



**XXII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GMI/07
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - XII

GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO - GMI

MODELOS PARA PLANEJAMENTO DE LONGO PRAZO DE MANUTENÇÕES PREVENTIVAS EM USINAS HIDRELÉTRICAS COM GRANDE NÚMERO DE UNIDADES GERADORAS E REGIME HIDROLÓGICO BEM DEFINIDO

Rafael Rigamonti(*)Nelson Maculan FilhoFabio da Silva Lacerda

ELETRONBRASUFRRJ FURNAS

RESUMO

Este trabalho propõe três modelos matemáticos para o problema de planejamento de longo prazo das manutenções preventivas de usinas hidrelétricas com regime hidrológico marcante, reservatório a fio d'água e um grande número de unidades geradoras. Buscando auxiliar a área de manutenção na elaboração do cronograma de manutenção, definição do critério de parada, dimensionamento de equipes, compra de material necessário e contratação de serviços, além de verificar a viabilidade de se realizar todas as manutenções preventivas no período hidrológico seco.

PALAVRAS-CHAVE

Manutenção, Planejamento, Regime Hidrológico, Otimização

1.0 - INTRODUÇÃO

Os novos projetos de usinas hidrelétricas que estão sendo construídos e estudados na região norte do país, tem levantado muitas questões nas áreas que envolvem a manutenção e operação destas usinas. Suas características de regime hidrológico marcante, reservatório a fio d'água e um grande número de unidades geradoras, exige das áreas técnicas, estudos que definirão a melhor forma de se operar e realizar as manutenções destas usinas.

Neste trabalho foram desenvolvidos três modelos matemáticos para o problema de planejamento de longo prazo das manutenções preventivas deste tipo de usina. O primeiro modelo se baseia em intervalos de tempo fixos para a realização da manutenção preventiva. O segundo modelo se baseia no número de Horas de Operação Acumuladas (HOA) das unidades geradoras. E o terceiro modelo é uma simplificação do segundo, onde, divide-se o problema em duas etapas: despacho e manutenção, visando a obtenção de uma resposta mais rápida e de boa qualidade.

Aplicou-se os modelos propostos ao caso da UHE Santo Antônio que tem uma potência instalada de 3.150 MW, dividida em 44 unidades geradoras do tipo bulbo e está localizada no Rio Madeira, rio que apresenta vazões muito elevadas no período de cheia atingindo picos de 35.000 m³/s e vazões reduzidas no período de seca que atingem patamares de 5.000 m³/s, uma redução de 85%.

De forma a tornar este informe mais didático e menos teórico, os modelos serão apresentados de forma ilustrada, trazendo os conceitos e objetivos de cada item que o compõe. As formulações completas podem ser obtidas na referência (1) deste informe.

2.0 - A USINA HIDRELÉTRICA DE SANTO ANTÔNIO

Neste item serão apresentadas as premissas e principais características da usina hidrelétrica de Santo Antônio, que influenciam e inserem parâmetros, variáveis e restrições na modelagem do problema.

(*) Rua do Ouvidor, n° 107 – 5º andar – CEP 20.040-030- Rio de Janeiro, RJ – Brasil

2.1 Série de Vazões

O registro histórico de vazões da UHE Santo Antônio compreende o período de janeiro de 1931 a dezembro de 2011. Nos casos analisados considerou-se um período de operação da usina de 180 meses (15 anos). Como a primeira unidade geradora (UG) entrou em operação comercial ao final de março de 2012, adotou-se o período hidrológico de abril de 1931 a março de 1946 como o período para a simulação das três formulações.

2.2 Vazão Máxima Turbinada

Devido às características do Rio Madeira, a usina de Santo Antônio possui dois tipos de turbina, 24 unidades geradoras de quatro pás e 20 de cinco pás. As UGs de quatro pás foram projetadas para operarem com maior eficiência no período de grande vazões e as UGs de cinco pás para o período de baixas vazões. A tabela 1 apresenta a vazão máxima turbinada para esses dois tipos de turbinas.

Tabela 1 – Vazão máxima turbinada das unidades geradoras.

Unidade Geradora	4 Pás	5 Pás
Vazão Máxima Turbinada (m³/s)	609	579

2.3 Intervalo Para as Manutenções Preventivas

No primeiro ano de operação das máquinas, serão realizadas todas as manutenções e revisões exigidas pelo fabricante. Após este período será contabilizado o tempo de operação que definirá as manutenções preventivas a serem realizadas pelo empreendedor. Com a finalidade de facilitar a comparação dos resultados e simplificar o problema, foi definida a realização de quatro manutenções preventivas em cada UG. As manutenções preventivas, o período para realização (anos e horas de operação acumulada) e suas respectivas durações são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Manutenções preventivas a serem realizadas.

Manutenção	Período de Operação	HOA Mínima	HOA Máxima	Duração
1	1 ano	8.000	16.000	3 dias
2	2 anos	16.000	24.000	7 dias
3	3 anos	24.000	32.000	3 dias
4	4 anos	32.000	40.000	10 dias

2.4 Período Para a Realização das Manutenções

De acordo com o regime hidrológico do Rio Madeira, adotou-se como período possível para a realização das manutenções preventivas os meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro. A figura 1 ilustra este fato.

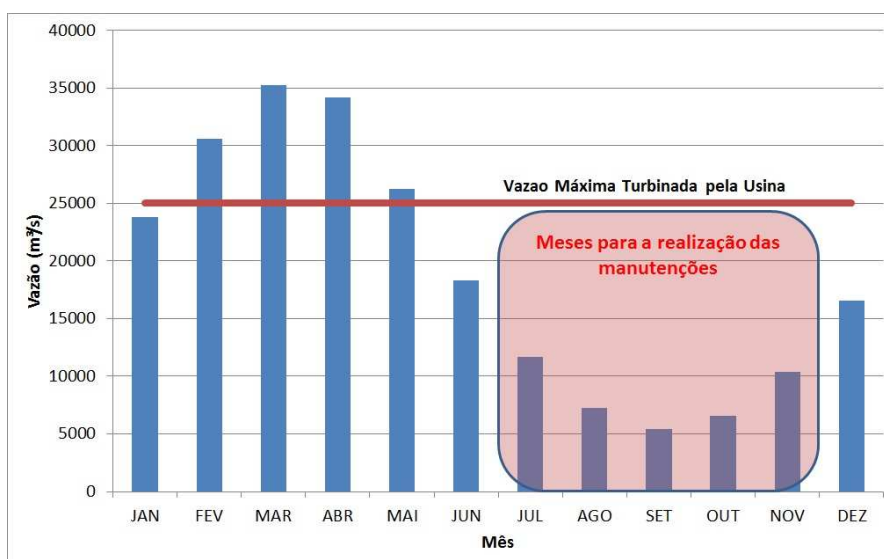


Figura 1 – Período para a realização das manutenções preventivas.

2.5 Manutenções Consecutivas

O prazo de execução das manutenções está definido em dias, porém o intervalo de tempo considerado nas três formulações do problema é mensal. Com isso, há a necessidade de se definir o número de manutenções que podem ser executadas de forma consecutiva, sem a necessidade de uma equipe adicional, no intervalo de tempo de um mês. A tabela 3 apresenta estes valores adotados.

Tabela 3 – Número de manutenções consecutivas por tipo de manutenção.

Manutenção	Duração	Número de Manutenções Consecutivas
1	3 dias	7
2	7 dias	3
3	3 dias	7
4	10 dias	2

2.6 Prioridade de Despacho

A regra de despacho que a usina de Santo Antônio deverá seguir é: manter o fluxo de água prioritariamente no leito do rio e próximo ao sistema de transposição de peixes. Com isso, um estudo de otimização de despacho da usina, realizado pelo empreendedor, definiu a ordem de entrada em operação das unidades geradoras mostrada na tabela 4.

Tabela 4 – Ordem de despacho das UGs.

Prioridade de Despacho	Casa de Força
1º	4
2º	1
3º	3
4º	2

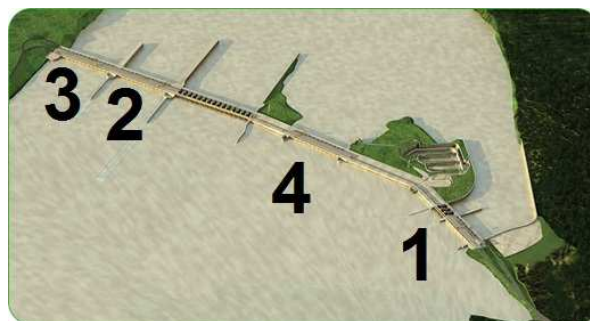


Figura 2 – Localização das Casas de Força.

2.7 Mão de Obra Necessária

Para cada manutenção foram definidas as atividades de reparo e revisão a serem realizadas e o número de profissionais necessários para a execução destes serviços. A tabela 5 resume o tipo de profissional requerido e a quantidade para cada tipo de manutenção.

Tabela 5 – Número de profissionais necessários por manutenção.

Manutenção	1ª	2ª	3ª	4ª
Eletromecânico Sênior	2	4	2	4
Eletromecânico Júnior	2	4	2	4
Eletroeletrônico Sênior	0	2	0	2
Eletroeletrônico Júnior	0	2	0	2

3.0 - MODELOS DESENVOLVIDOS

Ao longo dos estudos desenvolvidos neste trabalho, foram propostas três formulações do problema. A primeira formulação considera intervalos fixos para a realização da manutenção preventiva, tornando sua implementação mais simples. A segunda formulação já considera o número de Horas de Operação Acumulada (HOA) para definir o período de realização da manutenção preventiva, tornando o problema mais complexo. A terceira formulação é uma simplificação da segunda, onde divide-se o problema em duas etapas, garantindo assim uma solução aproximada e rápida para o problema. De forma a tornar este informe mais didático e intuitivo, as formulações

serão apresentadas em forma de ilustração, onde apresentamos no centro da figura a Função Objetivo (FO) do problema e ao redor as restrições impostas.

3.1 Formulação 1 – Manutenção em Intervalos de Tempo Pré-Fixados

Nesta formulação do problema, considerou-se que as manutenções preventivas são realizadas em intervalos de tempo pré-fixados. A primeira manutenção é realizada após dois anos de operação da UG, independente do número de horas que esta unidade tenha operado, a segunda manutenção é realizada após três anos de operação, a terceira após quatro anos e a quarta após 5 anos. Lembrando que no primeiro ano são realizadas todas as manutenções exigidas pelo fabricante para questões de garantia. A figura 3 ilustra a Formulação 1 do problema.



Figura 3 – Formulação 1 (Manutenção em Intervalos de Tempo Pré-Fixados)

Neste tipo de problema, o valor da função objetivo não é o mais importante, e sim a viabilidade do problema e o melhor aproveitamento dos recursos. Sendo assim, a função objetivo deste problema é composta de variáveis que queremos minimizar ou penalizar para alcançarmos um cronograma de manutenção preventiva otimizando os recursos e mão de obra disponíveis. Nesta formulação, minimiza-se a variável vertimento, garantindo assim o aproveitamento máximo da vazão afluente para a geração de energia elétrica. O termo despacho na realidade significa uma penalização atribuída a cada unidade geradora de forma a garantir que as unidades geradoras despachadas em cada mês atendam a regra de prioridade de despacho ótimo definida pelo usuário. O terceiro termo representa a minimização do número total de técnicos necessários para a realização das manutenções, forçando o modelo a distribuir as manutenções de forma a otimizar o recurso disponível.

Com relação às restrições do problema, temos as restrições que representam as características físicas da usina e aquelas referentes às características operativas que deseja-se alcançar. Abaixo faz-se um breve comentário sobre cada restrição representada na Figura 3.

Gerar toda a vazão disponível: esta restrição força o modelo a utilizar a vazão afluente à usina para a geração de energia, limitada pela vazão máxima turbinada por todas as unidades geradoras disponível no mês em questão.

Executar os 4 tipos de manutenções 1 única vez: esta restrição impõe ao modelo a realização dos 4 tipos de manutenções em todas as unidades geradoras uma única vez.

UGs de 4 pás não operam com vazão afluyente menor a 7.500 m³/s: por motivos técnicos, de caráter construtivo das unidades geradoras de 4 pás, quando se tem vazões afluentes menores ou iguais a 7.500 m³/s o nível de jusante fica abaixo do nível mínimo permitido para seu funcionamento. Esta restrição garante que as UGs de 4 pás não operem nessas condições.

Respeitar o limite de manutenções simultâneas: esta restrição faz a ligação entre o número de profissionais necessários para cada manutenção e o número de manutenções simultâneas com a quantidade máxima de profissionais disponíveis. Lembrando que um dos objetivos do modelo é atender ao cronograma estabelecido com a menor equipe possível.

Não despachar uma UG que está em manutenção: esta restrição garante que uma UG em manutenção não será considerada disponível para despacho.

Respeitar o período permitido para realizar a manutenção: esta restrição, para o caso desta formulação, tem dois significados. Primeiro que as manutenções somente serão permitidas nos meses de julho a novembro. Segundo que as manutenções devem ser realizadas no período de tempo pré-fixado pelo planejador, independentemente do número de horas de operação das UGs.

Respeitar a entrada das máquinas e os limites operativos: está representada no modelo a entrada em operação escalonada das máquinas e seus limites operativos.

3.2 Formulação 2 – Manutenção em Função das Horas de Operação Acumulada

Nesta formulação do problema não considera-se um período pré-fixado para a execução das manutenções preventivas. As manutenções são definidas em função do total de horas de operação acumulada. Porém, não se sabe a priori, quando as UGs irão atingir o montante de horas de operação acumulada para uma determinada manutenção. Esta grandeza é função do despacho destas unidades ao longo do período considerado. Sendo assim, com esta formulação do problema, tem-se dois problemas a serem resolvidos e estes problemas tem influência mútua. O primeiro problema é o problema do despacho das UGs, e o segundo problema é a definição dos meses em que serão realizadas as manutenções programadas destas unidades.

Com relação à formulação anterior, esta formulação acrescenta na função objetivo uma penalização para que as manutenções sejam realizadas o mais próximo possível do início do intervalo permitido para a realização das manutenções, visto que, quanto mais postergarmos as manutenções preventivas, maior será o risco de ocorrer uma falha no equipamento, ocasionando uma parada para manutenção corretiva.

Com relação às restrições, nesta formulação foi inserido um conjunto de restrições para que fosse possível realizar as manutenções dentro do intervalo de horas de operação acumulada especificada pelo planejador. A ideia básica é utilizar técnicas de programação inteira (0,1) para particionar a variável HOA em intervalos onde se deseja encaixar cada manutenção.

3.3 Formulação 3 – Problema Dividido em Duas Etapas

Esta formulação é uma simplificação da Formulação 2, pois, devido ao tamanho do problema, partiu-se para uma modelagem do problema em duas etapas. Na primeira etapa formula-se um problema de despacho das unidades geradoras. Como resultado desta primeira etapa obtém-se o número de horas de operação acumulada de cada unidade geradora, a partir daí, formula-se o problema de alocação das manutenções preventivas de acordo com o número de horas de operação acumulada, obtida na primeira etapa.

4.0 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os modelos foram implementados no software AIMMS, versão 3.11, utilizando o solver CPLEX versão 12.4. As simulações foram realizadas em um computador pessoal com Processador AMD Athlon LE-1620 2.40 GHz e 4 GB de memória RAM. Para facilitar a utilização dos modelos propostos foram desenvolvidas planilhas Excel para fazer a interce de entrada e saída de dados. Os dados de saída também são tratados e disponibilizados em tabelas e gráficos que facilitam a análise pelo profissional.

A tabela 6 mostra, para as três formulações, as principais características do problema, como o número de restrições e o número de variáveis, assim como o valor da função objetivo e o tempo de execução.

Tabela 6 – Característica do problema e tempo de execução das três formulações.

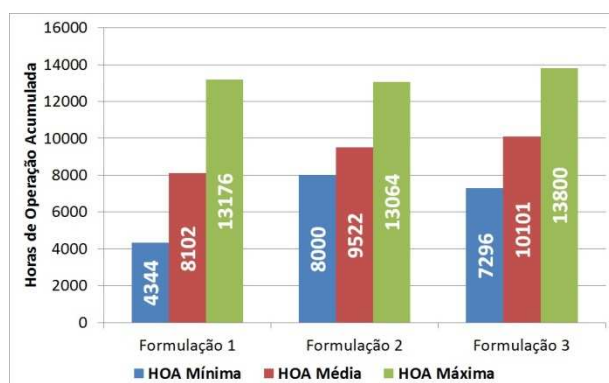
Formulação	1	2	3 - 1ª Etapa	3 – 2ª Etapa
Nº de Restrições	297.044	548.277	372.421	572.207
Nº de Variáveis Reais	47.524	95.225	8.101	8.101
Nº de Variáveis Inteiras	5.401	39.600	7.920	71.284

Nº de Iterações	5.689	1.733.382	1	14.547
Valor da Função Objetivo	771.270	976.858	963.501	1.391.928
Gap (%)	0,00	0,11	0,00	0,00
Tempo (s)	52	89.751	1,26	52

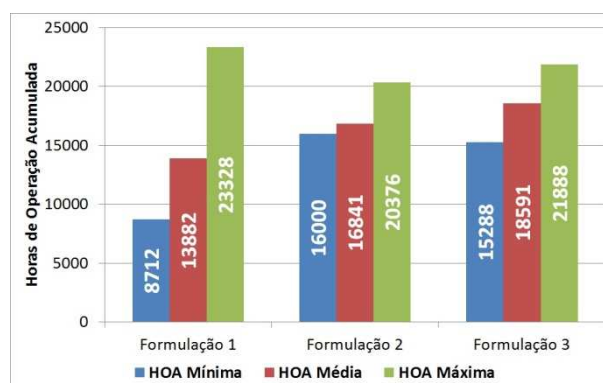
A tabela 7 mostra uma comparação entre o número de técnicos necessários para a execução do cronograma proposto por cada uma das três formulações. Observa-se que a Formulação 3 foi a que apresentou um maior número de profissionais, 36 ao todo, já a formulação 2 apresentou o segundo maior número, sendo 32 profissionais ao todo, um resultado bem próximo da formulação 3, e a formulação 1 foi a que apresentou o menor número de profissionais, necessitando de uma equipe de 26 profissionais. A formulação 3 apresentou a maior equipe, pois foi a que apresentou um cronograma com o maior número de manutenções a serem realizadas em um único mês: 18 manutenções.

Tabela 7 – Comparação entre a quantidade de técnicos necessários para o cronograma proposto.

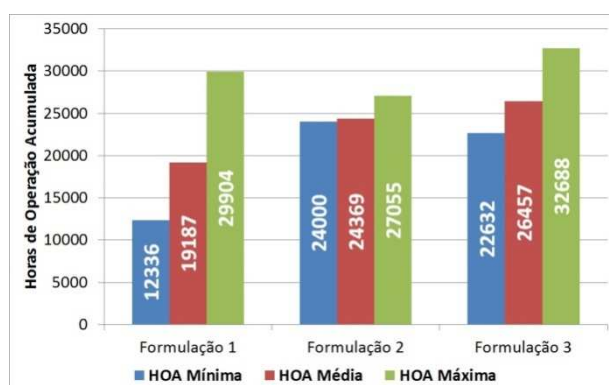
Profissional	Formulação 1	Formulação 2	Formulação 3
Eletromecânico Sênior	9	11	12
Eletromecânico Júnior	9	11	12
Eletroeletrônico Sênior	4	5	6
Eletroeletrônico Júnior	4	5	6



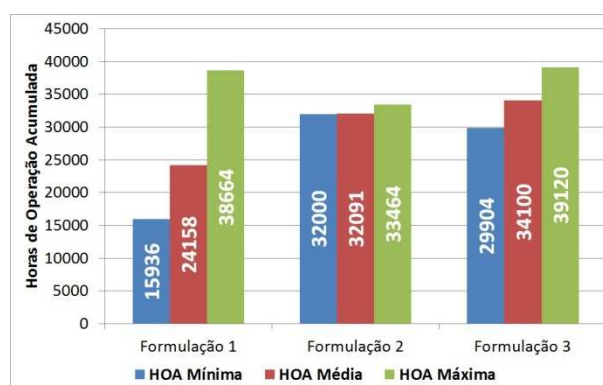
a) Manutenção 1



b) Manutenção 2



c) Manutenção 3



d) Manutenção 4

Figura 4 – Comparação das Horas de Operação Acumulada de Cada Formulação.

A figura 4 a) mostra o número de HOA mínima, média e máxima obtida em cada formulação para a primeira manutenção. Observa-se que na média, a formulação 1 apresentou o menor valor de HOA, porém é a formulação que apresenta o maior intervalo entre o número mínimo de HOA e o número máximo. As formulações 2 e 3 apresentaram resultados bem semelhantes para os valores médios e máximos, porém a formulação 2 apresenta um valor mínimo maior, o que faz esta formulação apresentar o menor intervalo entre o número mínimo e máximo de HOA.

A figura 4 b) mostra os mesmos dados para a segunda manutenção. A formulação 1 continua apresentando a menor média e a maior diferença entre o valor de HOA mínima e máxima. A formulação 2 apresentou um valor médio menor que a formulação 3 e o menor intervalo entre HOA mínima e máxima. Nota-se que a média da formulação 2 está bem próximo do valor mínimo permitido para a realização da manutenção, o que mostra que grande parte das unidades geradoras estão parando no início do período, diminuindo o risco de falhas do equipamento por atraso na manutenção preventiva.

A figura 4 c) mostra os mesmos dados para a terceira manutenção. A formulação 1 apresentou a menor média e o maior intervalo entre mínimo e máximo. A formulação 2 apresentou melhor média que a formulação 3 e o menor intervalo, e o valor médio se aproximou mais do valor mínimo.

A figura 4 d) mostra os mesmos dados para a quarta e última manutenção. A formulação 1 apresentou a menor média e o maior intervalo entre mínimo e máximo. A formulação 2 apresentou melhor média que a formulação 3 e o menor intervalo. Nesta manutenção, o valor médio é praticamente igual ao valor mínimo e o valor máximo se afasta do mínimo em apenas 1.400 horas, ou seja, dois meses. A formulação 3 foi a que apresentou a maior média, porém uma diferença entre o valor mínimo e máximo menor que a formulação 1.

Na formulação 1, tem-se que o número de HOA é uma consequência, pois as manutenções são pré-fixadas de acordo com o número de anos de operação. Como as unidades geradoras possuem uma prioridade de despacho, em um mesmo intervalo de tempo, tem-se unidades que são mais solicitadas ao despacho que outras. Isto justifica a grande diferença entre o número de HOA mínima e máxima das unidades geradoras em cada manutenção. Já a formulação 2 e 3, pelo fato de possuírem um cronograma baseado no número de HOA, o fato de algumas unidades serem despachadas mais do que outras não implica em um número de HOA maior na execução da manutenção, e sim que as manutenções serão realizadas mais cedo nas unidades que são mais solicitadas e mais tarde nas unidades menos solicitadas.

A diferença entre a formulação 2 e 3 está na simplificação que cada uma carrega. Na formulação 2, foram simplificadas as variáveis inteiras relacionadas ao despacho, à manutenção e ao número de profissionais exigidos. A simplificação da variável relacionada ao despacho, faz com que não seja contabilizada corretamente as horas de operação da unidade geradora, quando esta variável assume valores entre 0 e 1. Por exemplo, se em um determinado mês uma UG tem a variável despacho igual a 0,9, será contabilizado apenas 90% das horas deste mês. Porém, pelos resultados, constatou-se que este fracionamento da variável ocorre, na maioria dos casos, na última UG despachada, minimizando o impacto desta simplificação. Com relação à simplificação das variáveis relacionadas à manutenção, observa-se que, no ótimo, estas variáveis serão inteiras. Nos resultados aqui apresentados, apenas 13 variáveis, de um total de 176, não foram inteiras, e seus valores, quando fracionados, ocorriam em dois meses, sendo que em um mês o valor estava bem próximo de 1, e no outro mês o valor estava bem próximo de zero. Quanto à simplificação das variáveis relacionadas à quantidade de profissionais necessários para a realização do cronograma proposto, resolve-se este problema arredondando os valores fracionados para o inteiro superior mais próximo.

Na formulação 3, a simplificação é realizada dividindo-se o problema. Mantém-se todas as variáveis inteiras, porém resolve-se o problema em duas etapas, na primeira etapa resolve-se o problema do despacho das unidades geradoras e na segunda etapa resolve-se o problema do cronograma de manutenções, utilizando na segunda etapa o número de HOA obtido na primeira etapa. Este é o motivo desta formulação apresentar valores médios de HOA superiores à formulação 2, e uma maior diferença entre os valores mínimos e máximos. Como na segunda etapa inclui-se as manutenções preventivas, o número de HOA das unidades geradoras na segunda etapa não será o mesmo obtido na primeira etapa. A vantagem desta simplificação está no tempo de solução do problema, enquanto a formulação 2 foi interrompida após 25 horas de simulação, a formulação 3 é resolvida em menos de 1 minuto.

5.0 - CONCLUSÕES

A formulação 1 não se mostrou muito adequada às características da UHE Santo Antônio, pois, devido às regras de prioridade de despacho e a diferença de unidades geradoras de 4 e 5 pás, um cronograma de manutenção baseado em intervalo de tempo fixo faz com que sejam executadas manutenções preventivas muito precocemente nas unidades geradoras com menor prioridade de despacho e muito tardiamente nas unidades com maior prioridade de despacho. Isso implica em gastos desnecessários com manutenções realizadas precocemente e um aumento na probabilidade de falha das unidades mais despachadas. Contudo, é a formulação que gera um cronograma de manutenções que requer a menor equipe de manutenção, 26 profissionais ao todo, enquanto que a formulação 2 necessita de uma equipe de 32 profissionais e a formulação 3 necessita de uma equipe de 36. Como na formulação 1 realiza-se obrigatoriamente uma manutenção preventiva por ano, evita-se a ocorrência de manutenções simultâneas de longa duração (manutenções 2 e 4).

A utilização do número de horas de operação acumulada como referência para a definição das manutenções preventivas, ao invés de se utilizar intervalos fixos, mostrou ser mais adequada em usinas hidrelétricas com as características da UHE Santo Antônio, pois o modelo aproveita as baixas aflúências e o grande número de unidades geradoras para realizar as manutenções o mais próximo possível do número de HOA definido. Isso foi observado nos resultados obtidos com as formulações 2 e 3.

Entre as formulações 2 e 3, a formulação 2 foi a que apresentou os melhores resultados do ponto de vista do cronograma de manutenções, pois não permitiu que as manutenções fossem realizadas antes do limite mínimo de HOA, e também não deixou que as manutenções fossem postergadas por muito tempo. Observou-se que, com a entrada de novas unidades geradoras, o problema da postergação das manutenções foi diminuindo, pois com um maior número de unidades, aumenta-se a flexibilidade de despacho da usina.

Um ponto negativo da formulação 2 é o seu tempo de execução. Porém, estudos para a definição de cronogramas de manutenção, dimensionamento de equipes, e outras análises relacionadas ao planejamento da manutenção preventiva não são estudos que necessitam de uma resposta rápida. Possui-se tempo para a realização das simulações e análise dos resultados. Outro ponto importante é que as simulações apresentadas neste trabalho foram realizadas em um computador pessoal com um processador de baixo custo. Acredita-se que em computadores mais robustos, esse tempo deva cair bastante. No entanto, se o usuário quiser realizar análises de sensibilidade alterando-se alguns parâmetros e necessitar de uma resposta rápida, mas não tão precisa, ele pode utilizar a formulação 3 que reduziu consideravelmente o tempo de solução do problema e apresentou resultados próximos à alternativa 2.

A utilização desta ferramenta trará um grande ganho para a área de manutenção de empresas que hoje realizam o cronograma de manutenções de suas usinas sem o auxílio de um modelo de apoio a decisão. Este trabalho também irá auxiliar na definição da taxa de indisponibilidade programada utilizada nos estudos de viabilidade e projeto básico de novas usinas hidrelétricas.

As formulações apresentadas neste trabalho se limitam a usinas hidrelétricas do tipo a fio d'água, isto é, usinas hidrelétricas que não possuem reservatório de regularização. Para aplicar estas formulações em usinas hidrelétricas com reservatórios de regularização é necessária a definição, e inserção no modelo, de uma regra de operação de reservatórios. Devido as características específicas de cada usina hidrelétrica, referentes tanto ao aspecto construtivo quanto ao aspecto operativo, a utilização das formulações apresentadas neste trabalho para outras usinas implicará em modificações na modelagem, com o objetivo de adaptar o modelo matemático às características da usina em análise.

Neste trabalho não foi abordada a questão da variabilidade das vazões, isto é, toda a análise realizada neste trabalho foi baseada em uma única série histórica de vazões. Para agregar mais confiabilidade aos resultados, sugere-se a simulação para diversos cenários hidrológicos, ou mesmo a melhoria da formulação para uma abordagem estocástica do problema.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) RIGAMONTI, R. Modelos para Planejamento de Longo Prazo de Manutenções Preventivas em Usinas Hidrelétricas com Grande Número de Unidades Geradoras e Regime Hidrológico Bem Definido– Dissertação de Mestrado – UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, 2012 (Disponível em: http://www.cos.ufrj.br/index.php?option=com_publicacao&task=visualizar&id=2336)
- (2) SILVA, E. L., MOROZOWSKI, M. F. Programação da Manutenção de Unidades Geradoras em Sistemas Multi-área com Base em Métodos Probabilísticos, XIII SNPTEE, 1995.
- (3) DOPAZO, J. F., MERRILL, H. M. "Optimal Generator Maintenance Scheduling Using Integer Programming", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. PAS-94, n. 5, 1975.
- (4) YAMAYEE, Z. A. "Maintenance Scheduling: Description, Literature Survey, and Interface with Overall Operations Scheduling", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, v. PAS-101, n. 8, pp. 2770-2779, 1982.
- (5) MACULAN, N., FAMPA, M. H. C. Otimização Linear. 1 ed. Rio de Janeiro, UNB, 2006.
- (6) WOLSEY, L. A. Integer Programming. 1 ed. New York, John Wiley Sons, INC., 1998.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Rafael Rigamonti

Natural de Araçatuba – SP – Nascido em 1981

Graduado em Engenharia Elétrica na cidade de Ilha Solteira em 2005

Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação no Rio de Janeiro em 2012

Atua na área de Estudos Energéticos da Eletrobras desde Novembro de 2006