



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

GOP - 12
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

**GRUPO IX
GRUPO DE ESTUDO DE OPERAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS - GOP**

INCORPORAÇÃO DA CURVA DE AVERSÃO A RISCO NO MODELO NEWAVE

**Alberto Sergio Kligerman* - Luiz Augusto Lattari Barretto - Hermes Jorge Chipp
Maria Cândida Abib Lima - Cecília Maria Ventura Dias Bezerra Mercio**

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO - ONS

RESUMO

O racionamento de energia que afetou fortemente o Brasil nos anos de 2001 e 2002 suscitou discussões sobre as salvaguardas de segurança que deveriam ser adotadas. Foram definidas Curvas de Aversão a Risco (CAR), com os níveis de armazenamento necessários para que, mesmo na ocorrência de cenários críticos de afluências, não fosse necessário adotar medidas restritivas ao consumo ao longo do biênio seguinte.

A Câmara de Gestão da Crise de Energia, à época, determinou também que fosse desenvolvida uma metodologia de incorporação deste mecanismo nos modelos de otimização. Estudos iniciais já indicavam que esta combinação constituía um problema além da fronteira do conhecimento.

Concluído em setembro de 2004, o método resultante do desenvolvimento metodológico faz com que o Valor da Água (VA), que é o custo de oportunidade da água estocada, em uma região cujo armazenamento situe-se abaixo da CAR, aproxime-se do custo da mais cara geração que se deseja acionar nestas condições, através da adição de uma "suplementação" ao VA "original". A essência da metodologia é o cálculo desta suplementação, que é definida antes que o VA "original", ao qual ela é adicionada, seja conhecido.

PALAVRAS-CHAVE

Racionamento, Otimização, Multi-Critério, Aversão a Risco, Programação Estocástica.

1.0 - INTRODUÇÃO

Desde o expressivo crescimento do Sistema Interligado Nacional (SIN), ocorrido em meados da década de 1970, a estratégia utilizada para o planejamento da operação energética funda-se na premissa do mínimo custo, considerando a incerteza do insumo básico para geração de energia no Brasil, que são as vazões nas bacias hidrográficas em que se encontram as usinas de grande porte, os custos variáveis de combustível para geração térmica e os custos de racionamento de energia.

A estratégia então adotada nos modelos computacionais, que determinam a repartição de geração entre as usinas hidroelétricas e termoeletricas do SIN, busca a minimização do custo total de operação, em um horizonte de até cinco anos. O horizonte, neste caso, é dividido em intervalos mensais. A otimização é obtida ao se garantir que o despacho realizado nas usinas hidroelétricas e termoeletricas, em cada mês, corresponda à minimização da soma do custo imediato (despesas durante o mês considerado) e do custo futuro (despesas após o mês considerado, ao longo dos próximos cinco anos).

*Rua da Quitanda, 196 - 14º andar - CEP 20091-000 - Rio de Janeiro - RJ - BRASIL
Tel.: (021) 2203-9831 - Fax: (021) 2203-9414 - e-mail: alberto@ons.org.br

Para isso é utilizada uma curva que relaciona o custo imediato e o custo futuro com o estoque de água ao final de um mês. O traçado destas curvas é intuitivo, podendo ser acompanhado pelo gráfico da Figura 1: ao final de um mês, estando alto o volume estocado, menos energia hidroelétrica terá sido gerada neste mês, e portanto mais combustível terá sido gasto para atender ao consumo (*maior custo imediato*). Este alto volume estocado possibilitará economizar combustível no futuro (*menor custo futuro*). Por outro lado, caso o estoque ao final de um mês esteja mais baixo, o consumo terá sido atendido por uma parcela maior de geração hidroelétrica, com a conseqüente economia de combustível (*menor custo imediato*). No futuro, o baixo estoque de água ao final do mês acarretará uma despesa maior com combustível para geração termoeétrica (*maior custo futuro*).

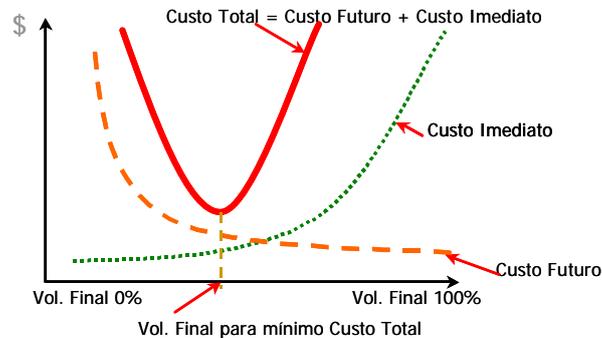


FIGURA 1. O despacho é planejado para que volume final dos reservatórios em cada mês conduza ao menor Custo Total esperado para todo o horizonte de estudo.

O custo imediato, prontamente conhecido, é a despesa incorrida com o combustível que está sendo utilizado no mês. O mesmo não acontece com o custo futuro, pois as despesas futuras com combustível ou decisões de racionamento dependem de como estarão os reservatórios das usinas hidroelétricas. Considerando a incerteza das vazões nas principais bacias aproveitadas para geração de energia, torna-se uma difícil tarefa determinar o custo futuro de operação.

Com o tratamento estatístico do processo hidrológico, no entanto, pode-se ter, através do estudo dos possíveis cenários, um valor esperado para a curva que representa o custo futuro de operação, chamada Função de Custo Futuro, sendo a cada mês decidido o despacho hidrotérmico cujo volume armazenado ao final do mês corresponda ao menor valor para o custo total esperado da operação. Este cálculo utiliza a Programação Estocástica (1).

Na prática, utiliza-se o Valor da Água, que é a derivada do custo futuro em relação ao volume armazenado. O menor custo total é obtido ao se obter a igualdade entre o Valor da Água e o custo unitário de geração da usina termoeétrica mais cara despachada por ordem de mérito, que corresponde à derivada do custo imediato.

Utilizando cenários equiprováveis, o custo esperado futuro é sempre obtido pela média aritmética dos custos futuros obtidos a partir de cada um dos cenários considerados, como mostra a Figura 2a; analogamente, como mostra a Figura 2b, o Valor da Água é obtido pela média aritmética dos valores da água obtidos por cada um dos cenários. Desta forma, um cenário de baixas aflúências, que possa até ter como conseqüência a decisão de racionamento, tem seu custo futuro diluído, na média aritmética, com a maioria dos demais cenários, que conduzem a menores custos futuro de operação ou mesmo a vertimento nas próximas estações chuvosas. Essa neutralidade em relação ao risco manteve-se sem contestação por mais de duas décadas.

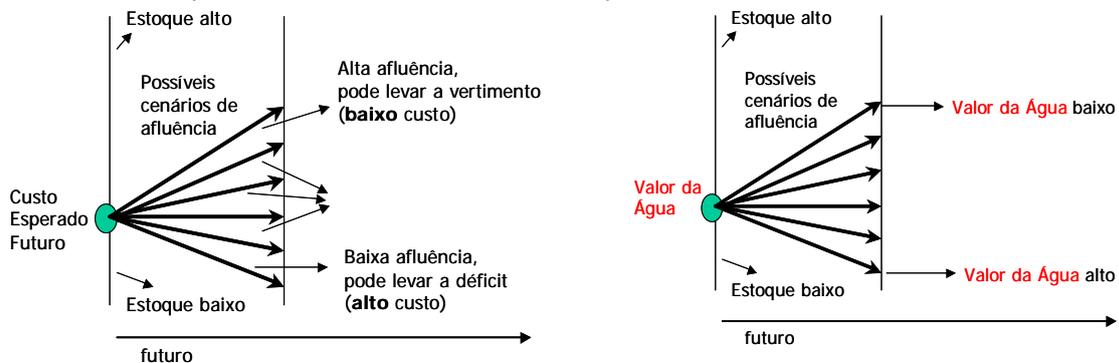


FIGURA 2. (a) Custo Esperado Futuro e (b) o Valor da Água, ambos calculados como a média aritmética do que se obtém com cenários equiprováveis

Baseados nesta estratégia, os modelos computacionais NEWAVE e DECOMP, respectivamente utilizados pelo ONS para o planejamento da operação energética nos horizontes de médio prazo (cinco anos) e curto prazo (dois

a seis meses), foram desenvolvidos pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica - CEPEL, empresa do Grupo Eletrobrás e validados com ampla participação de agentes de geração, transmissão, distribuição e comercialização, no âmbito do Acordo Operacional ONS/MAE, criado pela Resolução 290/2000 da ANEEL.

2.0 - A AVERSÃO AO RISCO NO SUPRIMENTO DE ENERGIA

Em 2001, após a concretização de um cenário plurianual de baixas afluências, foi decretado pelo Governo Federal um racionamento de energia que afetou fortemente as regiões Sudeste/Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil, se estendendo de junho de 2001 a fevereiro de 2002. Este racionamento suscitou profundas discussões na sociedade e no governo sobre as salvaguardas de segurança que o planejamento da operação do Sistema Interligado Nacional deveria adotar para minimizar a possibilidade de que este evento se repetisse. Estas discussões se concentraram na Câmara de Gestão da Crise de Energia (GCE), fórum interministerial criado à época, conduzido pelo Chefe da Casa Civil do Governo Federal.

A sociedade percebeu-se então com uma sensibilidade bem mais aguçada em relação a um possível racionamento no futuro que a uma situação de abundância. Ou seja, não era mais concebível a neutralidade em relação ao risco de racionamento. Neste sentido, a GCE regulou o traçado de uma Curva de Aversão ao Risco (CAR) para cada uma das regiões que sofreram com o racionamento. Estas curvas definem os níveis mensais de armazenamento necessários em cada região para que, mesmo na ocorrência de cenários críticos de afluências no biênio subsequente, não seja necessário adotar medidas restritivas ao consumo ao longo deste período. Entendeu-se dois anos como sendo o tempo mínimo necessário para se colocar em operação novas usinas termoeletricas, modernas e de operação econômica. Neste período, confirmando o privilégio dado à segurança, foram contratadas usinas térmicas emergenciais, de pronta instalação e de alto custo, com impacto repassado às contas de luz de cada cidadão.

Assim, além de seguir as decisões resultantes do uso dos modelos computacionais, a operação seria acompanhada visualmente em relação ao nível das Curvas de Aversão a Risco. A regra estava definida: a partir do instante em que o estoque de energia nas usinas hidroelétricas de uma das regiões rompesse a CAR, deviam ser utilizados todos os recursos disponíveis no sistema interligado para que o armazenamento voltasse a situar-se ao menos no nível da CAR, como mostra a Figura 3a.

Entretanto, ao invés de privilegiar a segurança apenas ao ser invadida a Curva de Aversão, utilizando de uma só vez todos os recursos disponíveis, seria mais adequado e certamente mais econômico fazer com que os modelos computacionais anteviessem os riscos de serem atingidos níveis de armazenamento inferiores à CAR, valorizando de forma mais adequada e segura as decisões operativas, como mostra a Figura 3b. Neste sentido, a Resolução nº 109 da GCE, que regulou a operação no novo ambiente, determinou também, em seu artigo 8º, que o ONS, em conjunto com o MME, a ANEEL e a ANA, desenvolvessem uma metodologia de incorporação do mecanismo de aversão a risco nos modelos de otimização.

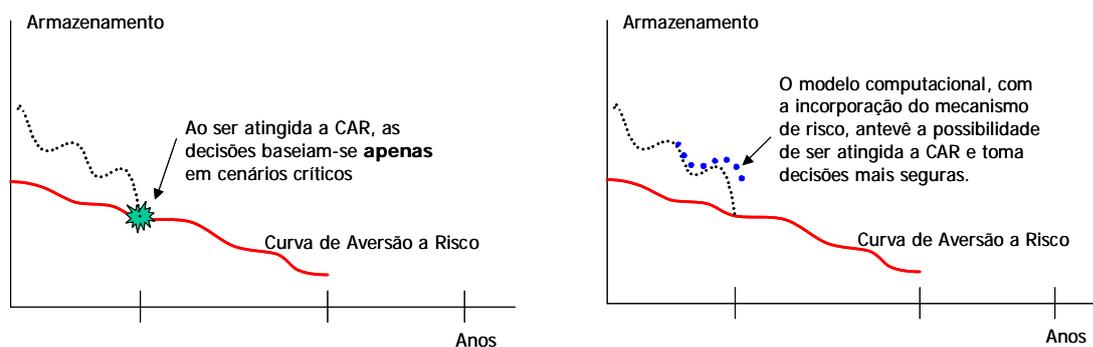


FIGURA 3. Exemplo de traçado da Curva de Aversão a Risco para o biênio e a evolução do armazenamento. (a) sem a incorporação da CAR no modelo computacional e (b) com a incorporação da CAR no modelo;

3.0 - MINIMIZAÇÃO DO CUSTO DE OPERAÇÃO COM AVERSÃO A RISCO, UM PROBLEMA MULTI-OBJETIVO

A Curva de Aversão a Risco é traçada supondo a ocorrência de uma combinação de cenários críticos de afluência nas bacias hidrográficas utilizadas para geração de energia nas diversas regiões. Caracteriza-se, assim, um problema no qual, abaixo de um determinado nível de estoque, as decisões se baseiam apenas na hipótese de ocorrência destes cenários críticos. A formalização deste objetivo é encontrada na literatura com a denominação Minimax, ou seja, a busca de minimizar o máximo arrependimento (2).

A combinação de Minimax com a busca da minimização do custo de operação por Programação Estocástica caracteriza um problema multi-objetivo cuja solução encontrava-se, à época, além da fronteira do conhecimento.

Na modalidade mono-objetivo, existem implementações para problemas Minimax, através do emprego de técnicas de aproximações e de confinamentos a problemas de Programação Estocástica (4, 5 e 6). Na modalidade multi-objetivo, porém, os algoritmos que até então tentaram tecnicamente resolver o problema por métodos exatos só o fizeram por programação não linear, sem levar em conta a estocacidade (7) ou exigindo a convexidade do problema (8, 9), condições reconhecidas como impraticáveis para o tratamento da combinação da otimização probabilística a mínimo custo e a maior segurança proporcionada de forma determinística pela aversão ao risco (10).

4.0 - O DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

4.1 Primeira etapa

Aquém do tempo necessário para que o problema tivesse seu equacionamento no bojo de uma profunda evolução tecnológica, o prazo determinado pela GCE para a incorporação do mecanismo de aversão a risco nos modelos computacionais impôs uma solução adaptativa à modelagem existente. Como ponto de partida, o Relatório de Progresso nº 2 da própria GCE havia sugerido, a exemplo do que fora implementado na Colômbia, que no cálculo da estratégia de operação, baseada na Função de Custo Futuro, o Valor da Água obtido da consulta à Função de Custo Futuro fosse suplementado por um custo igual ao do recurso mais caro em caso de violação do nível de armazenamento definido pela CAR em cada mês. Esta proposta, representada pela Figura 4, acabou por definir a linha de desenvolvimento metodológico que seria percorrida para cumprimento da Resolução 109.

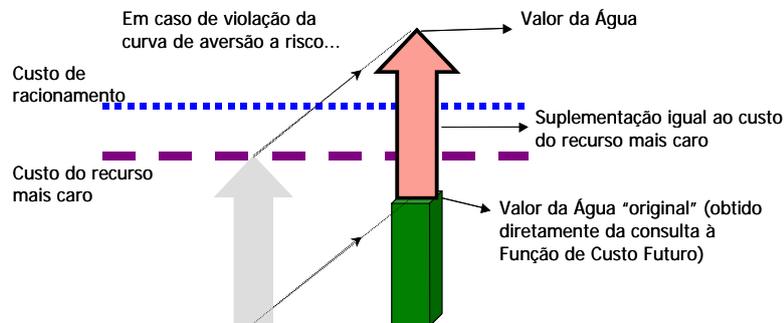


FIGURA 4. Na primeira etapa, em caso de violação da CAR, o Valor da Água é formado pelo VA "original", obtido diretamente da consulta à Função de Custo Futuro, mais uma suplementação igual ao custo do recurso mais caro.

Com a implementação pelo CEPEL do método "colombiano" ao modelo NEWAVE, da forma em que estava descrito no Relatório de Progresso nº 2, ficou a cargo da Força Tarefa de Validação do Modelo NEWAVE (FT-NEWAVE), a primeira avaliação do trabalho. Percebeu-se que o método colombiano tem duas características que o fazem fugir à representação do mecanismo de aversão a risco, indicando, ao invés disso, cortes desnecessários de carga:

- independente do Valor da Água que fosse obtido sem a adoção do mecanismo de aversão a risco, o método adiciona integralmente a este o custo do recurso mais caro, ficando o Valor da Água resultante sempre superior ao custo deste recurso, chegando, muitas vezes, a valores superiores ao custo econômico de racionamento.
- pelo cálculo da Função de Custo Futuro ser feito no sentido inverso do tempo, o Valor da Água recebe cumulativamente o custo do recurso mais caro a cada mês consecutivo em que o armazenamento de energia de uma região esteja situado em nível inferior à CAR. Este acúmulo contribui de maneira decisiva para que Valor da Água atinja níveis acima do custo econômico de racionamento.

4.2 Segunda etapa

A partir desta constatação o ONS promoveu seguidos encontros com o CEPEL e a consultora PSR, visando desenvolver metodologicamente a proposta contida no Relatório de Progresso nº 2 da GCE, até que o mecanismo fosse representado de forma adequada .

O Valor da Água deveria ser elevado apenas a ponto de determinar a geração até do recurso mais caro visando evitar a violação da Curva de Aversão. Para isso, o custo a ser acrescentado ao Valor da Água obtido originalmente, denominado "suplementação", como mostra a Figura 5, teria que ser diferente para cada caso, sendo a suplementação exatamente igual à diferença entre o custo do recurso mais caro que se disponha a utilizar e o Valor da Água "original", obtido sem a consideração do mecanismo de aversão a risco.

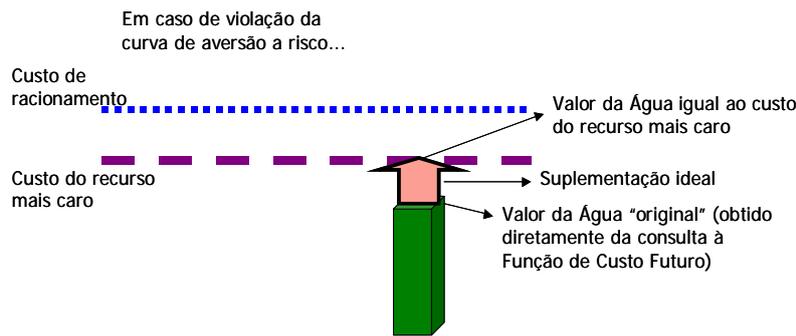


FIGURA 5. O desenvolvimento metodológico na segunda etapa buscou garantir que, em caso de violação da CAR, o Valor da Água tenha a suplementação ideal para se igualar ao custo do recurso mais caro.

Seria essa uma tarefa simples, caso o Valor da Água original fosse conhecido antes, para que então fosse determinada a suplementação ideal. Mas não é isso o que ocorre. O Valor da Água original só é conhecido após ser tomada a decisão de despacho, que conduz os reservatórios ao volume final do mês, podendo-se assim saber, por consulta à Função de Custo Futuro, o Valor da Água original. Todavia, a suplementação deve ser definida antes, pois é utilizada no próprio cálculo do despacho, de forma a atuar caso o volume final dos reservatórios resulte abaixo do nível da CAR para o mês.

Seguindo esta lógica, a segunda etapa do desenvolvimento metodológico consiste em corrigir a suplementação após o cálculo do despacho. Este processo, entretanto, traz como inconveniente a incoerência entre despacho, já efetuado com um Valor da Água que considera uma suplementação de referência - a suplementação de referência é a mesma definida na primeira etapa - e o despacho, possivelmente diferente, que resultaria caso fosse utilizada a suplementação ideal na consulta à Função de Custo Futuro.

4.3 Terceira etapa

Com o objetivo de eliminar esta incoerência, a terceira etapa do desenvolvimento metodológico constou na correção condicionada da suplementação, ou seja, a suplementação seria corrigida apenas até o ponto em que o Valor da Água redimensionado não representasse uma alteração no despacho anteriormente obtido. Esta proposta teve uma engenhosa formulação.

Após a obtenção do despacho com a suplementação de referência, busca-se a minimização da diferença entre a "suplementação ideal" e a "suplementação possível", desde que mantida a solução já obtida anteriormente para o despacho. Esta condição foi representada pela organização das restrições do problema da operação na modalidade dual da Programação Linear, que por construção não traz o despacho operativo como variável de decisão. A esta formulação, esquematizada na Figura 6, deu-se o nome de "método dual".

Minimizar (Suplementação Possível – Suplementação Ideal)

Sujeito a

Manutenção do despacho já decidido,
usando a formulação dual das restrições

FIGURA 6. Formulação esquemática do método dual

Como este método não altera o despacho já decidido, permanecem até mesmo os cortes de carga que não condizem com o mecanismo de aversão a risco. Percebeu-se que a próxima etapa do desenvolvimento metodológico teria como chave a alteração do despacho, ou seja, a oportunidade de se recalculer a operação ótima após o cálculo da suplementação ideal.

4.4 Quarta etapa

A quarta etapa do desenvolvimento metodológico foi concebida em meio à avaliação, pela FT-NEWAVE, dos resultados já obtidos, e constou em abandonar a terceira etapa e implantar um processo iterativo para a segunda etapa. Com isso, a cada vez que a suplementação é calculada, o despacho é redefinido, dando origem a um novo nível de armazenamento ao final do mês. Conseqüentemente, passa a ser necessário recalculer a suplementação. O processo se estabiliza quando duas iterações seguidas atingem, de forma aproximada, o mesmo nível de armazenamento ao final do mês, indicando ter sido obtida a suplementação ideal. A formulação resultante da quarta etapa recebeu a denominação de "método CAR", e é mostrada na Figura 7.

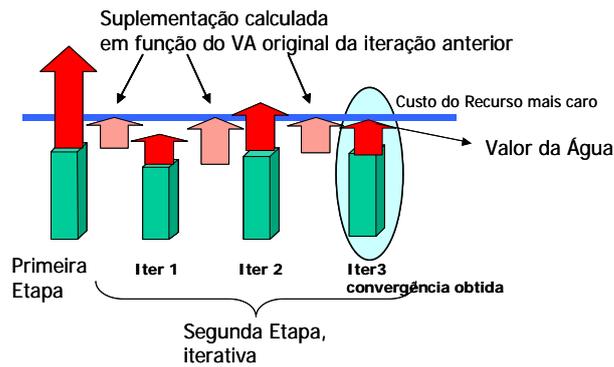


FIGURA 7. O processo iterativo da segunda etapa convergindo na suplementação ideal.

O CEPEL, ao implementar a formulação contida na quarta etapa de desenvolvimento metodológico, ressaltou em Nota Técnica o fato de que a primeira etapa de desenvolvimento considera a suplementação de referência como um custo fixo. A otimização determinística do NEWAVE é utilizada pelo CEPEL para testes de implementação. Nesta otimização determinística, o custo verificado e o custo estimado obtidos pelo algoritmo de solução do modelo, após muitas recursões, acabam se igualando. Para que isso ocorra, é necessário que os custos unitários a cada mês sejam sempre os mesmos. O desenvolvimento metodológico, a partir da segunda etapa, tem a suplementação como um custo unitário diferente para cada situação. Com isso, de fato, passou a não ser mais possível garantir a convergência do modelo NEWAVE para o caso determinístico.

O ONS manifestou compreensão quanto a este fato, ressaltando que a otimização determinística não é a modalidade de uso do modelo, e entendendo que a quarta etapa de desenvolvimento metodológico estava condizente com o marco legal da Resolução nº 109, até que a evolução tecnológica permitisse tratar o problema como uma otimização multi-objetivo. Foi então realizada uma extensa bateria de testes com a implementação disponibilizada pelo CEPEL, tendo sido confirmados todos os resultados esperados.

Ressalta-se que, nos meses de outubro de 2002 a janeiro de 2003 e nos meses de maio a outubro de 2003, a ANEEL, por meio de Despachos, atendendo solicitação do ONS, consubstanciada em Notas Técnicas que utilizam metodologias complementares de apoio à decisão, autorizou o intercâmbio de energia entre os subsistemas Sudeste e Nordeste em sentido diferente dos resultados dos modelos computacionais. Com a incorporação do método CAR ao modelo NEWAVE, testes mostraram que em 9 dos 10 meses mencionados os resultados relativos ao sentido de intercâmbio confirmaram as considerações de segurança do Operador com respeito à situação energética mais desfavorável do subsistema Nordeste em comparação com o Sudeste, como reflexo do afastamento dos respectivos níveis de armazenamento de cada subsistema em relação aos níveis das Curvas de Aversão a Risco. Assim, a aplicação da nova metodologia indicou claramente a tendência de solução da maior parte dos requisitos de segurança adotados pelo ONS após o período do racionamento. Estes testes, consubstanciados na Nota Técnica ONS 126/2003 (11), obtiveram em sua totalidade a convergência estatística do NEWAVE.

O ONS emitiu posteriormente a Nota Técnica ONS 007/2004 (12), descrevendo analiticamente o método CAR e trazendo um retrospecto de todo o desenvolvimento metodológico.

4.5 Da neutralidade à aversão ao risco

O desenvolvimento metodológico que culminou com o método CAR caracteriza-se pelo abandono da neutralidade em relação ao risco que era representada pela obtenção do custo futuro como a média aritmética dos diversos cenários considerados. O método resultante deste desenvolvimento metodológico corresponde à atual fronteira tecnológica para a combinação da otimização probabilística com o atendimento de requisitos de segurança determinísticos.

A Figura 8 mostra, em contraste com a Figura 2b, que o Valor da Água para um determinado estado, mesmo assumindo o valor médio de todos os diversos cenários considerados, é mais influenciado pelos cenários que resultam em níveis de armazenamento abaixo da Curva de Aversão a Risco, pois estes têm seu Valor da Água suplementado até o custo do recurso mais caro.

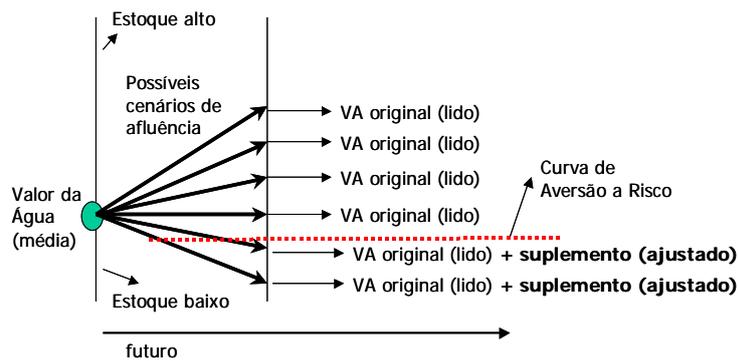


FIGURA 8. A obtenção do Valor da Água com o mecanismo de aversão a risco

Com isso, percebe-se também que, mesmo para níveis de armazenamento acima da CAR, o Valor da Água acaba sendo influenciado pela possibilidade desta ser atingida em meses subsequentes, e disso resulta uma operação mais segura, que antecipa decisões de custo gradualmente crescente.

4.6 Ajustes finais e encaminhamento

A Nota Técnica 126/2003 do ONS, contendo o resultado do desenvolvimento metodológico, foi, como estava previsto na Resolução nº 109 da GCE, compartilhada com a ANEEL, a ANA e o MME. Disso resultou a publicação, em 16 de dezembro de 2003, pelo Conselho Nacional de Política Energética, CNPE, da Resolução nº 10/2003, determinando a utilização da metodologia em desenvolvimento para a consideração da aversão a risco interna ao modelo NEWAVE. Em seguida, ainda em cumprimento à Resolução nº 109 da GCE, as Notas Técnicas 126/2003 e 007/2004, do ONS, bem como a Nota Técnica emitida pelo CEPEL, foram submetidas à Audiência Pública ANEEL 01/2004, realizada no dia 18 de fevereiro de 2004.

Nesta Audiência Pública foi assinalado que restavam eventos em que o processo iterativo da segunda etapa ainda não lograva estabilidade até o limite de iterações, não sendo atingida a suplementação ideal nestes casos. O ONS e o CEPEL debruçaram-se então na análise dos eventos que não obtinham a convergência no processo iterativo da segunda etapa. Esta análise permitiu verificar que, dentre os eventos que não convergiam, na maior parte das vezes o processo se tornava cíclico, com o Valor da Água "original" se repetindo alternadamente. O ONS propôs que o CEPEL implementasse uma condição em que, após um determinado número de iterações, a suplementação fosse calculada como a média aritmética das duas iterações anteriores, como mostrado na Figura 9. Isso foi suficiente para a convergência de todos os casos com ciclagem entre dois valores.

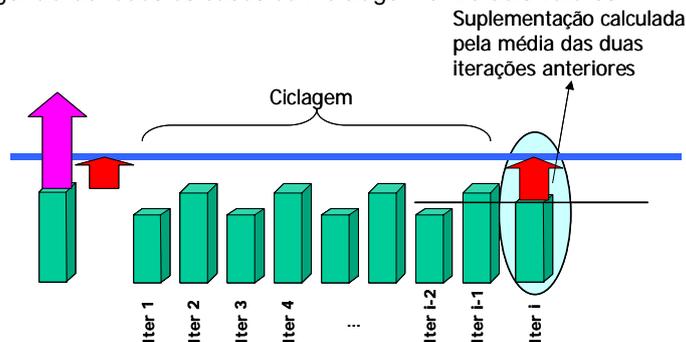


FIGURA 9. A ciclagem no processo iterativo e o cálculo da suplementação como o valor médio das duas iterações anteriores.

Os poucos eventos em que não havia sido obtida a convergência foram apresentados em reunião da FT-NEWAVE. A representação da ANEEL solicitou esclarecimentos quanto aos efeitos que os eventos teriam nos resultados. O ONS solicitou então ao CEPEL que emitisse uma versão alternativa do NEWAVE em que os eventos que não obtivessem a convergência não contribuíssem para a construção da Função de Custo Futuro. As pequenas diferenças nos resultados mostraram não ser prejudicial considerar sempre a suplementação obtida pelo processo iterativo, mesmo para os casos em que não tenha sido obtida a convergência.

A FT-NEWAVE, após a análise de todos os testes realizados, emitiu o Relatório de Validação do Modelo NEWAVE - Versão 12, que foi encaminhado à ANEEL. Concluindo o processo, a ANEEL aprovou o uso da Versão 12 do NEWAVE através do Despacho SRG nº 850, de 22 de novembro de 2004.

5.0 - CONCLUSÃO

O racionamento de energia que afetou o país de junho de 2001 a fevereiro de 2002 alterou o paradigma do planejamento da operação, que antes se pautava pela minimização de custos com neutralidade em relação ao risco. A modelagem computacional que suporta o planejamento da operação, compelida legalmente a se moldar ao paradigma de aversão ao risco, mostrou-se complexa a ponto de ser concluída cerca de dois anos e meio após o término do racionamento.

São duas as razões da extensão do tempo de desenvolvimento metodológico, que a lei previa concluir-se em menos de oito meses após o término do racionamento. Afinal mudanças, sendo profundas, sempre trazem em si o enfrentamento entre defensores do novo e do atual. A evolução tecnológica, por sua vez, nem sempre caminha com a rapidez do desejo e da necessidade.

O resultado deste processo, que representa a fronteira tecnológica para a combinação da otimização probabilística a mínimo custo com requisitos determinísticos de segurança, é aderente à solicitação legal, de incorporação do mecanismo de aversão a risco ao modelo computacional. A partir de novembro de 2004, em que o NEWAVE com o método CAR, resultante do processo de desenvolvimento, passou a ser utilizado oficialmente no planejamento da operação, fechou-se o ciclo iniciado com o racionamento de energia.

A evolução tecnológica é um processo contínuo. A própria legislação, através da Resolução 10/2003 do CNPE, prevê que o mecanismo de incorporação da aversão a risco nos modelos computacionais seja aperfeiçoado. Ademais, o ONS segue, em sintonia com a sociedade, assimilando novos paradigmas, em que não só requisitos de segurança, mas também prioridades ambientais, interligações internacionais, geração distribuída e outros fatores que permeiam a operação do Sistema Interligado Nacional exigirão criatividade e empenho da comunidade científica para instrumentar o planejamento da operação, que se converte crescente e inexoravelmente em um problema multi-objetivo.

6.0 - AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho reconhecem e agradecem a participação do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL – no debate para o desenvolvimento metodológico e na implementação criteriosa de todas as suas etapas, da PSR nas relevantes proposições e análises realizadas, decisivas no encaminhamento da solução, bem como dos agentes participantes da FT-NEWAVE, que com sua dedicação e rigor técnico contribuíram para a precisão e a maior abrangência do método incorporado ao modelo NEWAVE. .

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Kligerman, A.S., Pereira, M.V.F., Operação ótima de subsistemas hidrotérmicos equivalentes utilizando Programação Dinâmica Estocástica Dual, XVIII SNPTEE, Recife, PE, outubro, 1993.
- (2) Zackova, J., On Minimax solutions of stochastic linear programs, *Casopis pro pestovani matematiky.*, 423–430, Checoeslováquia, 1966
- (3) Barron, E.N., Ishii, H., The Bellman equation for minimizing the maximum cost, *Nonlinear Analysis, Theory, Methods and Applications*, 13, 9, 1067-1090, Florida Institute of Technology, Florida, EUA, 1989.
- (4) Birge, J. R., Wets, R.J.-B., Computing Bounds for Stochastic Programming Problems by Means of a Generalized Moment Problem, *Mathematics of Operations Research*, 12, 149-162, 1987
- (5) Gassman, H., Ziemba, W. T., A tight upper bound for the expectation of convex function of a multi-variate random variable, *Mathematical Programming Study*, 27:39–53, 1986.
- (6) Kall, P., An upper bound for SLP using first and total second moments. *Annals of Operations Research*, 30:670–682, 1991.
- (7) Dupacova, J., The Minimax approach to stochastic programming and an illustrative application, *Stochastics*, 20:73–88, 1987.
- (8) Ermoliev, Y., Gaivoronsky, A., Nedeva, C., Stochastic optimization problems with partially known distribution functions. *SIAM Journal on Control and Optimization*, 23:697–716, 1985.
- (9) Breton, M., El Hachem, S., Algorithms for the solution of stochastic dynamic minimax problems. *Computational Optimization and Applications*, 4:317–345, 1995.
- (10) Kuhn, D., *Generalized Bounds for Convex Multistage Stochastic Programs*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer, 2005
- (11) ONS, Nota Técnica 126/2003, Análise de sensibilidade da consideração da curva de aversão no modelo NEWAVE, 2003
- (12) ONS, Nota Técnica 007/2004, Metodologia de incorporação da curva de aversão a risco ao modelo NEWAVE - método CAR, 2004