

Otimização da Operação de Usinas Hidrelétricas do Rio Tietê

T. Sousa¹, J. A. Jardini¹, C. Goldemberg², Y. F. L. de Lucca³ e R. A. de Lima⁴

Resumo – O presente artigo apresenta uma metodologia desenvolvida para obter o despacho otimizado de unidades geradoras em uma usina hidrelétrica. A metodologia consiste de três etapas distintas. São elas: a definição de um sistema de monitoramento das variáveis; o cálculo do rendimento das unidades geradoras e; o estabelecimento de um algoritmo para despacho ótimo das unidades. A eficácia da metodologia proposta foi examinada a partir de um projeto piloto desenvolvido na usina hidrelétrica de Nova Avanhandava de propriedade da AES Tietê S/A.

Palavras-chave - Despacho Ótimo, Métodos Quantitativos, Rendimento, Unidades Hidrelétricas.

I. INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico Brasileiro (SIN) tem tamanho e características que permitem considerá-lo único em âmbito mundial, por ser um sistema hidrotérmico, com forte predominância de usinas hidrelétricas e com múltiplos agentes. O SIN alcançou em 2005 uma capacidade de produção total de aproximadamente 91GW, sendo 71GW representado por usinas hidrelétricas, 18GW por usinas termelétricas e 2GW por usinas termonucleares.

Um sistema de geração hidrotérmico com essas proporções e características necessita assegurar o acompanhamento da carga a partir da geração hidrelétrica, deixando a geração termelétrica constante ao longo do dia, a menos de restrições sistêmicas. Esta atividade, planejamento da operação e do despacho, é realizada atualmente por um Operador Independente (ONS). Para tanto, o operador utiliza-se de uma seqüência temporal de dados de vazões dos rios que o permite realizar planejamentos anuais, quadrimestrais, mensais e de pré-operação.

Para a elaboração do planejamento diário, o operador encaminha aos agentes uma proposta de geração por usina, por patamar de carga (base horária), com base nas diretrizes do planejamento mensal e semanal, considerando os ajustes de carga e aflúências, as restrições elétricas e as restrições de geração. Em alguns casos, com o objetivo de atender a níveis pré-determinados de reservas e/ou estabilidade do sistema, o operador solicita ao agente gerador um número

fixo de unidades operantes, maior que o necessário.

Na última década, o Sistema Elétrico Brasileiro tem passado por um processo de reestruturação resultante da desverticalização dos serviços prestados e da introdução da competição no setor. As necessidades e mudanças impostas ao setor têm feito com que os agentes geradores tenham um maior interesse pelo ganho de eficiência de suas unidades geradoras. Este maior interesse está diretamente relacionado à diminuição dos custos de operação e manutenção e aumento do montante de energia a ser comercializado.

Assim, a questão do despacho otimizado de unidades geradoras torna-se uma ferramenta importante, que passa necessariamente pela adoção de um critério de desempenho [4,8-10]. Em usinas termelétricas, um critério de desempenho usualmente empregado é a minimização do custo do combustível. Em usinas hidrelétricas, no entanto, o custo de geração é mais complexo por haver interações entre as usinas, o que requer uma abordagem específica para o problema [6-7].

Embora tenha havido um aumento na busca de uma maior eficiência operativa das unidades geradoras, na maioria das usinas hidrelétricas não há uma medição local da vazão, sendo medidos apenas os níveis de montante e jusante e a potência ativa gerada. Quando necessário utiliza-se os valores de rendimentos determinados nos estudos de modelo reduzido. Outro ponto questionável é o fato das políticas operativas dos agentes basearem-se na experiência de seus operadores, que resulta em restrições operativas impostas às unidades às vezes por falta de ferramentas específicas para o despacho das mesmas.

Desta forma, o presente trabalho apresenta uma metodologia para o despacho ótimo de unidades geradoras hidráulicas e foi dividido em três etapas principais. São elas: definição do sistema de monitoramento das variáveis; cálculo do rendimento e; despacho ótimo das unidades hidrelétricas.

A eficácia da metodologia proposta foi analisada a partir de um projeto piloto desenvolvido junto à usina hidrelétrica de Nova Avanhandava.

O trabalho foi organizado como segue: Secção II apresenta a formulação da metodologia e foi dividida em três partes. A Parte II.A, apresenta o sistema de monitoramento proposto. A Parte II.B, apresenta a teoria utilizada para o cálculo do rendimento das unidades geradoras. A Parte II.C, apresenta a formulação do problema de despacho ótimo. A Secção III apresenta os testes e resultados. A última secção apresenta as conclusões do trabalho.

Este trabalho foi financiado pela AES Tietê SA.

¹T. Sousa, J. A. Jardini fazem parte do grupo de pesquisa GAGTD - EPUSP, São Paulo, (e-mail: thales@pea.usp.br).

²C. Goldemberg é docente na EPUSP, São Paulo, (e-mail: clovis@pea.usp.br).

³Y. F. L. de Lucca é pesquisadora no CTH, São Paulo, (e-mail: yvone@cth.usp.br).

⁴R. A. Lima faz parte da AES Tietê SA, São Paulo, (e-mail: rodrigoa.lima@aes.com).

II. METODOLOGIA PROPOSTA

A metodologia proposta é composta por três etapas principais. São elas: definição do sistema de monitoramento das variáveis; cálculo do rendimento e; despacho ótimo das unidades hidrelétricas.

A. Sistema de Monitoramento

A primeira etapa do presente trabalho foi a definição de um sistema que permitisse o monitoramento em tempo real das variáveis relacionadas à metodologia proposta para o despacho ótimo das unidades geradoras.

O sistema de monitoramento das variáveis do problema é composto por instrumentos de aquisição de dados, uma rede de comunicação, um sistema supervisor e uma base de dados que permitiu gerar um histórico de informações.

A Fig. 1 resume a idéia do sistema definido para monitoramento das variáveis do problema.

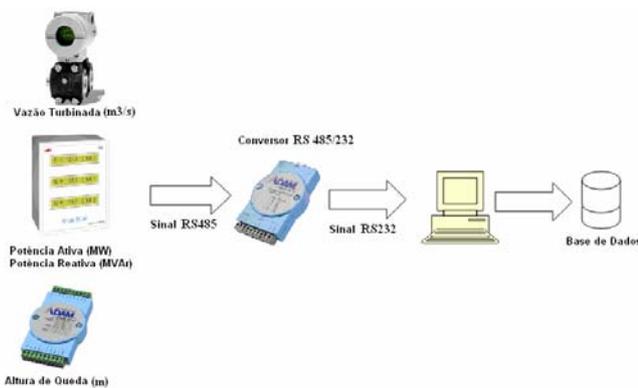


Figura 1. Ilustração do sistema de monitoramento proposto.

As variáveis monitoradas a partir do sistema proposto são: potência ativa, potência reativa, vazão, altura de queda, abertura das pás e abertura do distribuidor.

Estas informações foram, inicialmente, gravadas na base de dados em base decimal, resultando na necessidade de definir rotinas de cálculos de maneira a representá-las a partir de unidades físicas.

Essa representação a partir de unidades físicas permitiu que as variáveis fossem tratadas e utilizadas no cálculo do rendimento das unidades geradoras.

B. Cálculo do Rendimento

O cálculo do rendimento de uma unidade geradora hidráulica pode ser modelado de diferentes formas, dependendo dos dados disponíveis e da precisão desejada pelo modelo. Para estudos de longo prazo, com intervalos de discretização mensais, usualmente adota-se o rendimento η constante e igual a um rendimento médio.

Modelos que trabalham com a operação de uma unidade geradora hidráulica em intervalos de discretização menores, tais como dias, horas ou em tempo real, devem considerar as variações do rendimento η em função das condições de operação da turbina.

Desta forma, o cálculo do rendimento pode ser obtido a partir da equação da potência gerada por uma unidade hidráulica, representada por (1), [1-2].

A Figura 2 apresenta a curva de desempenho de uma turbina do tipo Francis.

$$p(t) = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot h_l \cdot q(t) \quad (1)$$

Onde:

$p(t)$ é a potência gerada (MW)

g é a aceleração da gravidade (m/s^2)

ρ é o peso específico d'água (kg/m^3)

η é o rendimento do conjunto turbina/ gerador (%)

h_l é a altura de queda (m)

$q(t)$ é a vazão turbinada (m^3/s)

Note que na Figura 2 há um ponto onde o rendimento é máximo, chamado de Ponto de Projeto. Devido às definições de valores de referência utilizados para expressão em porcentagem da potência e da altura de queda, o ponto de projeto é aquele no qual a potência e a altura de queda são ambas iguais a 100%. Em todas as outras condições de operação da turbina, o rendimento será menor que aquele do Ponto de Projeto. Isto não significa que a potência gerada pela turbina no Ponto de Projeto seja máxima. Por exemplo, no Ponto de Projeto a abertura das palhetas é de 70%; se a altura de queda for mantida constante e as palhetas continuarem a ser abertas até 100%, a potência gerada pela turbina vai elevar-se e chegar a 123%. Porém, o rendimento associado a este ponto será menor que o do Ponto de Projeto. Isto significa que a altura de queda em 100%, a turbina gasta mais água por MW produzido quando ela gera 123% do que quando ela gera 100% da potência.

Pela Figura 2 também pode ser observado que para uma mesma abertura das palhetas da turbina, à medida que a altura de queda eleva-se, a potência gerada aumenta. Isso ocorre por causa de dois fatores. Primeiro, a potência gerada é proporcional à altura; logo, se a altura eleva-se, a potência gerada também se eleva. Segundo, quando a altura eleva-se e as palhetas são mantidas com a mesma abertura, devido ao aumento de pressão, o fluxo de água através da turbina aumenta. Como a potência gerada também é proporcional à vazão turbinada, a potência gerada aumenta.

O segundo efeito explica porque as taxas de incremento da potência gerada devido ao aumento da altura são diferentes para diferentes aberturas. Por exemplo, para abertura de 20%, a potência gerada varia de 14% para 23% quando a queda varia de 80% para 100%. Já para abertura de 100%, admitindo-se a mesma variação de queda, a potência gerada varia de 77% para 123%. Como as variações de altura de queda são as mesmas, conclui-se que o aumento nas variações de potência é causado pelo aumento da vazão turbinada.

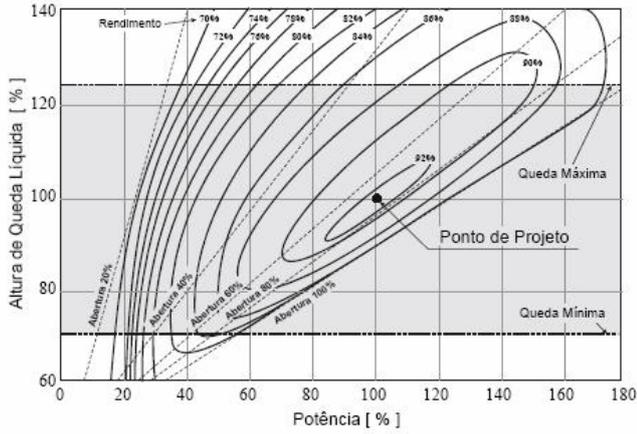


Figura 2. Curva de desempenho de uma turbina Francis.

C. Formulação do Problema de Despacho Ótimo

O despacho ótimo de unidades geradoras pode ser formulado como um problema de Despacho Econômico, como apresentado nesta seção, sendo o rendimento a função objetivo a ser maximizada.

$$\text{Max } F_T = \text{Max } \sum_{i=1}^T F(P_i) \quad (2)$$

$$\text{s.a. } \sum_{i=1}^T P_i - P_d = 0 \quad (3)$$

$$P_{\min} < P_i < P_{\max} \quad (4)$$

$$P_i \in N \quad i = 1, \dots, T \quad (5)$$

Onde:

F_T é a função objetivo a ser maximizada. Para o problema proposto esta função é representada pelo rendimento em função da potência ativa gerada (P_i);

P_i é potência ativa gerada pela unidade i ;

P_d é potência ativa total requerida a usina;

P_{\min} e P_{\max} são os limites mínimos e máximos de geração, respectivamente;

T é o número de unidades;

N é o conjunto dos números reais.

A partir da maximização do rendimento de uma unidade geradora, para uma mesma geração de potência ativa, há uma diminuição da vazão turbinada. Desta forma, quando unidades estão operando na melhor eficiência, o que é esperado operações normais, diz-se que o despacho das mesmas está sendo realizado de forma otimizada. Esse ponto de operação é definido como o ponto de mínimo consumo de combustível para uma máxima geração de potência.

A solução ótima para o sistema de equações (2)-(4) pode ser obtida com emprego de técnicas Lagrangianas e com o emprego das condições de *Karush-Kuhn-Tucker* (KKT). A seguir é apresentada a função de Lagrange para o problema proposto.

$$L(P_i, \lambda, \mu) = F_T + \sum_{i=1}^T \lambda_i (P_i - P_d) + \sum_{i=1}^T \mu_{1i} (P_i - P_{\max}) + \sum_{i=1}^T \mu_{2i} (P_{\min} - P_i) \quad (6)$$

As condições de otimalidade, levando em consideração um problema geral, para o pontos x^o , λ^o , μ^o , são dadas por:

$$\frac{\partial L}{\partial P_i}(x^o, \lambda^o, \mu^o) = 0 \quad \text{to } i = 1, \dots, N \quad (7)$$

$$w_i(x^o) = 0 \quad \text{to } i = 1, \dots, N_w \quad (8)$$

$$g_i(x^o) \leq 0 \quad \text{to } i = 1, \dots, N_g \quad (9)$$

$$\left. \begin{array}{l} \mu_i^o g_i(x^o) = 0 \\ \mu_i^o \geq 0 \end{array} \right\} \quad \text{to } i = 1, \dots, N_g \quad (10)$$

Onde N_w é o número de equações de igualdade, N_g é o número de equações de desigualdade e λ e μ são os multiplicadores de Lagrange das equações de igualdade e desigualdade respectivamente.

Para uma situação onde as unidades de geração são idênticas, a potência total gerada deve ser distribuída igualmente entre as unidades em operação de forma a maximizar o rendimento, otimizando assim o despacho das unidades. Quando as unidades de geração forem diferentes, a geração de potência ativa é distribuída entre as unidades usando o problema de Despacho Econômico convencional, como empregado para unidades térmicas [5].

III. TESTES E RESULTADOS

A eficácia da metodologia proposta foi analisada a partir de um projeto piloto desenvolvido junto a usina hidrelétrica de Nova Avanhandava, com 3 unidades de geração e uma potência instalada igual a 348 MW. A seguir serão apresentados alguns resultados obtidos.

A Figura 3 apresenta a interface que permitiu a interação entre o usuário e as ferramentas de monitoramento das variáveis e otimização do despacho otimizado das unidades da usina.

Nesta figura é possível observar diferentes conjuntos de campos, são eles:

- O primeiro conjunto de campos define a data, a hora e o minuto de medição. Neste campo é possível selecionar medições em intervalos de 5 minutos;
- O segundo conjunto de campos apresenta os valores das variáveis aquisitadas. As variáveis são: potência ativa e reativa, vazão turbinada, altura de queda, abertura das pás e abertura do distribuidor. Estas variáveis são aquisitadas para todas as unidades da UHE de Nova Avanhandava;
- O terceiro campo refere-se à solução obtida para o cálculo do rendimento das unidades geradoras;
- E o quarto conjunto refere-se à formulação e solução do problema de otimização do despacho das unidades geradoras.

A Figura 4 ilustra os valores obtidos a partir da ferramenta desenvolvida, para uma data de medição pré-

estabelecida.

A partir das informações apresentadas pela Figura 4 é possível verificar os valores das variáveis monitoradas, os valores de rendimentos calculados para as unidades geradoras. A partir destes valores e estabelecido os limites operativos, obtém-se a solução do processo de otimização, conforme apresentado pela figura.

A Figura 5 apresenta um intervalo de medições obtido considerando determinada variável a ser plotada.

As Figuras de 6 a 9 ilustram diferentes variáveis obtidas a partir da ferramenta proposta para um dado intervalo de tempo.

A partir de uma análise geral foi possível verificar que em determinados instantes as unidades estavam operando com um rendimento abaixo de um valor ideal ou de um valor ótimo, o que pode resultar em um aumento do consumo de água.

A Figura 10 ilustra um exemplo onde para um dado intervalo de medições o rendimento de uma unidade está abaixo do valor ideal ou de um valor ótimo.

As necessidades de operação das unidades fora de um rendimento ideal ou ótimo podem ocorrer por várias razões. São elas: limites operativos das unidades, erro na política operativa e necessidade de reserva operativa.

A partir de da Figura 10 apresentada foi selecionada uma medição a fim de empregar o algoritmo de otimização proposto [3].

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos para o instante 21h do dia 01/11/2006 e permite observar os valores de rendimento e os valores de potência ativa despachados. Em particular observa-se que a geração poderia ser feita com 2 unidades ao invés de 3 unidades, aumentando a eficiência das máquinas e minimizando o consumo de água.

Pela ponderação dos valores de rendimentos e potências ativas despachadas deduz-se que a economia de água obtida a partir do despacho otimizado equivale a 7,6 MW no instante avaliado.

Tabela 1. Despacho atual e otimizado - 01/11/2006 - 21h.

	Pot. Ativa Medida (MW)	Rend. Medido (%)	Limite Mínimo Unid. (MW)	Limite Máximo Unid. (MW)	Pot. Ativa Otimizada (MW)	Rend. Pós Otimização (%)
Unid. 1	54,2	0,89	00,0	100,0	100,0	0,92
Unid. 2	54,9	0,88	00,0	100,0	64,3	0,91
Unid. 3	55,2	0,86	00,0	100,0	-	-

Realizados os testes anteriores, foram feitas várias medições com o objetivo de gerar uma tabela, Tabela 2, semelhante à Figura 11 e assim permitir uma análise comparativa entre os valores obtidos *in loco* e os apresentados na referida figura. Os valores representados a partir da Figura 11 foram obtidos a partir de testes em modelo reduzido.

A elaboração da referida Tabela 2 foi dificultada por algumas razões. São elas: o histórico de medições armazenado na base de dados ainda não contempla todas as alturas de queda e todos os valores de potências geradas, conforme apresentado na Figura 11; as unidades geradoras apresentaram comportamentos operativos diferentes, o que

impossibilita a elaboração de apenas uma tabela e; a impossibilidade de utilizar uma ou mais máquinas para simular diferentes cenários de operação. Por estes motivos, a Tabela 2 apresenta apenas alguns valores monitorados em 2 unidades distintas.

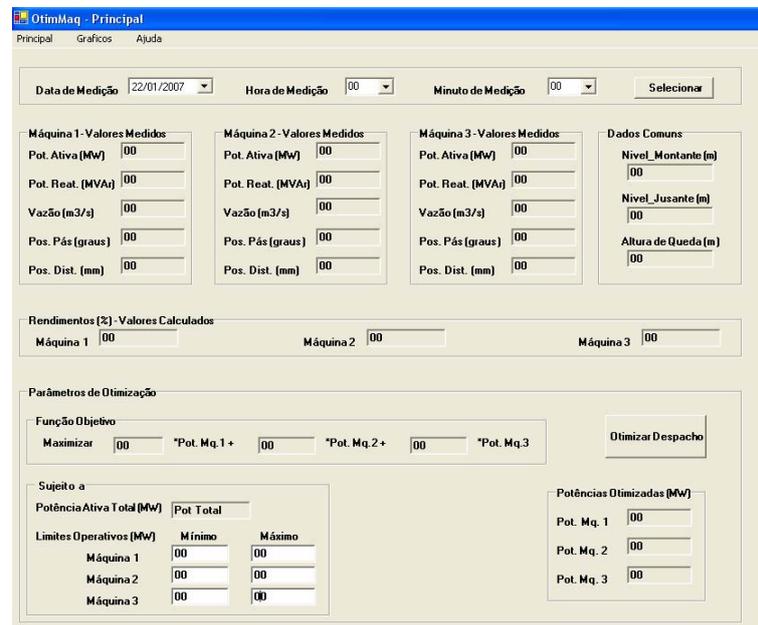


Figura 3. Tela de apresentação para a IHM desenvolvida.

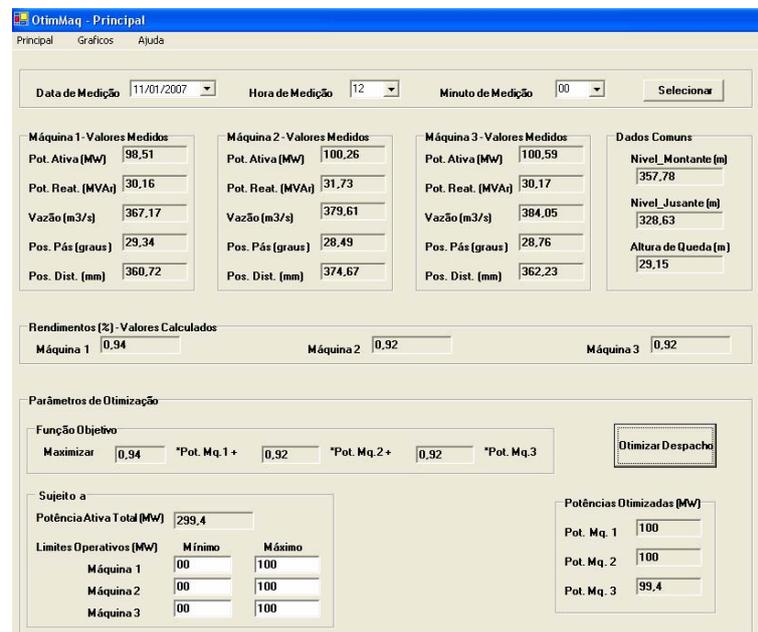


Figura 4. Solução obtida considerando uma data de medição pré-definida - 11/01/2007.

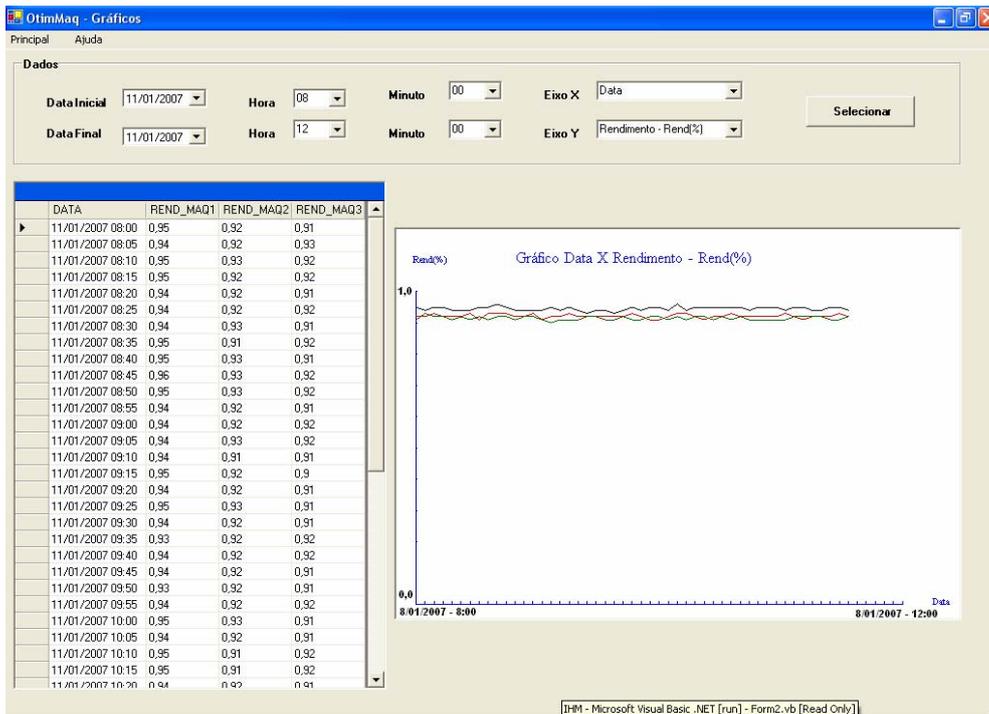


Figura 5. Intervalo de medições de rendimento obtido a partir da ferramenta desenvolvida.

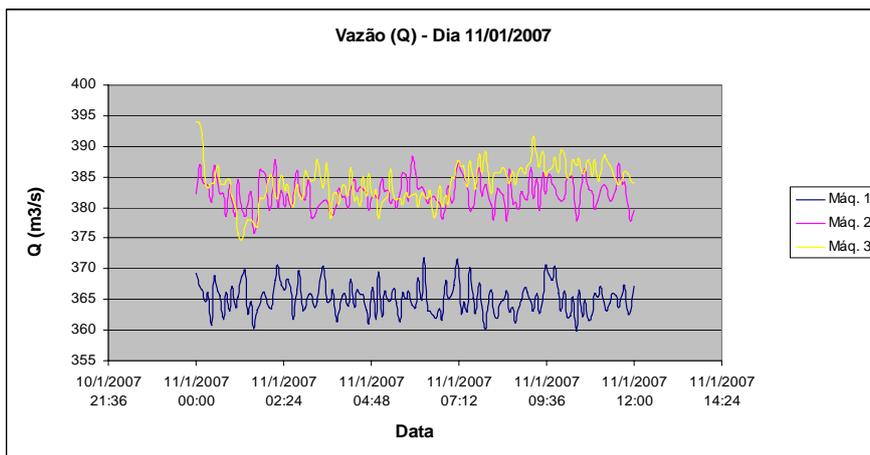


Figura 6. Vazões das unidades da UHE de Nova Avanhandava obtidas a partir da ferramenta proposta.

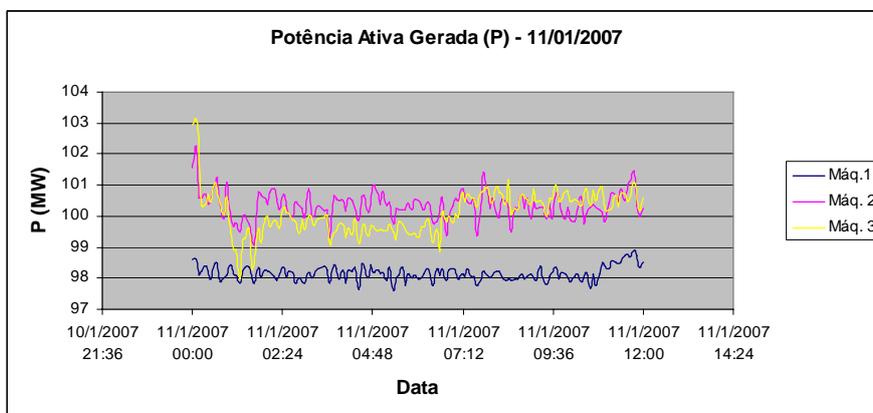


Figura 7. Potência Ativa gerada pelas unidades da UHE de Nova Avanhandava obtidas a partir da ferramenta proposta.

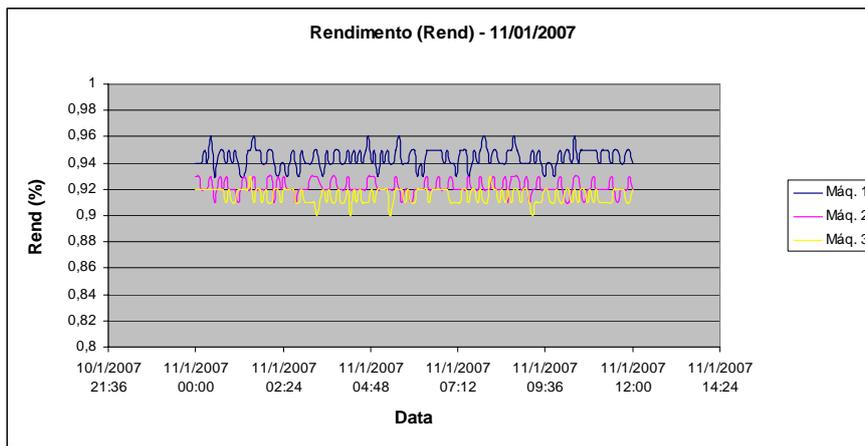


Figura 8. Rendimento das unidades da UHE de Nova Avanhandava obtidas a partir da ferramenta proposta - Intervalo de 12 horas.

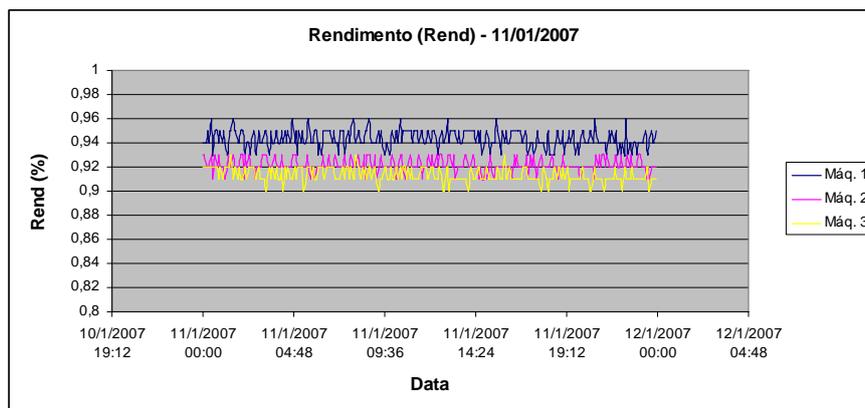


Figura 9. Rendimento das unidades da UHE de Nova Avanhandava obtidas a partir da ferramenta proposta - Intervalo de 24 horas.

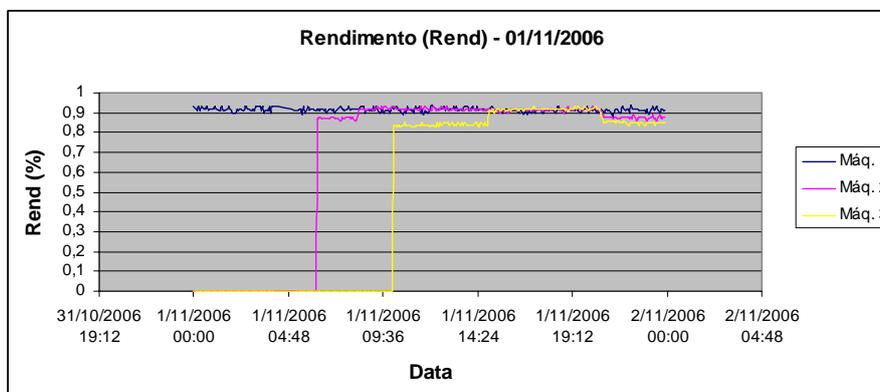


Figura 10. Rendimento das unidades da UHE de Nova Avanhandava obtidas a partir da ferramenta proposta - 01/11/2006.

Vazões turbinadas por UG em função da queda bruta e da potência média gerada (vazões em metros cúbicos por segundo, queda bruta em metros e potência média gerada em MWh/h)									
Potência	Queda (HB)								
	27	28	29	30	31	32	33	34	35
8	41	39	38	37	36	35	34	33	32
10	48	47	45	44	43	42	40	39	38
12	56	55	53	51	50	48	47	46	45
14	64	62	60	58	57	55	54	52	51
16	73	70	68	66	64	62	60	59	57
18	81	78	76	73	71	69	67	65	64
20	89	86	83	80	78	76	74	72	70
22	97	93	90	87	85	82	80	78	76
24	104	110	98	95	92	89	87	84	82
26	112	108	105	102	99	96	93	90	88
28	120	116	112	109	106	102	99	97	94
30	128	124	120	116	112	109	106	103	100
32	136	131	127	123	119	116	112	109	106
34	144	139	134	130	126	112	119	115	112
36	151	146	141	137	133	129	125	122	119
38	160	154	149	144	140	135	132	128	125
40	168	162	156	151	147	142	138	134	131
42	176	170	164	159	154	149	145	141	137
44	184	178	171	166	161	156	151	147	143
46	192	185	179	173	168	163	158	153	149
48	200	193	187	180	175	169	164	160	155
50	208	201	194	188	182	176	171	166	161
52	217	209	202	195	189	183	178	172	167
54	225	217	209	202	196	190	184	179	174
56	233	225	217	210	203	197	191	185	180
58	241	232	224	217	210	203	197	192	186
60	***	240	232	224	217	210	204	198	193
62	***	249	240	232	224	217	211	205	199
64	***	257	248	239	231	224	217	211	205
66	***	265	255	247	239	231	224	218	212
68	***	273	263	254	246	238	231	224	218
70	***	281	271	262	253	245	238	231	224
72	***	290	279	269	261	252	244	237	230
74	***	298	287	277	268	259	251	244	237
76	***	306	295	285	275	266	258	250	243
78	***	315	303	293	283	274	265	257	250
80	***	323	311	300	290	281	272	264	256
82	***	332	319	308	298	288	279	271	263
84	***	340	328	316	305	295	286	277	269
86	***	349	336	324	313	302	293	284	276
88	***	358	344	332	320	310	300	291	282
90	***	367	352	340	328	317	307	298	289
92	***	376	361	348	335	324	314	304	295
94	***	385	369	356	343	332	321	311	302
96	***	394	378	364	351	339	328	318	308
98	***	***	387	372	359	347	335	325	315
100	***	***	396	380	368	355	343	332	322
102	***	***	405	389	376	364	350	339	329
104	***	***	***	398	383	370	357	346	336
106	***	***	***	406	391	378	365	354	343
108	***	***	***	415	400	386	373	361	350
110	***	***	***	***	408	394	380	368	357
112	***	***	***	***	416	402	388	376	364
114	***	***	***	***	425	410	396	383	371
116	***	***	***	***	***	418	404	391	379

Figura 11. Valores de queda bruta, potência gerada e vazão turbinada obtidos a partir de testes em modelo reduzido - UHE de Nova Avanhandava.

Tabela 2. Valores de queda bruta, potência gerada e vazão turbinada obtidos a partir de medições realizadas *in loco* - UHE de Nova Avanhandava.

Altura de Queda = 29m					
Data	Horas	Máquina 1		Máquina 2	
		P (MW)	Q(m ³ /s)	P (MW)	Q(m ³ /s)
11/01/2007	00h00min	99,0	369,0	101,0	382,0
11/01/2007	02h00min	98,0	364,0	100,0	380,0
11/01/2007	10h00min	98,0	363,0	100,0	381,0
11/01/2007	14h00min	98,0	361,0	99,0	379,0
11/01/2007	18h00min	99,0	367,0	100	375,0
11/01/2007	22h00min	99,0	367,0	103,0	387,0
Altura de Queda = 31m					
Data	Horas	Máquina 1		Máquina 2	
		P (MW)	Q(m ³ /s)	P (MW)	Q(m ³ /s)
24/01	08h00min	102,0	359,0	101,0	361,0
24/01	11h00min	101,0	355,0	99,0	359,0
24/01	00h00min	101,0	359,0	100,0	361,0
25/01	10h00min	102,0	356,0	99,0	353,0
25/01	16h00min	102,0	352,0	101,0	363,0
25/01	17h00min	101,0	354,0	100,0	359,0
26/01	07h00min	102,0	359,0	101,0	360,0
26/01	09h00min	102,0	357,0	102,0	366,0
26/01	11h00min	102,0	359,0	100,0	356,0
26/01	12h00min	102,0	358,0	100,0	354,0

IV. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou uma metodologia para o despacho ótimo de unidades geradoras hidráulicas.

A partir das soluções foi possível verificar que existem instantes em que as unidades operam com um rendimento diferente do valor ideal ou de valor ótimo, resultando em um aumento no consumo de água e no desgaste das unidades.

Caso os agentes geradores operem suas unidades em pontos distantes do rendimento ótimo pela necessidade de alocar reserva operativa, solicitado pelo ONS, eles deveriam poder solicitar uma compensação pela prestação deste serviço, definido como Serviço Ancilar. Este serviço hoje não é remunerado no Brasil, porém espera-se que o mesmo venha a ser de forma a compensar pelo menos o excesso de água utilizado.

Caso as máquinas geradoras estejam operando fora de seu melhor rendimento, por um erro de política operativa ou por restrições operativas das unidades, é necessário que os agentes superem estas deficiências de maneira a evitar um desperdício e conseqüentemente um prejuízo em sua receita.

Considerando uma planta hidráulica de médio porte, a economia de potência obtida a partir de uma metodologia de despacho ótimo das unidades geradoras pode alcançar aproximadamente 1,00% da geração total da planta. Essa economia de potência significa dizer que considerando uma geração média de 300MW a um preço de US\$20,00/ MW, ter-se-ia, ao longo de um ano, uma economia financeira na ordem de US\$0,5 milhões, justificando economicamente o investimento realizado para o presente trabalho.

Adicionalmente, a medição da abertura das pás e da abertura do distribuidor permite que os agentes geradores revejam a política de operação e manutenção, muitas vezes influenciadas por possíveis descalibramento de instrumentos.

A diferença de desempenho entre as unidades geradoras mostraram que as mesmas apesar de serem semelhantes apresentam um comportamento operativo diferente. Desta forma a de se considerar estas diferenças no processo de despacho otimizado das unidades geradoras.

As diferenças obtidas, entre os valores resultantes dos testes em modelo reduzido e os valores obtidos *in loco*, fazem com que se aumentem as atenções em relação ao histórico das variáveis monitoradas de maneira que se possa consolidar a confiabilidade dos valores obtidos e assim possibilitar a adequação da tabela utilizada no despacho das unidades geradoras.

Os resultados obtidos a partir do processo de monitoramento e de otimização mostraram-se coerentes e satisfatórios, o que cria um espaço para novas pesquisas e melhoramentos futuros, principalmente no que diz respeito à ferramenta de otimização a ser utilizada.

V. REFERÊNCIAS

- [1] A. Arce; S. Soares. "Optimal Dispatch of Generating Units of the Itaipu Hydroelectric Plant". IEEE Trans. on Power Systems, v.17, n.1, p. 154-158, February, 2002.
- [2] A.S.A. Encina; M.A. Cicogna; S. Soares; T. Ohishi. "Despacho Ótimo de Unidades Geradoras em Usinas Hidroelétricas". IX Simpósio de

Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, Rio de Janeiro, 2004.

- [3] M. Ramalhet; J. Guerreiro; A. Magalhães. "Programação Linear". McGRAW-HILL, vol.1, 1984.
- [4] F.A.C. Ribas. "Otimização da Geração de Energia em Centrais Hidroelétricas". XVII Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Uberlândia, 2003.
- [5] A.J. Wood; B.F. Wollenberg. "Power Generation, Operation and Control". ISBN 0-471-09182-0, 1983.
- [6] R. A. Ponjarah and F. D. Galiana, "Systems to Optimizes Conversion Efficiencies at Ontario Hydro's Hydroelectric Plants", IEEE Transaction on Power Systems, vol. 13, no. 3, pp. 1044-1050, August, 1998.
- [7] A.L. Motto and F. D. Galiana, "Unit Commitment with Dual Variable Constraints", IEEE Transaction on Power Systems, vol. 19, no. 1, pp. 330-338, February, 2004.
- [8] H.Y. Yamin. "Review on Methods of Generation Scheduling in Electric Power Systems", Electric Power Systems Research, no.69, pp. 227-248, 2004.
- [9] T. Sousa; J.A. Jardini; R.A. Lima. "Spinning Reserve Opportunity Cost in Hydroelectric Plants". 2005 IEEE PES General Meeting, San Francisco, 2005.
- [10] T. Sousa; J.A. Jardini; R.A. Lima. "Hydroelectric Power Plant Unit Efficiencies Evaluation and Unit Commitment". 2007 PowerTech, Lausanne - Switzerland, 2007.

VI. BIOGRAFIAS

Thales Sousa nasceu em 23 de Junho de 1978, formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) em 2000. Mestre em 2003 pelo Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP). Doutor em 2006 pelo Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas (PEA) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Atualmente trabalha como pesquisador pelo grupo GAGTD na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Sua área de interesse é operação, planejamento e regulação de sistemas elétricos de potência.

José Antonio Jardini nasceu em 27 de março de 1941, formado em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da USP (EPUSP) em 1963. Mestre em 1970, Doutor em 1973, Livre Docente/ Prof Associado em 1991 e Professor Titular em 1999 todos pela EPUSP Departamento de engenharia de Energia e Automação Elétricas (PEA). Trabalhou de 1964 a 91 na Themag Eng. Ltda atuando na área de estudos de sistemas de potência, projetos de linhas e automação. Atualmente é professor da escola Politécnica da USP do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas onde leciona disciplinas de Automação da Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica. Foi representante do Brasil no SC38 da CIGRE, é membro da CIGRE, Fellow Member do IEEE, e Distinguished Lecturer do IAS/IEEE.

Clovis Goldemberg possui graduação em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (1980), graduação em Física pelo Departamento de Física Aplicada (1980), mestrado em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (1992) e doutorado em Engenharia Elétrica pelo Departamento de Engenharia Biomédica (1995). Atualmente é MS-3 em RDIDP da Escola Politécnica. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência.

Yvone Faria Lemos de Lucca possui doutorado em Engenharia pela Escola Politécnica da USP (1998). Atualmente é funcionária na área de pesquisas hidromecânicas do Centro Tecnológico de Hidráulica, CTH, convênio do Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE e Escola Politécnica da USP. Tem experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Engenharia Hidráulica, atuando principalmente nos seguintes temas: cavitação, instalações de recalque, golpe de aríete, water-hammer, projeto de máquinas hidropneumáticas, bombas, turbinas, medidores de vazão, medição de vazão, válvulas, comportas hidráulicas. Leciona a disciplina "Transferência de calor e de massa" na Faculdade de Engenharia - 4º ano do curso de Mecânica- FAAP.

Rodrigo Alves de Lima nasceu em 07 de Janeiro de 1980. Formado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) com ênfase em Sistemas de Potência. Atualmente, trabalha na AES Tietê S/A, na área de regulação.