

9

Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

O extenso horizonte do planejamento da operação e a estocasticidade das afluências futuras tornam o problema de planejamento da operação energética do sistema hidrotérmico brasileiro um problema de grande porte e de difícil solução, sendo necessária sua divisão em diversas etapas, de tal forma que cada etapa considere diferentes graus de detalhamento do sistema, horizonte de estudo e representatividade da incerteza hidrológica.

O NEWAVE, desenvolvido pelo CEPEL, é o modelo atualmente utilizado para definição das metas para o planejamento da operação de médio prazo. O método de solução adotado é a programação dinâmica dual estocástica (PDDE), proposto na década de 90 por Pereira & Pinto (1991). Neste algoritmo a construção da função de custo futuro é construída iterativamente através do princípio da decomposição de Benders, sem a necessidade de discretizar o espaço de estados, evitando desta forma a explosão combinatória decorrente da PDE. A incerteza com relação às afluências futuras é representada por uma árvore de cenários, construída utilizando amostragem aleatória simples.

Neste trabalho foram apresentadas propostas para a definição da árvore de afluências a ser visitada durante o cálculo da política ótima de operação. As opções elencadas fazem uso de ferramental estatístico (técnicas de agregação) multivariado capaz de agrupar um conjunto de objetos, baseado em suas características, em grupos de tal forma que objetos similares estejam alocados em um mesmo grupo, e que os grupos formados sejam bem diferentes entre si. Adicionalmente, foi proposto utilizar outros métodos de amostragem com o objetivo de reduzir a variabilidade causada naturalmente pela amostragem aleatória simples (AAS).

Todas as opções propostas neste trabalho foram aplicadas no modelo de geração de cenários sintéticos de energia natural afluente. A geração dos cenários sintéticos é feita empregando-se modelos autorregressivos periódicos (PAR(p)) para modelar o processo estocástico das afluências para cada subsistema equivalente de energia. Os cenários sintéticos são gerados de forma multivariada e tomando-se o cuidado para que não sejam gerados valores

negativos para as afluições. Para tanto, é ajustada uma distribuição lognormal três parâmetros à parcela aleatória do modelo PAR(p).

Foi apresentado o método utilizado atualmente para geração da árvore de cenários a ser percorrida durante o cálculo da política, onde a geração das amostras de ruídos para o passo forward utiliza resorteios das amostras de ruídos do passo backward obtida por AAS. Esse método, chamado neste trabalho de opção Atual, se mostrou pouco robusto com relação à estabilidade de resultados quando são alterados parâmetros utilizados na construção da árvore. Adicionalmente, este método de geração apresenta grande instabilidade na reprodução das médias, desvios-padrão e correlações cruzadas históricas de ENA. Mesmo considerando um maior número de cenários forward, mostrou-se que o ganho é pequeno, analisando-se a representatividade da série de ruídos. Uma alternativa para melhorar a instabilidade referida acima seria aumentar o tamanho da amostra backward, o que acarretaria um aumento significativo no tempo computacional necessário para solução do problema.

Uma alternativa à opção Atual é a opção 1AAS, que utiliza amostragem aleatória simples para geração das amostras ruídos para os passos forward e backward de forma independente. Nos experimentos realizados neste trabalho, essa opção se mostrou mais robusta que a opção Atual, principalmente com relação à variação no número de cenários, porém também apresentou grande variabilidade nos resultados quando a amostra de ruídos é alterada.

Uma das propostas apresentadas neste trabalho foi substituir o método de amostragem aleatória simples por métodos de amostragem estratificada, tais como o LHC e AD, com o intuito de reduzir a variação nos resultados causada por alterações nas amostras de ruídos. Como era de se esperar, a variabilidade com relação aos cenários hidrológicos são bem pequenas. Porém, esses métodos de amostragem apresentaram grande dificuldade em reproduzir uma característica muito importante da série histórica: a correlação cruzada. Há uma tendência de geração de valores mais baixos de correlação cruzada para os cenários da backward em comparação com os cenários do passo forward, causando impactos na construção da FCF e tornando o valor ZSUP mais elevado.

Foram apresentadas opções que aplicam técnicas de agregação para a construção da amostra de ruídos utilizada somente no passo backward, opções 0 e 1. Os resultados observados mostram que a opção 0 causa uma degradação acentuada no desvio-padrão das amostras de ruídos e de ENA. Este efeito permanece o mesmo se o tamanho da amostra for aumentado. A opção 1

apresentou resultados satisfatórios para média e correlação cruzada, porém, há uma ligeira perda no desvio-padrão. A degradação do desvio-padrão ocorreu em todas as outras opções testadas neste trabalho que utilizaram agregação de cenários.

As opções 2, 3 e 4 aplicaram as técnicas de agregação para obtenção tanto da amostra forward quanto da amostra backward, de forma independente (opção 4) ou dependente (opções 2 e 3). A opção 3 apresentou um desempenho bem ruim no processo iterativo de solução do modelo de planejamento, por isso foi abandonada. As opções 2 e 4 apresentaram bons desempenho com relação à reprodução das médias e correlações cruzadas das ENAs. A opção 0 também apresentou os mesmos problemas mencionados na opção 3, mas não foi abandonada por representar uma transição entre as opções Atual e as opções 2 e 4.

Adicionalmente, foi empregado, em conjunto com as opções 0 e 4, um método de reamostragem de cenários com o objetivo de percorrer uma maior porção da árvore completa de cenários. Observou-se que, quando esse método é aplicado há, em geral, uma redução na variabilidade nos resultados obtidos.

As opções 2 e 4 apresentaram menor variação nos resultados se comparadas com a opção Atual, com relação às diversas sensibilidades efetuadas neste trabalho. Dentre as opções analisadas, a que mostrou melhor desempenho foi a opção 4, onde o processo de agregação é aplicado de forma independente, a partir de uma mesma amostra original, para construção das amostras de ruídos para os passos backward e forward.

O aumento do tamanho da amostra backward tem um impacto significativo no tempo computacional de resolução do problema de planejamento da operação. Contudo não é possível usar uma amostra aleatória de tamanho muito reduzido, pois é necessário representar de forma estável o processo estocástico do problema. Nas opções que utilizam as técnicas de agregação para geração da amostra backward, é possível conseguir resultados tão bons na solução do problema utilizando uma amostra de tamanho reduzido, quanto àqueles obtidos com amostras de tamanhos maiores. Além disso, os resultados observados são mais robustos com relação à variação da amostra de ruídos utilizada.

Os resultados obtidos neste trabalho sinalizam que a utilização de técnicas de agregação melhora a qualidade da função de custo futuro. Essa melhoria pode ser maior se forem utilizados o método de amostragem LHC, para obtenção da amostra de ruídos original empregada no processo de agregação, e o método de reamostragem de cenários forward.

9.1. Sugestões para trabalhos futuros

Os estudos apresentados mostraram que a técnica de agregação é uma ferramenta que fornece uma melhoria na robustez dos resultados do modelo NEWAVE, se consideradas variações no tamanho da amostra backward e variação de amostra. Porém, esta melhoria é menor para variações no tamanho da amostra de cenários utilizada no passo forward. Desta forma, é interessante investir em outras técnicas para geração desta amostra, como por exemplo, técnicas de redução de cenários.

Uma das propostas iniciais deste trabalho era a aplicação destas técnicas para a construção dos cenários forward. A redução seria feita de forma local, porém condicionada aos demais cenários de ENA do período em questão. Porém, o tempo computacional gasto com esse procedimento foi excessivamente grande, aproximadamente 20 horas para uma árvore com 120 períodos, o que tornou inviável o seu estudo. Foi aventada a possibilidade de utilizar técnicas de processamento paralelo para solucionar o problema de tempo computacional, porém na geração dos cenários de ENA há dependência entre os períodos, o que impossibilita a divisão das tarefas entre diversos processadores.

Como não é possível a paralelização da aplicação das técnicas de redução, uma possibilidade a ser investigada é a paralelização do algoritmo utilizado nas técnicas de redução ótima de cenários.

Em relação à degradação da representatividade do desvio-padrão nas opções que utilizam a agregação de cenários, é sugerido a incorporação de alguma informação na medida de distância que faça com que o desvio-padrão seja preservado, como por exemplo, a distância do desvio calculado com relação ao seu valor teórico.

Os experimentos realizados neste trabalho consideraram apenas casos de PMO que utilizam um horizonte de 10 anos (5 anos de estudo mais 5 anos de pós estudo) e quatro subsistemas equivalentes de energia. Desta forma, sugere-se estender os experimentos para avaliar casos do Programa Decenal de Expansão, que consideram um horizonte maior, além de representar outros subsistemas.

Um ponto que deve ser investigado futuramente é a definição de outros critérios de parada para o algoritmo de solução, de forma a substituir ou complementar o critério de convergência atualmente utilizado.

Finalmente, outra sugestão é combinar o método de reamostragem de cenários com o método de amostragem LHC e AD. Porém, deve-se buscar, primeiramente, uma solução para a degradação observada na representação da correlação cruzada dos cenários gerados por estes métodos.