RE-081/2007-r2, de 26 de setembro de 2007 "Garantia Física dos Empreendimentos Termelétricos do Leilão de Compra de Energia Nova de A-3 e A-5 de 2007".