# 5 Remuneração do Benefício Agregado pelos Agentes Fornecedores de Reservas Operativas para Confiabilidade

## 5.1 Introdução

Como mostrado no Apêndice A, este tipo de reserva, que pode ser girante ou não girante (no Brasil exige-se que toda ela seja girante), é mantida pelo operador do sistema com o objetivo de fazer frente às contingências representadas por perdas de blocos de geração ou por aumentos consideráveis e não previstos de carga. Caso ela seja girante, acaba confundindo-se com as reservas específicas para a regulação de freqüência

A confiabilidade de um sistema elétrico em um determinado momento, medida por exemplo pela sua probabilidade de perda de carga LOLP, é diretamente proporcional à quantidade de reserva disponível, o que representa a principal justificativa para a proposta de que a remuneração do benefício proporcionado por esta reserva esteja relacionada ao aumento de confiabilidade, sob o aspecto de segurança (de curto prazo) do sistema, ao se aumentar o seu nível de reserva operativa para confiabilidade.

Considerando-se uma determinada parcela de reserva, cada unidade geradora i que a fornecer deverá produzir um certo incremento na confiabilidade do sistema elétrico. Este incremento será adotado como sendo o benefício agregado ao sistema pela reserva que cada uma delas fornece. O seu valor depende principalmente das características próprias de confiabilidade da unidade, tal como as suas taxas de falha e de reparo, de forma que a remuneração de cada uma das unidades geradoras a fornecer reserva poderá ser diferenciada em função do seu desempenho próprio e da sua contribuição individual à necessidade de confiabilidade do sistema.

## 5.2 Mecanismo de Remuneração do Benefício

Assim, para uma certa unidade geradora i, numa determinada hora j, a remuneração será definida com base no valor do custo unitário da interrupção $C_{int}$, e no módulo da diferença entre as probabilidades de perda de carga, antes e após a disponibilização da

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

reserva pela unidade geradora. O módulo é necessário pois ao se aumentar as reservas há uma diminuição da LOLP do sistema. A remuneração unitária ($/MWh) pelo seu benefício será calculada então, como:

$$Be_RCf_{ij} = C_{int} \cdot \left| LOLP_j^{(2)} - LOLP_j^{(1)} \right|_i \tag{5.1}$$

Este valor pode ser interpretado como a diferença entre valores esperados dos custos unitários da perda de carga, LOLC (*loss of load cost*), nas duas situações.

Pode-se escrever (5.1) ainda como:

$$Be_RCf_{ij} = C_{int} \cdot \left| \Delta LOLP_j \right|_i \tag{5.2}$$

sendo:

$LOLP_j^{(2)}$ - probabilidade de perda de carga do sistema, ou área de controle na hora j, após a disponibilização de reservas operativas para confiabilidade pela unidade geradora i - %;

$LOLP_j^{(1)}$ - probabilidade de perda de carga do sistema ou área de controle na hora j, antes da disponibilização de reservas operativas para confiabilidade pela unidade geradora - % i;

$\left| \Delta LOLP_j \right|_i$ - módulo da variação da probabilidade de perda de carga do sistema ou área de controle, em uma certa hora, devido à disponibilização de reservas operativas para confiabilidade pela unidade geradora i - %.

A principal questão relacionada com a diferença $\left| \Delta LOLP_j \right|_i$ é o fato que, apesar do montante de reserva fornecido por qualquer unidade geradora ser conhecido, não se tem como identificar qual era a posição da reserva de uma determinada unidade no montante de reserva do sistema, em uma certa hora. Como podem haver diversas unidades fornecendo reserva simultaneamente, torna-se impossível determinar a variação LOLP relativa a cada uma delas. Entretanto, para cada posição de uma parcela individual de reserva, haverá uma variação diferente da LOLP do sistema, que diminui à medida em que a reserva é aumentada, conforme mostrado na Figura 5.1 . A definição da remuneração individual de cada unidade geradora, com a certeza de que nenhuma delas seja prejudicada financeiramente, precisa ser tratada cuidadosamente. Não se pode

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

permitir que uma unidade com maior taxa de falhas seja melhor remunerada que outras com menor taxa.

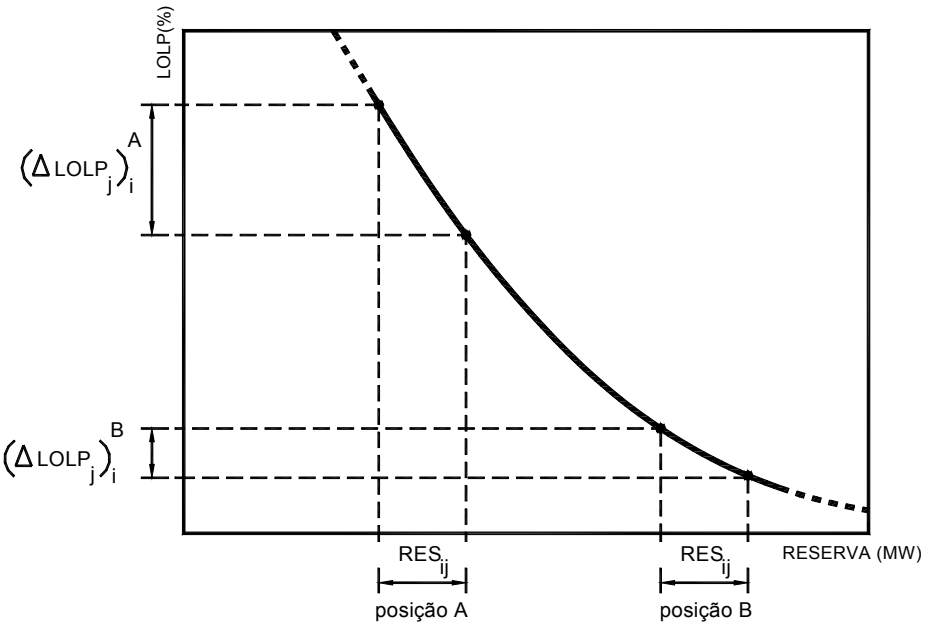


Figura 5.1 - Curva Parcial LOLP x RES[10] de um Sistema Elétrico

### 5.2.1 Individualização da Remuneração das Unidades Geradoras Fornecedoras de Reservas Operativas para Confiabilidade

Para que as remunerações da unidades geradoras participantes do serviço de reservas operativas sejam o mais justas possível e incentivem a eficiência, a competitividade e o aumento da confiabilidade, é necessário que elas sejam individualizadas em função do desempenho de cada unidade geradora i e da sua contribuição para a confiabilidade global do sistema elétrico. Desta forma as remunerações serão medidas, por exemplo, por meio das taxas de falha $\lambda$ e de reparo $\mu$ das unidades fornecedoras de reserva.

Para uma determinada configuração de geração ou 'parque gerador' de um sistema elétrico, o valor de $LOLP_j^{(1)}$ é uma função da disponibilidade de geração e da demanda,

[10] O acrônimo RES é utilizado para representar genericamente uma reserva operativa, seja ela para confiabilidade ou para regulação de freqüência (RCf ou RRg).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

ou seja da reserva operativa existente na hora j. Supondo-se que a unidade geradora i passe a fornecer reserva operativa ao sistema, pode-se escrever, considerando-se (5.2):

$$LOLP_j^{(2)} = f\left(LOLP_j^{(1)}, \lambda_i, \mu_i, RCf_{ij}\right) \tag{5.3}$$

Sendo $\lambda_i$ e $\mu_i$ (ocorrência/hora), as taxas de falha e de reparo da unidade i, respectivamente.

Considerando-se a hipótese de que toda a reserva operativa para confiabilidade do sistema seja constituída unicamente por unidades geradoras idênticas à unidade i, de capacidade nominal $CA_N_i$ que vão sendo sucessivamente adicionadas como reserva, ter-se-á para a LOLP na k-ésima adição, a partir de (5.3):

$$LOLP_j^{(k)} = f\left[LOLP_j^{(k-1)}, \lambda_i, \mu_i, \left(k \cdot CA_N_i\right)\right], \quad k = 1,2,3,..... \tag{5.4}$$

Uma vez que a cada passo a LOLP depende da reserva atual e da reserva e da probabilidade de perda de geração no passo anterior, ou seja, da reserva atual e da LOLP no passo anterior.

Como $\lambda_i$ e $\mu_i$ são constantes pois está sendo considerada uma única unidade geradora, e devido à recursividade observada em (5.4), pode-se concluir que:

$$LOLP_j^{(k)} = f\left(k \cdot CA_N_i\right), \quad k = 1,2,3,..... \tag{5.5}$$

O termo $\left(k \cdot CA_N_i\right)$ representaria, nesta hipótese, toda a reserva de confiabilidade do sistema, para k unidades geradoras idêntica à unidade i agregadas ao sistema, na condição de reserva, ou seja:

$$RCf_{ij}^{(k)} = k \cdot CA_N_i, \quad k = 1,2,3,..... \tag{5.6}$$

No caso de diversas unidades geradoras com diferentes valores de taxas de falha e reparo, obtêm-se as curvas LOLP x RES vistas na Figura 5.2. Para isto deve-se partir de

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

um valor inicial para a reserva, por exemplo $RES_j^{(0)} = 0$, para um determinado parque gerador.

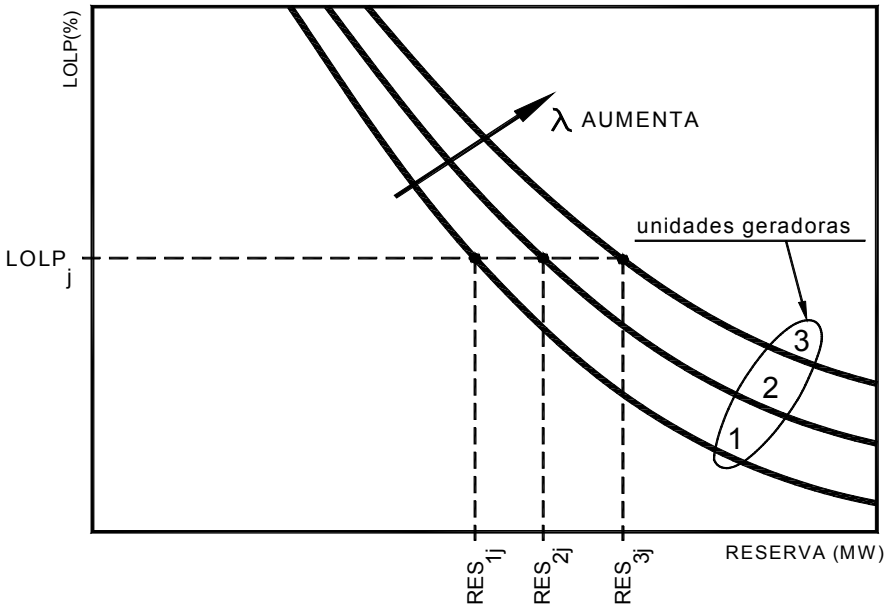


Figura 5.2 - Curvas LOLP x RES - Diversas Unidades Geradoras

Como se vê, para que se tenha um determinado valor para a LOLP, a quantidade de reserva necessária é tanto maior quanto maior for a taxa de falhas da unidade geradora que a estaria fornecendo. Conclui-se então que à medida que a taxa de falha das unidades geradoras aumenta, a variação conseguida na LOLP do sistema diminui, para uma mesma quantidade de reserva, uma vez que a inclinação da curva diminui. A inclinação da curva referente à cada unidade é então capaz de individualizar e avaliar o seu desempenho e a sua contribuição à confiabilidade de curto prazo do sistema, e assim a sua remuneração pela reserva operativa fornecida.

### 5.2.2 Definição da Remuneração

Pode-se considerar que a diferença $\left| LOLP_j^{(2)} - LOLP_j^{(1)} \right|_i$ vista em (5.1), que define a remuneração unitária da unidade i pelo benefício proporcionado pela sua reserva operativa, representa uma aproximação da derivada da LOLP para um incremento

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

unitário no valor da reserva operativa. Assim, o valor da derivada que representa a taxa de variação instantânea da LOLP em relação à reserva, será utilizado para a definição desta remuneração. As vantagens da sua utilização são que ele pode ser obtido diretamente das curvas LOLP x RES de cada unidade geradora e independe dos montantes de reserva, sendo um valor adimensional que representa a inclinação destas curvas para qualquer valor de LOLP. Esta será denominada 'benefício incremental da reserva operativa' da unidade geradora i. Com isto são obtidas curvas que relacionam a reserva com a taxa de variação instantânea para cada unidade, mostradas na Figura 5.3.

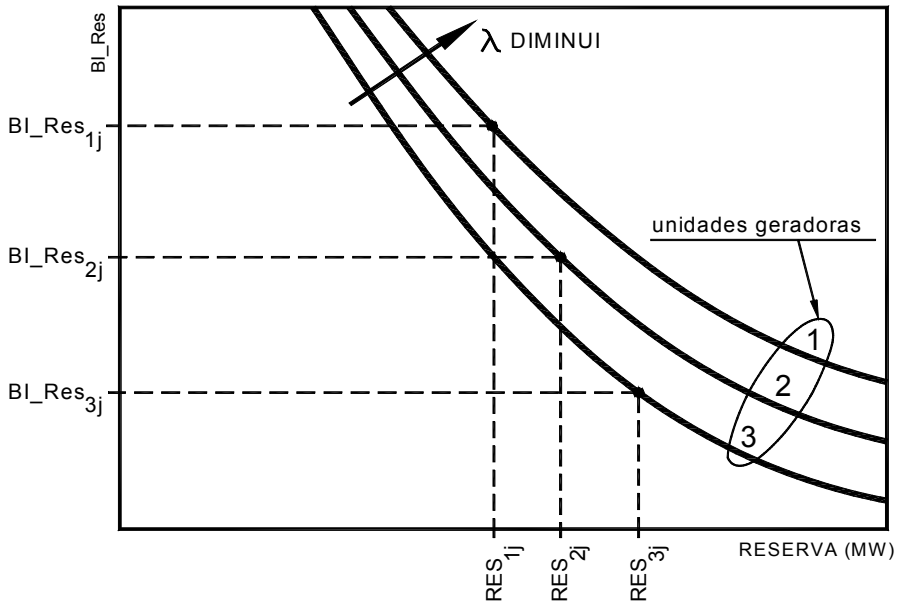


Figura 5.3 - Curvas LOLP x RES - Diversas Unidades Geradoras

Considerando a reserva para confiabilidade RCf, esta taxa será denominada 'benefício incremental da reserva operativa para confiabilidade' da unidade geradora i, dado por:

$$BI_RCf_{ij} = \left| \frac{d\,LOLP_j}{d\,RCf_j} \right| \tag{5.7}$$

Com os valores observados a cada hora para a LOLP e para o valor médio da reserva de confiabilidade, podem ser então conhecidos os benefícios que cada unidade pode proporcionar à confiabilidade do sistema, e a sua remuneração.

A remuneração dada por (5.2), pode ser então colocada como:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

$$Be_RCf_{ij} = C_{int} \cdot BI_RCf_{ij} = C_{int} \cdot \left| \frac{d\,LOLP_j}{d\,RCf_j} \right|_{RCf_j} \tag{5.8}$$

## 5.3 Cálculo das Probabilidades de Perda de Carga - LOLP

Para a caracterização da função definida por (5.5) e obtenção do valor da remuneração das unidades geradoras pelo benefício da sua reserva de confiabilidade, conforme (5.8) seria necessário primeiramente o desenvolvimento de uma ferramenta computacional utilizando uma metodologia qualquer para o cálculo dos valores da LOLP de curto prazo. Para isto diversas técnicas de eficiência comprovada podem ser encontradas na literatura [Billington, 1988; Billington, 1996; Melo, 1986; Melo 1990; Oliveira, 1987; Jamoulle, 1983; Clancy, 1981]. Entretanto, optou-se neste trabalho por utilizar uma ferramenta já desenvolvida no Brasil, como por exemplo os programas NH2 e CONFINT, ambos desenvolvidas pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica - CEPEL. A opção recaiu sobre o programa CONFINT por se entender ser ele o mais indicado, devido à sua facilidade de utilização, agilidade nos cálculos e melhor adequação aos objetivos do trabalho em desenvolvimento.

Este programa visa a análise de confiabilidade de sistemas hidrotermelétricos interligados, através do cálculo da LOLP e dos principais índices de confiabilidade, inclusive os índices de freqüência e duração, o que pode ser feito utilizando-se duas metodologias [CEPEL, 1999a; CEPEL, 2002]:

- integração direta [Oliveira, 1987; Melo 1990; Lee, 1987] e
- simulação Monte Carlo [Lago-Gonzalez, 1989].

O modelo CONFINT disponibiliza duas opções básicas de estudos [CEPEL, 1999a; CEPEL, 2002]:

- de longo prazo, levando em consideração as séries hidrológicas históricas e os cronogramas de manutenção:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

- longo prazo mensal – o período de estudo é de um ano, discretizado em 12 meses, sendo calculados índices de confiabilidade mensais. A consideração dos cronogramas de manutenção é opcional.
- longo prazo semanal – o período de estudo é de um ano, discretizado em 53 semanas, sendo calculados índices de confiabilidade semanais e a partir destes índices mensais. A consideração dos cronogramas de manutenção é opcional;
- longo prazo com máxima manutenção semanal – o período de estudo é de um ano, sendo calculados índices de confiabilidade semanais apenas para as semanas com os maiores valores de manutenção de cada mês.

- de curto prazo, não considerando as séries hidrológicas - o período de estudo é mensal, sendo calculados índices de confiabilidade semanais. O programa discretiza o período de estudo em até 6 semanas e calcula os índices de confiabilidade de cada semana. A consideração dos cronogramas de manutenção é opcional também neste caso.

Na utilização do modelo CONFINT foram adotados algumas hipóteses e critérios de cálculo da LOLP adequados aos objetivos do trabalho a ser desenvolvido, os quais são comentados a seguir.

Em primeiro lugar, como as reservas envolvidas são as reservas operativas, adotou-se a opção de estudo de curto prazo e não foram considerados cronogramas de manutenção, em função da pequena duração dos períodos de análise, de horas e dias.

Apesar dos valores da LOLP calculados na opção de curto prazo serem semanais, foram utilizados valores horários de carga e geração como dados de entrada no modelo CONFINT, sendo os resultados aceitos como valores horários de LOLP. É possível demonstrar-se que o erro provocado por tal procedimento sobre estes valores é pequeno, de aproximadamente 5%. Este problema poderia ainda ser resolvido de duas formas: através de uma modificação dos valores das taxas de falha e reparo da unidades geradoras envolvidas, para se corrigir a diferença de tempo no cálculo das probabilidades delas estarem em estado operativo ou de falha, ou através de uma adequação do modelo computacional para o cálculo das LOLP horárias.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

Quanto à consideração de diversos sistemas ou áreas de controle interligadas, adotou-se a hipótese de interconexões com capacidade de transmissão tal que o sistema analisado pôde ser considerado como um sistema único, trabalhando-se apenas com os valores globais da LOLP, ou seja as LOLP do sistema.

Como o modelo CONFINT não trabalha com as taxas de falha e de reparo individuais de cada uma das unidades geradoras, mas as agrupa em classes de estatísticas de falha, segundo a capacidade de geração das unidades, conforme normas internacionais, estes valores foram aceitos para efeito das simulações, apesar de não retratarem exatamente as características reais de confiabilidade de cada unidade geradora. Estas classes são apresentadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Classes de Estatísticas de Falha Utilizadas pelo Ferramenta Computacional CONFINT

| CLASSE | TIPO DA USINA | CAPACIDADE NOMINAL (MW) | TAXA DE FALHA ocorrência por hora) | TAXA DE REPARO (ocorrência por hora) | INDISPONI-BILIDADE FORÇADA (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | HIDRÁULICA | 0 a 10 | 0,00000 | 1,00000 | 0,00000 |
| 2 | HIDRÁULICA | 10 a 29 | 0,00111 | 0,04635 | 2,33881 |
| 3 | HIDRÁULICA | 30 a 59 | 0,00069 | 0,04058 | 1,67192 |
| 4 | HIDRÁULICA | 60 a 199 | 0,00087 | 0,03327 | 2,54833 |
| 5 | HIDRÁULICA | 200 a 499 | 0,00150 | 0,04907 | 2,96619 |
| 6 | HIDRÁULICA | 500 a 1000 | 0,00150 | 0,02350 | 6,00000 |
| 7 | ÓLEO | 0 a 10 | 0,00000 | 1,00000 | 0,00000 |
| 8 | ÓLEO | 10 a 59 | 0,00085 | 0,00500 | 14,52991 |
| 9 | ÓLEO | 60 a 89 | 0,00574 | 0,02583 | 18,18182 |
| 10 | ÓLEO | 90 a 129 | 0,00600 | 0,04110 | 12,73885 |
| 11 | ÓLEO | 130 a 199 | 0,00120 | 0,00915 | 11,59420 |
| 12 | ÓLEO | 200 a 389 | 0,00389 | 0,01228 | 24,05689 |
| 13 | CARVÃO | 0 a 10 | 0,00000 | 1,00000 | 0,00000 |
| 14 | CARVÃO | 10 a 59 | 0,00085 | 0,00500 | 14,52991 |
| 15 | CARVÃO | 60 a 89 | 0,00574 | 0,02583 | 18,18182 |
| 16 | CARVÃO | 90 a 129 | 0,00600 | 0,04110 | 12,73885 |
| 17 | CARVÃO | 130 a 199 | 0,00120 | 0,00915 | 11,59420 |
| 18 | CARVÃO | 200 a 389 | 0,00389 | 0,01228 | 24,05689 |
| 19 | CARVÃO | 0 a 10 | 0,00000 | 1,00000 | 0,00000 |
| 20 | GÁS | 0 a 1000 | 0,00243 | 0,00123 | 66,39344 |
| 21 | NUCLEAR | 0 a 10 | 0,00000 | 1,00000 | 0,00000 |
| 22 | NUCLEAR | 0 a 1000 | 0,00188 | 0,00568 | 24,86773 |
| 23 | DIESEL | 0 a 10 | 0,00000 | 1,00000 | 0,00000 |
| 24 | DIESEL | 10 a 1000 | 0,00574 | 0,02377 | 19,45103 |

Fonte: Programa CONFINT - CEPEL

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

## 5.4 Procedimento para o Cálculo da Remuneração do Benefício Agregado pelas Reservas para Confiabilidade

Como se sabe, a configuração de um sistema elétrico sofre poucas alterações durante um período de um dia. Elas são notadas principalmente quando existem grandes variações na demanda, que permitam a parada ou o religamento de unidades geradoras. Estas variações se verificam quase sempre quando se muda de patamar de demanda. No período de um dia são geralmente definidos três patamares, de carga leve, de carga média e de carga pesada. É possível afirmar-se então que as variações dos índices de confiabilidade em curto-prazo, que dependem basicamente da configuração do sistema, também seriam mais notadas ao se mudar de patamar de demanda. Sendo assim, os cálculos podem ser muito simplificados, com economia computacional, se ficarem restritos aos patamares de carga citados, ao invés de serem efetuados para cada hora do dia. Tal simplificação será adotada no presente trabalho.

Para efeito deste estudo, entende-se como configuração do sistema, em uma determinada hora, o conjunto de unidades geradoras que se encontravam fornecendo energia, operando como compensadores síncronos e girando em vazio, com carga mínima ou com carga parcial, por determinação do operador do sistema, com o objetivo de fornecerem as reservas operativas necessárias. As unidades não girantes, capazes de começarem a gerar em 10 minutos, também serão consideradas como componentes da configuração, se tiverem sido designadas como fornecedoras de reservas operativas. A 'capacidade de geração' disponível em cada configuração é representada pelo somatório das capacidades de geração das unidades geradoras enquadradas nas situações acima.

O procedimento proposto para o cálculo da remuneração do benefício agregado pelas reservas operativas deve ser repetido para cada uma das unidades geradoras, designadas pelo operador do sistema para participarem deste serviço, em cada uma das configurações de geração do sistema observadas em um determinado dia, segundo a classe de estatística de falha a que a unidade pertence. As etapas que compõem o procedimento são:

1. Para cada mês m, para cada dia d, proceder à preparação dos dados de carga, que consiste na modulação das curvas de carga diárias observadas em três patamares de demanda (cargas leve, média e pesada), representados por:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

$D^{(L)}_{adm}$, $D^{(M)}_{adm}$ e $D^{(P)}_{adm}$ , a=1,2,...na - para as áreas de controle,

sendo a, o índice das áreas de controle e na, a quantidade delas, e

$Ds^{(L)}_{dm}$, $Ds^{(M)}_{dm}$ e $Ds^{(P)}_{dm}$ - para o sistema interligado

Isto é efetuado pela ferramenta computacional MODCAR, também desenvolvida pelo CEPEL. Além disto ela já fornece os dados de carga na formatação apropriada para serem utilizados na ferramenta CONFINT.

2. Para cada mês m, para cada dia d, calcular a LOLP, utilizando as curvas de carga moduladas em três patamares pela ferramenta computacional MODCAR, por meio da ferramenta CONFINT. Obtêm-se assim os 'valores de referência observados da probabilidade de perda de carga' do sistema e/ou das áreas de controle, para os três patamares:

   $LOLPs^{(L)}_{dm}$ e $LOLP^{(L)}_{adm}$, a=1,2,...na;
   $LOLPs^{(M)}_{dm}$ e $LOLP^{(M)}_{adm}$, a=1,2,...na;
   $LOLPs^{(P)}_{dm}$ e $LOLP^{(P)}_{adm}$, a=1,2,...na.

3. Montar a curva do benefício incremental da reserva operativa para cada unidade geradora fornecedora de reserva, inclusive as participantes do CAG. Essas curvas devem ser obtidas para cada dia d, e para cada diferente configuração do sistema nele observada. A montagem é feita através dos passos a seguir.

   3.a Levantar todas as configurações de geração, isto é, a capacidade de geração disponível em operação, total e de cada área de controle do sistema, em cada dia d,

   $CGG_{cadm}$ , a=1,2,...na; c=1,2,...nc

   sendo a capacidade de geração total disponível no sistema, obtida como:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

$$CGG_{cdm} = \sum_{a=1}^{na} CGG_{acdm} \tag{5.9}$$

onde c, é o índice das configurações do sistema e nc, é o número delas no dia d. Espera-se, em princípio, que existam diariamente, no máximo três configurações, coincidentes com os patamares de carga.

3.b Alterar o arquivo de entrada de dados da ferramenta CONFINT para o cálculo da LOLP, de forma a simular-se o sistema, como se em cada dia houvesse apenas o patamar de demanda pesada, em cada uma das suas áreas de controle.

3.c Com este arquivo de dados alterado, para cada dia d e para cada configuração c, do sistema, ajustar a sua demanda máxima observada (que também é uma entrada da ferramenta de cálculo da LOLP, como 'carga própria do sistema'), de cada área de controle, à sua capacidade de geração disponível, ou seja, fazer:

$$D_{acdm} = CGG_{acdm}\ , a = 1,2,...na\ ; c = 1,2,...nc \tag{5.10}$$

3.d Utilizando o valor da carga própria ajustado em cada configuração, determinar os pontos da curva $LOLP \times RES$ do sistema, para cada unidade $p \in GR$, sendo GR o conjunto de unidades fornecedoras de reservas em cada configuração de geração. Isto é feito por meio da simulação da entrada em operação de unidades geradoras idênticas a esta unidade ($CA_N_i$, $\lambda_i$ e $\mu_i$), uma a uma, e calculando-se a LOLP a cada passo, até que se tenha um valor tão pequeno quanto se queira

. A forma típica destas curvas é mostrada na Figura 5.4.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

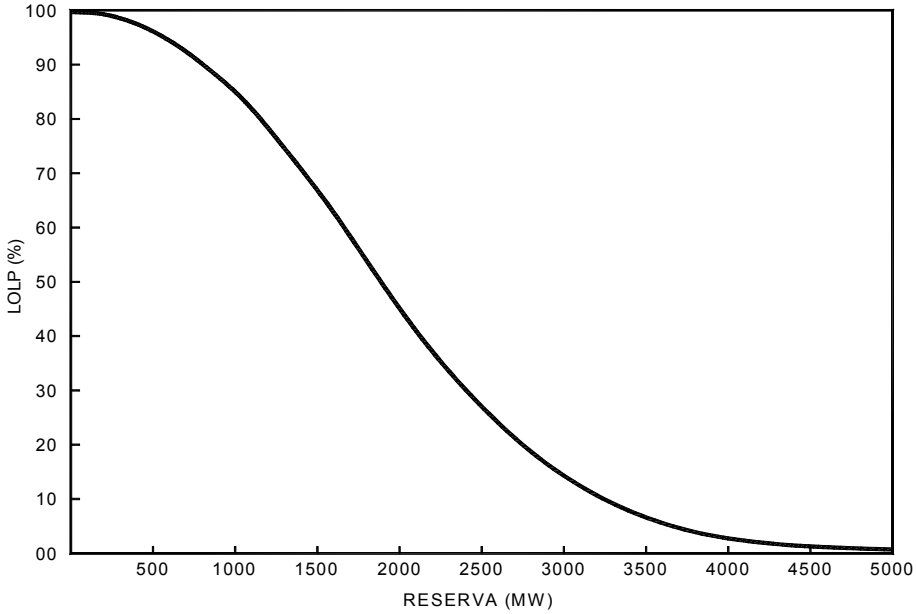


Figura 5.4 - Forma Típica da Curva LOLP x RES Completa

3.e. A partir de cada uma das curva obtidas no passo anterior, gerar as curvas do benefício incremental da reserva operativa de cada uma das unidades envolvidas, através de (5.11):

$$BI_RES_{ij} = \left| \frac{d\,LOLP_j}{d\,RES_j} \right| \tag{5.11}$$

Esta equação é análoga a (5.7), só que generaliza o benefício agregado pelas reservas operativas em geral, com exceção da reserva de substituição, pois as curvas serão feitas também para as unidades participantes do CAG, e fornecedoras, portanto, de reservas para regulação de freqüência. A forma típica de tais curvas é mostrada na Figura 5.5.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

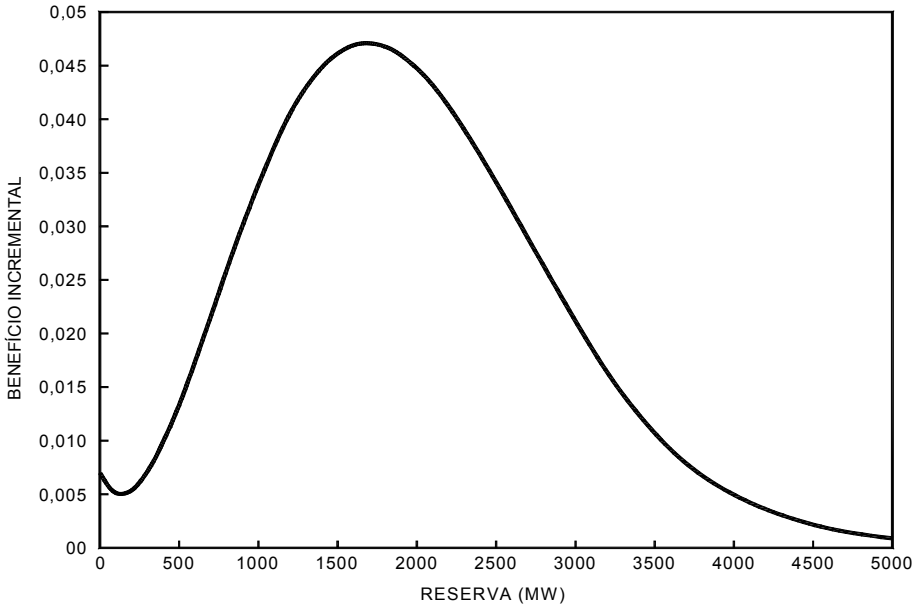


Figura 5.5 - Forma Típica da Curva BI_RES x RES

4. Determinar o valor máximo do benefício incremental da reserva operativa, para cada uma das curvas, ou seja, para cada unidade geradora, configuração de geração, dia e mês:

$$BI_RES_{icdm}^{máx} = \max\left|\frac{d\,LOLP_j}{d\,RES_j}\right| \tag{5.12}$$

Como pode ser observado na Figura 5.5, existe um trecho inicial onde há um crescimento do benefício incremental, e em conseqüência, da remuneração pelas reservas, à medida em que estas também aumentam. A função atinge um ponto máximo, a partir do qual a relação entre o benefício incremental e as reservas se inverte, ou seja, quanto maior a reserva menor o benefício. Isso mostra que quanto maior a confiabilidade, menor será a remuneração das reservas, o que é mais lógico, pois o valor do serviço é tanto maior quando ele é mais necessário. A parte inicial da curva representa uma faixa de LOLP extremamente alta, entre 100 e 50%, aproximadamente, sendo que raramente um sistema se encontraria nesta faixa em condições normais. Como esta faixa de LOLP sugere situações críticas, de alta exposição do sistema a cortes de carga, esta parte da curva será modificada, adotando-se como o valor do benefício o valor máximo da função, $BI_RES_{icdm}^{máx}$.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

Com isto, a curva BI_RES x RES passa a ter a forma mostrada na Figura 5.6.

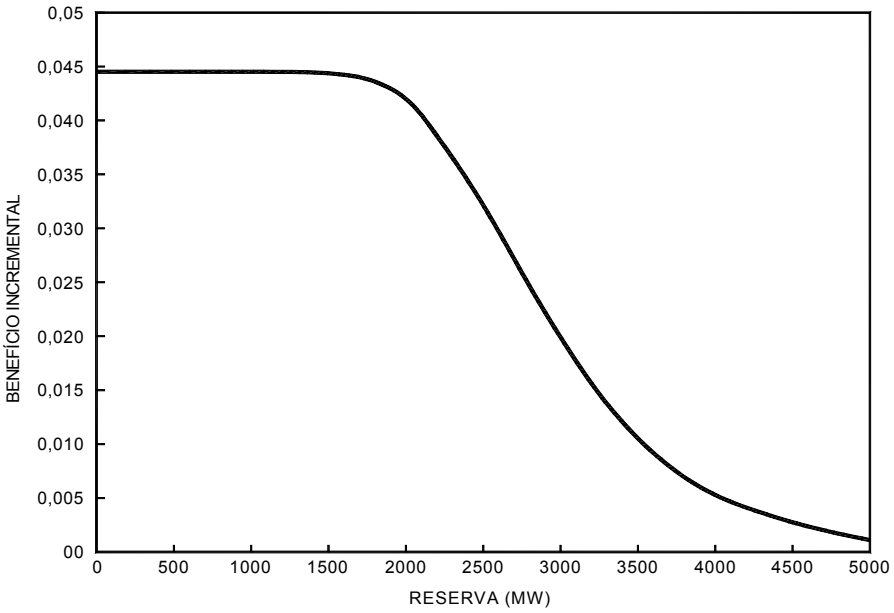


Figura 5.6 - Curva BI_RES x RES Modificada

As expressões aproximadas das curvas LOLP x RES e BI_RES x RES são obtidas através de interpolações polinomiais baseadas no método dos mínimos quadrados e interpolações através de *splines* cúbicas. O critério de aceitação dos coeficientes dos polinômios e dos parâmetros das demais curvas ajustadas é o fator $R^2$ (R-quadrado), aceitando-se o ajuste quando:

$$R^2 \geq 0{,}99 \ (99\%) \tag{5.13}$$

5. Obter os valores específicos do benefício incremental, em função das condições normais de carga observadas diariamente, para cada unidade geradora, configuração de geração, dia e mês, através dos seguintes passos:

   5.a Com os valores $LOLPs_{dm}^{(P)}$ , $LOLPs_{dm}^{(M)}$ e $LOLPs_{dm}^{(L)}$ nas curvas LOLP x RES apropriadas, obter os valores equivalentes dos níveis de reserva observados de cada dia do mês m:

$$RES_{icdm}^{(P)} \ , \ RES_{icdm}^{(M)} \ \text{ e } \ RES_{icdm}^{(L)} \ , \ c = 1,2,...nc \ , \ i \in GR$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

5.b Com estes valores de reserva nas curvas $BI_RES \times RES$ respectivas, obter os valores específicos do benefício incremental para as unidades fornecedoras de reservas operativas para confiabilidade, fazendo-se RES=RCf:

$$BI_RCf_{icdm}^{(P)} \ , \ BI_RCf_{icdm}^{(M)} \ \text{e} \ BI_RCf_{icdm}^{(L)} \ \ c = 1,2,...nc \ , \ \ i \in GR$$

Este procedimento será aplicado também para as unidades fornecedoras de reservas operativas para regulação de freqüência, fazendo-se RES=RRg e obtendo-se os valores:

$$BI_RRg_{icdm}^{(P)} \ , \ BI_RRg_{icdm}^{(M)} \ \text{e} \ BI_RRg_{icdm}^{(L)} \ \ c = 1,2,...nc \ , \ \ i \in GR$$

que serão utilizados no cálculo da remuneração da regulação de freqüência no Capítulo 6, Seção 6.1.

6. Calcular as remunerações incrementais de cada unidade geradora para cada hora, dia e mês. Para cada dia d, verificar as horas abrangidas pelas configurações de geração observadas e a sua simultaneidade com os períodos de carga pesada, média e leve. Duas hipóteses são possíveis.

6.a Houve apenas uma configuração de geração em todo o dia.

Nesse caso, a remuneração horária de cada unidade fornecedora deverá ser calculada por patamar. Assim, considerando P, M e L como os conjuntos de horas dos períodos de carga pesada média e leve, respectivamente, vem:

$$Be_RCf_{ijdm}^{(P)} = C_{int} \cdot BI_RCf_{idm}^{(P)} \ , \ j \in P \qquad (5.14)$$

$$Be_RCf_{ijdm}^{(M)} = C_{int} \cdot BI_RCf_{idm}^{(M)} \ , \ j \in M \qquad (5.15)$$

$$Be_RCf_{ijdm}^{(L)} = C_{int} \cdot BI_RCf_{idm}^{(L)} \ , \ j \in L \qquad (5.16)$$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

6.b Houve mais de uma configuração de geração no dia.

A remuneração horária de cada unidade fornecedora será calculada da mesma forma, mas poderão haver valores diferentes de remuneração para uma mesma unidade geradora dentro de um patamar, devido à possibilidade de se encontrar mais de uma configuração de geração dentro de um mesmo patamar de carga. Sendo $CH_c$, os conjuntos de horas de cada configuração observada num certo dia, as equações das remunerações, nesse caso, passam a ser:

$$Be_RCf_{ijdm}^{(P)} = C_{int} \cdot BI_RCf_{icdm}^{(P)},\ j \in P \ \ e \ \ j \in CH_c \tag{5.17}$$

$$Be_RCf_{ijdm}^{(M)} = C_{int} \cdot BI_RCf_{icdm}^{(M)},\ j \in M \ \ e \ \ j \in CH_c \tag{5.18}$$

$$Be_RCf_{ijdm}^{(L)} = C_{int} \cdot BI_RCf_{icdm}^{(L)},\ j \in L \ \ e \ \ j \in CH_c \tag{5.19}$$

para $c = 1,2,.....,nc$

A metodologia proposta nesta seção pode ser também aplicada individualmente para cada uma das áreas de controle componentes do sistema, já que a ferramenta computacional utilizada (CONFINT), já fornece os valores da LOLP para cada uma das áreas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

## 5.5 Contabilização Mensal da Remuneração da Reserva para Confiabilidade

A contabilização mensal do pagamento a ser feito a cada uma das unidades geradoras participantes consiste no cálculo do somatório das remunerações horárias ao longo de um mês. Esta remuneração será então, em um dado mês (ver (4.11)):

$$BE_Res_{im} = \sum_{d=1}^{nd}\sum_{j=1}^{24}\left[RCf_{ijdm} \cdot Be_RCf_{ijdm}^{(P,M,L)}\right] \qquad (5.20$$

## 5.6 Estudo de Caso 01: Cálculo da Remuneração de Reservas para Confiabilidade

A metodologia proposta para este cálculo foi aplicada para o Sistema Interligado Nacional, considerando-se apenas as áreas sul e sudeste (incluindo centro-oeste). Os valores da remuneração pelas reservas operativas foram obtidos para um período de 10 dias, compreendendo os dias entre 17/11/2003 e 26/11/2003, supondo-se uma única configuração de geração em cada dia, cujas capacidades de geração são vistas na Tabela 5.2

Tabela 5.2 - Capacidades de Geração das Configurações do Sistema - MW

| ÁREA/DIA | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SUDESTE | 37867 | 38148 | 37923 | 38239 | 36293 | 37644 | 38399 | 38433 | 38169 | 38119 |
| SUL | 7821 | 7856 | 7446 | 7254 | 7946 | 7946 | 7446 | 7596 | 7736 | 7470 |

As curvas de carga do período de estudos são representadas pelos valores da Tabela 5.3 e da Tabela 5.4. Os valores desta tabela são determinados usando-se como base os valores da Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Cargas Próprias Diárias do Sistema - MW

| ÁREA/DIA | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SUDESTE | 32009 | 32721 | 32114 | 31449 | 31222 | 31089 | 30382 | 32421 | 32489 | 32601 |
| SUL | 9145 | 8977 | 8860 | 8861 | 8955 | 8844 | 8469 | 9285 | 9473 | 9376 |

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

Tabela 5.4 - Curvas de Carga Diárias das Áreas Sul e Sudeste - 03 Patamares

| ÁREA SUDESTE | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PATAMAR/DIA | | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 |
| PESADA | $D_{adm}^{(P)}$ | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| MÉDIA | $D_{adm}^{(M)}$ | 0,9412 | 0,9470 | 0,9515 | 0,9378 | 0,9417 | 0,8754 | 0,8609 | 0,9370 | 0,9573 | 0,9456 |
| LEVE | $D_{adm}^{(L)}$ | 0,7234 | 0,7519 | 0,7907 | 0,7833 | 0,7706 | 0,7521 | 0,7597 | 0,6965 | 0,7597 | 0,7677 |
| ÁREA SUL | | | | | | | | | | | |
| PATAMAR/DIA | | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 |
| PESADA | $D_{adm}^{(P)}$ | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 | 1,0000 |
| MÉDIA | $D_{adm}^{(M)}$ | 0,9674 | 0,9725 | 0,9800 | 0,9735 | 0,9931 | 0,8957 | 0,8769 | 0,9806 | 0,9767 | 0,9912 |
| LEVE | $D_{adm}^{(L)}$ | 0,6588 | 0,7558 | 0,7463 | 0,7445 | 0,7437 | 0,7591 | 0,7402 | 0,7416 | 0,7489 | 0,7493 |

Com a utilização da ferramenta CONFINT, foram obtidos inicialmente os valores diários de referência observados da LOLP, relativos ao sistema com interligação:

$$LOLPs_{dm}^{(P)},\ LOLPs_{dm}^{(M)} \text{ e } LOLPs_{dm}^{(L)};$$

$$LOLP_{adm}^{(P)},\ LOLP_{adm}^{(M)} \text{ e } LOLP_{adm}^{(L)},$$

com d=1,2,....,10 e a=1,2.

relacionados na Tabela 5.5, na qual são mostrados os valores originais e os valores corrigidos. Propõe-se uma correção dos valores das probabilidades de perda de carga observadas, quando eles se apresentarem menores que um certo valor. Neste trabalho adotou-se para este valor mínimo:

$$LOLP^{(P,M,L)} = 0{,}0274\% \ , \tag{5.21}$$

que representa a ocorrência de 1 dia de corte de carga em 10 anos.

Este valor deverá ser determinado pelo órgão regulador competente, e será função da confiabilidade planejada para o sistema elétrico, através de estudos técnicos e econômicos apropriados.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

Tabela 5.5 - Valores Diários Observados da LOLP por Patamar de Carga - %

| VALORES ORIGINAIS | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **PATAMAR/DIA** | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 |
| PESADA | 0,9521 | 1,5564 | 1,9310 | 2,0657 | 1,2377 | 0,0517 | 0,0415 | 2,4141 | 6,6935 | 13,2087 |
| MÉDIA | 0,0482 | 0,0277 | 0,2291 | 0,4127 | 0,0412 | 10E-03 | 0,0000 | 0,3391 | 1,3090 | 5,8373 |
| LEVE | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| VALORES CORRIGIDOS | | | | | | | | | | |
| **PATAMAR/DIA** | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 |
| PESADA | 0,9521 | 1,5564 | 1,9310 | 2,0657 | 1,2377 | 0,0517 | 0,0415 | 2,4141 | 6,6935 | 13,2087 |
| MÉDIA | 0,0482 | 0,0277 | 0,2291 | 0,4127 | 0,0412 | 0,0274 | 0,0274 | 0,3391 | 1,3090 | 5,8373 |
| LEVE | 0,0274 | 0,0274 | 0,0274 | 0,0274 | 0,0274 | 0,0274 | 0,0274 | 0,0274 | 0,0274 | 0,0274 |

Em relação às unidades fornecedoras das reservas, este estudo foi desenvolvido para duas unidades geradoras de 200MW, uma hidráulica, com taxa de falha de **0,00150 ocorrência/hora** e uma térmica (óleo ou carvão), com taxa de falha de **0,00389 ocorrência/hora**, ambas localizadas na área Sudeste. Ver Tabela 5.1 para informações complementares, tais como taxa de reparo e indisponibilidade forçada.

Os benefícios incrementais, de cada dia de realização da simulação, para cada uma das unidades geradoras, $BI_RCf_{icdm}$ , $c = 1,2,...nc$ são mostradas na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Benefícios Incrementais Diários por Patamar de Carga - pu

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| UNIDADE HIDRÁULICA | PATAMAR/DIA | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 |
| | PESADA | 2,0106E-03 | 3,0794E-03 | 3,6977E-03 | 3,9197E-03 | 2,7481E-03 |
| | MÉDIA | 5,8021E-04 | 5,7838E-04 | 5,7755E-04 | 8,7412E-04 | 6,7459E-04 |
| | LEVE | 1,1957E-04 | 8,6934E-05 | 8,1739E-05 | 8,4875E-05 | 9,9437E-05 |
| | PATAMAR/DIA | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 |
| | PESADA | 1,4524E-04 | 1,4659E-04 | 4,4594E-03 | 9,9531E-03 | 1,6498E-02 |
| | MÉDIA | 6,0276E-04 | 5,7845E-04 | 7,2394E-04 | 2,6373E-03 | 8,9718E-03 |
| | LEVE | 1,1135E-04 | 8,5345E-05 | 9,9562E-05 | 8,2777E-05 | 8,5748E-05 |
| UNIDADE TÉRMICA | PATAMAR/DIA | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 |
| | PESADA | 1,3764E-03 | 2,2072E-03 | 2,7214E-03 | 2,9099E-03 | 2,0450E-03 |
| | MÉDIA | 2,2118E-04 | 8,5338E-05 | 3,5465E-04 | 5,8343E-04 | 1,8436E-04 |
| | LEVE | 1,5845E-04 | 8,2724E-05 | 7,1776E-05 | 7,7967E-05 | 2,0583E-04 |
| | PATAMAR/DIA | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 |
| | PESADA | 2,0161E-04 | 1,6541E-04 | 3,3613E-03 | 7,9470E-03 | 1,3624E-02 |
| | MÉDIA | 1,7725E-04 | 7,8838E-05 | 4,7826E-04 | 1,8547E-03 | 7,1238E-03 |
| | LEVE | 1,7725E-04 | 7,8838E-05 | 1,1060E-04 | 7,4088E-05 | 7,9604E-05 |

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

As remunerações incrementais, em R$/MWh para cada hora de cada dia, e para cada uma das unidades geradoras, calculadas conforme (5.17), (5.18) e (5.19) são apresentadas na Tabela 5.7 e na Tabela 5.8, sendo o sétimo dia um domingo. A taxa de câmbio utilizada é de R$3,00/US$ e o valor de custo de interrupção é de US$1.540,00/MWh.

Tabela 5.7 - Remunerações Horárias por Patamar de Carga - Unidade Hidráulica - R$/MWh

| PATAMAR/DIA | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PESADA | 9,29 | 14,23 | 17,08 | 18,11 | 12,70 | 0,67 | 2,67 | 20,60 | 45,98 | 76,22 |
| MÉDIA | 2,68 | 2,67 | 2,67 | 4,04 | 3,12 | 2,78 | 0,39 | 3,34 | 12,18 | 41,45 |
| LEVE | 0,55 | 0,40 | 0,38 | 0,39 | 0,46 | 0,51 | 0,39 | 0,46 | 0,38 | 0,40 |

Tabela 5.8 - Remunerações Horárias por Patamar de Carga - Unidade Térmica - R$/MWh

| PATAMAR/DIA | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PESADA | 6,36 | 10,20 | 12,57 | 13,44 | 9,45 | 0,93 | 0,36 | 15,53 | 36,71 | 62,94 |
| MÉDIA | 1,02 | 0,39 | 1,64 | 2,70 | 0,85 | 0,82 | 0,36 | 2,21 | 8,57 | 32,91 |
| LEVE | 0,73 | 0,38 | 0,33 | 0,36 | 0,95 | 0,82 | 0,36 | 0,51 | 0,34 | 0,37 |

Adotando-se as programações de reservas dadas na Tabela 5.9 e na Tabela 5.10, para as duas unidades geradoras, as remunerações totais para cada hora, de cada dia, são apresentadas na Tabela 5.11 e na Tabela 5.12.

A contabilização da remuneração para o período de 10 dias estudado, é apresentada na Tabela 5.13.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

Tabela 5.9 - Programação de Reservas da Unidade Hidráulica - MWh

| HORA | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 01 | 200 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 |
| 02 | 200 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 |
| 03 | 200 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 |
| 04 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 |
| 05 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 |
| 06 | 0 | 180 | 180 | 0 | 200 | 180 | 100 | 180 | 180 | 200 |
| 07 | 200 | 180 | 180 | 0 | 180 | 180 | 100 | 180 | 180 | 200 |
| 08 | 200 | 180 | 180 | 200 | 180 | 180 | 100 | 180 | 180 | 200 |
| 09 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 100 | 200 | 200 | 200 |
| 10 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 100 | 200 | 200 | 200 |
| 11 | 0 | 0 | 200 | 200 | 0 | 200 | 100 | 0 | 200 | 0 |
| 12 | 0 | 0 |  | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 |  | 0 |
| 13 | 0 | 200 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 200 | 0 | 180 |
| 14 | 0 | 200 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 200 | 0 | 180 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 180 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 180 |
| 17 | 200 | 170 | 120 | 0 | 180 | 120 | 100 | 170 | 120 | 180 |
| 18 | 200 | 170 | 120 | 200 | 180 | 120 | 100 | 170 | 120 | 180 |
| 19 | 200 | 170 | 120 | 200 | 180 | 120 | 100 | 170 | 120 | 180 |
| 20 | 200 | 170 | 120 | 200 | 150 | 120 | 100 | 170 | 120 | 180 |
| 21 | 200 | 200 | 0 | 200 | 150 | 200 | 100 | 200 | 0 | 180 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 |
| 24 | 0 | 0 | 200 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 |

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

Tabela 5.10 - Programação de Reservas da Unidade Térmica - MWh

| HORA | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 |
| 02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 |
| 03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 04 | 0 | 0 | 180 | 0 | 0 | 0 | 110 | 0 | 180 | 0 |
| 05 | 0 | 0 | 180 | 0 | 190 | 0 | 110 | 0 | 180 | 200 |
| 06 | 200 | 180 | 180 | 0 | 190 | 150 | 110 | 180 | 180 | 200 |
| 07 | 200 | 180 | 180 | 0 | 190 | 150 | 110 | 180 | 180 | 200 |
| 08 | 200 | 180 | 180 | 0 | 190 | 150 | 110 | 180 | 180 | 200 |
| 09 | 200 | 180 | 180 | 0 | 190 | 150 | 110 | 180 | 180 | 200 |
| 10 | 200 | 180 | 180 | 0 | 190 | 150 | 0 | 180 | 180 | 200 |
| 11 | 200 | 180 | 180 | 0 | 0 | 150 | 0 | 180 | 180 | 0 |
| 12 | 0 | 0 |  | 200 | 0 | 150 | 0 | 0 |  | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 200 | 200 | 100 | 0 | 0 | 0 | 160 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 200 | 200 | 100 | 130 | 0 | 0 | 160 |
| 16 | 200 | 170 | 200 | 200 | 200 | 100 | 130 | 170 | 200 | 160 |
| 17 | 200 | 170 | 200 | 200 | 200 | 100 | 130 | 170 | 200 | 160 |
| 18 | 200 | 170 | 200 | 200 | 200 | 100 | 130 | 170 | 200 | 160 |
| 19 | 200 | 170 | 200 | 200 | 200 | 100 | 130 | 170 | 200 | 160 |
| 20 | 200 | 170 | 200 | 200 | 200 | 100 | 130 | 170 | 200 | 160 |
| 21 | 200 | 170 | 200 | 200 | 200 | 100 | 0 | 170 | 200 | 160 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

Tabela 5.11 - Remunerações Totais Horárias - Unidade Hidráulica - R$

| HORA | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 01 | 110,00 | 0 | 0 | 78,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 60,00 |
| 02 | 110,00 | 0 | 0 | 78,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 60,00 |
| 03 | 110,00 | 0 | 0 | 78,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 60,00 |
| 04 | 0 | 0,00 | 76,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76,00 | 0 |
| 05 | 0 | 0,00 | 76,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 76,00 | 0 |
| 06 | 0 | 72,00 | 68,40 | 0 | 92,00 | 91,80 | 39,00 | 82,80 | 68,40 | 80,00 |
| 07 | 110,00 | 72,00 | 68,40 | 0 | 82,80 | 91,80 | 39,00 | 82,80 | 68,40 | 80,00 |
| 08 | 536,00 | 480,60 | 480,60 | 808,00 | 561,60 | 500,40 | 39,00 | 601,20 | 2192,40 | 8290,00 |
| 09 | 536,00 | 534,00 | 534,00 | 808,00 | 624,00 | 556,00 | 39,00 | 668,00 | 2436,00 | 8290,00 |
| 10 | 536,00 | 534,00 | 534,00 | 808,00 | 624,00 | 556,00 | 39,00 | 668,00 | 2436,00 | 8290,00 |
| 11 | 0 | 0 | 534,00 | 808,00 | 0 | 556,00 | 39,00 | 0,00 | 2436,00 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 556,00 | 0 | 0,00 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 534,00 | 0 | 0 | 624,00 | 0 | 0 | 668,00 | 0 | 7461,00 |
| 14 | 0 | 534,00 | 0 | 0 | 624,00 | 0 | 0 | 668,00 | 0 | 7461,00 |
| 15 | 0 | 0,00 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 7461,00 |
| 16 | 0 | 0,00 | 0 | 0 | 0,00 | 0 | 39,00 | 0,00 | 0 | 7461,00 |
| 17 | 536,00 | 453,90 | 320,40 | 0,00 | 561,60 | 333,60 | 267,00 | 567,80 | 1461,60 | 7461,00 |
| 18 | 1858,00 | 2419,10 | 2049,60 | 3622,00 | 2286,00 | 80,40 | 267,00 | 3502,00 | 5517,60 | 13719,60 |
| 19 | 1858,00 | 2419,10 | 2049,60 | 3622,00 | 2286,00 | 80,40 | 267,00 | 3502,00 | 5517,60 | 13719,60 |
| 20 | 1858,00 | 2419,10 | 2049,60 | 3622,00 | 1905,00 | 80,40 | 267,00 | 3502,00 | 5517,60 | 13719,60 |
| 21 | 1858,00 | 2846,00 | 0 | 3622,00 | 1905,00 | 134,00 | 267,00 | 4120,00 | 0 | 13719,60 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 0 | 0 | 534,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2436,00 | 0 |
| 24 | 0 | 0 | 534,00 | 808,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2436,00 | 0 |

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

Tabela 5.12 - Remunerações Totais Horárias - Unidade Térmica - R$

| HORA | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 55,50 |
| 02 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 55,50 |
| 03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 04 | 0 | 0 | 59,40 | 0 | 0,00 | 0,00 | 39,60 | 0 | 61,20 | 0 |
| 05 | 0 | 0 | 59,40 | 0 | 180,50 | 0,00 | 39,60 | 0 | 61,20 | 74,00 |
| 06 | 146,00 | 68,40 | 59,40 | 0 | 180,50 | 123,00 | 39,60 | 91,80 | 61,20 | 74,00 |
| 07 | 146,00 | 68,40 | 59,40 | 0 | 180,50 | 123,00 | 39,60 | 91,80 | 61,20 | 74,00 |
| 08 | 204,00 | 70,20 | 295,20 | 0 | 161,50 | 123,00 | 39,60 | 397,80 | 1542,60 | 6582,00 |
| 09 | 204,00 | 70,20 | 295,20 | 0 | 161,50 | 123,00 | 39,60 | 397,80 | 1542,60 | 6582,00 |
| 10 | 204,00 | 70,20 | 295,20 | 0 | 161,50 | 123,00 | 0 | 397,80 | 1542,60 | 6582,00 |
| 11 | 204,00 | 70,20 | 295,20 | 0 | 0 | 123,00 | 0 | 397,80 | 1542,60 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 540,00 | 0 | 123,00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 13 | 0 | 0 | 0 | 540,00 | 0 | 82,00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 0 | 0 | 0 | 540,00 | 170,00 | 82,00 | 0 | 0 | 0 | 5265,60 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 540,00 | 170,00 | 82,00 | 46,80 | 0 | 0 | 5265,60 |
| 16 | 204,00 | 66,30 | 328,00 | 540,00 | 170,00 | 82,00 | 46,80 | 375,70 | 1714,00 | 5265,60 |
| 17 | 204,00 | 66,30 | 328,00 | 540,00 | 170,00 | 82,00 | 46,80 | 375,70 | 1714,00 | 5265,60 |
| 18 | 1272,00 | 1734,00 | 2514,00 | 2688,00 | 1890,00 | 93,00 | 46,80 | 2640,10 | 7342,00 | 10070,40 |
| 19 | 1272,00 | 1734,00 | 2514,00 | 2688,00 | 1890,00 | 93,00 | 46,80 | 2640,10 | 7342,00 | 10070,40 |
| 20 | 1272,00 | 1734,00 | 2514,00 | 2688,00 | 1890,00 | 93,00 | 46,80 | 2640,10 | 7342,00 | 10070,40 |
| 21 | 1272,00 | 1734,00 | 2514,00 | 2688,00 | 1890,00 | 93,00 | 0,00 | 2640,10 | 7342,00 | 10070,40 |
| 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabela 5.13 – Remunerações Totais Diárias - Contabilização Final da Remuneração - R$

| UNIDADE/DIA | Dia 1 | Dia 2 | Dia 3 | Dia 4 | Dia 5 | **TOTAIS (10 DIAS)** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| HIDRÁULICA | 10016,00 | 13317,80 | 9908,60 | 18762,00 | 12176,00 | |
| TÉRMICA | 6604,00 | 7486,20 | 12130,40 | 13992,00 | 9266,00 | |
| UNIDADE/DIA | Dia 6 | Dia 7 | Dia 8 | Dia 9 | Dia 10 | |
| HIDRÁULICA | 3616,80 | 1608,00 | 18632,60 | 32675,60 | 117393,40 | **238106,80** |
| TÉRMICA | 1643,00 | 518,40 | 13086,60 | 39211,20 | 81423,00 | **185360,80** |

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

## 5.7 Comentários e Conclusões

No estudo de caso desenvolvido o valor médio global ponderado encontrado no mês estudado[11], para a remuneração do benefício proporcionado pelas reservas para confiabilidade foi de R$6,90/MWh. Para a unidade geradora hidráulica o valor médio obtido foi de R$7,60/MWh e para a unidade térmica foi de R$6,20/MWh, conforme visto na Tabela 5.14. A diferença se deve à menor taxa de falhas da unidade hidráulica.

Tabela 5.14 – Remunerações Médias do Estudo de Caso 01 (30 dias) - R$/MWh

| CARGA/UNIDADE | TÉRMICA | HIDRÁULICA |
|---|---|---|
| PESADA | 20,56 | 25,23 |
| MÉDIA | 4,82 | 6,02 |
| LEVE | 0,55 | 0,44 |
| **MÉDIAS** | **6,20** | **7,60** |

A título de comparação, na Tabela 5.15 são mostrados os custos dos dois serviços ancilares em estudo, compostos pelos custos de investimento e pelos custos específicos dos serviços, em diversas empresas elétricas americanas.

Tabela 5.15 – Custos das Reservas de Confiabilidade e da Regulação de Freqüência

R$/MWh

| COMPANHIA | RESERVA PARA CONFIABILIDADE | REGULAÇÃO DE FREQÜÊNCIA |
|---|---|---|
| American Electric Power | 0,70 | 1,40 |
| Commonwealth Edison | 1,30 | 0,50 |
| Consumers Power | 3,00 | 3,10 |
| Detroit Edison | 3,40 | 3,00 |
| Duke Power | 1,00 | 0,50 |
| General Public Utilities | 3,50 | 0,50 |
| Illinois Power | 0,70 | 1,10 |
| Northeast Utilities | 5,20 | 1,50 |
| Northern States Power | 0,60 | 0,60 |
| PacifiCorp | 4,80 | 0,80 |
| Pacific Gas & Electric | 1,90 | 1,00 |
| Southern California Edison | 4,80 | 1,00 |

Fonte: [Kirby, 1996]

11 Deve ser notado que houve a simulação de alguns episódios de alta probabilidade de perda de carga em curto prazo, o que certamente provocou a elevação destes valores.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

Como pode ser notado na Tabela 5.15, estes custos variam muito de empresa para empresa, não tendo sido analisados pelos autores do trabalho [Kirby, 1996] os motivos de tal variação.

Comparando-se os valores das duas tabelas, pode-se considerar que as remunerações aqui determinadas são coerentes com os custos já experimentados em outros sistemas, não obstante as grandes diferenças vistas, não só entre os valores relacionados na Tabela 5.15, como também entre todos outros valores de custos, a que se conseguiu acesso.

Na hipótese de que não haja custo de oportunidade e de que os custos específicos incorridos possam ser desprezados, como seria o caso de uma unidade hidráulica não despachada ou parcialmente despachada, o impacto financeiro do pagamento por estas reservas sobre a carga seria muito pequeno. Para os valores de LOLP observados, que podem ser considerados como aceitáveis, as remunerações das reservas, representariam para a carga um impacto médio aproximado de R$0,00024/kWh (**0,024** centavos de R$ por kWh de energia consumida), considerando-se a necessidade de reservas para confiabilidade como de 3,5% da demanda do sistema.

Em um cenário muito desfavorável, quando a reserva é provida apenas de usinas hidráulicas novas, com alto custo de oportunidade, aproximadamente R$112,00/MWh, o impacto sobre a carga passaria a ser de R$0,00422/kWh (0,422 centavos de R$/kWh). Mesmo incluindo os custos adicionais específicos do serviço, este valor é muito inferior ao encargo de capacidade emergencial praticado atualmente no sistema elétrico brasileiro, em torno de R$0,010/kWh (1,00 centavo de R$/kWh). Isto representa um indicador favorável à política de remuneração das reservas operativas proposta, pela modicidade das remunerações sugeridas e pelo seu baixo impacto financeiro sobre o custo da energia elétrica para os consumidores.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0162214/CB